การศึกษาความเสียหายในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากการก่อสร้างไม่ถูกวิธี

BUILDING FAILURES IN REINFORCED CONCRETE BUILDING

นายไกรเทพ มงคล

MR.KRAITHEP MONGKOL

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032519

BUILDING FAILURES IN REINFORCED CONCRETE BUILDING

MR.KRAITHEP MONGKOL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032519

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความเสียหายในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากการก่อสร้างไม่ถูกวิธี

BUILDING FAILURES IN REINFORCED CONCRETE BUILDING

นักศึกษา นายไกรเทพ มงคล **รหัสประจำตัว** 32.1036

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

คณะกรรมการการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ	.....
ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ	.....
อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	.....

ภาควิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นายสุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 10 เดือน พ.ย. พ.ศ. 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความเสียหายในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากการก่อสร้างไม่ถูกวิธี

นักศึกษา นายไกรเทพ มงคล

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2535.

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษเรื่องนี้ได้พยายามรวบรวมการวิบัติของโครงสร้างในรูปแบบต่างๆ ตามที่เคยปรากฏมาแล้วในประเทศไทย มาวิเคราะห์ให้รู้ถึงสาเหตุของการวิบัติของโครงสร้าง ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้น และจะหาทางป้องกันได้อย่างไร การป้องกันการวิบัติจึงเป็นการประกันคุณภาพของโครงสร้างให้มีความมั่นคงแข็งแรง มีพฤติกรรมการรับแรงแบบต่างๆได้อย่างเหมาะสม มีการใช้สอยได้อย่างดี มีการบำรุงรักษาน้อย และมีความทนทานใช้งานได้ดีทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โครงสร้างที่จะให้ดีพร้อมทุกอย่างเช่นนี้ จะต้องได้รับการควบคุมดูแลมาอย่างดีตั้งแต่เริ่มต้นในการออกแบบ การก่อสร้าง การใช้งาน และการบำรุงรักษา โครงงานพิเศษจะดึงจุดหลักของการวิบัติที่เกิดขึ้นบ่อยๆให้เห็นจากกรณีที่ผ่านมาแยกเป็นประเภทฯ แล้วจะเสนอแนะแนวทางป้องกันหรือแก้ไขในส่วนของการให้การศึกษา และการประกอบวิชาชีพ กล่าวโดยสรุปลักษณะของงานการก่อสร้างอาคารนั้นจะต้องรัดกุมและเชื่อถือได้ทุกขั้นตอนจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดขาดคุณภาพหรือขาดระบบการประสานงานที่ดีไม่ได้เลย ซึ่งหมายถึงส่งผลให้เกิดการวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title BUILDING FAILURES IN REINFORCED CONCRETE BUILDING

Student Mr.Kraithep Mongkol

Project Advisor Mr.Suwat Thirasert

Level of study Bachelor of Engineering

Department Civil Engineering Faculty of Engineering

Academic Year 1992

Abstract

THIS PROJECT IS TRY TO COLLECT THE FAILURE OF STRUCTURE IN SEVERAL FORM. THESE HAVE BEEN APPEAR IN THAILAND. TO ANALYSE FOR CASE OF STRUCTURE FAILURE, EFFECT OF FAILURE AND THE WAY FOR PREVENT. THE PREVENT OF BUILDING FAILURE IS GUARANTEE THE QUALITY OF STRUCTURE. THE GOOD BEHAVIER OF STABILITY. IT HAVE A LITTLE MAINTANANCE AND A LONGTIME IN DURABLE. THE GOOD STRUCTURE MUST HAVE CONTROL SINCE BEGIN IN DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTANANCE. THE PROJECT HAVE MAIN IDEA OF FAILURE THAT OFTEN APPEAR IN SEVERAL CAUSE. AND SUGGEST THE PREVENTION IN CASE STUDY AND ABOUT CAREER. ALL OVER THE PROJECT, THE CONSTRUCTION MUST HAVE CONTROL IN EVERY STEP. THE FAILURE IS APPEAR IF NOT HAVE ONE STEP OR NOT HAVE GOOD COMMUNICATION.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์เป็นอย่างสูงที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาการให้แก่ผู้เขียน ตลอดเวลาที่ได้ทำการศึกษาอยู่ที่สถาบันแห่งนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณแม่และน้องบอ ที่ช่วยทำ project

ขอขอบคุณเก๋ อัน ที่ช่วยขับรถให้ ขอขอบคุณพี่ไก่และน้องชาย ที่ให้ยืม printer และขอขอบคุณน้องๆทุกคนที่สนับสนุนกำลังใจอย่างเต็มเปี่ยม

ไกรเทพ มงคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปและตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
- วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
- ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	2
- ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	3
- วิธีการดำเนินโครงงานพิเศษ	3
- ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตึกถล่ม และการทรุดตัวของอาคาร	4
- การถล่มของอาคารโรงงานคอนกรีตของบริษัทโพลีคุณสต๊ัพ	5
- การถล่มของอาคารจอดรถห้างคลังพลาซ่า	7
- การทรุดตัวของทาวน์เฮ้าส์ในหมู่บ้านจันธร	12
- การทรุดตัวของพระที่นั่งอนันตสมาคม	17
- การถล่มของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้นที่ตลิ่งชัน	21
- การถล่มของอาคารโรงงานบริษัทกล่องเพชรไทยจำกัด อ.สามโคก จ.ปทุมธานี	25
- การถล่มของโรงแรมไม่มีชื่อ ย่านถนนรัชดาภิเษก	32
- การถล่มของตึกหลังโรงหนังเอเธนส์	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

- การถล่มของอาคารบริญญา ถนนเพลินจิต เขตปทุมวัน ระหว่างการรื้อทำลายทิ้ง 33
- การถล่มของอาคารซ่อมเครื่องมืออุตสาหกรรม ร่มบริษัทการบินไทย สำนักงานใหญ่ 33
- การถล่มของอาคารโรงแรมเซอราตัน 34
- การถล่มของอาคารโครงการรัชดารีเจ้นท์ทาวเวอร์ 34
- การถล่มของธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาเจ้าฟ้า 34
- ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข 35

บทที่ 3 ปัญหางานฐานราก 37

- ปัญหากรุงเทพฯทรุด และแนวทางแก้ไข 38
- ปัญหาแรงฉุดลงของเสาเข็ม 54
- ปัญหาในการก่อสร้างห้องใต้ดิน 70
- ความเสียหายจากงานก่อสร้างฐานรากต่ออาคารข้างเคียง 80
- การก่อสร้างที่ทำให้เกิดปัญหาแก่ผู้อยู่อาศัยข้างเคียง ตอกเสาเข็ม ตึกแถวพัง-ร้าว 114
- การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของอาคาร 116
- การใช้เสาเข็มไมโครสำหรับงานอาคารในปัจจุบัน 124
- วิธีการก่อสร้างชั้นใต้ดินโดยใช้ DIAPHRAGM WALL 131

บทที่ 4 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพื้น 144

- พื้นสำเร็จรูป การใช้และการทดลองความเสียหาย 145
- เครื่องมือทดสอบความแข็งของพื้นคอนกรีตซึ่งปูทับหลังด้วยพื้นปูนทราย 158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การวิบัติอันเกิดจากแผ่นดินไหว	161
- แผ่นดินไหวกับอาคาร	162
- ความรุนแรงของแผ่นดินไหว	174
- ปัญหาแรงที่กระทำต่ออาคารเนื่องจากแผ่นดินไหว	179
- ร่างกฎกระทรวงว่างข้อกำหนดด้านทานแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว	183
- วิจารณ์ผลกระทบของแผ่นดินไหวต่ออาคารสูงในกรุงเทพฯ	190
บทที่ 6 รอยร้าว	193
- รอยร้าวในคอนกรีต และการซ่อม 12 วิธี	194
บทที่ 7 ระบบการรื้อถอนอาคารให้มีความปลอดภัย	203
- การวิวัฒนาการและความเหมาะสมของระบบการรื้อถอนอาคารคอนกรีต	204
บทที่ 8 ความทนทานของคอนกรีต	220
- โครงสร้างคอนกรีตที่มีความทนทาน	223
- การออกแบบและก่อสร้างอาคารคอนกรีตให้มีความคงทน	236
- แนวความคิดใหม่ในการพัฒนาคอนกรีตในประเทศญี่ปุ่น	241
บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	248
- การป้องกันอุบัติภัยเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร	249
- สรุปสาเหตุหลักของการวิบัติ และแนวทางป้องกัน	253
บรรณานุกรม	262

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปและตาราง

หน้า

บทที่ 2 ตึกถล่ม และการทรุดตัวของอาคาร

– การถล่มของอาคารจอดรถห้างคลังพลาซ่า

รูปที่ 1 แสดงการพังทลายเริ่มต้นจากคานที่ชั้นสองหลุดออกจากเสาและดึงให้คานชั้น 3 และ 4 หลุดตกลงมาด้วยพร้อมกับแผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดกลวง ซึ่งยังไม่ได้เทคอนกรีตทับหน้า (Topping) 9

รูปที่ 2 แสดงบริเวณที่กำลังเทคอนกรีตทับหน้าหนา 5 ซม. โดยใช้เครื่องผสมปูนด้วยมือ 9

รูปที่ 3 แสดงลักษณะโครงสร้างอาคาร มีเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 แนว และใช้คานเหล็ก WF 400 x 400 x 20 มม. เป็นทั้งคานภายใน (Span 9.60 ม.) และคานยื่น (Span 4.30 ม.) 10

รูปที่ 4 แสดงพื้นชั้นสองบริเวณที่กำลังเทคอนกรีตทับหน้าหนา 5 ซม. ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการพังทลาย จะสังเกตได้ว่าคานชั้นสองที่ยังห้อยค้างอยู่ ใช้วิธีการเชื่อมคานเหล็กเข้ากับเหล็กเสริมยื่นในเสาโดยตรง ซึ่งไม่ถูกต้อง และจะไม่สามารถรับแรงได้เลยเพราะเหล็กยื่นในเสาจะถูกดึงให้ยืดออกดังรูป 10

รูปที่ 5 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กกับคานเหล็ก โดยทั่วไปใช้เหล็กเส้นขนาดประมาณ 25-28 มม. จำนวน 8 เส้น ฝังในเสาคอนกรีตและเชื่อมเข้ากับเหล็กแผ่นหนา 12 มม. ซึ่งถูกเชื่อมติดกับคานเหล็กไว้แล้ว รอยต่อระหว่างเสากับคานเหล่านี้แข็งแรงไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการขาดที่รอยเชื่อมทั้งหมด 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

- การทรุดตัวของทาวน์เฮ้าส์ในหมู่บ้านจิรธร

รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งตอม่อ เยื้องศูนย์จากตำแหน่งเสาเข็มอย่างมาก 15

รูปที่ 2 ภาพ CLOSE UP ของรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า เหล็กยืนเสาถูกพับใต้คานเข้าหาตำแหน่งตอม่อที่เยื้องศูนย์ สภาพรอยแตกเก่าบริเวณเหล็กเมื่อเปรียบเทียบกับรอยแตกใหม่ที่จุดต่อคานเหนือขึ้นมาบ่งว่า เหล็กอาจถูกพับก่อนในช่วงเวลาก่อสร้าง 15

รูปที่ 3 แสดงลักษณะการเอียงตัวอย่างมากของตอม่อเสาช่วงในของอาคาร การที่ไม่มีรอยแตกปรากฏที่จุดต่อระหว่างหัวตอม่อ และใต้คานแสดงว่า การเอียงตัวเกิดขึ้น เนื่องจากการก่อสร้างมิใช่เป็นเพราะอาคารทรุดตัว 16

- การทรุดตัวของพระที่นั่งอนันตสมาคม

รูปที่ 1 ลักษณะองค์พระที่นั่งอนันตสมาคม 20

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของพระที่นั่งอนันตสมาคมส่วนที่กว้างที่สุด ประมาณ 47.50 เมตร พร้อมลักษณะฐานรากแบบแผ่ และพื้นเข็มเจาะได้ฐาน 20

- การถล่มของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้นที่ตลิ่งชัน

รูปที่ 1 แสดงการแตกหักที่รอยต่อคานกับเสา 22

รูปที่ 2 แสดงฐานรากด้านขวามือ (ภาพนี้ถ่ายจากหลังอาคาร) ยังคงอยู่ในระดับเดิม แต่ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอียงไปด้านที่อาคารล้มลงไป

รูปที่ 3 แสดงลักษณะการพังทลายของอาคารเป็นการล้มพับลงทางซ้ายมือของอาคาร โดยที่มีการก่ออิฐผนังและฉาบปูน(ภายใน)เรียบร้อยแล้ว 23

รูปที่ 4 แสดงสภาพการพังทลายของอาคารเป็นลักษณะล้มพับลงมา โดยที่มีการแตกหักพังทลายที่รอยต่อเสากับคาน จะสังเกตในภาพว่า พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปท้องเรียบยังไม่ได้มีการเทคอนกรีตทับหน้า และมีการกองอิฐอยู่บนพื้นชั้น 3 ก่อนการพังทลาย 24

- การถล่มของอาคารโรงงานบริษัทกล่องเพชรไทยจำกัด อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี

รูปที่ 1 แสดงผังบริเวณโรงงาน 1:250 25

รูปที่ 2 แสดงแบลนพื้นทั่วไป 1:250 26

รูปที่ 3 แสดงรูปตัดอาคารตามยาว 1:250 27

รูปที่ 4 แสดงรายละเอียดเหล็กเสริม 1:25 29

บทที่ 3 ปัญหางานฐานราก

- ปัญหากรุงเทพฯทรุด และแนวทางแก้ไข

รูปที่ 1 แสดงสภาพชั้นดินบริเวณใต้พื้นที่กรุงเทพฯ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2 (ก) ระดับความดันของน้ำใต้ดินในชั้นดินกักเก็บน้ำนครหลวง ปี พ.ศ.2522 40

รูปที่ 2 (ข) ระดับความดันของน้ำใต้ดินในชั้นดินกักเก็บน้ำนครหลวง ปี พ.ศ.2525 40

รูปที่ 3 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ระหว่าง ปี พ.ศ.2476-2521 41

รูปที่ 4 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ระหว่าง ปี พ.ศ.2521-2530 42

รูปที่ 5 (ก) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2521 43

รูปที่ 5 (ข) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2524 43

รูปที่ 5 (ค) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2528 44

รูปที่ 5 (ง) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2530 44

รูปที่ 6 ระดับพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2530 45

รูปที่ 7 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินในช่องระดับความลึกต่าง ๆ ณ สถานีตรวจวัดบางนา 46

- ปัญหาแรงฉุดลงของเสาเข็ม

รูปที่ 1 แสดงแรงฉุดลงในเสาเข็ม และ Neatural Point 58

รูปที่ 2 แสดงสภาพแรงฉุดลงที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาล 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2 (ก) ระดับความดันของน้ำใต้ดินในชั้นดินกักเก็บน้ำนครหลวง ปี พ.ศ.2522 40

รูปที่ 2 (ข) ระดับความดันของน้ำใต้ดินในชั้นดินกักเก็บน้ำนครหลวง ปี พ.ศ.2525 40

รูปที่ 3 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ระหว่าง ปี พ.ศ.2476-2521 41

รูปที่ 4 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ระหว่าง ปี พ.ศ.2521-2530 42

รูปที่ 5 (ก) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2521 43

รูปที่ 5 (ข) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2524 43

รูปที่ 5 (ค) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2528 44

รูปที่ 5 (ง) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2530 44

รูปที่ 6 ระดับพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2530 45

รูปที่ 7 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินในช่องระดับความลึกต่าง ๆ ณ สถานีตรวจวัดบางนา 46

- ปัญหาแรงฉุดลงของเสาเข็ม

รูปที่ 1 แสดงแรงฉุดลงในเสาเข็ม และ Neatural Point 58

รูปที่ 2 แสดงสภาพแรงฉุดลงที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาล 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3 Loyout ของฐานราก load/pile และปริมาณเสาเข็มในฐานราก 64

รูปที่ 4 แสดงชั้นดินและน้ำหนักที่ถ่ายลงมาสู่เสาเข็มของฐานราก E1 และ A2 65

รูปที่ 5 การทรุดตัวเนื่องจากแรงฉุดที่ทำให้เกิดอัตรายที่อาคารแห่งหนึ่งบริเวณพระประแดง (ข้อมูลได้รับการเอื้อเฟื้อจากคุณเรืองวิทย์ บริษัท REC) 65

รูปที่ 6 การใช้ Protection pile ในการลดแรงฉุดในเสาเข็ม 68

- ปัญหาในการก่อสร้างห้องใต้ดิน

รูปที่ 1 Common types of braced cofferdams. 75

รูปที่ 2 Interior of a braced cofferdam. Countesy Spencer , White & Prentis. 76

รูปที่ 3 SUPPORT BY SHEET PILING AND RAKING SHORES 77

(a) First-stage excavation.

(b) Second-stage excavation.

รูปที่ 4 Illustration of bracing of cofferdams and pouring of concrete structures when against the piling. 77

รูปที่ 5 SEQUENCE OF CONSTRUCTION OF DEEP BASEMENT WITH SUPPORT BY ANCHORED DIAPHRAGM WALL 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6 CONSTRUCTION OF BASEMENT RETAINING WALLS BY DIAPHRAGM METHOD 79

รูปที่ 7 BORED PILE COFFERDAM INCORPORATED IN PERMANENT BASEMENT WALL 79

- ความเสียหายจากงานก่อสร้างฐานรากต่ออาคารข้างเคียง

รูปที่ 1a Failure zone and displacement pattern during an early and a latter stage of pile penetration in cohesive soil 84

รูปที่ 1b Soil movement around a mode pile driven into stiff artificial claay 84

รูปที่ 2 Pile displacement mechanism due to driving of adjacent piles (after Haherty,1969) 85

รูปที่ 3 Displacement of structures due to pile driving in plastic clay (after Bergfeldt,1968) 86

รูปที่ 4a บริเวณพื้นที่และปริมาณ Soil Heave เนื่องจากการตอกเข็มกลุ่ม 87

รูปที่ 4b อิทธิพลของความยาวและระยะห่างของเสาเข็มและสัดส่วนกว้างยาวของพื้นที่กลุ่มเข็มต่อสัดส่วน Soil Heave ภายในและภายนอกกลุ่มเข็ม 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5 ตัวอย่างการเกิด Heave และ Settlement ของอาคารข้างเคียงจากการตอกเข็มในดินเหนียวอ่อน 89

รูปที่ 6a Acceleration versus distance from the sheet pile (Daimatov et al 1968) 92

รูปที่ 6b Maximum anticipated peak particle velocily as function of scaled energy wo/r (Wiss 1982) 93

รูปที่ 7 Infiuence of pile impedance on peak particle velocity (Heckman and Hagerty 1978) 93

รูปที่ 8 95

รูปที่ 9 ตัวอย่างกำแพงกันดินชั่วคราวที่นิยมใช้ชนิดต่าง ๆ 96

รูปที่ 10 ระบบค้ำยันประเภทต่าง ๆ 103

รูปที่ 11 Methods of Basal Heave Analysis in Cohesive Soils (Clough et al, 1979) 105

รูปที่ 12 ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินในบริเวณใกล้บ่อขุดแบบมีค้ำยัน 107

รูปที่ 13 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของดิน กับ F.S. ต่อ Basal Heave และ Flexural Stiffness บนกำแพง (Clough,1982) 110

- การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของอาคาร

รูปที่ 1 SOIL PROFILE 119

รูปที่ 2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของชั้นดิน 119

รูปที่ 3 ความแข็งแรงของชั้นดิน 120

รูปที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ 121

รูปที่ 5 การไหลตัวของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ 121

รูปที่ 6 เส้นชั้นการทรุดตัวของดินรอบ ๆ อาคาร 122

รูปที่ 7 การทรุดตัวของอาคาร 122

รูปที่ 8 การเอียงตัวของอาคาร 123

รูปที่ 9 การเคลื่อนตัวของอาคารในแนวราบ 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

- การใช้เสาเข็มไมโครสำหรับงานอาคารในปัจจุบัน

รูปที่ 1 เครื่องเจาะดินกำลังเจาะดินด้วยระบบ Wash Boring ด้วยน้ำผสม Bentonite เพื่อเป็นการป้องกันผนังดินที่อยู่ระดับต่ำกว่า casing ขนาดรูเจาะ ⌀ 200 มม. ลึก 50.7 เมตร 128

รูปที่ 2 Bentonite ที่ล้นออกจากปาก casing จะถูกสูบกลับไปไว้ใน tank เพื่อนำกลับไปใช้งานต่อไป ที่เห็นในภาพเป็น submersible pump 128

รูปที่ 3 tank เก็บ bentonite ที่สูบกลับขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ 128

รูปที่ 4 หลังจากตรวจสอบความลึกของรูเจาะให้ได้ตามข้อกำหนดแล้วจึงเริ่มลงท่อเหล็กเสาเข็มไมโคร 129

รูปที่ 5 หลังจากลงท่อเหล็กเสาเข็มไมโครแล้ว ก็จะใส่ Grouting Rod ที่เห็นในภาพคือส่วนปลาย Grouting Rod ซึ่งประกอบด้วยยาง Packer ซึ่งเป็นตัวบังคับให้น้ำปูนออกตรง valve 129

รูปที่ 6 ต่อก้าน Grouting Rod จนถึงระดับ valve ที่ต้องการ สำหรับ First Grout จะใช้ Bottom valve จุดเดียว ส่วน Second Grout จะใช้ valve ที่เหลือ ซึ่งจะมีทั้งหมด 40 valve ระยะเวลาทิ้งช่วงระหว่าง First และSecond ประมาณ 8-10ชม. 129

รูปที่ .7 Plant สำหรับทำ Grouting Material เรียกว่า High-speed Mixer แล้วจัดส่งต่อไปยังเครื่องอัดน้ำปูน 130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 8 เครื่องอัดน้ำปูนใช้ในการทำ Grout 130

- วิธีการก่อสร้างชั้นใต้ดินโดยใช้ DIAPHRAGM WALL

รูปที่ 1 ขั้นตอนการก่อสร้าง เริ่มจากการใช้หัวขุด ขุดดิน-ถอดแผ่นเหล็กเปิดข้างออกหย่อน 133
เหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ ลงในหลุม และเทคอนกรีต

รูปที่ 2 ขอบแผ่น Diaphragm wall ที่เทคอนกรีตแล้วแสดงให้เห็นถึง Shear Key และ 133
Water Stop ทั้งชนิด ชั้นเดียวและสองชั้น

รูปที่ 3 กรณีที่ต้องการขุดดินลึก จนถึงชั้นล่างสุดภายในครั้งเดียวอาจจำเป็นต้องมีคานเหล็ก 133
ค้ำยันไว้บ้าง แต่จะเห็นว่าคานเหล็กมีจำนวนน้อยกว่าคานค้ำยันของ Sheet Pile มาก

รูปที่ 4 หัวขุด (Excuvation Clamshell) มีลักษณะเป็นปาก 2 ซีกใช้คีบงับดินขึ้นมา 134

รูปที่ 5 การก่อสร้างจากชั้นพื้นดิน ขุดไล่ลึกลงไปเรื่อย ๆ 134

รูปที่ 6 การหย่อนเหล็กเสริมที่ถูกเตรียมไว้ลงไปในหลุมที่เจาะเรียบร้อยแล้วก่อนการเท 135
คอนกรีต

รูปที่ 7 สภาพ Diaphragm Wall ที่ขุดดินออกแล้ว มีความเรียบร้อยมากเพียงแต่ฉาบ 135
ปูนที่ใช้เป็นกำแพงถาวรของตึกได้ และรอยต่อไม่มีน้ำรั่วซึมออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1 ขุดดินเป็นแนวยาวที่จะก่อสร้าง diaphragm wall ตามที่แบบก่อสร้างกำหนดไว้ โดยขุดดินให้มีความกว้างเพียงพอต่อการที่จะทำ guide wall ไว้ทั้งสองด้านของแนวที่จะทำ DIAPHRAGM WALL 136

รูปที่ 2 ทำ GUIDE WALL ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นแนวบังคับไว้ทั้งสองด้านของส่วนที่จะทำ DIAPHRAGM WALL เพื่อใช้บังคับหัวขุดเจาะดินซึ่งเป็นชนิด GRAB ให้ขุดได้ตรงแนวที่ต้องการ 136

รูปที่ 3 การขุดเจาะดินเพื่อทำ DIAPHRAGM WALL ตามแนวที่มี GUIDE WALL บังคับไว้ทั้งสองด้านทำให้แนวช่องที่ขุดเจาะอยู่ในตำแหน่งถูกต้องตามที่กำหนดไว้ 137

รูปที่ 4 หัวขุดเจาะชนิด GRAB ใช้รถเครนยกไปที่ตำแหน่งจะขุดและใช้ไฮดรอลิกส์บังคับในการตักดิน จนกว่าจะได้ความลึกที่กำหนด 137

รูปที่ 5 STOP END ELEMENT ใช้หยุดรอยต่อในการเทคอนกรีต DIAPHRAGM WALL ใช้ป้องกันการซึมผ่านของน้ำผ่านรอยต่อโดยตรงกลางแผ่นมี SLOT สำหรับติด WATER STOP 138

รูปที่ 6 การติดตั้ง STOP END ELEMENT เพื่อหยุดรอยต่อคอนกรีตของ DIAPHRAGM WALL เป็นช่างๆ ไป ตรงกลาง SLOT จะใส่ WATER STOP เพื่อป้องกันน้ำซึมผ่าน DIAPHRAGM WALL 138

รูปที่ 7 เหล็กเสริม DIAPHRAGM WALL ต้องออกแบบให้รับแรงทั้งสองทิศทาง คือน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร ซึ่งส่วนนี้จะลึกเท่ากับปลายเสาเข็มของอาคารซึ่งเรียกว่า BARRETE และส่วนที่รับแรงดันดินซึ่งเรียกว่า DIAPHRAGM WALL 139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 8 เหล็กเสริม DIAPHRAGM WALL ซึ่งมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากต้องใช้รถเครน 139
ยกลงไปในแนวซึ่งขุดเจาะดินไว้

รูปที่ 9 แล้วต่อแต่ละท่อนด้วยการเชื่อม เพื่อให้ได้ความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องทำให้รวด 140
เร็วเพราะถ้าใช้เวลามากจะเกิดตะกอนก้นหลุมมากกว่ามาตรฐานกำหนด

รูปที่ 10 การเทคอนกรีต DIAPHRAGM WALL เป็นการเทใต้น้ำ ลักษณะเดียวกันกับเสาเข็ม 140
เจาะขนาดใหญ่ ซึ่งมีสารละลายเบนโทไนท์เป็นตัวป้องกันการพังทลายของรูเจาะ

รูปที่ 11 สารละลายเบนโทไนท์ใช้ใส่ลงในหลุมเจาะ DIAPHRAGM WALL เพื่อป้องกันการ 141
พังทลายของรูเจาะ ต้องตรวจสอบคุณสมบัติให้ถูกต้องตามแนวมาตรฐานของการใช้งาน

รูปที่ 12 การถอน STOP END ELEMENT หลังจากเทคอนกรีตได้ระยะเวลาที่กำหนดด้วย 141
เครื่องไฮดรอลิกส์

รูปที่ 13 การติดตั้ง INCLINOMENTS เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของ DIAPHRAGM 142
WALL เนื่องจากแรงดันของดิน

รูปที่ 14 การทำ CAPPING BEAM ไว้ที่ขอบบนของ DIAPHRAGM WALL เพื่อหิ้วรั้ง 142
DIAPHRAGM WALL และโดยมี BARRATE เป็น SUPPORT

รูปที่ 15 หลังจากทำ CAPPING BEAM เสร็จแล้วสามารถเปิดหน้าดินเพื่อทำโครงสร้างใน 143
ส่วนที่อยู่ลงไปได้ดินได้ทีละชั้นตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพื้น

- พื้นสำเร็จรูป การใช้และการทดสอบความเสียหาย

รูปที่ 1 แผ่นพื้นแบบตง 146

รูปที่ 2 แผ่นพื้นระบบชั้นเดี่ยว 147

รูปที่ 3 แผ่นพื้นชิ้นส่วนประกอบ 149

รูปที่ 4 ลักษณะโมเมนต์ในแผ่นพื้นสำเร็จรูปเทผิวต่อเนื่อง 149

รูปที่ 5 การเชื่อมต่อระหว่างแผ่น 151

รูปที่ 6 โมเมนต์ดัดของแผ่นพื้นเชิงประกอบในระหว่างติดตั้ง 151

รูปที่ 7 กราฟแสดงการรับน้ำหนัก และการแอ่นตัวกลางช่วง 156

รูปที่ 8 ลักษณะการวิบัติจากการทดสอบ 157

บทที่ 5 การวิบัติอันเกิดจากแผ่นดินไหว

- แผ่นดินไหวกับอาคาร

รูปที่ 1 การกระจายของศูนย์แผ่นดินไหวขนาดต่างๆบนผิวโลก 1975-1981 172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 ระบบการรื้อถอนอาคารให้มีความปลอดภัย

- การวิวัฒนาการและความเหมาะสมของระบบการรื้อถอนอาคารคอนกรีต

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มวิธีการรื้อถอนอาคารคอนกรีต 217

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มตามหลักการปรักหักพัง 217

ตารางที่ 3(ก) การเปรียบเทียบวิธีการรื้อถอนแบบต่างๆ 218

ตารางที่ 3(ข) การเปรียบเทียบวิธีการรื้อถอนแบบต่างๆ (ต่อ) 219

บทที่ 8 ความทนทานของคอนกรีต

- โครงสร้างคอนกรีตที่มีความทนทาน

รูปที่ 1 ภาพที่เห็น เหล็กเสริมที่วางเข้าที่ดูเหมือนสะอาดตาเป็นระเบียบ ที่จริงยังไม่ถูกต้อง เพราะเหล็กพื้น (ตามลูกศรชี้) สั้นเกินไป มีความยาวไม่พอที่จะฝากเข้ากับเหล็กคานตัวใหญ่ 230

รูปที่ 2 การหลีกเลี่ยงการออกแบบโครงสร้างที่ซับซ้อน 230

รูปที่ 3. การออกแบบรูปร่างของโครงสร้างให้มีการระบายน้ำดี รวมทั้งการออกแบบบริเวณมุมให้เหมาะสมจะช่วยให้โครงสร้างคอนกรีตมีความทนทาน (a) ควรหลีกเลี่ยง (b) และ (c) เป็นแนวทางที่ควรปฏิบัติ 231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิบัติของโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่ เป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ซึ่งอาจส่งผลให้ตึกถล่ม สร้างความแตกตื่นให้กับผู้ประกอบธุรกิจการพัฒนาที่ดินหรือผู้ประกอบการก่อสร้าง ทำให้เกิดความไม่มั่นใจต่อความสามารถของวิศวกรไทยในการก่อสร้างให้ได้มาตรฐานสากลที่มีความมั่นคง แข็งแรง และปลอดภัยต่อผู้ใช้สอยหรือสาธารณะชน ในแง่ของชีวิตและทรัพย์สิน การวิบัติของอาคารในประเทศไทยมีปริมาณมากจนน่าตกใจจนสามารถที่จะประกันได้ว่าจะยังคงเกิดขึ้นต่อไปอีก เพราะฉะนั้นจึงควรจะมีการเก็บข้อมูลการวิบัติของอาคารจากหน่วยงานก่อสร้างต่างๆอย่างเพียงพอ เพราะความเสียหายในจุดที่เห็นว่าเล็กน้อยอาจก่อให้เกิดความเสียหายใหญ่หลวงตามมาได้

วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

ในการจัดทำโครงงานพิเศษเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาถึงสาเหตุการวิบัติของโครงสร้างในรูปแบบต่างๆที่ปรากฏตามการก่อสร้างจริง
2. วิเคราะห์ถึงการวิบัติของโครงสร้างอาคารว่าเป็นอย่างไร หลังจากวิบัติแล้วจะให้ผลอะไรตามมาบ้าง
3. หาวิธีแก้ไขหลังจากเกิดความเสียหาย
4. สรุปเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นอีก

ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

สาเหตุหลักของการวิบัติที่อาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการก่อสร้าง และในขั้นตอนการใช้งาน ในที่นี้จะเน้นการศึกษาการวิบัติของอาคารที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง โดยแบ่งแยกปัญหาที่จะศึกษาออกเป็นกลุ่มๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

จะทำการศึกษาโดยแยกหัวข้อที่จะทำการศึกษาดังนี้

1. STRUCTURAL PROBLEMS

2. SUBSTRUCTURE PROBLEMS

วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

ศึกษาโดยการเลือกพิจารณาตึกที่กำลังอยู่ในช่วงดำเนินการก่อสร้างในช่วงต่างๆกัน ซึ่งจะทำการศึกษาปัญหาการวิบัติของอาคารที่เกิดขึ้นจริงจากหน้างาน และสอบถามความคิดเห็นจากวิศวกร ผู้ควบคุมงาน หัวหน้าช่าง และช่างผู้มีประสบการณ์ในงานก่อสร้าง ทั้งในโครงการนั้นและโครงการที่ท่านเหล่านั้นเคยมีประสบการณ์มาก่อน ซึ่งบางท่านอาจมีประสบการณ์มานานถึง 20-30 ปี แล้วนำข้อมูลที่ได้มาแยกประเภท วิเคราะห์ถึงสาเหตุของการวิบัติของอาคาร ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้น และจะหาทางป้องกันได้อย่างไร เป็นความผิดพลาดของฝ่ายที่ทำการก่อสร้าง หรือวัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนเทคโนโลยีที่ใช้อาจจะไม่เหมาะสมที่จะทำการก่อสร้างในเมืองไทย นอกจากนั้นยังต้องศึกษาว่าที่เกิดความเสียหายขึ้นเนื่องจากความสำนึกและความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงานมีไม่เพียงพอหรือไม่ หลังจากนั้นก็นำมาหาข้อสรุปถึงแนวทางป้องกันการวิบัติในอนาคต

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จะได้นำข้อมูลเหล่านี้มาศึกษาอย่างละเอียดถี่ถ้วนก่อนที่โครงการจะเริ่มก่อสร้าง โดยทำการวางแผนอย่างมีระบบ แล้วหลังจากนั้นจึงทำการออกแบบและดำเนินการก่อสร้าง โดยออกแบบมาหลายๆวิธีแล้วเลือกอันที่ดีที่สุด ทำรายละเอียดก่อสร้างและพิจารณาวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม ทำงานเป็นทีม ศึกษาและวิจารณ์ทุกแง่ทุกมุมควบคู่กับการตรวจสอบทุกขั้นตอน และเมื่อทำรายละเอียดก่อสร้างจะต้องมีการประสานกันอย่างละเอียดจากทุกๆฝ่าย พอถึงขั้นตอนการก่อสร้างฝ่ายที่เกี่ยวข้องก็ต้องช่วยกันตรวจสอบอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ขบวนการเช่นนี้เชื่อว่าคงจะสามารถลดการวิบัติของอาคารได้บ้างไม่มากก็น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตึกถล่ม และการทรุดตัวของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถล่มของอาคารโรงงานคอนกรีตของบริษัทโพลีคุณสต๊ัพ

เมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2533 อาคารคอนกรีตสูง 5 ชั้นอยู่ในระหว่างการก่อสร้างเป็นโรงงานของบริษัทโพลีคุณสต๊ัพพ์ อยู่สุขุมวิทซอย 109 ต. สำโรงเหนือ อ. เมือง จ. สมุทรปราการ เกิดพังถล่มลง มีผู้เสียชีวิต 6 รายบาดเจ็บนับสิบ โดยในเบื้องต้นนี้ทางราชการได้สอบสวนพบว่าเกิดจากการต่อเติมอาคารจาก 3 ชั้นเป็น 5 ชั้นโดยพลการซึ่งในเรื่องนี้อยู่ในความสนใจของประชาชนทั่วไป และคิดว่าน่าจะมีบทลงโทษแก่ผู้ทำผิดให้สูงมากกว่าปัจจุบัน เพราะในความผิดตามกฎหมายเดิม เมื่อมีการต่อเติมโดยไม่ขออนุญาตมีโทษปรับเพียงวันละ 500 บาท และถ้าก่อสร้างโดยไม่ได้รับอนุญาตมีโทษปรับไม่เกิน 1 หมื่นบาท

ลักษณะอาคาร : เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบเสา-คาน พื้นเป็นระบบสำเร็จรูปชนิดรูกลวง เหล็กเสริมหลักของ เสา-คาน ส่วนใหญ่เป็นเหล็กข้ออ้อย SD-30 ขนาด ø 20 มม. เสริมปนอยู่บ้างที่คานด้านบนบริเวณหัวเสา เสาเท่าที่สำรวจพบมีขนาดประมาณ 0.25 x 0.40 ม. เสริมเหล็ก 6 ø 16 มม. และคานมีขนาดประมาณ 0.20 x 0.50 ม.

ลักษณะการถล่ม : ตัวอาคารทั้ง, 5 ชั้น ยุบลงมากองรวมกันโดยไม่ได้ล้มไปด้านใดด้านหนึ่ง

สาเหตุการถล่ม : การถล่มของอาคารอาจเกิดได้จาก 2 สาเหตุ ดังต่อไปนี้

1. เสาบริเวณกลางอาคารชั้นล่างรับน้ำหนักเกินกำลัง เกิดการแตกระเบิดและยุบตัว คานที่อยู่เหนือเสาดังกล่าวจึงเกิดดึงรั้งเสาข้างเคียงให้ล้มและหักถล่มลงมากองรวมกันตรงบริเวณกลางอาคาร ซึ่งจากการถล่มจะเห็นว่าตัวอาคารไม่ได้ถล่มเอียงออกนอกบริเวณตัวอาคารเลย

2. ฐานรากบริเวณกลางอาคารรับน้ำหนักเกินกำลัง เกิดการทรุดตัวทำให้เกิดการถ่ายน้ำหนักให้เสาต้นข้างเคียง ดังนั้น เสาต้นข้างเคียงจึงรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นจนถึงจุดวิกฤต แล้วเกิดการแตกระเบิดและยุบตัว คานที่อยู่เหนือเสาดังกล่าวจึงเกิดการดึงรั้งเสาข้างเคียงให้ล้มและหักถล่มลงมากองรวมกันตรงบริเวณกลางอาคาร

ข้อควรระวัง

ฐานรากและเสาเป็นส่วนโครงสร้างที่สำคัญมาก หากไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้จะเป็นสาเหตุทำให้อาคารถล่ม ดังนั้นในการออกแบบและก่อสร้างควรจะต้องพิถีพิถันให้มากสำหรับคาน-พื้น หากรับน้ำหนักไม่ไหวจะเกิดการแอ่นตัวให้เห็นและเหล็กเสริมก็ยังมีส่วนดึงไว้ไม่ถึงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พังลงมา

อุบัติภัยที่เกิดขึ้นกับอาคารที่ผ่านมา

7 กุมภาพันธ์ 2533 โครงอาคารชั้นเดียวของ บริษัท บีสเอเชีย จำกัด ถนนวิภาวดี แขวงลาดยาว เขตจตุจักร อยู่ระหว่างการทุบทิ้ง เกิดพังถล่มเนื่องจากคนงานไม่มีความรู้ไปทุบที่ฐานซึ่งเป็นตัวรับน้ำหนักโครงหลังคาก่อน ทำให้เกิดพังทลายของโครงสร้างขึ้น มีคนงานตาย 2 บาดเจ็บ 1

15 มกราคม 2533 ตึกธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด สาขาถนนเจ้าฟ้า อำเภอเมือง ภูเก็ต เป็นตึกอยู่ระหว่างก่อสร้าง เป็นอาคารคอนกรีต 4 ชั้น เกิดพังทลายลงในตอนกลางคืน เวลา 19.50 น. ไม่มีคนงานอยู่ในบริเวณดังกล่าว

13 เมษายน 2532 คานกันสาดชั้นดาดฟ้ายาว 30 เมตร และพนังด้านหน้าบนชั้น 4 ของอาคารบริญญาเยื้องหน้าห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลชิดลม อยู่ระหว่างการรื้อถอน เกิดพังทลายตกลงมาบนถนนและสะพานลอย มีคนตาย 1 บาดเจ็บ 2

12 ตุลาคม 2531 คูหาในหมู่บ้านปรางทองในซอยวัดคู้บอน ก.ม.8 ถนนรามอินทรา อยู่ในระหว่างการก่อสร้างได้ถล่มลงมา ไม่มีผู้บาดเจ็บเนื่องจากเป็นเวลา 02.00 น.

11 ตุลาคม 2530 โรงงานผลิตเหล็กเส้นประชาโลหะกิจ อยู่ระหว่างการก่อสร้างบนถนนกิ่งแก้วแยกจากถนนบางนา-ตราด อำเภอบางพลี สมุทรปราการ ได้ถล่มเนื่องจากฐานรากตัวตึกเล็กเกินไป ผลอุบัติเหตุมีคนงานก่อสร้างตาย 2 บาดเจ็บ 7

27 มิถุนายน 2530 ตึกร้างซอยโรงงานอายิโน๊ะโม๊ะโต๊ะ ต. บางครุ พระประแดง สมุทรปราการ ยุบถล่มมีผู้เข้าไปอาศัยพักชั่วคราว 20 คน แต่ไม่มีผู้เสียชีวิต

1 มีนาคม 2527 อาคารก่อสร้างเป็นโรงแรมใกล้หมู่บ้านอยู่เจริญกับนิวอาศกวิลล่า ทาวน์เฮ้าส์ ถนนรัชดาภิเษกพังทลายลง เนื่องจากความเร่งด่วนของการก่อสร้างอย่างผิดขั้นตอน มีผู้เสียชีวิต 4 บาดเจ็บ 1

19 พฤศจิกายน 2526 โรงงานกล่องเพชรไทย อยู่ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา ปทุมธานี เป็นอาคารคอนกรีต 4 ชั้นถล่มลงมามีคนงานเสียชีวิต 29 คนบาดเจ็บ 46 คน สาเหตุตึกถล่มครั้งนี้เกิดจากการต่อเติมอาคารผิดแบบ ทำให้ฐานรากไม่สามารถรับน้ำหนักได้ ประกอบกับการใช้วัสดุไม่ได้มาตรฐาน ขณะเกิดเหตุกำลังก่อสร้างต่อเติมชั้นที่ 4 ก่อนหน้านี้ เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้เคยมาตรวจและทักท้วงไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถล่มของอาคารจอดรถห้างคลังพลาซ่า

ข้อมูลพื้นฐาน

อาคารจอดรถดังกล่าวมีขนาดประมาณ 30 x 63 เมตร เป็นอาคารจอดรถชนิดแยกระดับ (Split Level) อาคารด้านที่เกิดเหตุเป็นลักษณะอาคารยาวมีเสา 2 แนว ช่วงคานภายใน 9.60 ม. และ มีคานยื่นยาว 4.30 เมตร ทั้งสองข้างโครงสร้างเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.60 x 1.00 เมตร คานทั้งช่วงภายในและคานช่วงยื่น เป็นคานเหล็ก WF 400 x 400 x 20 mm. ทำเป็น Haunch Beam ด้วยเหล็ก WF 400 x 400 x 20 ตัดเป็นรูปสามเหลี่ยม ปลายของคานยื่นมีคานเหล็กประมาณ I 200 x 200 ค้ำตลอดความยาวอาคารและใช้เหล็กเส้น 25 mm. ห้อยยึดที่ปลายคานยื่นจากชั้นบนสุดลงมาทุกชั้นจนถึงชั้นที่สอง ระบบพื้นเป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปชนิดกลวง (Hollow Core Slab) ยาว 9.00 เมตร วางบนคานเหล็กดังกล่าว

ก่อนเกิดเหตุ การก่อสร้างได้ดำเนินไปถึงชั้นที่ 8 โดยได้วางพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปทั้งหมดแล้ว เฉพาะพื้นช่วงภายในได้เทคอนกรีตทับหน้าเรียบร้อยแล้ว ส่วนบริเวณคานยื่นมีเพียงแค่การวางพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปไว้ ยังไม่ได้เทคอนกรีตทับหน้าหนา 5 ซม. ที่พื้นบริเวณคานยื่น น้ำหนักคอนกรีตทับหน้า หนา 5 ซม. นี้ ทำให้คานเหล็กชั้นสองหลุดออกจากเสาคอนกรีตก่อนหลังจากนั้นคานเหล็ก I 200 x 200 ที่ค้ำระหว่างปลายของคานยื่นตลอดความยาวอาคารและเหล็กเส้น 25 mm. ที่ห้อยติดกับคานชั้นที่สูงขึ้นไปได้ดึงคานยื่นชั้นที่สอง, ชั้นที่สาม และชั้นที่สี่พังตกลงมากองที่พื้นชั้นล่าง จำนวนรวม 2 คาน โดยคานเหล็กทุกตัวรอยต่อขาดหลุดออกจากเสาคอนกรีตและแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปตกลงมาทับคนงานที่ทำงานด้านล่างตายและบาดเจ็บดังกล่าว

ข้อสันนิษฐาน

จากการตรวจสอบในสถานที่เกิดเหตุพบสาเหตุดังนี้

1. คานเหล็กที่ชั้นสองตัวแรกที่หลุดจากเสานั้น เป็นการเชื่อมต่อภายหลังจากการเทคอนกรีตเสาไปเรียบร้อยแล้ว โดยวิธีการเจาะคอนกรีตผิวหน้าออกแล้วเชื่อมเหล็กเสริมยืน (Vertical Reinforcement) ของเสาจำนวน 2 เส้น เข้ากับเหล็กแผ่นหนา 12 มม. ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อลักษณะนี้ไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม คานยื่นจะไม่สามารถรับน้ำหนักได้เพียงพอ เหล็กเสริมยืนสองเส้นดังกล่าวจึงถูกดึงยืดออกมา และรอยเชื่อมที่ติดกับแผ่นเหล็กขาดตลอดแนว

2. คานเหล็กตัวอื่นทั้งที่ถูกดึงให้พังทลายลงมาและที่ยังไม่พังทั้งหมดของอาคาร ใช้วิธีต่อเชื่อมกับเสาโดยใช้เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25-28 มม. จำนวน 8 เส้น ฝังในเสาคอนกรีตและเชื่อมต่อกับเหล็กแผ่นขนาด 450x900x12 มม. ด้วยวิธีเจาะรูบนเหล็กแผ่นให้โตกว่า 25 มม. แล้วเชื่อมต่อกับปลายเหล็กเส้นที่ฝังไว้ในเสาและแผ่นเหล็ก ดังกล่าวถูกเชื่อมติดกับเหล็กคาน WF 400 x 400 x 20 mm. อีกทีหนึ่งการเชื่อมดังกล่าวไม่แข็งแรงเพียงพอการพังทลายจึงเกิดจากรอยต่อเชื่อมระหว่างเหล็กเส้นกับเหล็กแผ่นฉีกขาด ทำให้คานเหล็กหลุดจากเสาคอนกรีต

ข้อเสนอแนะและวิธีป้องกันปัญหา

1. เนื่องจากอาคารดังกล่าวมีรอยต่อระหว่างเสากับคานไม่ถูกต้อง และไม่แข็งแรงเพียงพอ อาจจะเกิดการพังทลายได้เมื่อเปิดใช้งาน จึงต้องมีการเสริมความแข็งแรงที่รอยต่อระหว่างเสาและคานทั้งหมด (อาคารจอดรถ) เพื่อให้รอยต่อสามารถรับแรงเฉือนและแรงดัด (Moment) ได้ ทั้งนี้จะต้องได้รับการคำนวณออกแบบแก้ไขและควบคุมงานโดยวิศวกรผู้ชำนาญการโดยเฉพาะ

2. วิศวกรผู้คำนวณออกแบบ ควรคำนวณออกแบบรอยต่อโดยใช้สลักเกลียวกำลังสูง (High Strength bolt and Nut) มากกว่าการใช้การเชื่อมต่อกับเหล็กเส้น ซึ่งมีกำลังต่ำกว่ามากและควบคุมการเชื่อมให้มีคุณภาพดีได้ยากลำบาก

3. อาคารจอดรถนี้ไม่มีคานยึดโยงตลอดแนวตามยาวของอาคาร (Longitudinal bracing Beam) และผิวบนของคานเหล็กก็ไม่มี Shear Key เพื่อให้พื้นกับคานยึดติดกัน อันอาจจะทำให้อาคารมีปัญหาได้ในอนาคต ควรได้รับการแก้ไข

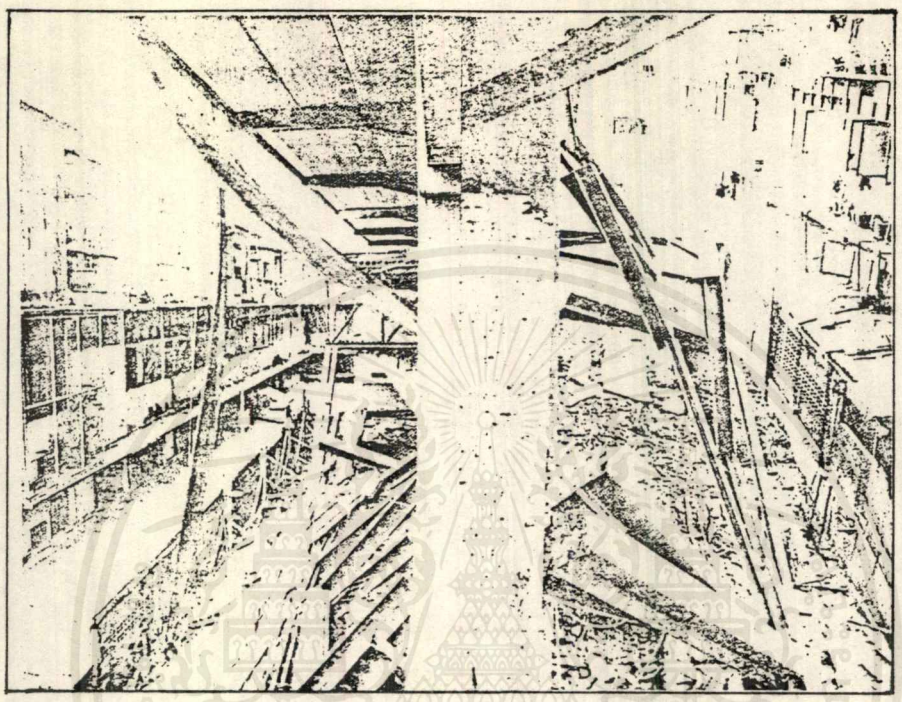
บทสรุป

กรณีอาคารจอดรถห้างคลังพลาซ่าพังทลายเหตุเกิดที่ถนนจอมสุรางค์ จังหวัดนครราชสีมา เมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2534 เวลาประมาณ 16.50 น. อันเป็นเหตุให้พนักงานคนงานก่อสร้างเสียชีวิต 1 ศพ บาดเจ็บ 2 คน

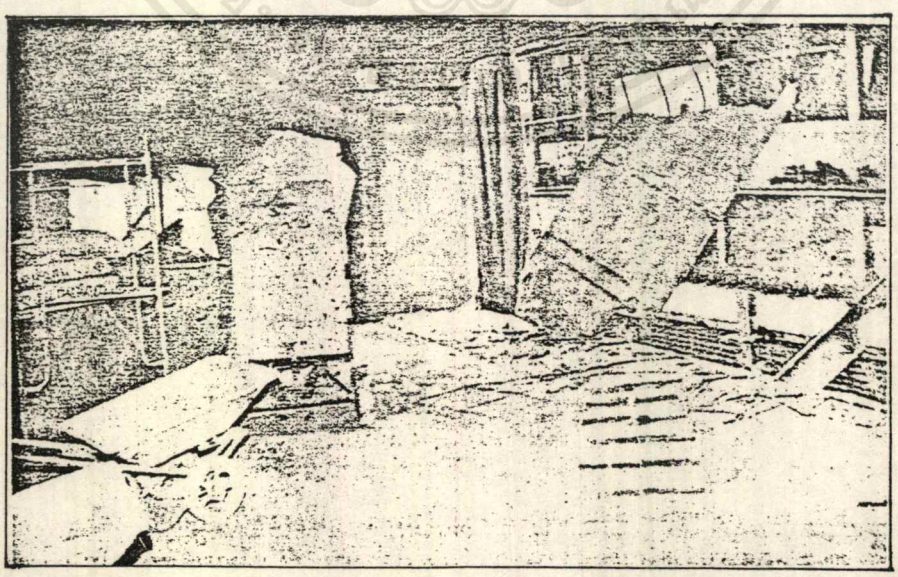
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

รูปที่ 1 แสดงการพังทลายเริ่มต้นจากคานที่ชั้นสองหลุดออกจากเสาและดึงให้คานชั้น 3 และ 4 หลุดตกลงมาด้วยพร้อมกับแผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดกลวง ซึ่งยังไม่ได้เทคอนกรีตทับหน้า (Topping)



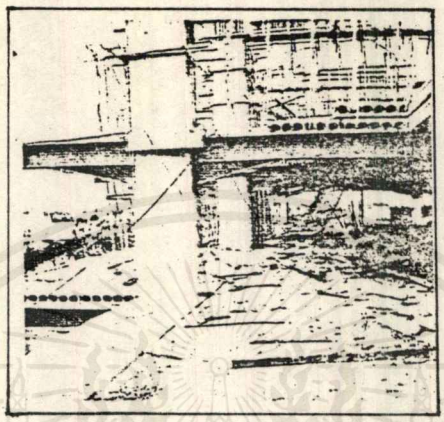
รูปที่ 2 แสดงบริเวณที่กำลังเทคอนกรีตทับหน้าหนา 5 ซม. โดยใช้เครื่องผสมปูนด้วยมือ



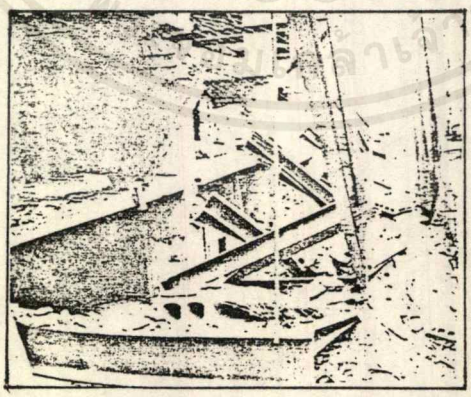
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032519

รูปที่ 3 แสดงลักษณะโครงสร้างอาคาร มีเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 แนว และใช้คานเหล็ก WF 400 x 400 x 20 มม. เป็นทั้งคานภายใน (Span 9.60 ม.) และคานยื่น (Span 4.30 ม.)

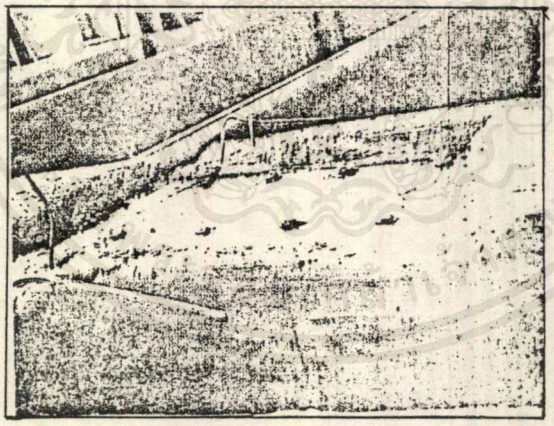


รูปที่ 4 แสดงพื้นชั้นสองบริเวณที่กำลังเทคอนกรีตทับหน้าหนา 5 ซม. ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการพังทลาย จะสังเกตได้ว่าคานชั้นสองที่ยังห้อยคาอยู่ ใช้วิธีการเชื่อมคานเหล็กเข้ากับเหล็กเสริมยื่นในเสาโดยตรง ซึ่งไม่ถูกต้อง และจะไม่สามารถรับแรงได้เลยเพราะเหล็กยื่นในเสาจะถูกดึงให้ยืดออกดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กกับคานเหล็ก โดยทั่วไปใช้เหล็กเส้นขนาดประมาณ 25-28 มม. จำนวน 8 เส้น ฝังในเสาคอนกรีตและเชื่อมเข้ากับเหล็กแผ่นหนา 12 มม. ซึ่งถูกเชื่อมติดกับคานเหล็กไว้แล้ว รอยต่อระหว่างเสากับคานเหล่านี้แข็งแรงไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการขาดที่รอยเชื่อมทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทรุดตัวของทาวน์เฮ้าส์
ใน หมู่บ้านจิรธร

ตามที่ทาวน์เฮ้าส์ในหมู่บ้านจิรธร ถนนสุขาภิบาล 3 เขตบึงกุ่ม กทม. ได้เกิดการทรุดตัวเอียงลงทั้งแถวเมื่อ 24 เมษายน 2534 นั้น ขอสรุปดังนี้

ลักษณะอาคาร

ทาวน์เฮ้าส์ที่เกิดเหตุเป็นอาคาร 2 ชั้น สร้างติดต่อกันเป็นแถวประมาณ 20 คูหา โดยแต่ละหลังกว้าง 4 เมตร ลึก 14.3 เมตร หลังคามุงกระเบื้องลอนคู่ พื้นอาคารเป็นพื้นสำเร็จรูประบบ DOUBLE TEE วางบนคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ระดับพื้นชั้นล่างยกสูงจากระดับดินเดิมประมาณ 1.20 เมตร โดยที่มีตอม่อลอยเหนือหลังฐานรากถึงใต้ท้องคานชั้นแรกยาวประมาณ 1.20 เมตร ฐานรากใช้เสาเข็มเดี่ยวขนาด I-18 ยาว 15 เมตร (สองท่อนต่อ) อาคารสร้างเสร็จแล้วประมาณ 4 เดือน ขณะเกิดเหตุมีผู้เข้าอยู่อาศัยบ้างแล้ว โดยย้ายเข้าได้ประมาณ 20 วัน รั้วคอนกรีตบล็อคด้านหลังอาคารก่อวางบนแผงคอนกรีตเสริมเหล็กกันดินที่รองรับด้วยคานคอนกรีตเสริมเหล็กยาว 2.3 เมตร ยื่นออกจากแนวเสาช่วงท้ายสุดของอาคาร (ตามรูปประกอบ)

ทาวน์เฮ้าส์หลังที่มีผู้เข้าอยู่อาศัยแล้วมักมีการต่อเติม โดยการทำหลังคาเบาจากระดับพื้นชั้นสองยื่นคลุมด้านหน้าและด้านหลังอาคาร เฉพาะด้านหลังอาคาร มักมีการก่ออิฐต่อจากรั้วคอนกรีตบล็อคเดิมขึ้นไปจรดหลังคาคลุม

ความเสียหาย

ทาวน์เฮ้าส์ที่เกิดการทรุดตัวเสียหายรวมทั้งสิ้น 18 หลัง ตั้งแต่บ้านเลขที่ 7/311 ถึง 7/338 การทรุดตัวมากที่สุดพบที่บ้านเลขที่ 7/321 ถึง 7/325 ซึ่งอยู่ประมาณกึ่งกลาง โดยตัวอาคารทรุดและเอียงไปทางด้านหลัง วัดการทรุดตัวได้สูงสุดประมาณ 1.20 เมตร เป็นเหตุให้โครงสร้างและผนังแตกร้าวเสียหายจนอยู่ในสภาพไม่สามารถใช้งานต่อไปได้

จากการสอบถามผู้อยู่อาศัยได้ความว่า ก่อนวันเกิดเหตุมีฝนตกหนักเป็นเวลาสองวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดต่อกันในวันเกิดเหตุตอนเช้าตรู่ก่อนออกจากบ้านพบว่าประตูห้องเปิดลำบากมาก และเมื่อเปิดออกแล้วปิดกลับไม่ได้ การทรุดตัวมากเริ่มเกิดในช่วงสายประมาณ 10.00 น. และกินเวลานานประมาณเกือบ 2 ชั่วโมง กว่าการทรุดตัวจะหยุด

สาเหตุของการวิบัติ

จากการตรวจสอบที่เกิดเหตุ พบว่าการทรุดตัวเกิดเนื่องจากการวิบัติของฐานรากอาคาร ซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุใหญ่ได้สองสาเหตุ คือ ประการแรก กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มไม่สามารถทานน้ำหนักตัวอาคารที่ถ่ายลงเข็มได้ และประการที่สอง คือ ระบบฐานรากซึ่งประกอบด้วยเสาเข็มฐานราก และตอม่อไม่สามารถรับแรงต่าง ๆ ที่เกิดจากการถ่ายน้ำหนักจากเสาอาคารลงสู่เสาเข็มได้

จากการพิจารณาสภาพดินและโครงสร้างอาคารที่สามารถตรวจสอบได้ ทั้งก่อนและระหว่างการทุบรื้อ คณะกรรมการฯ ขอตั้งข้อสังเกตเกี่ยวกับสาเหตุเป็นไปได้ที่อาจเป็นตัวการนำไปสู่การวิบัติของฐานรากอาคารดังกล่าว ดังนี้ คือ

1. การประมาณน้ำหนักพบว่าน้ำหนักชิ้นส่วนอาคารในสภาพเดิมก่อนต่อเติม ที่ถ่ายจากเสาลงสู่ฐานรากตัวในสุดมีขนาดราว 18 ตันต่อฐาน น้ำหนักบรรทุกปกติจะอยู่ประมาณ 3 ตัน รวมน้ำหนักทั้งหมด 21 ตัน ในขณะที่เสาเข็มเดี่ยวขนาด I-18 ยาว 15 เมตร จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสุดขีด สำหรับสภาพดินทั่วไปบริเวณกรุงเทพฯ ได้ไม่เกินประมาณ 22-25 ตัน ซึ่งตามมาตรฐานจะออกแบบให้รับน้ำหนักปลอดภัยได้ไม่เกิน 8 ถึง 12.5 ตันต่อต้นเท่านั้น ดังนั้นเสาเข็มมีส่วนปลอดภัยต่ำมาก หากอาคารมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการต่อเติม เสาเข็มอาจวิบัติได้ง่าย

2. การที่ฝนตกหนักติดต่อกันจนทำให้เกิดน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน จะทำให้ชั้นดินบริเวณใกล้ผิวดินค่อย ๆ อ่อนตัว และสูญเสียกำลัง ซึ่งจะทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงได้ส่วนหนึ่ง

3. การก่อสร้างด้านหลังอาคารชิดลำรางสาธารณะ ซึ่งขณะตรวจสอบถูกดินถมกลบทับจนไม่ปรากฏร่องรอยของลำรางเดิม โดยธรรมชาติดินบริเวณลำรางและบริเวณใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มักเป็นดินเลนหรือดินอ่อน ซึ่งอาจมีส่วนทำให้เสาเข็มรับน้ำหนักได้น้อยกว่าปกติ

4. การถมดินชิดบริเวณด้านหลังอาคาร สูงจากดินเดิมประมาณ 1.2 เมตร จะเป็นการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มส่วนหนึ่ง นอกจากนั้นน้ำหนักดิน น้ำหนักเครื่องจักรและแรงสั่นสะเทือนจากการบดอัด อาจทำให้ดินซึ่งอ่อนตัวอยู่แล้วเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างเข้าหาบริเวณอาคารดันเสาเข็มซึ่งเป็นเข็มขนาดเล็กชนิดสองท่อนต่อ และตอม่อยาวลอยเหนือพื้นดิน อาจทำให้ข้อต่อหรือหัวเสาเข็มขยับเคลื่อนตัวจากตำแหน่งเดิมได้ง่าย อันจะส่งผลให้ระบบฐานรากมีกำลังรับน้ำหนักลดลงส่วนหนึ่งด้วย อนึ่งการตรวจสภาพพบว่า ไม่มีร่องรอยแตกแยกที่ผิวดินถมข้างอาคารหรือดินอุดใต้พื้นอาคาร ซึ่งเป็นการระบุว่าการเคลื่อนตัวของดินจากดินถมมิได้เกิดขึ้นในระหว่างการทรุดตัวของอาคาร จากปากคำของชาวบ้านทราบว่าการถมดินบริเวณหลังอาคารได้ทำการก่อนการก่อสร้างอาคารใกล้แล้วเสร็จประมาณ 2 เดือน

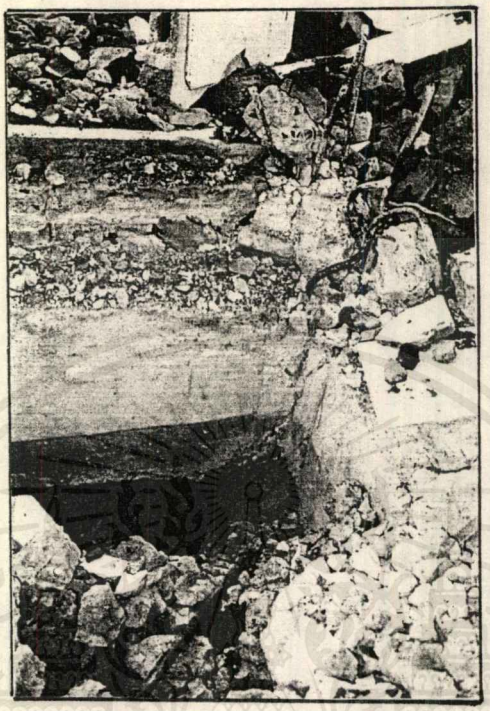
5. การตอกเสาเข็มไม่ตรงตำแหน่งหรือเสาเข็มเคลื่อนตัว เนื่องจากแรงดันดินที่เกิดขึ้นก่อนการหล่อคานชั้นหนึ่งยึดรั้งตอม่อ อาจเป็นสาเหตุให้เสาอาคารและเสาเข็มไม่ตรงศูนย์กัน ถ้ามิได้ทำการแก้ไขดีพอแล้วฐานรากอาจจะวิบัติ โดยตอม่ออาจหลุดจากหัวเสาเข็ม หรือเอนจากเสาอาคารเมื่อฐานรากเกิดวิบัติตัวหนึ่ง น้ำหนักอาคารจะถ่ายไปตัวข้างเคียงเหนี่ยวรั้งดึงอาคารให้เอียงลงตามกันจากการตรวจสอบพบว่า ตอม่ออาคารห้องกลางบริเวณที่มีการทรุดตัวเกิดขึ้นสูงสุด มีลักษณะเอียงและเยื้องจากตำแหน่งเสามาก โดยที่ไม่ปรากฏลักษณะชี้ว่ามีการดัดแปลงแก้ไขโครงสร้างตอม่อหรือฐานรากใด ๆ

ข้อแนะนำ

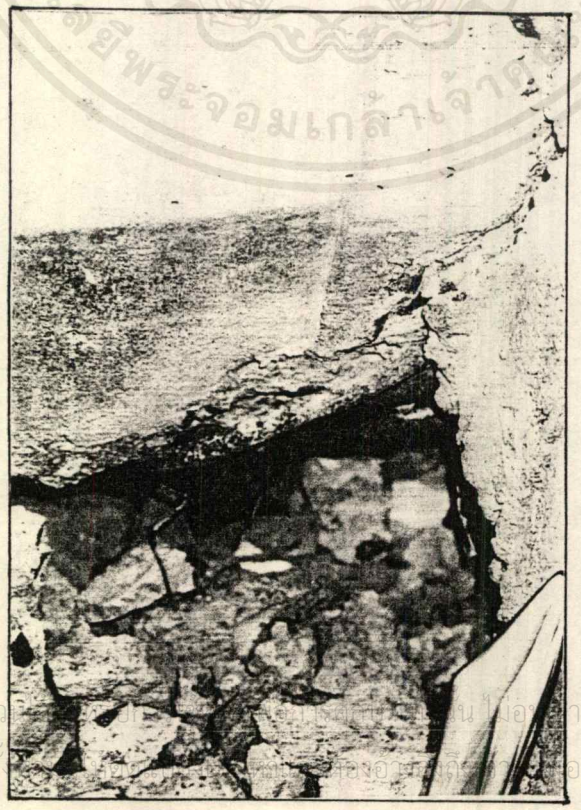
การออกแบบฐานรากจำเป็นต้องมีการคำนวณและตรวจสอบน้ำหนักอาคารและบรรทุกให้ดีพอ ตลอดจนเลือกขนาดและจำนวนเสาเข็มให้เพียงพอตามสัดส่วนปลอดภัยที่เหมาะสม นอกจากนั้นควรใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดินมาประกอบพิจารณา เพื่อให้มั่นใจว่าเสาเข็มมีความมั่นคงเพียงพอ ในขั้นตอนก่อสร้างผู้ควบคุมงานต้องเอาใจใส่ดูแลการตอกเข็มเป็นพิเศษ เพื่อลดปัญหาเสาเข็มเยื้องศูนย์ โดยเฉพาะฐานรากเข็มเดี่ยวที่อาจเกิดจากความบกพร่องในการตอกเข็มหรือปัญหาดินดันจากการถมหรือขุดดิน เพราะกำลังรับน้ำหนักของฐานรากเสาเข็มเยื้องศูนย์จะลดต่ำกว่าที่ควรจะเป็นมาก เสาเข็มที่เกิดการเยื้องศูนย์ทุกต้นต้องทำการออกแบบแก้ไขฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งตอม่อ เยื้องศูนย์จากตำแหน่งเสาเข็มอย่างมาก

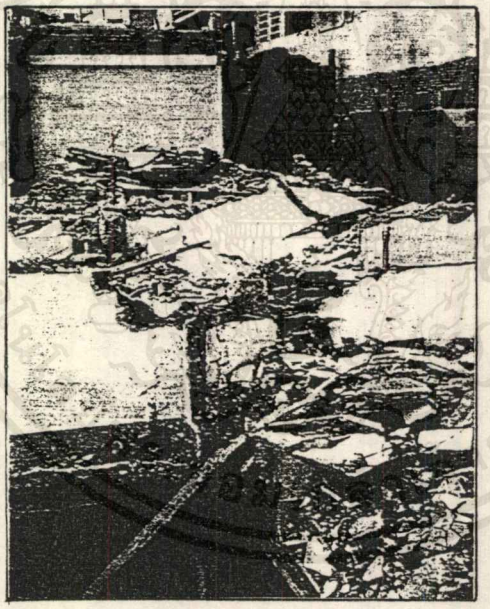


รูปที่ 2 ภาพ CLOSE UP ของรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า เหล็กยืนเสาถูกพับใต้คานเข้าหาตำแหน่งตอม่อที่เยื้องศูนย์ สภาพรอยแตกเก่าบริเวณเหล็กเมื่อเปรียบเทียบกับรอยแตกใหม่ที่จุดต่อคานเหนือขึ้นมาบ่งว่า เหล็กอาจถูกพับก่อนในช่วงเวลาก่อสร้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง ... ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แสดงลักษณะการเอียงตัวอย่างมากของตอม่อเสาช่วงในของอาคาร การที่ไม่มีรอยแตกปรากฏที่จุดต่อระหว่างหัวต้อม่อ และใต้คานแสดงว่า การเอียงตัวเกิดขึ้น เนื่องจากการก่อสร้างมิใช่เป็นเพราะอาคารทรุดตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทรุดตัวของพระที่นั่งอนันตสมาคม

พระที่นั่งอนันตสมาคม เป็นอาคารที่ใช้เป็นที่ประดิษฐ์สถานแห่งเศวตฉัตร นับได้ว่าเป็นอาคารที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของประเทศไทย สร้างขึ้นในรัชกาลของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาจุฬาลงกรณ์ พระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เมื่อปี พ.ศ.2450 โดยนายช่างชาวอิตาลีชื่อ นาย ซี.อาร์เกรี, นายอี.มิกโล เป็นวิศกร, นายแอมตามาโบ, นายเอริโกตี เป็นนายช่างแบบ ใช้เวลาก่อสร้าง 8 ปีเต็ม สิ้นค่าก่อสร้างประมาณ 15 ล้านบาท สมัยนั้น ลักษณะสถาปัตยกรรมจึงออกมาในรูปแบบอิตาลี ยุคเรเนอซอง แปลนมีลักษณะเป็นรูปไม้กางเขน นั่นคือ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว ตัดด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้าสั้น ที่ปลายด้านหนึ่งเป็นมุมฉาก บริเวณที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งสองตัดกันจะมีโดมใหญ่อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยโดมเล็ก 6 โดมและปล่อยให้ด้านที่เหลือด้วยโดมเล็ก 6 โดม และปล่อยให้ด้านที่เหลือเป็นส่วนยาวของสี่เหลี่ยมผืนผ้า วัดส่วนที่กว้างที่สุด ยาวที่สุด และสูงที่สุดของอาคารได้ 49.5 x 112.5 x 49.5 เมตรตามลำดับ และส่วนแคบที่สุดวัดได้ 19.00 เมตร

พระที่นั่งฯ สร้างเป็นอาคาร 2 ชั้น มีห้องใต้ดิน ประมาณว่ามีฐานอยู่ลึกจากระดับพื้นดิน 3.50 เมตร โครงสร้างส่วนใหญ่ของอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนหลังคาประกอบด้วยกระเบื้องที่ทำด้วยส่วนผสมของทองแดง กรุภายนอกอาคารโดยรอบด้วยหินอ่อนจากอิตาลี ส่วนฐานรากเป็นฐานแผ่ลอยโดยมีเสาเข็มเจาะลึกประมาณ 8.00 เมตร ช่วยเน้นให้การทรงตัวทางแนวดิ่งมีความแข็งแรงและมีเสถียรภาพยิ่งขึ้น ภายในห้องใต้ดินยังมีกำแพงกั้นเป็นช่อง ๆ เชื่อมโยงจากฐานรากแผ่ไปถึงพื้นชั้นที่ 1 และเสาต่อเนื่องกันไป เพื่อช่วยให้ฐานรากนี้มีความแข็งแรงด้วยลักษณะแผ่นฐานที่แข็งแรง ด้วยลักษณะแผ่นฐานที่แข็งแรงมากนี้

ผู้ออกแบบอาคารนี้ทราบดีถึงลักษณะดินอ่อนของกรุงเทพฯ เป็นอย่างดี จึงได้ดำเนินการก่อสร้างฐานรากประเภทนี้ อย่างไรก็ตาม หลังจากที่ใช้เวลาประมาณ 8 ปี (2450-2458) ทำการก่อสร้างองค์พระที่นั่งอนันตสมาคมจนแล้วเสร็จ พื้นที่น้ำหนักกดต่อตารางเมตรของตัวอาคารโดยเฉลี่ยประมาณ 6 ตัน ซึ่งฐานรากแบบนี้ จากการคำนวณโดยใช้ลักษณะรูปร่างฐานรากและกำลังวัสดุของดิน พบว่าความสามารถของดิน (Allowable Bearing Capacity) ประมาณ 6 ตัน ต่อตารางเมตรเช่นกัน โดยใช้ F.S. = 3 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวอาคารตั้งอยู่บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินอ่อนทั้งหมด เชื่อว่า ขณะก่อสร้างถึงระยะเวลาหนึ่ง ตัวอาคารจะเริ่มทรุดลง และภายหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จการทรุดตัวจะเพิ่มขึ้น ในระยะแรกจะมีอัตราการทรุดตัวลดลงเป็นลำดับ ในระยะต่อมาจนกระทั่งในระยะหลังนี้ปรากฏว่ามีน้ำหนักของน้ำที่ไหลเข้าไปอยู่ในห้องใต้ดินสูงประมาณ 2.50 เมตร ซึ่งทำให้ตัวอาคารทรุดลงอีก

จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2518 เป็นต้นมา ซึ่งมีทั้งการวัดการทรุดตัวขององค์พระที่นั่งและการเจาะสำรวจดินโดยรอบอาคารได้พบว่า การทรุดตัวหลังจากการสูบน้ำออกจากห้องใต้ดินแล้ว และมีน้ำฝนไหลเข้าไปในห้องใต้ดินเมื่อเวลาฝนตกบ้าง อัตราการทรุดตัวในทางดิ่งยังดำเนินต่อไป จากการวัดพบว่าประมาณ หนึ่งมิลลิเมตรต่อเดือน จากการสำรวจชั้นดินได้พบว่าส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวมีความชื้นลงตามความลึก ชั้นดินบริเวณโดยรอบอาคารในระยะความลึกประมาณ 12.00 เมตร เป็นชั้นดินอ่อนมาก ระยะความลึก 12.00 - 18.00 เมตรเป็นดินอ่อนปานกลางและระยะความลึกจาก 18.00 - 25.00 เมตร เป็นชั้นดินแข็ง สำหรับชั้นทรายพบในระยะความลึกประมาณ 25.00 เมตร ลงไป ชั้นดินบริเวณอาคารเป็นชั้นดินที่ค่อนข้างจะสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้องค์พระที่นั่งฯ ไม่มีการเอียง เพราะเมื่อมีชั้นดินที่สม่ำเสมอเช่นนี้ทำให้ลักษณะการทรุดตัวของอาคารสม่ำเสมอไปทั่วทั้งอาคารในส่วนที่มีฐานรากเหมือนกัน

เมื่อสำรวจรายงานจากการทรุดตัวของอาคาร และข้อมูลจากการสำรวจดิน เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ทั้งขนาด ชนิด และความลึกฐานรากแล้ว พอจะกล่าวได้ว่า น้ำหนักของอาคารทั้งหมดต่อพื้นที่ของฐานรากอาคารมีค่าใกล้เคียงกับความสามารถของดินที่จะรับน้ำหนักกด โดยส่วนหนึ่งของแรงดันของฐานรากชนิดแผ่ลอยจะรับ และอีกส่วนหนึ่งเป็นแรงที่รับโดยเสาเข็ม ซึ่งจะได้แรงเฉือนรอบ ๆ เสาเข็ม อย่างไรก็ตาม ฐานรากทั้งหมดยังอยู่ในชั้นดินอ่อน ดังนั้นการทรุดตัวของอาคารจึงประกอบด้วยลักษณะการทรุดตัว ดังนี้คือ ระยะแรกขณะทำการก่อสร้างถึงระยะหนึ่งของการก่อสร้างดินจะเกิดการคอนโซลิเดชั่น (Consolidation) และระยะหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ น้ำหนักอาคารเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งใกล้เคียงกับน้ำหนักที่ดินสามารถรับได้ตามทฤษฎี จะเป็นการทรุดตัวแบบจม ซึ่งเรียกในด้านวิชาการว่า Punching Shear ซึ่งเป็นลักษณะการทรุดตัวที่เกิดขึ้นต่อเนื่องระยะแรก ส่วนลักษณะการทรุดตัวหลังจากนั้น เกิดขึ้นในลักษณะทั่ว ๆ ไปของดินอ่อน คือ การทรุดตัวในแบบที่เรียกว่าเกิดจากการคอนโซลิเดชั่น ของชั้นใต้ดินเท่านั้น

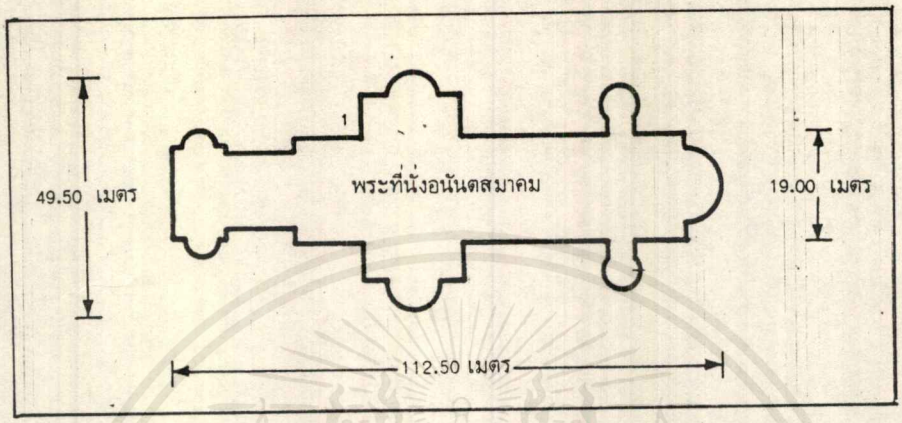
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการทรุดตัวทั้งสองลักษณะนี้เกิดขึ้นในเวลาค่อนข้างพร้อมกัน แต่การทรุดตัวแบบจมของตัวอาคาร เพิ่มเสถียรภาพในการทรงตัว และยังผลให้เกิด คอนโซลิเดชั่น จากน้ำหนักกดที่เกิดขึ้น ทำให้กำลังวัสดุของดินจะเพิ่มขึ้นรอบ ๆ ฐานรากนั้น แต่ยังมีสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาคารยังมีการทรุดตัวดำเนินอยู่ คือ น้ำหนักกดดันเนื่องจากน้ำหนักในชั้นใต้ดินบ้าง น้ำหนักจรบ้าง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ จึงทำให้ดินเหนียวใต้ฐานรากมีการคอนโซลิเดชั่น ดังนั้นการทรุดตัวยังดำเนินต่อไป แต่จะน้อยลงทุกที ถ้าสามารถป้องกันการเพิ่มน้ำหนักในตัวอาคารได้อย่างน้อย 2-3 ตันต่อตารางเมตร น้ำหนักกดที่เพิ่มขึ้นบนฐานรากนี้มีค่าประมาณ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกดเดิมของตัวอาคารอย่างเดียว ดังข้อมูลที่มีอยู่และได้อธิบายในเบื้องต้นแล้ว

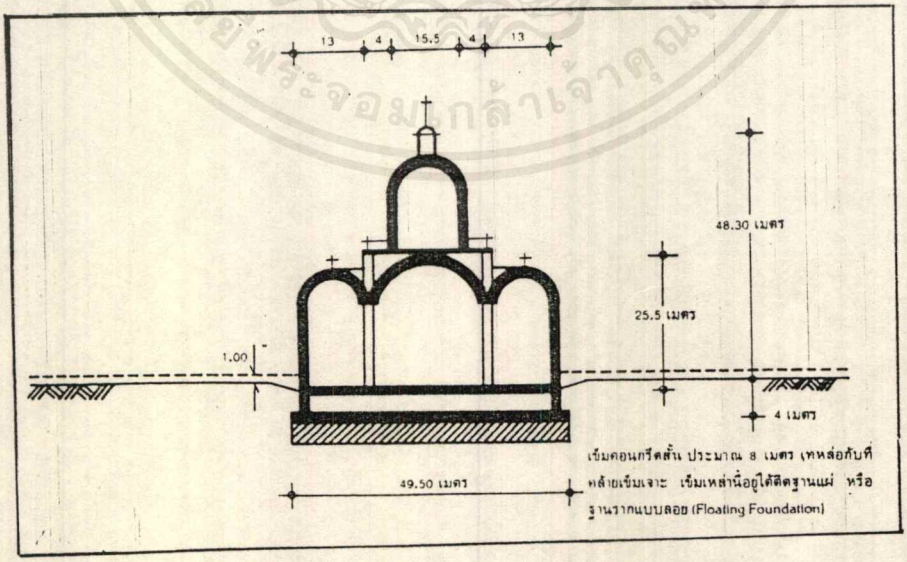
เหตุผลที่ว่าทำไมองค์พระที่นั่งฯ ซึ่งได้สร้างมาแล้วเป็นเวลา 86 ปี จึงยังมีการทรุดตัวดำเนินอยู่ พอจะสรุปในที่นี้ได้ว่า นั่นคือ ผลที่อาคารและส่วนฐานรากทั้งหมด ตั้งอยู่บนและในชั้นดินอ่อน ซึ่งมีน้ำหนักของตัวอาคารใกล้เคียงกับความสามารถของดินที่จะรับได้และเมื่อมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากการไหลของน้ำเข้าไปในชั้นใต้ดิน ปริมาณการทรุดตัวสม่ำเสมอทั้งหมดตั้งแต่ก่อสร้างจนถึงปัจจุบันประมาณได้ไม่น้อยกว่าหนึ่งร้อยเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 ลักษณะองค์พระที่นั่งอนันตสมาคม



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของพระที่นั่งอนันตสมาคมส่วนที่กว้างที่สุด ประมาณ 47.50 เมตร พร้อมลักษณะฐานรากแบบแผ่ และพื้นเข็มเจาะใต้ฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถล่มของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้นที่ตลิ่งชัน

เมื่อวันที่ 15 กันยายน 2535 เกิดอุบัติเหตุอาคาร 3 ชั้นพังทลายทับคนงานก่อสร้าง ตาย 1 ศพ บาดเจ็บ 2 คน ที่ซอยพิทักษ์ธรรม 2 ถนนสวนผัก เขตตลิ่งชัน

อาคารดังกล่าวเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ปลูกสร้างบนพื้นดินท้องร่องสวน อาคารขนาดกว้าง 4 เมตร ยาวประมาณ 16 เมตร ลักษณะการสร้างคล้ายห้องแถว แต่มีคูหาเดียว พื้นชั้นล่างสูงกว่าระดับดินเดิมประมาณ 1 เมตร ก่อนพังทลายได้สร้างถึงพื้นชั้น 3 มีโครงสร้างเสา คาน เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กก่ออิฐมอญติดวางกบหน้าต่างเรียบร้อย พื้นอาคารเป็นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงชนิดท้องเรียบวางปูบนคานทั้งสามชั้นแล้ว แต่ยังไม่ได้เทคอนกรีตทับหน้าลักษณะการพังทลายคาดว่าเริ่มจากฐานรากด้านซ้ายทรุดตัวยุบลงไป ขณะที่ตอม่อและฐานรากด้านขวาไม่ทรุดตัว ทำให้อาคารทั้งหลังล้มลงไปด้านซ้ายมือลงไปกองบนพื้นดินท้องนา โครงสร้างหักพังทลายที่รอยต่อเสากับคานเป็นส่วนใหญ่

จากการสอบสวนของเจ้าหน้าที่ทราบว่า อาคารหลังนี้ใช้เสาเข็มคอนกรีตหกเหลี่ยม ยาว 6.00 เมตร จำนวนฐานรากละ 9 ต้น ตอกลงไปในดินท้องร่องสวนโดยไม่ได้ถม เนื่องจากที่ตั้งอาคารอยู่ในสวน ไม่มีถนนเข้าถึงมีเพียงทางเดินของคนอยู่ห่างจากถนนประมาณ 800 เมตร การขนส่งวัสดุต้องใช้แรงงานคนแบกเข้าไป และคาดว่าจะไม่มีการขออนุญาตปลูกสร้างอาคาร

จากการตรวจสอบคุณภาพการก่อสร้างด้วยสายตา และการวัดขนาดของโครงสร้าง พบว่าคุณภาพคอนกรีต และขนาดของโครงสร้างอยู่ในเกณฑ์ปกติ สำหรับงานก่อสร้างระดับบ้านพักอาศัย

สาเหตุของการพังทลาย

สาเหตุของการพังทลายพอสันนิษฐานได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

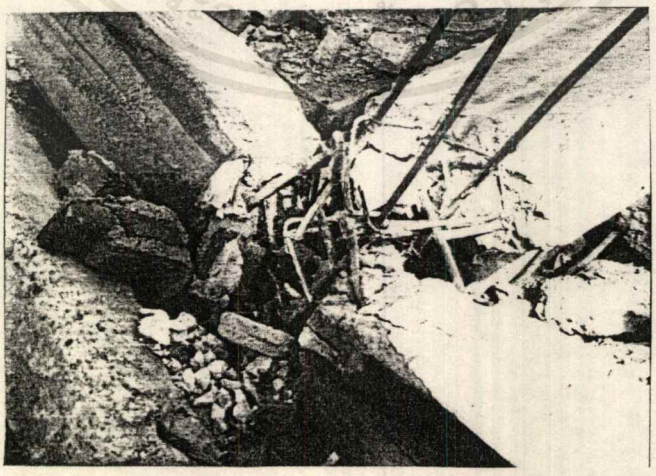
1. ขนาดและความยาวเสาเข็มที่ใช้ตอกในพื้นที่ห้องร่องสวน ซึ่งดินค่อนข้างอ่อนและมีน้ำขังมาก อาจจะไม่เพียงพอสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น ประกอบกับการทรุดตัวของฐานรากด้านซ้ายที่ตรวจพบ จึงน่าเชื่อได้ว่าการพังทลายเริ่มต้นจากการทรุดตัวของฐานราก

2. ลักษณะของอาคารสร้างคล้ายห้องแถว สูง 3 ชั้นแต่มีคูหาเดียวทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพไม่ค่อยดี ประกอบกับการก่อสร้างซึ่งค่อนข้างผิดหลักวิชาช่างปกติ กล่าวคือมีการก่ออิฐผนังด้านข้าง และปูพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแล้ว แต่ยังไม่มีการเทคอนกรีตทับหน้าพื้นทั้งสามชั้น ทำให้โครงสร้างต้องรับน้ำหนักมาก แต่พื้นอาคารกลับไม่ได้ช่วยเพิ่มเสถียรภาพของอาคารเลย

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการกองอิฐบนพื้นชั้น 3 ก่อนเกิดเหตุการณ์พังทลาย

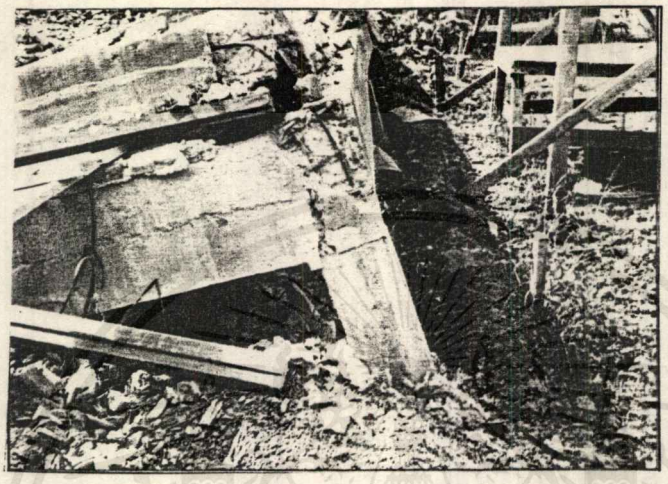
3. รายละเอียดการเสริมเหล็กคานยึดกับเสา ใช้วิธีงอขอเหล็กเสริมคานเกี่ยวเข้ากับเหล็กเสา (เพราะคานเป็นคานช่วงเดียวไม่ต่อเนื่อง) ทำให้ข้อต่อของคานกับเสาสามารถรับโมเมนต์ดัดได้เพียงเล็กน้อย การพังทลายจึงพบว่ามีการแตกหักที่รอยต่อคานกับเสาเกือบทุกตำแหน่ง

รูปที่ 1 แสดงการหักที่รอยต่อคานกับเสา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

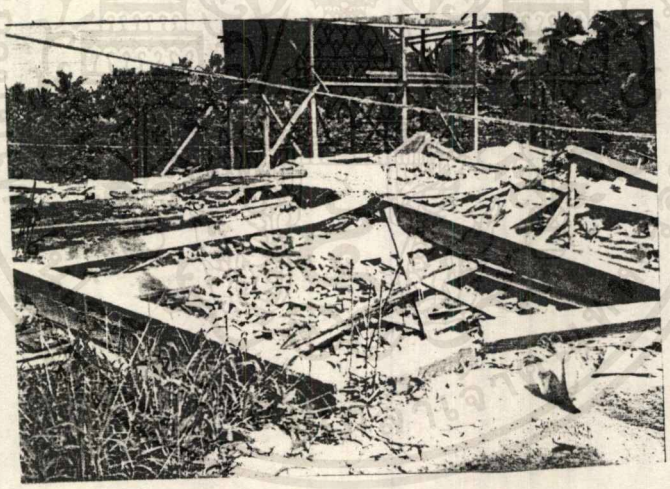
รูปที่ 2 แสดงฐานรากด้านขวามือ (ภาพนี้ถ่ายจากหลังอาคาร) ยังคงอยู่ในระดับเดิม แต่เอียงไปด้านที่อาคารล้มลงไป



รูปที่ 3 แสดงลักษณะการพังทลายของอาคารเป็นการล้มพับลงทางซ้ายมือของอาคาร โดยที่มีการก่ออิฐผนังและฉาบปูน(ภายใน)เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 แสดงสภาพการพังทลายของอาคาร เป็นลักษณะล้มพับลงมา โดยที่มีการแตกหักพังทลายที่รอยต่อเสากับคาน จะสังเกตในภาพว่า พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปท้องเรียบยังไม่ได้มีการเทคอนกรีตทับหน้า และมีการกองอิฐอยู่บนพื้นชั้น 3 ก่อนการพังทลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถล่มของอาคารโรงงานบริษัทกล่องเพชรไทย อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี

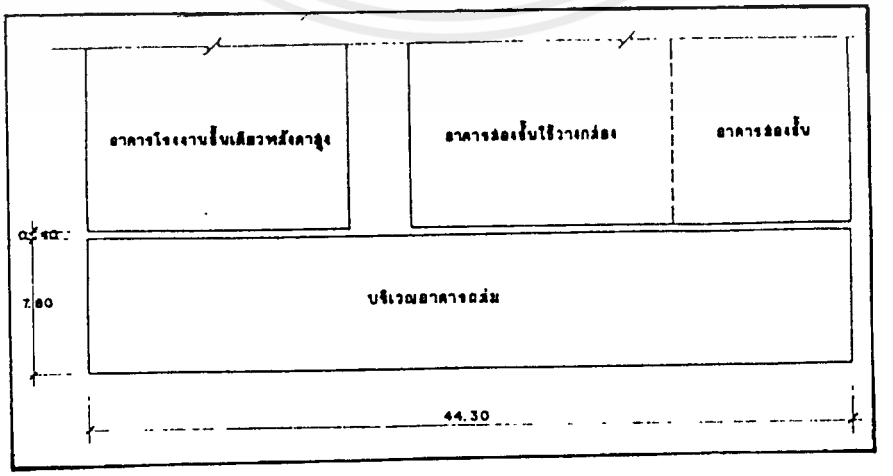
กรณีตึกถล่มที่อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานีซึ่งเกิดพังทลายลงมาทั้งหลัง เมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน 2526 และยังผลให้มีผู้เสียชีวิตทั้งหมด 29 คน และบาดเจ็บสาหัส 46 คนนั้น นับเป็นการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างใหญ่หลวง เป็นบทเรียนราคาแพงซึ่งวิศวกรและผู้เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างทั้งหลายสมควรจะได้รับทราบข้อเท็จจริงบางประการ และทำการศึกษาถึงสาเหตุแห่งการพังทลายเพื่อป้องกันไม่ให้เหตุการณ์ในทำนองเดียวกันนี้เกิดขึ้นอีก

จากการสำรวจซากอาคารในบริเวณที่เกิดเหตุ การเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนของอาคารเพื่อทำการทดสอบหากำลังของวัสดุในห้องทดลอง การสอบถามจากผู้เกี่ยวข้อง และการหาข้อมูลเพิ่มเติมจากรูปถ่ายของหนังสือพิมพ์ ซึ่งได้ถ่ายไว้ก่อนที่ซากอาคารจะถูกรื้อถอนออกไปหมดเพื่อช่วยชีวิตและค้นหาผู้เสียชีวิต ผลการสำรวจสามารถรายงานได้ดังนี้

1.บริเวณที่เกิดเหตุ

อาคารที่เกิดการพังทลายอยู่ในบริเวณโรงงานของบริษัทกล่องเพชรไทย จำกัด อยู่ห่างจากถนนลำลูกกาประมาณ 150 เมตร ในเขตสุขาภิบาลตำบลคูคต ผังของโรงงานและตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่พังทลายได้แสดงไว้ในรูป 1

รูปที่ 1 แสดงผังบริเวณโรงงาน 1:250



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

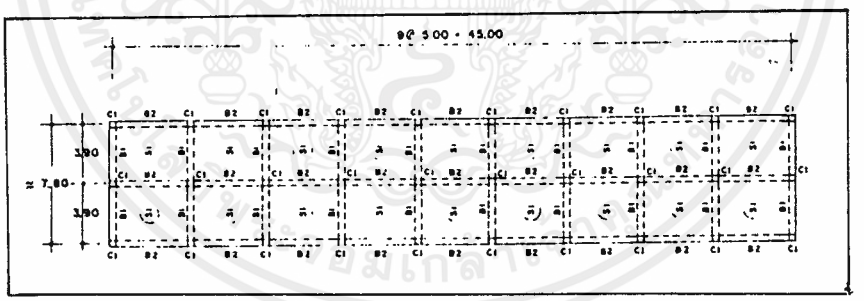
2.ความเป็นมาของอาคาร

สถานที่ก่อสร้างอาคารที่เกิดการพังทลายนี้ แต่เดิมเป็นที่ตั้งของอาคารชั้นเดียว ภายหลังได้ทำการรื้อถอนออกเพื่อก่อสร้างใหม่เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น โดยได้เริ่มทำการก่อสร้างใหม่ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2526 หลังจากงานตอกเสาเข็มแล้วเสร็จ เจ้าของโรงงานได้ปรับปรุงแผนงานก่อสร้างเป็นอาคาร4ชั้น โดยไม่มีการแก้ไขหรือปรับปรุงเสริมฐานรากแต่อย่างใด และ การก่อสร้างทั้งหมดไม่มีการให้สถาบนิกหรือวิศวกรทำการออกแบบ

3.ลักษณะของอาคาร

ตัวอาคารกว้าง 8 เมตร ยาว 45 เมตร โดยมีช่วงเสาตามด้านกว้างห่างช่วงละ 3.90 เมตร ช่วงเสาตามด้านยาวห่างช่วงละ 5.00 เมตร ดังแสดงในรูป 2

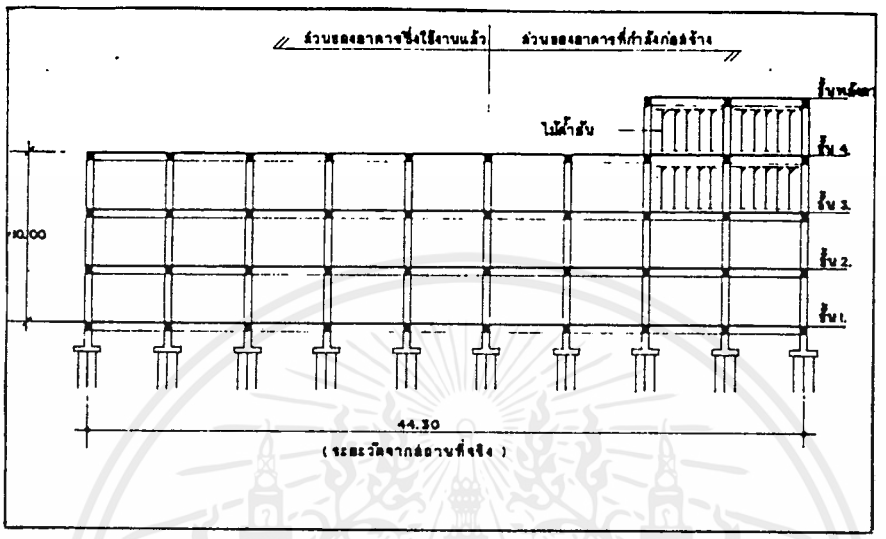
รูปที่ 2 แสดงแปลนพื้นทั่วไป 1:250



พื้นที่ส่วนใหญ่ของอาคารสร้างสูง 3 ชั้น ความสูงระหว่างชั้นวัดจากพื้นถึงพื้นประมาณ 3 เมตร ชั้นล่างสุดในขณะเกิดเหตุยังไม่ได้เทพื้นคอนกรีตเนื่องจากน้ำท่วมขังอยู่ คงมีแต่คานคอดินพื้นชั้น 2 และชั้น 3 สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วประมาณครึ่งหนึ่งของอาคาร และเริ่มใช้งานแล้วอีกครึ่งหนึ่งเพิ่งจะเทพื้นชั้น 3เสร็จได้ประมาณ 10 วัน (นับจากวันเทพื้นเสร็จจนถึงวันที่เกิดเหตุ) พื้นหลังคาของชั้น 3 ทำเป็นดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็ก ก่ออิฐกันตกสูงประมาณ 1เมตร ด้านทิศใต้ของอาคารสร้างเป็น 4 ชั้น ขณะเกิดเหตุเพิ่งจะเทพื้นชั้น 4 ได้ประมาณ 1 ถึง 2 วัน และกำลังทำไม้แบบและค้ำยันสำหรับดาดฟ้าของชั้น 4 (ดังรูป 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แสดงรูปตัดอาคารตามยาว 1:250



4.รายละเอียดของโครงสร้าง

เนื่องจากการก่อสร้างไม่มีแบบแปลนประกอบกับในขณะสำรวจซากอาคารได้ถูกรื้อถอนและเคลื่อนย้ายออกไปเกือบหมด ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับโครงสร้างจึงต้องหามาจากการรังวัด การเก็บตัวอย่างจากบริเวณที่เกิดเหตุ และการสอบถามจากผู้เกี่ยวข้องตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 **ฐานราก** ใช้เสาเข็มไม้ขนาด 6 นิ้ว ยาว 6 เมตร จากตัวอย่างเสาเข็มซึ่งดึงออกมาจากที่เกิดเหตุพบว่าเป็นเสาเข็มไม้ซึ่งขายตามท้องตลาดทั่วไป ใช้เสาเข็ม 9 หรือ 12 ต้นต่อ 1 ฐานราก

จากการทดสอบคุณสมบัติของดินในบริเวณที่เกิดเหตุโดยวิธี FIELD VANESHEAR TEST พบว่า ค่าแรงเฉือนของดินที่ระดับความลึกต่างๆมีค่าประมาณ 1.0 หรือ 1.6 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับสภาพดินทั่วไปในบริเวณกรุงเทพฯ

4.2 **คอนกรีต** การผสมใช้ปูนซีเมนต์ตราเสือ น้ำผสมใช้น้ำจากบริเวณก่อสร้างซึ่งเป็นน้ำที่ท่วมขังอยู่ ในแง่วิชาการเรามักจะถือกันว่าปูนซีเมนต์ตราเสือไม่ใช่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เพราะในกรรมวิธีของการผลิตได้ผสมวัสดุจำพวกหินปูนหรือทราย ทำให้เกิดความร้อนน้อยและมีการยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หดตัวน้อย จึงเหมาะสำหรับการทำปูนก่อ ปูนฉาบ และสิ่งก่อสร้างเล็กๆซึ่งไม่ต้องการกำลังมากในแง่ของโครงสร้าง ควรใช้ปูนซีเมนต์จำพวกบอร์ตแลนด์จะดีกว่า และน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตก็ควรจะเป็นน้ำที่สะอาดพอ

ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างคือปูน 1 ถุงต่อน้ำ 5 ถังต่อทราย 9 บุ้งกี๋ และหิน 12 บุ้งกี๋ เราจะสังเกตได้ว่าส่วนผสมดังกล่าวไม่เป็นมาตรฐานเลย เพราะถังน้ำและบุ้งกี๋ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายขนาด อย่างไรก็ตามสมมติว่าถังน้ำที่ใช้เป็นถังขนาดเล็กซึ่งใช้หิ้วปูนทั่วไป และบุ้งกี๋ก็เป็นขนาดเล็ก เมื่อคำนวณออกมาเป็นอัตราส่วนของน้ำหนัก เราจะได้อัตราส่วนปูนต่อทรายต่อหิน ประมาณ 1 ต่อ 3 ต่อ 5 ซึ่งถือว่าเป็นคอนกรีตที่มีคุณภาพต่ำ ในการก่อสร้างเรียกคอนกรีตหยาบ และมักจะใช้เป็นคอนกรีตสำหรับรองพื้นก่อนการเทคอนกรีตจริง ไม่ควรนำมาใช้ในงานโครงสร้าง

จากการเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนของคานในที่เกิดเหตุมาทำการทดสอบหากำลังอัดประลัย ได้ค่ากำลังอัดประลัยของแท่งทรงกระบอกมาตรฐานเท่ากับ 84, 47 และ 83 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สมมติว่าตัวอย่างที่ 2 ซึ่งได้ค่ากำลังอัดประลัยต่ำมากนั้น ได้รับการกระแทกจากการถล่มมาก่อนจนทำให้โครงสร้างภายในของเนื้อคอนกรีตเสียหายและไม่นำค่าที่ได้มาพิจารณาร่วมกับตัวอย่างอื่น เราจะได้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัยของคอนกรีตราวๆ 84กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งต่ำมาก ทำให้โครงสร้างไม่ปลอดภัยพอ

4.3 **เหล็กเสริม** เท่าที่พบเป็นเหล็กเส้นกลมมี 3 ขนาด คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 6,9และ 12 มม. จากตัวอย่างที่เก็บมาทดสอบหาแรงดึงพบว่าเนื้อเหล็กมีคุณภาพใช้ได้ แต่ขนาดเล็กกว่าเหล็กมาตรฐาน คือวัดได้เฉลี่ย 5, 7.7,และ 11.8 มม. ตามลำดับ ในปัจจุบันมีผู้ผลิตเหล็กเส้นรายย่อยหลายๆราย ซึ่งจงใจผลิตเหล็กให้ได้ขนาดผิดมาตรฐานเพื่อจำหน่ายในราคาถูก และผู้รับเหมาก่อสร้างโดยมากก็นิยมใช้กัน เป็นเรื่องที่หน่วยราชการที่เกี่ยวข้องจะต้องหาทางแก้ไข เพราะอาจก่อให้เกิดอันตรายได้

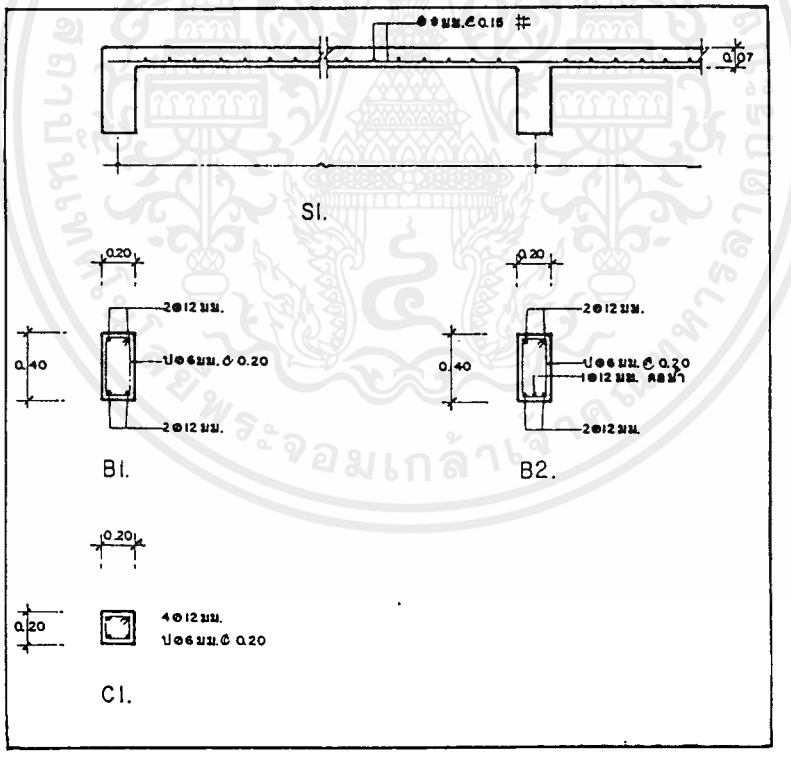
4.4 **พื้น** พื้นทุกชั้นเทคอนกรีตหนา 7 เซนติเมตร ผิวขัดมันอีกประมาณ 1 เซนติเมตร เสริมเหล็กตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มม. ทุก 0.15 เมตร จะเห็นได้ว่าพื้นบางเกินไป สำหรับแผ่นพื้นขนาด 3.90 x 5.00 เมตร ดูรูป 4 ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 คาน คานทั้งหมดของอาคารตั้งแต่คานคอดินถึงคานดาดฟ้า ใช้ขนาดเดียวกันหมดคือ 0.20 x 0.40 เมตร คานช่วง 5 เมตรเสริมเหล็กบนขนาด 12 มม. 2 เส้น เสริมเหล็กล่างขนาด 12 มม. 3 เส้น โดยมีเส้นกลางหักคอม้า สำหรับคานช่วง 4 เมตร เสริมเหล็กขนาด 12 มม. 2 เส้น บนและล่าง คานทุกตัวใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม.ทุก 0.20 ม.

4.6 เสา เสาตอม่อและเสาอาคารทุกชั้นใช้ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร และเสริมเหล็กขนาด 12 มม. จำนวน 4 เส้น ใช้ปลอกขนาด 6 มม. ทุกๆ 0.20 เมตร

รูปที่ 4 แสดงรายละเอียดเหล็กเสริม 1:250



5. เหตุการณ์ก่อนการพังทลาย

เมื่อคราวน้ำท่วมกรุงเทพฯและปริมณฑล ระดับน้ำท่วมอยู่สูงกว่าพื้นโรงงาน ทำให้ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานไม่สามารถประกอบกิจการต่อไปได้ เนื่องจากต้องใช้จักรเย็บผ้าไฟฟ้าในการเย็บกล่อง เจ้าของโรงงานจึงได้ย้ายคนงานและจักรเย็บผ้าขึ้นไปยังชั้น 2 และชั้น 3ของอาคารซึกที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว

ในวันเกิดเหตุ ผู้รับเหมาได้ทำการรื้อค้ำยันซึ่งค้ำอยู่ระหว่างชั้น 2 และชั้น 3ของอาคารซึกที่กำลังก่อสร้าง โดยเริ่มทำการรื้อถอนเมื่อเวลาประมาณ 9.00 น.และรื้อค้ำยันซึ่งอยู่ระหว่างชั้น 2 และชั้น 3 ออกหมดเมื่อเวลาประมาณ 11.00 น. ดังแสดงในรูป 3

เมื่อเวลาประมาณ 12.00 น.เจ้าของโรงงานได้ขึ้นไปอยู่บนพื้นชั้น 2 ช่วงเสาช่วงที่ 3 จากด้านซ้ายของอาคาร (ดูรูป 3 ประกอบ) เพื่อดูรอยร้าวของคานพื้นชั้น 3 ร่วมกับผู้รับเหมา โดยยืนหันหลังให้กับถนนลาดกระบัง ขณะกำลังดูอยู่นั้นได้ยินเสียงดังปัง (ดังมาก) เกิดรอยร้าวบนผนังด้านขวาบนแล้วพื้นและคานชั้น 3 พังลงมาทับ

ขณะเกิดเหตุมีแม่บ้านท่านหนึ่งกำลังขับรถอยู่บนถนนลาดกระบังผ่านที่เกิดเหตุพอดี จึงได้เห็นอาการพังทลายของตึก โดยกล่าวว่าอาคารทั้งหลังพังทลายลงมา แต่สังเกตเห็นอาคารด้าน 4 ชั้นลงมาเร็วกว่าอีกด้านหนึ่ง คำให้การนี้สอดคล้องกับซากอาคารที่เห็นได้ในขณะสำรวจ คือเห็นเสาตัวริมด้านซ้ายของอาคารดีดออกมาจากอาคาร

6.สาเหตุของการพังทลาย

เราพอจะสรุปได้อย่างคร่าวๆถึงสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างไม่แข็งแรงและปลอดภัยเพียงพอดังต่อไปนี้

6.1 ฐานราก พิจารณาจากจำนวนเสาเข็มที่ใช้ในฐานราก ฐานรากของอาคารน่าจะรับน้ำหนักปลอดภัยได้ระหว่าง 15 ถึง 20 ตันต่อหนึ่งฐาน (ขึ้นอยู่กับจำนวนเสาเข็ม) ในขณะที่น้ำหนักซึ่งถ่ายลงสู่เสาตอม่อที่รับน้ำหนักมากที่สุดเมื่ออาคารรับน้ำหนักจรเต็มที่มีค่าประมาณ 25 ถึง 33 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากการใช้งานของอาคารมีการกระจายน้ำหนักไม่เท่ากัน จะเป็นเหตุให้ฐานรากส่วนที่รับน้ำหนักมากมีการทรุดตัวมาก เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน จนเป็นเหตุให้อาคารเกิดการแตกร้าวและอาจเสียการสมดุลย์ได้

6.2 ส่วนผสมของคอนกรีต ส่วนผสมซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 4.2 จะให้คอนกรีตที่มีคุณภาพต่ำมาก การใช้น้ำผสมคอนกรีตที่ไม่สะอาดพอและมีสัดส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มากเกินไป จะเป็นเหตุให้หินในคอนกรีตเกิดการแยกตัวเวลาเทคอนกรีต สังเกตได้ชัดเจนจากเสาอาคารที่หลงเหลืออยู่ในบริเวณที่เกิดเหตุจะพบว่าหินส่วนใหญ่แยกตัวจมอยู่ที่ฐานเสา หากโครงสร้างเกิดไม่สมดุลย์ด้วยสาเหตุใดก็ตาม จะทำให้เกิดแรงดัดขึ้นในเสาและคานสูง เสาและคานซึ่งไม่แข็งแรงอยู่แล้วอาจหักและอาคารอาจพังทลายลงมาได้

6.3 โครงสร้าง ขนาดขององค์ประกอบในโครงสร้าง เช่น พื้น คาน และ เสา และจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ น้อยเกินไปสำหรับอาคารขนาดนี้ ผู้ใช้อาคารกล่าวว่าเวลาเดินบนอาคารจะสังเกตได้ว่าพื้นสั่นเล็กน้อย

6.4 การถอดนั่งร้านในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวดีพอ เช้าวันเกิดเหตุ ผู้รับเหมาก่อสร้างได้ทำการรื้อถอนค้ำยันซึ่งค้ำพื้นและคานชั้น 3 ออกในขณะที่คอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ 10 วัน จึงเป็นไปได้ว่าค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตในบริเวณนั้นจะมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่น จากการทดสอบหากำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยวิธียิง ได้ค่าต่ำกว่าเสกลของเครื่องมือ ซึ่งหมายความว่าค่ากำลังอัดประลัยต่ำกว่า 80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ประกอบกับเมื่อถอดค้ำยันออกแล้ว คานชั้น 3 จะต้องรับน้ำหนักคงที่ของพื้นและคานชั้น 4 ทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักจากกองวัสดุและน้ำหนักจรของคนงานก่อสร้าง ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักจรในขณะใช้งานเสียอีก จึงมีโอกาสเป็นไปได้ว่าคานชั้น 3 รับน้ำหนักมากเกินกำลังอาจก่อให้เกิดการแตกร้าวในบริเวณนี้และทำให้โครงสร้างเสียการสมดุลย์ดึงให้อาคารทั้งหลังซึ่งไม่แข็งแรงอยู่แล้วพังทลายลงมาได้

7. บทสรุป

สาเหตุต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 6 ล้วนมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดการพังทลายของอาคารทั้งสิ้น เทียบได้กับดินระเบิดซึ่งถูกอัดไว้รอเชื้อประทุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถล่มของโรงแรมไม่มีชื่อ ย่านถนนรัชดาภิเษก

อาคารก่อสร้างเป็นโรงแรม สถานที่ก่อสร้างอยู่ใกล้กับหมู่บ้านเจริญ กับนิวอาศกวิลล่าเฮ้าร์ ถนนรัชดาภิเษก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ อาคารถล่มขณะกำลังก่อสร้างเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน 2527 มีผู้เสียชีวิต 4 คน และบาดเจ็บจำนวนมาก

จากการสอบสวน ทราบว่าสาเหตุของการพังทลายเนื่องจากความเร่งด่วนของการก่อสร้างอย่างผิดขั้นตอน ใช้ไม้ผิดขนาดเป็นเครื่องค้ำยัน สถานที่ก่อสร้างมีเป้าหมายที่จะสร้างเป็นโรงแรม 4 ชั้นจำนวน 115 ห้อง เกิดการถล่มขณะที่กำลังก่อสร้างถึงชั้นที่ 2 จุดเกิดเหตุอยู่บริเวณบล็อกสุดท้าย ทางด้านติดกับทางลาดคอนกรีต สำหรับรถวิ่งขึ้นชั้น 2 ที่สร้างเสร็จแล้ว โดยเททิ้งไว้หมาด ๆ ทั้งแผ่นมีขนาด กว้างและยาว 5x4 เมตร ได้ยุบลง จากการสิบสวนคนงาน ทราบว่าการก่อสร้างได้ใช้วิธีเทคานสำหรับรับน้ำหนักเอาไว้ จากนั้นนำเอาคานซอยสำเร็จรูปซึ่งเป็นตัวรองรับพื้นใส่เชื่อมเอาไว้โดยทิ้งระยะระหว่างช่องประมาณครึ่งเมตร แล้วนำเอาแผ่นคอนกรีตหล่อสี่เหลี่ยมวางเรียงลงไปบนบ่าของคานซอยจนเต็ม เสร็จแล้วผูกตะแกรงเหล็กวางทับลงไปและเทพื้นคอนกรีตข้างบนอีกชั้นหนึ่ง ปรากฏว่า สาเหตุเกิดมาจากเครื่องค้ำยัน ซึ่งอยู่ข้างล่างแทนที่จะใช้วัสดุที่แข็งแรงกว่ากลับใช้เพียงแค่ไม้หน้าสามตียึดกันไว้เท่านั้น และจากการตรวจสอบภายหลังพบว่าไม้ที่เป็นตัวค้ำแต่ละท่อนล้วนแต่หักกลาง ชี้ให้เห็นอย่างชัดแจ้งว่าไม่สามารถที่จะรับน้ำหนักจำนวนมากได้ จึงเป็นสาเหตุให้เครื่องประกอบพื้นและคานทั้งหมด พังยุบลงมาทั้งแผ่นทับครอบครัวผู้เคราะห์ร้าย ซึ่งกำลังนอนอยู่ในเพิงพักข้างใต้ เกิดเป็นโศกนาฏกรรมขึ้นดังกล่าว

การถล่มของตึกหลังโรงหนังเอเธนส์

ตึกถล่ม ในซอยเพชรบุรี ณ ถนนเพชรบุรี แขวงพญาไท กรุงเทพฯ เมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2531 ทำให้มีผู้เสียชีวิตทันที 3 คน บาดเจ็บสาหัส 14 คน สถานที่เกิดเหตุอยู่ติดกับบริเวณลานจอดรถของโรงภาพยนตร์เอเธนส์ อาคารก่อสร้างเป็นตึก 3 ชั้น เพื่อสร้างเป็นสมาคมพุทธประทีปชั้นแรกเป็นชั้นใต้ดิน อาคารพังขณะกำลังอยู่ในระหว่างการก่อสร้าง

สาเหตุของการวิบัติครั้งนี้ สันนิษฐานว่า เกิดจากการผสมคอนกรีตไม่ได้ขนาด ตามสัดส่วนที่ระบุไว้ในแบบ เสารับน้ำหนักไม่ได้จึงพังลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถล่มของอาคารบริญญา ถนนเพลินจิต เขตปทุมวัน ระหว่างการรื้อทำลายทิ้ง

อาคารบริญญา เยื้องกับห้างสรรพสินค้าเซนทรัลชิดลม แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ถล่มลงมาทับคนงาน เมื่อวันที่ 13 เมษายน 2532 อาคารนี้เป็น ตึก 4 ชั้น อยู่ในระหว่างการรื้อทำลายทิ้ง

สาเหตุของการพังทลาย สันนิษฐานว่า คนงานไม่มีความรู้ในการรื้อถอน ไม่มีวิศวกรแนะนำตามหลักวิชาการ หรือไม่มีวิศวกรควบคุมในขณะทำงาน

การถล่มของอาคารซ่อมเครื่องมืออุตสาหกรรม ริมบริษัทการบินไทย

อาคารซ่อมเครื่องมืออุตสาหกรรม บริษัท บิสเอเซียอุตสาหกรรม เครื่องกล อาคารดังกล่าวอยู่ใกล้กับบริษัทการบินไทยถนนวิภาวดี เขตบางเขนกรุงเทพฯ ถล่มเมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2533 ทำให้มีคนงานเสียชีวิต 2 คน และบาดเจ็บ หลายคน ตึกดังกล่าวเป็นโครงโรงงานสภาพเก่า เหลือเพียงเสา 5 ต้น เสามีขนาด 10 ซม. มีคานบนเสายาว 40 เมตร คานกว้าง 1 เมตร หนา 40 ซม.โครงของอาคาร สูง 7 เมตร

จากการสอบสวนทราบว่า อาคารดังกล่าว เป็นอาคารของบริษัท เอเซียอุตสาหกรรมเครื่องกล ซึ่งเป็นอาคารร้าวมาหลายเดือนแล้ว เดิมเป็น โรงงานซ่อมรถแทรกเตอร์ และเก็บอะหลั่ยรถแทรกเตอร์ โดยมีพื้นที่เดิม ถึง 8 ไร่ แต่ขายเนื้อที่ส่วนหน้า ให้บริษัทใกล้เคียง และส่วนหลังขายให้ บริษัทการบินไทย จึงเหลือโครงอาคารส่วนกลางโล่ง ๆ ต่อมาเจ้าของอาคารได้จ้างผู้รับเหมา ทุบอาคาร

สาเหตุของการพังของอาคารเนื่องจากคนงานไม่มีความรู้ในการทุบอาคาร โดยมีการเจาะคอนกรีตโดนเสา ที่ติดกับพื้น จนเหลือเหล็กเส้น ทำให้คานรับน้ำหนักไม่ไหว จึงพังลงมาทับคนงานที่ยืนอยู่บริเวณอาคาร 2 คน นอกจากนี้ สืบสวนพบว่า ไม่มีวิศวกรมาคุมงาน และไม่มีการแนะนำคนงานตามหลักวิศวกร อาจจะทำกันผิด ๆ ทุบเสาช่วงล่างก่อน ไม่มีเครื่องมือดึงคานบนไว้ ทำให้ เสียการทรงตัว พอเสาแรกหัก เหลือเหล็กเปล่า ๆ คานก็ถล่มลงมาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถล่มของอาคารโรงแรมเชอราตัน

อาคารโรงแรมเชอราตัน ถนนราชดำริ ต.หัวหิน จ. ประจวบคีรีขันธ์ เป็นอาคารสูง 20 ชั้น ส่วนที่เกิดการถล่มลงมาได้แก่ บริเวณด้านหน้าทางเข้าโรงแรม ซึ่งด้านบนสร้างเป็นสนามเทนนิส

สาเหตุของการถล่ม ได้แก่ ไม้แบบและเสาเข็ม ที่รองรับน้ำหนักปูนซีเมนต์ ไม่สามารถที่จะรับน้ำหนักได้

การถล่มของอาคารโครงการ รัชดารีเจนท์ทาวเวอร์

โครงการรัชดารีเจ้นท์ ทาวเวอร์ ซอยอินทามระ 49 ถนนสุทธิสาร กรุงเทพฯ ตัวอาคารชุดสูง 16 ชั้น ขณะเกิดการถล่มนั้นกำลังอยู่ในระหว่างการก่อสร้างชั้นที่ 14 โดยจุดที่ทำให้เกิดการถล่มลงมานั้น ได้แก่บริเวณโกล้ลิฟท์ ชั้นที่ 14 มีขนาด 3x5 เมตร เกิดการถล่มตั้งแต่ชั้นที่ 14 ถึงชั้นล่างของตัวอาคาร

สาเหตุของการถล่ม

1.จากการสอบสวน ทราบว่าบริเวณที่ก่อสร้างไม่ได้มีการสร้างคานรองรับน้ำหนัก เมื่อคนงานก่อสร้างทำอิฐบล็อค ที่มีน้ำหนักรวมมากถึง 1 ตันครึ่ง ทำให้บริเวณดังกล่าว ไม่สามารถจะรับน้ำหนักได้ จึงเกิดการถล่มลงมา

2.ผู้ควบคุมงาน ไม่มีความรู้เพียงพอ มีการปล่อยให้คนงานยกเครนและอิฐที่มีน้ำหนักมากเกินไป ไปไว้ในบริเวณ ชั้นที่ 15 ของตัวอาคาร รวมทั้งอิฐบล็อค หนักมากกว่า 1 ตัน ไปวางบนชั้นดังกล่าว ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้เพียง 200 กก. ต่อตารางเมตรเท่านั้น

การถล่มของธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาเจ้าฟ้า

ตึกธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด สาขาถนนเจ้าฟ้า อ. เมือง จ. ภูเก็ต เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2532 อาคารนี้เป็นตึกสร้างใหม่ ขณะถล่มกำลังอยู่ในระหว่างก่อสร้างถึงชั้นที่ 3 ขณะที่คนงาน 7 คนกำลังเทปูนพื้นชั้นที่ 3 ตัวอาคารเกิดสั่นไหว คล้ายจะพังเป็นการเตือนก่อน แต่ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใครสนใจ ในที่สุดตัวอาคารก็เกิดพังลงมา

สาเหตุของการพังถล่มครั้งนี้ สันนิษฐานว่า เกิดจากการเร่งงานก่อสร้างโดยไม่มีการรอให้ปูนที่หล่อโครงสร้าง จับตัวให้แข็งเพื่อรับน้ำหนัก จึงเกิดการพังทลาย

ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

จากเหตุการณ์การถล่ม พังทลายหรือ การวิบัติของการก่อสร้างอาคาร จากกรณีต่าง ๆ ดังเสนอมา ซึ่งมีสาเหตุของปัญหา และมีแนวทางแก้ไขพอสรุปได้ดังนี้

ก. วิศวกรผู้ควบคุม

ข. ผู้รับเหมา

ค. เจ้าหน้าที่ของรัฐ

ง. คนงาน

ก. วิศวกรผู้ควบคุมการก่อสร้าง

1. มีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ ควบคุมดูแลการทำงานของคนงานอย่างใกล้ชิด
2. ก่อนให้คนงานลงมือทำงานควรให้ความรู้แก่คนงานให้ทำงานถูกต้องตามหลักวิชาการ
3. ติดตามดูการทำงานทุกระยะถ้ามีปัญหาให้รีบแก้ไข
4. ควบคุมการก่อสร้างให้เป็นไปตามขั้นตอน และวิธีการให้ถูกต้องตามหลักวิชาการโดยเคร่งครัด

ข. ผู้รับเหมา

1. ศึกษาแบบ
2. ไม่รีบร้อน ทำงานตามขั้นตอน
3. ระมัดระวังอุบัติภัย และหาทางป้องกันแก้ไข
4. ขออนุญาตเมื่อมีการก่อสร้าง ต่อทางราชการตามระเบียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. เจ้าหน้าที่ของรัฐ

1. ติดตาม ตรวจสอบควบคุม ดูแล ผู้รับเหมา
2. ปฏิบัติ ตามระเบียบ ของทางราชการอย่างเคร่งครัด

ง. คนงาน

ข้อเสนอแนะ

ฐานรากและเสาเป็นส่วนโครงสร้างที่สำคัญมาก หากไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้จะเป็นสาเหตุทำให้อาคารถล่ม ดังนั้นการออกแบบ และก่อสร้างอาคารควรจะต้องพิถีพิถันให้มาก สำหรับคาน พื้น หากรับน้ำหนักไม่ไหวจะเกิดการแอ่นตัวให้เห็น และเหล็กเสริมก็ยังมีส่วนดึงไว้ไม่ถึงกับพังลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ปัญหางานฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหากรุงเทพฯทรุด และแนวทางแก้ไข

ผลการศึกษาวิจัยของ AIT ให้กับสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ระหว่างปี พ.ศ. 2521-2525 ได้ชี้ชัดว่าการทรุดตัวอย่างมากมายของพื้นดินในบริเวณกรุงเทพฯ ในช่วงเวลาดังกล่าวและก่อนหน้า เกิดขึ้นจากสาเหตุการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในอัตราที่สูงมากเกินควร (ปริมาณถึง 1.4 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน) จากชั้นดินกักเก็บน้ำบาดาล (Aquifers) ที่ระดับความลึกประมาณ 100-200 เมตร ใต้บริเวณกรุงเทพฯ ชั้นดินกักเก็บน้ำบาดาลดังกล่าวเป็นชั้นของทรายและกรวด (Sand and Gravel) เรียงตัวในแนวราบสลับกับชั้นของดินเหนียวแน่น (Stiff Clay) ดังรูปที่ 1 ซึ่งบ่อน้ำบาดาลส่วนใหญ่จะสูบน้ำจากชั้นน้ำพระประแดงนครหลวงและธนบุรี การสูบน้ำบาดาลในอัตราสูงเกินควรทำให้การเติมน้ำตามธรรมชาติให้กับชั้นดินกักเก็บน้ำดังกล่าว เกิดขึ้นไม่เพียงพอกับปริมาณน้ำที่ถูกสูบขึ้นมาใช้ ทำให้ความดันของน้ำ (Piezometric Pressure) ในชั้น Aquifers และชั้นดินเหนียวข้างเคียงลดลง ซึ่งแม้กระทั่งชั้นดินเหนียวอ่อนใกล้ผิวดินก็ยังถูกกระทบด้วย การลดต่อลงของความดันน้ำในดินส่งผลให้หน่วยแรงกระทำระหว่างเม็ดดินเพิ่มมากขึ้น เม็ดดินปรับการเรียงตัวแน่นขึ้น ปริมาณน้ำในดินลดลงโดยลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินลง ขบวนการดังกล่าวซึ่งเรียกว่า Consolidation ก่อให้เกิดการหดและทรุดตัวของชั้นดิน ซึ่งการหดตัวส่วนใหญ่จะเกิดในชั้นดินเหนียวเพราะเป็นดินซึ่งมีความสามารถในการยุบตัว (Compressibility) สูงกว่าชั้นกรวดทรายมาก

รูปที่ 2 ก และ ข แสดงระดับความดันน้ำในชั้นดินนครหลวงในบริเวณพื้นที่กรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2522 และ 2525 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาดังกล่าว บริเวณที่มีการสูบน้ำบาดาลกันมาก ซึ่งได้แก่ บางกะปิ รามคำแหง ระดับความดันของน้ำลดลงถึง 2.5 เมตรต่อปี จากระดับ 43 เมตร เป็น 50 เมตรลึกจากผิวดิน

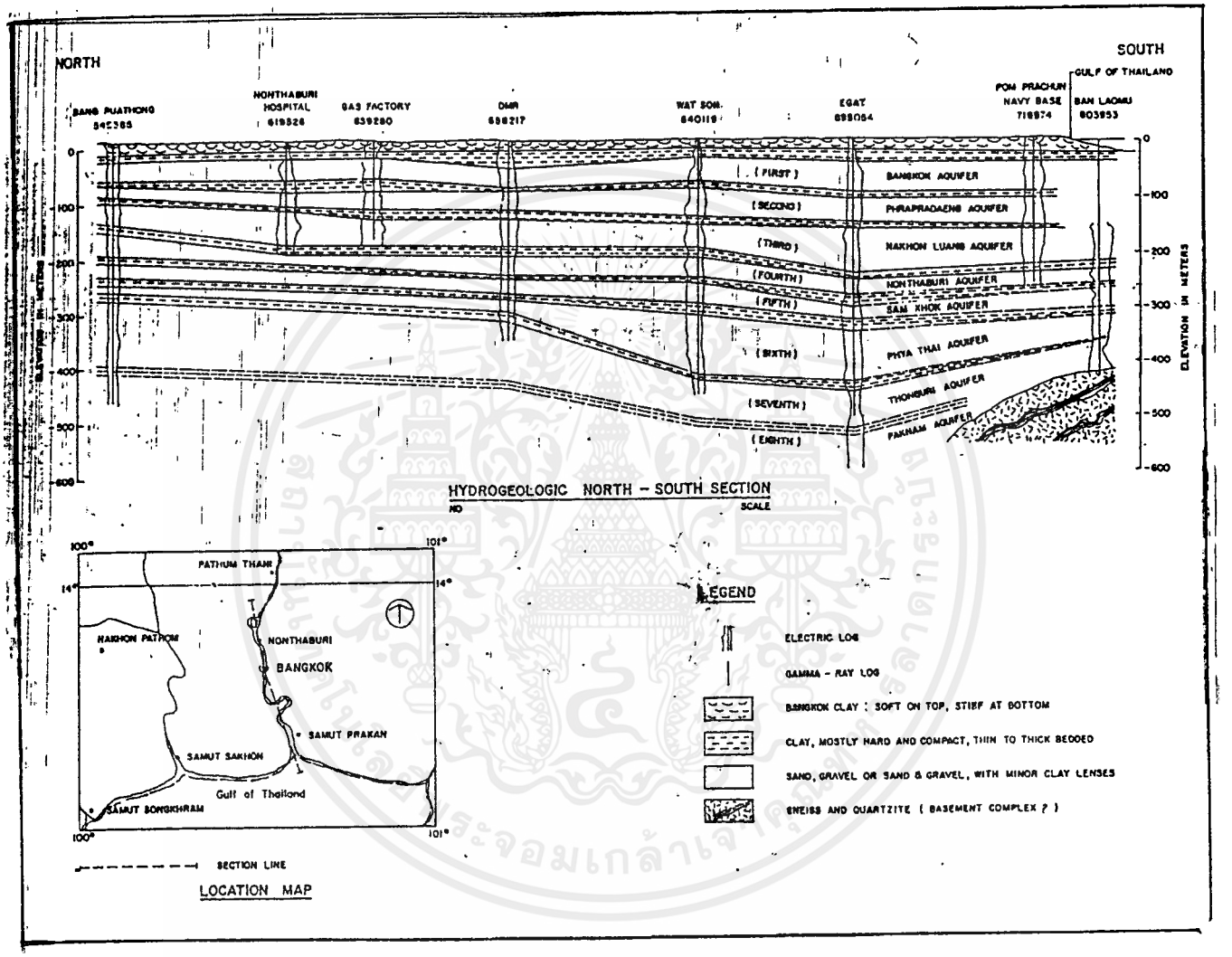
สภาพการทรุดตัวของแผ่นดิน

การทรุดตัวก่อนปี พ.ศ. 2521 การตรวจวัดระดับพื้นดินในบริเวณกรุงเทพฯ มีขึ้นครั้งแรกในราวปี พ.ศ. 2478 ซึ่งในตอนนั้นได้มีการติดตั้งหมุดระดับประมาณทั้งสิ้น 80 หมุดทั่วกรุงเทพฯ ต่อมาในปี พ.ศ. 2521 กรมแผนที่ทหารได้ทำการตรวจวัดหมุดระดับเหล่านั้นอีก ซึ่งในตอนนั้นเหลืออยู่เพียง 11 หมุด เท่านั้น การตรวจวัดดังกล่าวสามารถสรุปบริมาณการทรุดตัวของพื้นดินในระหว่างปี พ.ศ. 2476 ถึง 2521 ดังได้แสดงในรูปที่ 3 บริมาณการทรุดตัวดังกล่าวส่วนใหญ่คงเกิดหลังปี พ.ศ. 2500 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เริ่มมีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่หลาย

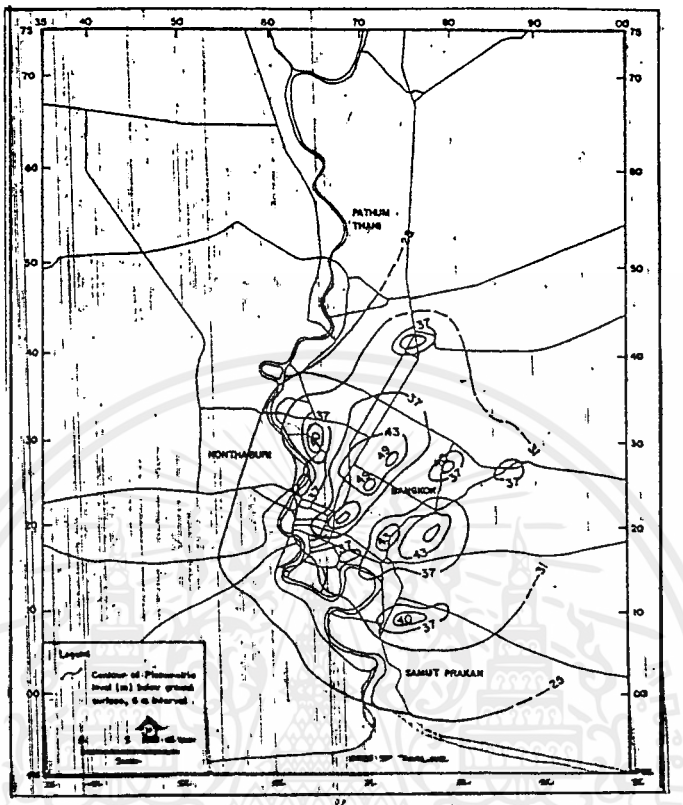
รูปที่ 1 แสดงสภาพชั้นดินบริเวณใต้พื้นที่กรุงเทพฯ



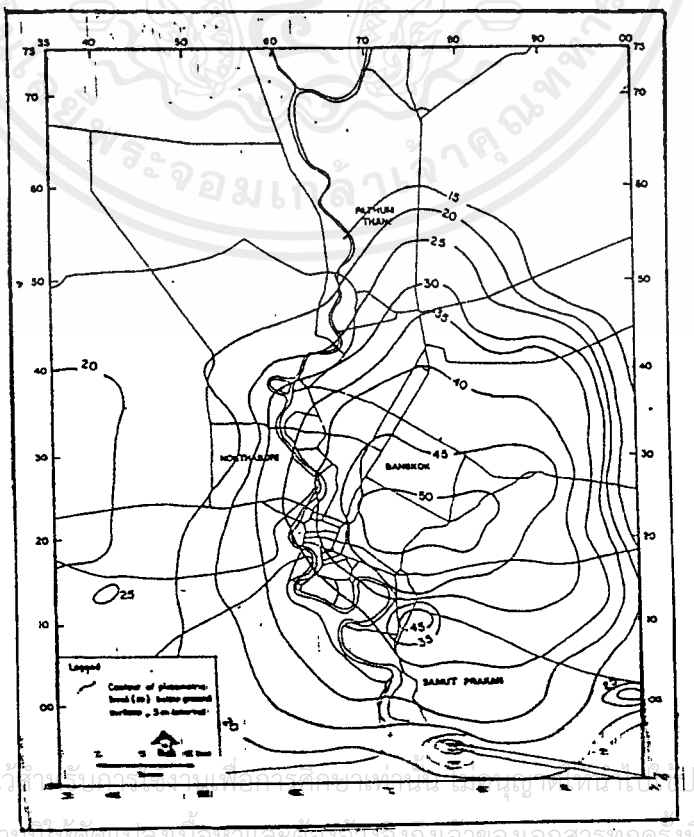
การทรุดตัวระหว่างปี พ.ศ. 2521 ถึงปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2521 กรมแผนที่ทหารได้ทำการติดตั้งหมุดระดับปฐมภูมิ 133 หมุด และหมุดระดับทุติยภูมิ 514 หมุด เพื่อใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระดับของพื้นดินทั่วกรุงเทพฯ โดยถ่ายระดับจากหมุดอ้างอิงบนหินที่ราชบุรี การตรวจวัดหมุดระดับดังกล่าวต่อเนื่องทุกปี ชี้ให้เห็นถึงปริมาณการทรุดตัวของพื้นดิน ที่เกิดขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2521 ถึงปัจจุบันดังแสดงในรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 (ก) ระดับความดันของน้ำใต้ดินในชั้นดินกักเก็บน้ำนครหลวง ปี พ.ศ. 2522

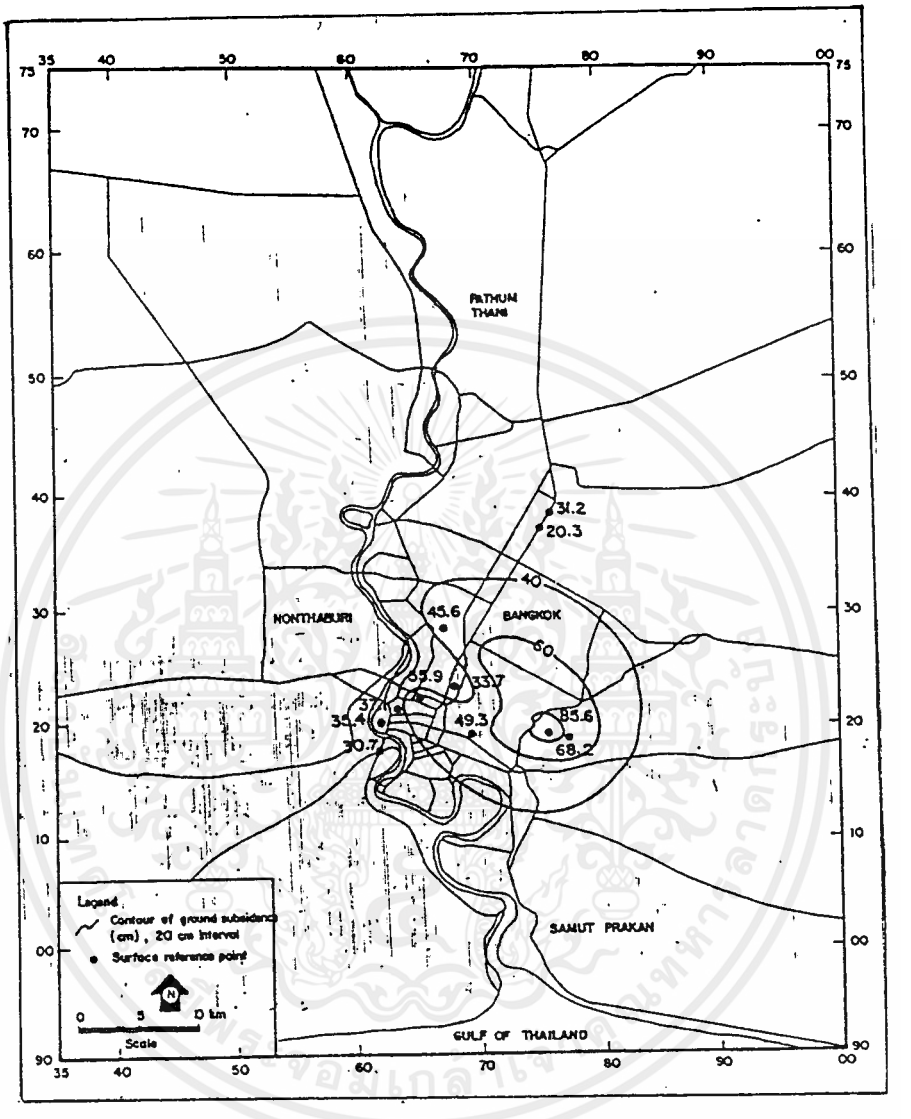


รูปที่ 2 (ข) ระดับความดันของน้ำใต้ดินในชั้นดินกักเก็บน้ำนครหลวง ปี พ.ศ. 2525



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ระหว่างปี พ.ศ.2476-2521



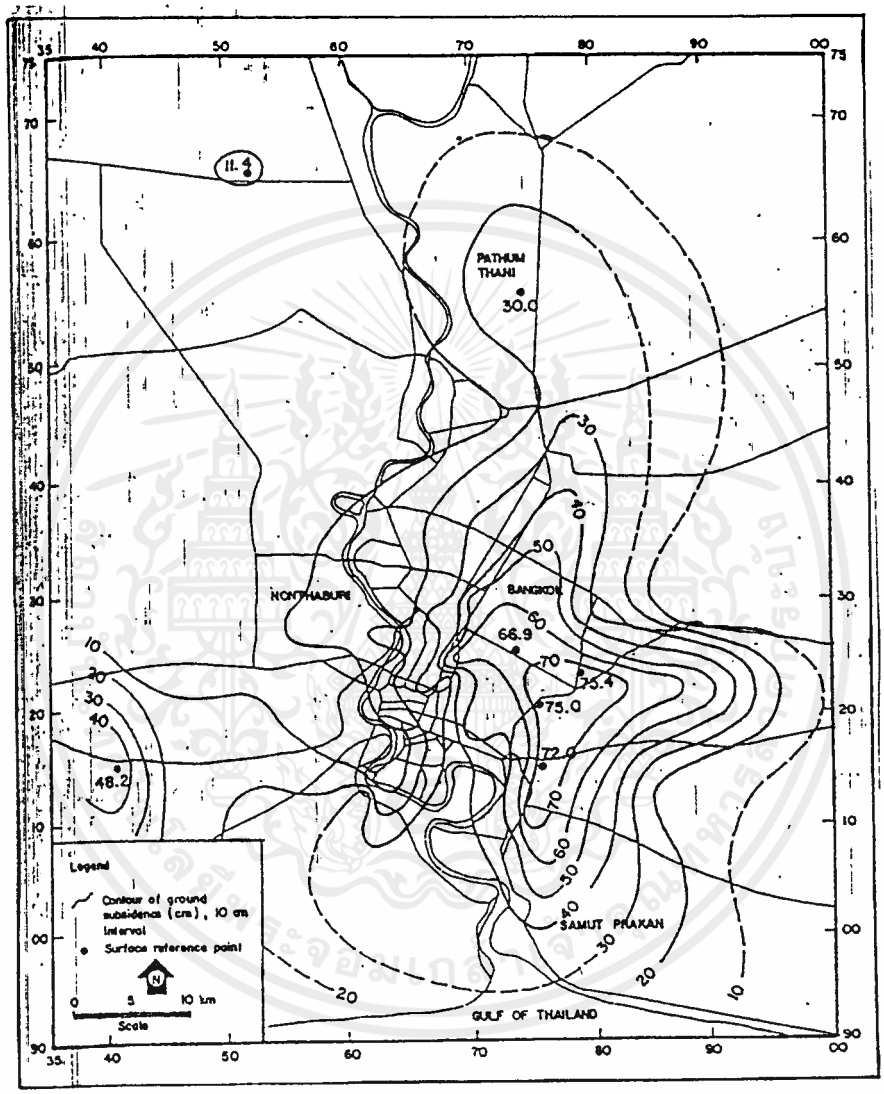
ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริมาณการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพฯ เกิดขึ้นในลักษณะเป็นแอ่งกระทะ โดยการทรุดตัวสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณบางกะปิและรามคำแหง เป็นบริมาณถึง 75 เซนติเมตร สำหรับอัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯที่เกิดขึ้นในปีต่างๆ ในช่วงดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5 ก-ง

ในช่วงเวลาเดียวกันนี้ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียและสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ดำเนินการติดตั้งเครือข่ายสถานี Compression Indicator และ Piezometer ทั่วบริเวณกรุงเทพฯ เพื่อตรวจวัดการทรุดตัวของชั้นดินและการเปลี่ยนแปลงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ

รูปที่ 4 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯระหว่างปี พ.ศ.2521-2530

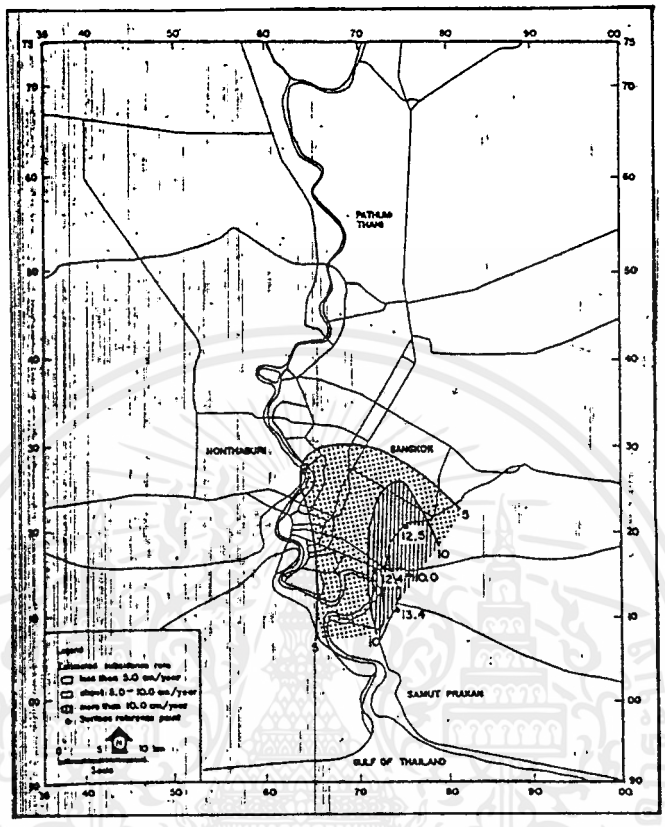


จากการติดตามศึกษาการทรุดตัวของพื้นดินที่เกิดขึ้นจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปสาระที่สำคัญของสภาพการทรุดตัวได้ดังต่อไปนี้

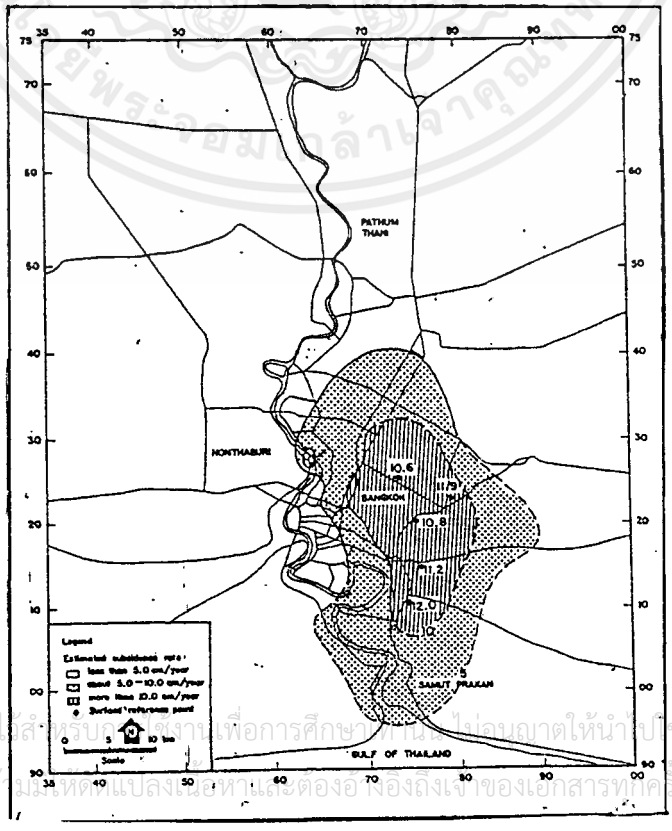
1. การทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ที่เกิดขึ้นจนกระทั่งปัจจุบันมีบริมาณตั้งแต่ 20 ซ.ม. ถึงมากกว่า 160 ซ.ม. ในปัจจุบันนี้ระดับพื้นดินในบริเวณวิกฤติได้ทรุดตัวต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางแล้ว (รูปที่ 6) บริเวณดังกล่าวได้แก่ รามคำแหง บางกะปิ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 (ก) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2521

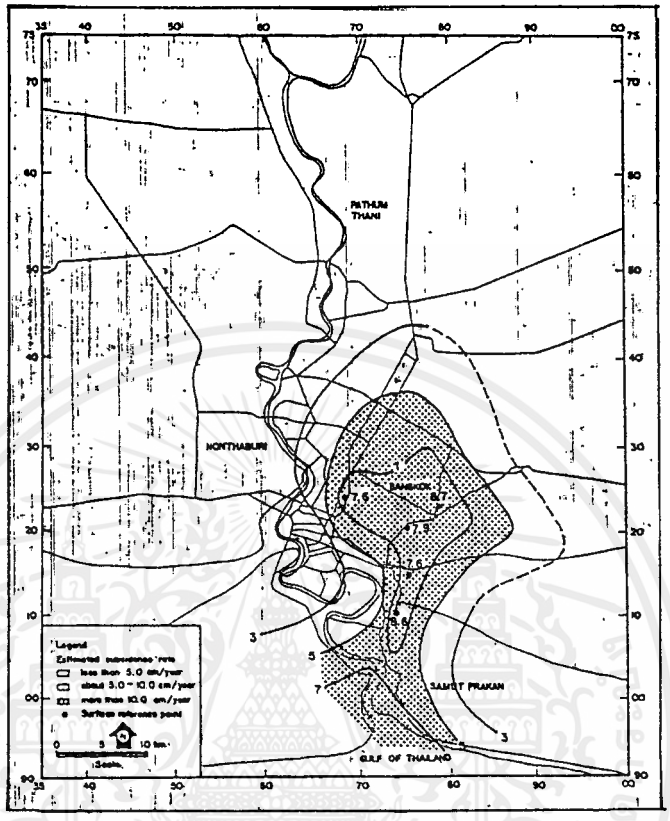


รูปที่ 5 (ข) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2524

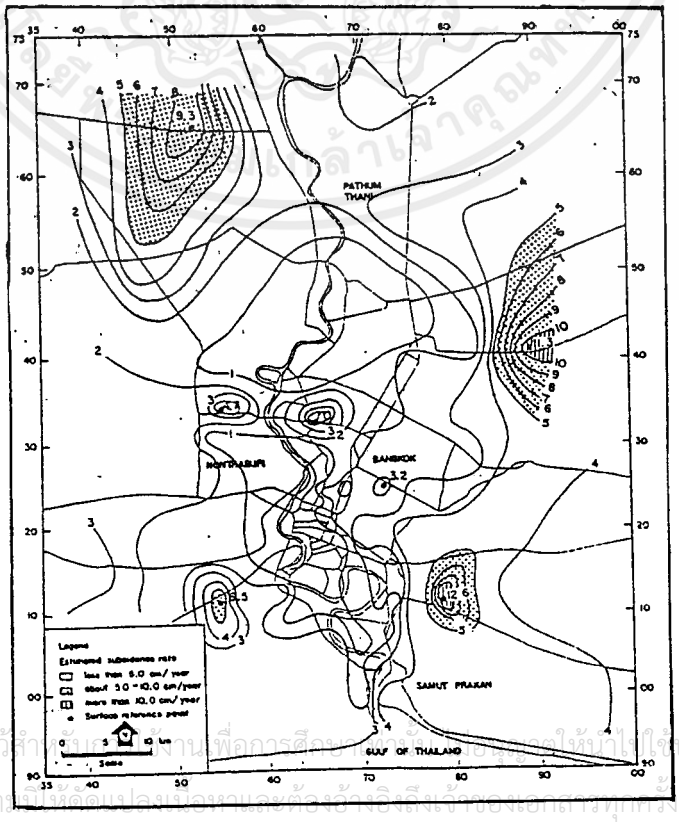


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 (ค) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2528

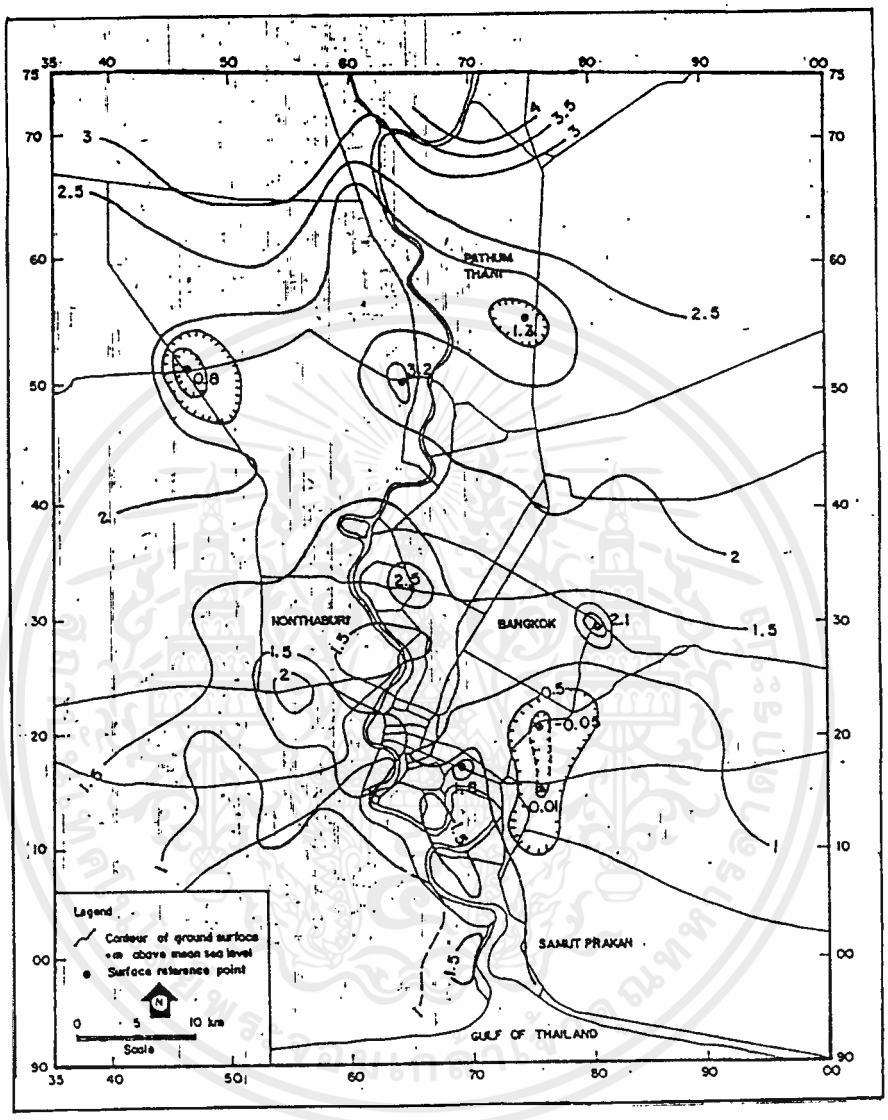


รูปที่ 5 (ง) อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2530



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 ระดับพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2530



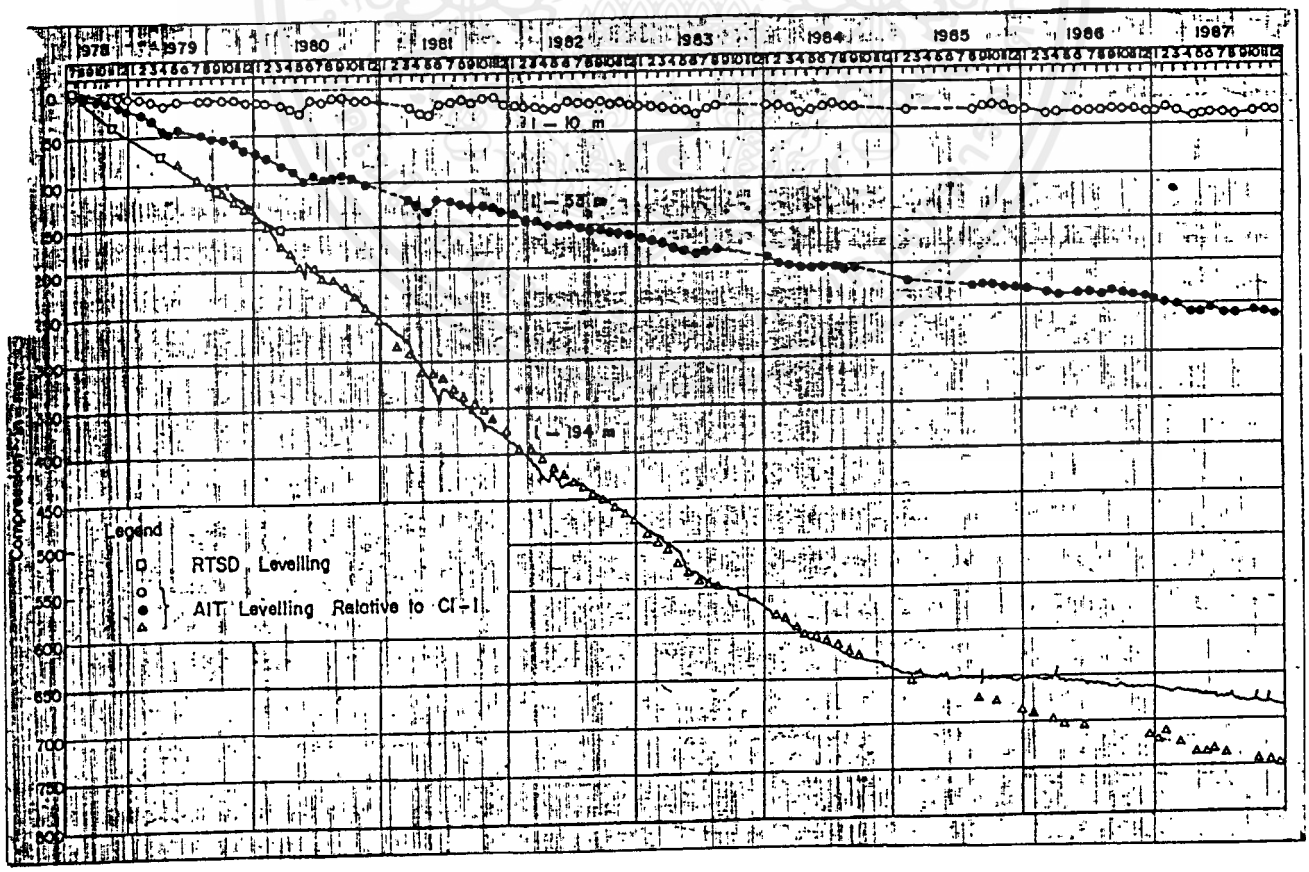
พระโขนง ซึ่งในปัจจุบันยังคงเกิดการทรุดตัวขึ้นในอัตรา 4 ถึง 5 เซนติเมตรต่อปี สำหรับในพื้นที่ใจกลางกรุงเทพฯ ซึ่งไม่มีการสูบน้ำบาดาลอีกแล้ว การทรุดตัวของพื้นดินได้หยุดลงและในบางแห่งได้พบว่ามีการ rebound ของพื้นดินสูงกลับขึ้นด้วย ในพื้นที่ดังกล่าวระดับ Piezometric Pressure ของน้ำใต้ดินได้กลับเพิ่มขึ้นในอัตรา 1-2 เมตร ต่อปี

2. ผลการวัดการทรุดตัวของพื้นดินด้วย Compression Indicator ณ บริเวณต่าง ๆ ทั่วกรุงเทพฯ ชี้ให้เห็นว่าปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่เกิดจากการยุบตัวของชั้นดินที่ระดับความลึก 10 ถึง 200 เมตร โดยที่ระดับความลึกระหว่าง 10 ถึง 50 เมตร ชั้นดินเกิดยุบตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริมาณ 25-30 % ของปริมาณการทรุดตัวรวมทั้งหมดที่วัดได้ที่ผิวพื้น ในขณะที่ 55-65 % ของการทรุดตัวรวมเกิดจากการยุบตัวของชั้นดินที่ระดับความลึกระหว่าง 50 ถึง 200 เมตร สำหรับช่วง 10 เมตรแรก จากผิวดินซึ่งส่วนใหญ่เป็นชั้นของดินเหนียวอ่อน ปริมาณการยุบตัวเกิดขึ้นเพียง 5-10 % ของปริมาณการทรุดตัวรวมเท่านั้น การยุบตัวของดินในช่วง 10 เมตร่แรกนี้ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากสาเหตุของการ Consolidation ตามธรรมชาติ และจากน้ำหนักอาคารและดินถมการสั่นสะเทือนจากการจราจร และน้ำหนักกดจากน้ำท่วมขังตามฤดูกาล ฯลฯ บริมาณการทรุดตัวของชั้นดินในช่วง 10-50 เมตร และ 50-200 เมตร นั้นมีลักษณะสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพการลดลงของความดันของน้ำใต้ดิน ที่ตรวจวัดได้ในชั้นดินกักน้ำบาดาลกรุงเทพฯ, พระประแดง, นครหลวง และนนทบุรี รูปที่ 7 แสดงให้เห็นตัวอย่างบริมาณการทรุดตัวของชั้นดินในช่วงระดับความลึกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ พ.ศ. 2521 จนกระทั่งปัจจุบัน ซึ่งตรวจวัดได้จาก Compression Indicator ณ สถานีตรวจวัดบางนา

รูปที่ 7 บริมาณการทรุดตัวของพื้นดินในช่องระดับความลึกต่างๆ ณ สถานีตรวจวัดบางนา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากปี พ.ศ. 2525 ทางราชการได้ตื่นตัวกับปัญหาพื้นดินทรุดตัวและดำเนินมาตรการเพื่อลดการใช้น้ำบาดาลลง การประปานครหลวงซึ่งเป็นผู้ใช้น้ำบาดาลรายใหญ่ในขณะนั้นได้เร่งดำเนินการขยายการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำผิวดิน และขยายระบบส่งจ่ายน้ำให้ทั่วถึงพื้นที่รับผิดชอบ เพื่อลดปริมาณการสูบน้ำบาดาลในส่วนของการประปาให้น้อยลง และหมดไปในที่สุด ในการนี้การประปานครหลวงสามารถลดการสูบน้ำบาดาลจาก 450,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันในปี พ.ศ. 2525 ลงมาเป็น 170,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันในปี พ.ศ. 2532 ในส่วนของการควบคุมการใช้น้ำบาดาลในภาคเอกชน กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรมได้ดำเนินการวางมาตรการควบคุมการเพิ่มปริมาณการใช้น้ำบาดาลภายหลังปี พ.ศ. 2525 ไม่ให้เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี โดยจัดเก็บค่าน้ำบาดาลและเข้มงวดกับการออกใบอนุญาตใหม่หรือต่อใบอนุญาตการสูบน้ำบาดาล มาตรการดังกล่าวของทางราชการสามารถเพียงลดปริมาณการสูบน้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล จาก 1.4 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันใน พ.ศ. 2525 ลงเป็น 1.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันในปี 2532 อนึ่งการสูบน้ำบาดาลในปัจจุบันได้ขยายเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่รอบนอกกรุงเทพฯ ซึ่งน้ำประปายังบริการไม่ถึง ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำบาดาลในส่วนกลางของกรุงเทพฯ ได้ลดลงจากเดิม

4. ปริมาณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในพื้นที่หนึ่ง มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ในบริเวณนั้น พื้นที่ที่มีการทรุดตัวเกิดขึ้นได้ขยายตัวเป็นบริมาณกว้างมากขึ้นในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่การใช้น้ำบาดาลได้เพิ่มมากขึ้นตามการเติบโตและขยายตัวของกรุงเทพฯ ในปัจจุบันนี้บริเวณการทรุดตัวของพื้นดินครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 4,500 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีการทรุดตัวของพื้นดินในอัตราสูงเกินกว่า 10 เซนติเมตรต่อปี ได้เปลี่ยนไปจากบริเวณบางกะปิ รามคำแหง และพระโขนง ในช่วง 6-7 ปี ก่อนมาเป็นพื้นที่ด้านเหนือของกรุงเทพฯ ในปัจจุบันการทรุดตัวในปัจจุบันยังเกิดขึ้นในอัตราสูงในพื้นที่ด้านตะวันตกและตะวันตกเฉียงเหนืออีกด้วย ตามการขยายตัวของเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบ

เนื่องจากกรุงเทพมหานครอยู่บนที่ราบลุ่มตอนล่างของแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งมีระดับพื้นดินสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางเพียง 0-2 เมตร โดยประมาณและมีน้ำท่วมเกือบทุกปี ประกอบกับพื้นดินนั้นเป็นดินอ่อน ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 60-70 เปอร์เซนต์ ทำให้ดินยุบตัวลงเนื่องจากการสูญเสียน้ำเป็นไปได้โดยง่าย

การที่พื้นดินยุบตัวลงอย่างมากเช่นนี้จึงทำให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ติดตามมาเช่น

1. น้ำท่วม น้ำท่วมกรุงเทพฯ นั้นเกิดจากสาเหตุ 3 ประการคือ

ก. น้ำท่วมจากแม่น้ำเจ้าพระยา ถ้าระดับแม่น้ำเจ้าพระยา (ที่สะพานพระพุทธยอดฟ้า) สูงกว่า 1.65 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง น้ำจะเริ่มท่วมบริเวณที่ลุ่มต่ำสองฝั่งแม่น้ำ ถ้าระดับน้ำสูงกว่า 1.75 เมตร น้ำจะท่วมถนนบางสาย เช่น ถนนสามเสน ถนนมหาราช ถนนจักรเพชร เป็นต้น และน้ำในคลองและท่อน้ำเสียซึ่งติดต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยาจะเอ่อล้น ถ้าระดับแม่น้ำเจ้าพระยาสูงกว่า 1.85 เมตร บริเวณที่น้ำท่วมจะกว้างขวางมาก เช่น น้ำท่วมในปี 2518 2521 และ 2526 เป็นต้น

ข. น้ำท่วมเพราะฝนตกหนัก ด้วยระบบระบายน้ำของกรุงเทพมหานครที่มีอยู่ ถ้าฝนตกภายใน กทม. มากกว่า 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะมีน้ำขัง 5-10 เซนติเมตร บนถนนบางสายประมาณ 6-12 ชั่วโมง ถ้าปริมาณน้ำฝนมากกว่า 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะมีน้ำท่วมบริเวณกว้างขวาง และใช้เวลาประมาณ 36-48 ชั่วโมง จึงจะระบายน้ำออกได้

ค. น้ำทะเลหนุน ในระยะเดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม เป็นช่วงเวลาที่น้ำทะเลหนุนสูง ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดประมาณ 1.35 เมตร ดังนั้น ในบริเวณที่พื้นดินมีระดับต่ำกว่า 1.35 เมตร และใกล้ทะเล เช่น บริเวณปากน้ำจะถูกน้ำท่วมในขณะน้ำขึ้นได้ นอกจากนี้ในฤดูน้ำหลากเมื่อน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับสูงอยู่แล้วไหลลงมาปะทะกับน้ำทะเลหนุนก็จะทำให้น้ำท่วมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่พื้นดินกรุงเทพมหานครทรุดตัวลงอย่างมากเช่นนี้ ทำให้บริเวณซึ่งน้ำไม่เคยท่วมมาก่อนก็จะถูกน้ำท่วม เช่น บริเวณถนนสุขุมวิท โดยเฉพาะฝั่งตะวันตก และตัวจังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น บริเวณน้ำท่วมจะแผ่ขยายมากขึ้นและการแก้ปัญหาน้ำท่วมในระยะยาวจะไม่เป็นผลสำเร็จ

2. การระบายน้ำ ระบบระบายน้ำของกรุงเทพมหานครนั้น เป็นระบบขึ้นอยู่กับระดับของแม่น้ำเจ้าพระยาและคลองซึ่งต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา โดยน้ำเสียจะระบายออกในเวลาน้ำลง การทรุดตัวของพื้นดินภายใน กทม. ทำให้ระดับของคูคลองรวมทั้งท่อระบายน้ำลดต่ำลง ในขณะที่ระดับของแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลมิได้ลดลงด้วย (ถึงแม้ว่าพื้นท้องน้ำจะลดลงก็ตาม) น้ำแม่น้ำเจ้าพระยาจึงท่วมท้นเข้ามาตามระบบระบายน้ำและคูคลอง และทำให้น้ำเอ่อขึ้นจากท่อระบายน้ำท่วมถนน และระบบระบายน้ำไม่ทำงาน การระบายน้ำเสียในปัจจุบันจึงต้องอาศัยการสูบทิ้งเป็นหลัก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่น บริเวณประตูระบายน้ำปากคลองพระโขนง แต่เดิมประตูระบายน้ำปากคลองพระโขนงนั้นสูง 2.00 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลโดยมีระดับพ้นน้ำ (Freeboard) 50 เซนติเมตร ต่อมาระดับน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาได้สูงขึ้นโดยลำดับ (เนื่องจากแผ่นดินทรุดแต่ระดับน้ำทะเลคงที่) จนกระทั่งท่วมประตูน้ำ (ระดับ 2.00 เมตร) กรมชลประทานจึงต้องเสริมขอบประตูขึ้นอีก 30 เซนติเมตร ในปี พ.ศ. 2523 ระดับแม่น้ำเจ้าพระยาที่ประตูน้ำคลองพระโขนงขึ้นสูงกว่า 2.32 เมตร และท่วมล้นประตูน้ำแห่งนี้ (ได้มีการตั้งทำนบกระสอบทรายเพื่อกันมิให้น้ำทะลักเข้าคลองพระโขนง) ในปัจจุบันกรมชลประทานได้เสริมของประตูน้ำนี้ขึ้นไปอีก จากการเดินระดับของกรมแผนที่ทหารมายังประตูน้ำแห่งนี้พบว่า ระดับพื้นดินในบริเวณนี้ได้ทรุดตัวลงไปแล้ว 100 ซม.

การระบายน้ำท่วมจากถนนสุขุมวิท จึงทำได้โดยการสูบน้ำจากท่อระบายน้ำเสียลงคลองแสนแสบหรือคลองพระโขนง แล้วจึงสูบข้ามประตูน้ำคลองพระโขนงทิ้งลงแม่น้ำเจ้าพระยาอีกทีหนึ่ง

3. ความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง ในบริเวณที่มีการยุบตัวของชั้นดินในทุก ๆ ระดับความลึก ฐานรากของสิ่งปลูกสร้างที่ไม่ได้อยู่ในระดับลึกเดียวกัน จนทรุดตัวลงในอัตราที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังเช่นทางเดินรอบตึกซึ่งวางอยู่บนพื้นดินจะทรุดตัวลงมากกว่าตัวอาคารซึ่งวางอยู่บนเข็มตอกลงไปถึงชั้นดินแข็ง (15 เมตร) หรือชั้นทราย (25 เมตร) ดังนั้นภายในระยะเวลาอันสั้น ทางเดินรอบตึกและบันไดจะแยกออกจากตัวอาคาร การแยกตัวออกนี้จะกว้างมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเป็นสัดส่วนกันโดยตรงกับระยะเวลา ถ้าพื้นชั้นล่างของอาคารวางตัวอยู่บนดิน พื้นนั้นก็จะยุบตามดินลงไปทำให้พื้นโค้งงอและแตกหักเสียหาย

ถึงแม้ฐานรากของสิ่งก่อสร้างจะอยู่ในระดับเดียวกัน แต่ถ้าอัตราการทรุดตัวในบริเวณดังกล่าวไม่สม่ำเสมอกัน ก็อาจทำให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากการบิดตัวโค้งของสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ ได้ เช่น ท่อระบายน้ำ อุโมงค์ส่งน้ำประปา เป็นต้น

ในกรณีที่สิ่งก่อสร้างนั้นมีฐานรากอยู่ในระดับตื้น และทรุดตัวลงค่อนข้างจะสม่ำเสมอ เช่น ตึก 2 ชั้นในสมัยก่อนซึ่งใช้เข็มสั้น เมื่อมีการขยายถนนหรือปรับระดับถนนผ่านบริเวณที่มีการทรุดตัวมาก ถนนที่สร้างใหม่จะอยู่สูงกว่าระดับเดิมมาก และทำให้บริเวณชั้นล่างของอาคารเดิมกลายเป็นห้องใต้ดิน

4. บ่อบาดาลโผล่ลอย บ่อบาดาลทุกบ่อในบริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง จะโผล่ลอยขึ้นจากพื้นดินในอัตราเท่ากับอัตราการทรุดตัวของพื้นดินในบริเวณนั้น การที่บ่อบาดาลโผล่ลอยขึ้นนี้ ทำให้ท่อส่งน้ำที่ต่อกับบ่อพร้อมทั้งฐานขอบบ่อถูกดันให้ลอยขึ้นมาเหนือพื้นดินด้วย และส่วนที่โผล่ขึ้นมานี้จะต้องตัดทิ้ง ทุก ๆ 2-3 ปี เพื่อมิให้เกิดความเสียหายต่อท่อส่งน้ำซึ่งอยู่ในแนวราบ ความสูงของบ่อที่พ้นพื้นดินขึ้นมา จะเท่ากับการทรุดตัวของดินในบริเวณนั้น นับตั้งแต่เริ่มเจาะบ่อ

5. ระดับความสูงอ้างอิง หมุดระดับความสูงอ้างอิงทุกหมุดภายในบริเวณที่มีการทรุดตัวลงไปพร้อมกับพื้นดิน ทำให้ค่าความสูงผิดไปจากเดิม โดยเราจะไม่สามารถรู้ถึงความผิดพลาดนี้ได้ นอกจากได้เดินระดับใหม่มาจากบริเวณที่ไม่มีการทรุดตัวเข้ามายังหมุดระดับนี้เท่านั้น ในการซ่อมสะพานพระพุทธยอดฟ้าทุกครั้ง กรมโยธาธิการจะเดินระดับความสูงมาจากหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารเพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของตอม่อสะพาน จากผลของการรังวัดระดับชั้นที่ 1 ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรมแผนที่ทหารเที่ยวสุดท้ายเมื่อ พ.ศ. 2532 พบว่าหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร (ติดตั้งใหม่เมื่อ 2518 โดยโยงจากหมุดหลักฐานเก่าซึ่งติดตั้งเมื่อ พ.ศ. 2476) เองนั้นทรุดลงไป 54.18 เซนติเมตร ตอม่อของสะพานพุทธฯ ฝังอยู่ในชั้นทราย (ความลึก 25 เมตรจากผิวดิน) ย่อมทรุดตัวลงน้อยกว่าหมุดหลักฐานซึ่งฝังลึกเพียง 1 เมตรเศษ แต่สะพานพระพุทธยอดฟ้าทรุดลงไป (พร้อมกับดินในระดับชั้นทราย) แล้วเท่าไรยังไม่มีใครรู้แน่นอน นอกจากนี้การอ้างระดับน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้ตอม่อสะพานพระพุทธยอดฟ้าเป็นหลักอ้างอิงนั้นก็ไม่มีความหมายจนกว่าเราจะได้รู้ถึงการทรุดตัวของตอม่อนี้เสียก่อน แล้วนำมาปรับค่าเพื่อหาค่าระดับน้ำที่แท้จริง

การสร้างถนนและท่อระบายน้ำใน กทม. ก็มีปัญหาเช่นเดียวกันเนื่องจากเราไม่มีระดับความสูงอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ที่จะมาใช้ในการเดินระดับและปรับความลาดเอียง

6. น้ำบาดาลเสื่อมคุณภาพและน้ำเค็มแทรกเข้ามา การสูบน้ำบาดาลขึ้นมาเกินกว่าน้ำจากผิวดินจะไหลซึมลงไปแทนที่ได้ทัน ทำให้ระดับและแรงดันน้ำใต้ดินลดลง ในบริเวณที่ชั้นน้ำมีทางติดต่อถึงทะเล น้ำเค็มจะไหลเข้ามาแทนที่น้ำจืด ทำให้ชั้นน้ำนั้นกลายเป็นน้ำเค็ม นอกจากนั้นน้ำจากชั้นดินเหนียวซึ่งมีสารละลายปนอยู่มาก จะไหลซึมเข้ามาปนกับน้ำสะอาดในชั้นทราย ทำให้น้ำในชั้นทรายเสื่อมคุณภาพด้วย บ่อบาดาลเป็นจำนวนมากในกรุงเทพมหานครกำลังเผชิญปัญหานี้อยู่

วิธีการแก้ไข

โดยทฤษฎี วิธีการแก้ไขการทรุดตัวของพื้นดินนั้นทำได้ 4 วิธีด้วยกันคือ

1. การถมดิน
2. การห้ามสูบน้ำบาดาล
3. การเติมน้ำสะอาดลงไปในชั้นบาดาล
4. วิธีต่าง ๆ ข้างต้นรวมกัน

1. การถมดิน การถมดินเพื่อยกระดับในปัจจุบัน ภาคเอกชนได้ทำแข่งกับ กทม. อยู่แล้ว ทุก ๆ ครั้งที่มีการซ่อม-สร้างถนนหรือตรอกซอยต่าง ๆ กทม. หรือกรมทางหลวงจะยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับถนนขึ้นไปให้สูงกว่าเดิม 50 เซนติเมตร เป็นอย่างน้อย ชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวจำเป็นจะต้องถมดินให้เสมอ หรือสูงกว่าระดับถนนเพื่อมิให้น้ำจากถนนไหลเข้ามาท่วมบ้าน และเมื่อบ้านใดบ้านหนึ่งถมที่ของตน เจ้าของที่ที่มีที่ติดต่อกับบ้านที่ถมดินก็จำเป็นจะต้องยกระดับพื้นดินของตนขึ้นด้วย เพื่อมิให้น้ำฝนจากเพื่อนบ้านไหลเข้าบ้านตน วิธีการเช่นนี้เป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า และได้ผลในระยะสั้นเท่านั้น เพราะในบริเวณที่มีการทรุดตัวถึง 10 เซนติเมตรต่อปีนั้น การถมดินสูง 50 เซนติเมตรจะได้ผลเพียง 5 ปีเท่านั้น ระดับดินก็จะทรุดตัวลงไปเท่าเดิมก่อนถมดิน นอกจากนี้ก็ยังเป็นวิธีที่แพงที่สุดอีกด้วย ถ้าเราคิดจะยกระดับพื้นดินที่ทรุดทั้งหมดให้เท่าเดิมโดยการถมดินแล้วจะต้องใช้เงินหลายหมื่นล้านบาท

2. **การห้ามสูบน้ำบาดาล** บ่อบาดาลภายในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการทั้งหมดมีประมาณ 10,000 บ่อและสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้วันละประมาณ 126,000 ลูกบาศก์เมตร

ถ้ารัฐบาลห้ามการสูบน้ำบาดาลนั้นมาใช้โดยเด็ดขาดตั้งแต่นี้เป็นต้นไป การทรุดตัวจะหยุดลงภายใน 1-2 ปี วิธีนี้เป็นการแก้ไขปัญหาที่เหตุที่ตรงที่สุด

3. **การเติมน้ำสะอาดลงไปในชั้นน้ำบาดาล** การเติมน้ำเป็นวิธีการเพิ่มปริมาณน้ำในชั้นน้ำเพื่อให้เพียงพอกับอัตราการสูบขึ้นมาใช้ เพื่อให้ระดับน้ำบาดาลไม่ลดลงไปกว่าเดิม และถ้าสามารถเติมน้ำให้ได้มากกว่าการสูบขึ้นมาใช้ระดับน้ำบาดาลก็จะสูงขึ้น และการทรุดตัวของพื้นดินจะหยุดลง

4. **การควบคุมการสูบน้ำบาดาลและการเติมน้ำสะอาด** หลาย ๆ ประเทศที่ประสบปัญหาการทรุดตัวของพื้นดินเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน อิสราเอล ได้แก้ปัญหานี้โดยการควบคุมการสูบน้ำบาดาลและการเติมน้ำสะอาดลงไปในชั้นน้ำบาดาล ทำให้สามารถใช้น้ำบาดาลได้ตลอดไปโดยแผ่นดินไม่ทรุด เนื่องจากน้ำบาดาลนั้นเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่มีวันหมดถ้าใช้เป็นและมีระบบการจัดการที่ดี ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่จะได้มีการศึกษาในรายละเอียดต่าง ๆ ทั้งความเหมาะสมและเป็นไปได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป

จากข้อมูลการทรุดตัวของพื้นดินในปัจจุบันดังกล่าว จะเห็นว่าการทรุดตัวยังคงเกิดขึ้นในพื้นที่ส่วนใหญ่ของกรุงเทพฯ และในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้ขยายออกไปในพื้นที่รอบนอกกรุงเทพฯ ตามการขยายตัวของพื้นที่อุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัย ทั้งนี้เนื่องจากว่าระบบส่งจ่ายน้ำประปาจากแหล่งน้ำผิวดินยังไม่มีเพียงพอ ดังนั้น การสูบน้ำบาดาลจึงเป็นสิ่งที่มิอาจจะหลีกเลี่ยงได้ในบริเวณนั้น อีกประการหนึ่ง ในบริเวณพื้นที่บางกะปิ รามคำแหง และพระโขนง ซึ่งมีการทรุดตัวเกิดขึ้นเกินกว่า 10เซนติเมตรต่อปี ในปัจจุบันนี้การสูบน้ำบาดาลก็ยังไม่หมดไป แม้ว่าระบบส่งจ่ายน้ำประปาจะไปถึงแล้วก็ตาม ทั้งนี้ เพราะเจ้าของบ่อน้ำบาดาลบางรายยังคงมีใบอนุญาตอยู่ ดังนั้นพื้นที่ดังกล่าวจึงยังคงเกิดการทรุดตัวต่อไปเรื่อย ๆ ถ้ายังมิอาจหาวิธีแก้ไขแผ่นดินทรุดได้อย่างจริงจังแล้วปัญหาต่าง ๆ ที่ตามมา เช่น ปัญหาน้ำท่วมขัง ก็จะเพิ่มขึ้นและทวีความรุนแรงและก่อให้เกิดความเสียหายต่อไปเรื่อย ๆ

เมื่อทางราชการยังไม่มีมาตรการ ที่สามารถทำการลดการสูบน้ำบาดาลให้ต่ำกว่าระดับที่ปลอดภัยในอนาคตอันใกล้นี้ได้ ซึ่งเป็นวิธีแก้ไขโดยตรงแล้ว วิธีการแก้ไขอีกวิธีหนึ่งที่อาจสามารถชะลอหรือหยุดยั้งการทรุดตัวของแผ่นดินได้ คือ การทำ Artificial Recharge ซึ่งเป็นการอัดน้ำสะอาดเติมลงไปยังชั้นดินกักเก็บน้ำบาดาล เพื่อช่วยเสริมขบวนการเติมน้ำตามธรรมชาติ สำหรับสภาพชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นน้ำบาดาลอยู่ลึกและมีชั้นดินเหนียวหนาคลุมอยู่ การเติมน้ำจะต้องทำการอัดด้วยความดันผ่านหลุมเจาะลงไป การทำ Artificial Recharge นั้นจะเลือกทำในบริเวณพื้นที่วิกฤติเพื่อหยุดยั้งการทรุดตัวของแผ่นดินและปัญหาต่าง ๆ ในบริเวณนั้น วิธี Artificial Recharge นี้ได้มีการนำมาใช้แก้ปัญหาพื้นดินทรุดอย่างได้ผลในหลายประเทศ อาทิเช่น สหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย เป็นต้น

รัฐบาลไทยได้ให้ความสนใจในวิธีการนี้และได้ลงมติเมื่อกลางปี พ.ศ. 2530 ให้การประปานครหลวงดำเนินการตั้งคณะกรรมการ ซึ่งประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องและสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ทำการศึกษาความเป็นไปได้ ของการนำเอา Artificial Recharge มาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหาพื้นดินทรุดตัวของกรุงเทพฯ ซึ่งคณะกรรมการได้เริ่มดำเนินการศึกษาไปบางส่วนแล้ว และกำลังอยู่ในขั้นตอนเตรียมการทำการเติมทดลอง เพื่อศึกษาในแง่เทคนิคและประสิทธิภาพอย่างละเอียดถี่ถ้วน ตลอดจนพื้นที่ที่จำเป็นจะต้องทำการอัดเติมน้ำและอัตราปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ และจะได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาแรงฉุดลงของเสาเข็ม

การเกิดแรงฉุดลง

แรงฉุดลงของเสาเข็ม คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างมวลดินกับเสาเข็มบริเวณผิวนอกของเสาเข็ม อันเป็นผลจากการที่ดินบริเวณรอบเสาเข็มเกิดการเคลื่อนตัวมากกว่าตัวเสาเข็ม เมื่อเสาเข็มเคลื่อนตัวน้อยกว่าดินรอบ ๆ ตัวเสาเข็มจะเกิดเป็นแรงฉุด ซึ่งเป็นแรงที่กระทำต่อเสาเข็ม แรงฉุดหรือแรงเสียดทานดังกล่าวเกิดขึ้นในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับแรงต้าน เนื่องจากผลของการเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม ซึ่งในกรณีหลังนี้เสาเข็มจะเคลื่อนตัวมากกว่าดินที่อยู่บริเวณรอบ ๆ

แรงฉุดหรือ Negative Skin Friction load เกิดขึ้นเมื่อมีสาเหตุทำให้ดินบริเวณรอบ ๆ เสาเข็มเกิดการทรุดตัว มักจะเกิดในกรณีที่ดินชั้นบนบริเวณรอบ ๆ เสาเข็มมีสมบัติทางด้านการทรุดตัวเลวกว่าดินที่อยู่บลายเสาเข็ม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ในมวลดินเกิดขึ้น ถ้าดินชั้นบนทรุดมากกว่าดินชั้นล่างที่อยู่บลายเสาเข็มและทำให้ดินบริเวณรอบ ๆ เสาเข็มในบริเวณมวลดินชั้นบน เกิดการเคลื่อนตัวมากกว่าเสาเข็มในบริเวณนั้น เมื่อรวมผลของการทรุดตัว เนื่องจากน้ำหนักที่ถ่ายลงมาและการหดตัวของเสาเข็มแล้ว แรงฉุดจะเกิดขึ้นเป็นผลทำให้เกิดแรงในตัวเสาเข็มและการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มเพิ่มขึ้น ถ้าการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งและในแนวนอนในมวลดินขึ้นกับเวลาก็ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงฉุดในเสาเข็มขึ้นอยู่กับเวลาเช่นกัน จนกระทั่งแรงฉุดมีค่าสูงสุด

แรงฉุดจากการเสียดทานจะเกิดขึ้นตั้งแต่หัวเสาเข็มมายัง Neutral point (ดูรูปที่ 1) Neutral point เป็นจุดที่ซึ่งการเคลื่อนตัวของมวลดินรอบ ๆ เสาเข็มเกิดขึ้นน้อยกว่าตัวเสาเข็มทำให้เกิดแรงต้าน เนื่องจากการเสียดทาน หรือ Positive Skin Friction จากสภาพสมดุลย์ของแรงจะเห็นได้ว่า

$$P_{allow} = \frac{Q_S + Q_E}{F.S.} - Wp - NF \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{allow} คือ น้ำหนักที่เสาเข็มต้นหนึ่งรับได้

Q_s คือ แรงต้านสูงสุด เนื่องจากแรงเสียดทาน (Ultimate Positive Skin Friction Load) คิดเฉพาะในส่วนของเสาเข็มที่ต่ำกว่า Neutral point

Q_E คือ แรงต้านสูงสุดที่ปลายเสาเข็ม (Ultimate End Bearing Capacity)

W_p คือ น้ำหนักของเสาเข็ม

NF คือ แรงฉุดลงสูงสุดที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม

F.S. คือ พิกัดความปลอดภัยมีค่าประมาณ 1.8-2.0

หน่วยแรงเสียดทานในทางลบ (Negative Skin Friction) ที่ทำให้เกิดแรงฉุดนี้ ต้องการการเคลื่อนตัวแตกต่างกันระหว่างมวลดินกับเสาเข็มเพียงเล็กน้อยที่จะทำให้เกิดค่าแรงฉุดสูงสุด (ไม่เกิน 1 ซม.) ดังนั้น NF จึงคำนวณจากในกรณีที่แรงเสียดทานในทางลบเกิดขึ้นสูงสุด

ในกรณีที่เสาเข็มกลุ่มมีระยะห่างระหว่างเสาเข็มประมาณ 3 - 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม NF สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$NF = f_{s_{neg}} A_s \qquad (2)$$

$f_{s_{neg}}$ = หน่วยแรงเสียดทานในการลบสูงสุด

A_s = พื้นที่ผิวของเสาเข็มที่หน่วยแรงเสียดทานในทางลบกระทำนั่นคือบริเวณส่วนที่เหนือ Neutral point

$$f_{s_{neg}} = \beta . \bar{\sigma}_v \qquad (3)$$

NF = แรงฉุดในเสาเข็ม/ต้น ในเสาเข็มกลุ่ม

$\bar{\sigma}_v$ = คือ หน่วยแรงประสิทธิผลในมวลดินในแนวดิ่ง เมื่อคำนึงการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงที่ทำให้เกิดแรงฉุด ลงในเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า β ตามที่เสนอแนะโดย Broms (1978) มีค่าดังนี้

ตารางที่ 1 ค่า β ของ Broms (1978)

ชนิดของดินและหิน	β
หิน (Rock Fill)	0.40
ทรายและกรวด	0.35
ทรายแป้งและดินเหนียวที่มี OCR = 1.0 และ PI < 50 %	0.30
ดินเหนียว OCR = 1.0 PI $\geq$ 50 %	0.20

ดินเหนียวที่มี OCR > 1.0 ค่า β จะสูงกว่าค่าที่แสดงในตารางที่ 1 ในดินอ่อนกรุงเทพฯ ค่า β อยู่ประมาณ 0.25 ถึง 0.35

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ คือ การหาตำแหน่งของจุด Neutral point และค่า $f_{s_{neg}}$ ของเสาเข็มแต่ละต้นจากสมการที่ 3 จะสูงเกินไปในกรณีที่เสาเข็มถูกจัดให้มีระยะใกล้ ๆ กัน (เช่น 2.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นต้น) ในเสาเข็มกลุ่ม

การวางจุด Neutral point ที่เส้นขอบเขตระหว่างชั้นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งหรือระหว่างชั้นดินที่อ่อนกว่าไปถึงชั้นดินที่แข็งแรงกว่าจะเป็นวิธีการที่ค่อนข้าง Conservative แต่เป็นวิธีการที่มีความแน่นอนที่สุด คือ ให้ผลที่เชื่อแน่ว่า Neutrul point ของเสาเข็มตอกหรือเจาะอยู่เหนือเส้นขอบเขตระหว่างชั้นดินเหนียวอ่อนกับชั้นดินเหนียวแข็งเล็กน้อย ในกรณีที่มีหน่วยแรงภายนอกมากระทำที่ผิวดินทำให้ดินอ่อนทรุดและเกิดแรงฉุด

การจัดให้เสาเข็มในเสาเข็มกลุ่มมีระยะห่างกันไม่มาก จะทำให้เสาเข็มบริเวณรอบนอกของเสาเข็มกลุ่มรับแรงฉุดมากกว่าเสาเข็มต้นอื่น ๆ การลดลงของ NF เมื่อพิจารณาทั้งกลุ่มมีปริมาณเท่าใด ในขณะนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

การใช้สมการที่ (2) และ (3) และใช้ Neutral point ที่เส้นขอบเขตระหว่างชั้นดินจึงให้ผลซึ่งค่อนข้าง Conservative ด้วยเหตุดังกล่าวค่าพิกัดความปลอดภัยที่นำมาใช้ในการออกแบบจึงเป็นค่าที่ต่ำได้ (ต่ำกว่า 2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การทรุดตัวและการออกแบบเสาเข็มกลุ่มในเรื่องเสถียรภาพทำได้โดยพิจารณาว่า NF เป็นแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มคิดในลักษณะเดียวกันกับน้ำหนักที่ถ่ายลงมาจากโครงสร้าง แต่แรงฉุดไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาได้ ในการวิเคราะห์จึงมักพิจารณาในกรณีที่แรงฉุดเกิดขึ้นสูงสุด

ในชั้นดินกรุงเทพฯ และสภาพของการสูบน้ำบาดาล การเกิดแรงฉุดเกิดขึ้นมาในฐานรากเสาเข็มจึงเกิดได้สามกรณีใหญ่ ๆ คือ

(i) **ในกรณีที่มีหน่วยแรงมากระทำที่ผิวดิน** เช่น การถมดิน (รูปที่ 1) ในกรณีนี้ Neutral pointจะอยู่ที่ใกล้บริเวณเส้นขอบเขตระหว่างดินเหนียวแข็งปานกลางดินกับเหนียวแข็ง

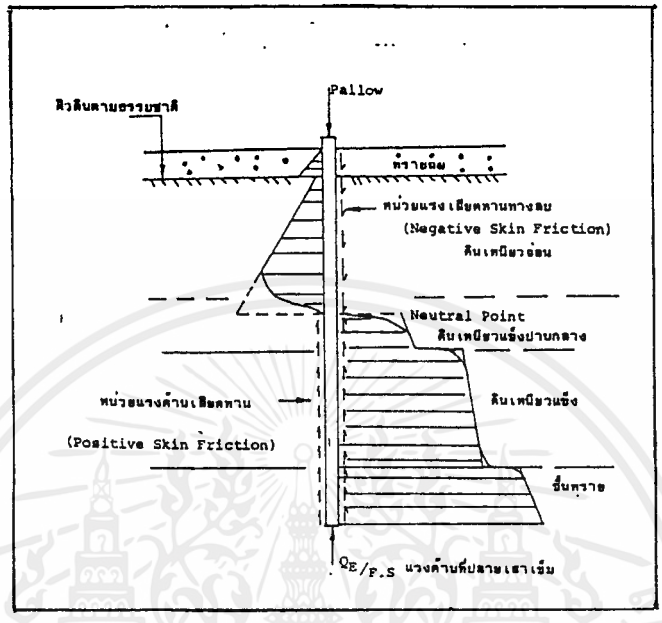
(ii) **การสูบน้ำบาดาล** ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง เนื่องจากการลดลงของความดันน้ำในโพรง ในกรณีนี้ Neutral point จะอยู่ใกล้กับปลายเข็ม (รูปที่ 2) ในการออกแบบผู้ออกแบบไม่ค่อยคำนึงถึงแรงฉุดชนิดนี้ในกรุงเทพฯ เนื่องจากยังไม่เห็นความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น

(iii) **การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงประสิทธิผลและการทรุดตัวของมวลดินอ่อน** เนื่องจากการตอกเสาเข็มอันเป็นผลของขบวนการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Process) ที่ซึ่งความดันน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการตอกเสาเข็มจะต้องลดลง ในกรณีดังกล่าว Neutral point จะอยู่ใกล้กับเส้นขอบเขตระหว่างดินเหนียวอ่อนกับดินเหนียวแข็ง (ทรุดน้อยกว่า) ในกรณีนี้คิด = (หน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติในแนวดิ่ง) เชื่อกันว่าแรงฉุดชนิดนี้อยู่ไม่นานเพราะน้ำสามารถไหลซึมออกจากดินตามรอยแยกของดิน เนื่องจากผลของการตอกเสาเข็มและแรงต้านเนื่องจากหน่วยแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นแทนเมื่อเสาเข็มเริ่มรับน้ำหนักของโครงสร้างที่มากระทำ แรงฉุดชนิดนี้จึงมักจะไม่ได้รับการพิจารณาในการออกแบบในกรุงเทพฯ

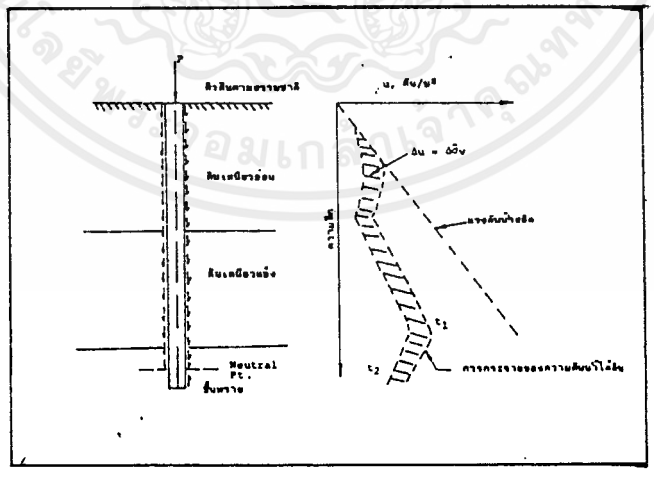
โดยปกตินำหนักจร (Live Load) สามารถทำให้แรงฉุดในเสาเข็มเปลี่ยนไปเป็นแรงต้านได้เมื่อน้ำหนักจรนี้ทำให้เกิดแรงในเสาเข็มในส่วนที่เกิดแรงฉุด ประมาณ 2 เท่า ของแรงฉุดในชั้นดินกรุงเทพฯ เนื่องจากชั้นดินอ่อนค่อนข้างหนาแรงฉุดในเสาเข็มจึงมีมาก น้ำหนักจรจึงไม่มีโอกาสที่จะทำให้แรงฉุดนี้เปลี่ยนไปเป็นแรงต้านได้ ตารางที่ 2 แสดงค่าของ NF และ $Q_s + Q_E$ ของเสาเข็มขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 แสดงแรงฉุดลงในเสาเข็ม และ Neatural Point



รูปที่ 2 แสดงสภาพแรงฉุดลงที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงว่าเสาเข็มเล็กและสั้น (0.20 x 0.20 x 18) แม้มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งจะเกิดการวิบัติได้ด้วยผลของแรงฉุด เสาเข็มยาวและใหญ่ขึ้นรับแรงฉุดได้ดีขึ้น ($\frac{Q_S + Q_E \text{ เพิ่มขึ้น}}{NF}$) และเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายรับแรงฉุดได้ดีกว่าเสาเข็มที่มีปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าพิจารณาพฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่ม

การตรวจสอบว่ามวลดินรอบ ๆ และใต้เสาเข็มกลุ่มจะวิบัติหรือไม่เมื่อเกิดแรงฉุดในฐานรากเสาเข็ม ควรทำการตรวจสอบทั้งในลักษณะที่เป็นเสาเข็มต้นเดียว (Single pile) และเสาเข็มกลุ่ม (Pile group)

แรงฉุดและการทรุดตัวที่เกิดจากแรงฉุดมักจะเกิดหลังจากที่การทรุดตัวเนื่องจากแรงที่ถ่ายลงมายังฐานรากเสร็จสิ้นลงแล้ว ปัญหาแรงฉุด คือ ปัญหาระยะยาว (Long term) โดยเฉพาะในกรุงเทพฯ แรงฉุดสูงสุดจะใช้เวลาที่เกิดเท่ากับเวลาที่เกิดการทรุดตัวในดินอ่อน เพราะหน่วยแรงประสิทธิผลในดินอ่อนเพิ่มขึ้นพร้อมกับการทรุดตัว ในกรณีที่แรงฉุดเกิดจากการถมดิน

ตารางที่ 2 ค่า NF และ $Q_S + Q_E$ โดยประมาณของเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ

ขนาดของเสาเข็ม	$Q_S + Q_E$		NF (ตัน)	$\frac{Q_S + Q_E}{NF}$	
	ปลายเสาเข็มในชั้นดินแข็ง	ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายสะอาด		ดินเหนียวแข็ง	ชั้นทราย
.20x.20x18 ม.	14	-	19	0.73	-
.30x.30x25 ม.	81	115	28	2.89	4.10
.45x.45x25 ม. เข็มกลวง	133	180	43	3.09	4.18
Ø .60x30 ม.	252	394	45	5.60	8.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาแรงฉุดลงของเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ

ปัญหาจากแรงฉุดเกิดขึ้นได้ในลักษณะใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิดด้วยกัน ปัญหาที่เกิดขึ้นซึ่งจะเกิดขึ้นในระยะเวลายาว (Long term) หลังจากก่อสร้างได้แก่ :

(i) ปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานรากเสาเข็ม เนื่องจากแรงฉุด

(ii) ปัญหาที่เกิดจากการวิบัติของโครงสร้างของตัวเสาเข็มเอง ปัญหาดังกล่าวเกิดเฉพาะในเสาเข็มหรือเสาเข็มกลุ่มอยู่ในชั้นทรายที่อัดแน่นมากและมวลดินสามารถรับแรงฉุดได้

ปัญหาทั้งสองชนิดนี้ เกิดจากการไม่คำนึงถึงการเกิดขึ้นของแรงฉุด ความผิดพลาดในการประเมินแรงฉุด และความไม่เข้าใจในเรื่องการทรุดตัวที่จะต้องเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากและเพิ่มขึ้นกับเวลาเนื่องจากผลของแรงฉุดในเสาเข็ม ผลของปัญหาทั้งสองลักษณะที่เกิดขึ้น คือความเสียหายของสิ่งก่อสร้างทางโครงสร้างที่ฐานรากเสาเข็มรองรับอยู่

1. **ปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากัน**

ปัญหาดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีดังต่อไปนี้

(i) การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันอันเป็นผลของ**การเกิดแรงฉุดไม่เท่ากัน** : กรณีเช่นนี้เกิดจากการถมดินหรือมี Surcharge ไม่เท่ากันหรือเกิดจากการถมดินคนละเวลา ซึ่งทำให้การทรุดตัวของมวลดินอ่อนที่เกิดขึ้นเกิดในอัตราที่ไม่เท่ากัน บางแห่งในบริเวณก่อสร้างการทรุดตัวเสร็จสิ้นไปแล้วจึงไม่มีแรงฉุดเกิดขึ้น ปัญหาเรื่องนี้มักเกิดขึ้นรุนแรงเมื่อปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินต่างชนิดกัน เช่น ดินเหนียวแข็ง และทรายอัดแน่น เป็นต้น และฐานรากที่มีปลายเสาเข็มอยู่ในดินแข็ง ไม่สามารถรับแรงฉุดได้ หรือรับด้วยพิกัดความปลอดภัยต่ำมาก

(ii) การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันที่เกิดจาก**ชนิดของมวลดินที่ปลายเสาเข็มมีสมบัติที่ต่างกันมาก** เสาเข็มกลุ่มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินแข็งด้วยผลของแรงฉุดที่เท่ากัน การทรุดตัวที่แตกต่างอาจเกิดขึ้นได้ทั้ง ๆ ที่มวลดินสามารถรับแรงฉุดได้

(iii) การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันอันเกิดจาก**การวิบัติของมวลดินเนื่องจากแรงฉุด**:กรณีที่เกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันอย่างรุนแรง ได้แก่ ในกรณีที่มิได้คิดผลของแรงฉุดในการออกแบบการที่น้ำหนักถ่ายลงฐานรากเสาเข็มแต่ละแห่งไม่เท่ากัน อาจทำให้มวลดินและปลายฐานรากเสาเข็ม สำหรับสิ่งก่อสร้างเกิดการวิบัติอย่างช้า ๆ เนื่องจากเกิดแรงฉุดได้ไม่พร้อมกันทุกตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฐานราก การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันในลักษณะนี้อาจเกิดจากผลของการวางปลายเสาเข็มของฐานรากเสาเข็มไว้ในดินต่างชนิดกัน ที่มีสมบัติทางด้านการทรุดตัวและกำลังรับน้ำหนักที่แตกต่างกันมากเช่นกันด้วย

(iv) การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันอันเป็นผลมาจาก**การทรุดตัวของฐานรากมีปริมาณมาก:** กรณีนี้มักเกิดขึ้นในกรณีที่ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง ผลของแรงฉุดจะทำให้เกิดการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อผลของแรงฉุดทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้น ในมวลดินมีค่าสูงกว่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure) เมื่อฐานรากเกิดการทรุดตัวมาก การทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างฐานรากก็อาจมีมากจนเป็นผลให้เกิดการเสียหายได้ การเสียหายชนิดนี้เกิดขึ้นได้ทั้ง ๆ ที่ออกแบบให้ฐานรากสามารถรับแรงฉุดได้ (นั่นคือพิจารณาเฉพาะปัญหาทางด้านเสถียรภาพ แต่ไม่ได้พิจารณาทางด้านการทรุดตัว) ปัญหาดังกล่าวอาจเกิดได้ง่ายขึ้นเมื่อ OCR ของดินเหนียวในบริเวณก่อสร้างต่างกันมาก

ในกรุงเทพฯ ผลของแรงฉุดที่เกิดจากหน่วยแรงมากระทำที่ผิวดิน ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันได้ จากสาเหตุทั้งสี่ชนิดดังกล่าวแล้ว ผลของชนิดที่ (iii) จะเป็นชนิดที่เกิดบ่อยและมีการเสียหายที่มากที่สุด การเกิดการวิบัติของมวลดินบริเวณฐานรากเพียงบาง zone อาจทำให้ฐานรากอีก zone หนึ่งถูกฉุดลอยขึ้นมาได้ ความแข็งแรงของโครงสร้าง และ joint มีส่วนช่วยให้การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันนี้เกิดขึ้นน้อยลงโดยการ redistribute ของน้ำหนักถ่ายลงเสาเข็มบ้าง

ผลของแรงฉุดที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาล ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันชนิดที่ (iii) ได้ ในความเห็นผู้เขียนคิดว่า อันตรายอาจจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ฐานรากเสาเข็มมีพฤติกรรมเป็น isolate footing และปลายเข็มอยู่ในดินที่มีสมบัติต่างกันมาก เช่น ดินเหนียวกับทรายอัดแน่น ในฐานรากขนาดเล็ก มวลดินใต้เสาเข็มและบริเวณรอบ ๆ เสาเข็มจะค่อย ๆ เกิดการวิบัติอย่างช้า ๆ โดยผลของแรงฉุดที่เพิ่มขึ้นกับเวลา เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย มวลดินเหนียวแข็งที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม และรอบเสาเข็มจึงเกิดการวิบัติก่อน และทรุดมากกว่ามวลทราย ดังนั้น การทรุดตัวที่แตกต่างกันมาก ๆ จึงเกิดขึ้นได้ถ้าฐานรากเสาเข็มที่อยู่ใกล้กันมีปลายเสาเข็มอยู่ในดินต่างชนิดกัน อย่างไรก็ดี ในดินเหนียว การ Redistribution load จะเกิดขึ้นดีกว่าเพราะดินเหนียวเป็นสารที่มีพลาสติกซิตี้ เมื่อเกิดการวิบัติการเคลื่อนตัวจะเกิดขึ้นช้ากว่า ในฐานรากของอาคารสูงโอกาสที่จะเกิดปัญหานี้มีน้อยกว่าเพราะฐานรากอยู่ติดกันมาก และยึดแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยโครงสร้างการ redistribution ของ load จะเกิดได้ดีกว่า

ฐานรากเสาเข็มที่เกิดการวิบัติของมวลดินด้วยแรงฉุดจะเกิดการทรุดตัวแบบไม่มีการหมดจนกว่าเสาเข็มจะรับแรงฉุดได้หรือแรงฉุดจะเลิกเกิดขึ้น เมื่อมวลดินบริเวณเสาเข็มเกิดการวิบัติ ฐานรากเสาเข็มจะเคลื่อนตัวด้วยอัตราที่เร็วกว่าการทรุดตัวของมวลดินรอบ ๆ เป็นผลให้แรงฉุดถูก release และแรงต้านที่ปลายเสาเข็มจะช้าลงและแรงฉุดก็จะเกิดขึ้นอีก จนกระทั่งถึงจุดที่มวลดินวิบัติอีก ขบวนการนี้จะเกิดขึ้นเรื่อย ๆ ไม่รู้จบ ถ้าดินรอบ ๆ เสาเข็มไม่หยุดการทรุดตัว หรือกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มไม่เพิ่มขึ้นกับเวลาจนรับแรงฉุดได้

สิ่งที่ควรระวังอีกอย่างหนึ่ง คือ พวกฐานรากขนาดใหญ่ที่มีบริมาณเสาเข็มในฐานรากมากหรือใช้เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ และมีปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายที่หนาเกิน 1.5 เท่า ของความกว้างของฐานราก ฐานรากเหล่านี้อาจไม่เกิดการวิบัติของมวลดิน เนื่องจากแรงฉุด เนื่องจากสูบน้ำบาดาล เมื่อฐานรากชนิดนี้เชื่อมอยู่กับฐานรากที่มีปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งที่ซึ่งจะเกิดการวิบัติของมวลดินนั้น เนื่องจากแรงฉุดการทรุดตัวที่แตกต่างกันอาจเกิดขึ้นได้

การที่มี load/pile ต่างกันมากในเสาเข็ม ก็มีโอกาสทำให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันเนื่องจากแรงฉุดที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลได้ ทั้งนี้เพราะการวิบัติของมวลดินเนื่องจากแรงฉุดเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน การวัดการทรุดตัวของอาคารโดยใช้เสาเข็มที่มีปลายอยู่ที่ความลึกเท่ากับปลายเสาเข็มของอาคารอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ โดยข้อผิดพลาดมีแนวโน้มที่จะวัดการทรุดตัวน้อยเกินไปในระหว่างก่อสร้าง และในระยะที่การทรุดตัวเกิดจากน้ำหนักของอาคาร แต่ในระยะยาวการวัดจะให้ผลของการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักของอาคารมากเกินไป เพราะผลที่ได้จะรวมถึงผลของการทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างเสาเข็มที่เป็นสิ่งอ้างอิงกับเสาเข็มของอาคารเนื่องจากผลของแรงฉุด เนื่องจากการสูบน้ำบาดาล

ขณะนี้ในบริเวณกรุงเทพฯ เท่าที่ทราบยังไม่มีการเสียหายที่บ่งชัด แสดงว่าเป็นผลของแรงฉุดที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาล สาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากในตัวกรุงเทพฯเอง ไม่มีการใช้น้ำบาดาล ผลของแรงฉุดในเสาเข็มจึงยังไม่ปรากฏ

ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ความเสียหายได้เกิดขึ้นจากผลของการสูบน้ำบาดาล อาคารสถานที่ดังกล่าวเป็นอาคารเล็ก ๆ เพียง 2 ชั้น ผลของการใช้เสาเข็มและฐานรากขนาดเล็กที่ไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกัน และในดินชนิดเดียวกัน ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน และทำให้มีการเสียหายเกิดขึ้น ผลของการใช้ฐานรากต่างระดับ เป็นส่วนหนึ่งที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน นอกเหนือไปจากแรงฉุดจากการสูบน้ำบาดาล และจากสภาพดินที่ไม่สม่ำเสมอ ตลอดจนจากการใช้น้ำบาดาลอย่างมากมายในบริเวณอาคารที่ปลูกสร้าง

สรุปแล้วความเสียหายส่วนใหญ่ของสิ่งปลูกสร้างที่เกิดจากแรงฉุดในฐานรากเสาเข็มในบริเวณกรุงเทพฯ ในขณะนี้เป็นผลของแรงฉุดที่เกิดจากการที่มีหน่วยแรงภายนอกมากระทำ

ตัวอย่าง อันตรายของแรงฉุดที่มีต่อฐานรากเสาเข็มที่เป็น case record ได้ทำการวิเคราะห์โดยปฐม (2529) อาคารที่เกิดปัญหานี้ขึ้นอยู่บริเวณพระประแดง Lay out ของฐานรากแสดงอยู่ในรูปที่ 3 พร้อมทั้ง load/pile ของเสาเข็มแต่ละฐานราก เสาเข็มที่ใช้เป็นเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งมีขนาด 0.25 x 0.25 ยาว 18 เมตร เสาเข็มมีปลายจมอยู่ในดินเหนียวแข็งประมาณ 3.5 เมตร และแต่ละฐานรากมีเสาเข็มอยู่ระหว่าง 1 ถึง 6 ต้น และ load/pile อยู่ระหว่าง 15 ถึง 27 ตัน/ต้น จากการทดสอบเสาเข็มพบว่าเสาเข็มนี้สามารถรับแรงสูงสุดได้ 40 ตัน/ต้น

การวัดการทรุดตัวได้ใช้ฐานรากของ Gantry เป็นสิ่งอ้างอิงฐานรากดังกล่าวประกอบด้วย เสาเข็มต้นเดียว ยาว 21 เมตร และมีแรงถ่ายลงมาเพียง 10 ตัน การทรุดตัวที่วัดได้จึงอาจจะไม่ใช่การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทั้งหมด แต่ก็เชื่อว่าเป็นค่าที่ได้วัดน้อยกว่าความเป็นจริงบ้างเล็กน้อย

รูปที่ 4 แสดงสภาพดินและฐานรากที่ต้องการจะเปรียบเทียบการทรุดตัว (E_1 และ A_2) ฐานรากดังกล่าวประกอบด้วยเสาเข็ม 4 ต้น และ load/pile คือ 17 ตัน/ต้น ในฐานราก E_1 และ 23 ตัน/ต้น ใน A_2 จากการพิจารณาบริเวณก่อสร้างพบว่า แรงฉุดจะเกิดขึ้นจากการถมทราย 1.5 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่า :

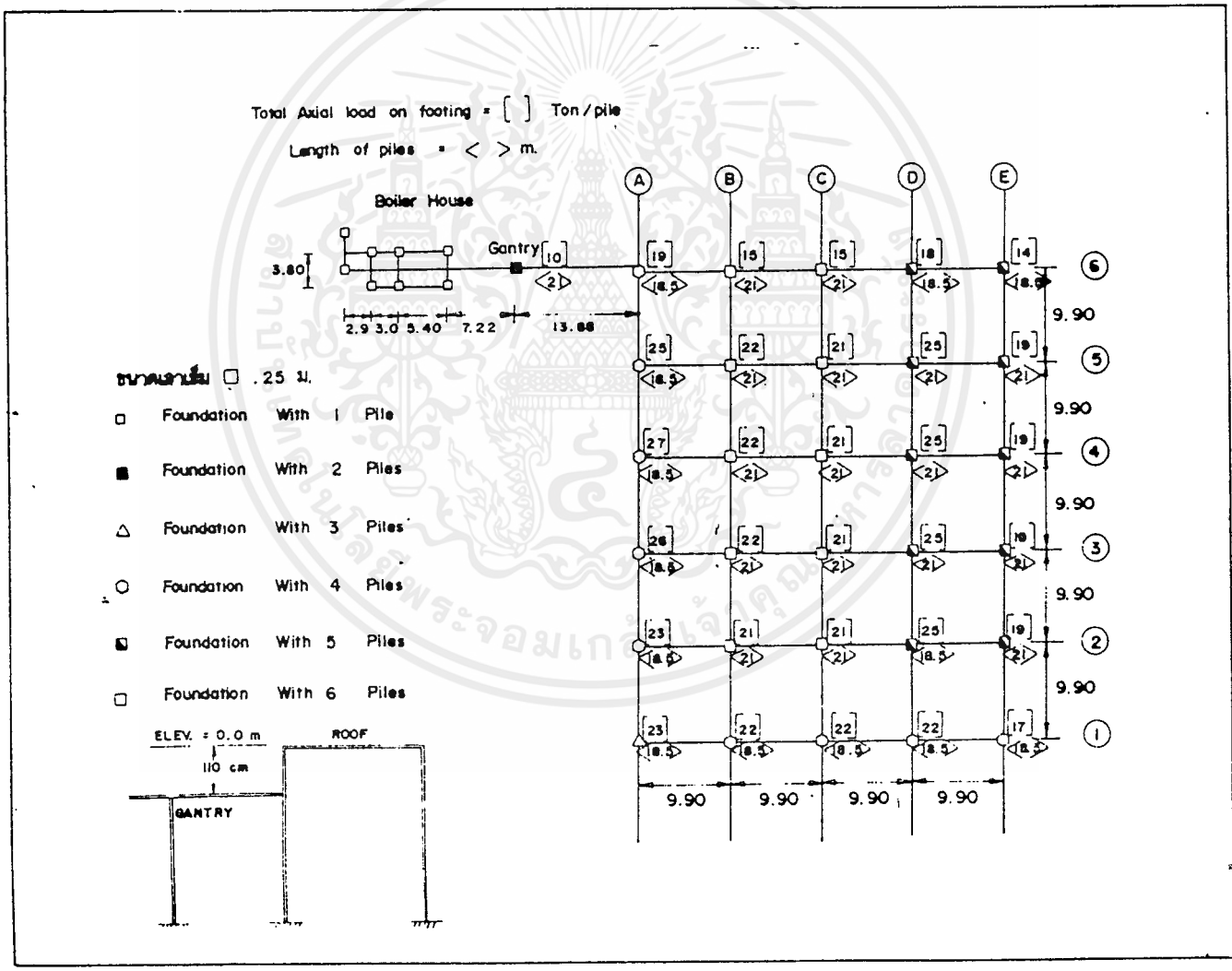
1.1 ด้วย load/pile ที่ใช้หน่วยแรงประสิทธิผลในมวลดินเมื่อรวมถึงผลของหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักที่ถ่ายลงมาในเสาเข็มแรงจะมากกว่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีตทั้ง ๆ ที่ยังไม่รวมแรงฉุด

1.2 ฐานราก E_1 มีพิกัดความปลอดภัยประมาณ 1.0 เมื่อพิจารณาผลของแรงฉุดและมวลดินใต้และบริเวณเสาเข็มรอบ ๆ ฐานราก A_2 ไม่สามารถรับแรงทั้งหมดเมื่อรวมแรงฉุดด้วย นั่นคือ ในกรณีหลังนี้ A_2 พิกัดความปลอดภัยมีค่าต่ำกว่า 1.0

รูปที่ 5 แสดงผลของการทรุดตัวที่วัดได้ ผลของการที่ฐานราก E_1 มีหน่วยแรงถ่ายลงมาในดินสูงทำให้เกิดการทรุดตัวถึงประมาณ 25 ซม. ทั้ง ๆ ที่เป็นฐานรากขนาดเล็ก และมี

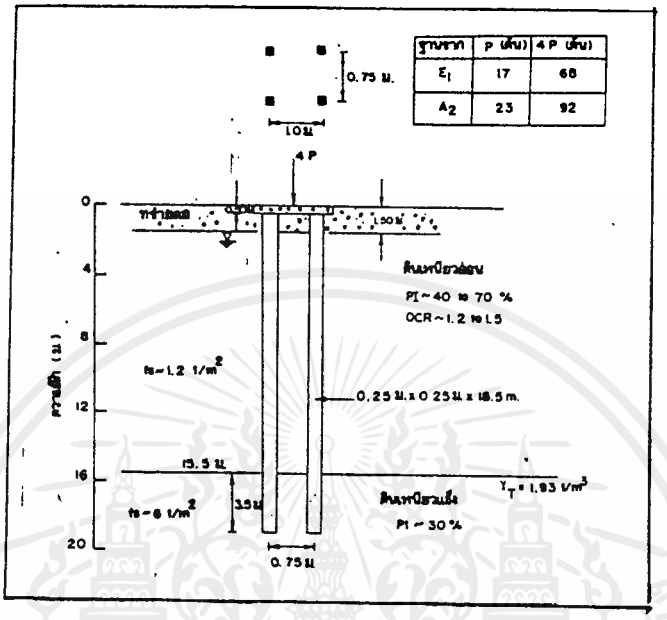
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 Loyout ของฐานราก load/pile และปริมาณเสาเข็มในฐานราก

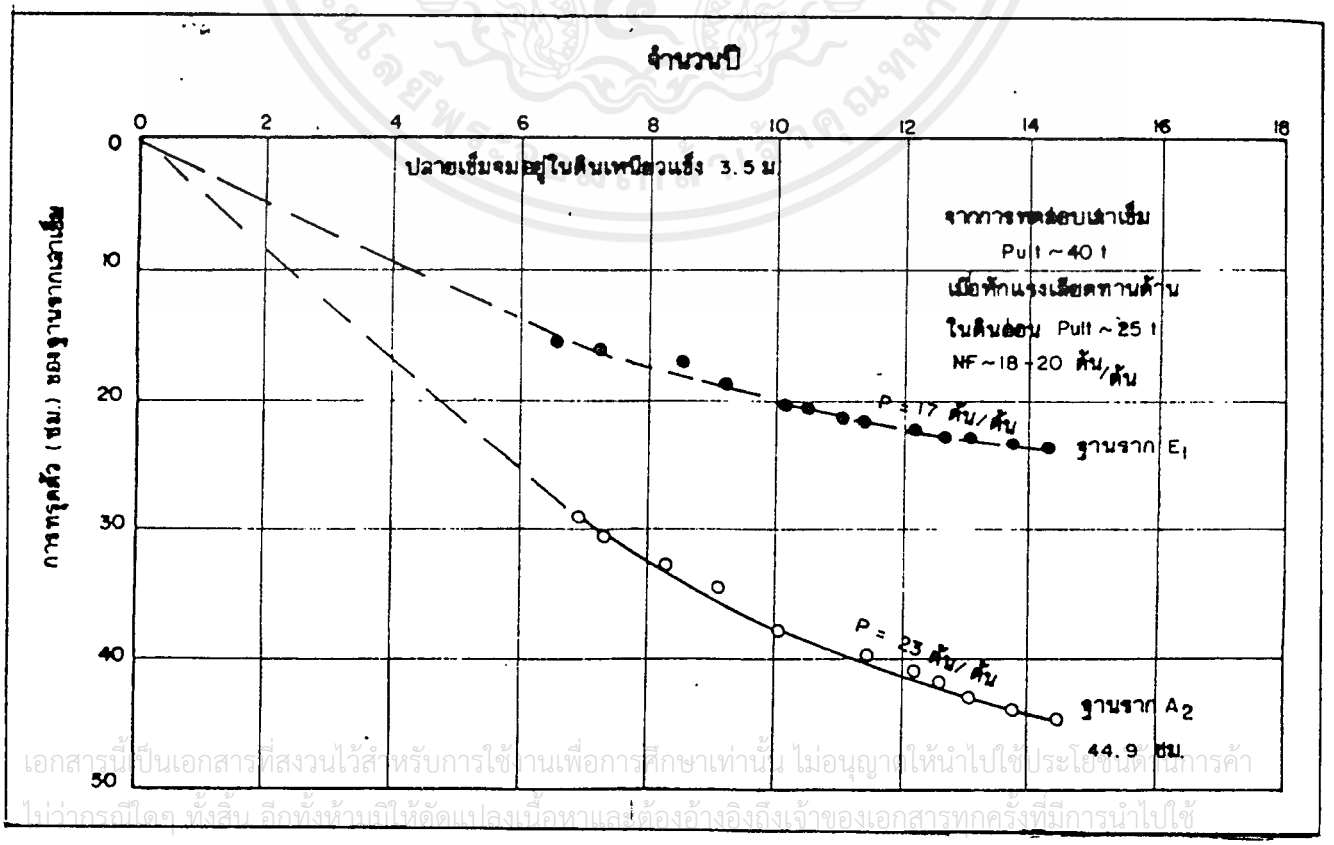


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 แสดงชั้นดินและน้ำหนักที่ถ่ายลงมาสู่เสาเข็มของฐานราก E1 และ A2



รูปที่ 5 การทรุดตัวเนื่องจากแรงฉุดที่ทำให้เกิดอัตรายที่อาคารแห่งหนึ่งบริเวณพระประแดง (ข้อมูลได้รับการเอื้อเฟื้อจากคุณเรืองวิทย์ บริษัท REC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายเสาเข็มอยู่ในดินเหนียวแข็ง ฐานราก A_2 เมื่อมวลดินไม่สามารถรับแรงฉุด การทรุดตัวเกิดขึ้นแล้วกว่า 40 ซม. และยังไม่ได้แสดงทีท่าว่าจะหยุดลงในขณะที่การทรุดตัวของฐานราก E_1 มีแนวโน้มว่าจะหยุดได้

การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันอย่างมากมาย เกิดจากปัญหาทั้งสองลักษณะดังกล่าว นั่นคือ ลักษณะ (iii) และ (iv) ผลของการใช้ load/pile ที่ไม่เท่ากัน ทำให้มวลดินของบางฐานรากเกิดการวิบัติได้เมื่อรวมผลของแรงฉุด และการวิบัติเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน

การเก็บ record ในลักษณะนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จะทำให้เข้าใจพฤติกรรมของเสาเข็มเมื่อถูกแรงฉุดมากขึ้น จะเห็นจากกรณีนี้ว่าแรงฉุดเป็นอันตรายแน่ ถ้าไม่ได้รับการพิจารณาให้ถูกต้องในการออกแบบ โดยเฉพาะในฐานรากที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง

2. ปัญหาที่เกิดจากการพังวิบัติของโครงสร้างเสาเข็ม

ปัญหาในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมวลดินใต้ และรอบ ๆ เสาเข็มไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงฉุด นั่นคือ แรงต้านที่ปลายเสาเข็มและแรงต้านจากหน่วยแรงเสียดทาน สามารถต้านแรงฉุดและน้ำหนักที่ถ่ายลงมาได้ แต่วัตถุที่ทำเสาเข็มไม่สามารถทนแรงฉุดและน้ำหนักที่ถ่ายลงมาได้เกิดการวิบัติด้วยผลของแรงกด (Compression) ทำให้บริเวณปลายเสาเข็มถูกบด (crushed) และเสาเข็มต้นนั้นไม่สามารถรับแรงได้

ปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าผู้ออกแบบคาดคะเนแรงฉุดสูงสุดได้ถูกต้อง หรือออกแบบโครงสร้างของเสาเข็ม ให้สามารถรับน้ำหนักสูงสุดในเสาเข็มที่ถ่ายลงมาทำให้ดินเกิดการวิบัติ เพราะเมื่อมวลดินเกิดการวิบัติก่อน แรงฉุดจะถูก release ทำให้แรงในเสาเข็มลดลง

วิธีป้องกันปัญหาจากแรงฉุดลงของเสาเข็ม

1. การป้องกันปัญหาจากแรงฉุดอันเกิดจากหน่วยแรงกระทำบนผิวดิน (เช่นการถมดิน)

วิธีป้องกันปัญหาที่ดีที่สุด คือ การออกแบบฐานรากเสาเข็มให้ทนต่อผลของแรงฉุดทั้งปัญหาทางด้านเสถียรภาพและการทรุดตัว การออกแบบและควบคุมการก่อสร้าง ให้ปลายเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในมวลดินชนิดเดียวกัน และยาวใกล้เคียงกันจะช่วยลดปัญหาทางด้านการทรุดตัวไม่เท่ากัน คิดเสมอว่าแรงฉุดเป็นแรงที่กระทำต่อเสาเข็มเหมือนแรงภายนอก และมีการเปลี่ยนแปลงได้กับเวลา

ถ้าต้องการลดการทรุดตัวให้มากที่สุด ฐานรากที่เสาเข็มควรให้ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย ด้วยสภาพนี้เสาเข็มจะรับแรงได้ดีกว่าและเกิดการทรุดตัวน้อยกว่า ในกรณีที่ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง หลีกเลี่ยงการใช้เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในดินเหนียวแข็งที่ซึ่งจมอยู่ในดินเหนียวแข็งเพียง 3-4 เมตร ในกรณีนี้นอกจากจะเป็นการไม่ประหยัดแล้วปัญหาทางด้านการทรุดตัวไม่เท่ากันอาจเกิดขึ้นได้ทั้ง ๆ ที่ได้ออกแบบเตรียมรับปัญหาไว้เรียบร้อย ทั้งนี้เพราะสภาพดินในกรุงเทพฯ ในบริเวณความลึกของปลายเสาเข็มมีความไม่แน่นอนมาก อาจเจอบางจุดที่ดินอ่อนและดินแข็งปานกลางหนาผิดปกติ ทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ถ้าการควบคุมการก่อสร้างไม่ดีพอด้วย

ในกรณีที่สภาพดินมีชั้นทรายอยู่ลึกมาก ปลายเสาเข็มจำเป็นต้องอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง ปริมาณเสาเข็มที่ใช้จะต้องเป็นจำนวนมากเพราะเสาเข็มเหล่านี้รับแรงได้น้อยและการทรุดตัวก็เกิดขึ้นได้มาก ถ้าสิ่งก่อสร้างสามารถทนต่อการทรุดตัวได้มาก จะเป็นการประหยัดกว่าในการใช้เสาเข็มสั้นที่มีปลายอยู่ในชั้นดินอ่อนโดยปล่อยให้เสาเข็มและดินจมไปด้วยกัน แรงฉุดจะไม่เกิดขึ้นในเสาเข็ม แต่การทรุดตัวจะเกิดขึ้นมากกว่าในกรณีที่มีปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง วิธีนี้ค่อนข้างเสี่ยงเพราะโครงสร้างมีโอกาสเสียหาย

วิธีการลดแรงฉุดทำได้หลายวิธี หลักใหญ่ของการลดแรงฉุดทำได้ดังนี้

(i) **ใช้สารเคมี** bitumen เคลือบผิวเสาเข็มบริเวณที่เกิดแรงฉุด (นั่นคือเหนือ Neutral point) เพื่อลดหน่วยแรงเสียดทานทางลบ (Negative Skin Friction) และแรงฉุดลง สารเคมีเหล่านี้จะต้องได้รับการป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหาย ในระหว่างการตอกเสาเข็มหรือการก่อสร้าง ในกรุงเทพฯ ได้มีการใช้เสาเข็มเหล็ก NF pile เพื่อลดหน่วยแรงเสียดทานในทางลบที่โรงแรม Shangri-la (Lee et.at,2526)

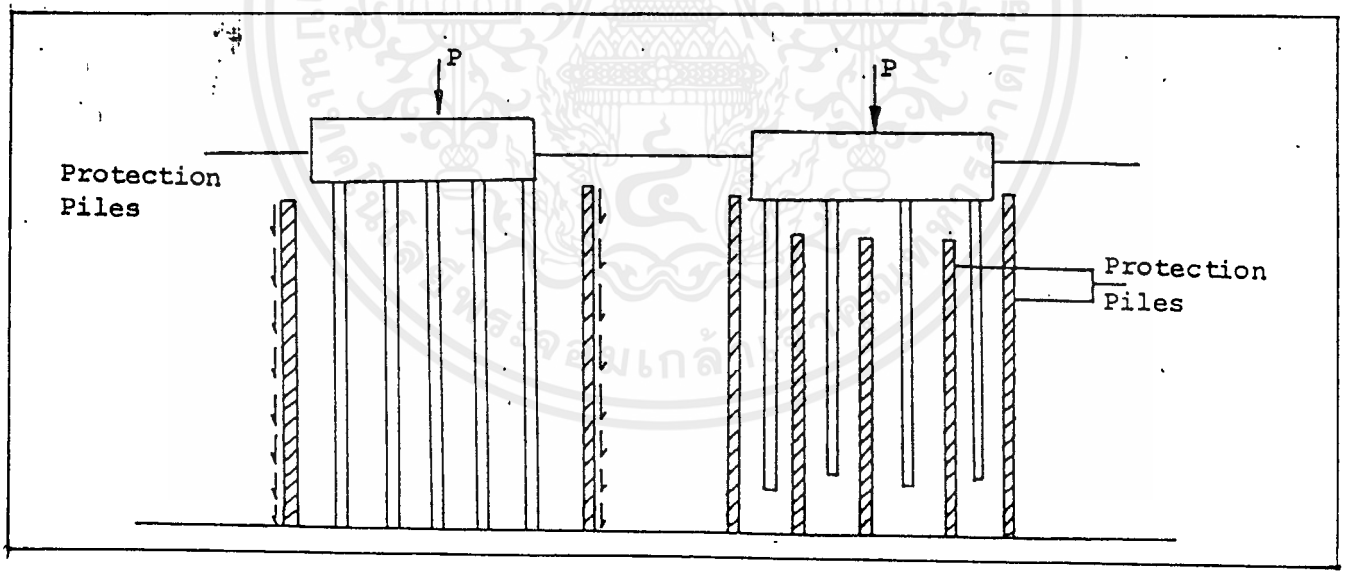
(ii) **ใช้ระยะระหว่างเสาเข็มชิดมาก ๆ** เพื่อลดแรงฉุดของกลุ่มเสาเข็ม (ความเห็นผู้เขียนคิดว่าช่วยได้มาก)

(iii) **ใช้ Protection piles (Broms, 1987)** เพื่อลดแรงฉุด (รูปที่ 6)

วิธีการที่ (i) จะเป็นวิธีการที่ได้ผลที่สุด แต่ก็ราคาแพงที่สุดเช่นกัน การใช้ prebored หรือเสาเข็มเจาะก็อาจลดแรงฉุดลงได้บ้างเล็กน้อยเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 การใช้ Protection pile ในการลดแรงฉุดในเสาเข็ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การป้องกันแรงฉุดอันเกิดจากการสูบน้ำบาดาล

การป้องกันแรงฉุดอันเกิดจากการสูบน้ำบาดาลจะเป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองมาก ตราบใดที่มีการใช้น้ำบาดาลอยู่ แรงฉุดในฐานรากเสาเข็มก็จะเกิดขึ้น วิธีการที่ดีที่สุดในการลดแรงฉุด คือ การใช้ NF pile (Non Negative Skin Friction pile) โดยให้ Neutral point อยู่บริเวณปลายเสาเข็ม NF pile จะลดแรงฉุดลงแต่ไม่สามารถขจัดแรงฉุดทั้งหมด และปริมาณแรงฉุดที่เกิดขึ้นเป็นฟังก์ชันกับอัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้น การเลิกใช้น้ำบาดาลจะเป็นผลให้ไม่ให้มีแรงฉุดในฐานรากเสาเข็มได้

บทสรุป

แรงฉุดลงเกิดขึ้นจากผลของการเกิดแรงเสียดทานในทางลบ แรงเสียดทานนี้เกิดจากการที่มวลดินรอบเสาเข็มเคลื่อนตัวมากกว่าตัวเสาเข็มในบริเวณนั้น แรงฉุดและการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากแรงฉุดเป็นปัญหาที่ค่อย ๆ เกิดขึ้น และจะเกิดขึ้นในระยะยาว (Long term condition) แรงฉุดมักจะเกิดในสภาพดินที่ประกอบด้วยการมีชั้นดินที่อ่อนกว่าทรุดตัวได้มากกว่าตั้งอยู่บนดินที่อยู่ในสภาพแข็งกว่า และปลายของเสาเข็มอยู่ในดินแข็ง ผลของแรงฉุดซึ่งทำให้เกิดการทรุดตัวและการวิบัติของโครงสร้างของเสาเข็ม มักแสดงให้เห็นหลังจากที่การทรุดตัวของฐานรากเสาเข็ม เนื่องจากน้ำหนักที่ถ่ายลงมาจากโครงสร้างได้เสร็จสิ้นลงแล้ว

แรงเสียดทานในทางลบในบริเวณกรุงเทพฯ เกิดขึ้นได้จากผลของการที่มีหน่วยแรงภายนอกมากระทำที่ผิวดินและผลของการสูบน้ำบาดาล ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักเกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานรากทำให้โครงสร้างเกิดการเสียหาย การไม่ออกแบบให้ฐานรากรับแรงฉุดเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดการเสียหาย โดยเฉพาะแรงฉุดที่เกิดจากหน่วยแรงที่มากระทำที่ผิวดิน เช่น การถมดิน ผลของแรงฉุดทำให้เกิดการทรุดตัวขึ้นได้มากจึงควรมีการตรวจสอบการทรุดตัวเวลาออกแบบ อันตรายมักเกิดขึ้นเมื่อใช้ฐานรากที่มีปลายเสาเข็มจมอยู่ในดินเหนียวแข็งชั้นแรกเพียง 3-4 เมตร

การแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นจากแรงฉุด คือ การออกแบบให้ถูกต้องเพื่อรับแรงฉุด การใช้ NF pile เป็นวิธีการหนึ่งที่ลดแรงฉุดได้มาก แต่ราคาค่อนข้างสิ้นเปลืองมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาในการก่อสร้างห้องใต้ดิน

ปัญหาในการก่อสร้างห้องใต้ดินอยู่ที่ว่าเมื่อเราขุดดินตามความกว้าง ความยาว และความลึกตามแบบของห้องใต้ดินแล้ว ดินมักจะพังทะลายลงมาก่อนหรือทะลายลงมาภายหลังการขุดดินเสร็จ แต่ยังอยู่ในระหว่างการก่อสร้างห้องใต้ดินอยู่ การพังทะลายของบ่อดินขุดเพื่อสร้างห้องใต้ดิน ถ้าอยู่ในที่ห่างไกล ไม่มีสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง เช่น อาคารบ้านช่อง ถนน ท่อเมนประปา ท่อระบายน้ำ สายโทรศัพท์และสายไฟฟ้าใต้ดิน ก็โชคดีไปคือเสียหายเฉพาะส่วนของเราเท่านั้น ถ้าหากเป็นในใจกลางเมืองซึ่งมีสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วอยู่ครบก็จะเสียหายมาก ดังนั้นก่อนลงมือทำการก่อสร้างห้องใต้ดิน จะต้องตรวจสอบให้ทราบชนิดและคุณสมบัติของดินบริเวณก่อสร้าง ตรวจสอบความสำคัญของสิ่งก่อสร้างใกล้เคียงที่กล่าวมาแล้วว่า ถ้าขุดดินห้องใต้ดินออกผิวดินบริเวณใกล้พร้อมสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จะเกิดการเคลื่อนที่และทรุดตัว ทำให้เกิดการเสียหายมากน้อยเพียงไร เพราะถ้าเกิด slide ขึ้นมาแล้ว นอกจากสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่กล่าวจะเสียหายหมดแล้วยังทำให้เสาเข็มที่ตอกอยู่ภายในบริเวณก่อสร้างเช หรืออาจถึงหักได้เพราะดินพังเข้ามาและถ้ามีท่อเมนประปาอยู่ด้วยยิ่งลำบากใหญ่ ดังนั้นวิศวกรที่รับผิดชอบจะต้องเลือกวิธีและเครื่องมือเครื่องจักรที่เหมาะสมกับดิน การเลือกระบบค้ำยันก็จะต้องพิจารณาให้รอบคอบทั้งทางด้านทฤษฎีของดิน และโอกาสหรือความเสี่ยง (risk) ต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น บางครั้งก็ไม่ควรจะเสี่ยงถ้ามีสิ่งก่อสร้างที่สำคัญอยู่ใกล้เคียง แต่ถ้าสิ่งก่อสร้างนั้นไม่สำคัญก็อาจจะเสี่ยงได้ตามความเหมาะสม

ปัจจุบันนี้งานก่อสร้างห้องใต้ดินมีการใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยเพื่อให้ได้ Optimum working speeds ดังนั้นการวางแผนงานก่อสร้างจึงเป็นเรื่องสำคัญโดยเฉพาะในบริเวณก่อสร้างจะต้องจัดให้ดี ระบบขนส่งคือถนนที่สามารถใช้ได้ตลอดงานก่อสร้าง ระบบระบายน้ำภายในที่ทำให้บริเวณก่อสร้างแห้ง จึงควรเตรียมงานก่อสร้างห้องใต้ดินดังนี้คือ

1. จะต้องมีการเตรียมทำถนนให้รถเข้า-ออก ได้สะดวกอยู่ตลอดเวลาก่อสร้างเพื่อลดอุบัติเหตุและปัญหาในการขนส่งดินที่ขุดขึ้นมา และการขนส่งวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ รวมทั้งเครื่องไม้เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ในการก่อสร้างนี้

2. ต่อไปจะต้องเตรียมการระบายน้ำ เพื่อป้องกันน้ำท่วมซึ่งเกิดจากฝนตกหนัก ทำให้บริเวณก่อสร้างได้รับความเสียหาย ท่อระบายน้ำเดิมซึ่งอยู่ในบริเวณที่ต้องขุดเอาดินออกจะต้องตรวจให้ละเอียดแล้วผันเอาน้ำออกไปสู่ท่อระบายอื่น ๆ ที่สำคัญคือเราจะต้องป้องกันน้ำจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกไหลลงไปในบ่อที่กำลังขุดดินออกโดยการขุดเป็นราง หรือทำเป็นรางเหินระบายน้ำดักไว้รอบบ่อ การปล่อยให้น้ำไหลลงในบ่อขุดแล้วใช้เครื่องสูบน้ำออกเป็นวิธีการที่ไม่ถูกต้อง

3. การเตรียมบริเวณก่อสร้างนอกจากการรื้อสิ่งปลูกสร้างเดิมออกหมดแล้ว จะต้องตรวจหาสิ่งก่อสร้างเดิมที่อยู่ใต้ดิน เช่น สายโทรศัพท์ สายไฟฟ้า ท่อประปา ท่อระบายฐานราก เดิม และบ่อส้วม เป็นต้น เพราะสิ่งก่อสร้างใต้ดินเดิมอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุกับคนและเครื่องจักร เครื่องมือที่ไปถูกสายไฟใต้ดินถึงตาย หรือถูกท่อเมนประปาอาจจะให้เกิดน้ำท่วมหรือดันบ่อขุดพังทะลายลงได้ หรืออาจต้องไปชดใช้ค่าเสียหายเป็นจำนวนมาก อีกอย่างเราจะต้องปรึกษากับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรถที่วิ่งเข้าออกบริเวณก่อสร้างต้องผ่านสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ที่แขวนอยู่ให้ปลอดภัย งานขุดห้องใต้ดินลึก ๆ หรืองานตอกเสาเข็มใกล้เคียงกับสิ่งก่อสร้างเดิม จะต้องตรวจสอบร่วมกับเจ้าของอาคารใกล้เคียงถึงสภาพของสิ่งก่อสร้างเดิมว่ามีรอยแตกร้าว หรือการทรุดตัวก่อนการก่อสร้างหรือไม่ ถ้าปรากฏมีรอยแตกร้าวหรือทรุดตัวอยู่ก่อนจะต้องถ่ายรูปไว้เป็นหลักฐาน ในระหว่างการก่อสร้างจะต้องตรวจสอบระดับอาคารใกล้เคียงวัดความกว้างของรอยแตกร้าว หรือรอยแสดงการเคลื่อนตัวของดิน เพื่อเตรียมการแก้ไขและการป้องกันที่เหมาะสม

Stability of Slopes to Open Excavation

เราจะต้องพิจารณาสิ่งสำคัญอยู่ 2 ข้อคือข้อหนึ่งจะต้องทราบชนิดของดินและ ข้อสองจะต้องทราบว่าเรากล้าเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเท่าไร โดยเฉพาะข้อที่สอง ถ้ามีสิ่งก่อสร้างที่สำคัญอยู่ใกล้ปากบ่อขุด หรือการพังทะลายของปากบ่อ จะทำให้ท่อเมนประปาหรือเมนท่อระบายน้ำและอื่น ๆ เสียหาย จึงต้องเลือกวิธีที่ให้ส่วนปลอดภัยสูงไว้ แต่ถ้าการพังทะลายของปากบ่อไม่ก่อให้เกิดการเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง หรือถ้าเกิด ก็เสียหายน้อย และเรามีเครื่องมือขุดดินอยู่พร้อมในที่ก่อสร้างอย่างนี้ เราอาจเสี่ยงได้

Slope Stability in Cohesive Soils

ในดินเหนียวเราสามารถขุดดินในแนวดิ่งโดยไม่ต้องมีอะไรค้ำยันได้ Critical Height $H_c = \frac{4_o}{\gamma\sqrt{K_a}}$ ค่า H_c สำหรับดินเหนียวต่าง ๆ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Very soft	soft	Firm
Cohesion (kN/m^2)	0-17.5	17.5-35.0	35.0-70.0
Critical height (m)	0.4	4-8	8-16

ค่า Critical height จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ผ่านและ pore-water ภายหลังการขุดดินออก โดยเฉพาะดินเหนียวแข็งที่มีรอยร้าวภายใน (Stiff fissurel clay) เมื่อเวลาผ่านไปดินที่เคยยึดเกาะติดกันแน่นจะเริ่มแยกตัวออกและพังทลายได้ ในดินเหนียวอ่อนเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ในฤดูร้อนจะเกิดรอยแตกขึ้นในดินและแล้วฤดูฝนมาถึงก็จะทำให้เกิดแรงดันของน้ำที่ขังอยู่ในรอยแตกลึก $H_t = \frac{2_o}{\gamma\sqrt{K_a}}$ และทำให้ดินอ่อนลงจึงเกิดการพังทลายขึ้น ดังนั้น critical height จะใช้ได้เมื่อขุดดินแนวดิ่งน้อยกว่าค่า H_c ที่ได้ในระยะเวลาสั้น ๆ และเป็นการขุดบ่อที่กว้างพอสมควร เมื่อเกิดการพังจะได้ไม่ทับคนงานถึงตายทั้งเป็น

แต่ถ้าต้องการขุดดินลึกกว่า critical height ก็จำเป็นต้องขุดดินด้วยความลาดที่เหมาะสมโดยเฉพาะดินอ่อนมากต้องตรวจสอบด้วย Slip circle analysis และเลือก Safety factor ตามความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ในงานขุดดินลึก ๆ จะต้องระวังดินพังทลายลงมา (Slip) พร้อม ๆ กับดินบวมขึ้น (upheaval at the toe) ที่ก้นบ่อขุด อีกอย่างดินที่ขุดขึ้นมาจะต้องนำออกจนปลอดภัยจากปากบ่อเสมอ

Slop stability in Cohesionless Soils

ในดินทรายสามารถทรงตัวได้โดยไม่จำกัดความสูงถ้า Slope นั้นน้อยกว่าค่า natural angle of repose Tergaghi และ Peck ได้ให้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

	Angle of repose for dry sands	
	Roujd grains uniform	Angular grain well-graded
Loose	28.5	34
Dense	33.0	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ทรายชั้น ๆ จะสามารถทรงตัวในแนวดิ่งได้ในเวลาสั้น ดังนั้นการขุดดินทรายชั้นๆ จึงสามารถขุดด้วยมุมชันในความลึกน้อย ๆ และเวลาสั้น ๆ ได้

ในชั้นดินทรายยอมน้ำใต้ดินจะทำให้เกิดดินพังทลายขึ้นได้ ถ้าเราขุดมุมชันมากโดยดินทรายก้นบ่อจะพังก่อนแล้วตามด้วยดินทรายปากบ่อจนได้มุมทลายประมาณ 15-20 องศา จึงจะ Stable ในชั้น Dry Silts จะทรงตัวในแนวดิ่งได้สูงมากถ้าเป็น Cemented dry silts เช่น loses การขุดดินชนิดนี้จะต้องขุดตามแนวดิ่งเพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำไหลผ่านส่วน Uncemented dry silt เมื่อเปียกน้ำจะอ่อนตัว สร้างปัญหาอย่างมากในงานขุดดิน โดยเฉพาะเมื่อถูก Vibrations อาจไหลได้

การขุดดิน (Excavation)

การขุดดินเป็นร่อง เพื่อสร้างฐานรากแบบกำแพง (Strip foundation) หรือกำแพงกันดิน (Retaining walls) etc. นั้นจะต้องระวังดินพังในร่องขุดลึก ๆ และแคบ ๆ เพราะอาจฝังคนงานทั้งเป็นได้ ดังนั้นการขุดดินเป็นร่องแบบนี้ลึกกว่า 1.20 ม. ไม่ว่าเป็นดินชนิดไหนควรมีค้ำยันเสมอ ค้ำยันนี้อาจทำด้วยไม้กระดานหนา 2" ถึง 3" พร้อมคานรองรับและเสาค้ำหรือใช้ sheet pile ซึ่งดีแต่แพง

การขุดดินเป็นบ่อใหญ่ เรามีทางเลือกอยู่ 2 อย่าง คือขุดในแนวดิ่งพร้อมค้ำยันด้านข้างหรือขุดด้วยความลาดชันที่เหมาะสมโดยไม่มีค้ำยันซึ่งเป็นเรื่องทางเศรษฐกิจ แต่ในบางครั้งเราไม่มีทางเลือก เพราะอยู่ในบริเวณที่ก่อสร้างจำกัดหรืออยู่ในบริเวณดินที่อาจพังทลายได้ง่าย ๆ แม้จะขุดด้วยความลาดน้อย ๆ แล้วก็ตาม จำเป็นต้องทำค้ำยันให้ การขุดดินโดยไม่ต้องค้ำยันมีประโยชน์เพราะเครื่องจักรเครื่องมือทำงานได้สะดวกมากไม่มีค้ำยันเกะกะทำงาน แต่ถ้าขุดลึกมากต้องขุดห่างออกไปและต้องขุดด้วยมุมลาดชันน้อยทำให้ต้องขุดดินออกมากกว่าที่ควร และเมื่องานก่อสร้างที่ต้องทำเสร็จแล้วจะต้องถมดินกลับอาจทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีค้ำยันก็ได้

การทำค้ำยันดิน

(Braced Cofferdams)

ค้ำยันดิน คือสิ่งก่อสร้างชั่วคราวที่เราทำขึ้นเพื่อป้องกันผิวดินบริเวณใกล้เคียงไม่ให้ทรุดหรือพังทลายอันเกิดจากการขุดดินออกเพื่อสร้างห้องใต้ดิน และอื่น ๆ การสร้างค้ำยันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับบ่อขุดที่ลึกและใหญ่มากในดินอ่อน เช่น กรุงเทพฯ นั้นทำได้ยากและแพงมากด้วย ดังนั้น วิศวกรจะต้องศึกษาและตรวจสอบหาวิธีการขุดอื่น ๆ ที่อาจใช้แทนได้ก่อน เช่น อาจขุดดินเป็นร่องแคบ ๆ ขึ้นก่อนแล้วสร้าง Substructure ภายในแต่ละช่วงที่ขุดจนเสร็จแล้วจึงขุดร่องที่อยู่ถัดออกไป บางทีอาจขุดเป็น earth berm รอบบริเวณที่จะขุดดินแล้วสร้าง Substructure ขึ้นภายในก่อนจากนั้นจึงค่อยๆ ขุด berm ออกทีละส่วนตามที่ได้กำหนดไว้แล้วสร้าง Substructure ตามลำดับขั้นจนเสร็จ วิธีนี้สามารถลดค่าก่อสร้างและความเสียหายบริเวณใกล้เคียง

ระบบค้ำยันดิน

(Common Types of Braced Cofferdams)

ระบบค้ำยันดินประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ๆ 3 หรือ 4 ส่วน คือ

Lagging คือไม้กระดานที่วางในแนวนอนหลังเสาค้ำ เมื่อเราขุดดินออกด้วยมือแล้วเอากระดานค้ำเรื่อย ๆ ไป

Sheetpiling คือเสาเข็มพืดที่อาจเป็นเสาเข็มไม้ หรือเสาเข็มเหล็กพืดตอกในแนวดิ่งก่อนขุดดินออก

Soldier beams คือเสาค้ำในแนวดิ่งซึ่งอาจเป็นไม้หรือเหล็กก็ได้ซึ่งเราตอกลงไปก่อนเพื่อยันไม้กระดานที่ค้ำดินด้านหลัง ถ้าใช้ sheetpile ตอกกันดินก็ไม่ต้องใช้ Soldier beams

Wales คือคานค้ำในแนวนอนเพื่อถ่ายแรงดันจากไม้กระดานหรือ sheeting ไปยัง struts

Struts คือ Compression member ที่ใช้ถ่ายแรงอัดจากผนังขุดด้านหนึ่งไปยังด้านตรงข้าม

รูปที่ 1 และ 2 แสดงค้ำยันที่นิยมทำกันโดยอาศัยส่วนประกอบที่ได้กล่าวมาแล้วมีดังนี้ ที่ไม่ต้องใช้เครื่องจักรเครื่องมือเข้าช่วย เมื่อเราขุดดินได้ลึกหนึ่งแผงก็สอดชุดค้ำยันลงไปแล้วอัดด้วยลิ่มให้แน่นจากนั้นก็ขุดดินต่อลงไปอีกหนึ่งแผงแล้วก็สอดชุดค้ำยัน ชุดที่สองลงไปแล้วอัดด้วยลิ่มให้แน่นทำอย่างนี้เรื่อย ๆ รูปที่ 1 (b) เหมาะกับการขุดดินขนาดใหญ่ คือ เราจะตอก Soldier beams ลงไปก่อนขุดดินเมื่อขุดดินลงไปลึก 2-3 แผ่นกระดานก็จะสอด Lagging ลงไประหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

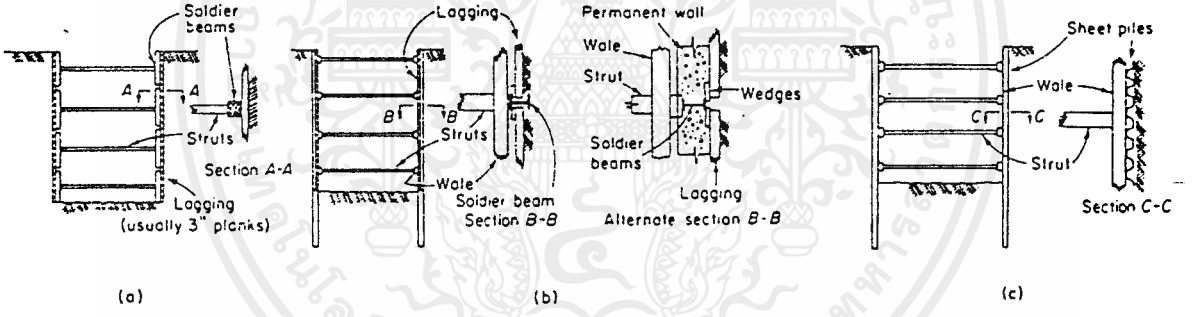
Soldier beam แล้วอัดด้วยลิ่มให้แน่นจากนั้นก็เสริมด้วย wales และ Struts เรื่อย ๆ ตลอดการขุด Soldier beams มีส่วนช่วย Stability แล้วยังช่วยป้องกัน heave ที่ก้นบ่อขุด รูปที่ 1 (c) เหมาะกับดินอ่อนหรือดินทรายที่อยู่ใต้ระดับน้ำ เพราะดินชนิดดังกล่าวพังได้ง่ายมาก ดังนั้นการตอกเข็มพืด (sheet piling) ยึดติดกันก่อนขุดดินในบ่อ

1. ช่วยลดอันตรายจากการพังเข้ามาของดินขณะขุดที่ก้นบ่อ (heave)

2. ป้องกันดินข้าง ๆ บ่อไม่ให้ไหลเข้ามา (Loss of ground)

3. ป้องกันน้ำไม่ให้ไหลเข้ามาในบ่อได้ วิธีนี้แพงแต่ปลอดภัยสูง ควรใช้ในบริเวณที่มีงานก่อสร้างที่สำคัญและราคาแพงอยู่ใกล้เคียง

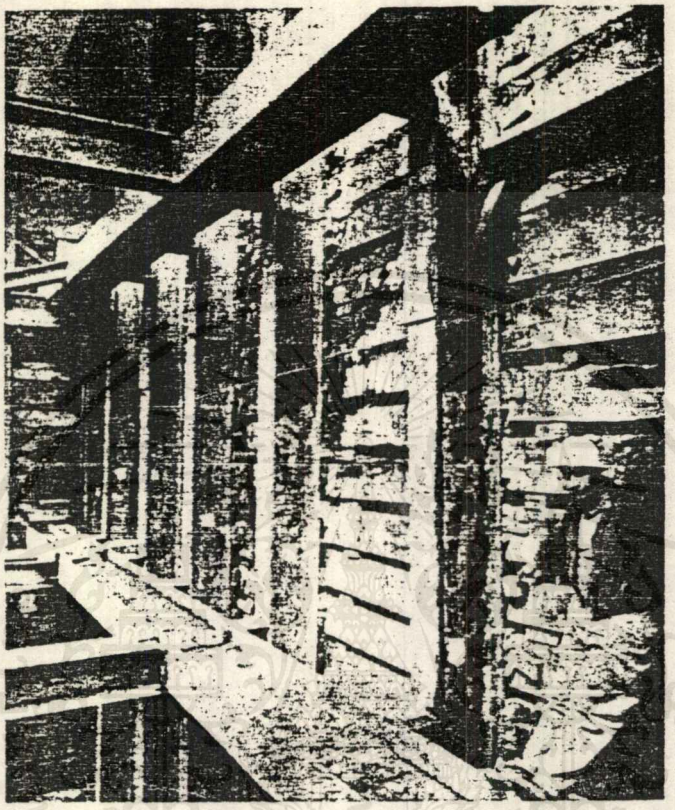
รูปที่ 1 Common types of braced cofferdams.



รูปที่ 3 และ 4 แสดงการขุดแล้วค้ำเอียงๆ ในบ่อใหญ่ๆ เราตอก sheetpiling ลงไปก่อนเพื่อป้องกัน Soft Loose Soils แล้วการขุดดิน เราจะขุดโดยมีความลาดที่หน้า sheetpiles เมื่อใส่ Wales ตอนบนพร้อมเสาค้ำยันเอียงตัวที่หนึ่งเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มขุดลงไปแล้วเสริมด้วย wales ตัวที่ 2 และค้ำเอียงชุดที่ 2 หรืออาจมีชุดที่สามอีกก็ได้ Walings ทั้งหมดจะมีเหล็กเส้นยึดแขวนไว้ขณะเดียวกันค้ำเอียงก็ต้องมีการยึดโยงให้ดีโดยปลายด้านล่างของค้ำเอียงจะยึดค้ำอยู่กับพื้นหรือฐานราก ค.ส.ล. ที่หล่อแข็งแรงดีแล้วภายในบ่อ เพื่อประหยัดเงินลงทุน แต่ต้องยอมให้มี Ground surface moverment และ settlement เล็กน้อยได้ เราก็อาจใช้เสาเข็มไม้เช่น ⌀ 10" x 10 ม. ตอกเรียงแทน soldier beams พร้อม Lagging แทนก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 Interior of braced cofferdam. Countesy Spencer, White & Prentis.



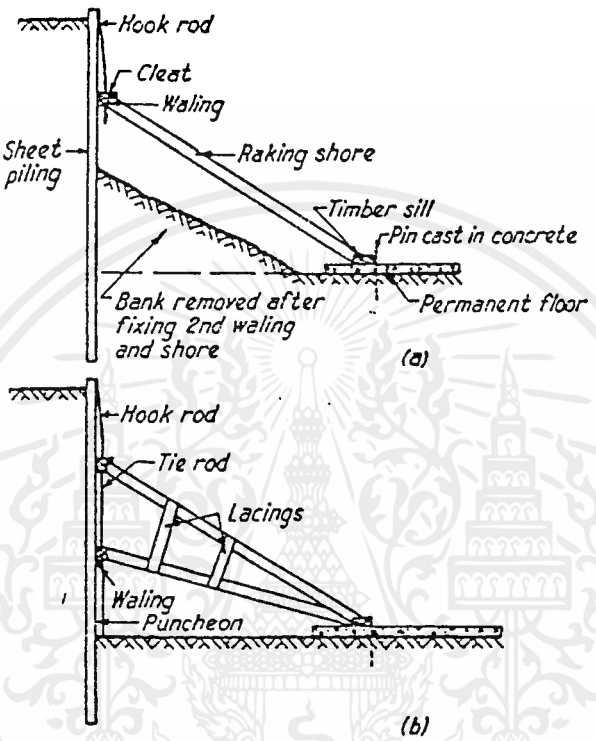
การใช้สมอยึดด้านหลังกำแพง ค.ส.ล.แทนค้ำยันภายในบ่อขุดขนาดใหญ่และลึกๆ มีประโยชน์มากทำให้ได้ Clear working area ดูรูปที่ 5 เพราะค่าใช้จ่ายในทำสมอยึดกำแพงในดินทรายแน่นหรือดินเหนียวแข็งมีค่าเกือบเท่ากัน เพราะเสียค่าขุดดินน้อยกว่า Ground anchors ทำโดยการเจาะดินเป็นรูเอียงลงและลึกเข้าไปด้านหลังบ่อให้ลึกเลย slip plane และยาวพอที่จะยึดกับดินรอบ ๆ รูเจาะที่เราจะต้องอัดน้ำปูนเข้าไป รายละเอียดต่างๆ โปรดดู paper ของ Ostermayer ใน Proceeding of the Conference on Diaphragm walls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

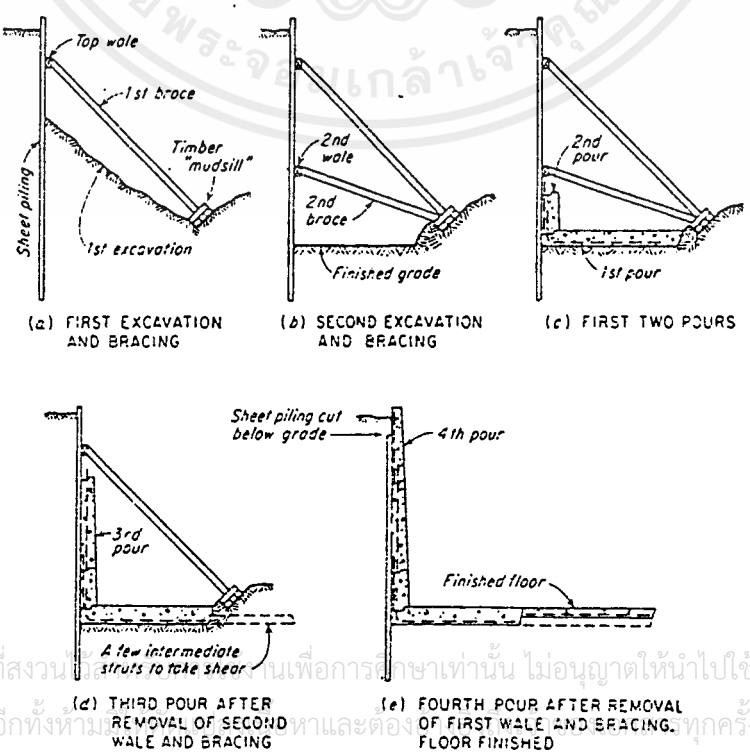
รูปที่ 3 SUPPORT BY SHEET PILING AND RAKING SHORES

(a) First-stage excavation.

(b) Second-stage excavation

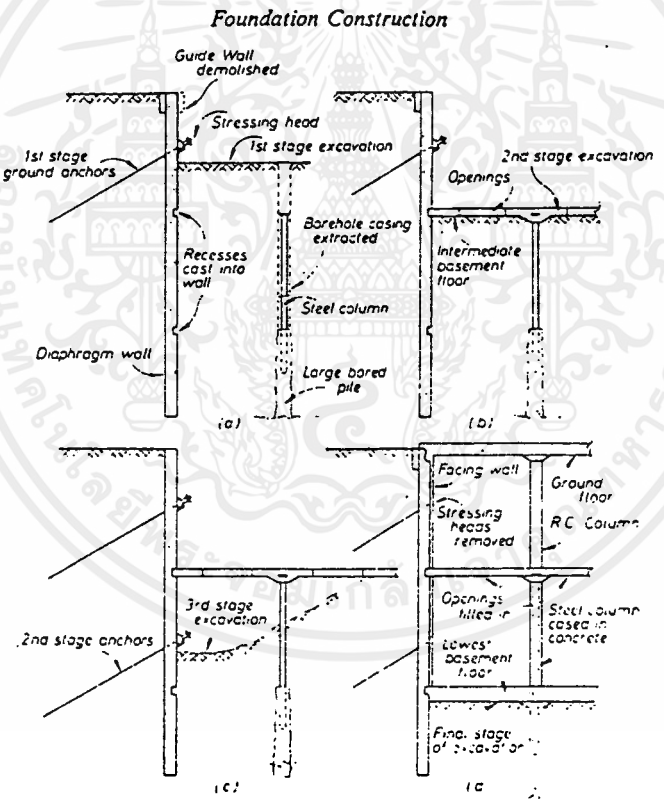


รูปที่ 4 Illustration of bracing of cofferdams and pouring of concrete structures when against the piling.



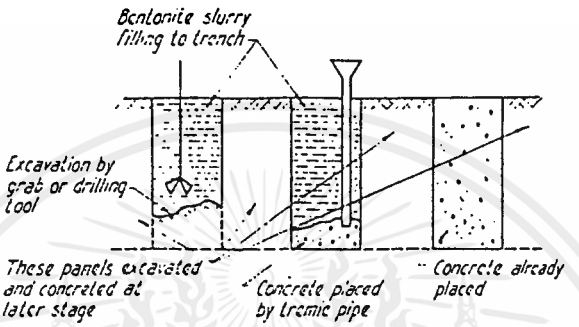
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 SEQUENCE OF CONSTRUCTION OF DEEP BASEMENT WITH SUPPORT BY ANCHORED DIAPHRAGM WALL

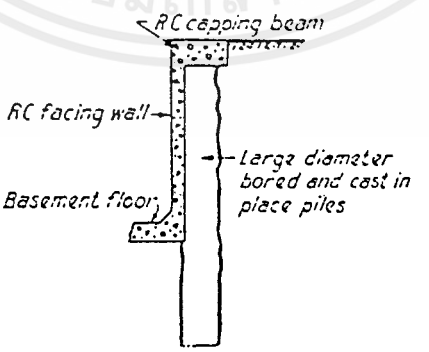


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 CONSTRUCTION OF BASEMENT RETAINING WALLS BY DIAPHRAGM METHOD



รูปที่ 7 BORED PILE COFFERDAM INCORPORATED IN PERMANENT BASEMENT WALL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียหายจาก
งานก่อสร้างฐานรากต่ออาคารข้างเคียง

การก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ในบริเวณกรุงเทพฯ จำเป็นต้องใช้เข็มยาวและมักมีการขุดดินลึกจากผิวดินเดิมเพื่อทำงานฐานรากและห้องใต้ดิน งานดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงสูง เพราะสภาพดินอ่อนความเสียหายเกิดขึ้นได้ทั้งในกรณีที่ใช้วิธีและขั้นตอนการก่อสร้างที่ไม่ถูกต้องปลอดภัย และกรณีที่ได้เลือกใช้ระบบก่อสร้างและขั้นตอนที่รัดกุมและจัดทำวิธีป้องกันที่คิดว่าเหมาะสมอีกด้วย สาเหตุในกรณีหลังนี้ส่วนหนึ่งสืบเนื่องมาจากข้อจำกัดในด้านงบประมาณและเวลา และอีกส่วนหนึ่งเนื่องจากผู้ที่เกี่ยวข้องมีความเข้าใจระบบก่อสร้างที่เลือกใช้นั้นไม่ดีพอ บทนี้กล่าวถึงสาเหตุของความเสียหายซึ่งอาจเกิดจากการตอกเสาเข็มและการขุดดินด้วยระบบต่างๆในดินกรุงเทพฯ ตลอดจนพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบก่อสร้างและระบบป้องกันต่างๆ สาเหตุความเสียหายแยกเป็นสองประเภท คือ แรงสั่นสะเทือนจากการตอกเข็มและปริมาณดินเคลื่อนตัวเนื่องจากการตอกเสาเข็มและการขุดดิน ซึ่งประการหลังมักเป็นสาเหตุใหญ่

จากการที่กรุงเทพฯ มีการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในช่วงระยะเวลานี้จึงมีการก่อสร้างอาคารขนาดสูงและอาคารขนาดใหญ่ และระบบคมนาคมและสาธารณูปโภคมากขึ้นอย่างรวดเร็วนับจำนวนไม่ถ้วน เนื่องจากราคาที่ดินในกรุงเทพฯ ได้ถีบตัวสูงขึ้นหลายเท่าตัวในช่วงเวลาอันสั้น ดังนั้นการลงทุนในโครงการก่อสร้างใหญ่ๆในพื้นที่ส่วนในของกรุงเทพฯ ซึ่งมักต้องทำในบริเวณที่มีอาคารสิ่งปลูกสร้างอยู่รอบข้าง จึงจำเป็นต้องทำการก่อสร้างให้แล้วเสร็จอย่างรวดเร็ว และต้องออกแบบให้มีการใช้พื้นที่ดินอย่างเต็มที่ทุกตารางนิ้ว

พื้นดินกรุงเทพฯ ปกคลุมด้วยชั้นของดินเหนียวอ่อนหนาถึง 12-16 เมตรจากผิวดิน ซึ่งมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่ำมาก ดังนั้นนอกจากอาคารขนาดเล็กไม่เกินสองชั้นแล้ว อาคารอื่นๆมักจำเป็นต้องใช้ฐานรากแบบเสาเข็มยาวถ่ายน้ำหนักลงไปชั้นดินดาน (Stiff Clay) หรือชั้นทรายที่อยู่ใต้ชั้นดินเหนียวอ่อนและอ่อนปานกลางถัดลงไป ซึ่งอยู่ประมาณ 20 เมตร สำหรับอาคารสูงเกินกว่าประมาณ 20 ชั้น มักจะจำเป็นต้องใช้ฐานรากเสาเข็มยาวมากขึ้นไปอีกเพื่อถ่ายน้ำหนักลงไปชั้นทรายชั้นที่สองซึ่งอยู่ลึกประมาณ 40-50 เมตร เพื่อช่วยลดปัญหาการทรุดตัวของอาคาร

เสาเข็มรับอาคารสูงที่ใช้อยู่ในกรุงเทพฯแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ เสาเข็มตอกคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมเหล็ก หรือคอนกรีตอัดแรง และเสาเข็มเจาะหล่อในที่ ถ้าฐานรากต้องการเสาเข็มยาวไม่เกินประมาณ 30 เมตร อาจจะเลือกใช้เสาเข็มตอกหรือเจาะก็ได้ แต่ถ้าต้องการใช้เสาเข็มหยั่งถึงชั้นทรายที่สองแล้ว จำเป็นที่จะต้องเลือกเข็มเจาะ เพราะความยากในการตอกเข็มคอนกรีตทะลุลงไปถึงระดับความลึกดังกล่าว ถ้าจะเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างเข็มตอกและเข็มเจาะแล้ว เข็มตอกนั้นราคาถูกกว่าใช้เวลาในการก่อสร้างสั้นกว่าเพราะหล่อจากโรงงานควบคุมคุณภาพได้ดีกว่า มีอัตราการบรรทุกน้ำหนักดีกว่าแต่มีข้อจำกัดด้านความลึก และการตอกเข็มจะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนและดินเคลื่อนตัวรบกวนพื้นที่ข้างเคียง อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างรอบข้างได้ สำหรับเข็มเจาะนั้น แม้ว่าจะมีราคาแพงกว่า ใช้เวลาก่อสร้างนานกว่า และควบคุมคุณภาพยากกว่า แต่การที่เข็มเจาะสามารถก่อสร้างได้ลึกและหน้าตัดใหญ่กว่าจึงทำให้มีความสามารถในการบรรทุกน้ำหนักต่อต้นสูงกว่า จึงลดการทรุดตัวของอาคารลงกอรปกับมีการพัฒนาความชำนาญการในการทำเข็มเจาะดินกรุงเทพฯเป็นอย่างมาก ดังนั้นเข็มเจาะจึงถือกันทั่วไปว่าเหมาะสมกว่าสำหรับงานฐานรากอาคารสูงในพื้นที่แออัดกรุงเทพฯ การใช้เข็มตอกจำนวนหลายร้อยต้นมักก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารและพื้นที่ใกล้เคียงเสมอแม้ว่าจะวางแผนหาวิธีป้องกันอย่างที่คิดว่าดีที่สุดแล้วก็ตาม ซึ่งบางกรณีเกิดเป็นกรณีพิพาทเป็นข่าวใหญ่โต และเกิดความล่าช้าเสียหาย

กรณีพิพาทในการก่อสร้างอาคารสูงที่มักจะได้ยินอยู่เสมออีกกรณีหนึ่งคือ ความเสียหายที่เกิดจากการขุดดิน เพื่อทำฐานรากหรือทำห้องใต้ดิน ซึ่งงานขุดดังกล่าวมีตั้งแต่ขุดลึก 4-5 เมตร ไปจนถึงที่ลึกที่สุด 18 เมตร วิธีการขุดดินอาจทำการขุดแบบ Open Slope Cut โดยไม่ใช้โครงสร้างใดๆช่วยต้านดินเลย ซึ่งการขุดแบบนี้จะทำได้ไม่ลึกมาก ถ้าพื้นที่ด้านข้างจำกัด วิธีการขุดที่นิยมใช้กันทั่วไป คือการขุดโดยใช้ Sheet Pile แบบมีค้ำยัน (Bracing) ซึ่งมีการขุดลึกที่สุดถึง 11 เมตร การขุดระบบนี้มีหลายโครงการที่สร้างความเสียหายต่ออาคารข้างเคียง ความเสียหายดังกล่าวเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุทั้งความบกพร่องในการก่อสร้าง และข้อจำกัดในความสามารถของระบบกันดินในการต้านการเคลื่อนตัวของดิน อันจะกล่าวให้ทราบต่อไปในบทนี้

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาวิธีการขุดดินแบบ Braced Diaphragm Wall เข้ามาใช้ ซึ่งระบบกำแพงแบบนี้สามารถลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินได้สูงกว่าวิธี Braced Sheet Pile หลายเท่าตัว จึงเป็นระบบที่เหมาะสมในงานขุดลึกๆบริเวณพื้นที่ใกล้ชิดกับอาคารข้างเคียงซึ่งจะยอมให้เกิดความเสียหายไม่ได้ แต่ราคาค่าก่อสร้างจะแพงกว่าระบบ Sheet Pile มาก ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diaphragm Wall นั้นนำมาใช้ครั้งแรกในงานก่อสร้างชั้นใต้ดิน 6 ชั้นลึกรวมถึง 18 เมตร ในโครงการ ITC โดยไม่มีปัญหาดินเคลื่อนตัวเลย

ระบบการขุดดินอีกประเภทหนึ่งที่เพิ่งจะเริ่มนำเข้ามาใช้ คือการขุดดินโดยทำการก่อสร้างแนวเสาซีเมนต์ ความลึกขนาดต่างๆรอบแนวเขตพื้นที่ขุดก่อนทำการขุดโดยใช้วิธี Jet Grouting เพื่อช่วยเสริมกำลังดินทำให้สามารถทำการขุดโดยไม่ต้องใช้ Sheet Pile หรือ โครงสร้างกันดินอื่น การขุดระบบนี้ได้นำมาใช้ทำการขุดแบบ Vertical Cut ลึกถึง 6 เมตร สำหรับการขุดที่ลึกที่สุดซึ่งกำลังทำการก่อสร้างคือลึก 11 เมตร แต่ขุดแบบ Bench Slope ชันประมาณ 1:1 วิธีการขุดแบบ Jet Grouting นี้อาจจะไม่เหมาะสมนักสำหรับกรณีที่มีโครงสร้างอื่นที่สำคัญอยู่ใกล้เคียงพื้นที่ขุด เพราะจากประสบการณ์ในต่างประเทศพบว่า ในระหว่างการทำ Jet Grouting นั้นต้องใช้ความดันอัดซีเมนต์ลงดินสูง อาจทำให้ดินเกิดการเคลื่อนตัวสูงและในระหว่างการขุดเองก็อาจเกิดการเคลื่อนตัวของดินได้อีกส่วนหนึ่งด้วย แม้ว่าลาดหรือผนังขุดจะไม่วิบัติก็ตาม

การนำระบบการขุดดินวิธีต่างๆมาใช้ในดินอ่อนกรุงเทพฯให้ได้ผลดีและปลอดภัยนั้น วิศวกรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ควบคุมงานและก่อสร้างควรที่จะต้องมีความรู้ที่ดีพอถึงความสามารถและข้อจำกัดของระบบการขุดแต่ละประเภทสำหรับดินกรุงเทพฯทั้งในด้านเสถียรภาพและความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนตัวของดิน การที่วิศวกรซึ่งไม่เคยมีประสบการณ์มาก่อน เลือกใช้และออกแบบระบบการขุดดินโดยเพียงดูจากตารางหรือคู่มือออกแบบเท่านั้น เป็นการเสี่ยงต่อความเสียหายอย่างมาก

การก่อสร้างอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ในกรุงเทพฯนั้น งานทางด้านฐานรากซึ่งเกี่ยวข้องกับวิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์นั้นมีความสำคัญไม่ด้อยไปกว่างานทางด้านโครงสร้างเลย ยิ่งไปกว่านั้นความล่าช้าในการก่อสร้างมักจะสืบเนื่องมาจากปัญหาในการก่อสร้างฐานราก ไม่ใช่โครงสร้างส่วนบน โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวให้ทราบอย่างคร่าวๆถึงเรื่องราวเกี่ยวกับปัญหาในการตอกเสาเข็มและการขุดดินในกรุงเทพฯ โดยจะขอกล่าวถึงหลักวิชาการจากต่างประเทศรวมทั้งในประเทศไทยด้วย เพื่อที่จะได้ทราบถึงลักษณะการใช้งานประสิทธิภาพ ข้อจำกัด และข้อควรระวังต่างๆ

ปัญหาในงานตอกเสาเข็ม

ปัญหาและความเสียหายที่อาจเกิดกับพื้นที่และอาคารใกล้เคียงในงานตอกเสาเข็ม สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆคือ

- ปัญหาที่เกิดจากดินเคลื่อนตัว
- ปัญหาที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือน

- การเคลื่อนตัวของดินจากการตอกเสาเข็ม

ก)ลักษณะการเคลื่อนตัว

โดยคำจำกัดความแล้วเสาเข็มตอกจัดว่าเป็นเสาเข็มประเภท Displacement Pile คือ เมื่อตอกเข็มลงไปในดินแล้วก็จะไปแทนที่ดินโดยไล่ให้ดินเคลื่อนตัวออกไป ส่วนเข็มเจาะเป็นเข็มประเภท Nondisplacement Pile ซึ่งในการก่อสร้างจะไม่ทำให้ดินเคลื่อนตัวหรือเคลื่อนน้อยมาก ดังนั้นเมื่อใช้เข็มตอกก็จะต้องมีการเคลื่อนตัวของดินเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เสาเข็มคอนกรีตที่นิยมใช้อยู่ในกรุงเทพฯมักเป็นเข็มประเภท High Displacement Pile เพราะมีปริมาตรการแทนที่ดินสูง ส่วนเสาเข็มประเภท Low Displacement Pile ได้แก่ เสาเข็มเหล็กหน้าตัดต่างๆเช่น ตัว I ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักต่อพื้นที่หน้าตัดสูงกว่าเสาเข็มคอนกรีต

การตอกเสาเข็มลงไปในดินจะทำให้ดินบริเวณเข็มเกิดการวิบัติและเคลื่อนตัวออกไปรอบข้าง ลักษณะการเคลื่อนตัวโดยส่วนใหญ่จะเป็น

(1)เคลื่อนตัวลอยสูงขึ้นและดันดินข้างบนให้บูดขึ้นที่ผิวดินซึ่งเรียกว่า Soil Heave

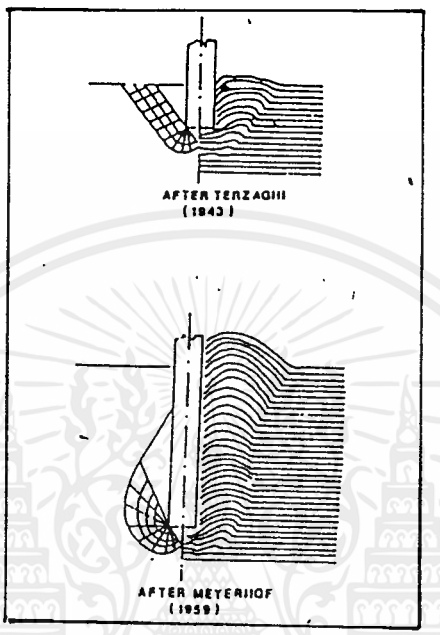
(2) เคลื่อนตัวออกไปในแนวราบ (Lateral Displacement)

สำหรับดินเหนียวซึ่งไม่สามารถมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ในช่วงระยะเวลาระหว่างตอกเข็ม (Undrained Condition) ปริมาตรของ Soil Heave ที่ผิวดินจะเท่ากับปริมาตรของเสาเข็มที่ตอกลงไป สำหรับดินทราย แรงจากการตอกเสาเข็มมักจะทำให้ทรายอัดตัวแน่นเข้า (Compaction) ดังนั้นจึงไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับ Soil Heave ร้ายแรงเหมือนกับการตอกในดินเหนียว อีกทั้งบางกรณีถ้าใช้ Low Displacement Pile แทนที่จะเกิด Heave อาจเกิดการทรุดตัว (Displacement) ที่ผิวดินแทนเพราะปริมาตรการอัดตัวของทรายมีมากกว่าปริมาตรเข็ม

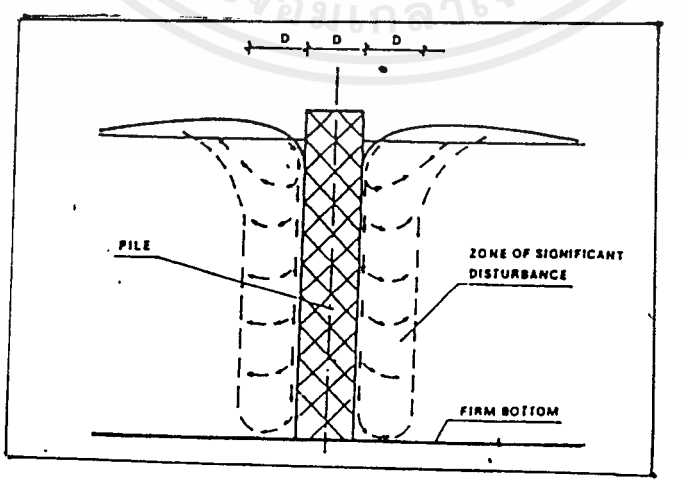
การเคลื่อนตัวของดินรอบเข็มตอกในดินเหนียวจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 การเคลื่อนตัวของดินอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสาเข็มต้นที่ตอกก่อนและอาคารหรือถนนบริเวณใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1a Failure zone and displacement pattern during an early and a latter stage of pile penetration in cohesive soil



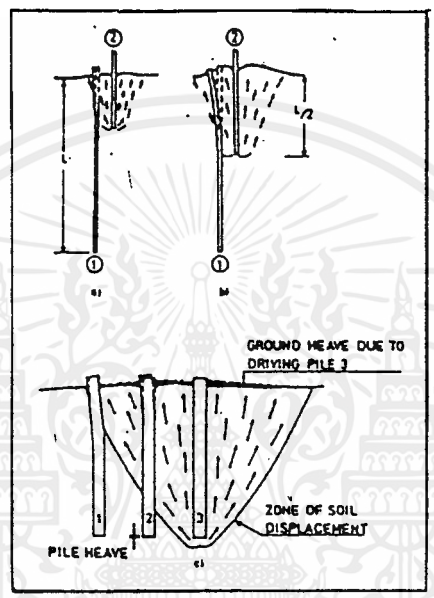
รูปที่ 1b Soil movement around a mode pile driven into stiff artificial claay



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะความเสียหายต่อเสาเข็มต้นใกล้เคียงส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของเสาเข็มลอยสูงขึ้นจากระดับเดิมหลังตอก (Pile Heave) และเอียงจากตำแหน่งเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 Pile displacement mechanism due to driving of adjacent piles (after Haerty,1969)



โดยทั่วไปบริมาณ Pile Heave จะมีขนาดน้อยกว่าปริมาณ Soil Heave ปริมาณการเคลื่อนตัวในลักษณะทั้งสองแบบของเข็มต้นหนึ่งจะเพิ่มสะสมขึ้นตามจำนวนเข็มที่ตอกเพิ่มขึ้นในบริเวณใกล้เคียง

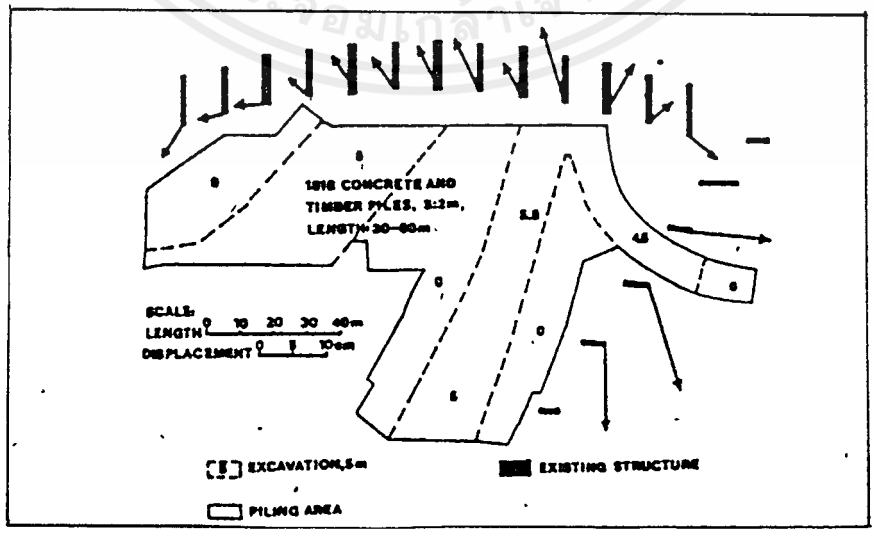
Pile Heave ในระดับครึ่งเมตรเป็นเรื่องซึ่งไม่ประหลาดเลยถ้ามีการตอกเข็มจำนวนมากในดินเหนียวอ่อน โดยใช้ Pile Spacing 2-3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็มอย่างที่ใช้อยู่ทั่วไป จากการทดลองศึกษาและวัดจากงานก่อสร้างจริงในต่างประเทศพบว่า ถ้ายังมีการตอกเข็มในระยะไม่เกินประมาณ 10เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มแล้ว ก็ยังมีการเกิด Pile Heave ของเสาเข็มต้นนั้นอยู่ การเกิด Heave จะทำให้กำลังรับน้ำหนักของเข็มลดลง โดยเฉพาะในเข็มแบบ End Bearing จำเป็นต้องทำการตอกซ้ำใหม่ (Redrive) หลังจากตอกเข็มเสียงเสร็จหมดแล้ว สำหรับเข็มตอกในบริเวณดินกรุงเทพฯ ลงไปยังชั้นทรายแรกนั้นกำลังรับน้ำหนักโดย End Bearing อาจมีค่าประมาณถึงครึ่งหนึ่งของกำลังรับน้ำหนักรวม ดังนั้นการตอกซ้ำในงานตอกเข็มบริเวณกรุงเทพฯจึงมีความสำคัญในกรณีที่มีการเกิด Pile Heave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วปริมาณการเคลื่อนตัวออกด้านข้างของดินจะน้อยกว่าปริมาณ Soil Heave และโดยปกติแล้ว จะมีขนาดไม่สูงพอที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อฐานรากอาคารข้างเคียงได้ ยกเว้นกรณีที่มีการตอกเข็มจำนวนมากจนแน่นพื้นที่ รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างอาคาร จากผลการตอกเข็มในดินเหนียวจนแน่นพื้นที่ โปรดระลึกด้วยว่าปริมาณการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณและลำดับในการตอกเข็มในบริเวณใกล้เคียงด้วย

ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินจะเกิดขึ้นมาก ถ้าทำการตอกเข็มบริเวณที่มีระดับผิวดินในพื้นที่ข้างเคียงอยู่ต่ำกว่า เช่น การตอกเข็มใกล้หรือบนลาดดิน (Slope) ร่องดิน (Trench) หรือคู คลอง ทั้งนี้เพราะการที่มีพื้นดินระดับต่ำอยู่ใกล้เคียง จะทำให้ดินที่ถูกเสาเข็มแทนที่ส่วนใหญ่เคลื่อนไปด้านข้างสู่ลาดดินลงสู่พื้นที่ต่ำและเกิดการบูดที่พื้นล่าง บริเวณที่อยู่ใกล้ลาดดินจะมีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป เสาเข็มคอนกรีตที่ปักอยู่ในดินโดยยังไม่มีการยึดกันที่หัวเข็มจะมีกำลังต้านทานแรงดันดินด้านข้างต่ำมาก จึงเคลื่อนตัวเอียงตามดินไปได้ง่ายและอาจหักได้ นอกจากนั้นการเคลื่อนตัวของดินยังทำให้ดินเกิดการ Remold ตัวและสูญเสียกำลังอันอาจทำให้เกิดการพังทลายของลาดดินได้อีกประการหนึ่งด้วย ดังนั้นไม่ควรใช้เข็มตอกบริเวณดังกล่าวโดยเฉพาะในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งมีอัตราการสูญเสียกำลัง (Sensitivity) สูง

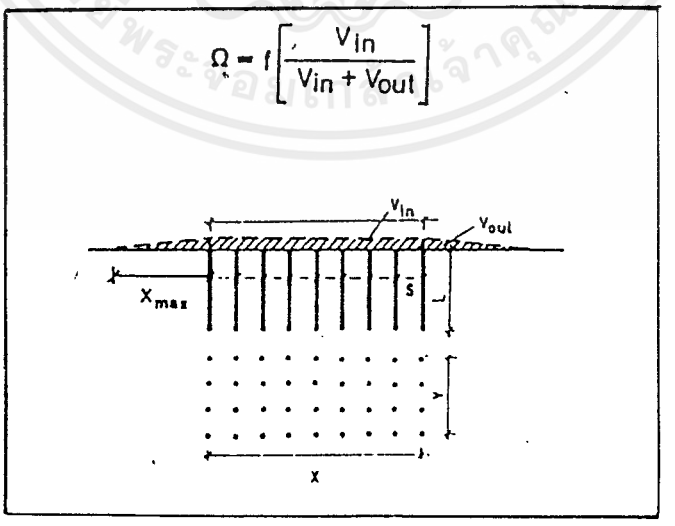
รูปที่ 3 Displacement of structures due to pile driving in plastic clay (after Bergfeldt,1968)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

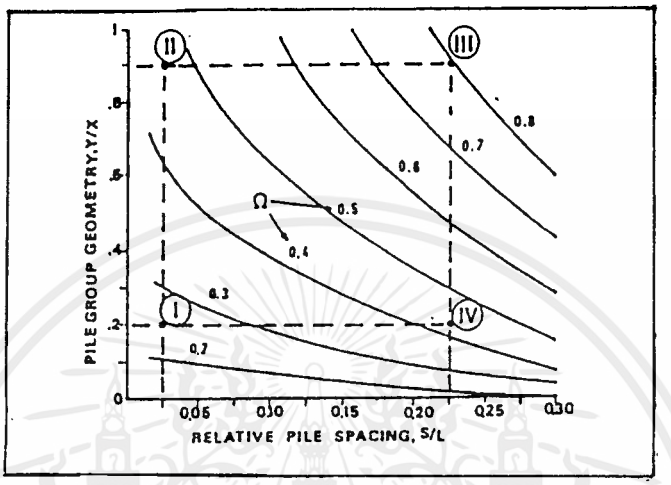
ในกรณีการตอกเข็มจำนวนมากในพื้นที่หนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเป็นเข็มกลุ่ม Soil Heave จะเกิดทั้งในบริเวณพื้นที่ของกลุ่มเข็ม และในพื้นที่โดยรอบข้างด้วย เป็นระยะห่างออกไปหลายๆเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4a ขนาด Soil Heave ที่เกิดขึ้นในบริเวณเข็มกลุ่มมักจะสูงกว่าที่เกิดในพื้นที่รอบนอก แต่ในแง่ของปริมาตรของดินที่บูดขึ้นจากผิวดินเดิมแล้ว พบว่าในกรณีของเข็ม H-Pile (Low Displacement) ตอกในดินเหนียวแข็ง ปริมาตร Soil Heave ทั้งหมดเกือบจะจำกัดอยู่ในพื้นที่กลุ่มเข็ม ในกรณีเข็มคอนกรีตตอกในดินเหนียวประมาณ 50-60 % ของปริมาตร Heave ทั้งหมด จะเกิดในบริเวณพื้นที่กลุ่มเข็ม ปริมาตรส่วนที่เหลือจะเกิดในพื้นที่รอบข้างนอก ในกรณีของดินเหนียวประเภท Soft Sensitive Clay หรือ Silty Clay ปริมาตรHeave ที่เกิดบริเวณพื้นที่กลุ่มเข็มอาจลดลงเหลือประมาณ 30% ของทั้งหมด จากการศึกษาของ Massarch (1976) สรุปว่าสัดส่วนปริมาตร Soil Heave ดังกล่าวยังจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเสาเข็ม ความยาวเสาเข็ม และสัดส่วนกว้างยาวของพื้นที่กลุ่มเข็มดังแสดงในรูปที่ 4b นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับลำดับในการตอกเข็มอีกด้วย

รูปที่ 4a บริเวณพื้นที่และปริมาณ Soil Heave เนื่องจากการตอกเข็มกลุ่ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4b อิทธิพลของความยาวและระยะห่างของเสาเข็มและสัดส่วนกว้างยาวของพื้นที่กลุ่มเข็มต่อสัดส่วน Soil Heave ภายในและภายนอกกลุ่มเข็ม



การเกิด Soil Heave จากการตอกเสาเข็มเป็นปรากฏการณ์ตอบสนองในระยะแรกของดินเหนียว เนื่องจากสาเหตุที่ว่าการตอกเสาเข็มยังทำให้ความดันของน้ำในดิน (Pore Water Pressure) เพิ่มสูงขึ้นเพราะดินเกิดการเคลื่อนตัว (Sheared และ Remolded) ดังนั้นดินจึงเกิด Consolidationในระยะเวลาต่อมาและเกิดการทรุดตัวของดินตามมา การทรุดตัวอาจเกิดในปริมาณสูงกว่าปริมาณดินบูดตัวในช่วงแรกเสียอีก ถ้ามีการตอกเข็มเป็นจำนวนมากในดินเหนียวอ่อนจนทำให้ปริมาณ Pore Water Pressure ในดินบริเวณข้างเคียงเกิดสะสมมากขึ้น รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการทรุดตัวของอาคารข้างเคียงจากผลของการตอกเสาเข็มในบริเวณข้างเคียง

ข.วิธีการป้องกัน

วิธีการลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินเนื่องจากการตอกเสาเข็มที่มักใช้กันมีอยู่หลายวิธี แต่ประสิทธิภาพของแต่ละวิธีนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการเคลื่อนตัวของดินที่อาจจะเกิดขึ้นด้วย วิธีการเหล่านี้ได้แก่

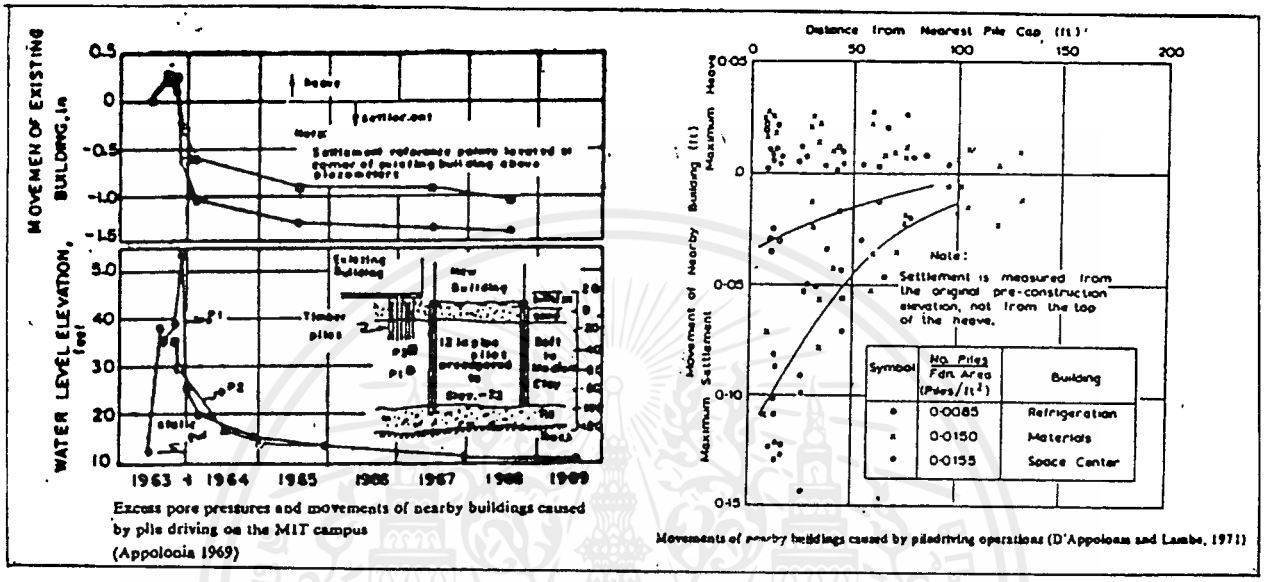
1.เปลี่ยนใช้เข็มเจาะแทน

2.ใช้ Low Displacement Pile แทน

3.ใช้วิธี Pre-boring เจาะนำเข็มตอก ซึ่งพบกันว่าวิธีนี้จะช่วยได้บ้างก็ต่อเมื่อมีปริมาตรการ Pre-bore ไม่ต่ำกว่า 50-100% ของปริมาตรเข็มทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 ตัวอย่างการเกิด Heave และ Settlement ของอาคารข้างเคียงจากการตอกเข็มในดินเหนียวอ่อน



4.หลีกเลี่ยงการตอกเข็มบริเวณใกล้ลาดดิน ใกล้ฝั่งคู คลอง เข็มที่ใช้ในพื้นที่ดังกล่าวควรเป็นเข็มเจาะหรือ Pre-bore ตลอดความยาวเข็ม ควรตอกเข็มในพื้นที่ราบ ถ้าฐานรากมีระดับต่างกันควรตอกเข็มให้แล้วเสร็จก่อนจึงทำการขุดดินปรับระดับทำงานฐานราก

5.ปัญหา Soil Heave และ Pile Heave จะสามารถบรรเทาลงได้บ้าง ถ้าการเลือกใช้ลำดับการตอกเข็มที่เหมาะสม วิธีการดังกล่าวจะไม่สามารถลดปริมาณของ Soil Heave ได้ แต่สามารถลดขนาดของ Soil Heave ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งได้ ขนาด Soil Heave และ Pile Heave ในบริเวณพื้นที่กลุ่มเข็มจะลดลง ถ้าเลือกลำดับการตอกไล่ออกจากศูนย์กลางของเข็มกลุ่มออกมารอบนอก หรือไล่ออกไปทั้งสองด้านตรงข้าม หรือตอกไล่กลับไปมาตามแนวขวางของกลุ่ม เป็นต้น แต่วิธีดังกล่าวจะได้ผลในดินทรายมากกว่าดินเหนียว ในดินทรายถ้าใช้ลำดับการตอกเข็มจากรอบนอกเข้าหาศูนย์กลางจะเกิด Heave สูงในบริเวณกลางกลุ่มและทรายแน่นตัวขึ้น อาจจะตอกเข็มต้นในๆไม่ลงก็ได้

ในกรณีที่ต้องการลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินในบริเวณอาคารข้างเคียง ควรเริ่มตอกไล่จากแนวชิดอาคารออกไปเพื่อใช้เข็มต้นที่ตอกไปแล้วเป็นกำแพง ลดการเคลื่อนตัวของดินเข้าหาพื้นที่ดังกล่าว แต่ถึงอย่างไรก็ตามการตอกเข็มในแนวถัดไปก็จะทำให้เข็มแนวที่ตอกก่อนเอียงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไปสู่บริเวณดังกล่าวได้บ้าง เพราะการเคลื่อนตัวด้านข้างของเข็มจะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของลำดับการ Advance การตอกเข็มเสมอ แม้ว่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินส่วนใหญ่จะเกิดในทิศทางเดียวกับลำดับการ Advance การตอกเข็มก็ตาม ดังนั้นสำหรับการตอกเข็มในดินเหนียวซึ่งถ้ามีจำนวนเข็มมากแล้วปริมาณการเคลื่อนตัวของดินจะเกิดขึ้นสูง และจะผลักให้เข็มแนวชิดอาคารข้างเคียงที่ตอกก่อนเคลื่อนตามไปด้วยส่วนหนึ่ง ลำดับขั้นตอนการตอกเข็มดังกล่าวอาจจะไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความเสียหายอาคารข้างเคียงตามที่หวังก็ได้

สำหรับบริเวณลาดดินไม่ว่าลำดับการตอกเข็มจะเป็นแบบตอกจากแนวห่างเข้าใกล้ลาดดินหรือไล่จากแนวชิดลาดดินห่างออกไป ก็มีอันตรายสูงทั้งคู่ โดยอย่างแรกเสี่ยงต่อการพังทลายของลาดดิน และอย่างที่ 2 เสี่ยงต่อการเอียงและหักของเสาเข็มที่ตอกก่อนบริเวณชิดลาดดิน

- แรงสั่นสะเทือนจากการตอกเข็ม

แรงสั่นสะเทือนจากการตอกเข็ม นอกจากจะรบกวนผู้คนในบริเวณใกล้เคียงแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างในบริเวณข้างเคียงได้ ซึ่งอาจจะเกิดในลักษณะที่แรงสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านไปในดินนั้นสั่นให้อาคารเคลื่อนตัวกลับไปมาในแนวราบจนเกิดการแตกร้าวได้ หรืออาจเกิดในลักษณะที่แรงสั่นสะเทือนทำให้ดินเกิด Compaction หรือ Liguefaction และทรุดตัวเลยทันที ซึ่งมักจะเกิดในกรณีที่ดินเป็น Sand หรือ Siltหลวมๆ ในกรณีของดินเหนียวอ่อนแรงสั่นสะเทือนจะก่อให้เกิด Pore Water Pressure สูงขึ้น ทำให้ดินทรุดตัวและอาคารอาจเสียหายได้ โดยปกติแล้วความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของดินจากผลของความสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม จะมีโอกาสเป็นไปได้มากกว่าความเสียหายเนื่องจากการสั่นตัวของอาคารโดยตรง

เพื่อที่จะช่วยให้เข้าใจถึงผลของการสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็มต่ออาคารข้างเคียงจะขอสรุปอย่างคร่าวๆถึงลักษณะการเกิด และคุณสมบัติของการสั่นสะเทือนและผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง ตลอดจนวิธีการบรรเทาหรือป้องกัน

ก) การเกิดความสั่นสะเทือน

การตอกเข็มไม่ว่าจะใช้วิธีใด จะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนขึ้นในดิน กระจายไปรอบข้าง ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ในการตอกเสาเข็มนั้น วิธีการก็คือ การส่งถ่ายพลังงานให้กับเสาเข็มโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hammer เพื่อบังคับให้เข็มนั้นเคลื่อนเจาะดินลงไป แต่โดยทั่วไปแล้วพลังงานที่ให้กับเข็มจะมีเพียงบางส่วนที่ถูกใช้ Penetrate เข็มลงไปในดิน ส่วนที่เหลือจะสูญเสียในลักษณะต่างๆ กรณีตอกเข็มในชั้นดินแข็ง พลังงานปริมาณมากจำนวนหนึ่งจะถูก Reflect กลับเข้ามาในตัวเข็มเนื่องจากความต้านทานของดินสูงทำให้เกิดความสั่นสะเทือนในตัวเข็ม และเกิดคลื่นความสั่นสะเทือนที่บลายเข็มถ่ายสู่ดิน บริมาณความสั่นสะเทือนจะเพิ่มสูงขึ้น ถ้าชั้นดินมีแรงต้านทานการตอกเข็มสูงขึ้นและความสามารถของเข็มในการใช้พลังงาน Penetrate ดินต่ำ คลื่นความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการตอกเข็มจะเคลื่อนตัวกระจายออกไปในดิน ใน 2 ลักษณะคือ คลื่นแบบ Body Wave (ซึ่งแบ่งออกได้อีกเป็น Compression Wave และ Shear Wave) และคลื่นแบบ Surface Wave หรือที่มักเรียกว่า Rayleigh Wave ซึ่งเกิดจากคลื่น Body Wave เคลื่อนที่มาสะท้อนหรือหักเหที่ผิวดิน

คลื่นความสั่นสะเทือนเมื่อเคลื่อนไปในดินก็จะอ่อนตัวลง (Attenuation) เนื่องจากสาเหตุใหญ่คือ เมื่อ Wave Front เคลื่อนห่างจากจุดเริ่มมากขึ้น พลังงานความสั่นสะเทือนจะกระจายครอบคลุมบริมาตรดินกว้างขึ้น จึงทำให้บริมาตรของคลื่นความสั่นสะเทือน (Amplitude) เสื่อมลง การเสื่อมแบบนี้เรียกว่า Geometry Damping นอกจากนี้ยังมีการเสื่อมเนื่องจากแรงเสียดทานภายในของดิน ซึ่งเรียกว่า Material หรือ Frictional Damping แต่มีผลน้อยกว่ามากจึงมักไม่สำคัญ

เมื่อคลื่นความสั่นสะเทือนเคลื่อนตัวไปในดิน จะมีผลให้ดินเกิดการ Deform ไปมาและสั่นตามไปด้วย ขนาดของคลื่นสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ทำให้เกิดความสั่นสะเทือน และระยะห่างจากจุดเริ่มของการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถวัดได้จากบริมาณการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในดิน (Particle Motion) ซึ่งสามารถวัดได้ในรูปของ Particle Acceleration, Particle Velocity หรือ Particle Displacement ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสั่นสะเทือน

ข) การเสื่อมของบริมาณความสั่นสะเทือนกับระยะทาง

ผลของ Damping ทำให้ขนาดของแรงสั่นสะเทือนลดลงกับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดจากการวัดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริงในงานตอกเสาเข็ม ในดินกรุงเทพฯ และที่อื่นๆ พบว่าบริมาณความสั่นสะเทือนที่บริเวณผิวดินทั้งในกรณีที่วัดจาก Peak Particle Velocity (V) หรือ Peak Particle Acceleration (A) จะเสื่อมลงกับระยะห่างจากจุดที่ตอกเข็ม (r) ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะสัดส่วนผกผัน ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 6a ซึ่งจากลักษณะการเสื่อมดังกล่าวจะทำให้ปริมาณแรงสั่นสะเทือนลดลงอย่างรวดเร็วกับระยะทางโดยเฉพาะในระยะใกล้ๆ ดังนั้นอันตรายจากแรงสั่นสะเทือนจะจำกัดในพื้นที่ใกล้ๆกับจุดตอกเท่านั้น

จากรูปที่ 6b จะเห็นว่าปริมาณแรงสั่นสะเทือนในรูปของ V หรือ A จะแปรตามพลังงานและระยะทางดังนี้คือ

$$V,A = K\sqrt{W/r}$$

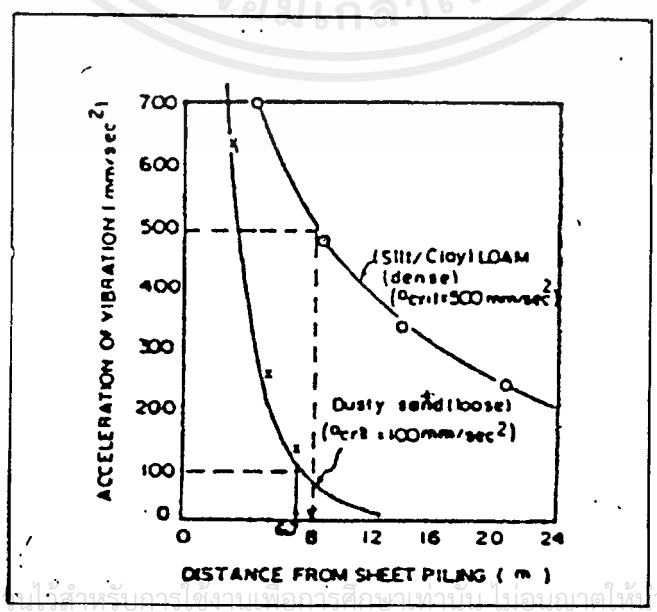
โดยที่

W = พลังงานที่ใช้ในการตอกเข็มทั้งหมด

และ K = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของดินและสัดส่วนของพลังงานที่ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนกับพลังงานทั้งหมดที่ใช้

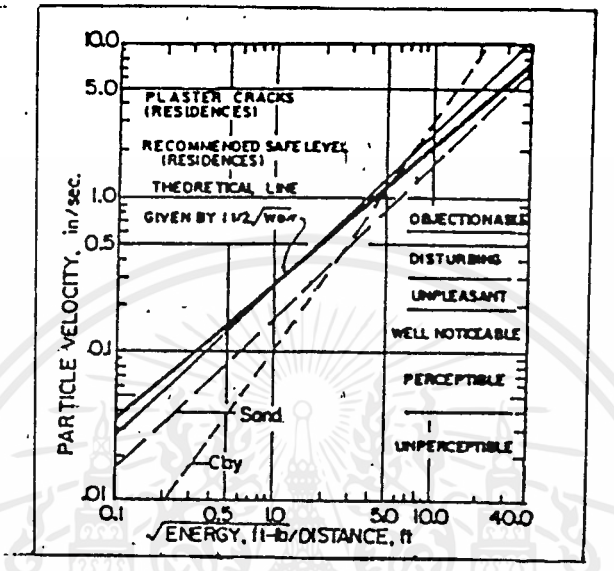
สำหรับค่าคงที่ K จะแปรเปลี่ยนกับความสามารถในการส่งผ่านพลังงานที่ใช้ในการตอกเข็มไปใช้ในการเคลื่อนตัวของเข็มทะลุดินลงไป (Pile Impedence) ค่าคงที่ K จะสูงสำหรับเข็มที่มี Impedence ต่ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดปริมาณความสั่นสะเทือนสูง ดังแสดงในรูปที่ 7 นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับน้ำหนักและความเร็วกระแทกของตุ้มตอกเข็ม ถ้าใช้ตุ้มเบาหรือความเร็วสูง ค่า K ก็จะสูงขึ้น และแรงสั่นสะเทือน ก็จะมากขึ้น

รูปที่ 6a Acceleration versus distance from the sheet pile (Daimatov et al 1968)

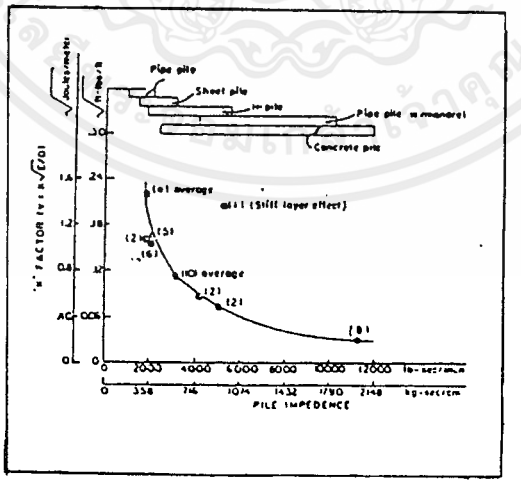


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6b Maximum anticipated peak particle velocity as function of scaled energy (Wiss 1982)



รูปที่ 7 Influence of pile impedance on peak particle velocity (Heckman and Hagerty 1978)



ค) ความเสียหายเนื่องจากการสั่นตัวของอาคาร

เมื่อมีโครงสร้างตั้งอยู่ใกล้บริเวณตอกเข็ม คลื่นความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในดินสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้โครงสร้างนั้นสั่นตามไปด้วย แต่ปริมาณการสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นในโครงสร้างนั้น จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นสั่นสะเทือนในดินเทียบกับความถี่พื้นฐาน (Natural Frequency) ของโครงสร้างนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับมวลและ Stiffness ของโครงสร้าง ถ้าความถี่ทั้งสองมีค่าใกล้กัน อาจเกิด Resonance โครงสร้างจะสั่นตามไปมาอย่างมาก และอาจจะเกิดสั่นเพิ่มมากขึ้นกว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในดินอีกด้วย (Magnification of Vibration) แต่โดยทั่วไปแล้วความถี่ของความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการตอกเสาเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องตอกเข็ม จะมีค่าไม่ใกล้เคียงกับความถี่พื้นฐานของอาคารทั่วไป กล่าวคือ ความถี่ของความสั่นสะเทือนจากการตอกเข็ม จะอยู่ประมาณ 10-30 Hz ทั้งแบบ Vibrating Hammer และ Impact Hammer แต่ความถี่พื้นฐานของอาคารมักจะมีค่าประมาณ 0.5 Hz สำหรับอาคารแบบ Flexible Structure และสูงถึง 4 Hz สำหรับอาคารแบบ Stiff Structure ดังนั้นความสั่นสะเทือนจากการตอกเข็มมักจะส่งถ่ายให้อาคารเกิดสั่นตามไปแบบไม่มี Magnification และมักจะอ่อนลงด้วยซ้ำ

การที่อาคารเกิดการสั่นไปมาในแนวราบนั้นจะทำให้เกิด Strain ขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างอาคาร ปริมาณ Strain จะเพิ่มขึ้นตาม Amplitude และระยะเวลาในการสั่นแต่ละครั้งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารจะขึ้นอยู่กับปริมาณ Strain ที่เกิดขึ้นและกำลังของโครงสร้าง ซึ่งถ้าเป็นโครงสร้างที่สร้างไว้ไม่แข็งแรง หรือเก่าชำรุดก็จะมีความเสี่ยงต่อความเสียหายสูง

การประมาณความเสียหายของอาคารเนื่องจากความสั่นสะเทือนในดินนั้น สามารถทำได้โดยทำ Dynamic Analysis โดยตรงเพื่อหาปริมาณ Strain ที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบกับความแข็งแรงของโครงสร้าง แต่จะยุ่งยากในแง่ของการควบคุมงานวิธีที่ใช้กันอยู่ก็คือการใช้ประสบการณ์ในอดีตมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดระดับความสั่นสะเทือนที่จะยอมให้เกิดขึ้นได้สำหรับอาคารแต่ละประเภท ซึ่งพบว่าการวัด Peak Particle Velocity ที่เกิดขึ้นในดิน จะเป็นตัวชี้ระดับของความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอาคารใกล้เคียงได้ดี . ตัวอย่างระดับความเสียหายของโครงสร้างเทียบกับ Particle Velocity ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 8

เกณฑ์นี้ชี้ให้เห็นว่าถ้า Particle Velocity ที่บริเวณฐานรากอาคาร สูงเกิน 50 มม./วินาที อาจทำให้เกิดความเสียหายเล็กน้อยทางสถาปัตยกรรมของอาคาร ถ้าสูงถึง 150 มม./วินาที อาจทำให้กำแพงแตกร้าวได้ และถ้าสูงเกินกว่า 300 มม./วินาที แรงสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนโครงสร้างสำหรับการควบคุมการก่อสร้าง ซึ่งต้องให้มีความปลอดภัยสูงไว้ก่อน บทกำหนดที่มีอยู่ในต่างประเทศเกี่ยวกับระดับความสั่นสะเทือนที่ยอมให้ได้สำหรับอาคารประเภทต่างๆ ได้รวบรวมไว้เป็นตัวอย่างในรูปที่ 9 ขอให้ตั้งข้อสังเกตว่าบทกำหนดเหล่านี้คำนึงถึงความเสียหายทางสถาปัตยกรรมเป็นเกณฑ์จึงมีอัตราส่วนความปลอดภัยสูงมาก

รูปที่ 8

Damage expectance and criteria

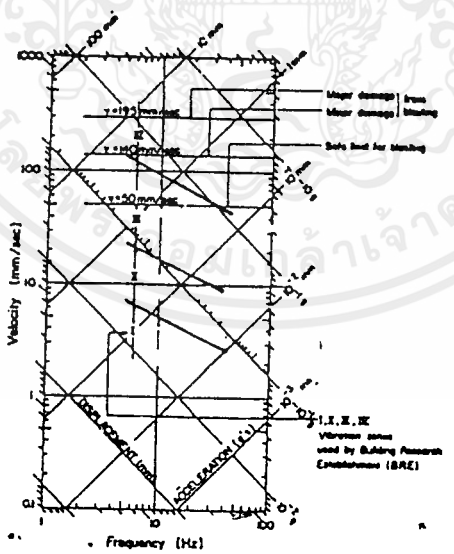
German Standard DIN 4150 (Proposed Revision) 1971

Building class	Type of structure	Permissible resultant peak particle velocity, v_{res}, on foundation of building (mm/sec)
1	Ruins, historic monuments in poor state of repair	2
2	Buildings with visible damage, cracks in walls	4
3	Buildings without damage in good state of repair (may have plaster cracks)	8
4	Well-stiffened structures (e.g. industrial buildings)	10 to 40

Threshold of damage in terms of total vibration[1] for different structures and number of vibration cycles in the frequency range 10 to 60 Hz (adopted from BENDEL, 1971).

Material	Stone	Brickstone	Reinforced Concrete
Type of Structure	Old Buildings; Historical Ruins	Residential Buildings	Retaining Walls; Industrial Buildings
Number of vibration cycles:			
One	3 to 10 mm/sec	10 to 15 mm/sec	30 - 50 mm/sec
Repeated	2 to 5	3 to 10	20 - 35
Continuous	1 to 3	3 to 7.5	15 - 25

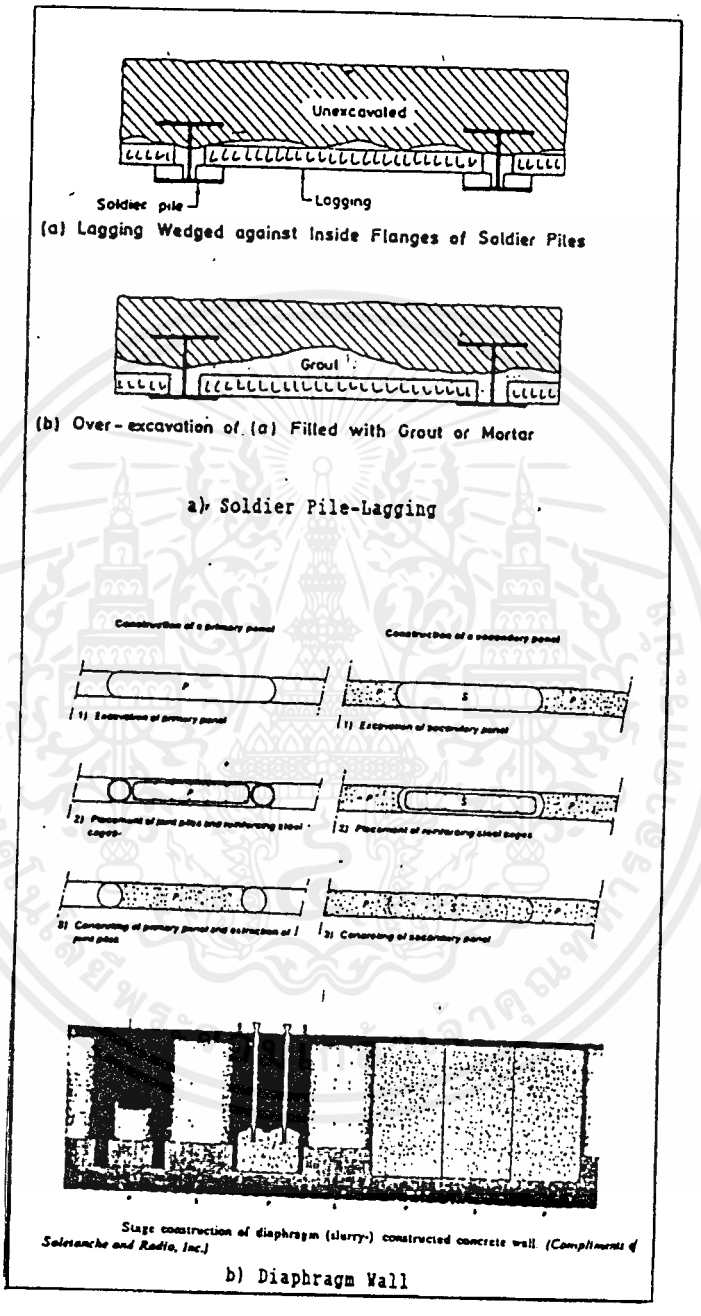
[1] $v_{res} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$



Zone	Building Research Establishment (BRE) (1970) Damage Expectance
I	No damage
II	Possibility of plaster cracks (cracks in load bearing walls in exceptional cases)
III	Probable damage to load bearing structural units
IV	Damage to load-bearing units; destruction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9 ตัวอย่างกำแพงกันดินชั่วคราวที่นิยมใช้ชนิดต่างๆ



ในแง่ของการรบกวนผู้คนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ระดับความสั่นสะเทือนที่มีผลจะมีค่าต่ำกว่าระดับความสะเทือนที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารมาก มนุษย์เราจะเริ่มรู้สึกสั่นสะเทือนเมื่อมีความเร็วของการสั่นสะเทือนประมาณ 1 มม./วินาที และจะเริ่มรู้สึกถูกรบกวนอย่างมากเมื่อความเร็วเพิ่มมากกว่า 12 มม./วินาที หรือสามารถสรุปได้คร่าวๆว่า ในงานตอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็มโดยใช้วิธีธรรมดาทั่วไป ระยะรบกวนมักจะไม่เกิน 50 เมตร

นอกจากความแรงของการสั่นสะเทือนซึ่งวัดได้จาก Peak Particle Velocity ผลของการสั่นสะเทือนต่ออาคารข้างเคียงยังขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้ด้วย คือ ระยะเวลาสั่นสะเทือน ความถี่และประเภทของการสั่นสะเทือน กล่าวคือโอกาสที่จะเกิดความเสียหายจะเพิ่มมากขึ้น ถ้าระยะเวลาของการสั่นสะเทือนยาวขึ้น หรือความถี่ของการสั่นกับความถี่พื้นฐานของโครงสร้างมีค่าต่างกันน้อยลง การสั่นแบบ Steady State ซึ่งเกิดจากการตอกเข็มโดยใช้ Vibratory Hammer จะทำให้เกิดความเสียหายมากกว่าการสั่นแบบ Transient State ณ ซึ่งเกิดจากการตอกเข็มโดยใช้ Impact Hammer

ง) การทรุดตัวของดินเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม

จากที่ผ่านมาพอจะกล่าวได้ว่า ในกรณีที่อาคารข้างเคียงเกิดความเสียหายจากแรงสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม ส่วนมากจะเกิดจากสาเหตุของการทรุดตัวของดินซึ่งเป็นผลจากแรงสั่นสะเทือน ทำให้โครงสร้างเกิดทรุดตัวตามดินและโก่งบิดเสียหาย โอกาสที่อาคารจะเสียหายจากการสั่นไปมาของอาคารโดยตรงนั้นมีน้อยมาก จะเกิดก็เฉพาะในกรณีที่มีการตอกเสาเข็มเกือบชิดฐานรากอาคารเลย หรือ ในกรณีที่อาคารอยู่ในสภาพเสื่อมโทรมไม่แข็งแรงและพร้อมจะเสียหายอยู่แล้ว

การทรุดตัวของดินจากผลของแรงสั่นสะเทือนนั้น มักจะจำกัดอยู่กับดินประเภท Sand หรือ Silt หลวมๆ โดยเฉพาะที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน โดยที่แรงสั่นสะเทือนจะทำให้ดินแน่นเข้าหรือเกิด Liquefaction สำหรับในกรณีของดินเหนียวอ่อน อาจจะเกิดการทรุดตัวได้เหมือนกัน ถ้าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นสูงและนานพอ จนทำให้เกิดมี Pore Water Pressure สะสมขึ้นในดินระหว่างการสั่นสะเทือน ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งของการสั่นสะเทือน หลังจากนั้น Pore Water Pressure จะ Dissipate ทำให้ดินเกิด Consolidation และทรุดตัว จากการตรวจวัดโดยมากจะพบว่า มักจะมี Heave เกิดขึ้นก่อนที่ดินจะเริ่มทรุดตัว ในลักษณะเช่นนี้ Pore Water Pressure ที่เพิ่มสูงขึ้นอาจจะเกิดจากสาเหตุดินเคลื่อนตัวด้วยก็ได้ ไม่เฉพาะผลของการสั่นสะเทือนเพียงอย่างเดียว ซึ่งโดยมากแล้วจะเป็นสาเหตุที่สำคัญกว่าผลของการสั่นสะเทือนเสียอีก

การทรุดตัวของดินไม่ว่าจะเป็น Sand, Silt, หรือ Clay ก็ตาม จะเกิดก็ต่อเมื่อแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงเกินกว่าขีดจำกัด (Critical Level) ซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Particle Acceleration ซึ่งแปรผันกับปริมาณพลังงานที่ใช้ในการตอกเข็มและเลื่อมลงกับระยะทางด้วยลักษณะเช่นเดียวกับ Particle Velocity

ในกรณีของดินเหนียว Critical Acceleration ที่จะทำให้ดินมี Pore Water Pressure สูงขึ้นและเกิดการทรุดตัวนั้นมีระดับสูงกว่าปริมาณที่สามารถทำให้ Sand หรือ Silt ทรุดตัวมาก ดังนั้นในกรณีของดินเหนียวอ่อน ถ้าการตอกเข็มไม่อยู่ใกล้จนชิดฐานรากอาคาร และตอกจำนวนไม่มากแล้ว แรงสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็มก็ไม่น่าจะส่งผลให้เกิดปัญหาดินทรุดตัวได้

ดังนั้นก็พอที่จะสรุปได้ว่าในดินทุกชนิด ถ้าการตอกเข็มมีระยะห่างจากโครงสร้างใกล้เคียงไม่เกินประมาณ 8-10 เมตรแล้ว โอกาสที่โครงสร้างจะเกิดความเสียหายเนื่องจากผลของแรงสั่นสะเทือนก็จะมีอยู่สูง การทรุดตัวของดินและการแตกร้าวของชิ้นส่วนโครงสร้างจะเกิดขึ้นได้ง่าย สำหรับระยะปลอดภัยที่แรงสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็มจะไม่มีผลใดๆต่อโครงสร้างใกล้เคียง คือระยะห่างเกินกว่าประมาณ 30 เมตรจากจุดที่ตอก ระยะดังกล่าวอาจเพิ่มขึ้นได้ ถ้าเข็มที่ตอกมีขนาดใหญ่กว่าขนาดทั่วไปมาก เพราะพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการตอกจะเพิ่มสูงขึ้น

จ) วิธีการป้องกันความเสียหายจากแรงสั่นสะเทือนในการตอกเข็ม

ในงานตอกเข็มใกล้อาคาร ปัญหาความเสียหายต่อโครงสร้างเนื่องจากผลของแรงสั่นสะเทือน อาจสามารถป้องกันหรือบรรเทาได้ถ้าเลือกใช้วิธีการป้องกันที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่วิธีต่อไปนี้

1. ใช้วิธีการเจาะนำ (Pre-bore)
2. ปรับระดับความถี่ของเครื่องตอกเข็มให้ห่างจากความถี่พื้นฐานของโครงสร้าง
3. หลีกเลี่ยงการใช้เครื่องตอกแบบ Vibratory Hammer ใช้แบบ Impact Hammerแทน
4. เลือกใช้เข็มที่มี Impedence สูง เพื่อช่วยลดปริมาณพลังงานที่สูญเสียในการตอกเข็มอันทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นแทน
5. เลือกขนาด Hammer และระยะ Drop ที่เหมาะสม ในกรณีของ Hard Driving การเพิ่มน้ำหนักตุ้ม การยกระยะ Drop ให้ต่ำลง และการใช้วัสดุรองรองหัวเข็มซึ่งไม่ Stiff มาก จะช่วยลดแรงสั่นสะเทือนลง แม้ว่าจะทำให้ประสิทธิภาพในการตอกต่ำลงบ้างก็ตาม
6. เริ่มตอกเข็มแนวที่ใกล้กับโครงสร้างก่อนเพื่อใช้เป็น Screen สะท้อนและหักเหคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั่นสะเทือน เพื่อลดปริมาณแรงสั่นสะเทือนที่จะส่งผ่านไปบริเวณข้างเคียง

7.ตอก Sheet Pile เป็น Screen กั้นระหว่างบริเวณตอกเข็มและอาคารข้างเคียง

8.ขุดร่องดิน (Trench)ระหว่างบริเวณตอกเข็มและอาคารข้างเคียงเพื่อช่วยDissipate แรงสั่นสะเทือนลง

- ความเสียหายจากงานตอกเข็มในดินกรุงเทพฯ

ผลการศึกษาที่เคยกระทำมาเกี่ยวกับปัญหาแรงสั่นสะเทือน จากการตอกเสาเข็มคอนกรีตในกรุงเทพฯ พบว่าแรงสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้นมากในช่วงที่ตอกเข็มผ่านชั้นทรายถมที่ผิวดิน และเมื่อปลายเข็มลึกลงไปถึงชั้น Stiff Clay และทรายข้างล่างชั้นดินเหนียวอ่อน โดยที่แรงสั่นสะเทือนสูงสุดในบริเวณใกล้เข็มมักจะเกิดในระหว่างการตอกเข็มผ่านชั้นทรายถม งานการตอกเข็มสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.425 x 0.425 ผ่านชั้นทรายถมหนา 2 เมตร บริเวณบางกรวยพบว่าแรงสั่นสะเทือนในดินเกิดสูงถึง 20-70 มม./วินาที ที่ระยะห่าง 1-2 เมตรจากจุดตอกและลดลงเหลือประมาณ 12 มม./วินาที ที่ระยะ 5 เมตร ส่วนที่ระยะ 12 เมตร แรงสั่นสะเทือนลดลงเหลือไม่เกิน 3 มม./วินาที และเกิดจากการตอกเข็มผ่านชั้น Stiff Clay และทรายข้างล่างไม่ใช่ชั้นทรายถม ซึ่งที่ระยะดังกล่าวความสั่นสะเทือนจากการตอกผ่านชั้นทรายถมเหลือไม่เกิน 1 มม./วินาที เท่านั้น

จากผลการศึกษาพอสรุปได้ว่าอาคารมีอยู่น้อยมากที่อาคารข้างเคียงจะเกิดความเสียหายจากผลของแรงสั่นสะเทือนโดยตรง ถ้าไม่ตอกจนชิดตัวอาคาร หรือการทำให้ดินเหนียวอ่อนใต้อาคารเกิดการทรุดตัวและอาคารทรุดตัวตาม ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปริมาณ Peak Particle Velocity ที่เกิดขึ้นมักมีค่าต่ำมาก ดังนั้นสรุปได้ว่าระยะปลอดภัยจะอยู่ประมาณ 10 เมตร

ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงที่มักเกิดขึ้น ในกรณีของงานตอกเข็มในกรุงเทพฯ มักเป็นเพราะการใช้ปริมาณเข็มตอกมากเกินไปจนทำให้ดินเหนียวอ่อน ซึ่งมีความสามารถในการเคลื่อนตัวง่ายอยู่แล้ว เกิดเคลื่อนตัวในปริมาณสูง ทำให้ฐานรากของอาคารเคลื่อนตัวตามไปด้วย โดยเฉพาะอาคารประเภทตั้งอยู่บนเข็มสั้นจะเคลื่อนตัวตามดินได้ง่ายมาก ยกตัวอย่างเช่น ในโครงการหนึ่งถ้าเลือกใช้เข็มตอกสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.40 x 0.40 ยาว 25 เมตร จำนวน 650 ต้น ตอกในพื้นที่อาคารขนาด 50 x 100 เมตร ปริมาตรเข็มที่ตอกลงไปแทนที่ดินจะมีประมาณ 5,200 ลบ.เมตร ปริมาณ Soil Heave ที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ตอกเข็มอาจสูงถึง 0.50-1.00 เมตร และในบริเวณข้างเคียงห่างออกไป 25-30 เมตร อาจมีดินบูดตัวขึ้นถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 เซนติเมตรก็ได้(ถ้าคิดว่าบริเวณที่ดินบูดตัวรอบข้างพื้นที่ตอกเข็มครอบคลุมพื้นที่ระยะ 50 เมตร จากแนวบริเวณตอกเข็ม) ไม่ต้องสงสัยเลยว่าปริมาณการเคลื่อนตัวดังกล่าวจะสร้างความเสียหายแก่อาคารบริเวณข้างเคียงที่ตั้งบนเข็มสั้น

ระบบป้องกันความเสียหายที่มักนิยมใช้กันอยู่ซึ่งบางคนเข้าใจผิดว่า ถ้าได้ทำแล้วความเสียหายจะไม่เกิดขึ้นนั้น มีทั้งการใช้วิธีวางลำดับการตอกเข็มไล่ออกจากแนวชิดบริเวณที่จะป้องกันก่อนสู่พื้นที่ห่างออกไป ใช้วิธีการตอก Sheet Pile กั้นตลอดแนว ซึ่งบางโครงการก็ใช้ Sheet Pile ยาว 6-8 เมตร บางโครงการก็ใช้ยาวกว่า 10 เมตร และใช้วิธีขุดร่องดินกั้นตลอดแนว ซึ่งมักจะขุดได้ลึกเพียง 1-2 เมตรเท่านั้น ในกรณีที่มีปริมาณเข็มตอกมากแล้ว วิธีการต่างๆที่กล่าวมาสามารถเพียงช่วยลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินได้เพียงส่วนน้อยเท่านั้น แม้ว่ามันจะสามารถช่วยลดปริมาณแรงสั่นสะเทือนให้อยู่ในระดับต่ำก็ตาม แต่เนื่องจากชั้นดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพฯ มีความลึกเกินกว่า 10 เมตร ถ้ามีการตอกเข็มจำนวนมากๆ ดินที่เคลื่อนตัวจากบริเวณตอกเข็มยังคงจะดันให้เข็มแนวนอกที่ตอกก่อนเคลื่อนตัวออกไป รวมทั้งถ้าผังฐานรากเปิดช่องว่างระหว่างกลุ่มเข็มไว้ ดินจะยังคงเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ช่องว่างระหว่างกลุ่มเข็มดังกล่าว

แนว Sheet Pile ที่ตอกกั้นไว้มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเอง เพราะ Sheet Pile เป็นกำแพงที่ Flexibleมากเมื่อเทียบกับ Stiffness ของดิน ดังนั้นจะเคลื่อนตามแรงดันดินเหนียวอ่อนไปอย่างง่ายดาย โดยเฉพาะกรณีของ Sheet Pile สั้นหยั่งไม่ถึงดินดาน

ร่องดินที่ขุดไว้ลึกเพียง 1-2เมตร ไม่สามารถช่วยแก้ปัญหาการเคลื่อนตัวของดินเหนียวอ่อนได้ เพราะการเคลื่อนตัวของดินจะเกิดทั้งหมดตลอดระดับความลึกซึ่งอาจเกินความหนาของชั้นดินเหนียวเสียอีก อีกประการหนึ่งการที่ไปทำให้มีร่องดินเกิดขึ้น อาจชักชวนให้ดินเคลื่อนตัวมามากในทิศนั้น

เพราะฉะนั้นถ้าต้องการจะใช้เข็มตอกจำนวนที่สูงมากขึ้น ผู้เกี่ยวข้องจะต้องยอมรับว่าไม่มีวิธีใดที่จะแก้ไขปัญหาของดินเคลื่อนตัวได้ เพียงแต่ช่วยบรรเทาได้บ้างเท่านั้น ถ้าจำเป็นจะต้องทำการก่อสร้างในบริเวณที่ถ้าเกิดมีความเสียหายขึ้นกับอาคารข้างเคียงแล้ว จะก่อให้เกิดปัญหาความล่าช้าของงานหรือจะต้องเสียค่าชดใช้อย่างสูงจนไม่คุ้มแล้ว ทางเลือกก็มีอยู่วิธีเดียวเท่านั้น คือ การใช้เข็มเจาะแทน

ปัญหาในงานขุดดิน

ก่อนจะกล่าวถึงเรื่องความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงจากการขุดดิน จะกล่าวถึงระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำแพงต่างๆ และการรับแรงเสียก่อน ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการนำมาใช้งานอย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพและบรรเทาความเสียหาย

ก) ระบบกำแพง

ถ้าจะกล่าวโดยกว้างๆแล้วระบบกำแพงกันดินในงานขุดดินขนาดลึกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบคือ

1) ระบบกำแพงแบบ Flexible Wall ได้แก่กำแพงชนิด Steel Sheet Pile Soldier Pile-Lagging เป็นต้น

2) ระบบกำแพงแบบ Rigid Wall ได้แก่กำแพงชนิด Diaphragm Wall และ Contineous Bored Pile เป็นต้น

ตัวอย่างกำแพงชนิดที่กล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 9 ข้อแตกต่างกันก็คือ ระบบ Rigid Wall นั้นเป็นกำแพงประเภทที่มีขนาด Section ใหญ่และ Stiff กว่า กล่าวคือมีค่า Section Stiffness (EI-Modulus of Elasticity x Moment of Inertia) สูง ดังนั้นกำแพง Rigid Wall จึงมีความสามารถในการรับ Bending Moment ซึ่งเกิดจากแรงดันดินได้สูงกว่า แต่คุณสมบัติที่สำคัญในการใช้งานยิ่งไปกว่านั้นก็คือ ความสามารถในการลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน

กำแพงระบบ Flexible Wall เป็นระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้ก่อนเมื่อกว่า 60 ปีมาแล้ว ในงานขุดดินขนาดลึกในดินอ่อนในยุโรปและสหรัฐอเมริกา โดยในยุคแรกใช้กำแพงชนิด Soldier Pile ซึ่งใช้เข็มเหล็ก Section รูปตัวไอ ตอกเป็นระยะตามแนวกำแพง และใช้ไม้แผ่น (Wood Lagging) สอดใส่ระหว่าง Soldier Pile กั้นเป็นกำแพง กำแพงชนิดนี้ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะในกรณีงานขุดดินที่ไม่อ่อนนัก เมื่อใช้งานเสร็จแล้วอาจจะถอนเข็ม Soldier Pile ขึ้นมาใหม่

กำแพง Steel Sheet Pile เป็นกำแพงแบบ Flexible Wall ที่นำมาใช้ในการขุดดินหลังกำแพงชนิด Soldier Pile ทั้งที่ก่อนหน้ามีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างกำแพงเขื่อนริมน้ำและCofferdam ทั้งนี้เพราะราคาแพงกว่า สาเหตุที่ถูกนำมาใช้ในงานขุดดินเพราะว่ากำแพงประเภทนี้มีความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนตัวของดินได้ดีกว่ากำแพง Soldier Pile และมีลักษณะเป็นกำแพงต่อเนื่องกันตลอดแนวใต้พื้นขุด ไม่เหมือนกับ Soldier Pile Wall ซึ่งจะมีเฉพาะเข็ม Soldier Pile เท่านั้นที่หยั่งลงใต้พื้นขุด ดังนั้นกำแพง Sheet Pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถป้องกันปัญหาด้านเสถียรภาพของดินใต้พื้นขุด (Basal Heave) ได้ดีกว่า ซึ่งมีผลโดยตรงในการช่วยลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน อีกอย่างหนึ่งคือ Sheet Pile เมื่อตอก Interlock กันตามมาตรฐานจะเป็นกำแพงช่วยกันน้ำด้วย กำแพงประเภท Sheet Pile Wall จึงนิยมใช้มากในงานขุดดินในดินอ่อน เช่นดินกรุงเทพฯนี้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามเนื่องจากความจริงที่ว่ากำแพงประเภทนี้ยังจัดว่าเป็นกำแพงระบบ Flexible Wall ซึ่งชื่อก็บ่งแล้วว่ามีความสามารถในการป้องกันการเคลื่อนตัวของดินไม่สูงนัก อีกประการหนึ่งการถอน Sheet Pile หลังการก่อสร้างเสร็จเพื่อนำไปใช้ที่อื่น จะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้น การเลือกใช้กำแพงระบบนี้ในงานขุดดินขนาดลึกในดินอ่อน เราจะต้องยอมรับตั้งแต่แรกว่ายังไงก็จะมีการเคลื่อนตัวของดินเกิดขึ้นบ้าง ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ในกรณีที่จำเป็นต้องควบคุมปริมาณการเคลื่อนตัวของดินให้อยู่ในระดับต่ำเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงแล้วควรที่จะเลือกใช้กำแพงระบบ Rigid Wall แทน ซึ่งมีใช้กันอยู่แพร่หลายก็คือ ชนิด Diaphragm (Slurry) Wall ซึ่งใช้วิธีการหล่อกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นช่วงๆ ตลอดความลึกของกำแพงต่อกันไปตลอดแนวกำแพง กำแพงชนิดนี้พัฒนาขึ้นก่อนในยุโรปและปัจจุบันแพร่หลายไปทั่วโลก มีข้อดีที่ว่ากำแพง Diaphragm Wall สามารถใช้เป็นผนังถาวรของอาคารได้เลย แต่ถึงอย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างที่ได้จดลิขสิทธิ์ไว้ ดังนั้นราคาค่าก่อสร้างจึงสูงมาก สำหรับในสหรัฐอเมริกาซึ่งได้มีการพัฒนาระบบกำแพงแบบ Rigid Wall ขึ้นมาพร้อมกับทางยุโรป โดยมีทั้งกำแพง Diaphragm Wall และกำแพงแบบ Contineous Bored Pile (Tangential Pile Wall และ Secant Wall) ลักษณะเป็นเข็มเจาะเสริมเสาเหล็กต่อเนื่องกันเป็นกำแพง ข้อดีคือ มีกำลังสูงกว่ากำแพง Slurry Wall เพราะสามารถสร้างได้ใหญ่กว่าและมีพื้นที่สัมผัสดินต่อปริมาตรกำแพงสูงกว่าจึงรับแรงดันดินสูงกว่า และอีกประการหนึ่งทำงานง่ายกว่า

ช) ระบบค้ำยัน

กำแพงกันดินไม่ว่าจะเป็นระบบ Flexible หรือ Rigid Wallก็ตาม จะมีหน้าที่รับแรงดันด้านข้างของดินข้างพื้นที่ขุด ซึ่งจะเคลื่อนตัวเข้ามาในลักษณะของ Active State ปริมาณแรงดันดินที่เกิดขึ้นบนกำแพงจะเพิ่มขึ้นตามความลึกของการขุด และน้ำหนักกดบนพื้นดิน (Surcharge) ข้างบ่อขุด ซึ่งอาจเกิดจากน้ำหนักเครื่องจักรกลในการก่อสร้างกองขุดดิน หรือ น้ำหนักอาคาร ถ้าอาคารนั้นตั้งอยู่บนฐานรากตื้น ซึ่งจะถ่ายน้ำหนักลงบนดินข้างบ่อขุดโดยตรง แรงดันดินที่เกิดขึ้นบน

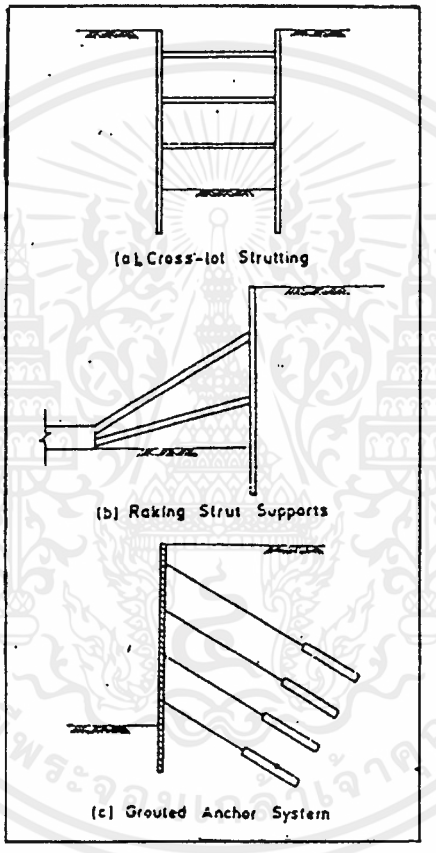
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำแพง จะถูกต้านไว้ใน 2 ลักษณะ คือ

i) ถูกยันไว้ด้วยระบบค้ำยัน (Bracing : Struts , Rakers) หรือ Tie Back (รูปที่ 10)

ii)ถูกต้านไว้โดยแรงต้านดิน (Passive Force) บนกำแพงดินส่วนที่ยื่นใต้พื้นขุด

รูปที่ 10 ระบบค้ำยันประเภทต่างๆ



ค้ำยัน Struts หรือ Cross-Lot Bracing จะใช้วิธีถ่ายแรงดันดินข้ามพื้นที่ขุดไปฝั่งกำแพงตรงข้ามให้แรงดันดิน 2 ฝั่งยันกันไว้เอง ค้ำยันแบบ Rakers ถ่ายแรงดันดินยันไว้กับเสาหรือพื้นคอนกรีตที่ฐานพื้นขุด ค้ำยันทั้งสองนี้เป็นแบบที่นิยมในกรุงเทพฯ สำหรับ Tie Back ไม่เหมาะกับงานขุดในกรุงเทพฯ เพราะมักจะใช้ไม่ได้ผลในดินเหนียวอ่อน เพราะ Anchorage มักจะไม่แข็งแรงพอ ในกรณีของกำแพงแบบไม่มีค้ำยันเลย (Cantiliver Wall) แรงดันดินทั้งหมดจะต้องถูกต้านไว้โดยแรงต้านดินใต้พื้นขุด ดังนั้นระยะฝังของกำแพงใต้พื้นขุด (Embedment Length) จึงสำคัญมาก ในกรณีที่ใช้ค้ำยันจุดเดียว ระยะฝังของกำแพงใต้พื้นขุดก็ยังมีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่มาก เพราะแรงดันดินส่วนใหญ่ยังคงจำเป็นต้องถูกต้านไว้โดยแรงต้านดินใต้พื้นขุด จะมีเพียงแรงดันดินส่วนบนเท่านั้นที่จะถูกยันไว้โดยค้ำยัน การใช้ค้ำยันจุดเดียวนี้ กำแพงจะมีลักษณะการรับแรง เป็นแบบ Anchored Bulkhead Wall

ในกรณีที่ใช้ค้ำยันตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป แรงดันดินส่วนใหญ่เกือบตลอดความสูงของกำแพงจะถูกยันไว้โดยค้ำยัน หรือ Tie Back ดังนั้นจะมีแรงดันดินเพียงส่วนน้อยใต้ค้ำยันระดับต่ำสุดเท่านั้นที่ยังอาจจะต้องอาศัยแรงต้านดินใต้พื้นขุดต้านเอาไว้ ดังนั้น ระยะฝังใต้พื้นขุดของกำแพงค้ำยันแบบนี้มักไม่สำคัญมากนัก ยกเว้นกรณีที่การขุดลึกมากจนทำให้เกิดปัญหา Basal Heave ขึ้น

ค้ำยันนอกจากจะเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีหน้าที่รับแรงดันดินแล้ว ยังมีหน้าที่สำคัญในการลดปริมาณ Bending Moment ในกำแพง กล่าวคือระยะห่างระหว่างค้ำยันทั้งในแนวตั้งและนอนเป็นตัวกำหนด Span ของกำแพงในการโก่ง ปริมาณ Bending Moment ในแนวดิ่งของกำแพงจะแปรผันโดยตรงกับยกกำลังสองของ Vertical Spacing (h) ระหว่างค้ำยันล่างสุดถึงพื้นขุดหรือชั้นดินที่ให้แรงต้านดิน นอกจากนั้นระยะ Vertical Spacing ยังเป็น Parameter ตัวสำคัญในการควบคุมปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน

Prof. Peck (1969) ได้แนะนำใน State of The Art Paper ว่าVertical Spacing ของกำแพงระบบค้ำยันในดินเหนียวอ่อน ไม่ควรจะเกินประมาณ $2c/\gamma$ (c = Undrained Shear Strength และ γ = หน่วยน้ำหนักของดิน) เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาดินเคลื่อนตัวและเสถียรภาพของกำแพง

ค) ลักษณะการวิบัติของกำแพงกันดิน

การออกแบบและก่อสร้างกำแพงกันดินระบบค้ำยันสำหรับงานขุดในดินอ่อน ต้องตรวจสอบมิให้กำแพงกันดินเกิดการวิบัติ (Failure) ขึ้นในการใช้งานของกำแพงกันดินนั้นลักษณะการวิบัติสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

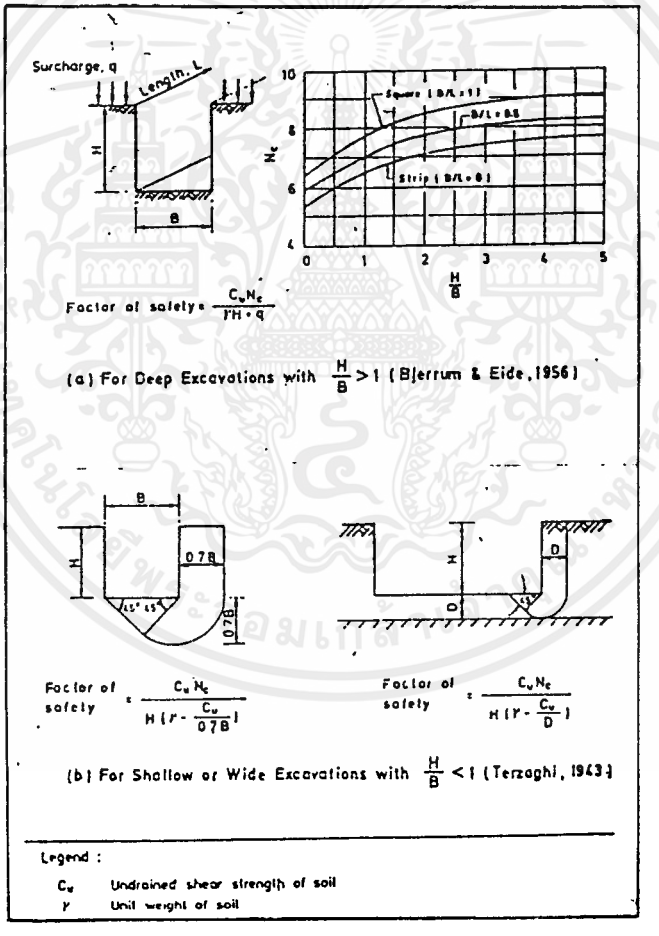
i) การวิบัติของชิ้นส่วนโครงสร้างกำแพงหรือค้ำยัน (Structure Failure)ซึ่งอาจเกิดได้ในกรณีที่ขนาดกำแพงที่ใช้มีกำลังไม่พอต้านทาน Bending Momentที่เกิดขึ้น ระบบค้ำยันไม่แข็งแรง หรือติดตั้งไม่ดีพอ การวิบัติลักษณะนี้มักไม่ค่อยเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะวิธีการคำนวณหาปริมาณ Bending Moment ในกำแพงและแรงในค้ำยันที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักจะConservativeมากอยู่แล้ว

ii)การวิบัติของดิน (Soil Failure) ซึ่งอาจจะเกิดในลักษณะของ Slope Failure หรือลักษณะของ Basal Heave ดินปูดขึ้นที่พื้น เพราะแรงต้านดินใต้พื้นขุดไม่เพียงพอกับแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากน้ำหนักดินและ Surcharge ข้างบ่อขุด โอกาสที่จะเกิดการวิบัติของดินก็มีน้อยเหมือนกับ Structure Failure เพราะปัจจุบันทางด้าน Geotechnical Engineering เรามีวิธีตรวจสอบการออกแบบงานขุด ให้สามารถป้องกันการวิบัติในลักษณะดังกล่าวได้ ถ้าผู้ออกแบบมีความรู้ดีพอ ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาด้าน Basal Heave สามารถป้องกันมิให้เกิดขึ้นได้ถ้าตรวจสอบให้การขุดนั้นมีสัดส่วนความปลอดภัย (Factor of safety) ไม่ต่ำกว่า 1.5 เป็นต้น วิธีการคำนวณ F.S. แสดงไว้ในรูปที่ 11

รูปที่ 11 Methods of Basal Heave Analysis in Cohesive Soils (Clough et al, 1979)



ในกรณีงานขุดมี F.S.ต่ำกว่า 1.5อาจจะแก้ไขโดยวิธีหยั่งกำแพงให้ลึกลงไปเพื่อใช้กำแพงเองเป็นตัวช่วยต้านแรงดันดินใต้พื้นขุดนั้น ในกรณีดังกล่าวขนาดของกำแพงจะต้องแข็งแรงพอที่จะรับ Bending Moment ที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากการรับแรงในลักษณะ Cantiliver ใต้ค้ำยัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับล่างสุดของกำแพงนั้น

iii)การวิบัติเนื่องจากปัญหาการเคลื่อนตัวของดิน เป็นลักษณะการวิบัติที่พบบ่อยครั้งมากที่สุด โดยเฉพาะในงานขุดดินชิดกับอาคารข้างเคียง ซึ่งในกรณีดังกล่าวปริมาณการเคลื่อนตัวของดินเป็นตัวสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการใช้งานของกำแพงกันดินนั้น การวิบัติในลักษณะดังกล่าวอาจเกิดได้ทั้งที่มิได้มีปัญหาด้าน Structure Failureหรือ Soil Failureเกิดขึ้นแม้แต่ประการใด แต่ปริมาณดินเคลื่อนตัวก็จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ถ้าการวิบัติอย่างใดอย่างหนึ่งดังกล่าวใกล้จะเกิด เช่น ในกรณีที่การขุดที่มี F.S. ต่อ Basal Heave ต่ำมาก

ปริมาณการเคลื่อนตัวของดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างหลายประการ ดังจะกล่าวให้ทราบคร่าวๆ ในหัวข้อต่อไป ดังนั้นการประมาณการเคลื่อนตัวของดินจึงมิใช่สิ่งที่ง่ายเหมือนกับการตรวจสอบการวิบัติในสองลักษณะแรก

ง) การเคลื่อนตัวของดิน

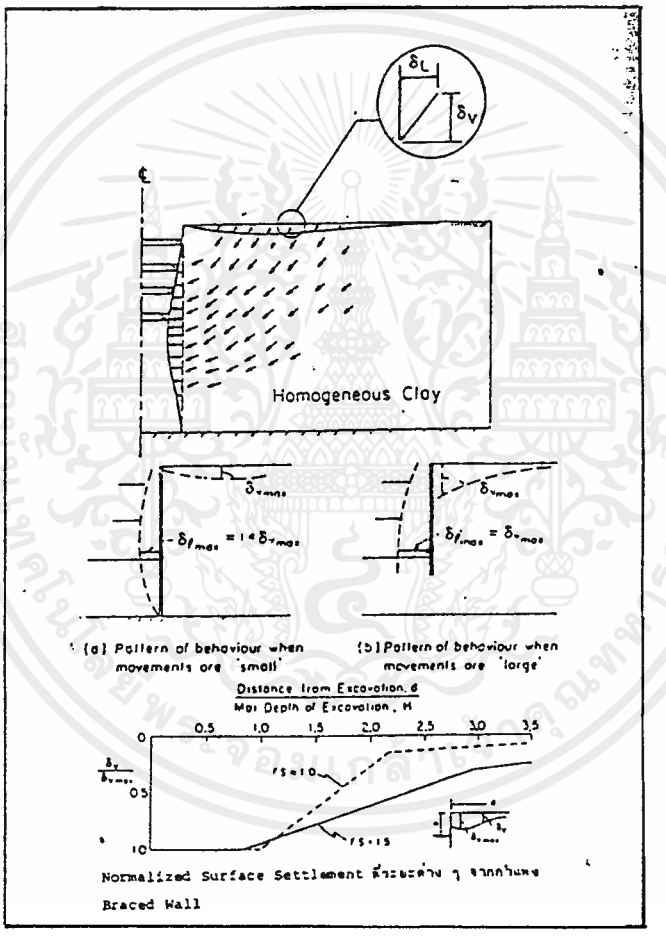
การเคลื่อนตัวของดินข้างบ่อขุดระบบค้ำยันจะมีลักษณะทั่วๆไปดังแสดงในรูปที่12 การเคลื่อนตัวสามารถเกิดขึ้นในพื้นที่ห่างจากบริเวณขุดเป็นระยะ 2-3 เท่าความลึกของบ่อขุด การเคลื่อนตัวอาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ การเคลื่อนตัวในแนวราบของดินเข้าหาในบริเวณขุด (Lateral Displacement) โดยที่จะเกิดขึ้นมากบริเวณใกล้กับกำแพง แต่มิจำเป็นที่จะต้องเกิดขึ้นที่ระดับผิวดิน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเกิดสูงสุดที่ระดับต่ำลงไปใกล้พื้นขุด โดยเฉพาะในกรณีที่บ่อขุดมี F.S.ต่อ Basal Heave ต่ำ การเคลื่อนตัวอีกลักษณะคือ การทรุดตัวของดิน(Settlement) ซึ่งจะเกิดในลักษณะของ Differential Settlement โดยที่ปริมาณการทรุดตัวจะเกิดขึ้นสูงสุดบริเวณใกล้หรือริมผนังขุด ทั้งนี้อยู่กับปริมาณการทรุดตัวที่เกิดขึ้น และ F.S. ของ Basal Heave ในกรณีของงานขุดขนาดลึก โดยใช้กำแพง Flexible Wall ถ้ามีชั้นดินเหนียวอ่อนอยู่ลึกลงไปมากใต้พื้นขุด การเคลื่อนตัวของดินก็สามารถจะเกิดในปริมาณสูงที่ระดับความลึกต่ำจากระดับพื้นขุดลงไปเป็นระยะไกล การเคลื่อนตัวใต้ระดับขุดจะควบคุมให้อยู่ในระดับต่ำได้ก็ต่อเมื่อมีชั้นดินแข็งอยู่ไม่ลึกมากจากพื้นขุดเท่านั้น

การเคลื่อนตัวใน 2 ลักษณะนี้เป็นอันตรายอย่างมากต่ออาคารในบริเวณข้างเคียง โดยเฉพาะในกรณีที่อาคารตั้งอยู่บนฐานรากตื้น ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวไปกับดินได้ง่าย โดยที่ Lateral

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Displacement จะทำให้เกิด Tensile Strain ดึงชิ้นส่วนโครงสร้างให้แตกแยกในแนวดิ่ง และ Differential Settlement จะทำให้เกิดการโก่งตัวซึ่งนำไปสู่การเกิด Augular Distortion และการแตกแนวทะแยงของกำแพง เสาและคาน

รูปที่ 12 ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินในบริเวณใกล้บ่อขุดแบบมีค้ำยัน



Prof. Clough (1972) กล่าวถึง Factor ซึ่งมีผลต่อปริมาณการเคลื่อนตัวของดินซึ่งมีทั้งหมด 24 ประการดังแสดงในTable 1 ถ้าจะสรุปแล้วสามารถกล่าวได้ว่าสาเหตุการเคลื่อนตัวของดินแบ่งออกได้เป็น 3 สาเหตุใหญ่คือ

i) สาเหตุที่เกี่ยวข้องกับความลึกและความกว้างยาวของพื้นที่ขุด Stiffness และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโครงสร้างกำแพงและค้ำยัน

ii) สาเหตุที่เกี่ยวกับเสถียรภาพของดิน ซึ่งได้แก่ Basal Heave (รวมผลของ Surcharge)

iii) สาเหตุที่เกี่ยวกับวิธีการ ขั้นตอนและคุณภาพในการก่อสร้าง และสภาวะอากาศ

ในกรณีนี้ไม่รวมสาเหตุของเวลาซึ่งในดินเหนียวอ่อน ถ้าบ่อขุดทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานมาก การเคลื่อนตัวของดิน โดยเฉพาะการทรุดตัวสามารถเกิดเพิ่มขึ้นอย่างมากได้ เนื่องจากการเกิด Consolidation และ Creep แต่จะไม่มีผลมากนักถ้างานขุดนั้นเป็นแบบชั่วคราวอย่างที่ใช้กันอยู่

ถ้าได้กำหนดใช้ระบบกำแพงกันดินค้ำยันชั่วคราวระบบหนึ่งแล้ว วิศวกรจะต้องเข้าใจว่าการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากสาเหตุใหญ่ 2 ประการแรกนั้น ไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้ เพราะการใช้งานของระบบกำแพงนั้น จะต้องมี Displacement และ Deflection เกิดขึ้นเมื่อรับแรงยก ตัวอย่างคือ แรงต้านของดินจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อดินมีการ Deform กำแพงเมื่อรับ Moment ก็ต้องมีการโก่ง แต่ปริมาณการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับชนิด Stiffness ของโครงสร้างกำแพงและค้ำยันที่เลือกใช้ ยกตัวอย่าง เช่น กำแพงระบบ Rigid Wall ให้ปริมาณดินเคลื่อนตัวต่ำกว่ากำแพงระบบ Flexible Wall

สาเหตุเกี่ยวกับการก่อสร้าง เนื่องมาจากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ความไม่ระมัดระวัง หรือความไม่เอาใจใส่ของผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง มักจะเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหาย สาเหตุประการนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหลีกเลี่ยงในกรณีที่ต้องการจะใช้ระบบกำแพงแบบ Flexible Wall ในงานขุดดินที่ต้องควบคุมการเคลื่อนตัวของดินให้อยู่ในระดับต่ำ

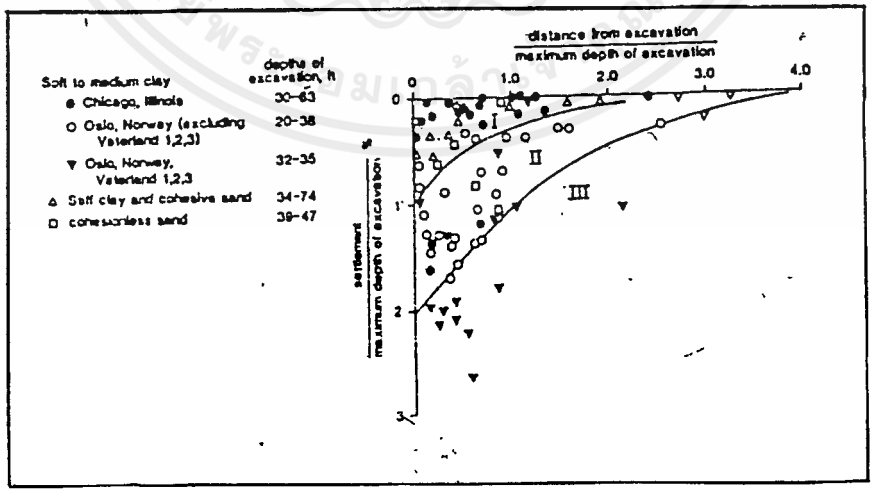
ได้มีผู้แนะนำวิธีการประมาณปริมาณการเคลื่อนตัวของดินด้วยระบบค้ำยันในดินเหนียวอ่อนหลายคน แต่ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะผลงานที่เป็นที่ยอมรับแพร่หลายกันทั่วไป ซึ่งได้แก่ผลงานของค่าย มหาวิทยาลัย Illinois และ Stanford ในสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Prof. Peck (1969) ได้ทำการศึกษาลักษณะและปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน ในงานขุดระดับลึก(ในสหรัฐอเมริกาและยุโรป) โดยใช้ระบบกำแพงแบบ Flexible Wall ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Soldier Pile Wall และสรุปว่าปริมาณและพื้นที่การเคลื่อนตัวของดินมีลักษณะแปรผันโดยตรงกับความลึกของบ่อขุด และปริมาณการเคลื่อนตัวของสูงสุดที่เกิดขึ้น แปรเปลี่ยนตามคุณภาพของการทำงาน (Workmanship) และเสถียรภาพของพื้นขุด (Basal Stability) ซึ่งสามารถใช้ Stability Number ($\gamma H/c$) เป็นตัวชี้ได้ จากการศึกษานี้ Prof.Peck ได้เสนอวิธีการประมาณปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งวิธีการนี้เป็นที่ยอมรับกันทั่วไป แม้ว่าจะให้ค่าคร่าวๆเท่านั้นก็ตาม

Prof. Clough แห่งมหาวิทยาลัย Stanford ได้ทำการศึกษาในรายละเอียดโดยใช้ข้อมูลเดียวกับ Prof. Peck รวมทั้งมีข้อมูลเพิ่มเติมจากการก่อสร้างในดินอ่อนของ San Francisco รวมทั้งศึกษาการเคลื่อนตัวของระบบ Rigid Wall ด้วย และเปรียบเทียบกับการประมาณโดยใช้ Finite Element Method จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ดังนั้น Prof. Clough ได้เสนอวิธีการประมาณปริมาณการเคลื่อนตัวของดินสำหรับงานการขุดดินที่ใช้วิธีการ ขั้นตอน และคุณภาพในการก่อสร้างที่ได้มาตรฐาน

รูปที่ 13



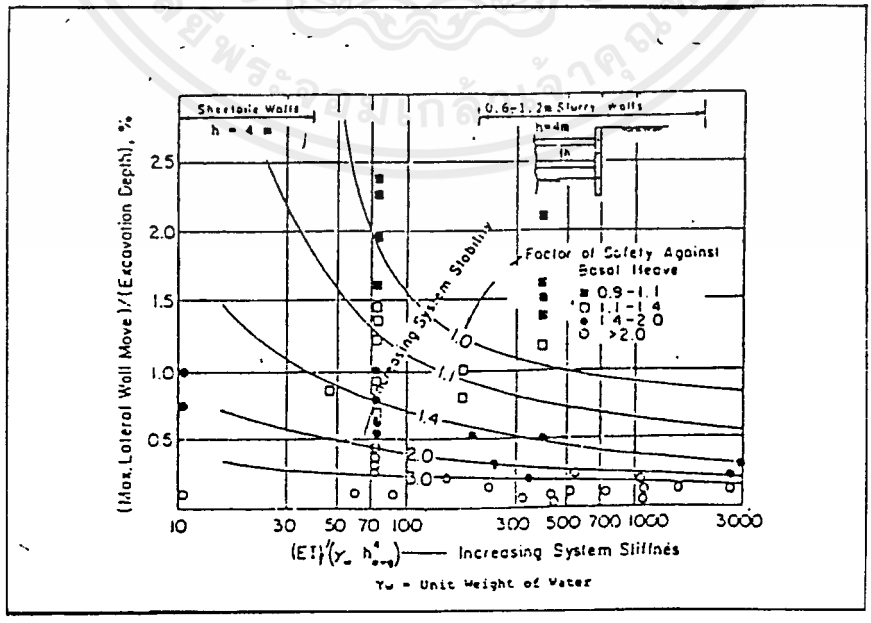
ผลการศึกษาของ Clough สามารถสรุปได้กว้างๆ ดังแสดงในรูปที่ 14 โดยที่การเคลื่อนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของดินแสดงด้วยค่าของ Maximum Lateral Wall Movement ซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับความลึกของบ่อขุด จากรูปจะได้ว่า Factor สำคัญ 2 ประการ ซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินก็คือ F.S. ของ Basal Heave และ Flexural System Stiffness ของกำแพง ($EI/\gamma_w h^4_{avg}$) ช่วงของ Stiffness ของระบบ Diaphragm (Slurry) Wall และ Sheet Pile แสดงเปรียบเทียบไว้ในรูป ขนาดของกำแพง Slurry Wall ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะให้ปริมาณการเคลื่อนตัวของดินต่ำกว่า Sheet Pile Wall มาก สำหรับอิทธิพลของ F.S. ของ Basal Heave จะเห็นได้ชัดว่า ถ้างานขุดดินมี F.S. ต่ำกว่าประมาณ 1.5 แล้ว การเคลื่อนตัวของดินจะเกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก

F.S. ของ Basal Heave จะเพิ่มขึ้นเมื่อบ่อขุดลึกลง และกว้างขึ้น หรือมีดินอ่อนอยู่ลึกมากขึ้นใต้พื้นขุด หรือในกรณีที่ Surcharge สูงขึ้น หรือกำลังดินลดตัวลง งานขุดหลายงานในกรุงเทพฯมีปัญหาเกี่ยวกับดินเคลื่อนตัว เพราะ Surcharge จริงมีค่าสูงกว่าที่ประมาณไว้จนทำให้ F.S. ลดต่ำลงมาก แม้ว่ากำแพงจะไม่ถึงกับวิบัติก็ตาม

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของดิน กับ F.S.ต่อ Basal Heave และ Flexural Stieffness บนกำแพง (Clough,1982)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกตประการหนึ่ง ซึ่งสรุปไว้ทั้ง Prof.Peck และ Prof.Clough คือในกรณีของการขุดซึ่งได้พื้นขุดมีชั้นดินเหนียวอ่อนอยู่ต่อลงไป และบ่อขุดไม่มีปัญหาด้านBasal Heave การหยั่ง Sheet Pile ลงไปลึกจนกระทั่งฝังในชั้นดินแข็งด้านล่างที่อยู่ถัดลงไป จะมีผลช่วยลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินได้ก็เพียงเล็กน้อย ถ้าชั้นดินแข็งอยู่ลึกเกินกว่าระยะประมาณเท่ากับความกว้างของบ่อขุด อีกประการหนึ่งคือ การPreload Bracing จะช่วยลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินลง

จ) งานขุดดินในกรุงเทพฯ

งานขุดดินในบริเวณกรุงเทพฯ ซึ่งต้องทำในชั้นดินเหนียวอ่อนหนาเกินกว่า 10 เมตรนั้นมีความเสี่ยงต่อปัญหาการเคลื่อนตัวของดินสูง การขุดดินโดยใช้กำแพงSheet Pile ได้สร้างปัญหาดินเคลื่อนตัวเกิดขึ้นหลายต่อหลายโครงการ เนื่องจากสาเหตุต่างๆกัน ดังต่อไปนี้

1) การก่อสร้างไม่มีคุณภาพ โดยใช้วิธีการขุดและติดตั้งค้ำยันไม่ถูกขั้นตอนหรือไม่ถูกหลักการตามที่ควรจะเป็น เช่น ขุดลึกมากเกินไปก่อนติดตั้งค้ำยัน ไม่มีการ Preload ค้ำยัน และการติดตั้ง Wale ไม่แนบสนิทกับกำแพง เป็นต้น

2) การคาดคะเน Surchargeผิด โดยเฉพาะกรณีของน้ำหนักของอาคารที่ใช้เข็มสั้นใกล้ๆบ่อจะมีอิทธิพลเหมือน Surcharge เพราะน้ำหนักส่วนใหญ่จากเข็มจะถ่ายลงให้ดินข้างบ่อขุดรับโดยตรง มีหลายกรณีที่อาคารเก่าขนาด 3-4 ชั้น แต่กลับตั้งอยู่บนเข็มสั้น 5-6 เมตร เกิดความเสียหายจากการขุดดินอย่างมาก

3) การถอน Sheet Pile หลังใช้งาน การถอน Sheet Pile ทำให้เกิดช่องว่างในดินช่องว่างนี้อาจจะหนาเท่ากับความกว้างของร่องตัว U ข้างผนังSheet Pile เพราะดินเหนียวมักจะเกาะติดผนังส่วนนั้นขึ้นมาด้วย สาเหตุนี้เป็นสาเหตุใหญ่ประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง

4) สาเหตุเนื่องจากฝนหรือน้ำซึม โดยปกติดินกรุงเทพฯซึ่งเป็นชั้นของดินเหนียวอ่อนจะมีชั้นของ Crust ดินเหนียวหนา 1.5-2.0 ม. ที่ผิวดิน ซึ่งเกิดจากการแห้งตัวและเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างดิน ดิน Crust นี้เมื่อแห้งจะมีกำลังสูงกว่าดินเหนียวอ่อนข้างล่าง 2-3 เท่า ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีส่วนช่วยลดแรงดันดินบนกำแพงอย่างมาก แต่เพราะเหตุว่าดินชั้นนี้มีรอยแตกอยู่เต็มไปหมด และมี Silt ผสมอยู่มาก ดังนั้นเมื่อถูกน้ำซึมผ่านนานๆ และมีการเคลื่อนตัวของดินเกิดขึ้น ชั้นดินนี้จะสูญเสียกำลังอย่างมาก และสร้างปัญหาต่อเสถียรภาพของกำแพง

5) การใช้ Sheet Pileลึกไม่พอ โดยเฉพาะงานขุดที่ไม่มีค้ำยันหรือใช้ค้ำยันระดับเดียว จากสภาพทั่วไปของดินอ่อนกรุงเทพฯ งานขุดดินดังกล่าวลึกเกินกว่าประมาณ 4-6 เมตร (ขึ้นอยู่กับกำลังดิน ณ ที่นั้นๆ) จำเป็นต้องใช้ Sheet Pile หยั่งลงไปถึงชั้น Stiff Clay ทั้งนี้เพราะการขุดที่ระดับความลึกดังกล่าว แรงต้านของดิน (Net Resistance Force) จะยังไม่เกิดขึ้นบนกำแพง จนกว่า Sheet Pile จะหยั่งถึง Medium และ StiffClayมีหลายงานที่ใช้ Sheet Pile สั้นเพียงแค่หยั่งในชั้นดินเหนียวอ่อน จึงมีความเสี่ยงต่อความวิบัติของดินบริเวณฐานขุดสูง และเกิดดินเคลื่อนตัวอย่างมาก

6) สาเหตุเนื่องจากขีดจำกัดของระบบ Sheet Pile เอง ดังที่กล่าวมาแล้วว่าเป็นระบบกำแพงอ่อน (Flexible Wall) ดังนั้นจึงมีขีดจำกัดในการควบคุมการเคลื่อนตัวของดิน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้ในงานขุดดินลึก 6 เมตร แม้กระทั่งควบคุมการก่อสร้างให้ดีแล้วก็ตาม การทรุดตัวของดินอาจเกิดขึ้นได้ถึง 0.06 เมตร ถ้าขุดลึก 10 เมตร ก็อาจจะเกิดขึ้นได้ถึง 0.10 เมตร โดยที่ยากต่อการป้องกัน

ดังนั้นในการเลือกใช้ Sheet Pile เราจะต้องยอมรับว่ามักจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินอาจจะห่างออกไปถึง 2-3 เท่าของความลึกบ่อขุด ถ้าในกรณีที่การเคลื่อนตัวของดินข้างพื้นที่โครงการมิสามารถจะยอมให้เกิดขึ้นได้ เราก็จำเป็นต้องใช้กำแพงที่มี System Stiffness มากซึ่งอาจต้องหันไปหากำแพง Diaphragm Wall แต่ก็ต้องไม่ลืมอีกว่า แม้ว่า Diaphragm Wall จะเป็นกำแพงระบบ Rigid Wall แต่ความสามารถในการป้องกันดินเคลื่อนตัวก็ยิ่งต้องอาศัยระบบ Bracing ที่มีประสิทธิภาพอีกด้วย เหมือนดังเช่นกำแพงระบบ Flexible Wall

ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งที่ได้จากประสบการณ์งานขุดดินในกรุงเทพฯก็คือ อาคารที่มักจะได้รับผลกระทบอย่างสูงจากงานขุดดินบริเวณข้างเคียง ได้แก่อาคารที่ตั้งอยู่บนเข็มสั้น(ความยาวไม่เกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 เมตร) ซึ่งมักจะเป็นอาคารแค่ 2-3 ชั้น ส่วนอาคารที่ใช้เข็มยาวหยั่งถึงชั้น Stiff Clayหรือทรายมักจะไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นให้เห็น แต่ควรที่จะต้องมีการศึกษาอย่างเป็นเรื่องเป็นราวให้รู้แน่ชัดเสียก่อนจึงจะสรุปได้

บทสรุป

ความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงจากงานก่อสร้างฐานรากในบริเวณข้างเคียงในกรุงเทพฯ ส่วนใหญ่จะเกิดจากปัญหาดินเคลื่อนตัว ไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุของการตอกเสาเข็ม หรือการขุดดินโดยใช้กำแพง Braced Sheet Pile ก็ตาม วิธีการก่อสร้างทั้งสองจะก่อให้เกิดดินเคลื่อนตัวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในกรณีของการตอกเข็มวิธีการป้องกันที่ใช้กันอยู่มักมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าต้องการขจัดปัญหาดินเคลื่อนตัวจริงจัง ก็คงต้องหันไปใช้เข็มเจาะหรือเจาะนำเพียงอย่างเดียว ในกรณีของงานขุดดินแล้วละก็จะต้องหันไปใช้ระบบกำแพง Rigid Wall ที่มีระบบค้ำยันและขั้นตอนการก่อสร้างที่ถูกต้อง ซึ่งวิธีการป้องกันแก้ไขดังกล่าว จะต้องสิ้นค่าใช้จ่ายและเสียเวลาเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ถ้าจะพูดไปแล้วก็คือทางด้าน Technology แล้วเรามีวิธีที่สามารถป้องกันปัญหาได้ แต่การที่จะเลือกใช้หรือไม่ อยู่ที่ความจำเป็น ความเหมาะสม และการยอมรับในระดับความเสียหายนั้น ในกรณีที่ทางโครงการสามารถพูดคุยตกลงกับเจ้าของอาคารข้างเคียง ให้เข้าใจและยินยอมรับสภาพความเสียหาย และสิ่งรบกวนที่จะเกิดขึ้น โดยอาจยอมให้ทำการซ่อมแซมให้หลังเสร็จงานและรับค่าชดใช้ตอบแทนในความไม่สะดวกที่จะเกิดขึ้น โครงการนั้นก็อาจไม่จำเป็นต้องเลือกใช้วิธีที่แพงและยากในการทำงาน แต่ในกรณีที่มิสามารถยอมให้มีความเสียหายเกิดขึ้นกับอาคารข้างเคียง ไม่ว่าจะเป็นเพราะค่าชดใช้ไม่คุ้ม หรือการประณีประนอมไม่เป็นผลอันอาจนำไปสู่การพิพาท และความล่าช้าในการทำงาน การเลือกใช้ระบบการก่อสร้างที่แพงกว่ามากก็อาจเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการที่จะเลือกใช้ระบบการก่อสร้างระบบใดระบบหนึ่ง จะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าว ซึ่งมนุษยสัมพันธ์จะเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างที่ก่อให้เกิดปัญหาแก่ผู้อยู่อาศัยข้างเคียง ตอกเสาเข็ม ตึกแถวทั้งพัง–ร้าว

ที่บริเวณริมถนนรัชดาภิเษก มุมสี่แยกพระราม 9 ซึ่งเป็นการก่อสร้างโรงแรมขนาด 25 ชั้น ห้างสรรพสินค้าสูง 10 ชั้น และอาเขตอีก 30 ชั้น มูลค่าก่อสร้างประมาณ 2,000 ล้านบาท

ความเดือดร้อนดังกล่าวเป็นผลมาจากอาคารศูนย์การค้าดังกล่าวต้องตอกเสาเข็มลงไปลึกมากทำให้ดินมีการเคลื่อนไหล ส่งผลให้ตึกแถวและทาวน์เฮ้าส์ด้านหลังติดกับโครงการก่อสร้างดังกล่าวเป็นแนวยาวประมาณ 600 เมตร ได้รับความเสียหายเพราะเข็มที่ตอกไว้ "รวน" ไปหมด ส่งผลให้ทรุดร้าวทั้งตัวตึก ผนัง ท่อน้ำทิ้งในอาคาร ตลอดจนท่อระบายน้ำบนถนน

การตอกเสาเข็มที่ทำต่อเนื่องกันมาหลายเดือนและค่อย ๆ สร้างความเดือดร้อนรำคาญแก่ชาวบ้านมาตลอดได้ผล ปรากฏว่าตึกแถว 5 ห้องทรุดร้าวอย่างหนักโดยบางจุดพื้นทรุดลงไปกว่า 1 ฟุต และเมื่อชาวบ้านร้องเรียนไปทางเขตห้วยขวาง เขตได้สั่งให้ผู้อยู่อาศัยในบ้านเลขที่ 304/5 ถึง 304/9 รวม 5 คูหาย้ายออกจากตึกดังกล่าวโดยด่วนเพราะตึกเหล่านี้พร้อมจะพังลงมาได้ทุกเมื่อ และหลังจากนั้นได้สั่งให้บริษัทสยามนำชค เจ้าของโครงการก่อสร้างรัชดาสแควร์นำเสาเหล็กมาค้ำยันอาคารดังกล่าวไว้เพราะเกรงจะพังและพาตึกแถวห้องอื่น ๆ พังทลายลงมาด้วย

ส่วนการชดใช้ค่าเสียหายนั้น บริษัทก่อสร้างพยายามจะจ่ายให้ต่ำกว่าความเป็นจริง เช่น ตึกทรุดร้าวทั้งหลัง ถึงกับต้องสร้างใหม่ แต่จะจ่ายแค่ 200,000 บาท และว่าได้เคยร้องเรียนให้ทางเขตห้วยขวางมาจัดการกับเจ้าของโครงการก่อสร้างศูนย์การค้าดังกล่าว แต่เจ้าหน้าที่บางคนของเขตกลับมาจะดำเนินคดีกับเจ้าของตึกในข้อหาต่อเติมอาคารบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตเสียอีก

ทางเขตได้เคยสั่งให้ผู้รับเหมาหยุดการก่อสร้างไว้ก่อน แต่บริษัทอ้างว่า บริษัทได้ได้รับอนุญาตถูกต้องตามกฎหมายแต่ไม่มีมาแสดงให้ดูได้เพราะหมดอายุและกำลังต่ออยู่ ทางเขตจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องสอบถามไปยังกองควบคุมอาคารสำนักการโยธาว่าได้ต่อใบอนุญาตจริงหรือไม่

บริษัท กรีไทย จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทเจ้าของโครงการ เปิดเผยถึงการชดใช้ความเสียหายว่า สำหรับอาคารที่ได้รับความเสียหายเป็นบางส่วน ทางบริษัทจะทำการซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่มีมาตรฐาน ส่วนเรื่องมีอาคารบางหลังได้เสียหายถึงกับไม่สามารถใช้การซึ่งมีประมาณ 4 หลัง ทางบริษัทจะทำการทุบทิ้งและสร้างให้ใหม่ หรือถ้าทางผู้เสียหายมีความประสงค์ที่จะซ่อมแซมหรือสร้างเองก็จะต้องมีการตกลงราคาโดยจะเชิญบริษัทเอกชนเข้ามาเป็นคนกลางตกลงราคาให้ยุติธรรมที่สุด และในขณะนี้ทางบริษัทก็ได้จัดส่งพนักงานเข้าไปดูแลอาคารดังกล่าวเป็นประจำเพื่อความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์
การเคลื่อนตัวของอาคาร
BUILDING MOVEMENT ANALYSIS

การขุดดินบริเวณกรุงเทพฯ เพื่อทำห้องใต้ดิน ถึงแม้ว่าจะป้องกันด้วย sheet pile อย่างดีก็มักจะมีปัญหาเรื่องการเคลื่อนตัวของอาคารข้างเคียงบริเวณก่อสร้าง เพื่อเป็นการป้องกันมิให้เกิดความเสียหายอันยากต่อการแก้ไข จึงได้มีการติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ ในดิน และบนโครงสร้างหลักของอาคารพร้อมทั้งทำการวัดตรวจสอบเป็นระยะ ๆ ข้อมูลจากการวัดตรวจสอบจะนำไปคำนวณและวิเคราะห์ผลเพื่อดูพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของอาคารทันที ทำให้สามารถป้องกันความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นได้

ในงานขุดดินเพื่อก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินบริเวณกรุงเทพฯ มักเกิดปัญหาการเคลื่อนตัวของดินบริเวณใกล้เคียงอันส่งผลกระทบให้อาคารข้างเคียงเกิดการเคลื่อนตัว ถึงแม้ว่าจะใช้เสาเข็มพืด (Sheet Pile) ป้องกันไว้อย่างดีก็ตาม ฉะนั้น เพื่อที่จะให้ทราบปัญหาที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าและจะได้ป้องกันเอาไว้ได้ทันท่วงที จึงได้มีการติดตั้งเครื่องมือต่างๆ ลงในชั้นดินรอบ ๆ อาคารที่ต้องการตรวจสอบวิเคราะห์ และบนโครงสร้างหลักของอาคาร จากผลของการวัดทำให้ทราบลักษณะการเคลื่อนตัวของดินและอาคารว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และการเคลื่อนตัวนั้นมีปัญหากับโครงสร้างของอาคารอย่างไร

สภาพชั้นดิน

จากผลการเจาะสำรวจดิน สภาพดินเป็นดินถมหนาประมาณ 0.80 เมตร ถัดจากดินถมลงไปถึงระดับความลึกประมาณ 16 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนสีเทาเข้ม มีปริมาณน้ำบรรจุตามธรรมชาติ (water content) สูงพอ ๆ กับปริมาณน้ำบรรจุที่ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ซึ่งแสดงว่าดินชั้นนี้พร้อมที่จะไหลตลอดเวลา จากระดับความลึกประมาณ 16 เมตร ถึงระดับความลึกประมาณ 50.50 เมตร จากผิวดินเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง สีน้ำตาลเหลืองจากระดับความลึกประมาณ 50.50 เมตร ถึงระดับความลึกประมาณ 65.50 เมตร จากผิวดินเป็นชั้นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และดินทรายบนดินเหนียว และจากระดับความลึกประมาณ 65.50 เมตร ถึงสิ้นสุดการเจาะสำรวจคือที่ระดับความลึก 80 เมตร เป็นดินเหนียวแข็งมากสีน้ำตาลเหลือง

เครื่องมือวัด

เครื่องมือต่าง ๆ ที่ติดตั้งเพื่อทำการวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร และดินบริเวณรอบ ๆ อาคาร มีดังนี้คือ Surface Settlement Gauge (SSG), Inclinometer (I), Staff Gauge (SG), Tilt Plate (TL), 4 เครื่องมือที่ติดบนตัวอาคารมี Tilt Plate และ Staff Gauge และเครื่องมือที่ติดในดินมี Inclinometer และ Surface Settlement Gauge เครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของ SG ใช้กล้องระดับของ WILD รุ่น NAK2 เครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของ SSG ใช้กล้องระดับ WILD รุ่น NAK2 และกล้อง Theodolite ของ WILD รุ่น TC1000 เครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของดินใช้ Inclinometer และ digitilt Indicator และเครื่องมือที่ใช้วัด Tilt Plate นั้นใช้ Tiltmeter

สำหรับการวัด Single Plane Horizontal Movement นั้น ทำการหารอย mark ของตึกในส่วนบนของอาคาร แล้วทำการวัดโดยใช้กล้อง Theodolite ของ WILD รุ่น TC1000 เพื่อหาการเคลื่อนตัวของอาคารในแนวราบ

การวัดและผลการวัดจากเครื่องมือต่าง ๆ

เมื่อได้ทำการวัดค่าเริ่มแรกได้แล้ว หลังจากนั้นจึงวัดการเคลื่อนตัวต่าง ๆ ประมาณ 3-4 วันต่อครั้งจากการวัดเครื่องมือต่าง ๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

- ผลการวัด Surface Settlement Gauge นำมาเขียนเส้นชั้นการทรุดตัวของดิน
- ผลการวัด Inclinometer นำมาสรุปเป็นระยะเคลื่อนตัวของดินที่ความลึกต่างๆ
- ผลการวัด Stiff Gauge ได้นำมาสรุปเป็นการเคลื่อนตัวของอาคาร
- ผลการวัด Tilt Plate นำมาสรุปเป็นผลความเอียงของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

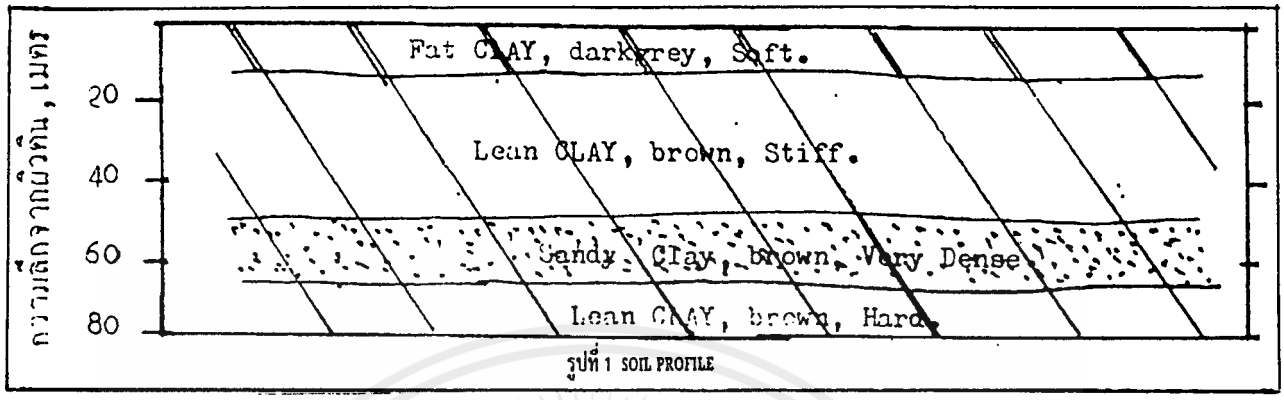
- ผลการวัด Single Plane Horizontal Movement ได้นำมาสรุปเป็นผลการเคลื่อนตัวของอาคาร

บทสรุป

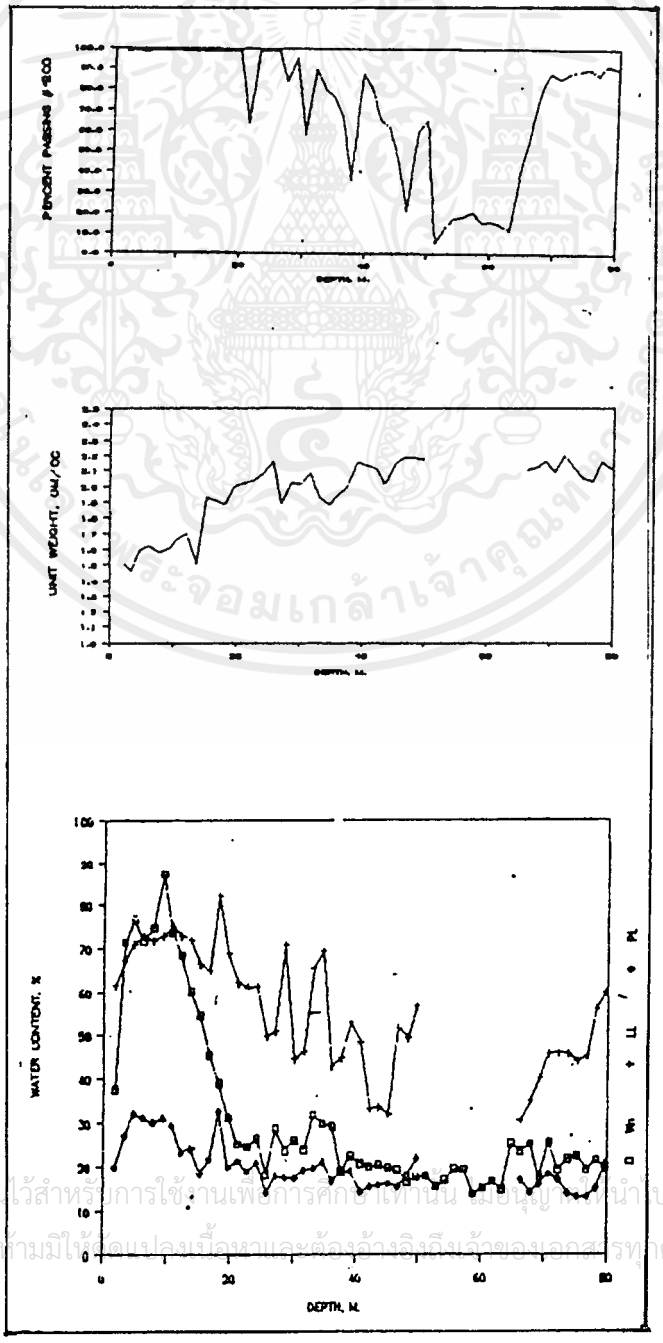
1. ในช่วงของการวัดหลังจากขุดดินเรียบร้อยแล้วทราบว่าดินบริเวณรอบ ๆ อาคารเคลื่อนตัวไปในแนวราบ 75 มม. ขณะที่อาคารยังอยู่ที่เดิม
2. อาคารที่ตอกเข็มยาว ปลายหยั่งในชั้นดินแข็ง หรือชั้นทรายมีผลต่อการเคลื่อนตัวของของดินน้อย
3. อาคารที่ตั้งอยู่บนเข็มสั้น มักเกิดปัญหาได้ง่ายและรุนแรง เมื่อดินมีการเคลื่อนตัว
4. Sheet pile ไม่สามารถป้องกันการเคลื่อนตัวของชั้นดินอ่อนได้
5. พื้นชั้นล่างของอาคารที่ใช้เสาเข็มยาว ปลายเสาเข็มหนึ่งในชั้นดินแข็งหรือชั้นทราย ถ้าออกแบบให้วางบนคานมักจะไม่เกิดความเสียหาย
6. ในการออกแบบฐานรากอาคารที่ใช้เข็มยาว ไม่ควรออกแบบให้ชั้นดินอ่อนรับน้ำหนัก
7. การเคลื่อนตัวของดินยังเกิดขึ้นเรื่อย ๆ ถึงแม้ว่าจะหยุดการขุดดินแล้วก็ตาม
8. การติดตั้งเครื่องมือวัดและการติดตามผล สามารถลดความขัดแย้งระหว่างสองฝ่ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 SOIL PROFILE

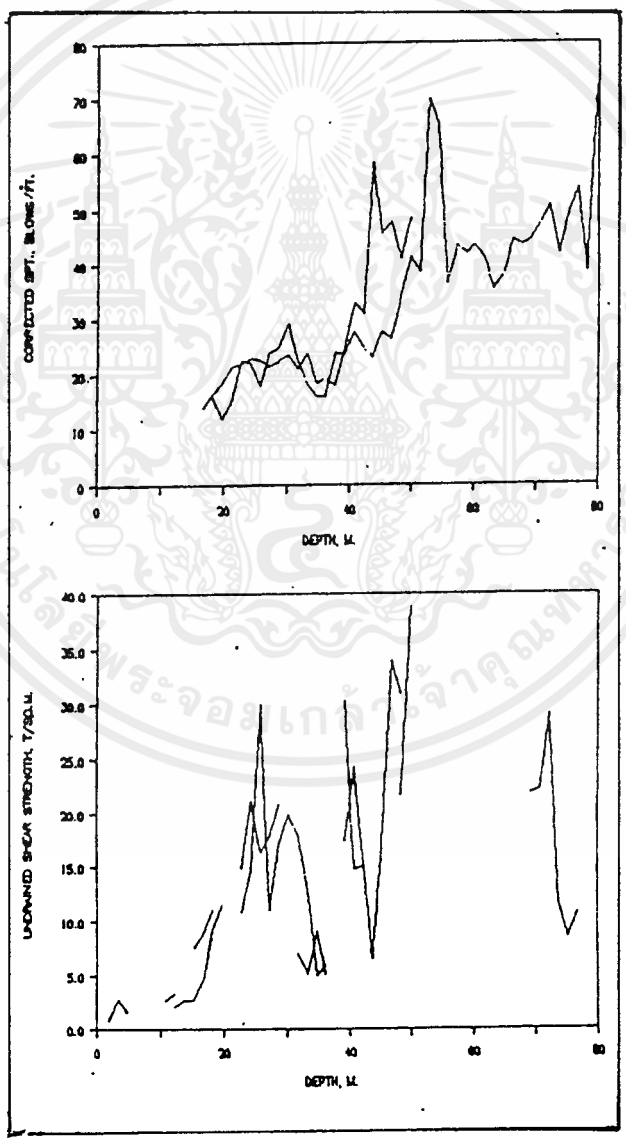


รูปที่ 2 คุณสมบัติทางพิสิกส์ของชั้นดิน



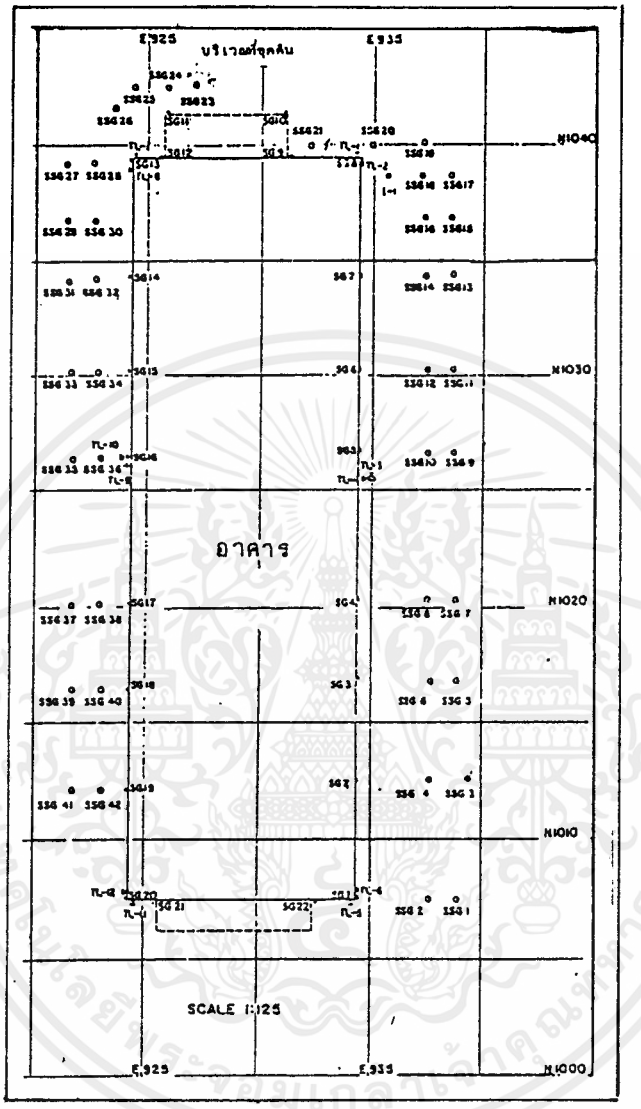
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 ความแข็งแรงของชั้นดิน

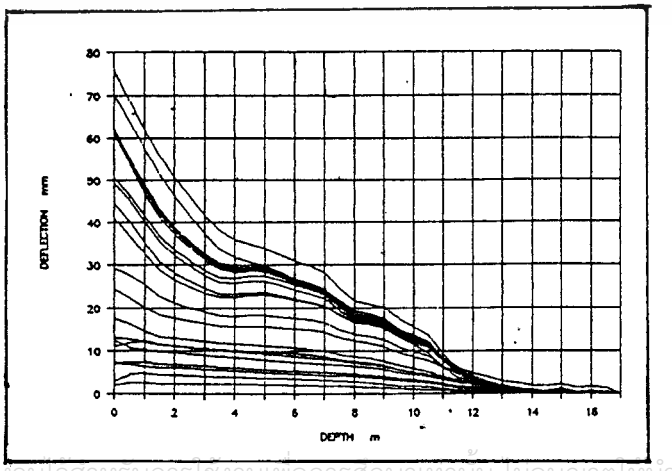


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ

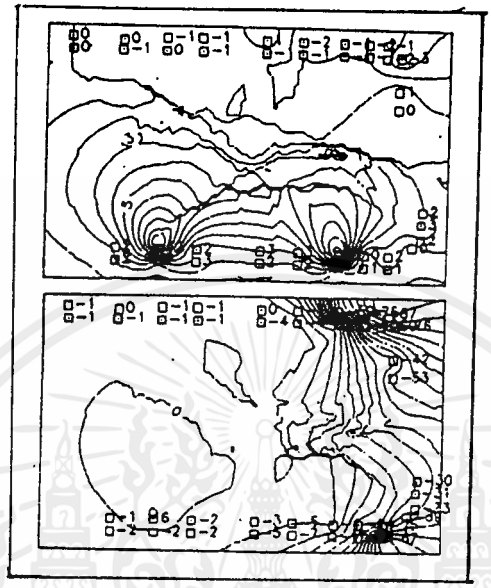


รูปที่ 5 การไหลตัวของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ

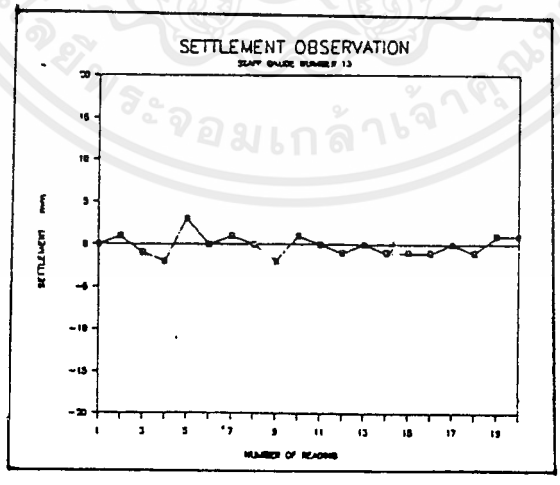


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 เส้นชั้นการทรุดตัวของดินรอบ ๆ อาคาร

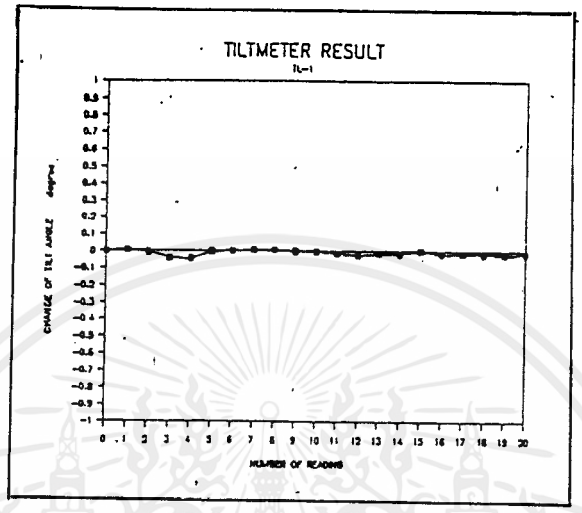


รูปที่ 7 การทรุดตัวของอาคาร

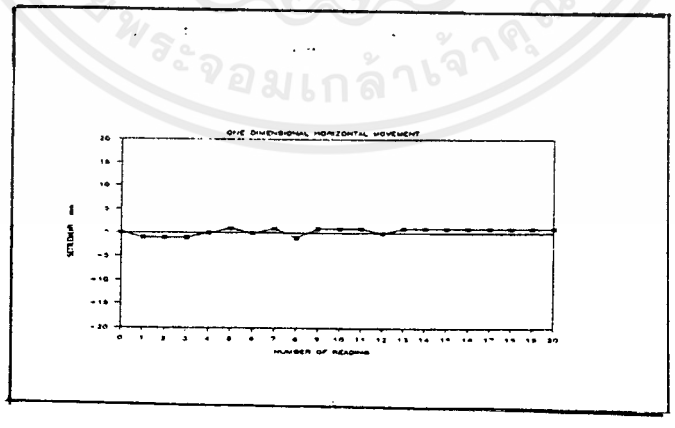


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8 การเอียงตัวของอาคาร



รูปที่ 9 การเคลื่อนตัวของอาคารในแนวราบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เสาเข็มไมโคร
สำหรับงานอาคารในปัจจุบัน

ความหมาย

เสาเข็มไมโคร (Micro piles) หมายถึงเสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าเสาเข็มชนิดอื่นๆหรือในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเสาเข็มชนิดอื่นๆ จะสามารถรับน้ำหนักได้สูงกว่า จัดอยู่ในประเภทเสาเข็มเจาะฉีดขนาดเล็ก (Small Diameter Bored Injection piles) เสาเข็มไมโครมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น Root piles, Needles Piles หรือ Mini piles เป็นต้น

เสาเข็มโดยทั่วไปมักมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 300 มม. แต่ในกรณีของเสาเข็มไมโครขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะเล็กกว่า 300 มม.และโดยปกติจะมีขนาดระหว่าง 120-250 มม. เท่านั้น แต่ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มไมโครนี้จะมีสูงมาก เหตุผลที่สำคัญที่ทำให้เสาเข็มแบบนี้รับน้ำหนักได้สูงมาก เป็นเพราะวิธีการทำแบบพิเศษที่ฉีดอัดคอนกรีตหรือน้ำปูนให้แทรกเข้าไปในเนื้อดินได้ โดยใช้เวลาทำไม่มาก และเนื้อดินโดยรอบรูเจาะจะมีการพักตัว Relaxation ไม่มาก เสาเข็มแบบนี้สามารถทำได้ทุกประเภทของดินหรือหิน สามารถถ่ายน้ำหนักบรรทุกออกไปสู่ดินโดยรอบ โดยอาศัยความฝืดรอบบริเวณเสาเข็มได้ และสามารถรับน้ำหนักได้ทั้ง 2 ทิศทางคือ ทั้งแรงดึงและแรงอัด แต่รับโมเมนต์ได้ไม่มากนัก ซึ่งหากจะใช้วิธีทำแบบพิเศษเพื่อให้รับโมเมนต์ได้ด้วย ก็จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้น

การใช้เสาเข็มแบบนี้สามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทำเสาเข็มไมโครนั้นสูงมากเมื่อเทียบกับเสาเข็มชนิดอื่น เสาเข็มแบบนี้ก็มีข้อดีหลายประการ เช่น เครื่องทำเสาเข็มมีขนาดกะทัดรัดกว่าเครื่องทำเสาเข็มแบบทั่วไป โดยเฉพาะในเรื่องความสูง สามารถทำเสาเข็มได้โดยไม่เกิดการสั่นสะเทือน และเสาเข็มมีการทรุดตัวน้อยมาก

ประโยชน์ใช้งานที่สำคัญ คือ งานซ่อมแซมพิเศษและบูรณะอาคาร หรือโครงสร้างต่างๆ นอกจากนี้ ยังใช้งานด้านเสริมความแข็งแรงให้ฐานรากเดิม งานป้องกันอาคารที่อยู่ชิดบ่อขุดลึกๆ และยังใช้ในการยกหนุนอาคารได้อีกด้วย

ประวัติความเป็นมาของเสาเข็มไมโคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มไมโครเริ่มจากการนำมาใช้ในอิตาลีประมาณต้นปีค.ศ.1950โดยFondedile หลังจากนั้นจึงแพร่หลายเข้าไปในประเทศยุโรป โดยมักจะใช้ในงานซ่อมแซมอาคารที่ต้องเสริมความแข็งแรงให้ฐานราก หลังจากปี ค.ศ. 1965 เสาเข็มแบบนี้ก็ได้รับความนิยมแพร่หลายเข้าไปในประเทศเยอรมัน และได้รับการพัฒนาใช้งานก่อสร้างใต้ดิน เช่น ถนนและรถใต้ดินในเมืองใหญ่ๆ ทั้งหลาย

สำหรับในประเทศไทยนั้น ในปีพ.ศ.2520 ได้มีการใช้เสาเข็มไมโครในโครงการก่อสร้างขนาดเล็ก 2 โครงการ ดำเนินการโดยชาวต่างประเทศ และในปี พ.ศ.2522 ได้มีการใช้เสาเข็มไมโครสำหรับโครงการขนาดใหญ่ ซึ่งดำเนินงานโดยบริษัทของคนไทยขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย เป็นที่สนใจของผู้ที่เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างเป็นอย่างมาก

อย่างไรก็ตาม การทำเสาเข็มไมโครในระยะแรกยังมีอุปสรรคและปัญหาอยู่มาก ทั้งทางด้านเทคนิคการทำงานและการยอมรับเชื่อถือจากนักวิชาการบางท่าน จึงได้มีการศึกษาวิจัยการใช้เสาเข็มไมโครสำหรับใช้งานในประเทศไทยขึ้น เพื่อศึกษาหาข้อมูลต่างๆทางวิชาการวิเคราะห์และประเมินผลการทำเสาเข็มไมโครในโครงการขนาดใหญ่ และผลที่ได้จากการศึกษาก็ได้ใช้เป็นข้อยุติปัญหาต่างๆ การทำเสาเข็มไมโครจึงเริ่มเป็นที่ยอมรับเชื่อถือในวงการวิศวกรรม-เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน

การทำเสาเข็มไมโครอาจแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1.การเจาะดิน

2.การลงท่อเหล็ก

3.การอัดน้ำปูนและทำ Anchor Bulb

การเจาะดิน ตั้งเครื่องเจาะให้แน่นหนา ให้หัวเจาะตรงศูนย์เสาเข็มพอดี แล้วเจาะเอาดินออก ในกรณีที่ดินชั้นบนๆเป็นดินเหนียวอ่อนจำเป็นต้องใช้น้ำโคลน (Mud Slurry) ผสมเบนโทไนท์หรือลงปลอกเหล็กชั่วคราว เพื่อป้องกันดินข้างผนังรูเจาะพังทลายหรือบีบตัวเข้าหากัน ทั้งนี้พิจารณาตามความเหมาะสม ความยาวของปลอกเหล็กชั่วคราวขึ้นอยู่กับความลึกของชั้นดินอ่อนปกติแล้วเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะจะโตประมาณ 20 เซนติเมตร หรือใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของข้อต่อเกลียวที่ใช้กับท่อเหล็กประมาณ 5 เซนติเมตร การนำดินขึ้นปกติใช้วิธี Wash Boring คือ ใช้ลมอัดให้ดินที่ละลายกับน้ำล้นออกจากรูเจาะข้างบน เมื่อเจาะเอาดินออกจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความลึกที่กำหนดแล้วต้องทำความสะอาดรูเจาะอย่าให้มีดินพังทลายลงไป โดยตรวจสอบด้วยปลายดิ่ง ถ้าพบว่ามีการตกตะกอนมากหรือมีดินพังทลายจะต้องนำดินขึ้นมาให้หมด

การนำท่อเหล็กลงในรูเจาะ เมื่อตรวจสอบขนาด ความลึก และทำความสะอาดก้นรูเจาะเรียบร้อยแล้ว ก็ถึงขั้นนำท่อเหล็กลง โดยเอาท่อนที่เจาะรูไว้สำหรับทำ Anchor Bulb ไว้ด้านล่าง เอาท่อที่มี Non-Return Valve ตรงปลายท่อไว้เป็นท่อนล่างสุด การต่อท่อเหล็กแต่ละท่อนจะต้องขันเกลียวข้อต่อให้แน่น ข้อควรระวัง คือ อย่าให้ท่อเหล็กหลุดจากการจับ เพราะถ้าหลุดลงไปอยู่ก้นรูเจาะ เป็นการยากที่จะนำกลับขึ้นมาปกติมักใช้เหล็กประดับ

การอัดน้ำปูนและทำ Anchor Bulb การอัดน้ำปูนในขั้นแรก เมื่อนำท่อเหล็กลงในรูเจาะเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็จะถึงขั้นตอนการอัดน้ำปูน การอัดน้ำปูนนี้ตามปกติจะกระทำเป็น 2 ขั้น ขั้นแรก Grout โดยใช้ความดันน้อยๆจนกระทั่งน้ำปูนเข้าไปแทนที่สารละลายเบนโทไนท์จนเต็มช่องว่างภายนอกระหว่างเสาเข็มกับผนังรูเจาะ ทั้งนี้ นอกจากจะเป็นการป้องกันการผุกร่อนของท่อเหล็กแล้ว ยังเป็นการช่วยเสริมความแข็งแรงทางด้านการโก่งงอได้อีกด้วย การอัดน้ำปูนนี้กระทำโดยอัดส่วนผสมน้ำปูนกับสารเพิ่มความสามารถในการไหลซึ่งเป็นสารหน่วงด้วยในตัว ผ่านทางท่อ Packer ออกทาง Non-return Valve รูล่างสุด ซึ่งเป็นตัวกันมิให้น้ำปูนไหลย้อนกลับเข้ามาในท่อ หลังจากนั้นให้ทิ้งระยะเวลาประมาณ 8-10 ชั่วโมง พอที่น้ำปูนเริ่มแข็งตัวแต่ยังไม่มีกำลังมากนัก จึงเริ่มทำการอัดน้ำปูนขั้นที่ 2

การอัดน้ำปูนขั้นที่ 2 นี้ เป็นการขยายพื้นฐานที่ผิวของเสาเข็มให้มากขึ้น พอที่จะได้แรงฝืดตามที่คำนวณไว้ เพื่อให้ได้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มตามที่กำหนด วิธีการทำก็เช่นเดียวกับขั้นแรกแต่ให้ความดันสูงอัดน้ำปูนผ่านท่อ Double Packer แต่เนื่องจากปลายท่อถูกอุดด้วยน้ำปูนหมดแล้ว ทางออกของน้ำปูนก็คือ รูเล็กๆที่เจาะไว้ข้างๆท่อเหล็กและหุ้มด้วยปลอกยาง ปกติจะ Grout ขั้นที่ 2 โดยเริ่ม Grout จากข้างล่างสุดเป็นตอนๆ บังคับโดยใช้ Double Packer ในขั้นนี้จะต้องใช้ความดันสูง เช่น 15-20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อดันให้น้ำปูนที่เพิ่งเริ่มแข็งตัวแตกออก น้ำปูนใหม่จะแทรกออกไป และเนื่องจากใช้แรงดันสูงจึงทำให้เกิดเป็นกระเปาะขึ้น เมื่อเสร็จตอนหนึ่งแล้ว ก็ขยับท่อ Packer ขึ้นมาเพื่อทำการอัดตอนต่อไป ทำเช่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปเรื่อยๆก็จะทำให้เกิดกระเปาะขนาดใหญ่ที่มีความยาวตามความต้องการที่เรียกว่า Anchor Bulb หลังจากนั้นประมาณ 12 ชั่วโมง ก็อาจทำการอัดน้ำปูนอีกครั้งหนึ่งโดยเพิ่มความดันให้สูงขึ้นไปอีก หากยังสามารถอัดน้ำปูนเข้าไปได้อีกก็จะได้กระเปาะที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ถ้าอัดไม่เข้าก็แสดงว่ากระเปาะนั้นดีแล้ว

เสร็จขั้นนี้ก็เป็นอันเสร็จการทำเสาเข็มไมโครต้นหนึ่ง ขั้นต่อไปก็เป็นการทำฐานราก หรือหากเป็นการซ่อมฐานรากเก่า (Under pinning) ก็จะต้องทำ Collar คอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป ในกรณีที่ใช้เสาเข็มไมโครในการซ่อมแซมเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่ชำรุดมากๆ อาจกระทำได้หลายวิธี อาทิเช่น เสาเข็มเจาะเกิดรอยชำรุดระหว่างกลางต้น ก็อาจใช้สว่านหัวกากเพชรเจาะเสาเข็มให้เป็นรูทะลุชั้นที่ชำรุดนั้น โดยให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าท่อเหล็กประมาณ 5-6 เซนติเมตร แล้วอัดน้ำปูนทั้งภายนอกและภายในให้เสาเข็มไมโครนี้ถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มเจาะท่อนบนไปสู่ท่อนล่างซึ่งไม่ชำรุดโดยแรงฝืดของน้ำปูนที่แข็งตัวแล้ว ในกรณีนี้ไม่ต้องทำ Anchor Bulb ขนาดและจำนวนเสาเข็มไมโครขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุกที่จะต้องถ่ายนั้น ในกรณีที่เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ชำรุดมากจนไม่สามารถจะซ่อมแซมได้ก็อาจใช้เสาเข็มไมโครแทนทั้งหมดโดยเจาะนอกเสาเข็มใหญ่ทำ Anchor Bulb ตามปกติ แล้วทำฐานรากครอบเสาเข็มไมโครอีกชั้นหนึ่ง

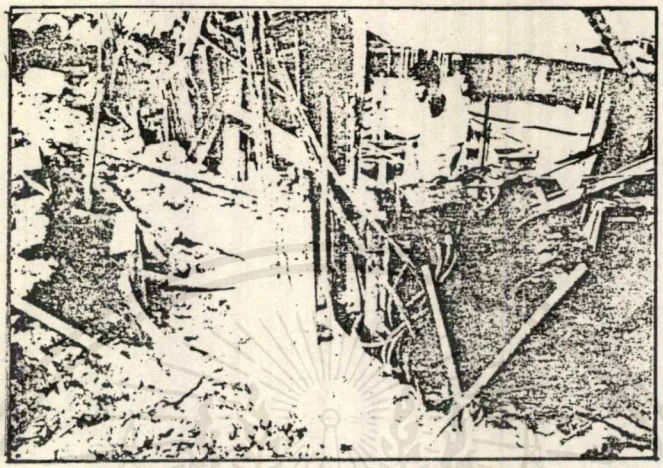
ปัจจุบันมีการทำเสาเข็มไมโครที่ยาวที่สุดในโครงการก่อสร้างอาคารแห่งหนึ่งเพื่อเสริมความแข็งแรงของเสาเข็มเจาะเดิมที่ได้ทำไว้แล้ว โดยใช้เสาเข็มไมโครยาวถึง 51 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อเหล็ก 88.9 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 63 มม. รับน้ำหนักบรรทุก 45 ตัน/ต้น ปริมาตรของน้ำปูนที่ใช้ในการ Grout 4,500 ลิตร ใช้เวลาในการทำเสาเข็ม 48 ชั่วโมงต่อหนึ่งต้น ราคาประมาณต้นละ 120,000 บาท

สรุปและข้อเสนอแนะ

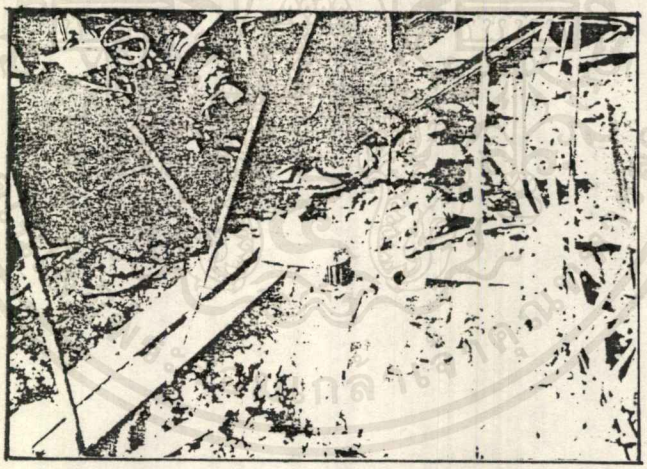
การใช้เสาเข็มไมโครเพื่อรับแรงนี้ เดิมเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับมาจากประเทศในยุโรป แต่ก็ได้ดัดแปลงจนกลายเป็นเทคโนโลยีท้องถิ่นไปแล้ว มีการใช้กันอยู่โดยทั่วไป มีทฤษฎีและการตรวจสอบความสามารถในการรับแรงพร้อมมูล ข้อสำคัญที่สุด คือ จะต้องค้นหาวัสดุที่มีราคาถูกมาทำเป็นเสาเข็มรับแรงที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลงอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

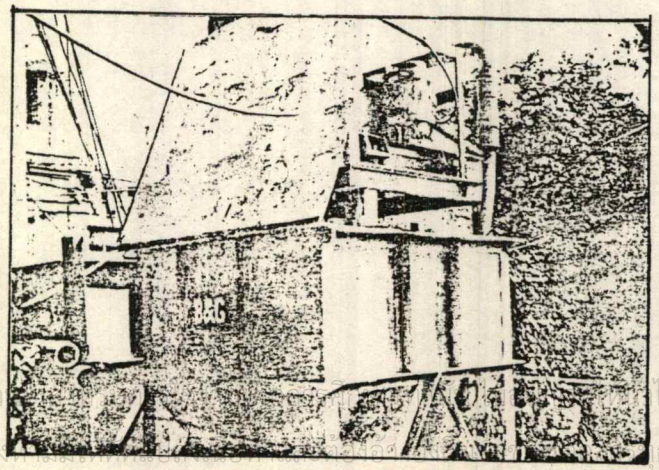
รูปที่ 1 เครื่องเจาะดินกำลังเจาะดินด้วยระบบ Wash Boring ด้วยน้ำผสม Bentonite เพื่อเป็นการป้องกันผนังดินที่อยู่ระดับต่ำกว่า casing ขนาดรูเจาะ 200 มม. ลึก 50.7 เมตร



รูปที่ 2 Bentonite ที่ล้นออกจากปาก casing จะถูกสูบกลับไปไว้ใน tank เพื่อนำกลับไปใช้งานต่อไป ที่เห็นในภาพเป็น submer sible pump

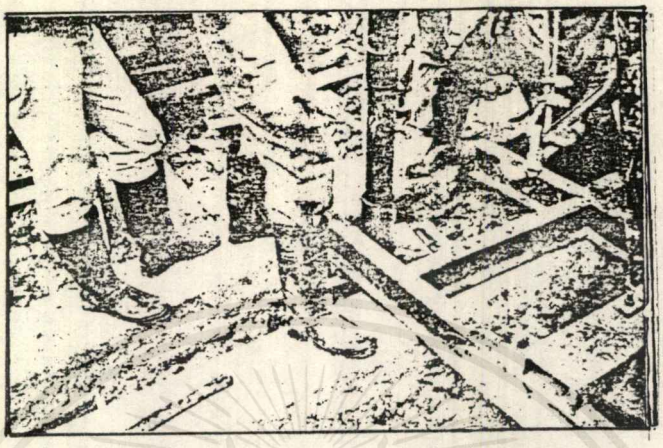


รูปที่ 3 tank เก็บ bentonite ที่สูบกลับขึ้นมาเพื่อนำไปใช้

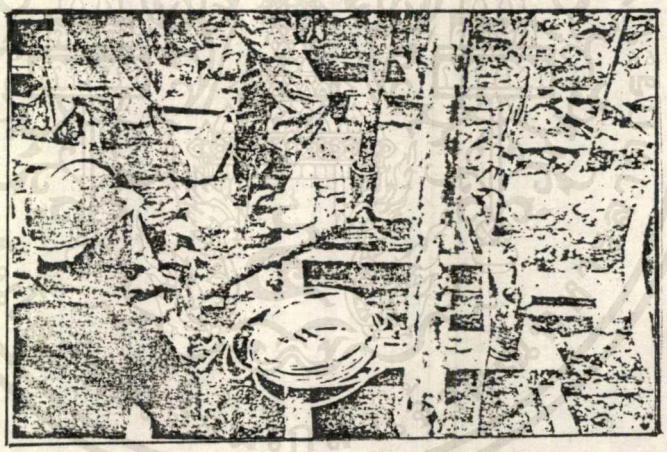


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน[illegible]ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง[illegible]ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

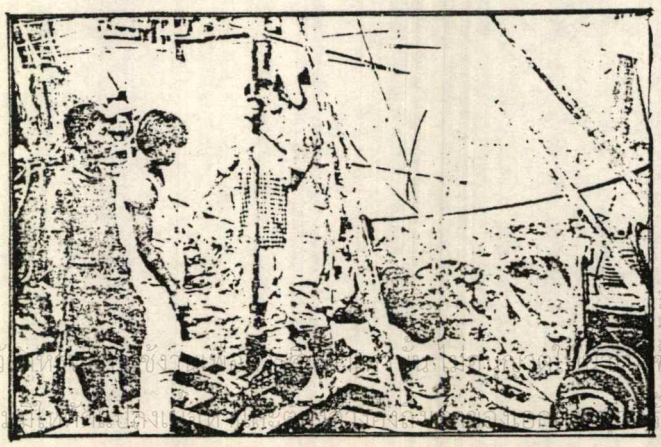
รูปที่ 4 หลังจากตรวจสอบความลึกของรูเจาะให้ได้ตามข้อกำหนดแล้วจึงเริ่มลงท่อเหล็กเสาเข็มไมโคร



รูปที่ 5 หลังจากลงท่อเหล็กเสาเข็มไมโครแล้ว ก็จะใส่ Grouting Rod ที่เห็นในภาพคือส่วนปลาย Grouting Rod ซึ่งประกอบด้วยยาย Packer ซึ่งเป็นตัวบังคับให้น้ำปูนออกตรง valve

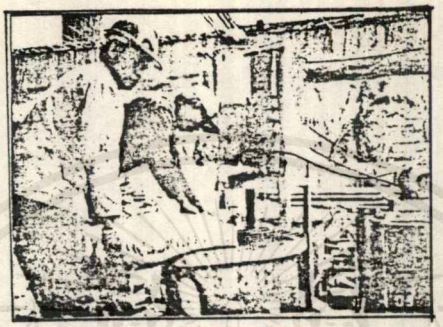


รูปที่ 6 ต่อก้าน Grouting Rod จนถึงระดับ valve ที่ต้องการ สำหรับ First Grout จะใช้ Bottom valve รูเดียว ส่วน Second Grout จะใช้ valve ที่เหลือ ซึ่งจะมีทั้งหมด 40 valve ระยะเวลาทิ้งช่วงระหว่าง First และ Second ประมาณ 8-10 ชม.

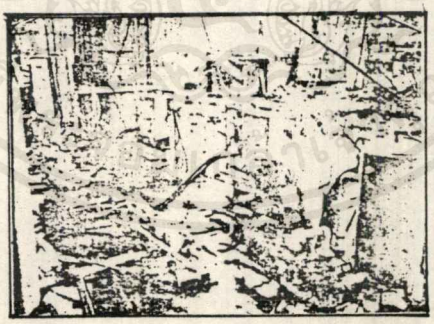


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ [illegible] ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้า[illegible] ที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 Plant สำหรับทำ Grouting Material เรียกว่า High-speed Mixer แล้วจัดส่งต่อไปยังเครื่องอัดน้ำปูน



รูปที่ 8 เครื่องอัดน้ำปูนใช้ในการทำ Grout



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีก่อสร้างชั้นใต้ดินโดยใช้ DIAPHRAGM WALL

Sheet Pile เหมาะสมกับการก่อสร้างอาคารใต้ดิน 1-2 ชั้น แต่สำหรับการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึก 3 ชั้น หรือมากกว่า การใช้ Sheet Pile อย่างเดียวจะค่อนข้างเสี่ยงอันตรายมาก เพราะ Sheet Pile และคานค้ำยันเหล็กอาจจะไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะรับกำลังดันของดินมากมายขนาดนั้น หรือหากจะทำให้แข็งแรงตามที่ต้องการก็จะแพงมากเกินไป

เทคโนโลยีสมัยใหม่จึงถูกคิดค้นขึ้นมา แต่จะต้องเปลี่ยนแนวความคิดในการก่อสร้างด้วย วิธีการก่อสร้างแบบเดิมมีลำดับการทำงานดังนี้

ทำกำแพงกันดินชั่วคราว (Sheet Pile) -> ขุดดิน -> เทคอนกรีตพื้นคานและกำแพงห้องใต้ดิน -> ถมดินโดยรอบข้างใต้ดิน -> รื้อถอนกำแพงกันดินชั่วคราวออก

ในเมื่อปัญหาการขุดดินลึกๆ คือกำแพงกันดินชั่วคราว (Sheet Pile) ซึ่งจะต้องแข็งแรงมากขึ้น เมื่อขุดดินลึกมากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายของงานชั่วคราวมากขึ้น วิธีการที่ประหยัดจึงควรเป็นการทำกำแพงกันดิน ซึ่งจะสามารถใช้เป็นได้ทั้งกำแพงกันดินชั่วคราวและกำแพงกันดินถาวรในคราวเดียวกันก่อนแล้วค่อยขุดดิน ขั้นตอนการก่อสร้างจึงควรเป็น

ทำกำแพงกันดินคอนกรีตฝังลงในดิน -> ขุดดิน -> เทคอนกรีตพื้นคานชั้นใต้ดิน

จะเห็นว่าลดขั้นตอนไปเยอะ แต่วิธีการก็ไม่ง่ายนัก ในสมัยแรกๆที่คิดวิธีก่อสร้างแบบนี้ก็ได้มีการลองใช้เสาเข็มเจาะแบบธรรมดาเจาะเรียงต่อๆกันไปให้เป็นกำแพง เรียกกันว่า Secant Pile ซึ่งก็ใช้ป้องกันดินพังทลายขณะขุดดินได้ แต่ใช้เป็นกำแพงถาวรไม่ได้ เพราะมีรอยต่อมากกันน้ำรั่วซึมไม่ได้ จึงต้องเทคอนกรีตกำแพงชั้นใต้ดินถาวรอีกครั้งหนึ่ง ต่อมาจึงมีการคิดค้นทำ Diaphragm Wall ซึ่งสามารถใช้เป็นกำแพงกันดินชั่วคราวและถาวรได้อย่างแท้จริง ซึ่งก็มีลักษณะคล้ายๆเป็นเสาเข็มสี่เหลี่ยมแผงยาวๆต่อกันไปเรื่อยๆเป็นกำแพง และที่รอยต่อของแต่ละแผ่นจะต้องมี Water Stop เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมได้

วิธีการทำ Diaphragm Wall นั้น จะคล้ายกับการทำเสาเข็มเจาะเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม มีความหนาตั้งแต่ 60 ซม., 80 ซม. ถึง 100 ซม. ความยาวประมาณ 360 ซม. ลักษณะการขุดจะใช้รถเครนขนาดใหญ่ หิ้วหัวขุด (Excavation Clamshell) ซึ่งมีปาก 2 ซีกงับดินขึ้นมาทีละครั้ง หลุมที่เจาะได้จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมีความหนาเท่ากับความหนาของหัวเจาะ ส่วนความยาวก็ยาวเท่าที่ต้องการ (หรือเท่าที่จะสามารถเทคอนกรีตในคราวหนึ่งๆได้) ด้านสุดขอบหลุมที่ขุดเจาะนี้ จะต้องมีแผ่นเหล็ก (Stop End) กั้นไม่ให้ดินพังทลายลงมา และยังใช้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเหล็ก สำหรับเทคอนกรีตให้มีรูปร่างเป็น Key ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังต้องมีร่องให้ใส่ Water Stop ได้อีกด้วย

ขณะขุดหลุมเจาะอยู่ ภายในหลุมจะต้องมีน้ำผสมเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) ขังไว้ในหลุม เพื่อป้องกันดินพังทลายลงไปในหลุมเช่นเดียวกับการทำเสาเข็มเจาะ เมื่อขุดหลุมเจาะได้ลึก และยาวตามที่ต้องการ ก็ทำการหย่อนแผงเหล็กเสริมที่ผูกไว้แล้วลงในหลุมแล้วจึงเทคอนกรีตแทนที่น้ำเบนโทไนท์ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเราก็จะได้กำแพงคอนกรีต จากนั้นก็เริ่มขุดเจาะหลุมต่อไปเรื่อยๆจนครบวงเป็นกำแพงห้องใต้ดิน

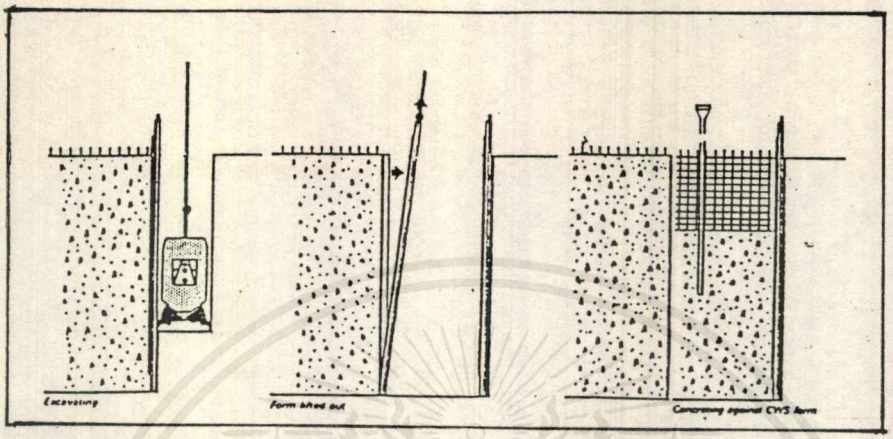
การขุดดินภายในกำแพงห้องใต้ดิน ก็จะสามารถทำได้อย่างสะดวกสบาย เพราะกำแพงคอนกรีต Diaphragm Wall จะมีความแข็งแรงมาก ใช้เป็นทั้งกำแพงกันดินชั่วคราวขณะขุดและเป็นกำแพงห้องใต้ดินอย่างถาวรด้วย อย่างไรก็ตาม หากห้องใต้ดินขนาดใหญ่มาก หรือความลึกชั้นใต้ดินมากก็อาจจำเป็นต้องใช้คานเหล็กค้ำยัน ใช้ชั่วคราวขณะขุดดินก็ได้ แต่วิธีที่นิยมกัน ก็คือขุดดินไปเพียงความลึก 1 ชั้น ก็เทคอนกรีตคาน-บางส่วนของชั้นใต้ดินชั้นแรกเลย เมื่อคอนกรีตแข็งตัวก็ใช้เป็นตัวค้ำยัน Diaphragm Wall ไว้แล้วค่อยขุดดินลึกลงไปใต้พื้นคานชั้นที่ 1 ที่เทคอนกรีตแล้ว จนถึงระดับชั้นใต้ดินชั้นที่ 2 แล้วก็เทคอนกรีตคาน-พื้นชั้นที่ 2 แต่เพียงบางส่วนเพื่อเป็นตัวค้ำยัน Diaphragm Wall ทำซ้ำกันเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

โดยลักษณะดินของกรุงเทพฯ และเทคโนโลยีการก่อสร้างปัจจุบัน ที่ยังคุ้มค่าในการก่อสร้างไม่แพงจนเกินไป เราจะสามารถสร้างชั้นใต้ดิน เพื่อจอดรถได้ประมาณ 6 ชั้นหรือไม่เกิน 18 เมตร เพราะถ้าลึกกว่านี้ ดินเริ่มจะเปลี่ยนจากดินเหนียวเป็นดินทราย น้ำใต้ดินอาจทะลักผ่านชั้นทรายขึ้นมาท่วมขณะก่อสร้างได้

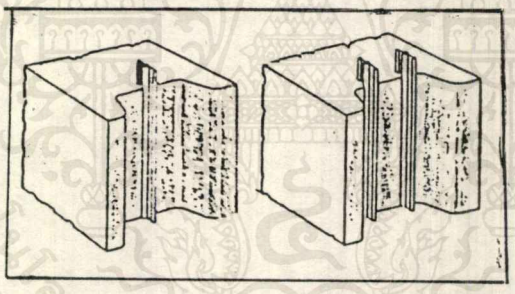
ในต่างประเทศยังนิยมใช้ Diaphragm Wall ก่อสร้างอาคารจอดรถใต้ดินของรัฐ อยู่ใต้สถานที่สาธารณะทั่วไป อาทิเช่น ที่จอดรถใต้ถนน ที่จอดรถใต้คลอง ที่จอดรถใต้ลานโดยรอบอนุสาวรีย์ ที่จอดรถอยู่ใต้สวนสาธารณะ เพราะว่าการใช้ Diaphragm Wall ทำให้สามารถก่อสร้างอาคารจอดรถเหล่านั้นที่ละครึ่งได้ ทำให้ถนน หรือสวนสาธารณะ หรือลานอนุสาวรีย์สามารถใช้งานได้อีกครึ่งหนึ่ง ขณะก่อสร้างได้และเมื่อสร้างเสร็จแล้ว สถาพบนพื้นดินก็มีสภาพเหมือนเดิม ส่วนใต้ดินก็ใช้จอดรถได้ เหมือนข่าวที่เคยมีว่า กทม.จะสร้างที่จอดรถใต้ดินไว้ที่สนามหลวง ซึ่งได้รับการต่อต้านมาก แต่สักวันหนึ่ง เราคงมีโอกาสได้เห็นที่จอดรถอยู่ใต้สวนสาธารณะอื่นๆเป็นแน่แท้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

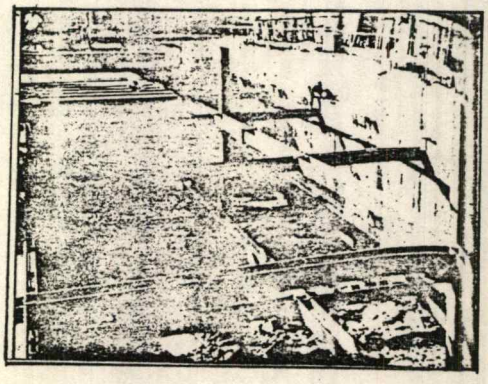
รูปที่ 1 ขั้นตอนการก่อสร้าง เริ่มจากการใช้หัวขุด ขุดดิน-ถอดแผ่นเหล็กเปิดข้างออก-หย่อนเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ ลงในหลุม และเทคอนกรีต



รูปที่ 2 ขอบแผ่น Diaphragm wall ที่เทคอนกรีตแล้ว แสดงให้เห็นถึง Shear Key และ Water Stop ทั้งชนิด ชั้นเดียวและสองชั้น

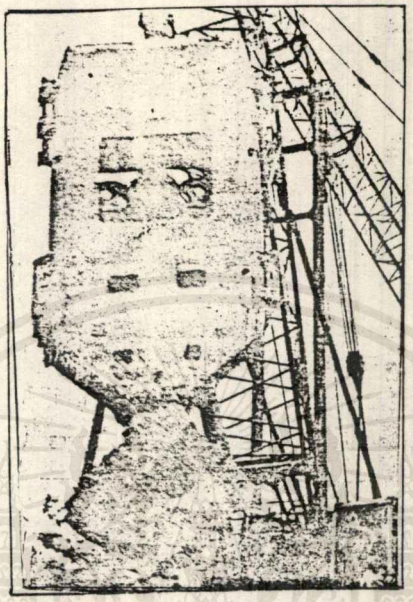


รูปที่ 3 กรณีที่ต้องการขุดดินลึก จนถึงชั้นล่างสุดภายในครั้งเลยอาจจำเป็นต้องมีคานเหล็กค้ำยันไว้บ้าง แต่จะเห็นว่าคานเหล็กมีจำนวนน้อยกว่าคานค้ำยันของ Sheet Pile มาก

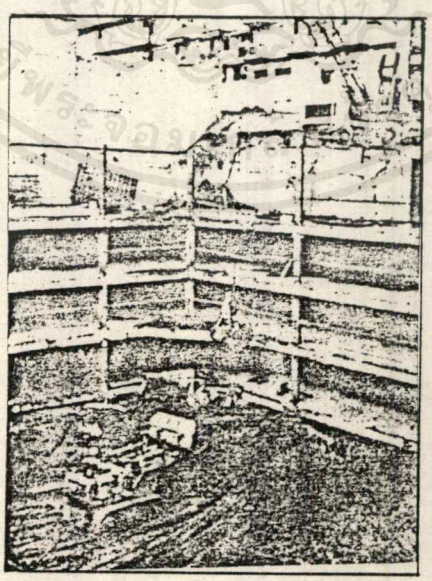


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 หัวขุด (Excuvation Clamshell) มีลักษณะเป็นปาก 2 ซีกใช้คีบงับดินขึ้นมา

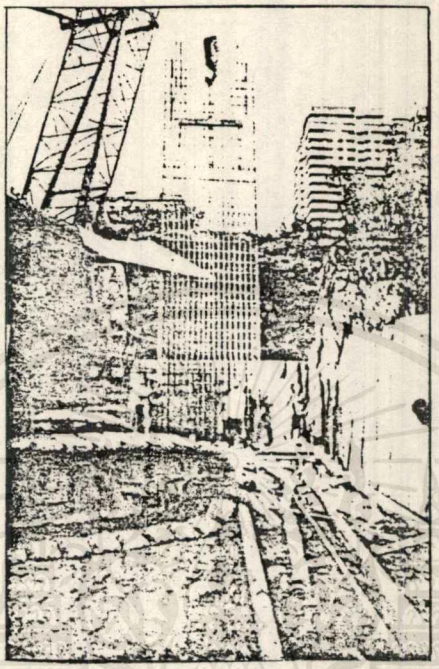


รูปที่ 5 การก่อสร้างจากชั้นพื้นดิน ขุดไล่ลึกลงไปเรื่อย ๆ

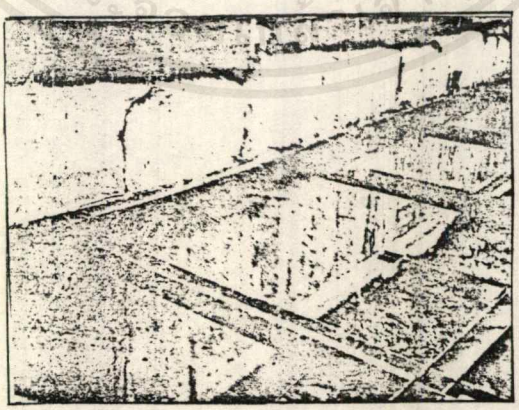


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 การหย่อนเหล็กเสริมที่ถูกเตรียมไว้ลงไปในหลุมที่เจาะเรียบร้อยแล้วก่อนการเทคอนกรีต



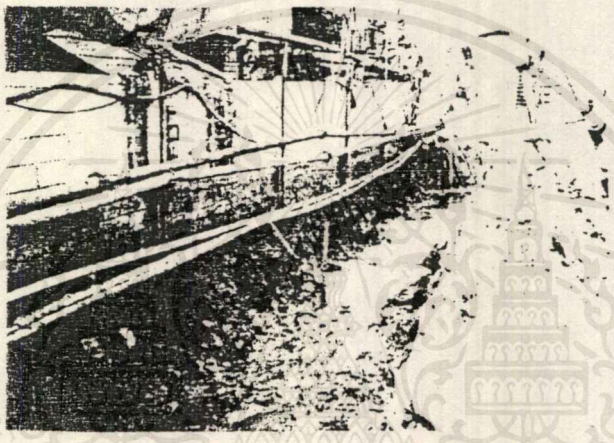
รูปที่ 7 สภาพ Diaphragm Wall ที่ขุดดินออกแล้ว มีความเรียบร้อยมากเพียงแต่ฉาบปูนที่ใช้เป็นกำแพงถาวรของตึกได้ และรอยต่อไม่มีน้ำรั่วซึมออกมา



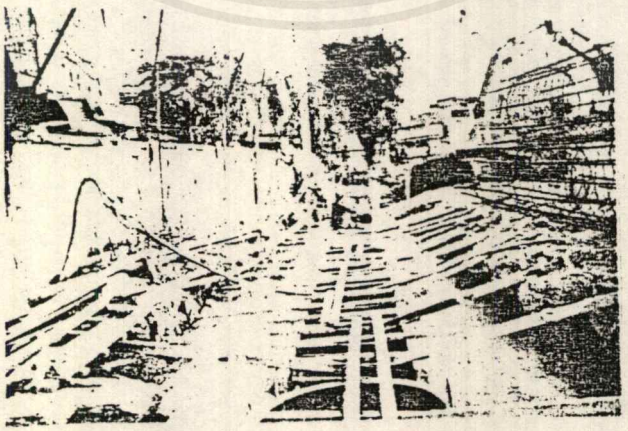
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำ DIAPHRAGM WALL

รูปที่ 1 ขุดดินเป็นแนวยาวที่จะก่อสร้าง DIAPHRAGM WALL ตามที่แบบก่อสร้างกำหนดไว้ โดยขุดดินให้มีความกว้างเพียงพอต่อการที่จะทำ GUIDE WALL ไว้ทั้งสองด้านของแนวที่จะทำ DIAPHRAGM WALL

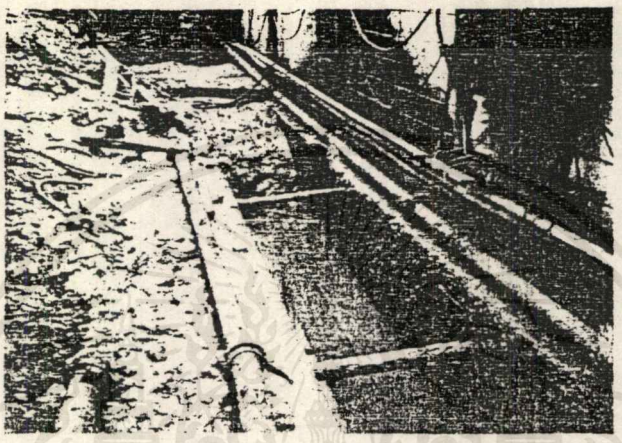


รูปที่ 2 ทำ GUIDE WALL ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นแนวบังคับไว้ทั้งสองด้านของส่วนที่จะทำ DIAPHRAGM WALL เพื่อใช้บังคับหัวขุดเจาะดินซึ่งเป็นชนิด GRAB ให้ขุดได้ตรงแนวที่ต้องการ

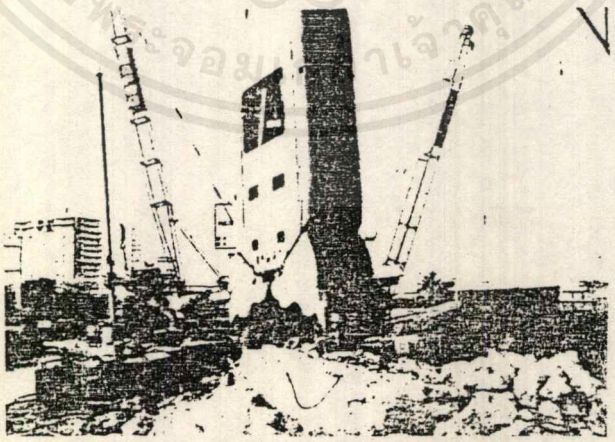


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 การขุดเจาะดินเพื่อทำ DIAPHRAGM WALL ตามแนวที่มี GUIDE WALL บังคับไว้ทั้งสองด้านทำให้แนวช่วงที่ขุดเจาะอยู่ในตำแหน่งถูกต้องตามที่กำหนดไว้

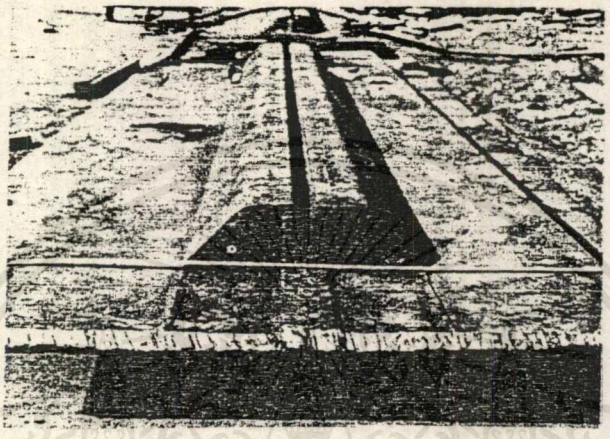


รูปที่ 4 หัวขุดเจาะชนิด GRAB ใช้รถเครนยกไปที่ตำแหน่งจะขุดและใช้ไฮดรอลิกส์บังคับในการตักดิน จนกว่าจะได้ความลึกที่กำหนด

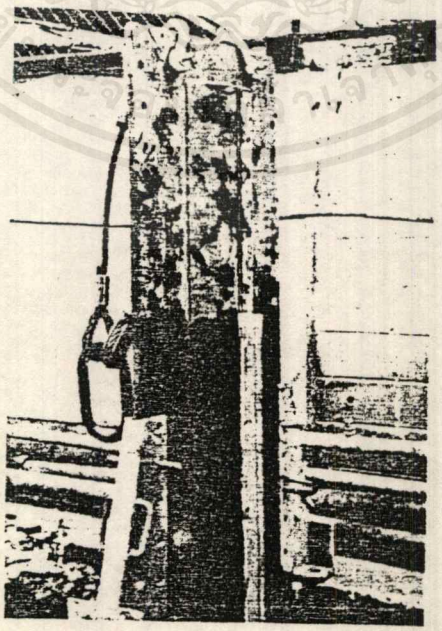


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 STOP END ELEMENT ใช้หยุดรอยต่อในการเทคอนกรีต DIAPHRAGM WALL ใช้ป้องกันการซึมผ่านของน้ำผ่านรอยต่อโดยตรงกลางแผ่นมี SLOT สำหรับติด WATER STOP

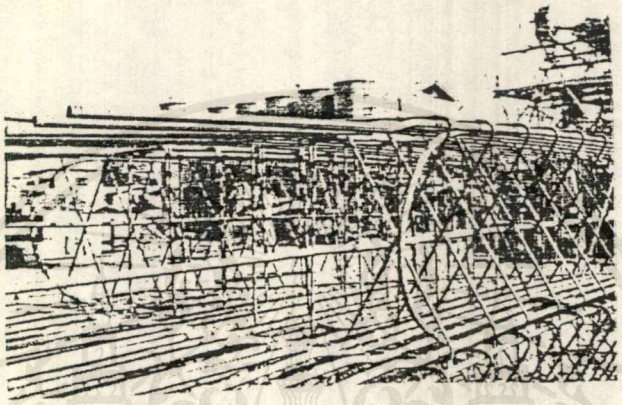


รูปที่ 6 การติดตั้ง STOP END ELEMENT เพื่อหยุดรอยต่อคอนกรีตของ DIAPHRAGM WALL เป็นช่วงๆไป ตรงกลาง SLOT จะใส่ WATER STOP เพื่อป้องกันน้ำซึมผ่าน DIAPHRAGM WALL

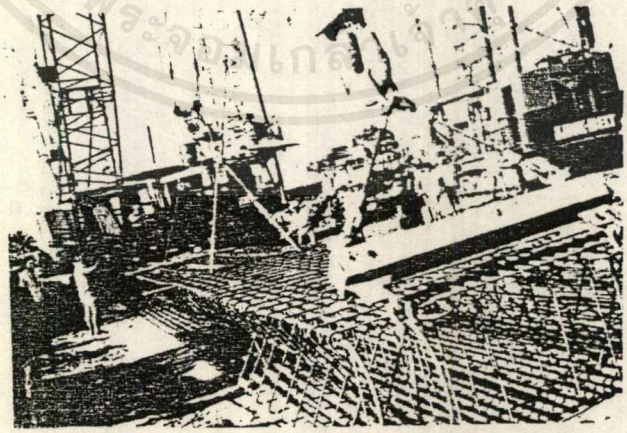


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 เหล็กเสริม DIAPHRAGM WALL ต้องออกแบบให้รับแรงทั้งสองทิศทาง คือน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร ซึ่งส่วนนี้จะลึกเท่ากับบลายเสาเข็มของอาคารซึ่งเรียกว่า BARRETE และส่วนที่รับแรงดันดินซึ่งเรียกว่า DIAPHRAGM WALL



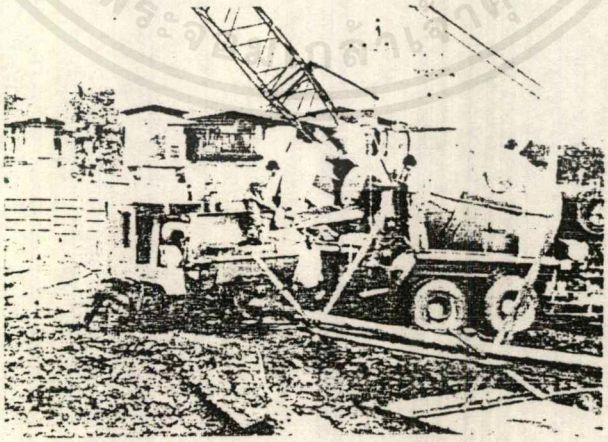
รูปที่ 8 เหล็กเสริม DIAPHRAGM WALL ซึ่งมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากต้องใช้รถเครนยกลงไปในแนวซึ่งขุดเจาะดินไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

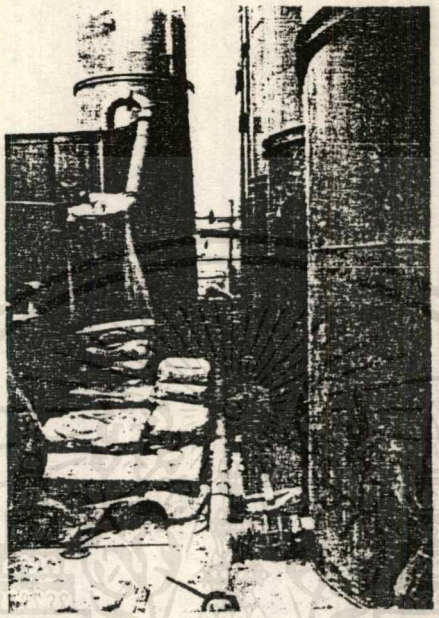
รูปที่ 9 แล้วต่อแต่ละท่อนด้วยการเชื่อม เพื่อให้ได้ความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องทำให้รวดเร็ว เพราะถ้าใช้เวลามากจะเกิดตะกอนก้นหลุมมากกว่ามาตรฐานกำหนด

รูปที่ 10 การเทคอนกรีต DIAPHRAGM WALL เป็นการเทใต้น้ำ ลักษณะเดียวกับเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ซึ่งมีสารละลายเบนโทไนท์เป็นตัวป้องกันการพังทลายของรูเจาะ

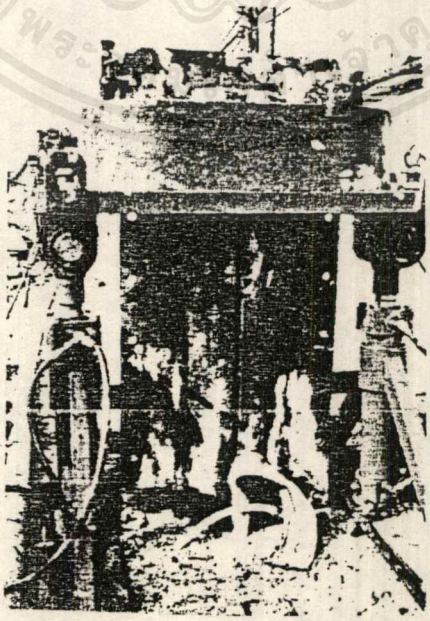


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11 สารละลายเบนโทไนท์ ใช้ใส่ลงในหลุมเจาะ DIAPHRAGM WALL เพื่อป้องกันการพังทลายของรูเจาะ ต้องตรวจสอบคุณสมบัติให้ถูกต้องตรงตามมาตรฐานของการใช้งาน

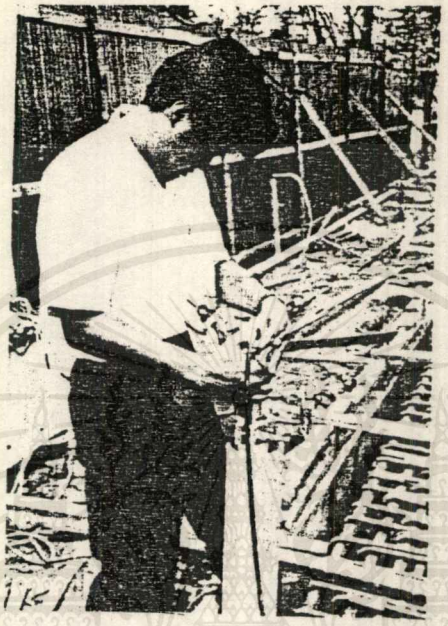


รูปที่ 12 การถอน STOP END ELEMENT หลังจากเทคอนกรีตได้ระยะเวลาที่กำหนดด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์

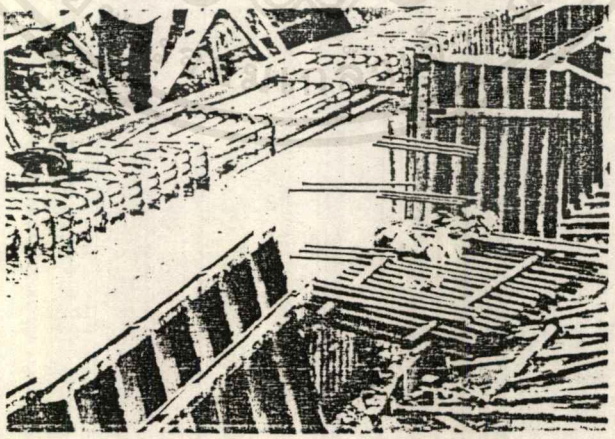


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 13 การติดตั้ง INCLINOMENTS เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของ DIAPHRAGM WALL เนื่องจากแรงดันของดิน

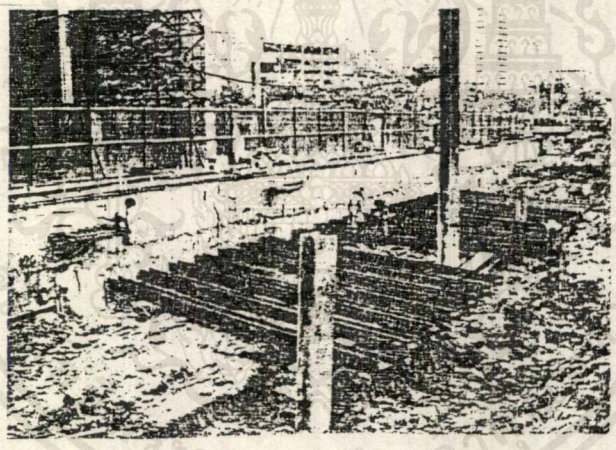


รูปที่ 14 การทำ CAPPING BEAM ไว้ที่ขอบบนของ DIAPHRAGM WALL เพื่อหิ้วรั้ง DIAPHRAGM WALL และโดยมี BARRATE เป็น SUPPORT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 15 หลังจากทำ CAPPING BEAM เสร็จแล้วสามารถเปิดหน้าดินเพื่อทำโครงสร้างในส่วนที่อยู่ลงไปใต้ดินได้ทีละชั้นตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นสำเร็จรูป
การใช้และการทดสอบความเสียหาย

พื้นสำเร็จรูปเป็นระบบแผ่นพื้นที่กำลังได้รับความนิยมพอสมควรในอุตสาหกรรมการก่อสร้างปัจจุบัน เพราะเป็นระบบที่ช่วยลดปริมาณงานหน้างานได้อย่างมาก โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับแบบหล่อคอนกรีต และการเทคอนกรีต แต่ด้วยปัญหาบางอย่างจากการผลิต การติดตั้ง และการใช้งาน ประกอบกับพิกัดความเหมาะสมบางอย่างทำให้ปริมาณการใช้ชะงักงันลงไปบ้าง และเริ่มมีระบบการก่อสร้างอย่างอื่น เข้ามาทดแทนบ้างตามความเจริญก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง

ระบบพื้นสำเร็จรูปที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะมีช่วงสั้นมีความยาวช่วงไม่เกิน 5.00 เมตร และมีขนาดเล็กบาง เพื่อควบคุมให้เบา ยกขึ้นติดตั้งและประกอบโดยอาศัยเครื่องไม้เครื่องมือน้อยที่สุด สำหรับแผ่นพื้นสำเร็จรูปช่วงยาวเกินกว่า 5.00 เมตร เริ่มจะได้รับความนิยมในตลาดมากขึ้น แม้ว่าจะหนักและจำเป็นจะต้องใช้เครื่องไม้เครื่องมือในการยกประกอบติดตั้งเพิ่มเติม แต่ก็พร้อมที่จะลงทุนเพราะคุ้มกับระยะเวลาก่อสร้างที่เร็วขึ้น

หัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเน้นให้ตระหนักถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการใช้พื้นสำเร็จรูป การหลีกเลี่ยง และปรับปรุงให้เหมาะสมกับคุณประโยชน์ที่เอื้ออำนวย บางกรณีอาจจะมีการตรวจสอบคุณภาพควรจะดำเนินการอย่างไร การทดสอบไม่ว่าจะในที่หรือนอกที่ จะต้องศึกษาและตรวจสอบข้อมูลอย่างไร จึงจะให้ผลดีทั้งความมั่นคงแข็งแรง ความเหนียวทางโครงสร้าง ตลอดทั้งความปลอดภัยในการรับน้ำหนักบรรทุกจรประเภทต่าง ๆ

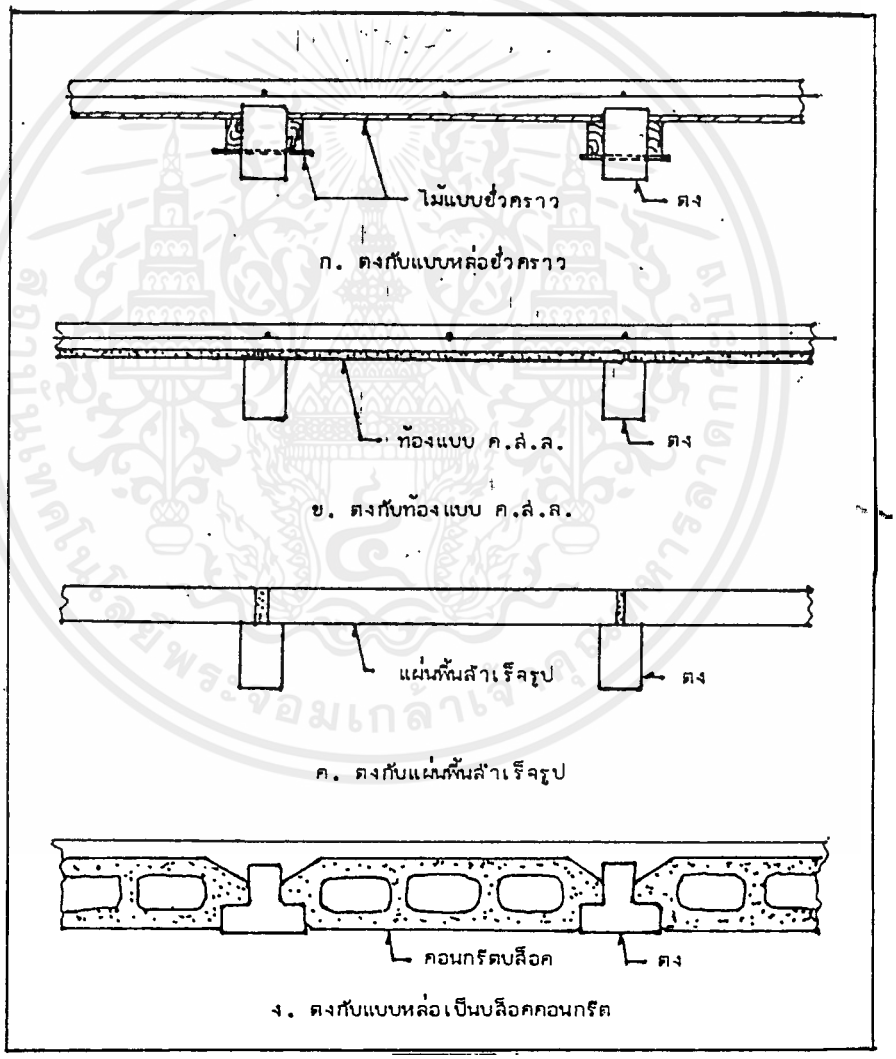
การใช้พื้นสำเร็จรูป

ระบบพื้นสำเร็จรูปในท้องตลาดมีหลายลักษณะ ทั้งที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง ทั้งที่เป็นระบบชิ้นเดี่ยวและระบบชิ้นส่วนเชิงประกอบ ส่วนหน้าตัดจะแตกต่างกันตามบริษัทที่ผลิตในรูปที่ 1,2 และ 3 แสดงให้เห็นระบบตง ระบบชิ้นเดี่ยวและระบบเชิงประกอบตามลำดับ ตามที่มีจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน

การใช้งานในปัจจุบันแยกออกเป็นลักษณะงานเกี่ยวกับอาคาร และงานเกี่ยวกับสะพานสะพานลอย หรือท่าเรือ ถ้าเป็นงานเกี่ยวกับอาคารช่วงยาวจะมีเพียง 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือที่น้อยกว่า 5.00 เมตร ซึ่งจะเป็นรูปหน้าตัด ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ก, ข, ฉ, ช ส่วนช่วงยาวเกินกว่า 5.00 เมตร แต่ไม่ถึง 9.00 เมตรจะมีหน้าตัดตามรูปที่ 2 ค, ง, ช, และรูปที่ 3 ก, อย่างไรก็ดี สำหรับหน้าตัดรูปทีคู่ หรือ รูปที สามารถเพิ่มความหนาและความลึก

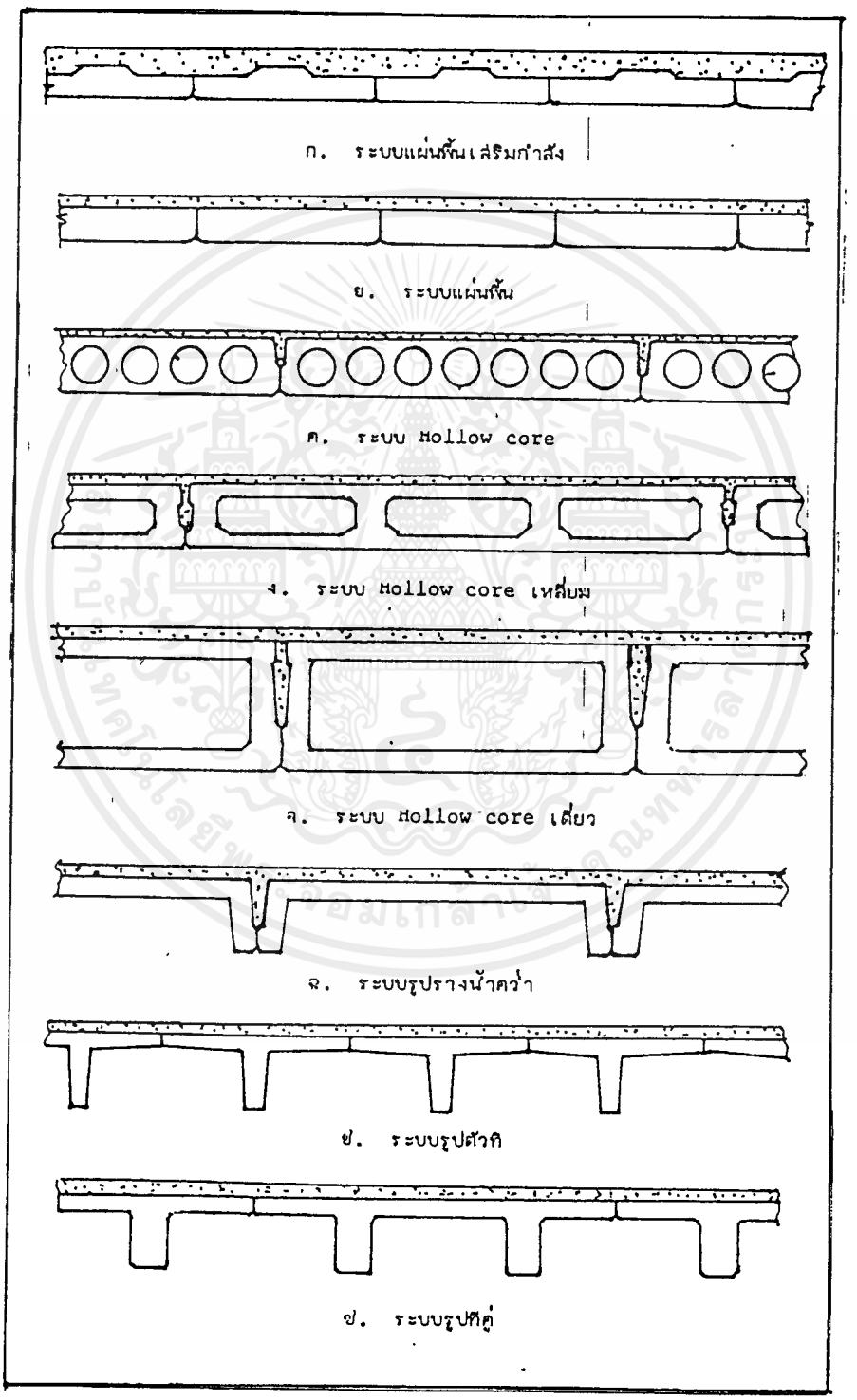
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 แผ่นพื้นแบบตง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 แผ่นพื้นระบบชิ้นเดี่ยว



ก. ระบบแผ่นพื้นเสริมกำลัง

ข. ระบบแผ่นพื้น

ค. ระบบ Hollow core

ง. ระบบ Hollow core เหลี่ยม

จ. ระบบ Hollow core เดี่ยว

ฉ. ระบบรูปรางน้ำคว่ำ

ช. ระบบรูปตัวที

ซ. ระบบรูปทีคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายได้ถึง 20-30 เมตร แต่ยังไม่มีผู้ผลิตรายใด (ภายในประเทศ) พัฒนาถึงขนาดนั้น ส่วนงานสะพานและสะพานลอยจะใช้ระบบชิ้นเดี่ยว รูป 2 จ. หรือระบบชิ้นส่วนเชิงประกอบดังรูปที่ 3 แต่ถ้าเป็นท่าเทียบเรือซึ่งอาจจะมีช่วงสั้นกว่าอาจจะใช้ระบบ 2 ข. แต่มีขนาดที่ใหญ่กว่าที่ใช้ในงานอาคารหรืออาจจะเป็นระบบ 2 ง.

ลักษณะการใช้พื้นสำเร็จรูปยังเป็นโครงสร้างอย่างง่าย ปลายรับทั้งสองข้างเป็นจุดรับอย่างง่าย(Simply Supports) ยังไม่ได้พิจารณาถึงพฤติกรรมเชิงแผ่น (Diaphram Action) การกระจายแรงระหว่างแผ่นในรูปของแรงเฉือน (Shear Transfer) และพฤติกรรมระยะยาวจากการคืบตัว การหดตัวและน้ำหนักบรรทุกซ้ำ (Alternative Loads) ฯลฯ

ทั้งนี้ในการเลือกใช้พื้นสำเร็จรูป โดยหวังว่าจะเป็นการประหยัดแบบหล่อพื้นลดระยะเวลาการก่อสร้าง และเนื่องจากการผลิตพื้นสำเร็จรูปกระทำจากโรงงานสามารถควบคุมคุณภาพได้อย่างดี

ข้อควรพิจารณา

เมื่อใช้พื้นสำเร็จรูประบบหนึ่งระบบใดควรจะได้รับการพิจารณาให้ลึกซึ้งถึงพฤติกรรมทางโครงสร้าง การผลิต และการติดตั้ง ดังรายละเอียดปลีกย่อย เช่น

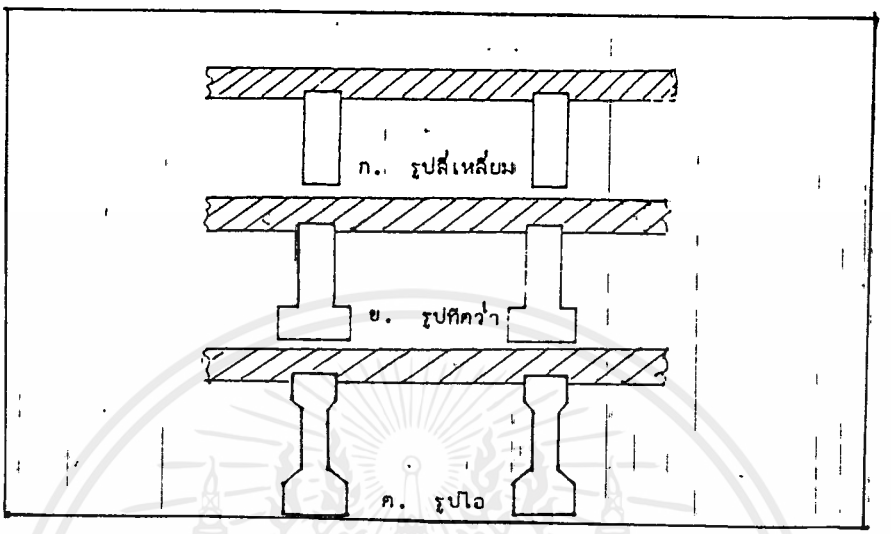
โมเมนต์ลบ พื้นสำเร็จรูปที่ใช้ทั่วๆไป มักจะไม่ได้หวังผลให้รับโมเมนต์ลบที่รอยต่อระหว่างช่วงความยาวทั้งนี้เพราะพื้นแต่ละช่วงจะทำหน้าที่เป็นพื้นช่วงเดี่ยว แต่เมื่อเททับหน้าให้ต่อเนื่องกันจะทำให้เกิดพฤติกรรมต่อเนื่องจนกว่าผิวที่ต่อเนื่องจะแตกแยกจากกัน เพื่อทำลายโมเมนต์ลบนั้นให้เหลือเท่าที่จะรับได้ ดังนั้นการแต่งผิวพื้นควรจะได้พิจารณาถึงรอยแตกร้าวบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างช่วงที่เกิดขึ้น (รูปที่ 4)

การกระจายแรงระหว่างแผ่น เนื่องจากพื้นสำเร็จรูปโดยทั่ว ๆ ไปจะออกแบบเพื่อรับแรงแผ่กระจาย ตามที่กำหนดไว้ในเทศบัญญัติ แต่การใช้งานบางอย่างมีลักษณะน้ำหนักบรรทุกแบบจุด ดังนั้น รอยเชื่อมต่อระหว่างแผ่นจะออกแบบให้พอเพียงเพื่อกระจายแรงสู่แผ่นนี้อาจใช้ความหนาของคอนกรีตเททับหน้าเป็นเกณฑ์ ทำรอยเชื่อมด้วยแผ่นเหล็ก หรือทำเป็นร่องรับแรงเฉือน (Shear Key) ตามความเหมาะสม (รูปที่ 5)

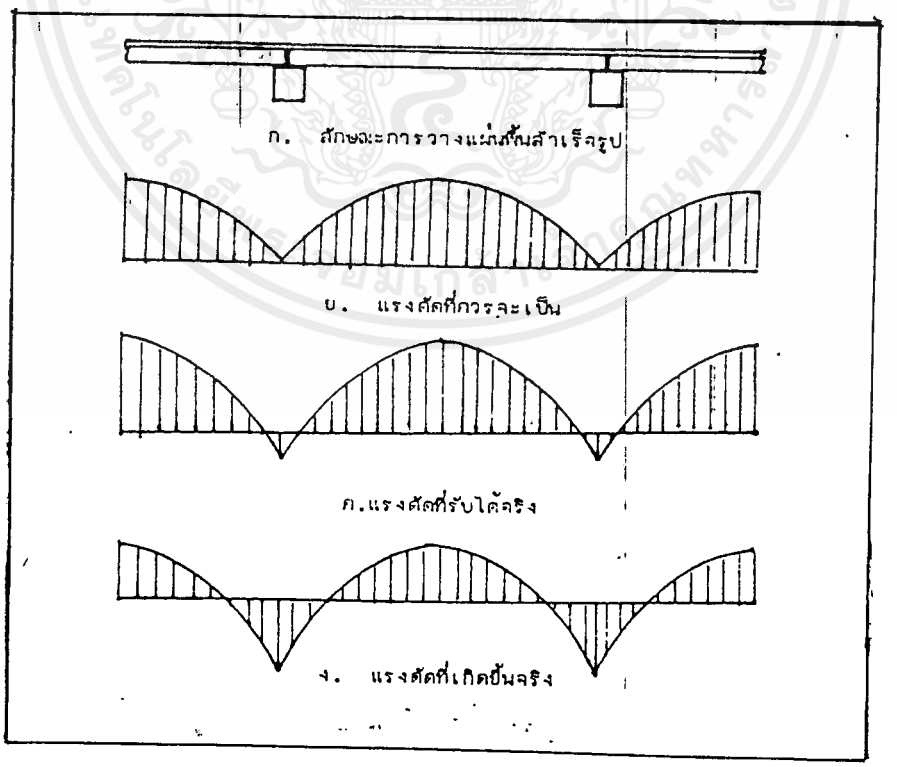
การค้ำยันระหว่างติดตั้ง พื้นสำเร็จรูปประเภทชิ้นส่วนเชิงประกอบที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไป จำเป็นจะต้องมีค้ำยันชั่วคราวในระหว่างการประกอบติดตั้งและเททับหน้า จะถอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แผ่นพื้นชิ้นส่วนประกอบ



รูปที่ 4 ลักษณะโมเมนต์ในแผ่นพื้นสำเร็จรูปเทผิวต่อเนื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตเททับหน้ามีกำลังพอเพียงที่จะทำหน้าที่ร่วมเป็นชิ้นส่วนเชิงประกอบได้อย่างดี การถอดค้ำยันออกก่อน หรือการละเลยไม่ใส่ค้ำยัน รวมถึงการมีค้ำยันอย่างไม่ถูกต้องจะมีผลให้เกิดการวิบัติในระหว่างการก่อสร้างได้ การไม่เอาใจใส่ต่อค้ำยันดังกล่าว ถึงแม้จะไม่มีการวิบัติเกิดขึ้น แต่กำลังการรับน้ำหนักจะน้อยลง รูปที่ 6 เป็นโมเมนต์ดัดของแผ่นพื้นชิ้นส่วนเชิงประกอบเปรียบเทียบระหว่างที่มีค้ำยัน และเมื่อไม่มีในระหว่างการติดตั้ง

การยึดหดตัวและการคืบตัวของคอนกรีต เมื่อมีการเทคอนกรีตที่มีคุณสมบัติต่างกันและในเวลาที่ไม่พร้อมกัน จะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมระยะยาวอันเกี่ยวข้องกับเวลา และกำลังของคอนกรีตเป็นตัวแปร แต่เนื่องจากปัญหาอันนี้ค่อนข้างจะละเอียดอ่อน และยากต่อการคำนวณหรือประมาณการ จึงไม่ได้คำนึงในการออกแบบกันมากนัก ผลที่เกิดขึ้นจะออกมาในรูปของการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นตามเวลา และการสูญเสียการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตส่วนสำเร็จรูป และส่วนที่หล่อกับที่ วิธีการป้องกันนิยมใช้เหล็กเสริมกันแตกร้าว (Temp. Steel) ช่วยรับแทน แต่ทางที่ดีควรจะพิจารณาคอนกรีตที่มีการหดตัวและการคืบตัวช่วยด้วยคือ มี W/C ต่ำ

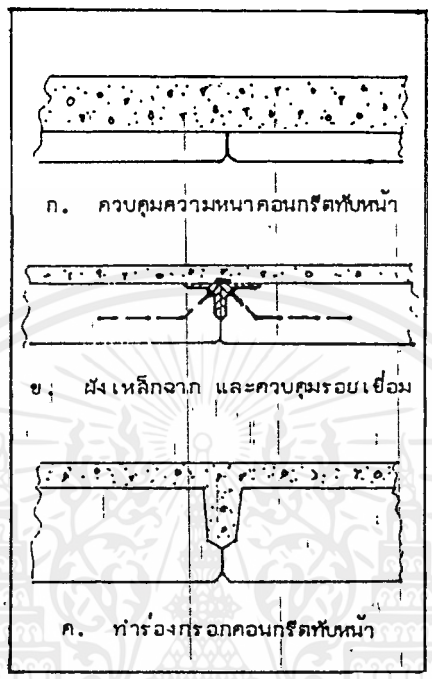
การผลิตและการควบคุมคุณภาพ ในหลักการแล้วจะพบว่าการผลิตแผ่นพื้นสำเร็จรูปควรจะได้มาตรฐาน การผลิตคอนกรีตอัดแรง หรือ คอนกรีตสำเร็จรูปแต่ในความเป็นจริงแล้ววิศวกรหรือผู้ใช้ควรจะได้ตระหนักถึงเรื่องนี้ให้มาก เพราะการผลิตที่ขาดการควบคุมคุณภาพจะมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อความแข็งแรงและพฤติกรรมทางโครงสร้าง มีผู้หาทางออกด้วยการทดสอบซึ่งนับว่าเป็นการดี แต่การควบคุมคุณภาพของแผ่นพื้นสำเร็จรูป และการประกอบติดตั้งให้ได้ผลดี เช่น การทดสอบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งยวด ถึงแม้จะมีการทดสอบและให้ผลดี แต่ถ้าขาดการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนต่าง ๆ ก็จะไม่มีประโยชน์เลย ทั้งนี้เพราะพื้นที่ทดสอบเป็นเพียง 1 ใน 100 หรือ 1 ใน 1000 ของที่ใช้จริงจึงอาจจะแตกต่างออกไปได้ ข้อควรสังเกตอย่างง่าย ๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแผ่นพื้น คือ การแอ่นตัว และการรูดของปลายลวดอัดแรง

ระยะและผิวแบกทาน การวางปลายแผ่นพื้นพาดไว้บนคาน จะต้องมีระยะแบกทานพอเพียงตรวจสอบได้ด้วยกำลังแบกทาน แต่ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในระหว่างการติดตั้งด้วยเช่นกัน คือจะต้องไม่หมิ่นจนเกินไป บ่ารับควรจะหนาเกินระยะหุ้มเหล็กเสริม และนอกจากนี้ผิวจะต้องเรียบได้แนวและระดับ เมื่อวางแผ่นพื้นแล้วจะแนบสนิทไม่กระดก หรือทำให้รอยต่อระหว่างแผ่นไม่เสมอกัน

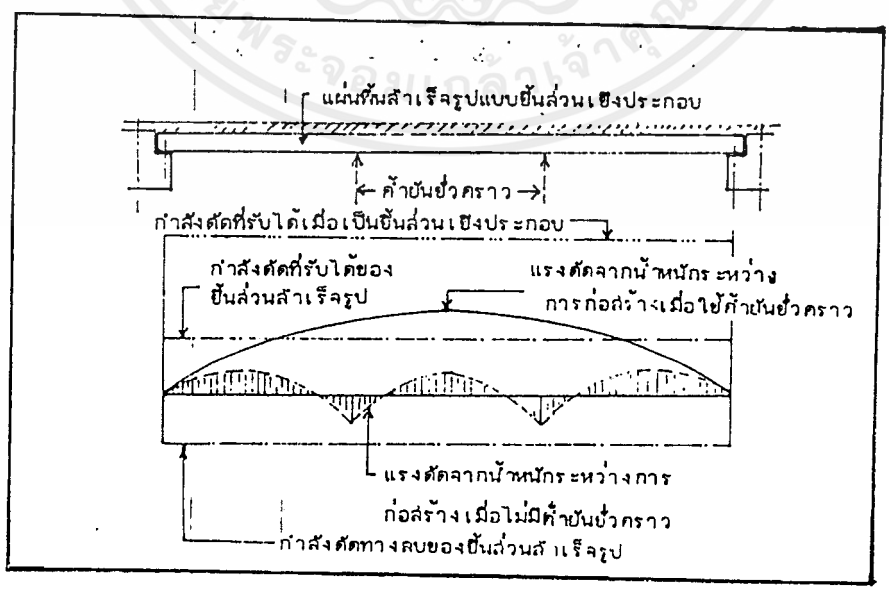
อัตราการผลิต อัตราการผลิตอาจจะเป็นปัญหาได้ โดยเฉพาะในกรณีที่การก่อสร้างเป็นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 การเชื่อมต่อระหว่างแผ่น



รูปที่ 6 โมเมนต์ดัดของแผ่นพื้นเชิงประกอบในระหว่างติดตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างรวดเร็ว กล่าวคือฝ่ายผลิตจะทำให้ไม่ทันการประกอบติดตั้ง ดังนั้นเมื่อมีการเลือกใช้ควรจะต้องศึกษาถึงกำลังการผลิตของโรงงานให้ดี มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการล่าช้าต่อการก่อสร้างได้ ในกรณีที่มีการใช้จำนวนมาก อาจพิจารณาผู้ผลิตหลาย ๆ รายอาจจะเป็นการแก้ปัญหาได้

น้ำหนักเผื่อการยกติดตั้ง ควรจะได้รับการพิจารณาเพื่อเลือกใช้เครื่องมือยกที่เหมาะสมและสามารถทำงานได้รวดเร็ว สถานที่ก่อสร้างที่มีรถยกช่วยติดตั้งจะทำให้การก่อสร้างเป็นไปได้รวดเร็วมาก แต่ในบางกรณีที่มีปัญหาไม่มีการวางแผนเรื่องการติดตั้งที่ดี การใช้คนแบก หรือเครื่องทุ่นแรงที่ล้าสมัย นอกจากจะทำให้ช้าแล้ว ยังอาจเป็นอันตรายต่อคนงานได้ การเลือกใช้พื้นสำเร็จรูป ควรจะได้มีการกำหนดเครื่องมือที่เหมาะสมไว้ ตั้งแต่การเขียนรายการประกอบแบบก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อสามารถควบคุมอัตราการทำงาน และคุณภาพที่ดี

การทดสอบ

การทดสอบเป็นวิธีการอย่างหนึ่ง เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างอย่างแท้จริงของแผ่นพื้นระบบใดระบบหนึ่งก่อนการพิจารณาเลือกใช้ แต่การควบคุมคุณภาพเริ่มตั้งแต่ การดึงลวด การเสริมเหล็ก ระบบแบบหล่อ ส่วนผสมคอนกรีต การเทคอนกรีต การบ่ม การควบคุมกำลังคอนกรีต การตัดลวด การเก็บเข้ากอง การขนย้าย รวมไปถึงขั้นตอนการติดตั้ง การค้ำยัน การเททับหน้าล้วนมีความสำคัญทั้งสิ้น วิศวกรผู้รับผิดชอบจะต้องมีวิธีการควบคุมที่รัดกุมตลอดขบวนการ ส่วนการทดสอบนั้นอาจแบ่งได้ 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบในที่ และการทดสอบนอกสถานที่

การทดสอบโดยทั่วๆไป จะเป็นการทดสอบนอกที่ หรือทดสอบในห้องทดลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้าง ตั้งแต่เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกเป็นศูนย์จนถึงขั้นวิบัติ ในส่วนที่เกี่ยวกับการโก่งงอ กำลังการรับน้ำหนัก ลักษณะการวิบัติ ความเหนียวทางโครงสร้าง ฯลฯ การทดสอบแบบนี้ควรจะใช้การบรรทุกน้ำหนักแบบแจ็คไฮดรอลิก และจุดรองรับควรจะเป็นฟันเลื่อย ทั้งนี้เพื่อตัดการยึดรั้งต่าง ๆ ออกจะทำให้เห็นพฤติกรรมที่แท้จริงของแผ่นพื้นทดสอบ วิธีการทดสอบอาจเลือกวิธีตาม ASTM หรือ มอก.148

ส่วนการทดสอบในที่ จะเลือกใช้เฉพาะเมื่อมีความจำเป็นจริงๆ หรือเมื่อขาดขั้นตอนหนึ่งขั้นตอนใดในขบวนการควบคุมคุณภาพ โดยที่ปล่อยให้การติดตั้งเสร็จเรียบร้อยไปแล้ว การทดสอบแบบนี้อาจจะใช้วิธีการของ ACI ว่าด้วยการทดสอบโครงสร้างหล่อกับที่ น้ำหนักบรรทุกอาจจะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถุงซีเมนต์วางซ้อนกัน แต่ต้องเว้นระยะห่างระหว่างถุง เพื่อหลีกเลี่ยงพฤติกรรมเชิงอาร์ช (Arch Action) ที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังอาจใช้กระสอบทราย หรือวิธีการขังน้ำก็ได้ ACI จะกำหนดให้บรรทุกน้ำหนักเป็นกี่เท่าของน้ำหนักออกแบบ และจะต้องมีการแช่น้ำหนักเกิน 24 ชั่วโมง แล้วจึงถ่ายน้ำหนักออก เพื่อดูพฤติกรรมการคืบตัว และตรวจสอบรอยแตกร้าวต่างๆ

การพิจารณาผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแผ่นพื้นสำเร็จรูป คล้ายกับการทดสอบชิ้นส่วนแรงดัดทั่ว ๆ ไป ค่าที่ควรจะได้รับการวัดมี ความเครียดของคอนกรีต ความเครียดของเหล็กเสริม ระยะแอ่นตัว รอยแตกร้าว ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกที่ระดับต่าง ๆ กัน สำหรับความเครียดถ้าไม่ได้มีการวางแผนการทดสอบไว้ก่อนล่วงหน้า ไม่ได้ฝังเกจวัดความเครียดแบบไฟฟ้าไว้ก่อนจึงอาจจะวัดไม่ได้ เว้นเสียแต่จะวัดด้วยเกจวัดความเครียดเชิงกลมของผิวนอก ซึ่งจะให้ผลที่คลาดเคลื่อนได้มาก อย่างไรก็ดีในการทดสอบทั่ว ๆ ไป จะมีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก และการแอ่นตัวกลางช่วงให้ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งแยกออกเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จุดที่ควรพิจารณาคือ จุดแตกร้าวเริ่มแรก จุดคลาก และจุดวิบัติ

ส่วนน้ำหนักบรรทุกในการใช้งานจะอยู่ในช่วงก่อนถึงจุดคลาก ส่วนค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) คือสัดส่วนของน้ำหนักที่จุดประลัยต่อน้ำหนักบรรทุกการใช้งานสูงสุด ซึ่งแต่ละมาตรฐานการออกแบบกำหนดให้แตกต่างกันตามความเหมาะสม ค่าที่นิยมใช้จะอยู่ระหว่าง 1.7-2.5 ส่วนของ ACI (318-83) กำหนดให้กำลังประลัยจะต้องมีค่าเกิน 1.4D + 1.7L เมื่อ D = น้ำหนักคงที่ และ L = น้ำหนักจร

การแอ่นตัวที่น้ำหนักการใช้งาน (Δ_s) จะเริ่มวัดจากน้ำหนักบรรทุกจากภายนอกเป็นศูนย์ จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกเท่าที่ระบุเพื่อการใช้งาน พิกัดที่กำหนดให้แตกต่างตามสภาพการใช้งาน ใน ACI (318-83) ระบุตามที่แสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ ถ้าเผื่อเป็นชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง อาจจะต้องพิจารณาการแอ่นตัวเริ่มต้นซึ่งมักจะแอ่นขึ้น (Camber) ส่วนพิกัดเกี่ยวกับการแอ่นตัวขึ้นเริ่มแรก ยังกำหนดไม่แน่นอนแตกต่างตามสภาวะการก่อสร้าง ในกรณีที่ไม่มีเททับหน้าค่าการแอ่นตัวขึ้นจะน้อย แต่ถ้ามีการเททับหน้าปรับระดับใหม่ ก็ยังสามารถจะให้แอ่นตัวได้มากขึ้นค่าอาจแปรได้จาก $L/100$ - $L/360$ ขึ้นอยู่กับความสำคัญของแผ่นพื้นทดสอบอันนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 พิกัดการแอ่นตัว

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	การแอ่นตัวที่พิจารณา	พิกัดการแอ่นตัว
หลังคา - ไม่ได้รองรับ หรือแตะกับชิ้นส่วนที่อาจเสียหายจากการแอ่นตัวมาก	ผลจากน้ำหนักบรรทุกจร	$L/180$
พื้น - ไม่ได้รองรับ หรือแตะกับชิ้นส่วนที่อาจเสียหายจากการแอ่นตัวมาก	ผลจากน้ำหนักบรรทุกจร	$L/360$
พื้น-หลังคา- รองรับหรือแตะกับชิ้นส่วนที่อาจเสียหายจากการแอ่นตัวมาก	ผลจากน้ำหนักบรรทุกจร	$L/480$
พื้น-หลังคา- รองรับหรือแตะกับชิ้นส่วนที่ไม่เสียหายจากการแอ่นตัวมาก	และการแอ่นตัวระยะยาวจากน้ำหนักบรรทุกคงที่	$L/240$

การวิบัติ อาจเกิดได้ 3 ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 8 ทั้งนี้เพราะแผ่นพื้นทั่ว ๆ ไปจะเสริมเหล็กต่ำกว่าจำนวนเหล็กสมดุลย์ (Balanced Design) กล่าวคือ อาจจะวิบัติได้จากแรงเฉือน แรงดัดหรือร่วมระหว่างสองแรงนี้ ในการทดสอบควรจะได้มีการตรวจสอบรอยแตกร้าวควบคู่กับน้ำหนักบรรทุก เพื่อพิจารณาลักษณะการวิบัติประกอบกราฟแสดงน้ำหนักบรรทุก และการแอ่นตัว

ความเหนียวทางโครงสร้าง เป็นพฤติกรรมเชิงดัดที่ควรพิจารณา โครงสร้างที่มีความเหนียวหมายถึง โครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นในการรับแรงได้สูงมีสัญญาณเตือนก่อนการวิบัติ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

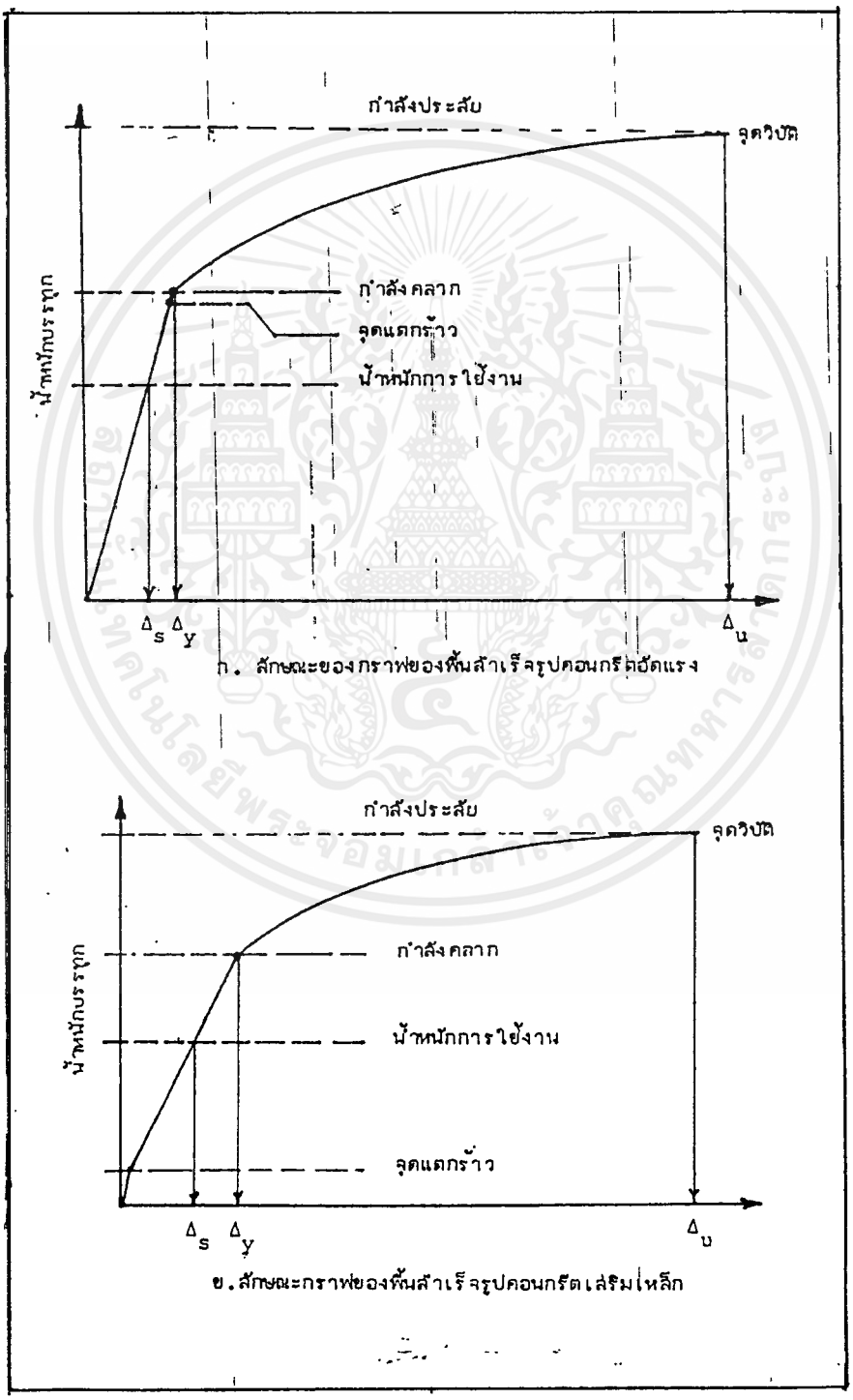
แผ่นพื้นเอ สามารถแอ่นตัวได้สูงจนถึงขั้นที่สามารถฟอร์ม hinge ได้หรือเกิด plastic moment ได้ ในการคำนวณมีผู้ให้นิยามของความเหนียวในรูปของพิกัดการโก่งดัดที่จุดวิบัติเทียบกับที่จุดคลาก (ϕ_u/ϕ_y) แต่ถ้าเป็นโครงสร้างแผ่นพื้นช่วงเดียวอาจพิจารณาจากระยะโก่งงอแทนได้ คือ Δ_u/Δ_y (รูปที่ 7) อย่างไรก็ดีความเหนียวทางโครงสร้างควรมีพิกัดเท่าไหร่จึงจะเหมาะสม ก็ยังคงเป็นที่โต้แย้งกัน แต่ Furlong กำหนดว่าความเหนียวแน่นควรจะเกิน 4 ถึงจะสามารถเกิด Plastic hinge ได้

บทสรุป

แผ่นพื้นสำเร็จรูปเป็นระบบการก่อสร้างที่เอื้ออำนวยประโยชน์อย่างมาก ทั้งในแง่ของคุณภาพ และความประหยัดและความรวดเร็วในการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนตั้งแต่เริ่มต้นขบวนการผลิต การขนส่ง และการติดตั้งจะต้องมีระบบตรวจสอบที่ดีและแน่นอน การทดสอบทั้งในที่และนอกที่ เป็นวิธีการหนึ่งในขบวนการควบคุมคุณภาพ แต่จะสัมฤทธิ์ผลได้ก็ต่อเมื่อการทดสอบนั้นมีข้อมูลอย่างถูกต้องและพอเพียง ตลอดทั้งการพิจารณาผลการทดสอบจะต้องให้สอดคล้องกับการใช้งาน ทั้งในแง่ของน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว ลักษณะการวิบัติ และความเหนียวทางโครงสร้าง

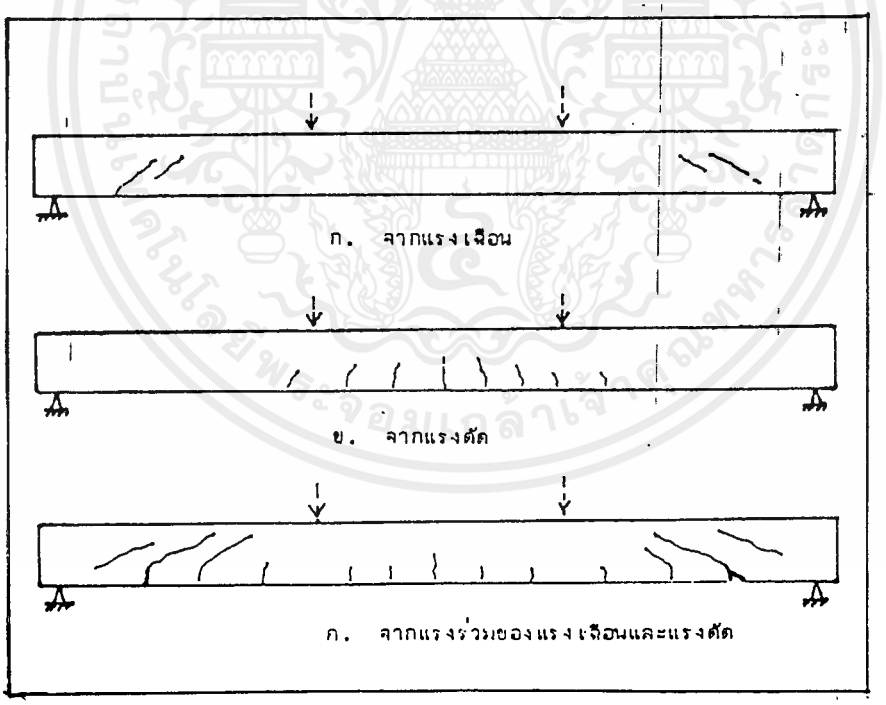
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 กราฟแสดงการรับน้ำหนัก และการแอ่นตัวกลางช่วง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8 ลักษณะการวิบัติจากการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือทดสอบความแข็งของพื้นคอนกรีตซึ่งปูทับหลังพื้นด้วยปูนทราย
(Screed Tester)

โดยทั่วไปหากมองด้วยตาเปล่าจะดูเหมือนว่า คอนกรีตหรือปูนทรายที่ปูทับหลังพื้นนั้นมีความแข็งดีอยู่แล้ว แต่ในความเป็นจริงความแข็งที่มองด้วยตาเปล่านั้นอาจจะอยู่ในระดับที่ไม่ได้มาตรฐานก็เป็นได้ ตามปกติแล้วจะมีมาตรฐานเฉพาะกำหนดไว้ว่า คอนกรีตหรือปูนทรายที่ปูทับหลังพื้นจะต้องอยู่ในสภาพกึ่งแห้ง (semi-dry) ซึ่งถ้าตรวจด้วยมือและสายตาก็แทบจะมองไม่เห็นความผิดปกติเลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นล่าง ๆ ของปูนทรายลงไป ๆ การแข็งตัวที่ไม่ได้มาตรฐานนี้เองจะก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ หากพื้นที่บริเวณนั้น ๆ ถูกใช้งานอย่างหนัก เช่น บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น หรือเป็นพื้นที่ที่จะต้องมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์หรือเฟอร์นิเจอร์ไปมาอยู่บ่อย ๆ ผลลัพธ์ที่ออกมาก็คือ จะต้องเสียเงินมากในการซ่อมแซมปรับปรุงให้กลับคืนมาอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้อีก นั่นก็คือต้องสิ้นเปลืองทั้งเงินและเสียเวลาอีกด้วย

เครื่องมือทดสอบอันนี้ได้ออกแบบมาใช้วัดความแข็งของคอนกรีตหรือปูนทรายที่ปูทับหลังพื้นภายในเวลา 14วันหลังจากปูลงไปแล้ว เครื่องมือชนิดนี้ใช้งานได้ง่ายสมบุกสมบัน และสะดวกในการขนส่งเคลื่อนย้ายเครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วย โลหะทรงกลมที่มีความยาว 1 เมตร และตุ้มวงแหวนที่มีน้ำหนัก 4 กิโลกรัมอีกอันหนึ่ง ที่ปลายสุดของแท่งโลหะทรงกลมนี้ประกอบด้วยก้านเข็ม ตุ้มวงแหวนจะตกลงมากระทบกับบลอกวงแหวนรองแท่งโลหะ ซึ่งแรงตกกระทบอันนี้จะไปมีผลต่อบริเวณที่ต้องการจะทดสอบความแข็ง ทำให้เกิดเป็นหลุมหรือรอยเข็มกดขึ้นตรงจุดทดสอบ

หลักการทำงานของเครื่องมือตั้งอยู่บนพื้นฐานของผลกระทบ หรือความลึกที่เกิดจากการตกกระทบของตุ้มวงแหวนที่กดลงไปบนเข็มบนพื้นปูนทราย การตรวจสอบทำโดยตอกลงไป 4 หลุม หลุมใดก็แล้วแต่ของบริเวณที่ต้องการทดสอบหากวัดความลึกของหลุมได้ 3 มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า ถือได้ว่าบริเวณดังกล่าวมีความแข็งที่ได้มาตรฐานแต่ส่วนของพื้นที่ที่ทำการทดสอบหลังจากตอกลงไป 4 หลุมแล้วสามารถวัดความลึกได้มากกว่า 5 มิลลิเมตร สันนิษฐานได้เลยว่า บริเวณดังกล่าวมีความแข็งที่ไม่ได้มาตรฐาน และอาจเกิดอันตรายและความเสียหายขึ้นได้ หากมีการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

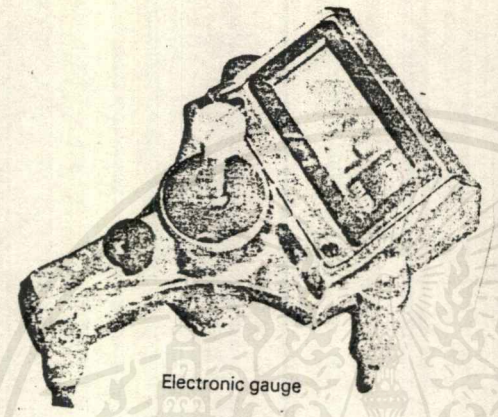
ในพื้นที่บริเวณนั้น ความลึกของหลุมดังกล่าวสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดชนิดพิเศษ

เครื่องมือทดสอบชนิดนี้ แบ่งออกเป็นแท่งโลหะ 3 แท่ง พร้อมกับเครื่องมือวัดความลึกของหลุม (มีทั้งชนิดเครื่องจักรและชนิดไฟฟ้า) ทั้งหมดนี้บรรจุอยู่ในกระเป๋าถือ (ขนาด 515 x 375 x 125 มม.) มีน้ำหนักรวม 9.75 กิโลกรัม ส่วนรายละเอียดของเครื่องมือมีดังนี้

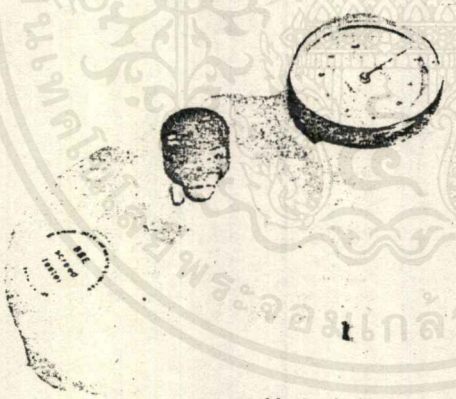
- ลูกตุ้มวงแหวนหนัก 4 กิโลกรัม
- ระยะความสูงของการตกของลูกตุ้ม 100 มิลลิเมตร
- บริเวณสัมผัสของหัวเข็ม 500 มม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือทดสอบความแข็งของพื้นคอนกรีต ซึ่งปูทับหลังพื้นด้วยปูนทราย



Electronic gauge



Mechanical gauge

Screed Tester

The method for assessing the quality of sand/cement screeds.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การวิบัติอันเกิดจากแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นดินไหวกับอาคาร

ในระยะไม่กี่ปีมานี้ได้เกิดแผ่นดินไหวที่จัดว่ารุนแรงหลายครั้ง ซึ่งมีจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณประเทศไทยหรือบริเวณใกล้เคียง และมีขนาดใหญ่พอที่จะส่งผลให้อาคารสั่นไหว โดยเฉพาะอาคารสูง จนประชาชนรู้สึกตระหนกตกใจ เหตุการณ์ที่สำคัญ ๆ ได้แก่

แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 เมษายน 2526 ขนาด 5.8 หน่วยริกเตอร์ จุดศูนย์กลางอยู่ที่อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี

ในวันที่ 6 พฤศจิกายน 2531 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.3 ริกเตอร์ ที่พรมแดนจีนและพม่า ถึงแม้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวนั้นอยู่ห่างไกลจากกรุงเทพมหานครมาก แต่ความรุนแรงของแผ่นดินไหวประกอบกับสภาพทางปฐพี ซึ่งเป็นชั้นดินอ่อน ยังผลให้เกิดการขยายของคลื่นแผ่นดินไหว ทำให้อาคารสูงสั่นไหวจนประชาชนรู้สึกได้ อีกไม่ถึงปีต่อมา

เมื่อปลายเดือนกันยายนต่อกับต้นเดือนตุลาคม 2532 ได้เกิดแผ่นดินไหวหลายระลอกที่พรมแดนไทยกับพม่าใกล้เชียงใหม่ ครั้งสำคัญ ได้แก่ แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 29 กันยายน 2532 ขนาด 5.5 ตามมาตราริกเตอร์ และเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2532 วัดได้ 6.0 หน่วยริกเตอร์ ประชาชนในเชียงใหม่รู้สึกแผ่นดินไหวอย่างรุนแรง ไม่ว่าจะอยู่ในอาคารเตี้ย ๆ หรืออาคารสูง ๆ ดังนั้น ผลกระทบของแผ่นดินไหวต่ออาคารจึงเป็นที่สนใจของประชาชนทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านความปลอดภัยเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหว เกิดขึ้นได้อย่างไร

โลกของเรามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12,800 กิโลเมตร (ก.ม.) ที่ผิวโลกเป็นเปลือกที่แข็ง (crust) ความหนาประมาณ 5-50 ก.ม. ถัดจากเปลือกโลกไปเป็นชั้นที่เรียกว่า **แมนเทิล** (mantle) ซึ่งมีสภาพเป็นของแข็งที่ร้อนกว่าและมีการเคลื่อนตัว ชั้นแมนเทิลหนาประมาณ 2,900 ก.ม. และอยู่ล้อมรอบแกนของโลกซึ่งอยู่ในสภาพของเหลวที่ร้อน ชั้นของเปลือกโลกและชั้นในของโลกมีแรงกระทำซึ่งกันและกัน (interaction) ทำให้เกิดพลังงานสะสมอยู่ในเปลือกโลก กระบวนการนี้เรียกว่า **กระบวนการเทคโทนิค** (tectonic process) พลังงานที่สะสมจะทำให้เปลือกโลกเกิดแรงภายในขึ้นในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น แรงอัด หรือแรงเฉือน เป็นต้น เมื่อความเค้น (แรงต่อหน่วยพื้นที่) สะสมในเปลือกโลกเกินกว่ากำลังที่มันจะรับได้ก็เกิดการแตกเลื่อนขึ้น และพลังงานที่สะสมไว้ก็ถูกระบายออกมาปรากฏเป็นแผ่นดินไหว

ยังมีแผ่นดินไหวที่อาจเกิดจากสาเหตุอื่น เช่น จากภูเขาไฟระเบิด หรือจากผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำของมนุษย์ เช่น การระเบิดเหมือง การกักเก็บน้ำจำนวนมหาศาลในเขื่อน เป็นต้น แผ่นดินไหวเหล่านี้มีขนาดไม่ใหญ่มาก

แผ่นเทคโทนิคและรอยเลื่อน

ในทฤษฎีของกระบวนการเทคโทนิค นักวิทยาศาสตร์ เชื่อว่าเปลือกโลก (รวมทั้งส่วนบนของแมนเทิลบางส่วน) ประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเรียกว่าแผ่นเทคโทนิค(tectonic plate) จำนวน 15 แผ่น ซึ่งเคลื่อนที่สัมพันธ์กันตามรอยต่อของแผ่นเลื่อน เมื่อเกิดการระบายพลังงาน มักจะเกิดการแตกแยกของชั้นหิน เกิดเป็นแนวเลื่อน (fault) ความยาวของรอยเลื่อนขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหว ถ้าแผ่นดินไหวรุนแรงก็จะเกิดรอยเลื่อนยาวแสดงรอยเลื่อนสำคัญๆ ในภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย

ขนาดของแผ่นดินไหว

ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) เป็นค่าบอกขนาดของแผ่นดินไหวเชิงประมาณโดยสัมพันธ์ทางอ้อมกับปริมาณพลังงานที่ระบายออกมาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ดังนั้นขนาดของแผ่นดินไหวจึงไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่รายงานสเกลที่ใช้บอกขนาดของแผ่นดินไหวที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ริกเตอร์ (Richter) ซึ่งสัมพันธ์กับ logarithm (ฐาน 10) ของระยะเคลื่อนที่มากที่สุดที่วัดโดยเครื่องตราจวัดแผ่นดินไหวชนิด Wood-anderson

แผ่นดินไหวขนาด 5.0 ขึ้นไปเป็นขนาดที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่อาคารได้ (ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับระยะห่างด้วย) ขนาดแผ่นดินไหวที่เพิ่มขึ้นทีละ 1.0 หน่วยริกเตอร์จะเป็นแผ่นดินไหวที่ปลดปล่อยพลังงานเพิ่มขึ้น 31 เท่าไม่ใช่ 10 เท่าที่มักเข้าใจกัน ขนาดของแผ่นดินไหวที่ใหญ่ที่สุดเท่าที่เคยบันทึกมาคือ แผ่นดินไหวโคลัมเบีย เอกวาดอร์ (ค.ศ. 1906) และที่ Sanriku ญี่ปุ่น (ค.ศ. 1933) ซึ่งต่างมีขนาด 8.9 ริกเตอร์

ผลของแผ่นดินไหวต่ออาคาร

เมื่อพื้นดินเขย่าอันเป็นผลมาจากแผ่นดินไหว ฐานรากของอาคารจะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปโดยเหตุที่อาคารมีมวลเฉื่อยจึงยังไม่ทันเคลื่อนที่ออกไปทันที ทำให้เกิดการโก่งตัวขึ้นในอาคาร แรงภายในอาคารก็เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้อาคารสั่นไหวตามมา อาจทดลองง่ายๆ โดยนำไม้บรรทัดที่อ่อนพอสมควรมาจับไว้ที่ปลายล่างแล้วเขย่าไปมา จะเห็นไม้บรรทัดแกว่งไปมา

การสั่นสะเทือนของอาคารจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่สำคัญ ได้แก่ **ลักษณะสมบัติของอาคาร** (เช่น เป็นอาคารอ่อนหรือแข็ง มีความหน่วงมากน้อยเพียงไร) **ลักษณะ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคลื่นแผ่นดินไหวที่จุดกำเนิด (มีส่วนประกอบของคลื่นความถี่ต่าง ๆ อย่างไร) **และระยะเวลาของการสั่นไหว ระยะทางจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวมายังสถานที่ตั้ง และลักษณะของชั้นดินที่ตั้งอาคาร**

มักจะเกิดความเข้าใจผิดเสมอว่า ความรุนแรงของแผ่นดินไหว (ที่มีต่ออาคาร) ขึ้นอยู่กับขนาดแผ่นดินไหวอย่างเดียว จึงมักมีคำถามเช่น อาคารของคุณสามารถต้านทานแผ่นดินไหวขนาดกี่ริกเตอร์ เป็นต้น แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ๆ เช่น ขนาด 8.1 หน่วยริกเตอร์ เกิดที่เม็กซิโกเมื่อ พ.ศ. 2528 นั้น มิได้มีผลต่ออาคารในบ้านเราเลยแม้แต่น้อย เพราะจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ห่างจากประเทศเรามาก ในทางตรงกันข้ามคลื่นแผ่นดินไหวขนาดเพียง 5.5 หน่วยริกเตอร์ ซึ่งเกิดขึ้นที่กาญจนบุรี ทำให้เรารู้สึกการสั่นไหวได้ชัดเจน

สิ่งที่เข้าใจผิดกันเสมออีกประการหนึ่งคือ อาคารเตี้ย ๆ จะปลอดภัยจากแผ่นดินไหวซึ่งก็ไม่จริงเสมอไป ขึ้นอยู่กับว่าจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ห่างไกลออกไปมากน้อยเพียงไร และสภาพทางปฐพีของสถานที่ตั้งอาคารสำหรับแผ่นดินไหวที่อยู่ใกล้ ๆ และพื้นดินเป็นหินแข็ง อาคารเตี้ย ๆ จะมีคาบความถี่ธรรมชาติอยู่ในย่านความถี่สำคัญของแผ่นดินไหว อาคารนั้นก็จะได้รับแรงมากและสั่นไหวมากได้ เพราะโอกาสเกิดการขยายการสั่นสะเทือน (resonance) มีมาก ส่วนอาคารสูงจะได้รับอิทธิพลน้อยกว่า ในทางตรงกันข้ามสำหรับจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่อยู่ห่างไกลออกไปคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความถี่สูงจะถูกกรองออกไปโดยพื้นดินมากจะเหลือคลื่นชนิดความถี่ต่ำ ในกรณีนี้คลื่นที่มาถึงสถานที่ตั้งอาคารจะมีผลต่ออาคารสูงมากกว่าอาคารเตี้ย และหากสภาพทางปฐพีเป็นดินอ่อนคลื่นจะถูกขยายขึ้นอีก

สำหรับแผ่นดินไหวที่เชียงใหม่เมื่อวันที่ 29 กันยายน และวันที่ 1 ตุลาคม 2532 นั้นได้ข้อสรุปดังนี้

ก. จากการรายงานจากผู้ที่เกี่ยวข้องได้เกิดการแตกร้าวบ้างในผนังอิฐ (ซึ่งไม่ใช่ส่วนที่ออกแบบให้รับกำลังต้านทานแรงด้านข้าง) ในอาคารสูง ๆ ไม่ได้รับรายงานว่าเกิดความเสียหายแก่โครงสร้างส่วนรับกำลัง เช่น คาน เสา

ข. อาคารเตี้ย ๆ เช่น ตึกแถว 2-3 ชั้น อาคารที่ทำการศูนย์พยากรณ์อากาศภาคเหนือ อาคารเรียนในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อาคารผู้โดยสารของสนามบินเชียงใหม่ ไม่ปรากฏความเสียหายแต่ประการใด

ค. อาคารที่ค่อนข้างบอบบางที่สำรวจหลังหนึ่งก็ไม่ปรากฏความเสียหายได้แก่อาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จอดรถจักรยานยนต์ 4 ชั้นครึ่ง (มีชั้นใต้ดินครึ่งชั้น) อาคารหลังนี้มีเสาค่อนข้างเล็กและเสาบางต้นยังเป็นเสาที่เตี้ยมากด้วย ซึ่งเป็นจุดอ่อน แรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจะต้องรับโดยเสาเพียงอย่างเดียว ไม่มีผนังมาช่วยด้วยดังเช่นอาคารทั่ว ๆ ไป เสาต้นเตี้ยที่กล่าวถึงจะต้องรับแรงมาก แต่ก็ไม่เกิดการเสียหาย

ง. อาคาร/โครงสร้างที่เทียบได้ว่าเป็นอาคารค่อนข้างสูง (เทียบความสูงต่อความกว้างของฐาน) ในเชียงใหม่ ได้แก่ สถานีเรดาร์ตรวจอากาศสูง 7 ชั้น หอสูงถังเก็บน้ำ ก็ไม่ปรากฏความเสียหายแต่อย่างใด

2. เป็นที่น่าสังเกตว่าแผ่นดินไหวหลายครั้ง ซึ่งทำให้อาคารสั่นไหวนั้นมีขนาดไม่น้อย คือ 5.5-6.0 หน่วยริกเตอร์ขึ้นไป แผ่นดินไหวขนาดนี้ ได้เคยก่อให้เกิดการพังทลายแก่อาคารไม่ว่าเป็นอาคารสูงหรืออาคารเตี้ยในต่างประเทศมาหลายแห่งแล้ว เช่น ซาคราเมนโต มลรัฐ-แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา เมื่อราว2ปีก่อน และในปีเดียวกันที่ประเทศจีน เมื่อวันที่ 19 ตุลาคม (ขนาด 5.7-6 หน่วยริกเตอร์) มีผู้เสียชีวิตราว 18 คน และที่ แอลจีเรีย เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม ขนาด 6 หน่วยริกเตอร์ มีผู้เสียชีวิต 19 คน โดยมากอาคารที่พังเป็นอาคารประเภทที่ไม่ได้รับการออกแบบและก่อสร้างให้ถูกหลักวิชาการ เพื่อให้ต้านทานการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว หรือเป็นอาคารก่ออิฐแบบเก่าที่ไม่มีเหล็กเสริม

3. ถึงแม้จะไม่ปรากฏความเสียหายแก่ส่วนโครงสร้างในประเทศ แต่จากการเกิดแผ่นดินไหวถี่มากขึ้น และขนาดความรุนแรงมีแนวโน้มมากขึ้นในระยะเวลาไม่กี่ปีมานี้ รวมทั้งขนาดของแผ่นดินไหวอยู่ในขั้นที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายพอประมาณได้ ถ้าจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ใกล้พอและไหวนานพอ ทำให้มีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาผลของแผ่นดินไหวในการออกแบบและก่อสร้าง อาคาร สะพาน เขื่อน และโครงสร้างอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่ใกล้แนวเลื่อน เช่น กาญจนบุรี เชียงใหม่ เชียงราย ฯลฯ และในเขตกทม. ซึ่งมีความหนาแน่นของประชาชนและสิ่งก่อสร้างมาก

4. ปัญหาต่อไปคือ เราควรออกแบบอาคารให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวเพียงไร งานวิศวกรรมต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอันดับแรก และความประหยัดควบคู่กันไปด้วย เราคงไม่ออกแบบอาคาร ให้สามารถรับแรงซึ่งเทียบได้กับที่เกิดขึ้นในถิ่นที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหวมากในต่างประเทศซึ่งก็จะสิ้นเปลืองเกินไป ในทางตรงข้ามก็ไม่ควรเลี่ยง ที่จะไม่คำนึงถึงผลของแผ่นดินไหวเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงจากแผ่นดินไหวที่เหมาะสมนำมาออกแบบอาคารนั้น ต้องได้รับการศึกษาและพิจารณาอย่างรอบคอบ หาไม่แล้วจะทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจโดยไม่จำเป็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากมูลค่าของการก่อสร้างอาคารปีหนึ่ง ๆ ในส่วนโครงสร้างคิดเป็นเงินประมาณ 40,000 ล้านบาท หากต้องสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นเพียง 3% จะเป็นเงินประมาณ 1,200 ล้านบาทต่อปี

หนทางออกที่ดีที่ควรทำทันที โดยกระทบกระเทือนงบประมาณการก่อสร้างน้อยมาก (อาจไม่เกิน 1% ของค่าก่อสร้าง) คือควรคำนึงถึงการออกแบบรายละเอียด (detailing) และการออกแบบชิ้นส่วนเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียว

ข้อแนะนำสำหรับการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว

1. **รูปทรงเรขาคณิต** ควรจัดให้ค่อนข้างสมมาตรในแปลน และหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงสติฟเนส และกำลังของชิ้นส่วนอย่างกะทันหันในแนวตั้ง หากตั้ง หากผิดไปจากนี้ ต้องวิเคราะห์อย่างละเอียด

2. **วัสดุก่อสร้างและคุณภาพการก่อสร้าง** ต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอได้มาตรฐานและก่อสร้างโดยช่างฝีมือได้คุณภาพดี

3. **โครงสร้างต้องห้าม** ต้องหลีกเลี่ยงไม่ใช้โครงสร้างเปราะเช่น โครงสร้างอิฐล้วนหรือคอนกรีตไร้เหล็กเสริม เป็นต้น โครงสร้างเหล่านี้จะวิบัติได้ง่ายมากเมื่อเกิดแผ่นดินไหวรุนแรง

4. **ฐานราก** ควรมีการยึดโยงกับส่วนบนเพียงพอ และควรพิจารณาความเหนียวเช่นเดียวกับโครงสร้างส่วนอื่นด้วย

5. **ความแข็งแรงของเสาเทียบกับคาน** ควรให้กำลังของเสามากกว่าเมื่อเทียบกับคานเนื่องจากเสาเป็นส่วนที่สำคัญมาก หากเสาหักพังจะทำให้ส่วนอื่น ๆ วิบัติตามมาด้วย

6. **ปริมาณเหล็กเสริม** ต้องเสริมให้ชิ้นส่วนมีปริมาณเหล็กเสริมต่ำ (under-rein-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

forced) เพื่อให้ชิ้นส่วนมีความเหนียว

7. **ข้อต่อ** เป็นจุดอ่อนที่สุดของโครง (ductility) เพียงพอควบคู่ไปกับการออกแบบตามปกติที่กระทำกันอยู่แล้ว ความเหนียวคือ คุณสมบัติที่โครงสร้างสามารถโก่งตัวหรือสั่นไหวกลับไปกลับมาได้มาก โดยที่โครงสร้างยังสามารถคงกำลังไว้ได้ ไม่หักพังทันทีทันใด โครงสร้างที่มีความเหนียวพอได้เคยพิสูจน์มาแล้วในต่างประเทศ ว่าสามารถอยู่รอดได้ในแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นรุนแรงกว่าที่ได้คาดเอาไว้อีกด้วย เป็นประหนึ่งว่าความเหนียวทำให้โครงสร้างมีกำลังสำรองพิเศษ ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เช่น เวลาเกิดแผ่นดินไหว สร้างและมักถูกมองข้ามไป ต้องออกแบบรายละเอียดให้ข้อต่อสามารถยึดโยงชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ให้ไปด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น จะต้องล้างเหล็กคานให้ลึกเข้าไปในเสาต้นริม ในกรณีโครงเหล็กต้องเชื่อมรอยต่อชิ้นส่วนให้ดี และมีกำลังของรอยเชื่อมเพียงพอ เป็นต้น การยึดต่อชิ้นส่วน โดยสกัดผิวหน้าเสาแล้วเอาเหล็กคานมาเกี่ยวไว้ อย่างที่ชอบทำกันในการต่อเติมตึกแถว เป็นสิ่งที่ไม่ควรทำเมื่อเกิดการโยกกลับไปกลับมามากพอจากแผ่นดินไหว ข้อต่อลักษณะนี้อาจแตกหลุดไปได้

ในกรณีที่วางชิ้นส่วนสำเร็จรูป เช่น พื้น หรือ คาน ลงบนชิ้นส่วนรองรับจำต้องระมัดระวังให้มีเนื้อที่รองรับมากพอ ไม่เช่นนั้นชิ้นส่วนสำเร็จอาจหลุดออกจากฐานรองรับเวลาเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงได้ นอกจากนี้ควรมีเหล็กเสริมโดเวลยึดชิ้นส่วนสำเร็จรูปกับคอนกรีตทับหน้า ซึ่งควรเหยียดชิ้นส่วนให้ติดต่อกัน

8. **เหล็กปลอก** เป็นส่วนสำคัญมากที่ทำให้ชิ้นส่วนมีความเหนียว เสาต้องมีเหล็กปลอกรัดไว้เพียงพอ อย่างน้อยตามข้อกำหนดของมาตรฐานเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและเหล็กปลอกต้องผูกให้มีข้อถูกต้องตามหลักวิชาด้วย เสาที่มีเหล็กปลอกน้อยเกินไปจะเกิดการวิบัติของเหล็กปลอกได้ง่าย ซึ่งตามมาด้วยการโก่งเดาะของเหล็กยืนในเสา ผลก็คือเสาแตกหักรับกำลังไม่ได้ ซึ่งมีตัวอย่างมามากแล้วในต่างประเทศ

ทั้งเสาและคานต้องเสริมเหล็กปลอกเสริมเพียงพอ เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนวิบัติโดยแรงเฉือน ซึ่งเป็นลักษณะการวิบัติแบบเปราะ

9. **ระบบสำรอง** ในกรณีของอาคารสำคัญเช่นอาคารสาธารณะ หรืออาคารสูงมากอาจจำเป็นต้องพิจารณาให้ระบบโครงสร้างมีระบบกำลังสำรองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะแนะนำการกำหนดรูปแบบของอาคารอย่างง่าย ๆ เพื่อให้อาคารสามารถรับแรงจากแผ่นดินไหวลงได้บ้าง การกำหนดรูปแบบอาคารโดยปกติ มักจะเป็นหน้าที่รับผิดชอบของสถาปนิก โดยที่วิศวกรโครงสร้างมีส่วนเกี่ยวข้องด้วยน้อยมากหรือไม่มีเลย ต่อเมื่อสถาปนิกได้กำหนดรูปร่างอาคารเรียบร้อยแล้ว จึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรโครงสร้างที่จะออกแบบองค์อาคาร ดังนั้น หากวิศวกรโครงสร้างมีโอกาสกำหนดรูปแบบอาคารร่วมกับสถาปนิกและนำข้อแนะนำในหัวข้อนี้ไปใช้ ก็น่าที่จะก่อให้เกิดประโยชน์บ้าง

ลักษณะและคุณสมบัติของอาคาร

1. **อาคารสูงแบบชั้นล่างโปร่ง** อาคารสำนักงานโดยทั่วไป เพื่อประโยชน์ด้านสถาปัตยกรรมและเป็นการสร้างบรรยากาศให้ประชาชนอยากเข้าไปใช้อาคาร มักจะออกแบบให้ชั้นล่างสูงโปร่งมีจำนวนเสาน้อย อาคารลักษณะนี้บริเวณชั้นล่างจะเป็นจุดอ่อน ทำให้เวลาเกิดแผ่นดินไหวการเคลื่อนตัวของพื้นตั้งแต่ชั้นสองขึ้นไปจะมาก เสาชั้นล่างซึ่งชะลูด หากไม่สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวนี้ อาคารอาจพังทลายลงได้

ตัวอย่างในกรณีนี้ คือ อาคาร IMPERIAL COUNTY SERVICE BUILDING เมือง EL CENTRO รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นอาคารที่ได้รับการออกแบบโครงสร้างอย่างดีตาม CALIFORNIA'S SEISMIC CODE แต่พังทลายอย่างสิ้นเชิง ขณะเกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางในวันที่ 15 ตุลาคม 1979 โดยที่มีอายุการใช้งานอาคารเพียง 10 ปี หากเรายกตู้เสื้อผ้าขึ้นวางบนขวดน้ำ โดยใช้ขวดเป็นขาตู้ แล้วลองออกแรงผลักตู้เบา ๆ จะทำให้เกิดภาพพจน์ได้อย่างดีว่าอาคารประเภทนี้จะพังทลาย ในขณะเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างไร

2. **อาคารสูงและบาง** อาคารสูงซึ่งมีลักษณะบางยาว เวลาเกิดแผ่นดินไหวหากทิศทางการเคลื่อนที่ของพื้นดินขนานกับด้านยาวของอาคาร ตัวอาคารจะเอนเอียงน้อย เพราะโครงอาคารซึ่งประกอบด้วยเสาและคานหลายตัวยึดติดกัน จะช่วยกันต้านการเคลื่อนที่ได้ดีในทางตรงกันข้าม หากทิศการเคลื่อนที่ของพื้นดินขนานกับด้านแคบ ตัวอาคารจะเอนเอียงไปมากกว่า เพราะโครงสร้างของอาคารด้านแคบอ่อนไหวกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หากเรามีอาคารประเภทนี้ 2 หลังสร้างในบริเวณเดียวกันโดยมีด้านยาวตั้งได้ฉากกันเวลาเกิดแผ่นดินไหวอาคารที่ด้านยาวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของพื้นดิน จึงมีโอกาสรอดพ้นจากภัยพิบัติได้มากกว่า

เราอาจอาศัยความรู้นี้ไปใช้ในการจัดวางอาคาร เช่น ในบริเวณกรุงเทพฯ หรือที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาในภาคกลาง เรารู้ว่าแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อบริเวณนี้ มักมีศูนย์กลางอยู่ในแถบทะเลอันดามันหรือตามแนวรอยแยกของแผ่นดินแถบเทือกเขาด้านทิศตะวันตกของประเทศไทย และมีทิศทางการเคลื่อนที่ของพื้นดินในแนวตะวันออก-ตก ดังนั้น ถ้าเราจะสร้างอาคารประเภทนี้ในบริเวณนี้การจัดวางอาคารโดยให้ด้านยาวอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ตก ก็จะช่วยให้อาคารมีความปลอดภัยต่อแผ่นดินไหวมากยิ่งขึ้น

โดยปกติ การจัดวางรูปแบบอาคารมักถูกกำหนดโดยลักษณะของที่ดินที่มีอยู่ เทศบัญญัติเรื่องความสูงอาคาร การใช้งานของอาคาร ฯลฯ ในบางครั้งการจัดวางอาคารตามที่ได้แนะนำไว้ในที่นี้ เป็นเรื่องที่ทำได้ยากและในบางกรณีอาจทำไม่ได้เลย

3. อาคารรูปตัว L ก็คือ อาคารสูงบาง ในข้อ 2 ซึ่งมีปลายเชื่อมติดกันและแกนตั้งได้ฉากกัน เวลาเกิดแผ่นดินไหวปีกด้านหนึ่งของอาคารจะเคลื่อนที่มากกว่าอีกด้านหนึ่ง หรือปีกทั้งสองข้างอาจเคลื่อนที่คนละทิศทาง เป็นเหตุให้เกิดการฉุดกระชากกัน ระหว่างปีกอาคารแต่ละด้านทำให้เกิดการแตกร้าวในบริเวณนี้ หากแผ่นดินไหวรุนแรงคานและเสาอาคารอาจถูกดึงหลุดจากกันได้

ในแง่ของแผ่นดินไหว อาคารรูปตัว L จึงไม่ค่อยจะเหมาะสมนัก แต่ถ้าหากสภาพพื้นที่บังคับให้จำเป็นต้องออกแบบเป็นรูปตัว L ทางที่ดีควรจะออกแบบโครงสร้างให้ปีกของอาคารตัดขาดจากกันอย่างสิ้นเชิง ในบริเวณกรุงเทพฯ หรือลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ควรให้รอยตัดขาดอยู่ในแนวตะวันออก-ตก เพื่อว่าเวลาเกิดแผ่นดินไหว ปีกอาคารแต่ละด้านจะสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกไม่เหนี่ยวรั้งหรือฉุดกัน

4. อาคารต่างระดับ เนื่องจากข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร หรือเทศบาลเมืองอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องควบคุมการก่อสร้างอาคาร ได้กำหนดความสูงของอาคารไว้ไม่ให้เกินสองเท่าของระยะจากผนังอาคารด้านหน้าจดแนวถนนฝั่งตรงข้าม ในการออกแบบอาคารสูงขึ้นซึ่งอยู่ติดถนน ผู้ออกแบบจึงมักจะหาทางออกโดยให้อาคารหลังเดียวกันมีความสูงไม่เท่ากัน กล่าวคือ ส่วนของอาคารที่อยู่ใกล้ถนนจะสูงระดับหนึ่ง ส่วนของอาคารที่อยู่ลึกจากถนนเข้าไปจะสูงขึ้นอีกระดับหนึ่ง เป็นต้น

อาคารลักษณะนี้เวลาเกิดแผ่นดินไหว ส่วนของอาคารที่มีความสูงไม่เท่ากัน อาจไม่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน เป็นเหตุให้บริเวณเชื่อมต่อมีการฉุดกระชากหรือกระทบกันเป็นอันตรายได้ เราอาจลดความเสียหายได้ ด้วยการออกแบบให้ส่วนที่ต่างระดับเป็นอาคารแยกออกจากกันพอสมควร

5. **ความถี่ธรรมชาติของอาคาร (NATURAL FREQUENCY)** หากเราลองเอาไม้บรรทัดจับปลายด้านหนึ่งกดให้แน่นบนโต๊ะ ใช้มืออีกข้างง้างปลายบนให้เบนออกจากฐานแล้วปล่อย ปลายไม้บรรทัดจะแกว่งไกวจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งด้วยความถี่หนึ่งจนหยุดนิ่ง การแกว่งไกวของอาคารสูงเนื่องจากแผ่นดินไหวก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ความถี่ของการแกว่งไกวของอาคารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ขนาดของอาคาร ช่วงห่างระหว่างเสาและคาน ความสูงของอาคารและวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ความถี่ของการแกว่งนี้เป็นลักษณะเฉพาะตัวตามธรรมชาติของอาคารแต่ละหลัง ซึ่งจะไม่เท่ากัน แต่อาจใกล้เคียงกันได้

ลองนึกถึงการเล่นชิงช้า เมื่อชิงช้าแกว่งถึงจุดสูงสุด ผู้เล่นจะออกแรงดันนิดหนึ่งทำให้ชิงช้าแกว่งในคาบต่อไปสูงขึ้น การออกแรงดันเพียงเล็กน้อยในช่วงจังหวะที่เหมาะสมจะสามารถทำให้ชิงช้าแกว่งสูงขึ้นได้เรื่อย ๆ เราอาจจะเปรียบเทียบอาคารกับตัวชิงช้า และการสั่นสะเทือนของพื้นดินในเวลาเกิดแผ่นดินไหวกับผู้เล่นชิงช้า การสั่นสะเทือนของพื้นดินเวลาเกิดแผ่นดินไหวมีลักษณะเป็นคลื่นมีความถี่ หากความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของอาคาร เมื่อใดจะเสริมให้อาคารแกว่งมากขึ้น ทำนองเดียวกับการเล่นชิงช้า ดังนั้น แม้ว่าในบางครั้งแผ่นดินไหวอาจจะมีขนาดไม่รุนแรงนัก แต่ถ้าความถี่เกิดไปตรงกับความถี่ธรรมชาติของอาคารก็อาจทำให้อาคารพังทลายได้เช่นกัน

การสั่นสะเทือนของพื้นดิน ขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยาของแต่ละพื้นที่ บริเวณซึ่งตั้งอยู่บนชั้นหินแข็ง คลื่นแผ่นดินไหว มักจะมีช่วงคลื่นสั้นและความถี่สูง ตรงกันข้ามกับบริเวณซึ่งตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อน เช่น ในกรุงเทพฯ ความสั่นสะเทือนมักจะมีช่วงคลื่นยาวและความถี่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเรารู้ว่าคลื่นความถี่ของแผ่นดินไหวที่มักจะเกิดในบริเวณที่จะก่อสร้างเป็นเท่าใด เราอาจลดอันตรายนี้ได้ โดยออกแบบให้โครงสร้างมีความถี่แตกต่างออกไป ตัวอย่างเช่น จากข้อมูลที่แล้ว ๆ มา การเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณเม็กซิโกซิตี้ประเทศเม็กซิโก จะมีคาบของความถี่ (PERIOD) ประมาณ 2 วินาที เรารู้อีกว่าอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีความสูงระหว่าง 7 ถึง 15 ชั้น ก็มีคาบความถี่ประมาณนี้ ดังนั้น ในบริเวณแถบพื้นที่ดังกล่าว เราควรหลีกเลี่ยงการก่อสร้างอาคารที่มีความสูงระหว่าง 7-15 ชั้น แต่ถ้าเลี่ยงไม่ได้เราก็ต้องหาวิธีอื่นแก้ไข เช่น ใส่ DIAGONAL BRACING ซึ่งจะช่วยลดคาบของการแกว่งลง เป็นต้น

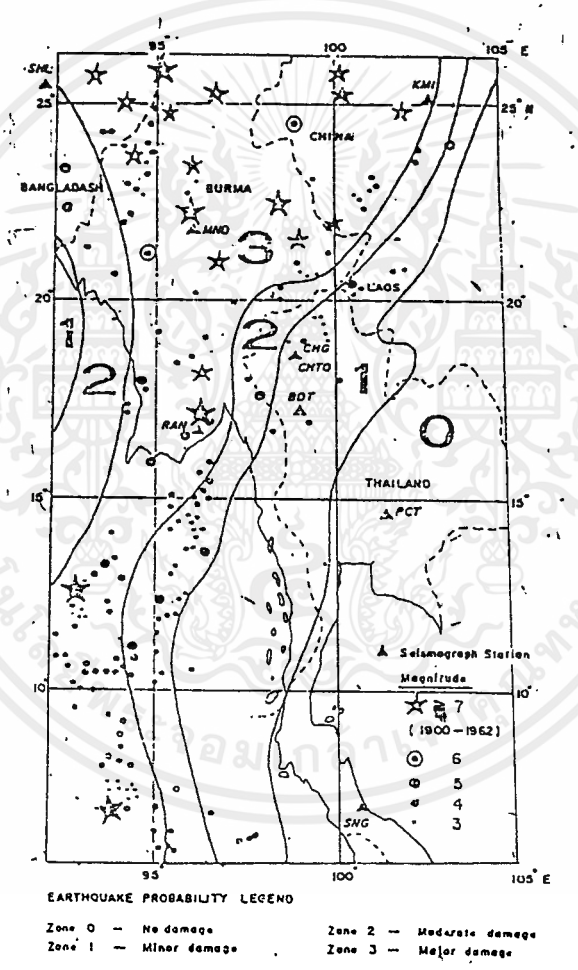
เนื่องจากในประเทศเรามีแผ่นดินไหวรุนแรงที่พอจะรู้สึกได้ไม่บ่อยนัก ทำให้เราขาดการเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือนของพื้นดินในแต่ละพื้นที่ เพิ่งจะมีการเก็บข้อมูลอย่างจริงจังในเร็ว ๆ นี้เอง จำนวนเครื่องวัดความสั่นสะเทือนในประเทศมีน้อยมาก และมักจะติดตั้งในบริเวณที่ก่อสร้างเขื่อนเป็นส่วนใหญ่ ในปัจจุบันเราจึงยังขาดข้อมูลการสั่นสะเทือนนี้อยู่มาก

6. **อาคารสร้างชิดกัน** เนื่องจากอาคารสามารถสร้างชิดเขตที่ดินได้ หากด้านที่ชิดเขตเป็นผนังทึบตลอด เราจึงมักเห็นตึกแถวสร้างชิดกันมาก บางแห่งโครงสร้างอยู่ติดกันเลย มีเพียงกระดาษถุงปูนเป็นตัวกั้นเท่านั้น บางแห่งจะเว้นร่องกว้างประมาณหนึ่งนิ้ว เป็นต้น ในกรณีของอาคารสูงหากอาคารสองหลังอยู่ใกล้กันมาก เวลาเกิดแผ่นดินไหวตัวอาคารอาจแกว่งกระทบกัน ถึงแม้ว่าการแกว่งไกวจะไม่รุนแรง แต่เนื่องจากอาคารแต่ละหลังมีมวลสารมาก การกระทบกันเพียงเล็กน้อยก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้

7. **ความเหนียว (DUCTILITY)** เมื่อเกิดแผ่นดินไหวองค์อาคารต่าง ๆ จะเคลื่อนตัวไปจากจุดที่อยู่เดิม การเคลื่อนตัวนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงในองค์อาคาร หากวัสดุที่ใช้ทำองค์อาคารไม่สามารถต้านแรงนี้ได้ องค์อาคารก็จะแตกหัก ดังนั้น อาคารที่จะต้านทานแผ่นดินไหวได้ดีจึงควรจะมีความเหนียว สามารถยืดหยุ่นได้โดยไม่แตกหัก ในกรณีของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เราสามารถเพิ่มความเหนียวแก่องค์อาคารได้ด้วยการหลีกเลี่ยงไม่ให้อาคารวิบัติด้วยแรงเฉือน แรง DIAGONAL TENSION และแรงกด เพราะแรงเหล่านี้เวลาเกิดการวิบัติจะรุนแรงและฉับพลัน แต่ให้อาคารวิบัติด้วยแรงดัดแทน โดยการเสริมเหล็กปลอกในคานเสา

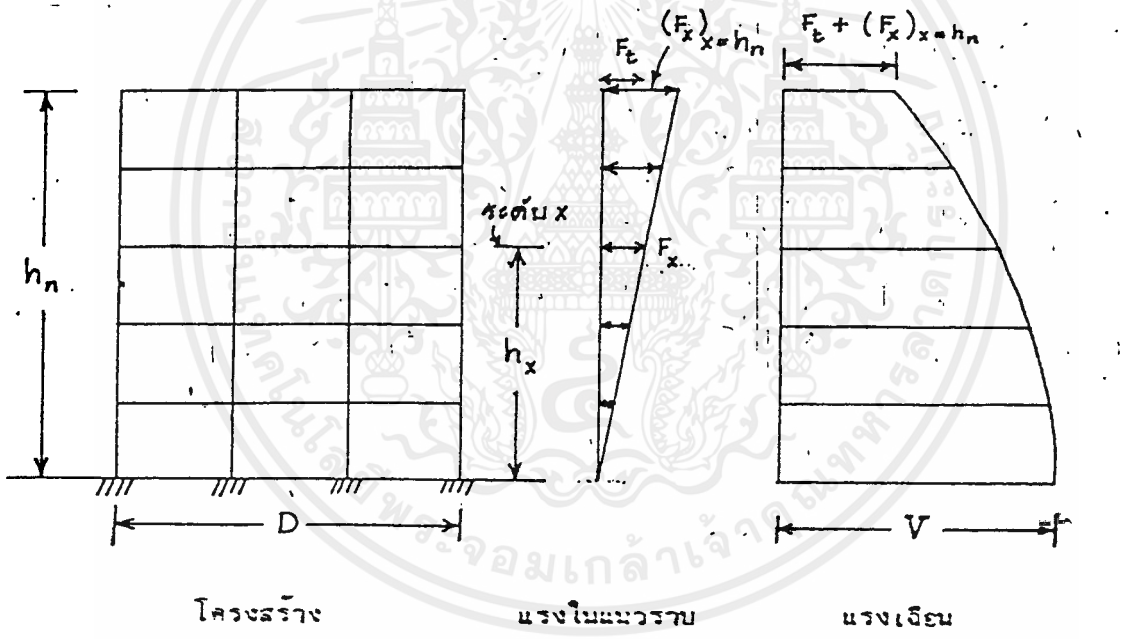
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 การกระจายของศูนย์แผ่นดินไหวของขนาดต่างๆบนผิวโลก 1975 - 1981



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 แรงในแนวราบที่กระทำต่ออาคารเนื่องจากแผ่นดินไหว และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในอาคารที่มีมวลกระจายอย่างสม่ำเสมอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรุนแรงของแผ่นดินไหว
(Intensity)

ความเร่งสูงสุดหรือความรุนแรงของแผ่นดินไหว (Intensity) นั้นได้มีการแบ่งออกเป็นหน่วยโดยใช้ความรู้สึก ปรากฏการณ์รอบ ๆ และสภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นว่ามีการสั่นสะเทือนมากน้อยเพียงใด ตัวอย่างเช่น คนที่อยู่บนอาคารสูง ๆ จะรู้สึกว่าการสั่นสะเทือนมีความรุนแรงมากกว่าความรู้สึกของคนที่อยู่บนบาทวิถีตามท้องถนน ความรุนแรงและความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวมีความหมายแตกต่างจากขนาดของแผ่นดินไหว (Magnitude) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าขนาดของแผ่นดินไหวสำหรับครั้งนั้น ๆ จะคงที่เสมอ แต่ความเร่งสูงสุดและความรุนแรงของแผ่นดินไหวจะแตกต่างกันออกไปตามระยะทางและสภาพสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ณ ที่นั้น ๆ เช่น การเกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศญี่ปุ่นเมื่อปี พ.ศ. 2476 วัดขนาดของแผ่นดินไหวได้ 8.9 ริคเตอร์ ซึ่งเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งที่มีการปลดปล่อยพลังงานออกมามากที่สุด ตามประวัติศาสตร์ของมวลมนุษย์ชาติ แต่มีผู้เสียชีวิตเพียง 3,000 คนเท่านั้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดแผ่นดินไหวในประเทศอิหร่านเมื่อปี พ.ศ. 2521 วัดขนาดของแผ่นดินไหวได้ 7.7 ริคเตอร์ และมีผู้เสียชีวิตถึง 25,600 คน สรุปแล้วจะเห็นว่าแผ่นดินไหวในอิหร่านนั้นจะมีความเร่งสูงสุดและความรุนแรงมากกว่าแผ่นดินไหวในประเทศญี่ปุ่น ทั้ง ๆ ที่แผ่นดินไหวในประเทศญี่ปุ่นมีขนาดมากกว่าที่วัดได้ในอิหร่านถึง 60 เท่า

แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 เมษายน 2526 ในประเทศไทยนั้นวัดขนาดได้ถึง 5.9 ริคเตอร์ และมีความเร่งสูงสุดและความรุนแรงที่กรุงเทพฯ อยู่ในระดับที่ 5 ตามมาตราวัดขนาดของเมอร์แคลลี่ (Modified Mercalli Scale) ซึ่งหมายความว่า ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหวนั้นคนกรุงเทพฯ ทั่วไปหลายคนจะรู้สึกคล้าย ๆ กับฝันไป ซึ่งหลายคนรู้สึกคล้ายเป็นลมและอีกหลายคนเห็นน้ำกระฉอกออกจากแก้ว ทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับความรู้สึกตอบสนองของแต่ละคนว่าจะไวหรือช้าแค่ไหน ความเร่งสูงสุดและความรุนแรงที่วัดในท้องที่ซึ่งมีระยะทางต่างจากอยู่ในกรุงเทพฯ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางว่าท้องที่นั้นจะอยู่ห่างจากศูนย์กลางการสั่นสะเทือนมากน้อยเท่าใด มีลักษณะทางธรณีวิทยาและสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความรุนแรงของแผ่นดินไหว (Intensity) ตามมาตราวัดของเมอร์แคลลี่ (Modified Mercalli Intensity Scale) ที่ใช้นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 12 ลำดับ โดยจะเรียงจากความรุนแรงน้อยไปสู่มาก

ลำดับที่ 1 ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนเท่านั้น

ลำดับที่ 2 รู้สึกได้แต่เฉพาะคนที่มีความรู้สึกไวหรือคนที่อยู่นิ่งๆ หรือผู้ที่อยู่บนอาคารชั้นสูง ๆ รวมทั้งอาจเห็นจากการแกว่งไกวของสิ่งของที่แขวนอยู่

ลำดับที่ 3 คนที่อยู่ในบ้านจะสังเกตเห็นว่าเกิดแผ่นดินไหว โดยเฉพาะพวกที่อยู่ในอาคารสูง ๆ แต่คนส่วนใหญ่จะยังไม่ทราบว่าเกิดแผ่นดินไหวขึ้น

ลำดับที่ 4 ผู้ที่อยู่บ้านจะรู้สึกกันทั่วไป ส่วนผู้ที่อยู่นอกบ้านจะไม่ค่อยรู้สึกนัก สิ่งของต่าง ๆ ที่อยู่ภายในบ้าน เช่น ถ้วย ชาม หน้าต่าง หรือบานประตู ฯลฯ จะเกิดการไหวหรือสั่นเสียงบึงบัง ฝาผนังจะมีเสียงแตกร้าว ส่วนรถยนต์ที่จอดอยู่จะเกิดอาการสั่นไหวโครงเครงอย่างเห็นได้ชัด

ลำดับที่ 5 แทบทุกคนจะรู้สึกได้ว่าเกิดแผ่นดินไหว โดยจะเห็นถ้วยชามตกแตกวัตถุที่วางไว้ไม่มั่นคงจะล้มคว่ำ ต้นไม้ เสาไฟฟ้าและวัตถุที่มีความสูงจะเกิดอาการแกว่งไกวอย่างเห็นได้ชัดเจนมาก ลูกตุ้มนาฬิกาจะหยุดแกว่ง

ลำดับที่ 6 ทุกคนจะมีความรู้สึกว่าเกิดแผ่นดินไหวขึ้น โดยหลายคนจะตกใจวิ่งออกนอกอาคาร บ้านเรือนที่อยู่อาศัยหรือที่ทำงาน เครื่องเรือนขนาดหนักมาก ๆ บางชิ้นจะเคลื่อนที่ได้ ผนังปูนที่ฉาบอยู่จะกระเทาะออกให้เห็นได้

ลำดับที่ 7 ทุกคนจะวิ่งออกนอกเคหะสถาน อาคารที่ออกแบบก่อสร้างไว้ดีจะเสียหายเล็กน้อย ส่วนอาคารที่ออกแบบก่อสร้างไว้ตามปกติธรรมดาจะเกิดการเสียหายเล็กน้อยถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บานกลาง และจะเกิดการเสียหายค่อนข้างมากในอาคารที่ออกแบบก่อสร้างไว้ไม่ดี ส่วนคนที่กำลังขับรถอยู่จะรู้สึกว่ามีสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้น

ลำดับที่ 8 อาคารที่ออกแบบก่อสร้างพิเศษจะเกิดการเสียหายเล็กน้อย และที่ออกแบบก่อสร้างธรรมดานั้นจะมีบางส่วน เช่น ผนังตึกพังทลาย เครื่องเรือนล้มคว่ำ ทรายและโคลนจะถูกดันปะทุขึ้นมาเล็กน้อยมองเห็นคล้ายน้ำพุ ระดับน้ำในบ่อ หนอง บึง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ส่วนคนที่กำลังขับรถอยู่จะถูกรบกวนซึ่งทำให้การบังคับควบคุมลำบาก

ลำดับที่ 9 สิ่งก่อสร้างที่ออกแบบไว้อย่างดีจะเกิดการเสียหาย อาคารที่ออกแบบโครงสร้างเป็นอย่างดีจะถูกคลื่นแผ่นดินไหวกระหน่ำจนเสียสมดุลย์ อาคารที่ก่อสร้างไว้มั่นคงจะเริ่มมีบางส่วนเสียหายได้ ตัวอาคารจะเคลื่อนออกจากฐานราก แผ่นดินจะเกิดรอยแตกแยกอย่างเห็นได้ชัดเจน ท่อน้ำที่อยู่ใต้ดินจะเกิดการแตกเสียหาย

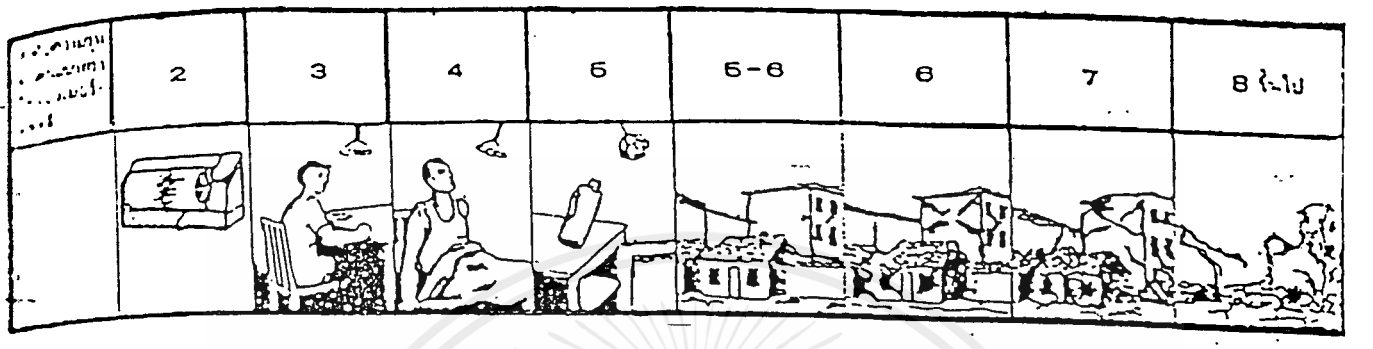
ลำดับที่ 10 อาคารไม้ที่สร้างไว้อย่างดีจะถูกทำลาย อิฐ ปูนร่วง ฐานรากพังเกิดแผ่นดินแยกอย่างรุนแรง รางรถไฟจะเกิดการบิดงอ เกิดดินถล่มได้โดยเฉพาะบริเวณที่ลาดชันริมฝั่งแม่น้ำ ทรายและโคลนเกิดการเคลื่อนย้าย น้ำในแม่น้ำลำคลองกระฉอกจนกลายเป็นคลื่นซัดเข้าหาฝั่งและทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมอย่างฉับพลันได้

ลำดับที่ 11 ทุกสิ่งทุกอย่างถูกทำลายเกือบหมดสิ้น แต่ยังคงมีอาคารคอนกรีตหลงเหลืออยู่บ้าง สะพานพังพินาศ เกิดอาการแผ่นดินแยกอย่างกว้างขวาง ท่อน้ำ ท่อก๊าซใต้ดินจะเกิดการเสียหายจนใช้การไม่ได้ ผิวโลกจะถูกคลื่นแผ่นดินไหวกระแทกจนเป็นรอยขรุขระไปหมด ส่วนบริเวณที่เป็นดินอ่อนก็จะถูกคลื่นแผ่นดินไหวปะทะกระหน่ำจนเป็นลูกคลื่น รางรถไฟจะบิดงอจนถึงขั้นใช้การไม่ได้

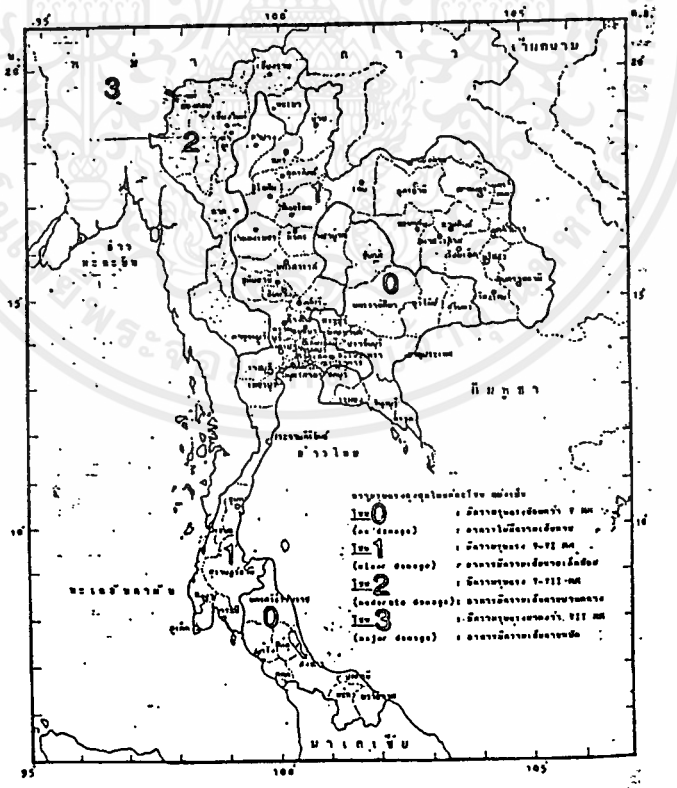
ลำดับที่ 12 ทุกสิ่งทุกอย่างจะถูกทำลายลงจนหมดสิ้น คลื่นแทนที่จะเกิดในน้ำกลับมาเกิดบนแผ่นดินอย่างเห็นได้ชัดเจน เส้นแนวตาและระดับสายตาจะบิดเบน วัตถุต่าง ๆ จะกระเด็นขึ้นไปในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 แสดงความเร่งสูงสุดหรือความรุนแรงของแผ่นดินไหวตามมาตราวัดของ เมอร์แคลลี่

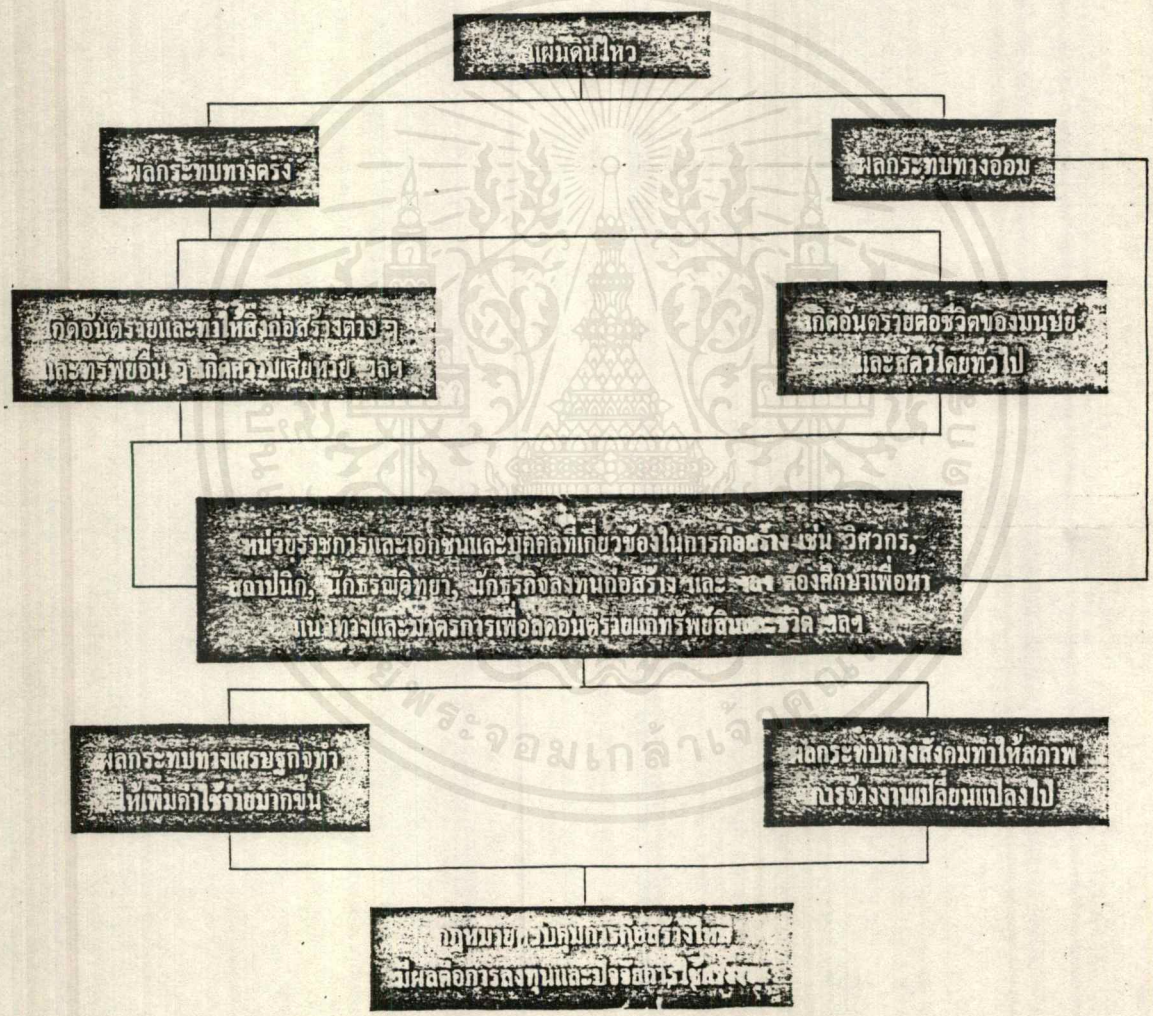


รูปที่ 2 เขตซึ่งได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว (ข้อมูลจากร่างกฎกระทรวงว่าด้วยแรงแผ่นดินไหว กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงแนวความคิดในการศึกษาผลกระทบจากแผ่นดินไหว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาแรงที่กระทำต่ออาคาร เนื่องจากแผ่นดินไหว

ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมานี้ ประเทศไทยได้มีแผ่นดินไหวขนาดปานกลางเกิดขึ้นอย่างน้อย 4 ครั้ง และได้เริ่มมีการก่อสร้างอาคารสูง ๆ กันมากขึ้น ดังนั้น วิศวกรและหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องน่าจะสนใจเกี่ยวกับการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายเนื่องจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นและทำให้เกิดความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินอย่างมหาศาล

ค่าใช้จ่ายที่อาจเพิ่มขึ้น ในการทำให้อาคารต้านทานแผ่นดินไหวได้ ก็ไม่มากมายเลย เมื่อเทียบกับความปลอดภัยของผู้อาศัยทั่วไป ค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะมากกว่าค่าใช้จ่ายสำหรับการออกแบบอาคารให้ต้านทานแรงลมเพียงประมาณร้อยละ 1 หรือ 2 และไม่เกินร้อยละ 5 ของราคาอาคารทั่วไป อาคารที่ออกแบบอย่างถูกหลักให้ต้านทานแผ่นดินไหวได้ มักสามารถสนองความต้องการเกี่ยวกับแรงลมได้ โดยเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือไม่เสียเลย

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงแผ่นดินไหวและแรงที่กระทำต่ออาคารเนื่องจากแผ่นดินไหว และการหาแรงดังกล่าวโดยสังเขป

แผ่นดินไหวในประเทศไทย

แผ่นดินไหวมักเกิดจากการเคลื่อนที่อย่างฉับพลันตามแนวชำรุด (fault lines) ของเปลือกโลก หรือบางครั้งก็เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ

ประเทศไทยมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นบ่อย ๆ ทางด้านเหนือและด้านตะวันตกใกล้ชายแดนของประเทศ เช่น ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กรกฎาคม 2521 มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นทางภาคเหนือถึง 150 ครั้ง แต่ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 3 หน่วยริคเทอร์ (Richter) มีเพียง 2 ครั้งที่มีขนาด 4 หน่วยริคเทอร์ ครั้งแรกได้ทำความเสียหายให้แก่อาคารบางหลังในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนครั้งหลังได้ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เขื่อนภูมิพลหยุดชะงักลง

เมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2518 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาดประมาณ 5.6 หน่วยริคเทอร์ที่จังหวัดตาก ได้ทำให้อาคารต่าง ๆ ในกรุงเทพฯ สั่นสะเทือนจนรู้สึกได้ชัด และทำให้วิศวกรชาวนิวซีแลนด์ซึ่งออกแบบศูนย์วิทยาศาสตร์สุบภาพสูง 6 ชั้น ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบอาคารดังกล่าว ให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวขนาด 6.5 หน่วยริคเทอร์ได้โดยปลอดภัย

อีก 8 ปีต่อมา ก็มีแผ่นดินไหวขนาดปานกลางเกิดขึ้นอีก 3 ครั้งที่จังหวัดกาญจนบุรี ครั้งแรกเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2526 มีขนาดประมาณ 5.6-6.0 หน่วยริคเทอร์ แผ่นดินไหวครั้งหลังนี้ทำให้อาคารต่าง ๆ ในกรุงเทพฯ สั่นสะเทือนอย่างน่ากลัว ผู้อยู่อาศัยต่างวิ่งออกจากอาคารด้วยความตระหนกตกใจ อาคารบางแห่งชำรุดเสียหาย เช่น มีการแพงเรือนจำร้าวที่กาญจนบุรี บูนซีเมนต์ที่ฉาบแฟลตบางบัว ของการเคหะแห่งชาติ บางเขน ได้แตกร่วงลงมา และอาคารอื่นๆเหลียงเกิดรอยร้าวเป็นบางจุด แต่ไม่ปรากฏว่ามีผู้ใดบาดเจ็บ

ขนาดของแผ่นดินไหว

ขนาดความใหญ่ของแผ่นดินไหว มักวัดกันในรูปของพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาและแผ่กว้างออกไปในสภาพคลื่นแผ่นดินไหวมาตราวัดแผ่นดินไหวที่มักใช้กันในปัจจุบัน คือ มาตราริคเทอร์ (Richter scale) ซึ่งกำหนดขนาดของแผ่นดินไหวในรูปของช่วงกว้าง (amplitude) ของเส้นคลื่นที่บันทึกโดยเครื่องวัดแผ่นดินไหวมาตรฐานซึ่งตั้งอยู่ที่จุดห่างจากศูนย์การไหวบนผิวโลก 100 กิโลเมตร ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและขนาดในมาตราริคเทอร์หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\log E = 11.4 + 1.5 M$$

โดยที่ E เป็นพลังงานที่ปลดปล่อยออกมามีหน่วยเป็น เออร์กส์ (ergs) และ M เป็นขนาดตามมาตราริคเทอร์ จากสมการนี้ อาจคำนวณได้ว่า ถ้าขนาดแผ่นดินไหว เพิ่มขึ้น 1 หน่วยริคเทอร์ พลังงานจะเพิ่มประมาณ 32 เท่า

แผ่นดินไหวที่ทำให้เราเริ่มรู้สึกการสั่นสะเทือนมีขนาดประมาณ 1.5 หน่วยริคเทอร์ โดยทั่วไปแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็กกว่า 5 หน่วยริคเทอร์มักไม่ทำให้เกิดความเสียหายมากนัก แผ่นดินไหวขนาด 6 หน่วยริคเทอร์ขึ้นไปมักเริ่มก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร

การเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ๆอาจทำให้ผู้คนสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินอย่างมหาศาล เช่น แผ่นดินไหว 8.2 หน่วยริคเทอร์ ซึ่งเกิดขึ้นที่ประเทศจีน เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2519 ได้ทำให้คนตายถึง 655,237 คน

แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุดที่เคยเกิดขึ้นและได้รับการบันทึกเอาไว้มีขนาด 8.9 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่าง

กฎกระทรวง

ฉบับที่ (พ.ศ.)

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

พ.ศ. 2522

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 (3) และมาตรา 8 (3) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคาร ออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ในกฎกระทรวงนี้

"เขตที่อาจได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว" หมายความว่า ท้องที่ในจังหวัดตามที่ระบุไว้ในเขต ดังต่อไปนี้

(ก) เขต 1 ได้แก่ ท้องที่ที่อาจจะได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวเล็กน้อยคือ

ภาคเหนือ

จังหวัดลำปาง จังหวัดแพร่ จังหวัดน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดสุโขทัย จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดพิจิตร จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดอุทัยธานี

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัดหนองคาย จังหวัดเลย จังหวัดอุดรธานี จังหวัดสกลนคร จังหวัดนครพนม จังหวัดขอนแก่น จังหวัดกาฬสินธุ์ จังหวัดมุกดาหาร จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดร้อยเอ็ด จังหวัดยโสธร จังหวัดอุบลราชธานี จังหวัดศรีษะเกษ

ภาคกลาง

จังหวัดชัยนาท จังหวัดสิงห์บุรี จังหวัดลพบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดอ่างทอง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดปทุมธานี จังหวัดนครปฐม จังหวัดนนทบุรี กรุงเทพมหานคร จังหวัดราชบุรี จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ภาคใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสียรูปขึ้นในโครงสร้าง และเกิดเป็นคลื่นซึ่งเคลื่อนตัวขึ้นสู่ส่วนบนของโครงสร้าง การสั่นสะเทือนที่ติดตามมาของฐานโครงสร้างทำให้โครงสร้างสั่นสะเทือนไปมาทั่วทั้งโครงสร้าง

การตอบสนอง (หมายถึง ขนาด และการกระจายของแรงและการเสียรูป) ของโครงสร้างต่อการเคลื่อนที่ที่ฐานดังกล่าว ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโครงสร้างและฐานรากโดยรอบตลอดจนลักษณะการไหวของแผ่นดิน

แรงกระทำบนโครงสร้างเนื่องจากแผ่นดินไหว เป็นแรงที่เกิดจากการเสียรูปของโครงสร้าง เนื่องจากการไหวของแผ่นดินและความเฉื่อยของโครงสร้าง ดังนั้น โครงสร้างที่ต้านทานแผ่นดินไหวที่มีน้ำหนักมาก ๆ และมีความแข็งแกร่งมาก ๆ ก็อาจไม่ปลอดภัยเสมอไป

การประมาณค่าแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างมักกระทำไม่ได้อย่างแม่นยำนัก เพราะมีสิ่งที่ไม่ทราบหลายอย่าง เช่น

ก. ความยุ่งยากในการทำนายลักษณะของการไหวของแผ่นดินวิกฤต (คือช่วงกว้างของคลื่น ความถี่ และความยาวนาน) ที่โครงสร้างจะต้านทานตลอดอายุการใช้งานของมัน

ข. ความยุ่งยากในการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองทางจลของโครงสร้าง (เช่น ความแข็งแกร่ง และการหน่วงแรง) ตลอดจนคุณสมบัติทางจลของดินหรือวัสดุที่รองรับโครงสร้าง

ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว มีดังนี้

1. การคำนวณแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว ซึ่งประกอบด้วยการหาแรงเฉือนที่ฐานและการกระจายแรงนี้ไปตามความสูงของโครงสร้าง ในขั้นตอนนี้ สมมติว่าได้ออกแบบโครงสร้างเบื้องต้นแล้ว

2. การวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้การกระทำของแรงในแนวราบที่คำนวณได้จากขั้นตอนแรก ตลอดจนน้ำหนักบรรทุกและแรงลมเพื่อหาแรงที่ใช้ออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ

3. การออกแบบชิ้นส่วนและจุดต่อสำหรับแรงในแนวราบและแนวดิ่ง ที่ร่วมกันทำให้เกิดผลร้ายแรงที่สุด ควรออกแบบให้ชิ้นส่วนและจุดต่อมีความเหนียวเพื่อยอมให้โครงสร้างเสียรูปได้มากโดยไม่พัง ขนาดของชิ้นส่วนที่หาได้ในขั้นตอนนี้ ถ้าต่างกับที่สมมติไว้มากก็อาจต้องทำขั้นตอนทั้งสามใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ริคเทอร์ เกิดขึ้นที่เขตแดนระหว่าง โคลัมเบียและเอควาดอร์ เมื่อ พ.ศ. 2499 และที่ญี่ปุ่น เมื่อ พ.ศ. 2476 แผ่นดินไหวขนาดนี้เชื่อกันว่าเป็นขนาดใหญ่สุดที่เกิดขึ้นได้ เพราะเป็นขีดจำกัดสำหรับพลังงานความเครียดสูงสุดที่หินสามารถสะสมไว้ได้โดยไม่แตกหัก

ขนาดของแผ่นดินไหวอย่างเดียว ไม่สามารถบ่งชี้ว่าจะเกิดความเสียหายมากน้อยเพียงใด สำหรับสถานที่แห่งใดแห่งหนึ่ง เพราะยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ระยะความลึกถึงจุดศูนย์ของแผ่นดินไหว ระยะห่างจากจุดศูนย์ของการไหว สภาพดิน และคุณสมบัติของโครงสร้าง เป็นต้น

ความรุนแรงของแผ่นดินไหว

การบรรยายการทำลายที่อาจเกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวต่อสถานที่หนึ่ง ๆ มักเรียกว่าความรุนแรง (Intensity)และมักใช้มาตราวัดความรุนแรงที่เรียกว่า มาตราเมอร์คัลลีดัดแปลง (Modified Mercalli or MM scale) ความรุนแรงนี้มักประเมินโดยการสัมภาษณ์ผู้คนในบริเวณที่มีการสั่นสะเทือนและเปรียบเทียบกับมาตรา MM ซึ่งแบ่งออกเป็นขนาด 1 ถึง 12 ตั้งแต่แทบไม่มีความเร่งจนถึงความเร่งประมาณ 7 เท่า ของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

การแบ่งเขตแผ่นดินไหว

ปัญหาของการออกแบบโครงสร้างที่ประหยัดและต้านทานแผ่นดินไหวได้ ขึ้นอยู่อย่างมากกับการประมาณความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นในบริเวณหนึ่ง ๆ ได้อย่างใกล้เคียงกับความจริง การประมาณค่าดังกล่าวเป็นโครงการระยะยาว และความแม่นยำที่ได้ก็จะดีขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหวและสภาพเปลือกโลกเพิ่มขึ้น

มาตรฐานการออกแบบอาคารที่ต้านทานแผ่นดินไหวจะแบ่งบริเวณต่าง ๆ ออกเป็นเขต ๆ แต่ละเขตจะมีความเป็นไปได้ของการเกิดแผ่นดินไหวค่าหนึ่ง และจะมีค่าตัวคูณที่ใช้สำหรับคำนวณแรงเฉือนทั้งหมดที่ฐานที่ใช้ออกแบบให้ไว้ด้วย

การตอบสนองของโครงสร้างต่อการไหวของแผ่นดิน

การไหวของแผ่นดินทำให้ฐานของโครงสร้างเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง ตอนแรกส่วนบนของโครงสร้างจะยังไม่เคลื่อนที่ เพราะถูกต้านไว้โดยความเฉื่อยของมวลโครงสร้าง จึงเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัดชุมพร จังหวัดระนอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดพังงา จังหวัดกระบี่ จังหวัดภูเก็ต

(ข) เขต 2 ได้แก่ ท้องที่ที่อาจจะได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวมากกว่าเขต 1 คือ

ภาคเหนือ

จังหวัดเชียงราย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดพะเยา จังหวัดลำพูน จังหวัดตาก

ภาคกลาง

จังหวัดกาญจนบุรี

"แผ่นดินไหว" หมายความว่า ความสั่นสะเทือนของพื้นดินที่กระจายมาจากศูนย์แผ่นดินไหว ขนาดของแผ่นดินไหววัดได้จากปริมาณของพลังงานที่ถูกปล่อยออกมามีหน่วยเป็น ริคเตอร์

"ศูนย์แผ่นดินไหว" หมายความว่า จุดที่อยู่ใต้ผิวโลกซึ่งเป็นต้นกำเนิดส่งอาการสั่นไหวของแผ่นดิน

"ความถี่" หมายความว่า จำนวนคลื่นที่เกิดขึ้นในหนึ่งวินาที มีหน่วยเป็นเฮิรซ์

"คาบ" หมายความว่า ระยะเวลาของช่วงคลื่นเป็นค่าผกผันกับความถี่ มีหน่วยเป็นวินาที

"แรงเฉือน" หมายความว่า แรงที่จะทำให้วัตถุขาดออกจากกันดุจกรรไกรตัด

"อาคารสาธารณะ" หมายความว่า อาคารที่ใช้เพื่อประโยชน์ในการชุมนุมคนได้โดยทั่วไป เพื่อกิจกรรมทางราชการ การเมือง การศึกษา การศาสนา การสังคม การนันทนาการ หรือการพาณิชยกรรม เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา หอสมุด สนามกีฬากลางแจ้ง สนามกีฬาในร่ม ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการ ท่าอากาศยาน อุโมงค์ สะพาน อาคารจอดรถ สถานรถ ท่าจอดเรือ สุสาน ฌาปนสถาน เป็นต้น

"อาคารพิเศษ" หมายความว่า อาคารที่ต้องการมาตรฐานความมั่นคงแข็งแรงและความปลอดภัยเป็นพิเศษ เช่น อาคารดังต่อไปนี้

(ก) โรงมหรสพ อัฒจันทร์ หอประชุม หอสมุด หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์ หรือศาสนสถาน

(ข) อู่เรือ คานเรือ หรือท่าจอดเรือ สำหรับเรือขนาดใหญ่ 100 ตันกรอส

(ค) อาคารหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสูงเกิน 15.00 เมตรหรือสะพาน หรืออาคาร หรือโครงหลังคาช่วงหนึ่งเกิน 10.00 เมตร หรือมีลักษณะโครงสร้างที่อาจเกิดภยันตรายต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาธารณชนได้

(ง) อาคารที่เก็บวัสดุไวไฟ วัสดุระเบิด หรือวัสดุกระจายแพร่พิษหรือรังสีตามกฎหมายว่าด้วยการนั้น

ข้อ 2. ในการออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน เรือน โรง หรือสิ่งที่ก่อสร้างขึ้นอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันในเขตที่อาจได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้ผู้ออกแบบอาคารคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารตามวรรคหนึ่ง ให้คำนวณแรงเฉือนตามวิธีดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะใช้วิธีอื่นซึ่งมีวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยรับรอง

(1) ให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ดังนี้

$$V = ZIKCSW$$

V = คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z = คือ สัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหวในเขตที่อาจได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ตามที่กำหนดในข้อ 4

I = คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคารตามที่กำหนดในข้อ 5

K = คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามที่กำหนดในข้อ 6

C = คือ ค่าสัมประสิทธิ์ หาค่าได้จากสูตรในข้อ 8

S = คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติของแผ่นดินไหวกับโครงสร้างอาคาร ตามที่กำหนดในข้อ 9

W = คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมด

(2) ให้กระจายแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ออกเป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคารให้คำนวณดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_t = 0.07\ TV$$

ค่าของ F ที่ได้จากสูตรนี้ไม่ควรจะใช้เกิน 0.25 V และถ้าหาก T มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 0.7 วินาที จะใช้ค่าของ F เท่ากับ 0 ก็ได้

$$F_x = \frac{(V - F_t)\, W_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i}$$

F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคารมีหน่วยเป็นตัน

F_x คือ แรงในแนวราบที่จะกระทำต่อพื้นที่ชั้นบน x ของอาคาร มีหน่วยเป็นตัน

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที หาค่าได้ตามสูตรในข้อ 7

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

W_x, W_i คือ น้ำหนักจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และพื้นชั้นที่ i ตามลำดับ มีหน่วยเป็นตัน

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และพื้นชั้นที่ i ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร

$\sum_{i=1}^{n} W_i h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ n

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร

ข้อ 3. ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่อาคารตามที่กำหนดในข้อ 2 ในเขตที่อาจได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้ผู้ออกแบบโครงสร้างอาคาร คำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคาร โดยใช้วิธีการคำนวณซึ่งมีวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยรับรองแล้ว

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารตามวรรคหนึ่ง ต้องดำเนินการโดยผู้ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตั้งแต่ประเภทสามัญวิศวกรขึ้นไป

ข้อ 4. ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคาร หรือส่วนต่อของอาคารในเขตที่อาจได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว Z ดังนี้

(1) เขต 1 ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหวไม่น้อยกว่า 0.15

(2) เขต 2 ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหวไม่น้อยกว่า 0.25

ข้อ 5. ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่างๆของอาคาร ให้ใช้ตัวคูณ I ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญของการใช้อาคาร ดังนี้

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
(1) อาคารที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล สถานีดับเพลิง อาคารหน่วยบรรเทาสาธารณภัย	1.50
(2) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมครั้งหนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คนหรือมีความสูงเกินกว่า 15 เมตร	1.25
(3) อาคารอื่น ๆ	1.00

ข้อ 6. ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่างๆของอาคาร ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ K ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบและชนิดของโครงสร้างรับแรงในแนวราบ ดังนี้

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
(1) โครงสร้างเหล็ก	0.67
(2) โครงสร้างทั่ว ๆ ไป	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 7. ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่างๆของอาคาร ในกรณีที่ไม่สามารถคำนวณหาคาบการแกว่งตามธรรมชาติของโครงสร้างอาคารได้ถูกต้อง ให้อนุโลมใช้คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร T ดังต่อไปนี้

(1) สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิด ให้คำนวณคาบธรรมชาติของอาคารตามสูตร

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}}$$

(2) สำหรับโครงสร้างเหล็ก ให้คำนวณคาบธรรมชาติของอาคารตามสูตร

$$T = 0.10\ N$$

เมื่อ T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที

h_n คือ ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุด วัดจากระดับพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

D คือ ความกว้างของโครงสร้างอาคารในทิศทางขนานกับแรงแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเมตร

N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

ข้อ 8. ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆของอาคาร ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ C ดังนี้

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ C มีค่ามากกว่า 0.12 ให้ใช้ C = 0.12

ข้อ 9. ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆของอาคาร ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ของแผ่นดินไหวกับความถี่ธรรมชาติของอาคาร S ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
(1) หิน	1.0
(2) ดินแข็ง	1.2
(3) ดินอ่อน	1.5

"หิน" หมายถึง หินทุกลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นหินคล้ายหินเชล หรือหินที่เป็นผลึกตามธรรมชาติ หรือดินลักษณะแข็ง ซึ่งมีความลึกของชั้นดิน ไม่เกิน 60 เมตร และชนิดของดินที่ทับอยู่เหนือชั้นหินเป็นดินชนิดที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

"ดินแข็ง" หมายถึง ดินลักษณะแข็ง ซึ่งมีความลึกของชั้นดินมากกว่า 60 เมตร และชนิดของดินที่ทับอยู่เหนือชั้นหินเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

"ดินอ่อน" หมายถึง ดินเหนียวอ่อน ถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง และดินเหนียวแข็ง หนามากกว่า 9 เมตร อาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

ถ้า CS มีค่ามากกว่า 0.14 ให้ใช้ CS = 0.14

ข้อ 10. กฎกระทรวงฉบับนี้มิให้ใช้บังคับแก่อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15.00เมตร เว้นแต่อาคารสาธารณะ หรืออาคารพิเศษที่เป็นอาคารประเภท โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา หอสมุด สนามกีฬากลางแจ้ง สถานกีฬาในร่ม ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการ ท่าอากาศยาน อาคารจอดรถ สถานีรถ ศาสนสถาน อัฒจันทร์ หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์ อาคารที่เก็บวัตถุไวไฟ วัสดุระเบิด หรือวัสดุกระจาย แพร่พิษ หรือสังกะสี ตามกฎหมายว่าด้วยการนั้น ต้องปฏิบัติตามข้อ 2 หรือ ข้อ 3

ข้อ 11. ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารให้ใช้ค่าที่มากกว่าระหว่างแรงเฉือนเนื่องจากแผ่นดินไหวกับแรงลมตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

ให้ไว้ ณ วันที่ พ.ศ.

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลกระทบของแผ่นดินไหวต่ออาคารสูงในกรุงเทพฯ

ตามที่ได้มีบทความเรื่อง "ผลกระทบของแผ่นดินไหวต่ออาคารสูงในกรุงเทพฯ" ตีพิมพ์ในวิศวกรรสาร ฉบับเมษายน 2526 นั้น ผู้เขียนเห็นว่ามีจุดสำคัญจุดหนึ่งซึ่งควรพิจารณาให้ละเอียดเกี่ยวกับค่าแรงสถิตย์เทียบเท่า (Equivalent static force) ที่ใช้ออกแบบโครงสร้างให้ต้านแรงแผ่นดินไหวในบ้านเรา ข้อคิดเห็นที่จะเสนอต่อไปนี้ ซึ่งแตกต่างออกไปจากบทความดังกล่าวนั้นมุ่งเพื่อประโยชน์ทางวิชาการ และการพิจารณาแรงที่น่าจะใช้ออกแบบอาคารรับแผ่นดินไหว

ผู้เขียนบทความข้างต้นได้ใช้ตัวอาคาร 30 ชั้น ซึ่งมีพื้นที่ชั้นละ 1,296 ตร.ม. และได้หาแรงเฉือนที่ฐาน (Base shear) เนื่องจากแผ่นดินไหว ได้ค่า 785 ตัน ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของค่าที่ใช้ออกแบบอาคารในเขตที่มีแผ่นดินไหวรุนแรง เช่นในเมืองซานฟรานซิสโก ค่าแรงเฉือน 785 ตัน นี้มากกว่าแรงลมตามเทศบัญญัติ กทม. ถึง 52.4% ซึ่งทำให้เกิดความตระหนกตกใจว่าอาคารใน กทม. จะไม่ปลอดภัยเมื่อเกิดแผ่นดินไหว แต่ปัญหาที่น่าถกเถียงกัน คือการคิดแรงแผ่นดินไหวใน กทม. เท่ากับครึ่งหนึ่งของที่เกิดขึ้นในเขตแผ่นดินไหวรุนแรงที่สุดในสหรัฐฯ นั้นสอดคล้องกับสภาวะของบ้านเราเพียงไร อีกนัยหนึ่งคือ แรงที่คิดนั้นมากไปหรือน้อยไปหรือไม่ ผู้เขียนใคร่ขอให้ข้อคิดดังนี้

1. จากสถิติแผ่นดินไหวที่เกิดในเมืองไทยเท่าที่มีบันทึกในช่วงเวลาประมาณ 20 ปีที่ผ่านมานี้ แสดงว่าขนาดของแผ่นดินไหวซึ่งมีผลมาถึง กทม. ไม่เกินค่า 5.6 หน่วยริกเตอร์ (แหล่งข้อมูลบางแห่งให้ค่า 6.0 หน่วยริกเตอร์) และอันดับความรุนแรงที่สุดที่รู้สึกใน กทม. เป็นระดับ V ตามมาตรา เอมร์แคลลีที่ปรับปรุง (M.M. Scale)

2. เครื่องวัดแผ่นดินไหวชนิด Strong motion acceleragraph ที่เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี วัดอัตราเร่งที่ฐานของเขื่อน เมื่อวันที่ 22 เม.ย. 2526 ได้ค่าความเร่งในแนวราบสูงสุดเท่ากับ 0.011 g เท่านั้น (g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก) ซึ่งแผ่นดินไหว 2 ครั้งใหญ่ในวันนั้น มี epicenter ห่างจากตัวเขื่อนราว 60 กม. และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห่างจาก กทม. ราว 200 กม. อัตราเร่งของแผ่นดินไหวนี้ที่ กทม. ไม่น่าจะมากไปกว่าที่เขื่อนถึงแม้ดินอ่อนกรุงเทพฯ จะเพิ่มการสั่นสะเทือนที่ผิวดินก็ตาม แต่ระยะห่างไกลของ epicenter ก็ทำให้อัตราเร่งลดลงเมื่อคลื่นแผ่นดินไหวมาถึง กทม. อย่างไรก็ตาม เราอาจสมมติอัตราเร่ง 0.025 g ซึ่งเผื่อสำหรับความรุนแรงที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคตได้ ตัวเลขนี้เป็นตัวเลขโดยประมาณเท่านั้น ค่าที่น่าจะเป็นไปได้ที่สุดจำต้องทำการศึกษาโดยละเอียดต่อไป

3. อัตราเร่งของแผ่นดินไหวซึ่งใช้พิจารณาในเขตแผ่นดินไหวรุนแรงในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา มีค่าอยู่ใน order ของ 0.3 g ดังนั้นอัตราเร่งของแผ่นดินไหวใน กทม. ก็จะมีค่าราว 1/10 ของที่เกิดขึ้นแคลิฟอร์เนีย

4. ใน Uniform building code (ปี 1976) ได้แบ่งประเทศสหรัฐฯ ออกเป็น 5 เขต (Zone) สำหรับการออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงต่าง ๆ กัน ดังนี้

เขตหมายเลข	อันดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว (M.M. Scale)	แรงจากแผ่นดินไหวเทียบกับค่าสูงสุด
0	ต่ำกว่า V ไม่มีความเสียหาย	0%
1	V-VI ความเสียหายน้อย (Minor damage)	18.75%
2	VII ความเสียหายปานกลาง (Moderate damage)	37.5%
3	VIII หรือมากกว่า ความเสียหายมาก (Major damage)	75%
4	พื้นที่ในเขต 3 ซึ่งอยู่ใกล้ระบบแผ่นเลื่อน (fault) ที่สำคัญ ๆ	100%

จากข้อมูลและเหตุผลที่กล่าวมานี้ ในความเห็นของผู้เขียน แรงจากแผ่นดินไหวที่ควรจะพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างใน กทม. น่าจะเป็นเพียงประมาณ 10% ของที่เกิดขึ้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขตแผ่นดินไหวรุนแรง หรือ อีกนัยหนึ่งคือ เขต กทม. ควรเทียบเท่าเขตหมายเลข 1 หาก พิจารณาเช่นนี้แล้ว แรง (และโมเมนต์) จากแผ่นดินไหวก็จะมีค่าใกล้เคียงกับที่เกิดจากแรงลม ตามเทศบัญญัติ

อนึ่ง Concept ของการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว คือโครงสร้างต้องสามารถ ต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นมาก โดยยอมให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งที่ ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-structureal elements) แต่ไม่เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหลัก และสำหรับแผ่นดินไหวรุนแรง โครงสร้างต้องมีความ **เหนียว (Ductility)** เพียงพอที่จะรับการ เคลื่อนตัวมาจากการสั่นสะเทือน โดยไม่สูญเสียความเสถียรและกำลังส่วนใหญ่ไป **คุณสมบัติความเหนียวนี้จะช่วยให้โครงสร้างไม่หักพังลงมาเมื่อเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงกว่าที่ออกแบบไว้บ้าง**

สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้างในเขต กทม. และข้างเคียงจึง เป็นการออกแบบรายละเอียด (Detailing) ให้ดีเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียวเพียงพอ เช่น การยึดเสาเข็มกับฐานราก การเสริมเหล็กปลอกให้เพียงพอ การยึดเหล็กเข้าไปในข้อต่อให้เพียง พอเพื่อรับโมเมนต์กลับไปกลับมาได้ เป็นต้น

การออกแบบโครงสร้างสำหรับรับภัยธรรมชาติโดยทั่ว ๆ ไป ตั้งอยู่บนสมมติฐานของ ความเสี่ยงภัยอันหนึ่ง ซึ่งยอมรับโดยทั่วไป ทั้งนี้เพื่อความประหยัด หากเกิดภัยธรรมชาติซึ่งเป็น ชนิดที่มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก เช่น ครั้งเดียวในรอบ 200 ปี เป็นต้น ก็เป็นเหตุสุดวิสัย ความ เสี่ยงภัยที่ยอมรับได้ของโครงสร้างประเภทต่าง ๆ จะไม่เท่ากัน สำหรับโครงสร้างสำคัญ ๆ ซึ่ง ใช้สำหรับสาธารณประโยชน์ เช่น โรงพยาบาล โรงประปา โรงไฟฟ้า ฯลฯ จำเป็นต้องให้มี ความเสี่ยงภัยน้อย ๆ ซึ่งอาจต้องพิจารณาออกแบบให้ต้านทานภัยจากแผ่นดินไหวได้มากขึ้น แต่ **สำหรับโครงสร้างทั่ว ๆ ไป (ยกเว้นโครงสร้างบางชนิด เช่น หอสูงถังเก็บน้ำ อาคารสูงมาก) หากเรายอมรับอัตราการเสี่ยงภัยเท่าที่ผ่านมา และคาดว่าแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจะไม่ รุนแรงไปกว่าที่เคยเกิดมาแล้ว (หรืออาจรุนแรงกว่าเล็กน้อย) การพิจารณาออกแบบรายละเอียด ให้โครงสร้างมีความเหนียวดีพอก็น่าจะเพียงพอ** ผลของการออกแบบรายละเอียดให้ดีขึ้นดังกล่าว จะทำให้ค่าก่อสร้างโครงสร้างเพิ่มขึ้นน้อยมาก คาดว่าอยู่ในระหว่าง 1-3% ของค่าก่อสร้างส่วน โครงสร้างเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ควรได้มีการวิจัยเพื่อการศึกษา ปัญหาแผ่นดินไหวในเมืองไทย ให้ลึกซึ้งในแง่ธรณีวิทยา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการกำหนดความรุนแรงที่น่าเป็นไปได้ใกล้เคียงยิ่ง ขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
รอยร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยร้าวในคอนกรีต

รอยร้าวที่พบเห็นตามโครงสร้างคอนกรีตทั่ว ๆ ไปนั้นเกิดขึ้นจากหลาย ๆ สาเหตุ บางครั้งรอยร้าวนี้อาจมีผลเพียงความไม่น่าดูของอาคาร แต่บางครั้งรอยร้าวก็เป็นตัวชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างเกิดความผิดปกติ ไม่สามารถรับแรงตามต้องการซึ่งจะต้องมีการแก้ไขอย่างใดอย่างหนึ่ง ก่อนที่อาคารนั้นจะเกิดการวิบัติตามมา นอกจากนั้นชนิดและลักษณะการใช้งานของอาคารก็อาจเป็นตัวกำหนดความสำคัญของรอยร้าว เช่น ในอาคารพักอาศัยทั่วไปอาจยอมให้เกิดรอยร้าวได้ถึงขีดหนึ่งแต่ขีดจำกัดนั้นใช้ไม่ได้กับถังเก็บน้ำ เป็นต้น

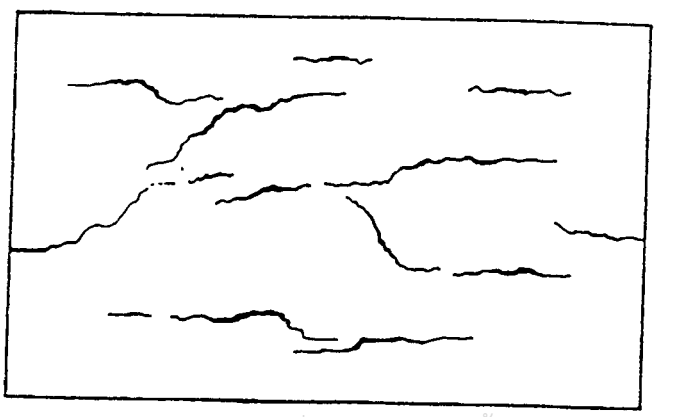
ชนิดและสาเหตุของรอยร้าว

รอยร้าวในคอนกรีตอาจเกิดขึ้นได้ทั้งในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว หรือเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว โดยมีสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

1. รอยร้าวที่เกิดขณะคอนกรีตยังไม่แข็งตัว

1.1 เกิดจากการหดตัวเมื่อคอนกรีตยังอยู่ในสภาพ Plastic โดยทั่วไปมักจะพบบริเวณผิวหน้าในการเทคอนกรีตเป็นพื้นที่กว้าง ๆ เช่น พื้น การก่อสร้างในบริเวณที่มีลมพัดจัด อุณหภูมิสูงหรือความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้ผิวคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวเสียความชื้นเร็วเกินไป เกิดการหดตัวในขณะที่คอนกรีตชั้นล่าง ๆ ซึ่งยังเหลวอยู่ยึดรั้งไว้ทำให้เกิดแรงดึงและเกิดรอยร้าวเล็ก ๆ ขึ้นในทุกทิศทาง ดังรูปที่ 1 การป้องกันไม่ให้คอนกรีตเสียความชื้นเร็วเกินไป โดยพ่นละอองน้ำในบริเวณเหนือพื้นที่นั้นเพื่อเพิ่มความชื้นให้อากาศรอบ ๆ และใช้แผ่นพลาสติกคลุมผิวไว้จะช่วยลดการเกิดรอยร้าวจากสาเหตุนี้ได้

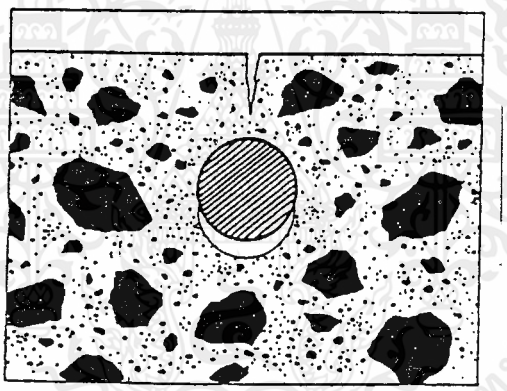
รูปที่ 1 รอยร้าวที่เกิดจากการหดตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีตสดหลังจากการเทและแต่งผิวเสร็จ ขณะที่คอนกรีตบางส่วนยังถูกยึดรั้งโดยเหล็กเสริม หรือเนื้อคอนกรีตส่วนที่เทไปก่อนหรือไม้แบบทำให้เกิดช่องว่างและ/หรือรอยร้าวขึ้น ดังรูปที่ 2 รอยร้าวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของเหล็กเสริม ค่าความยุบตัวของคอนกรีต และความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม การป้องกันรอยร้าวในลักษณะนี้ทำได้โดยการใช้คอนกรีตที่มีค่าความยุบตัวเหมาะสม การใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตอย่างถูกต้อง การจัดเวลาในการเทคอนกรีตส่วนต่อของอาคารอย่างเหมาะสม และการเพิ่มความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก

รูปที่ 2 รอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีตสด



2. รอยร้าวที่เกิดหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

2.1 เกิดจากการหดตัวแห้ง (drying shrinkage) คุณสมบัติอย่างหนึ่งของซีเมนต์เพลสท์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคอนกรีต คือ จะเกิดการหดตัวหรือขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมวลรวมขึ้น ขณะที่มวลรวมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยกว่า และยึดรั้งไว้ให้เกิดแรงดึงในเนื้อคอนกรีต บางครั้งในงานคอนกรีตขนาดใหญ่ คอนกรีตบริเวณผิวจะหดตัวมากกว่าส่วนอื่นทำให้มีการยึดรั้งและเกิดแรงดึงระหว่างชั้น เมื่อแรงดึงเกินขีดความสามารถที่คอนกรีตรับได้ จะเป็นสาเหตุของการเกิดรอยร้าวขึ้น แรงดึงดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น อัตราการหดตัว การยืดรั้ง โมดูลัสของการยืดหยุ่นและคุณสมบัติในด้าน creep ของคอนกรีต ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นผลกระทบจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสม และ stiffness ของมวลรวม ดังนั้น การควบคุมรอยต่อขณะก่อสร้าง ลักษณะการเสริมเหล็ก การใช้คอนกรีตที่มีมวลรวมผสมในปริมาณมากที่สุดและใช้น้ำน้อยที่สุดจะช่วยลดการเกิดรอยร้าว ในลักษณะนี้และยังครอบคลุมถึงรอยร้าวที่เกิดจากสาเหตุในข้อ 1.2 ได้อีกด้วย

2.2 เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งอาจจะเกิดจากปฏิกิริยา hydration หรือจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก ทำให้เนื้อคอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่างกัน และเกิดการยืดรั้งอันเป็นเหตุให้เกิดรอยร้าวขึ้น กรณีเช่นนี้มักพบในงานคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่น เสา การลดการเกิดรอยร้าวลักษณะนี้ทำได้โดยลดอุณหภูมิสูงสุดภายในเนื้อคอนกรีต ควบคุมการให้ความเย็นแก่คอนกรีตช้า ๆ และเพิ่มคุณสมบัติในด้าน Tensile strain ให้สูงขึ้น โดยทั่ว ๆ ไป คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 5.5×10^{-6} /F หรือ 10×10^{-6}/C

2.3 เกิดจากปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากมวลรวมที่มีส่วนประกอบของ silica ทำกับ Alkalies ซึ่งเป็นผลจาก cement hydration หรือจากสารผสมเพิ่มหรือจากแหล่งอื่น ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดการพองตัวของวุ้นซีเมนต์ และน้ำจากคอนกรีตส่วนอื่น เป็นผลให้คอนกรีตมีการขยายตัวเป็นแห่ง ๆ และเกิดแรงดึงขึ้น ควรใช้ซีเมนต์ที่มีส่วนผสม alkali ต่ำ เลือกใช้มวลรวมที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์จะช่วยลดรอยร้าวดังกล่าวได้

2.4 เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันมาก ๆ เช่น การเปียก แห้ง เย็นจัด ร้อนจัดสลับกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรซ้ำแล้วซ้ำอีก หรือปริมาณน้ำที่แทรกในเนื้อคอนกรีตแข็งตัวและขยายตัวทำให้เกิดแรงดันขึ้น การใช้คอนกรีตที่มี w/c ต่ำ และมีฟองอากาศแทรก มีการบ่มที่ดีช่วยแก้ปัญหานี้ได้มาก

2.5 เกิดจากขบวนการ electro-chemical อันเป็นผลจาก oxidizing agent ความชื้นและประจุไฟฟ้าในเนื้อโลหะทำให้เกิด iron oxide หรือสนิมเหล็ก เหล็กมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรมากขึ้นและดันเนื้อคอนกรีตที่หุ้มรอบ ๆ ทำให้เกิดรอยร้าวตามแนวยาวของเหล็ก รอยร้าวในระนาบของเหล็กเสริมที่ขนานกับผิวคอนกรีตทำให้คอนกรีตกะเทาะหลุดเป็นแผ่น ๆ การป้องกันทำให้ได้โดยไม่ให้ oxygen หรือความชื้นโดนเหล็กตามวงจรขบวนการดังกล่าวคอนกรีตจะต้องมีความหนาของระยะหุ้มเหล็กเสริมเพียงพอ นอกจากนั้นรอยร้าวจากสาเหตุอื่น ๆ จะมีผลถึงสาเหตุนี้ด้วย ดังนั้นในบริเวณที่คอนกรีตสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายอาจจะต้องเพิ่มกรรมวิธีในการป้องกัน เช่น ฉาบผิวเหล็ก หรือทาสารเคลือบทับหน้าคอนกรีต เป็นต้น

2.6 เกิดจากขั้นตอนการก่อสร้างที่ผิด เช่น ใช้น้ำผสมคอนกรีตมากเกินควร ทำให้คอนกรีตมีการหดตัวหรือทรุดตัวมาก และยังทำให้มีโอกาสเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกมากขึ้น การขาดการบ่มที่ต่อเนื่องทำให้ความคงทนของคอนกรีตลดลง ปัญหาของการรองรับชิ้นงาน การทรุดตัวของไม้แบบ การเทรอยต่อ ณ จุดที่เกิดหน่วยแรงสูง ๆ โดยใช้การวางแผนงาน เป็นต้น

2.7เกิดจากการรับน้ำหนักในระหว่างการก่อสร้างมากเกินไป หรือในขณะที่คอนกรีตมีกำลังไม่เพียงพอ ปัญหานี้มักจะพบมากในช่วงแรกๆ ของการเทคอนกรีตซึ่งยังไม่แข็งแรง ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้น หรือการกองเก็บของบนส่วนที่สร้างเสร็จมากเกินกว่าน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ ในกรณีชิ้นส่วนสำเร็จรูปหรือคอนกรีตอัดแรงอาจเกิดจากการยก การขนส่ง การกองเก็บที่ไม่ถูกต้อง หรือแม้แต่ขบวนการผลิต เช่น การตัดลวดไม่ถูกวิธีทำให้เกิดการเสียศูนย์หรือเกิด Thermal shock ในการบ่มด้วยไอน้ำ เป็นต้น

2.8 เกิดจากการคำนวณไม่ถูกต้องหรือให้รายละเอียดไม่มากพอ เช่น การออกแบบฐานรากโดยไม่คำนึงถึงการทรุดตัวที่ต่างกัน การให้รายละเอียดช่องเปิดหรือการเสริมเหล็ก เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้อาจเกิดได้กับส่วนของอาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างสำคัญ เนื่องจากพลั้งเผลอได้ง่าย หากผู้ออกแบบระมัดระวังหรือมีความรู้ในขั้นตอนการออกแบบและก่อสร้าง ก็จะลดปัญหานี้ลงได้มาก

2.9 เกิดจากการรับน้ำหนักบรรทุกภายนอก โดยเฉพาะชิ้นส่วนอาคารที่รับแรงดัด จะออกแบบให้เหล็กเสริมเป็นตัวรับแรงดึงและเป็นตัวควบคุมรอยร้าว และการกระจายในขอบเขตที่ยอมให้ ดังนั้นผู้ออกแบบควรมีความรู้เกี่ยวกับแรงดัด แรงเฉือน และแรงบิดอันจะทำให้สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการเกิดรอยร้าวได้ เช่น ความกว้างของรอยร้าวขึ้นอยู่กับหน่วยแรงในเหล็กและพื้นผิวของคอนกรีตรอบ ๆ เหล็ก เป็นต้น

Gergely และ Lutz (1968) กำหนดสมการที่ใช้หาความกว้างของรอยร้าว ดังนี้

$$w = 0.076\beta f_s \sqrt{d_c A} \times 10^{-3}$$

เมื่อ w = ความกว้างมากที่สุดของรอยร้าวที่อาจจะเกิดขึ้น, นิ้ว

β = อัตราส่วนของระยะระหว่างแกนสะเทินกับผิวรับแรงดึงและระยะระหว่างแกนสะเทินกับ centroid ของเหล็ก (ในคานทั่วไปมีค่าประมาณ 1.20)

f_s = หน่วยแรงดึงของเหล็ก, กิฟต่อตารางนิ้ว

d_c = ความหนาของคอนกรีตหุ้ม วัดจากผิวรับแรงดึงถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กที่ใกล้ที่สุด

A = พื้นที่คอนกรีตซึ่ง symmetric กับเหล็กเสริม หารด้วยจำนวนเหล็กเสริม, ตารางนิ้ว

ACI กำหนดความกว้างของรอยร้าวในกรณีผิวภายใน 0.016 นิ้วหรือ 0.41 มม. และสำหรับผิวภายนอก 0.013 นิ้วหรือ 0.33 มม.

การวิเคราะห์รอยร้าว

ก่อนทำการซ่อมแซมรอยร้าวที่เกิดขึ้นในอาคาร เราจำเป็นต้องศึกษาตำแหน่งสาเหตุและความจำเป็นที่จะซ่อมแซม หากรอยร้าวนั้น ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของชิ้นส่วนอาคารลดลงเกินขีดที่จะยอมได้ ตลอดจนวิธีการที่จะใช้โดยรอบคอบ

การตรวจสอบอาจทำได้หลายวิธี เช่น การดูด้วยตาเปล่าหรือทดสอบโดยวิธี destructive เช่น ใช้ pachometer หรือใช้เครื่องมือ Ultrasonic หรือทำการเจาะคอนกรีตทดสอบเพื่อตรวจดูตำแหน่งและความลึกของรอยร้าวในบางบริเวณ และตรวจสอบจากแบบหรือข้อมูลในการก่อสร้างที่มีบันทึกไว้ ในบางครั้งอาจจะต้องทำการคำนวณ check การรับน้ำหนักตามความเป็นจริงเปรียบเทียบกับการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ข้อมูลต่าง ๆ และวิเคราะห์สาเหตุแล้วจะนำมาสรุปเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมในการซ่อมแซมรอยร้าวดังนี้

1. เพื่อเพิ่ม strength ให้เท่าหรือมากกว่าของเดิม
2. เพื่อเพิ่ม stiffness ให้เท่าหรือมากกว่าของเดิม
3. เพื่อปรับปรุงการใช้งานของชิ้นส่วนนั้น
4. เพื่อป้องกันการซึมน้ำ
5. เพื่อปรับปรุงผิวหน้าให้มีสภาพเดิม
6. เพิ่มยืดอายุการใช้งาน
7. เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายในเหล็กเสริม

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้น เราอาจเลือกใช้วิธีซ่อมแซมหลาย ๆ วิธีร่วมกัน เช่น การอัด epoxy ซ่อมรอยร้าวเพื่อเพิ่ม tensile strength และอาจจะต้องใส่เหล็กเสริมเพิ่มกำลังอีก หรือในกรณีที่ยังไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้น การอัด epoxy จะช่วยเพิ่ม stiffness ของชิ้นส่วนนั้นได้ เป็นต้น

การซ่อมแซมรอยร้าว

วิธีที่นิยมใช้ซ่อมแซมรอยร้าว มีดังนี้

1. การอัด Epoxy วิธีนี้ใช้กับรอยร้าวที่มีความกว้างตั้งแต่ 0.002 นิ้ว โดยอาจใช้ความดันสูงในการอัด epoxy เข้าไปตามรอยร้าว

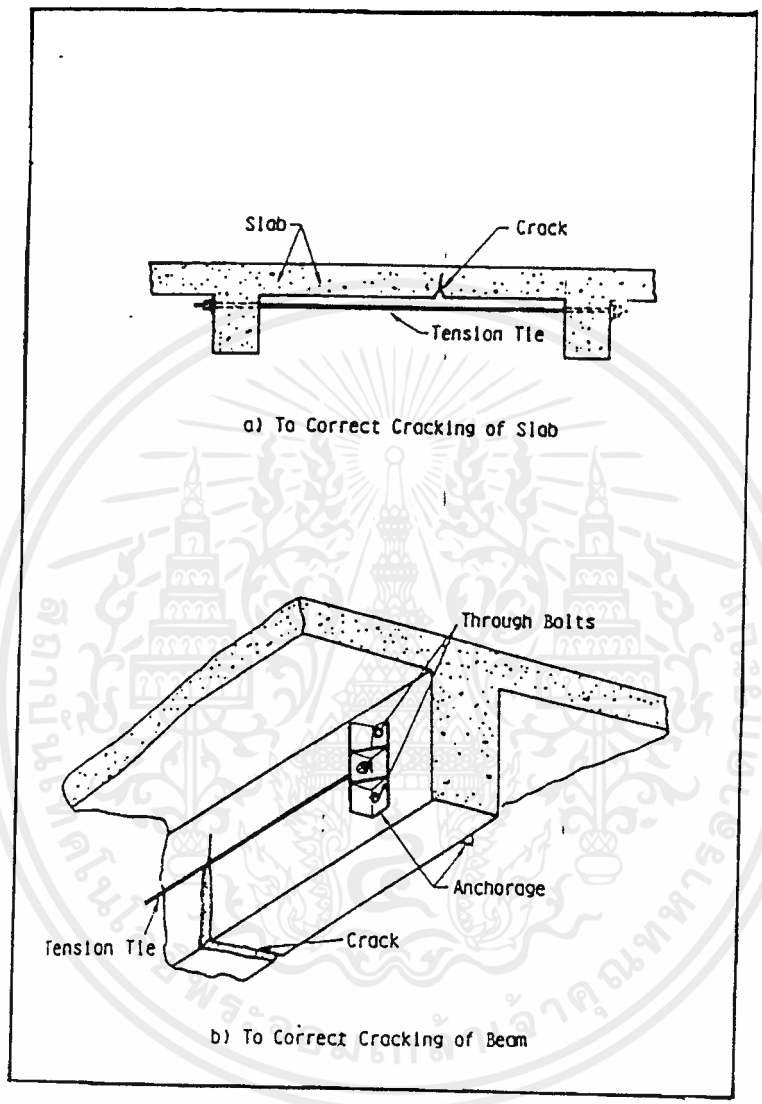
2. การสกัดและยาแนวซ่อม วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องใช้เทคนิคพิเศษ ใช้กับรอยร้าวที่ไม่สำคัญ โดยจะสกัดรอยร้าวให้กว้างขึ้นพอที่จะใช้สารที่เหมาะสมอุดยาแนวตลอดรอย

3. การเย็บรอยร้าว (stitching) โดยเจาะรูบนทั้งสองด้านของรอยร้าวนั้นแล้วใช้ตัวเย็บ (stitching dogs) ซึ่งเป็นโลหะรูปตัวยูขาสั้นคร่อมรอยร้าว อุดรูเจาะด้วย epoxy เพื่อยึดกับเนื้อคอนกรีต วิธีนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้รอยร้าวขยายมากขึ้น

4. การเสริมเหล็กเพิ่มซึ่งอาจใช้เสริมกับวิธีอัด Epoxy เหล็กที่เสริมอาจเป็นเหล็กธรรมดาหรือใช้ลวดอัดแรงและระบบ Post tension เข้าช่วยในกรณีที่ต้องการทำให้รอยร้าวที่เกิดขึ้นชิดสนิท ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 การซ่อมแซมรอยร้าวโดยเสริมเหล็กเพิ่มในระบบ Prestress

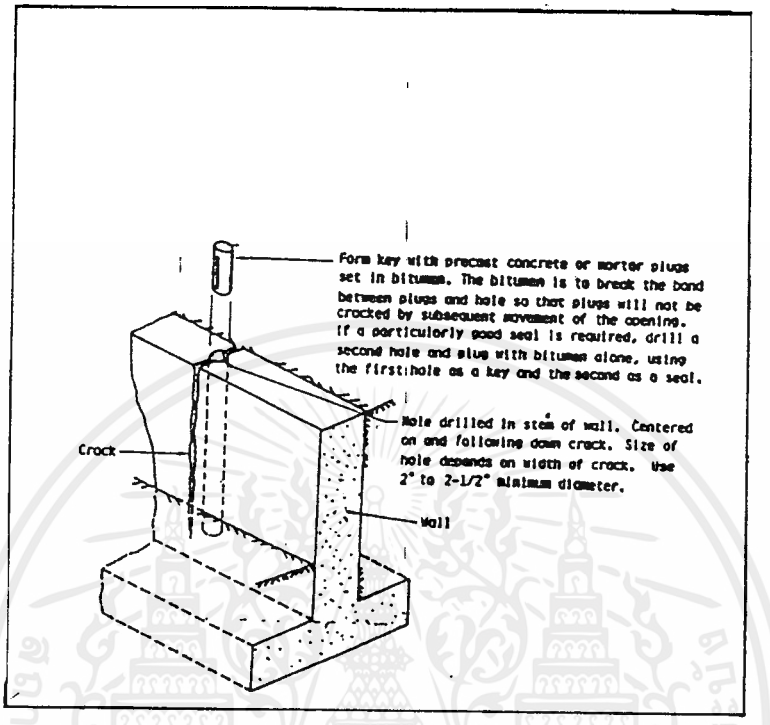


5. การเจาะและอุดรอยร้าว วิธีนี้ใช้ได้กับรอยร้าวที่ค่อนข้างตรงและมีปลายยึดข้างเดียว เช่น รอยร้าวในแนวดิ่งของกำแพงกันดิน เป็นต้น หลักการง่าย ๆ คือ เจาะโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 หรือ 3 นิ้วตลอดความยาวของรอยร้าว และอุดรูด้วย key ทำจากคอนกรีตหล่อสำเร็จหรือปูนทรายผสมยางมะตอย ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง key และรูเจาะ ดังรูปที่ 4

6. การใช้สารอุดปะที่อ่อนตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 การซ่อมแซมรอยร้าวโดยการเจาะและอุดรอยร้าว



7. การ Grout โดยใช้น้ำปูน เช่น ในงานเขื่อนหรือกำแพงคอนกรีตหนา วิธีนี้จะต้องใช้ w/c ต่ำเพื่อให้มีกำลังสูงและลดการหดตัว ในบางกรณีอาจใช้สารผสมเพิ่มลดน้ำเข้าช่วย หรืออาจใช้สารเคมีที่เหมาะสมเข้าช่วยในการ grout

8. การอัดแห้ง (dry packing) โดยใช้ส่วนผสมปูนทรายค่อนข้างแห้งนี้ จะต้องสกัดเปิดรอยร้าวให้มีความกว้างประมาณ 1 นิ้ว ลึกประมาณ 1 นิ้ว แล้วใช้ปูนขาวที่มีส่วนผสมปูนต่อทราย 1 ต่อ 3 อุดรอยร้าวนั้น

9. การสกัดกั้นรอยร้าวและกระจายแรงดึงให้เกิดเป็นบริเวณกว้าง เพื่อหยุดรอยร้าวอันอาจเกิดในการเทคอนกรีตปริมาณมาก ๆ โดยฝัง bond-breaking membrene หรือตารางเหล็กเหนือรอยร้าวในขณะเทคอนกรีต ในบางครั้งอาจจะฝังท่อครึ่งวงกลม ซึ่งต่อเชื่อมกับท่อ grout เพื่อ grout รอยร้าวในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.Polymer impregnation ระบบนี้เป็นการซ่อมแซมที่ได้ผลดีมาก เนื่องจากใช้สารพวก monomer ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวประกอบด้วยโมเลกุลของอินทรียสาร ที่มีคุณสมบัติที่จะ form ตัวเป็น solid plastic ได้ เมื่อได้รับความร้อน เมื่ออยู่สภาพนี้จึงทำให้สามารถชุ่มและซึมลงไปตามรอยร้าวได้ เมื่อได้รับความร้อนสารนี้จะรวมตัวกัน มีสภาพแข็งแรงและมีคุณสมบัติคล้ายคอนกรีต

11. การเททับหน้าและซ่อมผิว วิธีนี้ใช้ได้ทั้งรอยร้าวที่เกิดในโครงสร้างที่เป็นพื้นกว้าง ๆ เช่น การใช้สารที่มีส่วนผสม Epoxy ทาฉาบผิวหน้า

12. Autogenous healing เป็นวิธีซ่อมรอยร้าวเล็ก ๆ ตามธรรมชาติจากการเกิด Carbonation ของ calcium hydroxide ใน Cement palte โดย Carbondioxide ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในรอยร้าวเป็นการประสานเนื้อคอนกรีตไปในตัว

สรุป

การเลือกวิธีซ่อมแซมรอยร้าวแบบใด ๆ ก็ตามจะได้ผลต่อเมื่อเราแก้ไขสาเหตุได้ถูกต้อง เช่น หากรอยร้าวเกิดจากการหดตัวของคอนกรีตเพียงอย่างเดียว เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งรอยร้าวจะคงที่ไปเอง แต่หากรอยร้าวเกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานรากการซ่อมใด ๆ ก็ตามจะไม่เกิดผลเลย หากไม่หยุดการทรุดตัวดังกล่าวก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
ระบบการรื้อถอนอาคารให้มีความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิวัฒนาการและความเหมาะสมของระบบการรื้อถอนอาคารคอนกรีต กรณีของญี่ปุ่น

อุตสาหกรรมการก่อสร้างในเมืองใหญ่เช่น กรุงเทพมหานคร ในปัจจุบันมีลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งคือ การก่อสร้างเพื่อหาผลตอบแทนจากที่ดินหนึ่งหน่วยพื้นที่ให้สูงขึ้น เช่นสร้างอาคารทรงสูงตลอดจนเพิ่มความวิจิตรพิสดารในทางสถาปัตยกรรม เนื่องจากทำเลที่จะก่อสร้างจะต้องอยู่ในเขตชุมชนจอแจมีประวัติศาสตร์และความคึกคักทางธุรกิจในระดับสูงอยู่แล้ว ดังนั้นการรื้อถอนอาคารคอนกรีตเก่า ๆ ออกไปเพื่อสร้างอาคารใหม่มาทดแทนจึงเป็นเรื่องที่เลี่ยงไม่ได้ แนวโน้มเช่นนี้ของอุตสาหกรรมการก่อสร้างน่าจะเทียบได้กับแนวโน้มปัจจุบันของญี่ปุ่น โดยเฉพาะนครหลวงโตเกียวที่ราคาที่ดิน ระดับธุรกิจตลอดจนค่าครองชีพแพงที่สุดในโลก

การรื้อถอนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมักจะก่อให้เกิดเสียงดัง และความสั่นสะเทือน ซึ่งก่อความรำคาญให้แก่ผู้อยู่รอบข้างเป็นอย่างมาก นอกจากนี้แล้วเนื่องจากราคาที่ดินในประเทศญี่ปุ่นอยู่ในระดับสูงที่สุดในโลก ดังนั้นการก่อสร้างอาคารใหม่จึงต้องมีการรื้อถนออาคารเก่าออกไป หรือเรียกว่าการพัฒนาแบบปรับปรุง (Redevelopment) เพื่อให้ได้ผลตอบแทนด้านการลงทุนงานก่อสร้างในระดับที่สูงขึ้น เพราะฉะนั้นจึงอาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า งานรื้อถอนอาคารคอนกรีตกลายเป็นงานเบื้องต้นในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ ในเขตชุมชนเมืองของประเทศญี่ปุ่น

บทนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะนำเอาญี่ปุ่นเป็นกรณีศึกษาเพื่อให้ทราบถึงความเป็นมาของระบบการรื้อถอนอาคารคอนกรีต การนำวิธีการใหม่ๆ มาใช้และความเปลี่ยนแปลงรวมทั้งการพิจารณาความเหมาะสมของระบบการรื้อถอนอาคารแบบต่าง ๆ เป็นประการสุดท้าย

ความเป็นมาของระบบการรื้อถอนอาคารคอนกรีต

เมื่อรวบรวมรายละเอียดจากงานก่อสร้างในอดีตแล้ว เราสามารถจะสรุปได้ว่าระบบการรื้อถอนอาคารคอนกรีตของญี่ปุ่นเริ่มต้นจากงานอิฐ จากงานหิน จากงานทุบสะกัด และงานดิน งานนั่งร้าน

การใช้อิฐในงานก่อสร้างของญี่ปุ่นเริ่มต้นขึ้นในราว ค.ศ. 1960 ซึ่งเป็นสมัยที่ญี่ปุ่นเปิดประเทศ และรับเอาเทคโนโลยีของประเทศในโลกตะวันตกมาพัฒนาประเทศขึ้นอย่างจริงจัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่างก่อสร้างในสมัยนั้นต้องทำการเจาะรูที่ผนังอิฐก่อนเพื่อเดินท่อในอาคารเป็นจำนวนมาก จึงได้รับการเรียกชื่อว่า "ช่างเจาะรู" และต้องทำการใช้ค้อนทุบผนังอิฐออกเพื่อเปิดช่องในอาคารเป็นจำนวนมากอีกเช่นกัน จึงได้รับการเรียกชื่ออีกชื่อหนึ่งว่า "ช่างภูเขา" ซึ่งหมายถึงผู้ชำนาญการในการทุบทำลายแผ่นหินนั่นเอง

สำหรับงานหินนั้นเมื่อพิจารณาจากลักษณะของงานแล้วจะพบว่า มีความชำนาญในการเจาะรูของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ตลอดจนการสะกัดผิวคอนกรีตออกให้เรียบจนได้รับการเรียกชื่อเป็น "ช่างสะกัด" อีกด้วย ส่วนงานดินและงานนั่งร้านนั้น ก็มีงานส่วนหนึ่งที่เป็นการสะกัดผิวและทุบทำลายชิ้นส่วนคอนกรีตออกบ่อยครั้งเช่นกัน

งาน 3 ลักษณะที่กล่าวถึงนี้เป็นที่ต้องการมากขึ้นในตลาดแรงงานก่อสร้างของญี่ปุ่นเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับเฟื่องฟูที่สุดในระหว่าง ค.ศ. 1910-1937 (สมัยเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ที่สุดในเขตโตเกียว จนถึงสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2) ซึ่งเป็นสมัยที่อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับความนิยมสูงสุด

ทั้งนี้เนื่องจากว่าการก่อสร้างในสมัยนั้นใช้แม่แบบหล่อคอนกรีตขนาด 0.60 x 1.80 ม. ผูกยึดไว้ด้วยลวดเหล็กทำให้เกิดการบิดตัวและโค้งนูนขึ้นที่ผิวคอนกรีตและต้องใช้วิธีสะกัดผิวให้เรียบเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว นอกจากนี้งานของ "ช่างสะกัด" ยังเป็นงานที่เตรียมทำผิวขรุขระทำช่องเปิดและทำช่องยึดโลหะลงบนผิวคอนกรีตเพื่อตรึงตู้โทรศัพท์ ตู้ประตูบานเลื่อน และอื่น ๆ ลงไปหลังจากที่คอนกรีตแห้งตัวแล้ว

ความต้องการ "ช่างสะกัด" ในตอนหลังสงครามโลกครั้งที่สองยังมีอยู่ในระดับสูงจนถึงประมาณ ค.ศ. 1955 ซึ่งได้ริเริ่มนำเอาไม้อัด และปั๊มคอนกรีตมาใช้ในการก่อสร้าง ความต้องการ "ช่างสะกัด" ที่ลดลงในระยะต่อมาได้แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของงานคอนกรีตอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันนี้ "ช่างสะกัด" จึงมีบทบาทแต่เฉพาะงานซ่อมผิวขรุขระและแนวนูนโป่งบางแห่งของงานก่อสร้างเท่านั้น

เมื่อพิจารณาระบบการรื้อถอนที่สืบเนื่องจากงานสะกัดผิวคอนกรีตแล้วจะเห็นว่า หลังจากที่ญี่ปุ่นพ่ายแพ้ในสงครามโลกครั้งที่สองแล้ว งานรื้อถอนส่วนใหญ่เป็นงานทำลายอาคารหรือซ่อมแซมอาคารเก่า ๆ ขนาดเล็กที่เป็นซากเนื่องจากสงคราม แต่งานรื้อถอนที่แท้จริงเริ่มต้นขึ้นในราว ค.ศ. 1955

ประสบการณ์ของงานรื้อถอนเริ่มต้นจากการหยิบยืมเครื่องทำลายคอนกรีต (เบรค-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกอร์) จากกองทัพพันธมิตรที่ยึดครองเกาะญี่ปุ่นในช่วงเวลาดังกล่าวซึ่งได้ว่าส่วนใหญ่เป็นงานรื้อถอนทางด้านการทหาร ติดตามมาด้วยการผลิตเบรคเกอร์และบุลโดเซอร์ขึ้นในเกาะญี่ปุ่น ซึ่งต่างทำให้งานรื้อถอนอาคารเป็นกิจการที่ก้าวหน้าสืบมา

สำหรับงานสะกัดนั้นเริ่มลดความสำคัญลงตั้งแต่ ค.ศ. 1955 ผู้ประกอบอาชีพด้านนี้ต้องหันไปประกอบอาชีพด้านอื่น ส่วนงานรื้อถอนอาคารกลายเป็นธุรกิจที่เกิดขึ้นมาใหม่และใช้ความรู้ความชำนาญตลอดจนเครื่องจักรเครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อนขึ้น

การนำวิธีการใหม่ ๆ มาใช้และความเปลี่ยนแปลง

ได้มีการก่อสร้างค่ายพักทหารและโรงเก็บเสบียงอาหารเพื่อการทหารขึ้นโดยกองทัพพันธมิตรหลังจากที่สงครามโลกครั้งที่สองเสร็จสิ้นแล้ว ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ เหล่านี้นั้น กองทหารของสหรัฐฯ ได้ใช้รถบูลดอเซอร์ และเคราเลอร์เครนมาไถกวาดฐานรากคอนกรีตออกไป การเตรียมพื้นที่ในครั้งนั้นกล่าวกันว่าเป็นการเปิดไปสู่ยุคใหม่ของการรื้อถอนอาคารในญี่ปุ่นเสียทีเดียว

ในตอนต่อไปนี้เราจะกล่าวถึงการนำมาใช้ ความเปลี่ยนแปลงตลอดจนสภาพการพัฒนาเครื่องจักรกลและวิธีการทำลายอาคารที่นิยมใช้กันมากในญี่ปุ่น ซึ่งเป็นการรวบรวมมาจากเอกสารที่เกี่ยวข้องหลายฉบับ

1. เบรคเกอร์

1.1 เบรคเกอร์ที่ใช้คนควบคุม

เบรคเกอร์ตัวแรกที่ใช้ในญี่ปุ่นมีน้ำหนักราว 45 กก. ซึ่งนับว่าหนักมากสำหรับร่างกายคนญี่ปุ่นได้ถูกนำเข้ามาใช้โดยทหารของกองทัพพันธมิตรที่ยึดครองเกาะญี่ปุ่นในค.ศ. 1951 ต่อมาได้มีการผลิตเบรคเกอร์ขนาด 20 ถึง 25 กก. ขึ้นในประเทศ เบรคเกอร์ขนาดเล็กมักจะเรียกกันว่า มิคแฮมเมอร์ซึ่งนิยมใช้ในการแยกชิ้นส่วนคอนกรีตในที่สูง ๆ และยังนิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันสำหรับพื้นที่ก่อสร้างที่แคบและยากต่อการปฏิบัติงาน แต่เนื่องจากเบรคเกอร์ที่ใช้คนควบคุมไม่สะดวกต่อการทำงาน จึงได้มีการผลิตเบรคเกอร์ขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองขึ้นในเวลาต่อมา

1.2 เบรคเกอร์ขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรคเกอร์ขนาดใหญ่ ใช้ระบบการขับเคลื่อนด้วยอากาศอัดที่ยึดติดกับรถแบคโฮว์แบบล้อยาง ได้ถูกนำมาใช้ใน ค.ศ. 1967 ในการทำลายอาคารที่เสร็จสิ้นจากการจัดงานมหกรรมแห่งนครโอซากา (ค.ศ. 1970) นั้นเบรคเกอร์ชนิดนี้เป็นเครื่องจักรกลที่มีบทบาทสูงมาก (เรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า ไจแอนต์ เบรคเกอร์)

เบรคเกอร์ที่ใช้อากาศอัดมีข้อเสียก็คือ เกิดเสียงดังหนวกหูและมีการระบายอากาศออกมามาก การแก้ไขปรับปรุงข้อเสียในเรื่องนี้ก็คือการใช้ก๊าซไนโตรเจนที่อัดด้วยระบบไฮดรอลิคน้ำมันเพื่อส่งถ่ายกำลังในการกระแทกเพื่อทำลายชิ้นส่วนคอนกรีต เครื่องจักรชนิดนี้ได้รับการสั่งซื้อมาจากสหรัฐอเมริกา รู้จักกันในนามเครื่องบ็อบ คอมลิน และใช้กันแพร่หลายในเวลาต่อมา หลังจากนั้นได้มีการใช้เบรคเกอร์แบบไฮดรอลิคน้ำมันขนาดใหญ่ที่ติดระบบสปริงซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ผลิตขึ้นในประเทศและสามารถทดแทนเบรคเกอร์แบบอากาศอัดได้เกือบหมดในระหว่างค.ศ. 1971-1972

เมื่อใช้ร่วมกับลูกตุ้มเหล็กขนาดใหญ่ (สตีลบอลล์) แล้วผู้ดำเนินการก่อสร้างสามารถจะใช้ระบบรื้อถอนอาคารในบริเวณชุมชนที่จอแจได้ การรื้อถอนโดยใช้เครื่องจักรประกอบกันเช่นนี้ได้รับความนิยมมากในระหว่าง ค.ศ. 1978-1979 แต่ก็ต้องเสื่อมความนิยมลงไปอีกเมื่อมีการนำเอาเครื่องบดอัดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาใช้ในเวลาต่อมา

ในปัจจุบันเบรคเกอร์ขนาดใหญ่มักจะจำกัดการใช้อยู่เฉพาะบริเวณที่มีการรื้อถอนฐานราก ผนังห้องใต้ดิน พื้นถนนคอนกรีต ตลอดจนการตัดริมขอบของอาคารคอนกรีต แต่เนื่องจากเกิดเสียงรบกวนและความสั่นสะเทือนสูง ดังนั้นการรื้อถอนอาคารส่วนใหญ่ในชุมชนที่จอแจมักจะใช้เครื่องบดอัดคอนกรีตแทน

2. เครื่องเจาะ

เครื่องเจาะหลุมเพื่อบรรจุดินระเบิดหรือสารเคมีทำลายคอนกรีตแบบไม่เกิดความสั่นสะเทือนนั้นจะต้องมีการใช้เครื่องเจาะและขยายหลุมขนาดใหญ่ที่มักเรียกรวมกันว่า เครื่องเจาะ เครื่องเจาะที่นิยมใช้มักมีขนาด 24 กก. ที่ควบคุมด้วยคน ส่วนปลายเป็นรูปตัดแบบ (-) หรือรูปกากบาด (+) ซึ่งทำด้วยโลหะผสมที่มีความแข็งมาก สามารถกระแทกผิวคอนกรีตได้นาทีละ 1000 ครั้งขึ้นไป และหมุนวนได้ราวนาทีละ 200 ถึง 300 รอบ

ความเร็วในการเจาะหลุมอยู่ในระดับสูงมากราว 20 ถึง 40 ซม./นาที แต่ถ้าส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายกระทบเหล็กเสริมในคอนกรีตแล้วจะทำให้งานเจาะหลุมยากลำบากหรือทำให้ส่วนปลายสว่านที่เป็นโลหะแข็งชำรุด ดังนั้นจึงมักเลี่ยงปัญหากันโดยการย้ายตำแหน่งที่เจาะหลุมเสีย

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเครื่องเจาะขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง ถ้าปลายสว่านสัมผัสกับส่วนเหล็กเสริมแล้ว เครื่องจะบังคับให้มีการปรับแต่งความเร็วในการเจาะได้เองโดยไม่ต้องย้ายตำแหน่งที่เจาะไปเสียแต่อย่างใด

3. สตีลบอลล์

สตีลบอลล์ ได้เริ่มถูกนำมาใช้ในญี่ปุ่นเป็นครั้งแรกพร้อมกับรถเคราเลอร์เครนขนาดใหญ่โดยกองทัพสัมพันธมิตร เนื่องจากญี่ปุ่นไม่เคยใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เช่นนั้นมาก่อน ชาวญี่ปุ่นจึงได้เริ่มทดลองโดยทิ้งลูกตุ้มเหล็กลงมาจากนั่งร้านไม้แบบสามขา

การใช้สตีลบอลล์ในงานรื้อถอนชุกชุมมากในระหว่าง ค.ศ. 1955 ถึง 1980 เช่น การทำลายและรื้อถอนอาคารเก่าของธนาคารแห่งชาติ (ค.ศ.1969-1970) นั้นต้องใช้สตีลบอลล์ควบคู่กับเบรคเกอร์ที่ใช้คนควบคุม ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานก็ตาม ความสั่นสะเทือน ฝุ่นผงและเสียงรบกวนรวมทั้งเศษคอนกรีตที่กระจายออกไปรอบ ๆ การแกว่งตัวผิด ๆ พลาด ๆ ของสตีลบอลล์ตลอดจนการที่รถเครนที่แขวนสตีลบอลล์พลิกคว่ำทลายเป็นปัญหาด้านมลภาวะและด้านความปลอดภัยที่ทำให้มีการจำกัดการใช้ในเวลาต่อมา

4. ชุดแม่แรงยก

ดวานและพื้นของอาคาร จะได้รับการออกแบบให้รับน้ำหนักที่กระทำจากด้านบนสู่ด้านล่างได้ดี กล่าวคือได้รับการออกแบบให้ทนทานต่อนักไนักของตัวเอง และน้ำหนักที่บรรทุกได้อย่างพอเพียง ดังนั้นถ้าเราออกแรงกระทำจากด้านล่างขึ้นด้านบนได้แล้วอาคารจะเกิดการวิบัติได้โดยใช้แรงที่ไม่มากนัก ในกรณีนี้แรงที่ใช้คือแรงปฏิกิริยาจากระดับชั้นพื้นที่อยู่ส่วนล่างนั่นเอง การรื้อถอนอาคารโดยวิธีการนี้เรียกว่าการรื้อถอนโดยชุดแม่แรงยกหรือระบบแจ็ค

การรื้อถอนอาคารโดยวิธีนี้ได้เริ่มต้นมาจากการเป็นหัวข้อวิจัยที่สำคัญของคณะกรรมการค้นคว้าวิธีทำลายอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ของสมาคมผู้ประกอบการก่อสร้างอาคารตึกในค.ศ. 1971 แล้วได้รับการปรับปรุงมาใช้งานจริง ๆ ในเวลาต่อมา ได้มีการประดิษฐ์เครื่องจักรที่เป็นรถล้อยางขนาดเล็กติดตั้งด้วยระบบไฮดรอลิคน้ำมันแม่แรงขึ้นและเริ่มนำมาใช้ใน ค.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1975 ในฐานะที่ไม่มีความสั่นสะเทือนและไม่มีเสียงรบกวนแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามเครื่องจักรประเภทนี้เริ่มเสื่อมความนิยมในราว ค.ศ. 1978 หลังจากที่มีการนำเอาเครื่องบดอัดมาใช้ นับว่าเป็นวิธีการทางการก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีอายุใช้งานสั้นจนน่าเสียดาย

5. เครื่องบดอัด

เครื่องบดอัดเพื่อรื้อถอนคอนกรีตเครื่องแรกได้ถูกนำมาใช้ในการรื้อถอนโครงสะพานทางรถไฟลอยฟ้าใน ค.ศ. 1971

เครื่องจักรชนิดนี้มีโครงสร้างที่สำคัญ คือการติดแม่แรงไฮดรอลิคน้ำมันเข้ากับเหล็กโครงสร้างชนิดแข็งรูปตัวซี (C) เพื่อบิดตัดคานหรือเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบการใช้กรรไกรตัดตัดเชือก เหล็กโครงสร้างและชุดแม่แรงมีน้ำหนักรวมกันประมาณ 5 ตัน สามารถแบ่งการใช้ออกเป็น 2 ลักษณะคือติดตั้งกับรถแบคโฮว์ล้อยาง (เรียกว่า ชุดคอนเดสตรา) กับชุดที่แขวนกับรถเครนแบบล้อยาง เครื่องจักรทั้งสองแบบนี้ได้รับความนิยมมากจนถึง ค.ศ. 1978 อย่างไรก็ตามการนำเครื่องบดอัดชื่อนิบล่าจากอังกฤษเข้ามาใช้ใน ค.ศ. 1875 ทำให้มีการพัฒนาเครื่องจักรขนาดที่ใหญ่กว่าขึ้นหลายแบบในเวลาต่อมา

การที่ได้มีการพัฒนาเครื่องจักร ที่ใช้ในการรื้อถอนชนิดดีออกมามากในระยะเวลาอันสั้น นอกจากเกิดมาจากข้อเรียกร้องให้ใช้วิธีรื้อถอนที่ปราศจากเสียงรบกวนและปราศจากความสั่นสะเทือนแล้ว สาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การนำเอาประสบการณ์จากเครื่องชุดคอนเดสตรามาปรับปรุงอีกด้วย

วิธีรื้อถอนโดยการบดอัดเช่นนี้ ได้รับความนิยมมากและกลายเป็นวิธีการที่แพร่หลายที่สุดในการรื้อถอนในเขตชุมชนจอแจในปัจจุบัน

6. เครื่องตัดท่อคอนกรีต

เครื่องตัดท่อ มีหลักการทำงานที่สำคัญคือการนำเอาบฏิกิริยาจากแถบวัดท่อคอนกรีตอัดแรงหรือท่อคอนกรีตแบบหนีศูนย์กลางที่มีรูกลวงมาบดอัดให้ท่อแตกร้าว เครื่องตัดท่อแบบนี้ต้องการกำลังน้อยเพราะเป็นการตัดท่อที่มีส่วนที่เป็นช่องว่างอยู่ภายในและเกิดแรงดึงกระทำต่อผิวคอนกรีตได้โดยง่าย เครื่องจักรชนิดนี้ได้เริ่มใช้ใน ค.ศ. 1971 และยังนิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ร็อคแจ็ค

ร็อกแจ็คมีหลักการทำงานที่สำคัญคือ การสอดแท่งเหล็กลงในช่องที่เจาะไว้บนผิวหินหรือคอนกรีตแล้วใช้ไฮดรอลิคน้ำมันอัดตัวให้คอนกรีตแล้วใช้ไฮดรอลิคน้ำมันอัดตัวให้คอนกรีตหรือหินแท่งเกิดแรงดึงมากระทำจนบริแยกออกจากกัน เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ชุดขยายช่องแบบใช้ไฮดรอลิคน้ำมัน เครื่องจักรชนิดนี้มีอยู่หลายแบบ เช่น ชื่อ "คัลดา"

ที่เริ่มใช้ใน ค.ศ. 1972 ถึงแม้ว่าจะเกิดเสียงดังในช่วงที่มีการเจาะหลุมก็ตาม การอัดน้ำมันและการแยกตัวในระยะต่อมาจะไม่เกิดเสียงดังและไม่เกิดความสั่นสะเทือนจึงนิยมใช้กันมาก อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะใช้กับแท่งหินหรือแท่งคอนกรีตได้ดีก็ตาม การนำเอามาใช้ในชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กยังไม่ได้ผลนัก และใช้การทำลายคอนกรีตโดยใช้สารเคมีแทนในเวลาต่อมา

8. เครื่องตัดเหล็กโครงสร้างขนาดใหญ่

ได้มีการพัฒนาเครื่องตัดเหล็กโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ติดกับส่วนปลายของแบคโฮว์เป็นชุดต้นแบบและไว้ตัดเหล็กโครงสร้างไปพร้อมกับเครื่องบดอัดโครงสร้างคอนกรีตในเหล็กเสริมคอนกรีตแล้วเครื่องจักรชนิดนี้ยังตัดเหล็กรูป "เฮช" ขนาดเหล็ก ตลอดจนท่อเหล็กได้โดยง่าย เนื่องจากเดิมทีเดียวการตัดเหล็กเสริมในคอนกรีตมักจะใช้เครื่องตัดก๊าซ และสิ้นเปลืองแรงงานมาก ดังนั้นเครื่องจักรชนิดใหม่จึงทำให้ประสิทธิภาพในการรื้อถอนสูงขึ้นมาก

9. เครื่องตัดโดยวิธีการทางกลศาสตร์

9.1 วิธีการคัทเตอร์

วิธีการคัทเตอร์เป็นวิธีการที่ช่วยให้เราสามารถตัดคอนกรีตไปได้พร้อมกับเหล็กเสริมในเนื้อคอนกรีต การตัดวัสดุทั้งสองชนิดพร้อมกันนั้นเคยเป็นอุปสรรคใหญ่ในงานรื้อถอนเพราะว่าคุณสมบัติต่างกันโดยที่คอนกรีตมีความแข็งเปราะ แต่เหล็กมีความเหนียวและทนทานแรงดึงได้สูงกว่า รวมทั้งยืดหดได้มากกว่าด้วย ดังนั้นการตัดวัสดุทั้งสองชนิดออกพร้อมกันนั้นจึงต้องใช้ใบมีดตัดที่ประกอบด้วยโลหะและส่วนปลายตัดแบบพิเศษ (กากเพชร)

ใบมีดตัดที่เป็นโลหะผสมจะปรับแต่งความสามารถในการตัดได้เองในขณะที่กำลังเคลื่อนที่โดยที่ให้กากเพชรสัมผัสกับผิวชิ้นงานอยู่ตลอดเวลา กล่าวคือถ้าใช้ความเร็วในการตัดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินไปแล้วจะทำให้งานเสร็จได้เร็วแต่ใบมีดจะสึกหรอเร็ว แต่ถ้าความเร็วต่ำไปแล้วถึงแม้ใบมีดตัดจะสึกหรอเร็ว แต่ถ้าความเร็วต่ำไปแล้วถึงแม้ใบมีดจะสึกหรอน้อยก็ตาม ประสิทธิภาพในการตัดจะต่ำลงมาก ดังนั้นการจัดจังหวะระหว่างความเร็วและอายุการใช้งานของใบมีดตัดจึงยุ่งยาก นอกจากนี้แล้วเราจะต้องจัดให้มีความเร็วของใบมีดสัมพันธ์กับแรงฉุด (ทอร์ค) ด้วย ในทางปฏิบัตินั้นถ้าจัดให้ความเร็วของใบมีดสูงและแรงฉุดต่ำแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพในการตัดดีมาก

9.2 วิธีการไวร์ซอวิ่ง

หลักการทำงานของเครื่องชนิดนี้คือ ใช้สายพานโลหะ (ไวร์) ที่เคลือบผิวด้วยกากเพชรหมุนผ่านไปบนผิวชิ้นงานเพื่อให้เกิดการสึกกร่อน เดิมทีเดียวเครื่องชนิดนี้ใช้กันมากในงานตัดแผ่นหินอ่อนในอิตาลี และได้รับการดัดแปลงมาใช้ในงานรื้อถอนอาคารคอนกรีต ขนาดของชิ้นงานที่ตัดสามารถจะจัดให้มีความใหญ่เล็กได้โดยการจัดความยาวของสายพานโลหะ

9.3 วิธีการคอร์บอริ่ง

การปรับปรุงคุณภาพของหัวตัด (บิท) ของเครื่องคอร์บอริ่ง (เครื่องเจาะหลุม) เป็นผลสืบเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพของใบมีดในวิธีการคัทเตอร์ ทำให้เราสามารถเจาะผิวของชิ้นงานได้ดีขึ้น ตัวอย่างการใช้วิธีนี้ ก็คือใช้ในการซ่อมแซมเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเจอาร์อาร์ 3 ของสถาบันวิจัยพลังงานปรมาณู ซึ่งใช้ในงานตัดผนังคอนกรีตหนาในแนวดิ่งและในแนวราบ โดยใช้เครื่องเจาะหลุมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. ทำการเจาะหลุมในทิศทางที่ตัดกันและแยกเตาปฏิกรณ์ฯ กับผนังคอนกรีตออกได้เป็นชุดเดียวกัน ชุดเตาปฏิกรณ์ฯ นี้ได้รับการเคลื่อนย้ายในแนวราบโดยใช้ปั้นจั่นขนาดใหญ่และถูกนำไปเก็บรักษาไว้ที่ระดับใต้ดินลึกได้อย่างปลอดภัย

10. วิธีการเทอร์มิท

วิธีการเทอร์มิทมีหลักการที่สำคัญคือ การใช้ความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (ออกซิเดชั่น) ของโลหะในระดับอุณหภูมิสูงมาหลอมละลายคอนกรีตเพื่อเจาะรูหรือเพื่อตัดให้แยกออกจากกัน

วิธีการนี้ได้รับการใช้เป็นครั้งแรกในญี่ปุ่น เมื่อ ค.ศ. 1958 โดยใช้ผงอะลูมิเนียมผสมกับโลหะผสมของเหล็ก เรียกกันว่าวิธีการเผาเตอร์คัทติ้ง ต่อมาได้ดัดแปลงมาใช้เส้นลวดที่เป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียมหรือลวดโลหะผสมของเหล็ก 7-19 เส้น บรรจุลงในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 ถึง 17 มม. แล้วอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปให้เกิดการเผาไหม้และแยกชิ้นคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากกันได้โดยการหลอมละลาย วิธีการนี้เริ่มนำมาใช้ใน ค.ศ. 1967 เรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า วิธีการเบอร์นิ่งบาร์

การรื้อถอนโดยวิธีการนี้ใน ค.ศ. 1969 เป็นการรื้อถอนซากห้องนิรภัยของธนาคารแห่งชาติในกรุงโตเกียว โครงสร้างประกอบด้วยชุดโลหะที่ขยายตัวได้และมีความหนาสูง เทปิดทับด้วยคอนกรีตที่ผสมกรวดทรายแลม ซึ่งมีความทนทานสูง การทำลายห้องนิรภัยดังกล่าวนั้นต้องใช้ดินระเบิดไดนาไมท์และใช้วิธีการเบอร์นิ่งบาร์ในการเจาะหลุมเพื่อบรรจุดินระเบิดดังกล่าว นอกจากนี้แล้วเนื่องจากวิธีการดังกล่าวยังใช้งานได้ผลในส่วนที่อยู่ในน้ำ จึงนิยมใช้ในการตัดแผ่นซีท-ไพล์ในบริเวณที่มีน้ำขังอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากท่อเหล็กที่เจาะนำช่องมีการสึกหรอได้เร็ว และมีราคาต้นทุนสูง จึงมักไม่เป็นที่นิยมในโครงสร้างทั่วไป ในปัจจุบันนี้กำลังมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการรื้อถอนชุดเตาปฏิกรณ์ปรมาณู

11. วิธีการหัวพ่นเปลวไฟ

วิธีการรื้อถอนแบบนี้มีหลักการคือ การหลอมละลายและตัดคอนกรีตด้วยเปลวไฟที่ได้จากการพ่นน้ำมันก๊าดออกมาพร้อมกับก๊าซออกซิเจนด้วยความเร็วสูง ให้เกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 1,300-1,400 องศาเซลเซียส และมีความเร็วระดับ 4 ถึง 6 มัค (4 ถึง 6 เท่าของความเร็วของเสียง) วิธีการนี้เริ่มใช้ในการตัดหินแกรนิตในสหรัฐอเมริกาและโซเวียตมาก่อนแล้ว แต่ได้รับการศึกษาวิจัยและดัดแปลงใช้ในญี่ปุ่น เมื่อ ค.ศ. 1965 จากการทดลองของบริษัทชุมิโตโม การก่อสร้าง จำกัด นั้นพบว่าการตัดคอนกรีตจากตำแหน่งที่ห่างออกไป 30 ซม. นั้น เกิดเสียงดังถึง 75-105 โฟน และก่อความรำคาญให้แก่บริเวณรอบ ๆ มาก จึงไม่เป็นที่นิยมในการรื้อถอนอาคารทั่ว ๆ ไป

อย่างไรก็ตาม แนวทางใช้งานจากวิธีการดังกล่าวยังได้รับการคิดค้นเพิ่มเติม เช่น การใช้เปลวไฟไปทำให้คอนกรีตเสริมเหล็กของเตาปฏิกรณ์ปรมาณูมีความร้อนจัด แล้วเอาน้ำเย็นราดอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดรอยปริและการแยกตัวออกจากกัน นอกจากนี้แล้วยังใช้ในการเจาะหลุมบนชั้นหินแกรนิตแข็งใต้ทะเลเพื่อบรรจุดินระเบิดทำลายเตรียมชั้นฐานรากได้อีกด้วย

12. วิธีการตัดเหล็กโครงสร้างโดยใช้ก๊าซ

การตัดเหล็กเสริมคอนกรีตใช้หลักการเช่นเดียวกับงานโลหะทั่วไป กล่าวคือการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอมละลายชิ้นส่วนโลหะด้วยก๊าซอะเซติลีนอุณหภูมิสูงแล้วใช้ก๊าซออกซิเจนเป่าให้แยกออกจากกัน

ในปัจจุบันนี้มีการใช้การตัดด้วยก๊าซน้อยเพราะมีเครื่องตัดขนาดใหญ่ขึ้นมาแทนที่ตามที่ได้กล่าวแล้วในข้อ 5.8

13. วิธีการใช้ดินระเบิด

วิธีการใช้ดินระเบิดในการรื้อถอนอาคาร เป็นวิธีการที่ใช้กันมานานแล้วในทวีปยุโรป แต่การใช้งานในญี่ปุ่นนั้นเริ่มต้นจากการรื้อถอนอาคารสูง 12 ชั้นออกไปคราวละ 7 ถึง 8 ชั้น โดยใช้ดินระเบิดไดนาไมท์ ในตอนที่เกิดการปรักหักพังเนื่องจากเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ใน ค.ศ. 1910 หลังจากนั้นมาก็ได้มีการใช้วิธีการดังกล่าวในการรื้อถอนอาคารใต้ดินบ้างเป็นบางครั้งบางคราว ตั้งแต่ ค.ศ. 1955 ซึ่งเป็นช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สอง

การรื้อถอนอาคารเก่าของธนาคารแห่งชาติ ใน ค.ศ. 1969-1970 นั้น ได้ใช้ไดนาไมท์จำนวน 8 ตันในการรื้อถอนส่วนห้องนิรภัยออกไป นอกจากนี้แล้วการรื้อถอนศาลาอเมริกันที่งานมหกรรมโอซาก้า เมื่อ ค.ศ. 1970 นั้น ได้มีการเจาะช่องบรรจุดินระเบิดไว้ที่ฐานรากของอาคารแล้วตั้งแต่ช่วงที่มีการก่อสร้าง นอกจากนี้แล้วสมาคมธุรกิจการก่อสร้างได้ทดลองการใช้ดินระเบิดในการรื้อถอนเสาและฐานรากของอาคารมาตั้งแต่ ค.ศ. 1971

ตัวอย่างการรื้อถอนยุคใหม่ที่น่าสนใจ คือการรื้อถอนศาลาสหประชาชาติหลังจากเสร็จสิ้นงานมหกรรมวิทยาศาสตร์ที่เมืองทซึคือบะ ใน ค.ศ. 1986

อย่างไรก็ตาม การใช้ดินระเบิดในการรื้อถอนอาคารนั้นจะต้องได้รับความยินยอมจากผู้ที่อยู่ในเขตรัศมีกระทบกระเทือน จึงยากที่จะนำมาใช้ในเขตชุมชนที่จอแจได้ จึงคาดว่าอนาคตการใช้ดินระเบิดในการรื้อถอนอาคารของญี่ปุ่นยังคงประสบอุปสรรคอยู่เป็นอันมาก

14. การรื้อถอนโดยใช้สารเคมี

การรื้อถอนโดยใช้สารเคมี คือการใช้คุณสมบัติการขยายตัวของปูนดิบเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยากับน้ำมาดันให้ชิ้นส่วนคอนกรีตแยกตัวออกจากกัน วิธีการนี้ได้รับการวิจัยเป็นครั้งแรกโดยธุรกิจเอกชน ใน ค.ศ. 1968 ต่อจากนั้นมามหาวิทยาลัยนิบปอนและบริษัทก่อสร้างโทดะได้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมและกลายมาเป็นสินค้าเป็นครั้งแรก ใน ค.ศ. 1981 โดย บริษัท ปูนซีเมนต์โอโนดะ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎกระทรวงฉบับที่ 1236 ลงวันที่ 1 กรกฎาคม ค.ศ. 1981 ของกระทรวงโยธาธิการได้ระบุให้มีการวิจัยและพัฒนาเรื่อง "การพัฒนาวิธีการแยกส่วนโครงสร้างโดยใช้แรงอันเนื่องจากการขยายตัว" และทำให้ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีการพัฒนารับรองเทคโนโลยีการรื้อถอนโดยวิธีการนี้ให้แก่ผู้ประกอบการ 5 ราย นอกจากนี้แล้วงานคิดค้นใหม่ทางด้านนี้ก็คือ การผสมน้ำจำนวนน้อยลงในสารเคมีชนิดครีมข้นที่บรรจุลงในหลุมบนผิวคอนกรีตที่เจาะไว้ เพื่อให้บรักหักพังได้โดยเร็วอีกด้วย

15. วิธีการอะบราซีพวอเทอร์เจ็ต

หลักการทำงานของวิธีการนี้คือ การฉีดพ่นน้ำที่มีความดันสูงถึง 2,000 เท่าของความดันบรรยากาศออกจากปลายท่อขนาดเล็กเพื่อตัดชิ้นส่วนของวัสดุก่อสร้าง เดิมทีเดียวมีการใช้ในการตัดหินแข็ง แต่ในปัจจุบันมีการใช้ในการตัดเหล็กเสริมในคอนกรีตโดยการเติมผงหรือผอยเหล็กลงในน้ำที่ฉีดพ่นเพื่อให้เกิดการสึกกร่อน

16. วิธีการให้ความร้อนแก่เหล็กเสริม โดยวิธีการทางไฟฟ้า

วิธีการนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การให้ความร้อนแก่เหล็กเสริมโดยการเหนียวนำทางไฟฟ้ากับการเพิ่มความร้อนให้แก่เหล็กเสริมโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปโดยตรง วิธีการแรกเป็นการสร้างสนามแม่เหล็กจากผิวคอนกรีตเพื่อให้สนามแม่เหล็กมีเหล็กเสริมมีเส้นแรงแม่เหล็กตัดกันไปมาและให้เกิดความร้อนและทำลายชิ้นคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำ

วิธีการที่สอง เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเหล็กเสริมเส้นหนึ่งเพื่อให้เกิดการขยายตัวซึ่งจะเกิดแรงกระทำต่อเนื้อคอนกรีตรอบ ๆ ให้เกิดการบรักหักพังได้อย่างรวดเร็ว

17. การให้ความร้อนแก่เนื้อคอนกรีต โดยวิธีการการไฟฟ้า

17.1 การใช้คลื่นไมโครเวฟ

หลักการของวิธีการนี้คือ การฉายคลื่นความถี่ขนาด 300 ถึง 30,000 ไมโครเฮิร์ซไปกระทบเนื้อคอนกรีตเพื่อเพิ่มความร้อนให้แก่น้ำในเนื้อคอนกรีตให้เกิดความเค้น (stress) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้วดันให้ผิวคอนกรีตบริแยกออกจากกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17.2 การใช้หลักการความสูญเสียเนื่องจากสภาพเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า

หลักการของวิธีการนี้คือ การติดขั้วไฟฟ้าลงบนผิวคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากความถี่สูงและแรงดันสูงทางไฟฟ้า แล้วให้คอนกรีตบริเวยกออกจากกันโดยความเค้นที่เกิดขึ้นเช่นกัน ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีการใช้งานในทางปฏิบัติแต่อย่างใด

17.3 การใช้ไฮโดรเจนพลาสมา

หลักการของวิธีการนี้ไม่ใช่หลักการทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแต่เพียงเดียว กล่าวคือเป็นการปล่อยให้เกิดการปล่อยประจุ (อาร์ค) ทางไฟฟ้าในบรรยากาศที่เป็นก๊าซผสมของอาร์กอนหรือไนโตรเจนกับไฮโดรเจน เพื่อให้เกิดกระแสพลาสมาและตัดชิ้นคอนกรีตแยกออกจากกัน ทราบว่ายังไม่มีการใช้ในเชิงปฏิบัติในขณะนี้แต่อย่างใด

17.4 การตัดโดยใช้เลเซอร์

เป็นการตัดชิ้นคอนกรีตให้แยกออกจากกันโดยใช้เลเซอร์ ในปัจจุบันยังใช้งานกันน้อยเพราะว่าประสิทธิภาพต่ำ (สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามาก) และต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูง

18. วิธีการโค่น

การรื้อถอนอาคารในเขตชุมชนนั้นมักจะปล่อยผนังหรือส่วนกำบังต่าง ๆ ไว้รื้อถอนในตอนหลังสุดเพื่อป้องกันเสียงรบกวน ความสั่นสะเทือน ฝุ่นละออง ตลอดจนเศษวัสดุไม่ให้กระจายออกไปรอบ ๆ ในตอนสุดท้ายจึงโค่นผนังดังกล่าวให้ล้มลงในแนวสถานที่ที่ทำการรื้อถอน

วิธีการรื้อถอนจะมีการตัดอาคารที่จะรื้อถอนออกเป็นส่วนต่าง ๆ ที่ยาวประมาณ 2 ถึง 3 ช่วงคาน แล้วตัดส่วนเสาอาคารให้เว้าเป็นรูปตัว "ซี" ติดกับลวดเพื่อรั้งดึงให้ชิ้นส่วนดังกล่าวโค่นล้มลงในขณะที่ตัดเหล็กเสริมที่เสาออกในตอนสุดท้าย สิ่งที่ต้องระวังในขั้นตอนนี้คือจะต้องระวังไม่ให้ส่วนที่รื้อถอนล้มลงไปนอกบริเวณที่ปฏิบัติงาน และมีหลักการปฏิบัติดังนี้

ก. ให้จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงของชิ้นส่วนตกอยู่ในบริเวณที่ปฏิบัติงาน

ข. ต้องระวังลวดที่ขึงไว้ไม่ให้หลุดหรือขาดได้ และ

ค. ป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนโค่นออกไปด้านนอกโดยการตัดเหล็กเสริมด้านในออกเป็นระยะสุดท้าย

การจำแนกกลุ่มและการเปรียบเทียบวิธีการ

ที่กล่าวมาแล้วนั้นคือการนำและความเปลี่ยนแปลงวิธีการรื้อถอนอาคารแบบต่างๆ มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสนอ ในที่นี้เราจะพยายามจัดกลุ่มว่าวิธีการรื้อถอนมีความคล้ายคลึงและแตกต่างกันอย่างไร ตลอดจนมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันอย่างไรบ้าง

1. การแบ่งกลุ่ม

ถ้าเราแบ่งกลุ่มวิธีการตามลักษณะการปรักหักพัง และการรื้อถอนคอนกรีตแล้วจะสามารถแบ่งออกได้ตามตารางที่ 1 สาเหตุที่การแบ่งกลุ่มตามลักษณะการปรักหักพังและการรื้อถอนมีสภาพซับซ้อนนั้นก็เพราะว่า คอนกรีตประกอบด้วยเหล็กเสริม เนื้อที่หน้าตัดตลอดจนลักษณะการใช้งานต่างกันจนทำให้เงื่อนไขการรื้อถอนประสบกับความยุ่งยาก นอกจากนี้แล้วยังขึ้นอยู่กับหลักการรื้อถอนที่แบ่งออกเป็นการออกแรงดีด การออกแรงดึง การขัดสีให้สึกกร่อน การหลอมละลาย ตลอดจนจากความเครียดเนื่องจากความร้อนอีกด้วย (ดูตารางที่ 2)

2. ข้อดีและข้อเสียของการรื้อถอนโดยวิธีการต่าง ๆ

เมื่อแบ่งวิธีการรื้อถอนตาม

1. หลักการและเครื่องจักรที่ใช้
2. ลักษณะเด่นและขอบเขตการใช้
3. เงื่อนไขในการปฏิบัติงาน และ
4. คุณสมบัติทางมลพิษ

การแบ่งกลุ่มในที่นี้ไม่ได้กล่าวถึงวิธีการที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 3 วิธี คือวิธีของเครื่องตัดท่อคอนกรีต วิธีการตัดเหล็กโครงสร้าง โดยใช้ก๊าซและวิธีการใช้เครื่องตัดเหล็กโครงสร้างขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพราะเพื่อจำกัดเนื้อที่กระดาษ

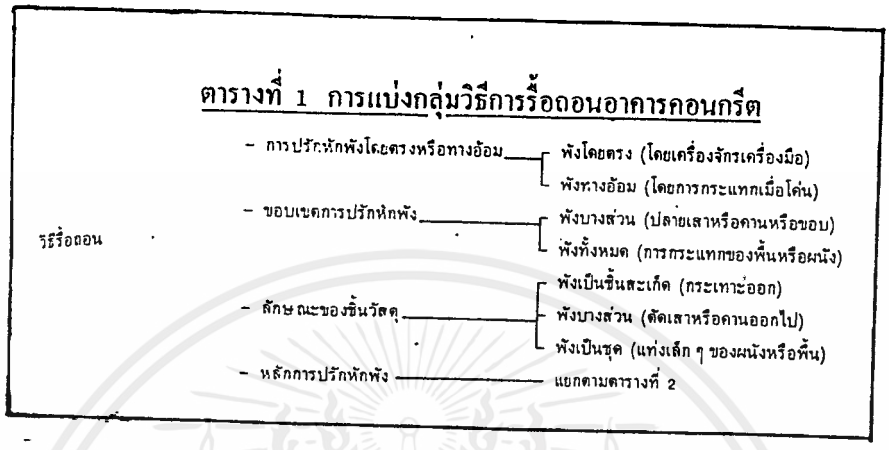
เป็นที่น่าสังเกตว่า การรื้อถอนอาคารคอนกรีตแห่งใดแห่งหนึ่งนั้นจะต้องใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียวจึงไม่ทำให้งานรื้อถอนเสร็จได้อย่างสมบูรณ์

บทสรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาของธุรกิจการรื้อถอนอาคารคอนกรีต การนำวิธีการต่างๆ เข้ามาใช้ ตลอดจนลักษณะเด่นของวิธีการต่าง ๆ บทนี้ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการต่างๆ ทั้งนี้เพื่อจะพรรณนาภาพรวมของวิศวกรรม "การทำลาย" ซึ่งนับว่าเพิ่มความสำคัญมากขึ้นในการก่อสร้างในเขตชุมชนใหญ่ รายละเอียดของวิธีการต่างๆ อาจทราบได้จากการสารตำรา ตลอดจนสิ่งพิมพ์ของผู้ขายเครื่องจักรเครื่องมือแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มวิธีการรื้อถอนอาคารคอนกรีต



ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มตามหลักการปรักหักพัง

วิธีการโดยตรง	แรงกระแทกจากภายนอก	1. เครื่องสกัด (ค้อน เป็นต้น) 2. เบรคเกอร์ 3. เบรคเกอร์ขนาดใหญ่ 4. เจาะหลุม 5. สตีลบอลล์
	แรงอัดจากน้ำมัน	1. แจ็ค 2. บดอัด 3. ตัดท่อ 4. ขยายหลุม 5. ตัดเหล็ก
	ตัดโดยเครื่องจักร	1. คัทเตอร์ 2. ไวร์โซวิ่ง 3. ดอร์บอริ่ง
	หลอมโดยเปลวไฟ	1. เทอร์มิท 2. เปลวไฟ 3. ตัดด้วยกำซ
	แรงอัดจากดินระเบิด	1. ดินระเบิด 2. เครื่องย่อยคอนกรีต (สารเคมี)
	แรงอัดจากสารเคมี	สารขยายตัวในเนื้อคอนกรีต
	ตัดโดยน้ำความดันสูง	1. วอเทอร์เจ็ต 2. อปราซีพวอเทอร์เจ็ต
	ปริเนื่องจากพลังไฟฟ้า	1. ผ่านไฟฟ้า 2. ความเหนี่ยวนำ[1] 3. ไมโครเวฟ[1] 4. การสูญเสียทางไฟฟ้า[1] 5. เลเซอร์[1] 6. พลาสมา[1]
	การกระทำของสารเคมี	ไม่มี
วิธีการทางอ้อม	วิธีโค่นให้ล้ม	โค่นทีละ 2-3 ช่องคานหรือเสา

[1] ยังไม่ใช้งานจริง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3(ก) การเปรียบเทียบวิธีการรื้อถอนแบบต่างๆ

คุณสมบัติ \ วิธีการ		แฮนเบรคเกอร์ใหญ่	เบรคเกอร์ขนาดเล็ก	สต็อมมิลล์	เจาะหลุม	แจ็ค	บดอัด	ร็อคแจ็ค	คัตเตอร์	ไวร์โซ่ง่	
หลักการเครื่องจักร	หลักการ	กระแทกแบบสั่น	กระแทกแบบสั่น	กระแทกแบบลูกตุ้ม	กระแทกและหมุน	กระทุ้งหรือบิดด้วยไฮดรอลิค	ไฮดรอลิค	ระบบลิ่มในช่องที่เจาะแล้ว	จานตัดกากเพชร	ตัดด้วยเส้นเลื่อย	
	เครื่องจักร	ลมอัด/น้ำมันอัด	ลมอัด/น้ำมันอัด	รถเดรน	ลมอัด/น้ำมันอัด	น้ำมันอัด	น้ำมันอัด	น้ำมันอัด	มอเตอร์หรือดีเซล	มอเตอร์หรือดีเซล	
ลักษณะเด่นการใช้งาน	งาน	เสา, คาน, พื้น, ผนัง, ฐานราก	เสา, คาน, พื้น ผนัง, ฐานราก	เสา, คาน, พื้น ผนัง, ฐานราก (ไม่ดีนัก)	เสา, คาน, พื้น ผนัง, ฐานราก	คาน, พื้น, ผนัง ฐานราก	เสา, คาน, พื้น ผนัง, ฐานราก (ไม่ดีนัก)	คอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	เสา, พื้น, ผนัง คาน(ไม่ดีนัก)	เสา, คาน, ฐานราก	
	การใช้	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่ (เช่น บรรจุดินระเบิด)	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่	ขนาดกลาง	ขนาดเล็กหรือขนาดกลาง	ขนาดเล็ก	
	ขนาด	เล็ก	เล็ก	–	–	ปานกลาง	เล็ก	ปานกลาง	ใหญ่	ขนาดใหญ่	
	ลักษณะเด่น	-ใช้ได้กว้าง -ที่แคบ -ใช้ตัดขอบหรือโค่น	-ประสิทธิภาพดี -ใช้งานทั่วไป	-ประสิทธิภาพดี -ไม่เหมาะกับคานดิน-ฐานราก	-ประสิทธิภาพดี -บรรจุดินระเบิดหรือสารเคมี	-กระทุ้งพื้น -ถ้ามีวัสดุอ่อนปนมากจะไม่ดี	-ประสิทธิภาพดี -ใช้งานทั่วไป -คล่องตัวดี -ตัดเหล็กเสริมได้	-วางแผนได้ -รื้อถอนได้ทีละน้อย -ใช้ในคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	-ตัดได้ปราณีต -ต้องยกชิ้นวัสดุออกไป	-ตัดผ่านช่องที่เจาะไว้ก่อน -ใช้กับโครงสร้างชนิดหนาทึบ ชนิดหนาทึบ	
	การเตรียม	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	จำเป็น	
เงื่อนไขการใช้	ต่อผู้เกี่ยวข้อง	-เครื่องป้องกันฝุ่น สายตา หู ถุงมือ เข็มขัด -งานแบบกัมลง	-เครื่องป้องกันฝุ่น หู	-ห้ามเข้าในเขต -ระวังการกระแทกด้านข้าง	-เครื่องป้องกันฝุ่น สายตา หู ถุงมือ เข็มขัด -งานแบบกัมลง	-ป้องกันไม่ให้วัสดุอ่อนตกลงบนเครื่องจักร	-ระวังวัสดุตกลงบนเครื่องจักร			(เจาะช่องไว้ก่อน) -ระวังการถล่มเมื่อตัดเสร็จแล้ว	
	การป้องกัน	-ต้องมีนั่งร้าน -อาจใช้เครื่องดูดฝุ่น ดูดฝุ่น	-ต้องมีนั่งร้านทนทาน -อาจใช้เครื่องดูดฝุ่นหรือป้องกันการสั่นสะเทือน	-ต้องมีนั่งร้านทนทาน -ต้องฉีดน้ำกันฝุ่น	-ต้องมีนั่งร้าน	-ต้องมีนั่งร้านทนทาน	-ต้องมีนั่งร้านทนทาน -ต้องฉีดน้ำกันฝุ่น	-ต้องเจาะหลุมขนาด ϕ 40 มม.	-ต้องมีนั่งร้านทนทาน -ต้องป้องกันเสียง -ต้องใช้น้ำระบายความ	-ต้องมีที่ตรึงเครื่องจักร	
ลักษณะทางมลภาวะ	เสียงดัง	มาก	มาก	เสียงและการสะเทือนสูง	มาก	น้อย	เสียงและการสะเทือนสูง	มีฝุ่นผงและเสียงดังเมื่อเจาะ	ร้อน -ต้องใช้เครนยก ปานกลาง	ปานกลาง	
	สั่นสะเทือน	น้อยมาก	ค่อนข้างมาก	โดยเฉพาะส่วนติดดิน	น้อยมาก	น้อย	การสะเทือนเมื่อย้ายเครื่องจักร	หลุม	เกือบไม่มี	น้อย	
	ฝุ่นผง	เกิดได้	เกิดได้	ฝุ่นผงมาก	ฝุ่นผงมาก	มีบ้าง	มีบ้าง		มีบ้าง	มีบ้าง	
	อุปกรณ์อื่น ๆ	ระวังผลจากความสั่นสะเทือน		ระวังต่อสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ ในดิน	ระวังผลจากความสั่นสะเทือน						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3(ข) การเปรียบเทียบวิธีการรื้อถอนแบบต่างๆ (ต่อ)

ลักษณะพิเศษ \ วิธีการ		คอร์บอรัม	เทอร์มิท	หัวพ่นเปลวไฟ	ดินระเบิด	สารเคมี	วอร์เทอร์เจ็ท	วิธีไฟฟ้า	ไมโครเวฟ	วิธีโค่น
หลักการ,เครื่องจักร	หลักการ	เจาะแบบสว่าน	ออกซิเดชั่นของโลหะ	การเผาไหม้ของน้ำมันก๊าด	แรงอันจากการระเบิด	แรงอัดจากการขยายตัว	กระแสน้ำมีผงขัด	ความร้อนในเหล็กเสริม	ความร้อนจากคลื่นความถี่สูง	โดยแรงกระแทก
	เครื่องจักร	ชุดขับสว่าน	ถังออกซิเจน	น้ำมันก๊าด, ชุดพ่นออกซิเจน	ไดนาไมท์, เครื่องย่อยคอนกรีต	สารเคมี	ชุดวอเทอร์เจ็ต	ชุดกระแสลสลับ	ชุดไมโครเวฟ	บากชิ้นส่วนเป็นรูปตัว "วี"
ลักษณะเด่นการใช้งาน	งาน	เสา, คาน, พื้น ผนัง, ฐานราก	พื้นและผนังรวมทั้งอาคารในน้ำ	เสา, คาน, พื้น ผนัง	เสา, คาน, ฐาน ฐานราก	ฐานรากและคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	ตัดคอนกรีต (รวมเหล็กเสริม)	ชิ้นส่วนหนาทึบและผิวคอนกรีต	ชิ้นผิวของคอนกรีต	เสา, คาน
	การใช้	ขนาดเล็กหรือขนาดกลาง	ขนาดเล็ก	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดกลาง	ขนาดเล็ก	ขนาดเล็ก	ยังวิจัยอยู่	ขนาดกลาง
	ขนาด	ใหญ่	ใหญ่	ใหญ่	ปานกลางหรือใหญ่	ปานกลาง	ใหญ่	ปานกลาง	เล็ก	ใหญ่
	ลักษณะเด่น	เจาะตัดด้วยหลุมขนาด ϕ 100 มม. ต่อเนื่อง	-เจาะหลุมดินระเบิด -เหมือนตัดชิ้นส่วนย่อย -ใช้ในน้ำได้	-ใช้ตัดชิ้นส่วน -ใช้ในน้ำได้	-ใช้งานขนาดใหญ่ -ลดเวลาและแรงงานได้	-วางแผนได้ -เก็บรักษาง่าย -เหมาะกันคอนกรีตไม่เสริม	ตัดเหล็กได้ลึก 70–80 ซม.	-ไฟฟ้าจากความต้านทาน -กระเทาะออกเป็นชิ้น ๆ	-ใช้กับชิ้นผิวที่มีกัมมันตภาพรังสี	
	การเตรียม	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ต้อง(เจาะหลุม)	ต้อง(เจาะหลุม)	ไม่ต้อง	ต้อง(เปิดขั้วไฟฟ้า)	ไม่ต้อง	ต้อง(แยกออกจากส่วนอื่น)
เงื่อนไขการใช้	ต่อผู้เกี่ยวข้อง		ต้องระบายอากาศ	ต้องระบายอากาศ	-ต้องใช้ผู้ชำนาญเฉพาะ -ต้องให้ผู้อยู่รอบข้างออก -ต้องได้รับอนุญาตจากผู้ใกล้เคียง	-ต้องใช้แว่นดำบัง ไปก่อน	-ชุดป้องกันหูหรือมีผนังกั้น	ไม่อันตรายเพราะแรงดันไฟฟ้าต่ำ	ต้องไม่ให้ไมโครเวฟถูกร่างกายโดยตรง	ระวังไม่ให้ล้มไปนอกบริเวณรื้อถอน
	การป้องกัน	ต้องมีนั่งร้านทนทาน	ต้องระบายอากาศ	ต้องระบายอากาศ	-ป้องกันเสียงและฝุ่นผง -ระวังดินระเบิดด้าน	คลุมด้วยแผ่นพลาสติค	ระบายน้ำ	ต้องยกชิ้นวัสดุออกไป	ป้องกันคลื่นไมโครเวฟรั่ว	-ต้องมีนั่งร้านทนทาน ต้องใช้ลวดดึง -ต้องฉีดน้ำกับฝุ่น
ลักษณะทางมลภาวะ	เสียงดัง	น้อย	น้อย	มาก(ใช้ในชุมชนไม่ได้)	มีเสียงและฝุ่นผงรวมทั้ง	มีฝุ่นผงเวลาเจาะหลุมเท่านั้น	มาก	เกิดเสียงและฝุ่นผงบ้าง	เกิดเสียงดัง	มาก
	สั่นสะเทือน	เกือบไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	การสั่นสะเทือน		น้อย		ค่อนข้างน้อย	มาก
	ฝุ่นผง	น้อย	เกิดควันมาก	เกิดควันมาก	ระยะเดียว		ปานกลาง		น้อย	มาก
	อุปกรณ์อื่น ๆ				ป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ใต้ดินเสียหายไปด้วย	อย่าจ้องช่องหลุมเมื่อเติมสารเคมีแล้ว			รบกวนโทรทัศน์	ป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ใต้ดินเสียหายไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
ความทนทานของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนทานของคอนกรีต

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีคุณภาพทนทานสูงจะสามารถผลิตได้โดยที่ผู้ผลิตต้องเล็งเห็นความสำคัญของมัน และต้องเข้มงวดต่อกรรมวิธีในการผลิตที่เป็นกฎพื้นฐานของการปฏิบัติในการก่อสร้างข้อพื้นฐานที่สุดของคอนกรีตเสริมเหล็กก็คือ เหล็กที่ใช้เป็นโครงสร้างกระดูกนั้นจำเป็นต้องมีคอนกรีตห่อหุ้มให้เพียงพอ จากประสบการณ์ในการก่อสร้าง การศึกษาและการค้นคว้าเรื่องคอนกรีตทนทานของ "สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศอังกฤษ" ได้สรุปผลออกมาว่า คอนกรีตเสริมเหล็กโดยเฉพาะโครงสร้างที่อยู่กลางแจ้ง ต้องมีความทนทานต่อความชื้น มีความทนทานต่อความเป็นกรดคาร์บอเนต ต้องประกอบด้วยส่วนผสมหินทรายที่ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมี และคุณสมบัติของตัวซีเมนต์จะต้องไม่เปลี่ยนแปลง ฯลฯ

คุณสมบัติดังกล่าวของสารประกอบของคอนกรีตเมื่อมองลึกซึ้งลงไป และถ้าจะให้คอนกรีตทนทานจะต้องขึ้นอยู่กับพื้นฐานสำคัญ "4-C" กล่าวคือ C_1 คือ Cover ส่วนเนื้อที่ของคอนกรีตที่จะไปหุ้มเหล็กเสริม C_2 คือ Compaction การบดอัดความแน่นของคอนกรีต C_3 คือ Constituents ส่วนประกอบต่าง ๆ หรือส่วนผสมของตัวคอนกรีต C_4 คือ Curing การบ่มตัวของคอนกรีต

เมื่อเร็ว ๆ นี้เองอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ค้นพบ ความสำคัญของพื้นฐานดังกล่าวและได้มาทำความเข้าในในด้านกลไกทางวิทยาศาสตร์ของมัน จนสามารถผลิตคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีคุณภาพสูงมาก ๆ ได้ ความทนทานเช่นนี้ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับ 4-C มาก ตอนหนึ่งในเอกสารเรื่องการออกแบบอายุของโครงสร้างคอนกรีต ของ ดร.ซอมเมอร์วิล ในวารสารวิศวกรโครงสร้างลอนดอน เดือนกุมภาพันธ์ 1986 ได้พิจารณาถึง C หนึ่งตัวเท่านั้นคือ Cover เนื้อที่ที่จะห่อหุ้มเหล็กเสริม คือ ระยะทางที่หุ้มห่อเหล็กเสริมนั้นถ้าเปลี่ยนแปลงไป หรือไม่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ จะมีผลกระทบถึงการใช้งานเรื่องความทนทานของคอนกรีตที่อยู่กลางแจ้ง ตัวอย่างเช่น ส่วนผสมของคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ความทนทานของคอนกรีตที่จะทนต่อเวลาหรือมีอายุการทนต่อการกัดของกรดคาร์บอเนตในอากาศได้นาน 13 ปี ถึง 15 ปี โดยระยะทางการหุ้มห่อของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมลดจาก 30 มม. ไปเป็น 10 มม. จากพื้นฐานง่าย ๆ เช่นนี้ก็พอที่จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของระยะทางที่ต้องการหุ้มห่อเหล็กเสริมของคอนกรีตได้

การดูแลการเทคอนกรีตในหน้างาน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะรักษาคุณภาพของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ขึ้นอยู่กับภาคปฏิบัติและการจำกัดของเศรษฐกิจของมัน โดยทั่วไป 90% ของคุณภาพสามารถดูแลให้อยู่ในขอบข่ายที่ต้องการได้ แต่ตามความจริงแล้ว 90% ของผลลัพธ์ก็ยังไม่ดีพอ ถ้าได้มีการวางแผนให้มีระบบในการตรวจสอบ และเพิ่มการดูแลให้มากขึ้นในระหว่างการประกอบเหล็กเสริมและไม้แบบแล้ว จะสามารถทำให้ผลลัพธ์ดีขึ้นมาเป็น 97% โดยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นก็เพิ่มขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดสำหรับการตรวจสอบ ดังนั้นการที่จะให้ผลลัพธ์ 100% ก็คงจะเป็นไปไม่ได้ ในภาคปฏิบัติจึงมีตัวประกอบหลายตัวที่ทำให้การห่อหุ้มของคอนกรีตต่อเหล็กเสริมมีเพียงพอ เช่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนที่บูนจะไปหุ้มเหล็กส่วนสำคัญไม่ใช่ด้านบนพื้นกระดานคอนกรีตแต่อยู่ด้านใต้พื้น ถึงแม้จะเพิ่มความหนาใต้พื้นอีก 5 มม. ก็ไม่ใช่ว่าจะสามารถห่อหุ้มเหล็กทุกเส้นได้ถูกต้องหมด

ในประเทศอังกฤษเหล็กเสริมต่าง ๆ จะดัดและตัดให้พร้อมเสร็จมาจากโรงงานผู้ตัดเหล็ก หรือเรียกกันว่า Detailers นำเหล็กมาส่งหน้างาน ผู้รับเหมาก็นำเหล็กไปประกอบเป็นโครงสร้างเพื่อเทคอนกรีตต่อไป ในทางปฏิบัติจึงให้ทำตามกรรมวิธีในมาตรฐาน BS 4466:1981 ข้อ 6.2 และ BS 5400 หมวด 8 ข้อ 4.2 เพื่อให้เหล็กเสริมวางถูกที่และมีเนื้อบูนคอนกรีตห่อหุ้มเพียงพอและพร้อมกับกำหนดความคลาดเคลื่อนที่จะอนุโลมให้ 5 มม.

ฉะนั้นความทนทานของโครงสร้างจึงขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการทำไม้แบบ และการตัดเหล็กเสริม ความรับผิดชอบของรายละเอียดเหล็กเสริมจึงตกอยู่กับวิศวกรโครงสร้างผู้ออกแบบ โดยเฉพาะเหล็กเสริมที่แน่นมากยากต่อการทำงานจนบางกรณีเกือบจะทำไม่ได้เอาเลย ซึ่งจะเป็นจุดทำให้คอนกรีตที่จะไปห่อหุ้มผิดขนาดไป ซึ่งในกรณีนี้ไม่ใช่ความรับผิดชอบของผู้รับเหมาที่จะเขียนแบบขึ้นเพื่อตรวจตราการห่อหุ้มของบูนว่าจะเพียงพอหรือไม่ รายละเอียดของการจัดเหล็กดัดจะหาดูได้ในหนังสือคู่มือชื่อ กรรมวิธีมาตรฐานของการจัดรายละเอียดของโครงสร้างคอนกรีต (Standard Method of Detailing Structural Concrete) ของสมาคมคอนกรีตหรือสถาบันวิศวกรโครงสร้างประเทศอังกฤษ

สรุป การห่อหุ้มของคอนกรีตต่อเหล็กเสริมเพียงแต่ให้พิจารณาหลักของ C ตัวเดียวเท่านั้นจากจำนวนทั้งหมด 4 ประการ ซึ่งเป็นความสำคัญยิ่งต่อโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่กลางแจ้งในอุตสาหกรรมก่อสร้างปัจจุบันได้เล็งเห็นความสำคัญของ 4-C ที่ทำให้คอนกรีตทนทาน โดยทางฝ่ายผู้ว่าจ้างก็ต้องเห็นว่า ต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นจึงจะได้คุณภาพที่ดีมาก ดังนั้นความรับผิดชอบจึงไม่ได้ตกอยู่กับผู้รับเหมาเพียงฝ่ายเดียว แต่เป็นความรับผิดชอบของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับโครงการด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างคอนกรีตที่มีความทนทาน

คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นโครงสร้างที่ได้รับความนิยมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งจะคงความนิยมในอนาคตด้วย เพราะคุณสมบัติที่ดีในหลาย ๆ ประการ และคุณสมบัติเด่นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กคือ มีความทนทาน ค่าบำรุงรักษาต่ำตลอดอายุการใช้งานรวมทั้งราคาประหยัดกว่าวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ แต่คุณสมบัติดังกล่าวจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผู้เกี่ยวข้องในการก่อสร้างทุกฝ่ายตั้งแต่เจ้าของโครงการ ผู้ออกแบบ ผู้รับเหมาก่อสร้างผู้ควบคุมงาน และผู้ใช้งานโครงสร้างนั้น จะต้องร่วมมือและมีความเข้าใจต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเป็นอย่างดี

โครงสร้างคอนกรีตที่ทนทาน

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะทนทานได้นั้นต้องประกอบด้วย ขบวนการที่สำคัญ 4 ขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ จนถึงการใช้งาน ดังต่อไปนี้

โครงสร้างคอนกรีตที่ทนทาน

1. การออกแบบที่ดี
2. ข้อกำหนดที่เหมาะสม
3. การก่อสร้างที่ดี
4. การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

การออกแบบเพื่อความทนทาน

ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเริ่มตั้งแต่ การกำหนดความต้องการของเจ้าของอาคาร การออกแบบแนวความคิดทางสถาปัตยกรรม (Architectural Concepts) การเลือกรูปแบบโครงสร้างวิศวกรรม (Structural From) และการพิจารณาเลือกวัสดุที่จะใช้ ในอดีตที่ผ่านมาเมื่อพูดถึงการออกแบบโครงสร้าง เพื่อความทนทานทุกฝ่ายจะมุ่งประเด็นไปเพียงเนื้อวัสดุที่จะใช้ เช่น เนื้อคอนกรีตเท่านั้น การเลือกรูปแบบของโครงสร้าง การพิจารณาการใช้งานของโครงสร้างรวมถึงการพิจารณาความทนทานในระยะยาวมักจะถูกมองข้ามไป

ปัจจัยที่ผู้ออกแบบอันหมายรวมทั้งสถาปนิก และวิศวกรควรพิจารณาในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อจะให้โครงสร้างมีความทนทาน ได้แก่

1. รูปร่างของโครงสร้าง (Structure Geometry)

รูปร่างของโครงสร้าง เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งเพื่อที่จะให้ได้โครงสร้างที่มีความทนทาน โดยผู้ออกแบบควรพิจารณาหรือเลือกออกแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หลีกเลี่ยงการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่บางหรือโครงสร้างที่ซับซ้อน เพราะการเท และการอัดแน่นคอนกรีตทำได้ยาก

- การออกแบบโครงสร้าง ให้มีการระบายน้ำที่ดี เช่น การทำผิวบนของชิ้นส่วนโครงสร้างให้มีความลาดเอียด เป็นต้น รวมทั้งต้องมีการบำรุงรักษาอย่างถูกต้อง

- ควรออกแบบบริเวณมุมให้เหมาะสม

- พิจารณาความสามารถทำงานได้ (Buildability) ในขั้นตอนการออกแบบ

- ลดพื้นที่ผิวของชิ้นส่วนโครงสร้างที่สัมผัสกับน้ำ และลดบริเวณที่น้ำจะขัง เพราะน้ำและความชื้นจะนำสารละลายต่าง ๆ ซึมเข้าทำอันตรายต่อเนื้อคอนกรีตและเหล็กเสริม

2. รอยต่อ (Joint)

- ควรออกแบบรอยต่อให้เหมาะสม เพื่อลดการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการหดตัว การขยายตัว และผลจากการแตกต่างอุณหภูมิ หรือการทรุดตัวของโครงสร้าง

- ควรหลีกเลี่ยงการออกแบบให้น้ำไหลผ่านรอยต่อ

- ตำแหน่งของรอยต่อมีความสำคัญที่ผู้ออกแบบต้องพิจารณาให้ถูกต้อง

3. การให้รายละเอียด (Detailing)

- ควรระลึกไว้เสมอว่าเส้นในแบบเป็นส่วนที่มีความหนา

- ควรให้รายละเอียดที่ดีเพื่อขจัดปัญหาการแตกร้าวหรือการเป็นรูพรุนของโครงสร้างคอนกรีต

- บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงอย่างทันทีทันใดหรือการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของโครงสร้างก่อให้เกิด Stress Concentration อันส่งผลให้เกิดการแตกร้าว ดังนั้น การให้รายละเอียดที่ดีจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ควรกำหนดรายละเอียดระยะการหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ให้เหมาะสม

- บริเวณจุดรองรับ(Support) จะเกิดหน่วยแรง (Local Spliting Forces) ที่จะก่อให้เกิดการแตกร้าว ควรให้รายละเอียดการเสริมเหล็กที่เหมาะสม

- การให้รายละเอียดของเหล็กเสริม มีอิทธิพลอย่างมากต่อความทนทานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

- โครงสร้างบางประเภทจำเป็นต้องมีการดูแล และบำรุงรักษาในช่วงอายุการใช้งาน ผู้ออกแบบควรพิจารณาการให้รายละเอียด เพื่อให้การบำรุงรักษาทำได้สะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เหล็กเสริม (Reinforcement)

เมื่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก อยู่ในตำแหน่งที่จะเกิดอันตรายจากสภาพแวดล้อม ผู้ออกแบบควรเลือกเหล็กเสริมหรือวิธีการป้องกันดังนี้

- ใช้เหล็กเสริมที่มีการเคลือบผิว
- ใช้เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel)
- ใช้วิธีป้องกัน เช่น Cathodic Protection

5. ลักษณะผิว (Surface)

สารเคมี สารละลาย หรือสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต และเหล็กเสริม จะซึมเข้าทำลายโดยผ่านผิวคอนกรีตทั้งสิ้น ดังนั้นผิวของคอนกรีตจะเป็นส่วนสำคัญสำหรับความทนทาน ผู้ออกแบบควรจะหาวิธีป้องกัน ซึ่งอาจเป็นวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

- ฉาบผิวคอนกรีตด้วยมอร์ต้าหรือปูนฉาบ
- เคลือบผิวคอนกรีตด้วยวัสดุที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น
- เลือกลักษณะผิวคอนกรีตที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

ข้อกำหนดเพื่อความทนทาน

ข้อกำหนดหรือ Specification ในที่นี้หมายถึงข้อกำหนดของวัสดุรวมทั้งข้อกำหนดด้านฝีมือแรงงานด้วย (workmanship) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. วัสดุผสม

ตัวอย่างข้อกำหนดของวัสดุผสมคอนกรีตเพื่อความทนทานมีดังนี้

- วัสดุคอนกรีตทุกชนิดต้องเป็นไปตามมาตรฐาน เช่น มอก., ASTM, BS หรือ JIS เป็นต้น
- ปูนซีเมนต์ ควรเลือกใช้ประเภทของปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่คอนกรีตนั้นถูกนำไปใช้งาน เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เหมาะกับงานโครงสร้างทั่ว ๆ ไป ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 เหมาะกับงานเร่งด่วนหรืองานที่มีเวลาการทำงานจำกัด เช่น บริเวณริมน้ำที่มีน้ำขึ้นน้ำลง ปูนซีเมนต์-ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 เหมาะกับงานบริเวณที่มีซัลเฟตสูง เช่น โรงงานกำจัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หิน-ทราย

1. ไม่ควรมีสิ่งเจือปน เช่น ดินเหนียว คลอไรด์ ซัลเฟต เกินกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด
2. ควรมีความแข็ง การอยู่ตัว ไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์
3. ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต รูปร่าง ลักษณะ ผิว ขนาดคละ ควรจะนำมาพิจารณาเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีการยึดเกาะดี และความสามารถเทได้ดี
4. ไม่ควรใช้หินขนาดใหญ่ หรือหินที่มีรูปร่างแบนเพราะจะก่อให้เกิดช่องโพรงอากาศใต้เม็ดดิน

- น้ำ

1. ไม่ควรมีสารเจือปน เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต ความเป็นกรด-ด่าง เกินกว่ามาตรฐาน
2. น้ำที่ดื่มได้โดยทั่วไป จะใช้ผสมคอนกรีตได้ แต่ถ้ามีข้อสงสัยควรทำการทดสอบก่อนนำมาใช้งาน

- น้ำยาผสมคอนกรีต

1. ควรใช้ตามข้อกำหนดของทางผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด
2. ควรใช้น้ำยาประเภทลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีตในคอนกรีตทุกประเภท เพื่อที่จะได้คอนกรีตที่ทนทาน
3. ควรใช้สารกักกระจายฟองอากาศ ในคอนกรีตที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำมาก เช่น ในห้องเย็น
4. ควรมีการทดสอบก่อนการใช้งานเพื่อดูคุณสมบัติของน้ำยาและดูผลข้างเคียง
5. ห้ามใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่มีส่วนผสมของคลอไรด์ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง

- วัสดุผสมอื่น ๆ เช่น Pulverized Fuel Ash, Microsilica

1. เมื่อมีการใช้วัสดุผสมประเภทนี้ ควรใช้ในปริมาณที่มาตรฐานกำหนด เพื่อที่จะได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นและทนทาน
2. เมื่อใช้วัสดุผสมประเภทนี้ ควรทำการบ่มคอนกรีตนานกว่าคอนกรีตทั่วไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 สัดส่วนผสม

คอนกรีตที่ออกแบบให้มีความทนทาน ควรใช้ปริมาณซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม รวมทั้งควรเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น

- คอนกรีตที่ต้องการให้มีความทึบน้ำ ควรใช้ W/C ตามข้อกำหนด

- คอนกรีตที่ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณซัลเฟตปริมาณซัลเฟตปานกลาง ใช้ปูนซีเมนต์บอร์ตแลนด์ประเภท 5 โดย W/C ไม่เกิน 0.50 ปริมาณปูนต่ำสุด 330 กก./ลบ.ม. ปริมาณซัลเฟตสูง ใช้ปูนซีเมนต์บอร์ตแลนด์ประเภท 5 โดย W/C ไม่เกิน 0.45 ปริมาณปูนต่ำสุด 370 กก./ลบ.ม.

1.3 เหล็กเสริม

- เหล็กเสริม ควรปราศจากสนิมขุม เพื่อขจัดปัยหาการขยายตัวของสนิม อันจะทำให้คอนกรีตแตกร้าวและความทนทานลดลง

- เลือกวิธีการป้องกันเหล็กเสริมให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

2. ข้อกำหนดสำหรับไม้แบบ

ข้อกำหนดสำหรับไม้แบบที่เกี่ยวข้องกับความทนทานของคอนกรีตมีดังนี้

- ไม้แบบต้องแข็งแรง และไม่ดูดซึมน้ำ ซึ่งอาจทำได้โดยการทาน้ำมันหรือน้ำยาเคลือบแบบที่ไม่เป็นอันตรายต่อผิวคอนกรีต

- รอยต่อต่าง ๆ ของไม้แบบต้องมีการอุดกันการรั่วไหวของน้ำปูนอย่างดี

3. ข้อกำหนดสำหรับฝีมือแรงงาน

3.1 การผสมคอนกรีต

- ควรชั่งตวงส่วนผสมคอนกรีตให้ถูกต้องตามส่วนที่ออกแบบไว้

- การผสมคอนกรีตควรปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น เวลาที่จะใช้ผสม เป็นต้น

3.2 การขนส่ง การเท และการจี้เขย่าคอนกรีต

- คอนกรีตต้องถูกขนส่งโดยไม่ก่อให้เกิดการแยกตัว

- อย่าเทคอนกรีตลงไปที่เหล็กเสริมโดยตรง เพราะจะก่อให้เกิดการแยกตัวของส่วนผสม

- เมื่อเทคอนกรีตแล้วต้องมีการจี้เขย่าให้คอนกรีตอัดแน่นในแบบอย่างถูกต้อง

- ควรมีเครื่องจี้เขย่าคอนกรีตสำรองไว้ ณ หน่วยงานก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การบ่มคอนกรีต

3.4 การบ่มคอนกรีต

- ควรบ่มคอนกรีตให้ถูกต้องตามวิธีการที่กำหนด
- เวลาการบ่มไม่ควรน้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนด
- ผู้ออกแบบ ผู้รับเหมาและผู้ควบคุมงานก่อสร้าง พึงระวังไว้ว่า

1. การบ่มที่ดี เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการทำคอนกรีตที่ดี
2. การบ่มที่ไม่ดี หรือไม่บ่ม จะไม่มีประโยชน์ถึงแม้ว่าคอนกรีตนั้นจะมีส่วนผสมที่ดี
3. การบ่มที่ดี ไม่สามารถทดแทนคอนกรีตที่คุณภาพไม่ดีได้

3.5 ไม้แบบ

- ไม้แบบต่าง ๆ จะต้องมีการค้ำยันในตำแหน่งที่ถูกต้องและต้องมั่นคง
- ต้องปล่อยให้คอนกรีตอยู่ในแบบหล่ออย่างน้อยเท่ากับเวลาที่มาตรฐานกำหนด
- การถอดไม้แบบต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพราะคอนกรีตยังมีกำลังต่ำอยู่ขณะทำการถอดไม้แบบ

3.6 รอยต่อ

- ตำแหน่งและรายละเอียดของรอยต่อต้องเป็นไปตามที่กำหนด

การก่อสร้างเพื่อความคงทน

นอกจากข้อกำหนดของงานที่ดีแล้ว ขั้นตอนการก่อสร้างนับเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด ที่จะทำให้ได้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความทนทาน กรณีต่าง ๆ ในด้านการก่อสร้างที่อาจจะส่งผลให้คอนกรีตขาดความทนทาน ได้แก่

- การเทและการอัดแน่นของคอนกรีต ทำอย่างไม่ถูกวิธี คอนกรีตจึงเกิดการแยกตัวหรือเกิดโพรงพรุน สิ่งที่ทำอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริมซึมผ่านได้สะดวก
- ไม้แบบไม่อยู่ในสภาพที่ควรจะใช้งาน เช่น มีรั่ว หรือมีการดูดซึมน้ำอย่างมาก หรือมีการค้ำยันไม่ถูกต้อง
- ระยะหุ้มไม่ถูกต้อง สิ่งนี้เป็นปัญหาที่พบบ่อยที่สุด สำหรับเรื่องความทนทานของคอนกรีต โดยทั่วไประยะหุ้มที่ปฏิบัติในการก่อสร้างจะน้อยกว่าที่กำหนดในแบบ ซึ่งทำให้สารละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสิ่งที่เป็นอันตรายซึมเข้าไปกัดกร่อนเหล็กเสริมได้ในเวลาอันรวดเร็ว
- รอยต่อทำไม่ถูกต้องตามรายละเอียด หรือไม่ทำความสะอาดก่อนเทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การบ่มมักถูกละเลยทำให้ได้กำลังอัดน้อยกว่าที่ควรเป็น เพราะปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้การต้านทานการซึมผ่านของน้ำจะต่ำ ทำให้ความทนทานลดลง

- การเสริมเหล็กไม่ถูกตำแหน่ง ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยแตกร้าย

การบำรุงรักษาเพื่อความทนทาน

ปัญหาความทนทานของโครงสร้างคอนกรีตเหมือนกับโรคมะเร็ง ซึ่งอาจจะไม่แสดงอาการออกมาในช่วงแรก จึงไม่ได้รับความสนใจอย่างจริงจังจากวิศวกร จนกระทั่งเมื่อมันแสดงผลเสียอย่างร้ายแรง ซึ่งก็เป็นช่วงที่ยากต่อการแก้ไขเสียแล้ว และในปัจจุบันปัญหานี้ก็ได้ขยายวงออกไปอย่างมากแนวความคิดใหม่ที่ถูกนำมาประยุกต์เข้ากับวงการก่อสร้าง เพื่อยืดอายุการใช้งานของสิ่งก่อสร้าง นั่นคือ การทำ "การบำรุงรักษาป้องกัน" (Preventive Maintenance) ซึ่งเริ่มจากขบวนการตรวจสอบ การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้าง ต้องได้รับการพิจารณา ตั้งแต่ขั้นการออกแบบ โดยสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การเข้าถึงบริเวณที่จะตรวจสอบ (Accessability) ได้อย่างสะดวก

- ควรมีการตรวจสอบโครงสร้างที่ตรวจสอบยาก เช่น เสาเข็มเจาะ ฐานรากโครงสร้าง พวกนี้ควรออกแบบและก่อสร้างด้วยความระมัดระวัง และเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูง

- ต้องออกแบบเพื่อให้สามารถทดแทน (Replacability) โครงสร้างได้โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องสัมผัสกับสภาพแวดล้อมอันจะส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นเช่น รอยต่อ Bearing หรือทางระบายน้ำ เป็นต้น

- ก่อนทำการแก้ไขหรือซ่อมแซม ควรตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริงก่อน เช่น ถ้าตรวจพบรอยร้าวคงต้องหาสาเหตุรวมทั้งต้องตรวจสอบให้ได้ว่ารอยร้าวนี้จะขยายตัว หรือไม่ขยายตัวต่อไป เพื่อจะได้แก้ไขโดยถูกวิธี

- ควรแก้ไขชิ้นส่วนโครงสร้างที่เกิดความเสียหายทันทีทันใดที่ตรวจพบ

- ควรเลือกวัสดุซ่อมแซมที่เหมาะสม และปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

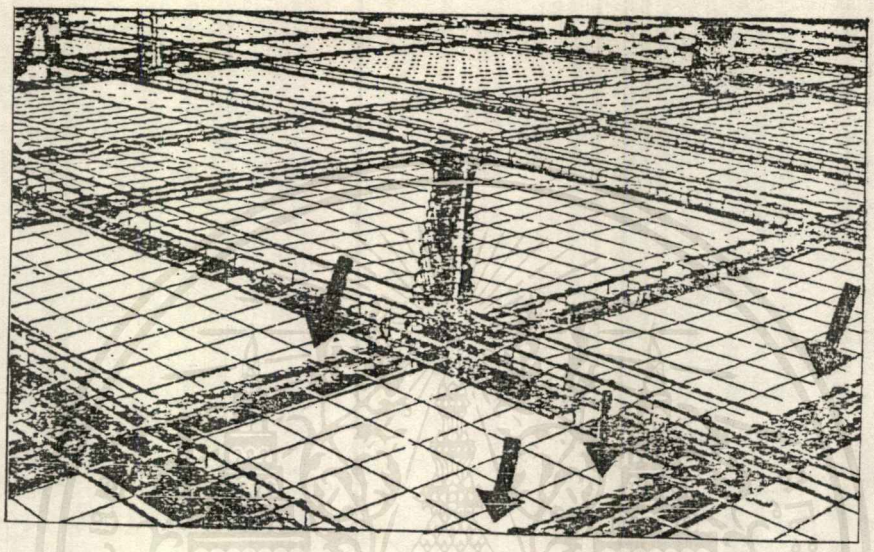
สรุป

การออกแบบที่ดี โดยมีข้อกำหนดของวัสดุและแรงงานที่เหมาะสม การก่อสร้างที่ถูกต้องและมีการบำรุงรักษาโครงสร้างอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยให้โครงสร้างนั้นมีความทนทาน จากการสำรวจข้อมูลในต่างประเทศพบมากกว่า 80% ของความผิดพลาดที่ทำให้โครงสร้างขาดความ

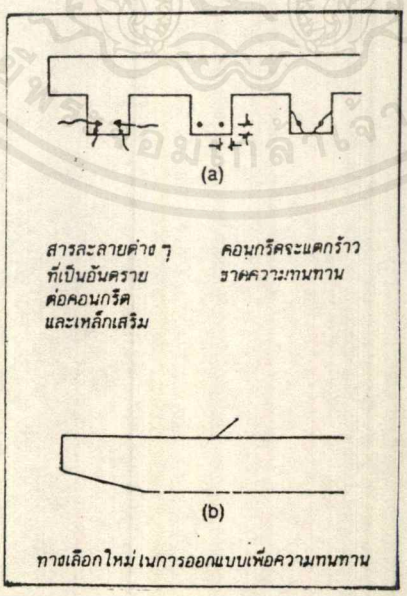
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนทาน มีสาเหตุมาจากขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนั้น ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจึงควรจะให้ความสนใจ เพื่อให้ได้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสำหรับใช้งานในปัจจุบันและอนาคต

รูปที่ 1 ภาพที่เห็น เหล็กเสริมที่วางเข้าที่ดูเหมือนสะอาดตาเป็นระเบียบ ที่จริงยังไม่ถูกต้อง เพราะเหล็กพื้น (ตามลูกศรชี้) สั้นเกินไปมีความยาวไม่พอที่จะฝากเข้ากับเหล็กคานตัวใหญ่



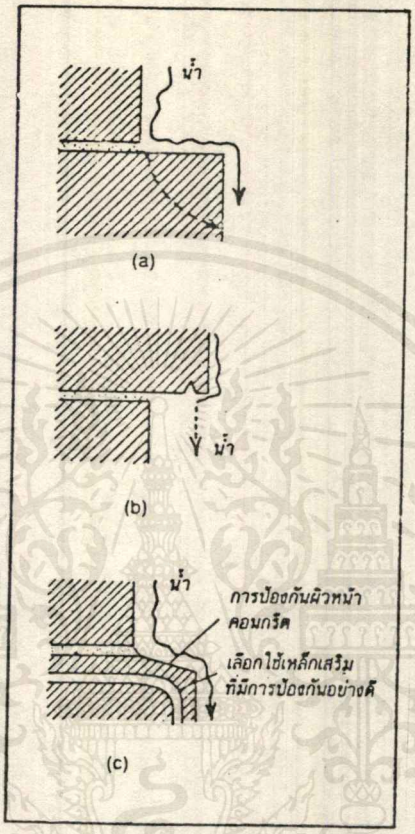
รูปที่ 2 การหลีกเลี่ยงการออกแบบโครงสร้างที่ซ้ำซ้อน



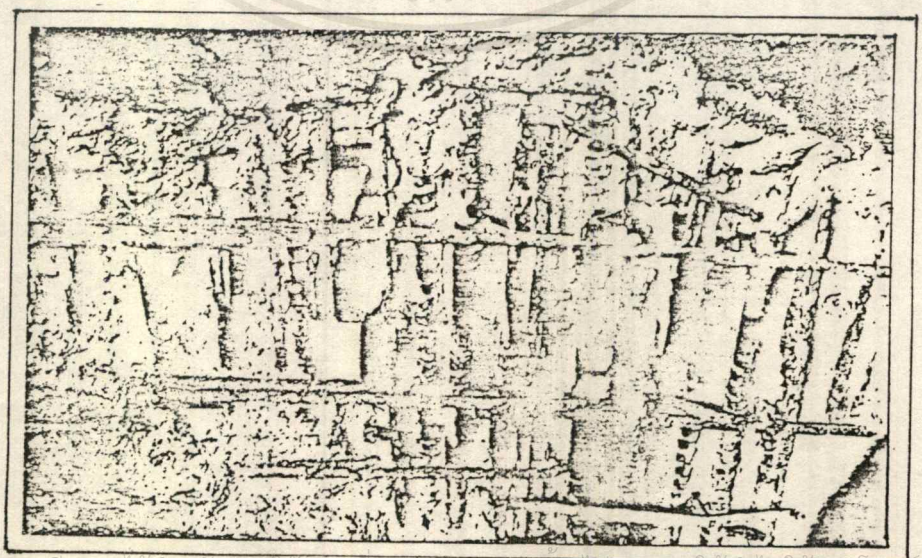
ทางเลือกใหม่ในการออกแบบเพื่อความทนทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 การออกแบบรูปร่างของโครงสร้างให้มีการระบายน้ำดี รวมทั้งการออกแบบบริเวณมุมให้เหมาะสมจะช่วยให้โครงสร้างคอนกรีตมีความทนทาน (a) ควรหลีกเลี่ยง (b) และ (c) เป็นแนวทางที่ควรปฏิบัติ

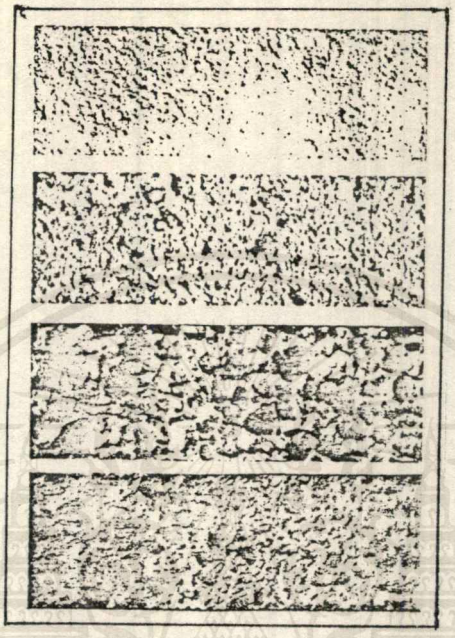


รูปที่ 4 เหล็กเสริมที่หนาแน่นมากทำให้การเทและการอัดแน่นของคอนกรีตทำได้ยาก

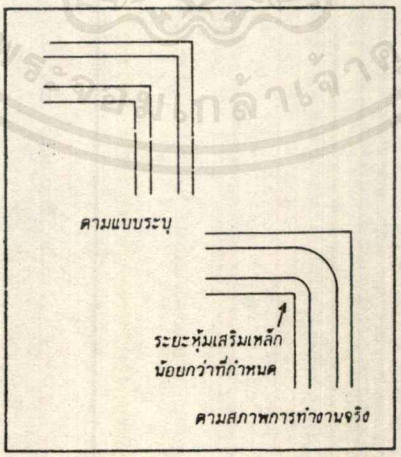


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะผิวของคอนกรีตแบบต่างๆ นอกเหนือจากผิวคอนกรีตที่เรียบโดยการฉาบปูนหรือการใช้คอนกรีตเปลือย

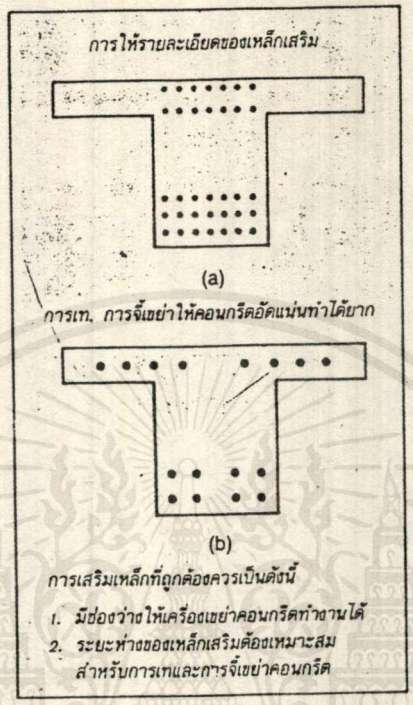


รูปที่ 6 การให้รายละเอียดมีความสำคัญต่อความทนทานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 แสดงการเสริมเหล็กที่ถูกต้อง

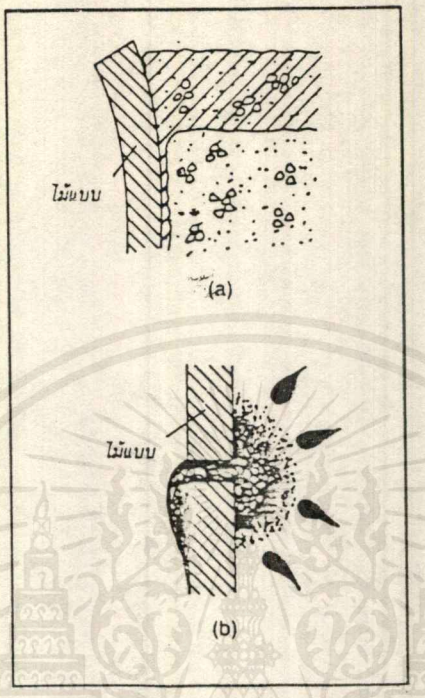


ตารางที่ 1 Requirements of ACI 318-83 for water/cement ratio and strength for special exposure conditions

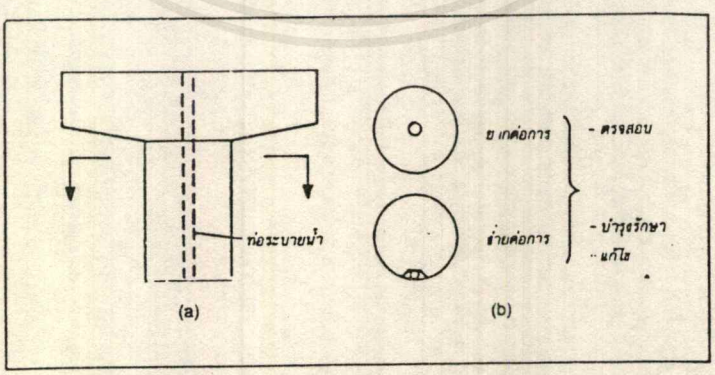
Exposure condition	Maximum water/ cement ratio, normal density aggregate concrete	Minimum design strength in MPa (psi), low density aggregate concrete
Concrete intended to be watertight:		
(a) exposed to fresh water	0.50	25 (3630)
(b) exposed to brackish or sea water	0.45	30 (4350)
Concrete exposed to freezing and thawing in a moist condition:		
(a) kerbs, gutters, guardrails or thin sections	0.45	30 (4350)
(b) other elements	0.50	25 (3630)
(c) in presence of de-icing chemicals	0.45	30 (4350)
For corrosion protection of reinforced concrete exposed to de-icing salts, brackish water, sea water or spray from these sources.	0.40	33 (4790)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9 ลักษณะไม้แบบที่ไม่ดี เช่น ไม่แข็งแรงหรือมีรอยรั่ว

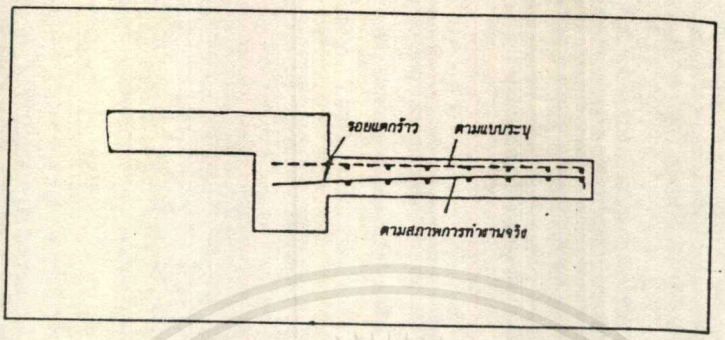


รูปที่ 10 การให้รายละเอียดตั้งแต่ขั้นการออกแบบที่เหมาะสมจะทำให้การตรวจสอบการบำรุงรักษาเพื่อการแก้ไขทำได้ง่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11 การเสริมเหล็กที่ไม่ถูกต้องก่อให้เกิดการแตกร้าวความทนทานจะลดลง



ตารางที่ 2 Requirements of ACI 318 - 83 for minimum cover for protection of reinforcement

Exposure condition	Minimum cover in mm.		
	Reinforced concrete cast in situ	Precast concrete	Prestressed concrete
Concrete cast against, or permanently exposed to, earth	70	–	70
Concrete exposed to earth or weather:			
wall panels	40 – 50	20 – 40	30
slabs and joists	40 – 50	–	30
other members	40 – 50	30 – 50	40
Concrete not exposed to weather or in contact with earth :			
slabs, walls, joists	20 – 40	15 – 30	20
beams, columns	40	10 – 40	20 – 40
shells, folded plate members	15 – 20	10 – 15	10
non-prestressed reinforcement	–	–	20
Concrete exposed to de-icing salts, brackish water, sea water or spray from these sources:			
walls and slabs	50	50	–
other members	60	50	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและก่อสร้าง
อาคารคอนกรีตให้มีความคงทน

ในปัจจุบันยังมีอาคารที่สร้างมาร่วมร้อยปีหรือกว่านั้น และยังอยู่ในสภาพดีใช้งานได้ ให้เห็นเป็นจำนวนไม่น้อย อาคารเหล่านี้มีทั้งก่ออิฐฉาบปูน ปูนฉาบไม้ไผ่ จนถึงคอนกรีตเสริมเหล็ก การที่อาคารดังกล่าวมีความคงทนมาก มิใช่เพราะว่าเทคโนโลยีสมัยโบราณดีกว่าสมัยนี้ แต่เป็นเพราะสมัยก่อนช่างได้ทำการก่อสร้างอย่างประณีต ถูกต้องตามหลักวิชา ไม่ทำแบบลวด ๆ เอาเร็วเข้าว่าเหมือนสมัยนี้ เมื่อประมาณยี่สิบปีที่แล้วยังเห็นการหมักปูนขาวก่อนผสมปูนฉาบบ้าง แต่ยี่สิบปีหลังนี้ไม่เคยเห็นเลย เห็นแต่เอาปูนขาวผสมทราย ผสมปูน ในเวลาเดียวกัน ซึ่งปูนขาวไม่ได้ทำหน้าที่ของมันเลย ผนังก่ออิฐฉาบปูนสมัยนี้จึงแตกร้าวเสียเป็นส่วนใหญ่

นับตั้งแต่คอนกรีตเสริมเหล็กเริ่มมีใช้กันในประเทศไทย ก็แพร่หลายอย่างรวดเร็ว คุณภาพของคอนกรีตก็ดีขึ้นเรื่อย ๆ จะเห็นว่าเทศบัญญัติ พ.ศ. 2497 ยอมให้ใช้กำลังคอนกรีตได้เพียง 45 กก./ซม.^{2} เท่านั้น ต่อมาใน พ.ศ. 2522 เพิ่มขึ้นเป็น 65 กก./ซม.^{2} แต่ปัจจุบันคอนกรีตที่มี fc' = 500 กก./ซม.^{2} ก็เริ่มใช้กันบ้างแล้ว คาดว่าคงจะขึ้นถึง 1000 กก./ซม.^{2} ในไม่ช้านี้ การใช้คอนกรีตกำลังสูงนี้ปกติจะต้องควบคุมคุณภาพอย่างดีเยี่ยม ต้องมีการวิจัยพร้อม ๆ กับการพัฒนาความรู้ด้าน Concrete Technology ควบคู่กันไป การใช้โดยไม่มีข้อมูลอย่างเพียงพอนับว่าอันตรายมาก เพราะคอนกรีตกำลังสูงมักใช้กับเสาชั้นล่าง ๆ ของอาคารสูงหลายสิบชั้น หากเสาชั้นล่างเป็นอะไรไป อาคารชั้นบน ๆ ย่อมเสี่ยงอันตรายไปด้วย

ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงการคำนวณทางวิศวกรรม เพราะวิศวกรรมทุกคนทราบดีอยู่แล้ว แต่จะกล่าวถึงรายละเอียดบางอย่างที่จะช่วยให้อาคารที่ออกแบบมีอายุใช้งานนานขึ้น

ก่อนลงมือคำนวณออกแบบทางโครงสร้างควรจะหาข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1. ศึกษาสิ่งแวดล้อมของสถานที่ก่อสร้างว่า สภาพทางฟิสิกส์และเคมีของดิน และอากาศบริเวณเป็นอย่างไร เช่น ใกล้ทะเล เป็นเหมืองหรือบ่อเก่าเพราะดินอาจเค็มหรือซัลเฟตมาก

2. ต้องรู้ว่าอาคารจะใช้ทำอะไร เช่นเป็นอาคารพักอาศัย อาคารสำนักงาน ห้องปฏิบัติการหรือโรงงาน กรณีหลังต้องทราบว่าเป็นโรงงานผลิตอะไร กระบวนการผลิตจะต้องใช้สารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตบ้างหรือไม่ หรือน้ำทิ้งที่ระบายออกมาปนด้วยสารเคมีหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แหล่งวัสดุที่จะใช้ทำคอนกรีต เช่น กรวด ทราย และน้ำ ว่ามีคุณภาพดีพอหรือไม่ เพื่อเลือกใช้กำลังของคอนกรีตได้ถูกต้องและเหมาะสม

4. ฝีมือและความประณีตของช่างก่อสร้างที่จะสร้างอาคาร ซึ่งส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มงวดของผู้ควบคุมงาน

หากรู้ข้อมูลเหล่านี้แล้ว คำนวณออกแบบจะได้เตรียมออกแบบให้สอดคล้องกับสภาวะต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น จะสร้างโรงงานกลั่นสุราก็จะต้องเลือกวัสดุที่จะใช้ทำโครงสร้างชนิดที่ทนทานต่อการกัดกร่อน ถ้าเป็นคอนกรีตก็จะต้องเผื่อส่วนที่หุ้มคอนกรีตหนาหน่อย และส่วนผสมคอนกรีตจะต้องค่อนข้างแห้ง เพื่อให้มีความแน่นสูง ไอระเหยซึมผ่านคอนกรีตได้ยาก นอกจากนั้นควรทาสีประเภท Epoxy เป็นการป้องกันอีกชั้นหนึ่ง มิฉะนั้นเหล็กเสริมภายในจะผุกร่อนเร็ว และเนื้อคอนกรีตก็จะผุยุ่ยด้วย

ในกรณีที่จะต้องก่อสร้างในที่ทุรกันดาร ขาดแคลนวัสดุก่อสร้างและไม่มีผู้ควบคุมงาน วิศวกรก็ควรใช้การคำนวณวิธี "หน่วยแรงปลอดภัย" หรือถ้าจะใช้ "หน่วยแรงประลัย" ก็ควรใช้ Load Factor สูงกว่าปกติ พูดถึง Load Factor หรือ Safety Factor นี้ วิศวกรบางคนใช้ค่าต่ำมาก ต่ำกว่าที่กำหนดในข้อบัญญัติเสียอีก โดยอ้างว่าต่างประเทศทำได้ เราก็ต้องทำได้ โดยไม่คำนึงถึงว่าการก่อสร้างของเราได้มาตรฐานเท่าเขาหรือเปล่า การควบคุมงานดีหรือไม่ การใช้อาคารเราสามารถควบคุมได้หรือเปล่า ถ้าการก่อสร้างคุณภาพไม่ดี การควบคุมงานไม่ดีพอ แถมใช้ค่า Load Factor ต่ำ และยิ่งถ้ามีการบรรทุกน้ำหนักเกินอัตราด้วย อาคารจะไม่เพียงอายุไม่ยืนแต่อาจจะพังลงมาเลยก็ได้

การก่อสร้าง

การที่จะได้อาคารที่คงทนถาวร ในเบื้องต้นวัสดุที่ใช้ต้องมีคุณภาพดีเสียก่อน คอนกรีตจะมีคุณภาพดีจะต้องมีการปฏิบัติที่ดีทั้งก่อนเท ขณะเท และภายหลังจากการเทคอนกรีต ผู้ควบคุมงาน และผู้รับเหมาก่อสร้างจะต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษ

1. ก่อนเทคอนกรีต จะต้องเลือกวัสดุผสมที่ถูกต้องตามข้อกำหนด เช่น ปูนซิเมนต์ต้องถูกชนิดที่ต้องการไม่ใช่เอาปูนซิเมนต์สำหรับใช้ฉาบมาใช้เป็นปูนซิเมนต์ผสมคอนกรีต มวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียดและมวลรวมหยาบต้องแกร่ง ไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ กับปูนซีเมนต์และต้องสะอาด แม้กระทั่งน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตก็จะต้องสะอาดปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต เช่น เกลือแร่บางชนิดและสารอินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนั้นยังมีสารผสมเพิ่ม (Admixture) ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ผสมคอนกรีตเพื่อให้ได้คุณสมบัติพิเศษ เช่น กำลังสูงขึ้น ก่อตัวช้าลง เทได้ง่ายขึ้น กันซึม ฯลฯ สารแต่ละชนิดมีผู้ผลิตขายมากมาย ฉะนั้นผู้ใช้จะต้องอ่านข้อแนะนำของผลิตภัณฑ์แต่ละรายให้ละเอียดก่อนนำไปใช้งาน โดยเฉพาะปริมาณของสารต้องใส่ตามที่ระบุไว้อย่างเคร่งครัด ไม่ใช่ว่ายิ่งใส่มากยิ่งดี หากไม่เคยใช้มาก่อนเลยก็ควรจะทำการทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมเสียก่อน เพราะสภาพอากาศเช่น อุณหภูมิและความชื้นบ้านเขากับบ้านเราไม่เหมือนกัน

2. **การผสมและการเทคอนกรีต** เมื่อได้วัสดุผสมคอนกรีตตามที่ต้องการแล้วก็มาถึงขั้นผสมคอนกรีต ซึ่งแม้ว่าจะไม่สลับซับซ้อน แต่ก็ต้องอาศัยหลักวิชาและความละเอียดอย่างมากเหมือนกัน ปัจจุบันนี้ คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-Mixed Concrete) เป็นที่นิยมมากและมีจำหน่ายทั่วไปแทบทุกจังหวัด เนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพได้ดี อย่างไรก็ตามมักจะมีคนมักง่ายหรือรู้เท่าไม่ถึงการณ์แอบเติมน้ำลงในโม่ โดยหารู้ไม่ว่าการทำเช่นนั้นจะทำให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลงอย่างมาก

ในกรณีของงานขนาดเล็ก หรือในที่ ๆ คอนกรีตผสมเสร็จเข้าไปไม่ถึง จำเป็นต้องผสมเอง ในกรณีเช่นนี้ก็มักจะไม่มีผู้ควบคุมงานเสียด้วย การผสมบางครั้งก็มีโม่ผสม บางครั้งก็ใช้แรงคนผสม ซึ่งเป็นการยากที่จะควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

การเทคอนกรีต การทำให้คอนกรีตแน่น เช่น การใช้ Vibrator ก็มีผลโดยตรงต่อความคงทนของโครงสร้าง คอนกรีตที่เหลวมากเกินไป หรือคอนกรีตที่มีการแยกแยะมาก จะทำให้ได้โครงสร้างที่มีเนื้อคอนกรีตไม่แน่น หรืออาจเป็นโพรง และมีกำลังต่ำ การเทคอนกรีตใต้น้ำ เช่น งานเสาเข็มเจาะระบบเปียก และ Diaphragm Wall ซึ่งจะต้องใช้คอนกรีตเหลวมาก ๆ การเทต้องผ่านท่อเท (tremie Pipe) ท่อเทนี้จะต้องฝังในเนื้อคอนกรีตอย่างน้อยที่สุด 2 เมตร ถ้าน้อยกว่านี้สารละบายเบนโทไนท์จะทะลักเข้ามาผสมกับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณนั้นยุ่ยมีกำลังต่ำ ไม่สามารถรับน้ำหนักตามที่กำหนดได้

3. **การปฏิบัติภายหลังการเทคอนกรีต** โดยทั่วไปทันทีที่คอนกรีตก่อตัวเสร็จควรจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีบบ่มทันที เพื่อป้องกันการที่น้ำระเหยอย่างรวดเร็ว อันจะเป็นผลให้ผิวคอนกรีตร้าว เนื่องจากการหดตัวกะทันหัน (Shrinkage Crack) และเมื่อน้ำที่ผิวคอนกรีตระเหยไป น้ำภายในคอนกรีตก็จะหนีตาม ทำให้ปฏิกิริยาระหว่างปูนซิเมนต์กับน้ำไม่สมบูรณ์ กำลังก็ต่ำลง การบ่มมีหลายวิธีดังที่ทราบกันดีอยู่แล้ว เช่น ใช้กระสอบคลุมรอบองค์อาคารแล้วฉีดน้ำให้ชุ่มตลอดเวลา ถ้าเป็นพื้นก็อาจใช้วิธีขังน้ำ คลุมด้วยทรายเปียก หรือใช้ Curing Agent พ่นทับในกรณีที่ไม่ต้องการฉาบปูนหรือปูกระเบื้องทับ ปัจจุบันสำหรับเสาหรือคานขนาดใหญ่นิยมใช้ผ้าพลาสติกหุ้มซึ่งก็ได้ผลดีเหมือนกัน

อย่างไรก็ดี สำหรับองค์อาคารขนาดใหญ่มาก ๆ เช่น ฐานาก Mat Footing หนาตั้งแต่ 1.50 เมตรขึ้นไป อุณหภูมิของคอนกรีตภายในสูงถึง 70°ซ ส่วนอุณหภูมิอากาศของเราประมาณ 34° ซ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวและอุณหภูมิภายในคอนกรีตต่างกันถึง 36°ซ ทำให้เกิดหน่วยแรงขึ้นภายในซึ่งมากพอที่จะทำให้ฐานรากคอนกรีตนั้นแตกร้าวได้ ที่จริงแล้วอุณหภูมิไม่ควรแตกต่างกันเกิน 15°ซ หรือ 20°ซ เป็นอย่างมาก วิธีป้องกันการแตกร้าวควรจะเริ่มตั้งแต่ลดอุณหภูมิของคอนกรีตสดด้วยการผสมด้วยน้ำเย็นจัด แล้วฝังท่อสำหรับระบายความร้อนด้วยน้ำ จากนั้นก็บ่มโดยใช้แผ่นพลาสติกคลุม เพื่อป้องกันน้ำระเหยและหากอากาศภายนอกเย็น เช่นเทเวลากลางคืนควรคลุมด้วยกระสอบแห้งอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันมิให้ผิวคอนกรีตเย็นตัวเร็วเกินไป และการคลุมนี้ต้องคำนึงถึงด้านข้างของฐานรากด้วย เพราะปกติด้านข้างจะมีน้ำเย็น ๆ ขังอยู่โดยรอบ

ส่วนประกอบของอาคาร

ความคงทนของโครงสร้าง นอกจากตัวโครงสร้างเองจะต้องมีคุณภาพดีแล้ว ส่วนประกอบอื่น ๆ จะต้องดีด้วย เช่น ผนังก่ออิฐ โดยเฉพาะภายนอก ถ้าก่อและฉาบไม่ดีน้ำฝนซึมเข้าได้ ผนังก็จะขึ้นรา ตะไคร่น้ำจับ กระจกก็เช่นเดียวกัน ระบบท่อต่าง ๆ ถ้าทำแบบลวก ๆ ก็จะเกิดการอุดตัน น้ำรั่ว น้ำล้น หรือไหลซึมอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นยังมีน้ำที่กลั่นตัวจนไหลรั่วจากระบบปรับอากาศ ทั้งหมดนี้ มีส่วนทำให้โครงสร้างและตัวอาคารชำรุดทรุดโทรมได้ทั้งนั้น ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมก็ไม่ควรมีซอกอับชนิดที่ดูแลไม่ทั่วถึง หรือน้ำสามารถขังได้ก็ไม่ดี

ในบทกำหนด (Specifications) ควรจะระบุวิธีการทำงานต่าง ๆ โดยละเอียด เช่น วิธี การก่ออิฐที่ถูกวิธี วิธีทำพื้นหินขัด วิธีติดกระจก กระเบื้อง หินแกรนิต ต่าง ๆ เหล่านี้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญต่อความคงทนของอาคารทั้งสิ้น ซึ่งทุกคนรู้ดีอยู่แล้ว แต่ถ้าหากไม่ระบุให้ชัดเจนลงไปแล้ว ผู้รับเหมาก่อสร้างอาจบิดพริ้ว ไม่ปฏิบัติตามก็ได้ เพราะถือว่าไม่ได้กำหนดไว้ จะทำก็ได้ไม่ทำก็ได้ ผลก็คือจะได้อาคารที่มีอายุใช้งานสั้นกว่าที่ควร

การบำรุงรักษาอาคาร

อาคารที่สร้างเสร็จแล้วแต่ไม่ได้ใช้งานเลย จะชำรุดทรุดโทรมพอ ๆ กับอาคารที่ใช้แล้ว แต่ไม่มีการบำรุงรักษาเป็นประจำ ห้องหับที่ไม่ติดแอร์และไม่เปิดหน้าต่างเลย ไม่ช้าความชื้นจะค่อย ๆ สะสม และแทรกซึมเข้าไปตามรอยร้าวเล็ก ๆ ในผนังและแม้แต่คอนกรีต โครงเหล็กก็จะเป็นสนิม คอนกรีตก็จะยุ่ย เหล็กเสริมก็จะผุและดันคอนกรีตจนแตกร้าว และหลุดออกมาในที่สุด ตรงกันข้ามกับอาคารที่ได้รับการดูแลเป็นอย่างดี มีการตรวจสอบประจำสัปดาห์ ประจำเดือน ประจำปี หากพบสิ่งชำรุดเพียงนิดเดียวก็ซ่อมแซมเสียไม่ปล่อยให้ลุกลาม การซ่อมแซมก็จะเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาคารก็จะทนทาน มีอาคารรุ่นเก่า ๆ อายุหลาย ๆ สิบปี เมื่อไปตรวจสภาพพบว่าเสาและกำแพงทำด้วยอิฐก่อทั้งสิ้น แถมพื้นยังเป็นไม้ แต่อยู่มาได้นานขนาดนั้นโดยไม่มีการชำรุดขนาดใหญ่เลย เนื่องจากอาคารเหล่านั้นมีการบูรณะเป็นประจำ และหมั่นทาสีจนแลดูใหม่อยู่ตลอดเวลา

การบำรุงรักษาควรกระทำทั้งส่วนที่เป็นโครงสร้าง และที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น ผนังก่ออิฐ ฝา ฝ้า สี ฯลฯ หากผนังร้าวเล็กน้อยควรซ่อมทันที หากรอยร้าวเกิดเป็นเส้นทะแยงมุม แสดงว่าเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน หรือการเคลื่อนตัวของพื้นแต่ละชั้นไม่เท่ากัน เรื่องนี้ต้องอาศัยวิศวกรเป็นผู้ให้คำปรึกษาแนะนำ ซึ่งปกติจะต้องหาสาเหตุให้พบเสียก่อน แล้วแก้ไขที่สาเหตุแล้วจึงซ่อมรอยร้าว

สรุปแล้ว การที่จะได้อาคารที่คงทนถาวรจะต้องปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักวิชาและหลักปฏิบัติ นับตั้งแต่ออกแบบงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง ตลอดจนงานวิศวกรรมระบบ ทุกระบบงานก่อสร้าง และการควบคุมดูแลงานก่อสร้างนั้น จนถึงการใช้อาคารซึ่งต้องมีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวความคิดใหม่ในการพัฒนา
คอนกรีตในประเทศญี่ปุ่น

ปัญหาเรื่องความทนทาน (Durability) ในระยะยาวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีต ภายหลังการก่อสร้างในประเทศญี่ปุ่นปัจจุบันที่เห็นได้ชัดเกิดจากการที่คอนกรีตเป็นรูพรุนและการแยกตัวของคอนกรีตขณะเท เนื่องจากการขาดความชำนาญในการเทคอนกรีตและเขย่าให้เข้าแบบได้พอเหมาะ อีกเหตุผลหนึ่งคือการให้รายละเอียดในแบบไม่ดีพอ ทำให้เกิดความเข้าใจผิดของผู้ที่ทำการก่อสร้างในกรณีของโครงสร้างที่เสริมเหล็กมากและมีรูปแบบที่ซับซ้อน เป็นการยากที่จะเทโดยไม่เกิดการแยกตัวหรือเป็นรูพรุน จากสาเหตุดังกล่าว Prof. OKAMURA แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว ได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาไว้ 2 ทาง คือ การกำหนดวิธีการออกแบบโครงสร้างโดยรวมถึงขั้นตอนการก่อสร้างด้วย อีกวิธีหนึ่งคือการพัฒนาคอนกรีตสำหรับการเทเข้าแบบได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องใช้เครื่องเขย่า และให้มีคุณสมบัติที่ดีด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ใช้งานได้ทั้งในลักษณะการก่อสร้างที่ยุ่งยาก หรือที่มีรายละเอียดในแบบน้อย

คณะอนุกรรมการของ Concrete Committee of Japan Society of Civil Engineers (JSCE) ซึ่งมี Prof. OKAMURA เป็นประธานได้เคยเสนอและแนะนำวิธีออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเพื่อให้มีความคงทน ไว้ในปี ค.ศ. 1982 โดยครอบคลุมถึงการควบคุม คุณลักษณะของคอนกรีต การให้รายละเอียดของการออกแบบ และการก่อสร้าง อีกวิธีหนึ่งที่ได้พัฒนาอยู่ในปัจจุบันคือการพัฒนาคอนกรีตโดยให้ชื่อว่า "High Performance Concrete" เพื่อใช้กับการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป

"High Performance Concrete"
คืออะไร?

High Performance Concrete (HPC) คือคอนกรีตที่สามารถเทเข้าแบบได้ทุกซอกทุกมุม โดยไม่ต้องใช้เครื่องเขย่า (Vibrator) ช่วย นอกจากนี้ HPC ยังมีการหดตัวน้อย ไม่มีรอยแตกเนื่องมาจากความร้อนจากปฏิกิริยา Hydration , จากการแข็งตัว (Hardening) และจาก Dry shrinkage รอยแตกดังกล่าวนอกจากจะไม่เป็นผลดีต่อความรู้สึกของผู้ที่พบเห็นแล้ว ยังเป็นสาเหตุให้การกัดกร่อนเหล็กโครงสร้างเกิดขึ้นได้ง่าย และหลังจากการแข็งตัวแล้ว HPC ยังให้กำลังอัดตามที่กำหนด ทนต่อการถูกทำลายจากสารประกอบต่าง ๆ เช่น Oxygen Choride ion และน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่หุ้มเหล็กไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

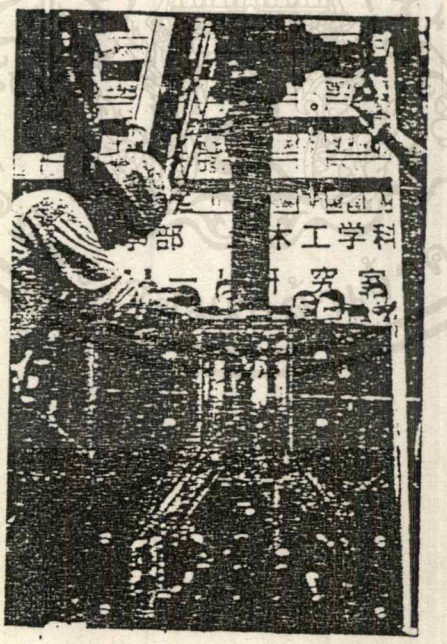
คุณสมบัติของ HPC

จากการศึกษาลักษณะการแยกตัว (Segregation) ของคอนกรีตสด ทำให้ผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในการออกแบบส่วนเกินของ HPC และได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของ HPC ในขณะที่เป็นคอนกรีตสด และแข็งตัวแล้วดังนี้

- ความสามารถในการเท

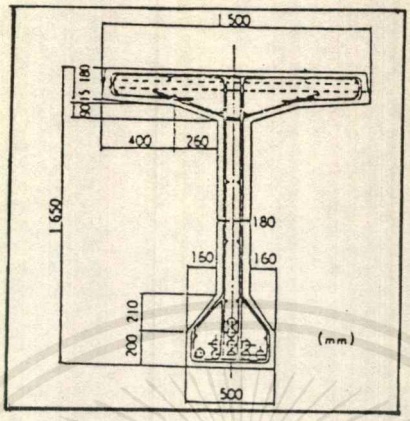
จากการทำรูปแบบจำลองของโครงสร้างตามรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการจำลองแบบและการวางเหล็กส่วนล่างของ Prestress Concrete Bridge Girder ในประเทศญี่ปุ่น (ตามรูปที่ 2) ซึ่งลักษณะเป็นการออกแบบที่แคบและบาง การจัดเหล็กเสริมค่อนข้างแน่นทำให้การเทคอนกรีตให้เต็มในส่วนนี้ กระทำได้ยาก และการสอดเครื่องเขย่าลงไปในแบบกระทำได้ยากเช่นกัน แต่ HPC สามารถเทเข้าแบบได้ทุกซอกทุกมุม โดยไม่ต้องใช้เครื่องเขย่า ทั้งนี้จากการทดลองใช้คอนกรีตธรรมดาเท คนงานต้องมีความชำนาญสูงในการเขย่าให้คอนกรีตเข้าแบบเต็ม โดยไม่เกิดการแยกตัว

รูปที่ 1 การเท High Performance Concrete ลงในแบบจำลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 หน้าตัดของ PC.Bridge Girder

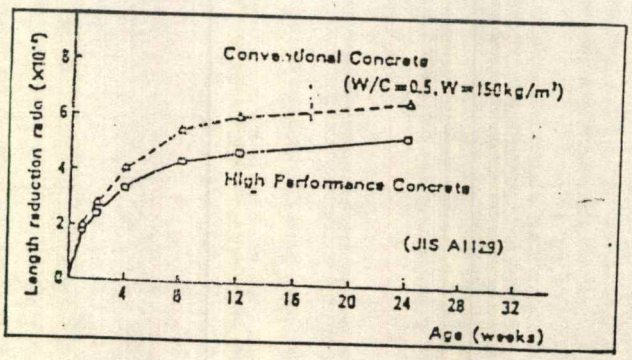


- คุณสมบัติอื่น ๆ

รูปที่ 3 เป็นผลการทดสอบ Drying Shrinkage Test จะเห็นว่าอัตราส่วนการหดตัว (Length Reduction Ratio) ของ HPC จะไม่มากกว่าคอนกรีตธรรมดาที่มีปริมาณน้ำเท่ากัน (150 กก./ม.^{3})

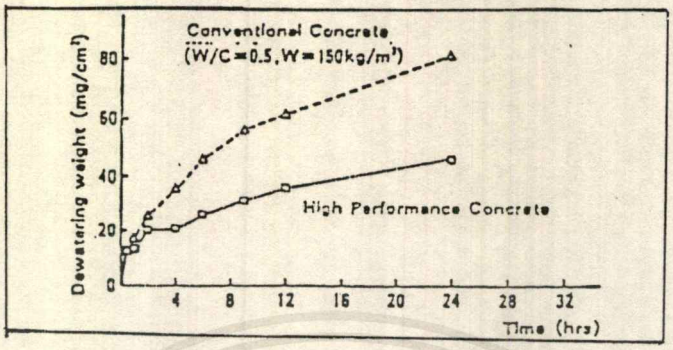
รูปที่ 4 เป็นการทดสอบการผ่านน้ำ (Dewatering weight) โดยวิธี Vacuum Drying จะเห็นว่ามีค่าน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดาที่มี w/c = 50%

รูปที่ 3 ผลทดสอบ Dry Shrinkage Test



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 ผลทดสอบ Vacuum Drying Test

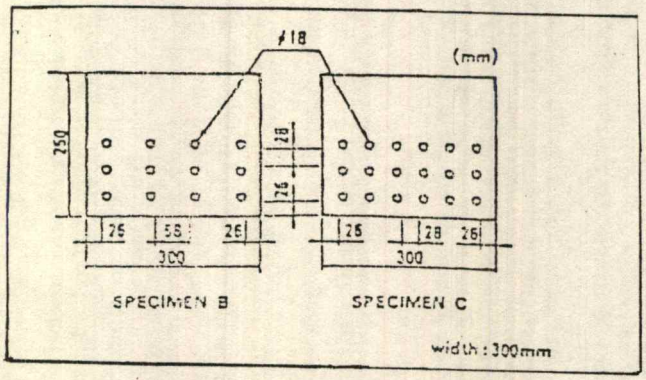


สรุปว่า HPC จะอัดตัวให้แน่นเอง ทั้งที่ไม่ต้องใช้เครื่องเขย่าช่วย โดยเฉพาะในบริเวณใกล้ผิวเมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดา

เพื่อยืนยันคุณสมบัติดังกล่าวจึงทดลองนำ HPC และคอนกรีตธรรมดาที่มี w/c = 50% ค่ายุบตัว 8 ซม. เทลงในแบบตามรูปที่ 5 ทั้งนี้ HPC เทโดยไม่ใช้เครื่องเขย่า ในขณะที่คอนกรีตธรรมดาเทโดยใช้เครื่องเขย่าอย่างสมบูรณ์ หลังจากการเทและบ่มไว้จนครบ 7 วัน จึงทำการทดสอบ Dewatering Test กับคอนกรีตทั้งสองชนิด โดยใช้ Vacuum Pump จะเห็นว่า Dewatering Weight ของ HPC จะไม่มากกว่าคอนกรีตธรรมดา แสดงว่าไม่มีลักษณะของการเป็นรูพรุนใน HPC เลย

จากการทดสอบกำลังอัดของ HPC พบว่า ที่ 7 วัน จะได้กำลังอัด 277/กก/ซม^2 (cylinger) และที่ 28 วัน ได้ 439 กก/ซม^2 ภายใต้การบ่มก้อนปูนในน้ำที่อุณหภูมิ 20°C

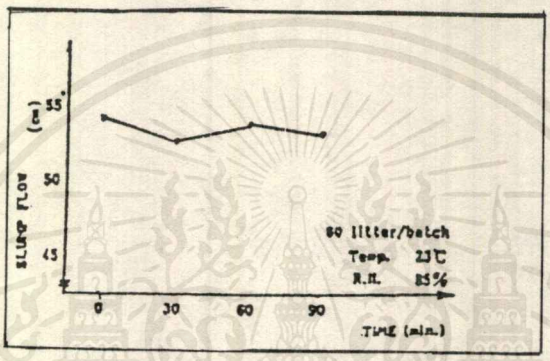
รูปที่ 5 ขนาดของแบบตัวอย่างจำลอง



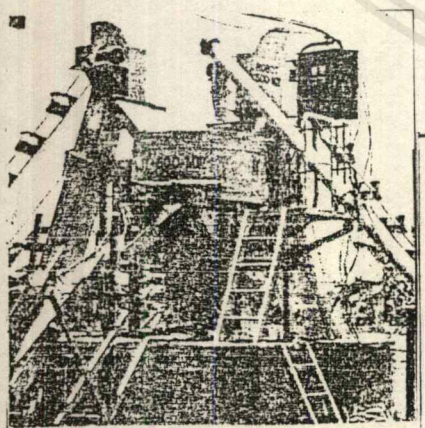
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

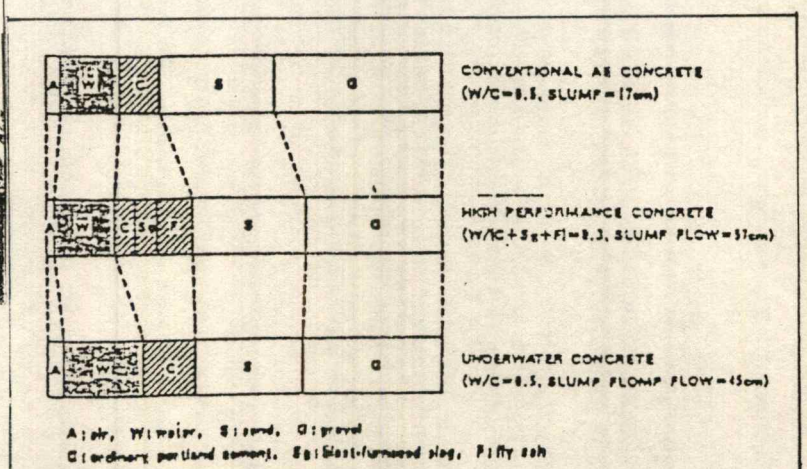
วัสดุที่ใช้เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่น คุณสมบัติของ HPC เกิดจากการรวมตัวของส่วนผสมดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วยส่วนละเอียดของ Blast-Furnance Slag, Fly Ash, น้ำยา Superplasticzer, และบางส่วนของ Viscosity Agent จากการทดสอบค่ายุบตัว สามารถยืนยันได้ว่า หลังจากผสมแล้ว 90 นาที แตกต่างกันน้อยมาก (ดังรูปที่ 7)

รูปที่ 7 ค่าการไหลตัวของคอนกรีต



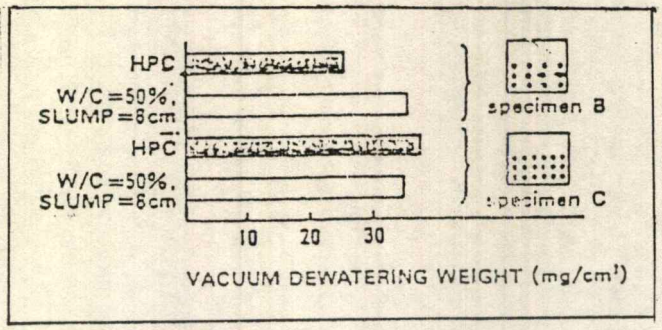
รูปที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา คอนกรีตใต้น้ำทะเล และ HPC จะเห็นว่า HPC มีส่วนหยาบน้อยกว่าแต่มีส่วนละเอียดมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา และ PHC มีปริมาณน้ำน้อยกว่าแต่มีส่วนละเอียดมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตใต้น้ำ และรูปการเปรียบเทียบสัดส่วนการผสม





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 Dewatering Weight in the Vacuum Drying Test



อัตราส่วนผสม

การออกแบบ HPC นอกจากจะต้องคำนึงถึงการเทเข้าแบบได้ทุกซอกทุกมุมโดยไม่เกิดการแยกตัวแล้ว ยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความร้อนจากปฏิกิริยา Hydration, การหดตัว และการซึมผ่านของน้ำหลังจากการแข็งตัวแล้ว จากการศึกษาข้อกำหนดเหล่านี้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถกำหนดอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของ "High Performance Concrete"

Water	OPC	Slag	Fly ash	Fine agg.	Coarse agg.	admix.	Slump flow	Air content
159	155	171	202	760	874	*)	57cm	2.0%

Maximum size of coarse aggregates: 20mm
*) 5544cc for superplasticizer and 20g
for cellulose viscous agent

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

	Specific gravity	Specific surface area		Specific gravity	F.M.	Absorption	solid volume
O.P.C.	3.15	3360 cm2/g	Fine agg.	2.62	2.59	1.58%	66.0%
Slag	2.90	5400 cm2/g	Coarse agg.	2.62	6.51	1.19%	65.4%
Fly ash	2.19	3010 cm2/g	(river)				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป

HPC เป็นคอนกรีตที่ให้ประสิทธิภาพในการเทสูง ในขณะที่คุณสมบัติภายหลังการแข็งตัวแล้ว ไม่ได้ด้อยกว่าคอนกรีตธรรมดาเลย

แนวความคิดในการพัฒนารูปแบบของคอนกรีตที่จะใช้ในอนาคต เพื่อสะดวกในการใช้งานดังที่ประเทศญี่ปุ่นได้ทำการค้นคว้าอยู่นี้ จึงเป็นประโยชน์ต่อวงการก่อสร้าง เพื่อให้ได้โครงสร้างคอนกรีตที่ดี ยืดอายุของโครงสร้างออกไปได้ยาวนานยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันอุบัติภัย
เกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร

ปัจจุบัน อุบัติภัยที่เกิดจากการก่อสร้างอาคาร เช่น ตึกถล่ม อาคารทรุด รวมทั้งอุบัติเหตุที่เกิดจากความประมาทเลินเล่อในการก่อสร้าง และการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการก่อสร้างได้เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ทั้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด ดังที่ปรากฏเป็นข่าวทางสื่อมวลชนอยู่เสมอมา การเกิดอุบัติภัยจากสิ่งก่อสร้างแต่ละครั้งดังกล่าว ได้นำมาซึ่งความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นจำนวนมาก

ปัญหาของอุบัติภัย อันนำมาซึ่งความสูญเสียที่เกิดจากสาเหตุของสิ่งก่อสร้างดังกล่าวนี้ ถือเป็นเรื่องสำคัญที่รัฐบาลได้พยายามหามาตรการป้องกันและหาหนทางแก้ไขมาโดยตลอด และได้มอบหมายให้ส่วนราชการที่เกี่ยวข้องรับไปดำเนินการ เพื่อลดอุบัติภัยด้านนี้ให้น้อยลง หรือไม่ให้เกิดขึ้นอีกในอนาคต

แต่เนื่องจากปัญหาของอุบัติภัยที่เกิดจากสิ่งก่อสร้างดังกล่าวนี้ เป็นปัญหาใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับบุคคลหลายฝ่ายตั้งแต่นักธุรกิจนายทุนผู้เป็นเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกร ผู้ออกแบบควบคุมการก่อสร้าง บริษัทรับเหมาก่อสร้าง คนงานไปจนถึงเจ้าหน้าที่ของรัฐที่มีอำนาจควบคุมตามกฎหมาย ดังนั้นการแก้ปัญหาที่ได้ผล จำเป็นจะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่าย

กรมโยธาธิการ ในฐานะเป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีหน้าที่เสนอกฎหมายและให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในงานก่อสร้าง ก็ได้ตระหนักถึงปัญหาความปลอดภัยด้านนี้อยู่ตลอดเวลา และได้พยายามหาวิธีการแก้ไข โดยใช้มาตร-การทางกฎหมายเป็นกลไกควบคุม เช่น การออกกฎหมายควบคุมการก่อสร้างอาคาร และการกำหนดมาตรฐานงานก่อสร้างแต่ละประเภทให้เหมาะสม เป็นต้น แต่กระนั้นก็ตาม เนื่องจากปัจจุบันการก่อสร้างอาคารมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อทันกับความเจริญเติบโตของบ้านเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาคารขนาดใหญ่ อาคารสูง และโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงอาคารที่อยู่อาศัย ได้มีปริมาณการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น การใช้มาตรการด้านกฎหมายแต่เพียงอย่างเดียว จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้ผลเต็มที่ จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างทุกฝ่ายด้วย จึงจะสามารถขจัดปัญหาให้เบาบางลงไปได้ ทั้งนี้เพราะสาเหตุของการเกิดอุบัติภัยในการก่อสร้างอาคารนั้น เกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน และมีผู้ที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบร่วมกัน และมีผู้ที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบร่วมกันในหลายกรณี

การออกแบบคำนวณโครงสร้าง กฎกระทรวงฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2508) ออกตามความในพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 ได้กำหนดให้การก่อสร้างอาคาร ตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป ที่ก่อสร้างห่างจากทางสาธารณะไม่เกิน 40 เมตร โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรตั้งแต่ 50 แรงม้าเพลาขึ้นไป อาคารสาธารณะหรือเป็นที่อยู่อาศัยของบุคคลจำนวนมาก เช่น โรงมหรสพ, โรงพยาบาล, โรงเรียน, โรงแรม, ภัตตาคาร, หอประชุม, หอสมุด, แฟลต หรือ คอนโดมิเนียม เป็นต้น เป็นวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมผู้ออกแบบ คำนวณโครงสร้าง และผู้ควบคุมการก่อสร้างต้องมีมาตรฐานความรู้ ความสามารถและเป็นผู้ได้รับอนุญาติให้เป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรม เพื่อให้การออกแบบถูกต้องเหมาะสมตามหลักวิชาการ ได้มาตรฐานตามหลักวิศวกรรมศาสตร์ โดยคำนึงถึงความมั่นคง ปลอดภัย เป็นประการสำคัญ เพราะถ้าออกแบบหรือคำนวณโครงสร้างผิดพลาด อาคารก็จะไม่มั่นคงแข็งแรง อาจพังทลายลงได้ง่าย ดังนั้นการออกแบบที่ดีได้มาตรฐานและถูกต้อง จะเป็นการช่วยป้องกันอุบัติภัยที่จะเกิดจากการก่อสร้างอาคารได้ประการหนึ่ง ทั้งนี้ อยู่ที่สถาปนิกและวิศวกร จะต้องยึดมั่นในความถูกต้องตามหลักวิชาการอย่างแท้จริง ไม่เห็นแก่อำนาจเงิน คือมีคุณสมบัติเหมาะเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ตามมาตรา8 แห่งพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505

การแก้ไขแบบโดยพลการ มักเกิดจากเจ้าของอาคาร ต้องการเพิ่มพื้นที่ใช้สอย ได้ทำการเพิ่มชั้นอาคารให้มากขึ้นกว่าที่แบบกำหนด หรือไม่ก็ต้องการลดต้นทุนการก่อสร้างเอง จึงได้ใช้วิธีลดขนาดของโครงสร้างให้ผิดไปจากแบบ เช่น ลดขนาดของเสา, คาน รวมทั้งการลดขนาดของเหล็กเส้นและเสาเข็มลง เพียงเพื่อให้ประหยัดต้นทุน โดยไม่คำนึงถึงอันตรายและความเสียหายอย่างใหญ่หลวงที่จะเกิดขึ้นในภายหลัง เป็นการก่อสร้างดัดแปลง รื้อถอน หรือเคลื่อนย้ายอาคารโดยเจ้าของอาคารไม่ได้รับใบอนุญาตจากเจ้าพนักงานท้องถิ่น ต้องระวางโทษปรับไม่เกินหนึ่งหมื่นบาท และหากฝ่าฝืนจะต้องระวางโทษปรับอีกวันละ 500 บาท ตลอดเวลาที่ยังฝ่าฝืนตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทกำหนดโทษมาตรา 69 แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ถ้าการกระทำความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ เป็นการกระทำของผู้ดำเนินการผู้กระทำต้องระวางโทษเป็นสองเท่าของโทษที่บัญญัติไว้สำหรับความผิดนั้น ๆ

ถ้าเป็นการกระทำอันเกี่ยวกับอาคารเพื่อพาณิชยกรรม อุตสาหกรรม การศึกษา หรือการสาธารณสุข หรือ เป็นการกระทำในทางการค้า เพื่อให้เช่า ให้เช่าซื้อขาย หรือจำหน่าย ซึ่งเป็นอาคารประเภทควบคุมการใช้ผู้กระทำผิดต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับเป็นสิบเท่าของโทษที่กำหนด หรือทั้งจำทั้งปรับ ตามบทกำหนดโทษมาตรา 70 แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ดังนั้น เพื่อความปลอดภัย และเพื่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร จึงควรหลีกเลี่ยงการเสี่ยงที่ไม่คุ้มค่า เจ้าของสิ่งก่อสร้างหรือนายทุนเจ้าของโครงการต้องให้ความร่วมมือกับสถาบนิกและวิศวกร เพื่อให้การก่อสร้างถูกต้องและมีความแข็งแรงมั่นคง ปลอดภัย

นอกจากสาเหตุดังกล่าว ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการก่อสร้างได้ก้าวหน้าไปมาก ใช้เครื่องมือเทคนิคใหม่ ๆ วัสดุก่อสร้างมีหลากหลายชนิด ขณะเดียวกันผู้รับเหมาก่อสร้างมักจะจ้างแรงงานราคาถูก และเคยก่อสร้างอาคารบ้านเรือนของตนเองอย่างง่าย ๆ เท่านั้น เมื่อมารับจ้างในเมืองและปฏิบัติงานในด้านนี้กับเทคนิค และวัสดุการก่อสร้างใหม่ ๆ จึงไม่มีความเข้าใจในหลักวิธีการก่อสร้างที่ถูกต้อง เช่น อัตราส่วนผสมคอนกรีตไม่ถูกต้องตรงตามมาตรฐานทางวิชาการ นั่งร้านรับแบบคอนกรีตไม่แข็งแรงพอ ถอดไม้แบบหล่อท้องคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนกำหนด การตอกเสาเข็มไม่ถูกต้อง ไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้น เพราะฉะนั้น ในขณะทำการก่อสร้างจึงจำเป็นต้องมีวิศวกรควบคุมงานตลอดเวลา เพื่อมิให้เกิดความผิดพลาดทางเทคนิค จนเกิดเหตุอุบัติภัยขึ้นมา เพราะเท่าที่ผ่านมาอุบัติภัยจากการก่อสร้างที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่จะเกิดจากการไม่มีวิศวกรคอยควบคุมงานใกล้ชิด จึงเกิดความผิดพลาด และสูญเสียดังที่ปรากฏมาแล้วหลายครั้งหลายคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออุบัติภัยจากการก่อสร้างที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องอยู่กับบุคคลหลายฝ่ายดังกล่าวนี้ การที่จะป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่าย เช่น นักธุรกิจนายทุนผู้เป็นเจ้าของโครงการ ต้องไม่เห็นแก่ประโยชน์ส่วนตนเกินไป จนลืมนึกถึงความมั่นคงปลอดภัย, สถาปนิก, วิศวกรผู้ออกแบบคำนวณโครงสร้างและควบคุมงานต้องปฏิบัติหน้าที่อย่างตรงไปตรงมา ยึดความถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยไม่เห็นแก่อามิสสินจ้างใด ๆ และเจ้าหน้าที่ของรัฐ ผู้มีอำนาจหน้าที่ควบคุมตามกฎหมายต้องเข้มงวดกวดขันไม่ปล่อยปละละเลยหรือแกล้งทำตัวเอาหูไปนาเอาตาไปไร่ ต้องใช้อำนาจให้เด็ดขาดตามกฎหมาย และลงโทษผู้ฝ่าฝืน หรือผู้กระทำผิดโดยเฉียบขาด

สำหรับในส่วนของกรมโยธาธิการ ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีหน้าที่ในการเสนอกฎหมาย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการก่อสร้าง ก็ได้ตระหนักถึงปัญหาสำคัญข้อนี้อยู่เสมอ โดยได้ออกพระราชกฤษฎีกาให้ใช้ พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ในท้องที่ที่มีการขยายตัวของชุมชนอย่างรวดเร็ว และออกกฎกระทรวง เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในด้านการควบคุมอาคารให้มีความมั่นคงแข็งแรงปลอดภัย มีระบบป้องกันอัคคีภัย ให้มีการสาธารณสุข การจราจร และความเป็นระเบียบเรียบร้อยของชุมชนโดยในเขตสุขาภิบาล ได้มีพระราชกฤษฎีกา มีผลใช้บังคับแล้ว 177 สุขาภิบาล และในเขตผังเมือง ได้มีพระราชกฤษฎีกามีผลบังคับใช้แล้ว 96 แห่ง นอกจากนี้ยังได้กำชับเจ้าหน้าที่อย่างรอบคอบ รัดกุม ยึดถือความถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานรวมทั้งได้ประชาสัมพันธ์เผยแพร่ให้ประชาชนได้ทราบถึงภัยอันตรายต่าง ๆ ที่จะเกิดจากการก่อสร้างอาคารที่ไม่ถูกต้อง เพื่อให้งดการกระทำผิดและให้ความร่วมมือปฏิบัติตามกฎหมาย ยึดมั่นในประโยชน์สุขของสาธารณชนโดยส่วนรวมเป็นสำคัญ

หากทุกคนทุกฝ่าย ทั้งภาครัฐบาลและเอกชน ได้ตระหนักถึงภัยอันตรายที่จะเกิดจากสิ่งก่อสร้างและได้ให้ความร่วมมือโดยปฏิบัติหน้าที่ที่ตนเองรับผิดชอบอย่างถูกต้อง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อุบัติภัยจากสิ่งก่อสร้างก็จะไม่เกิดขึ้น ประชาชนก็จะไม่ต้องสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินอย่างเช่นที่เป็นมาแล้วอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปสาเหตุหลักของการวิบัติ

สาเหตุหลักของการวิบัติเกิดจากความบกพร่องของโครงสร้าง ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับตัววิศวกรโดยตรง อาจเกิดได้ตั้งแต่การออกแบบ หรือเกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้าง และในขั้นตอนการใช้งาน แยกเป็นประเด็นสำคัญได้ 2 กลุ่มคือ กลุ่มโครงสร้างใต้ดิน และกลุ่มโครงสร้างเหนือดิน สรุปสาเหตุเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1.โครงสร้างใต้ดิน

ก. ขาดข้อมูลดิน

- ไม่มีการเจาะสำรวจดิน
- ทดสอบและวิเคราะห์ไม่สอดคล้องกับการใช้งาน
- ใช้ F.S. น้อยเกินไป

ข. การทรุดตัวของดิน

- สภาพชั้นดิน
- การดูดน้ำใต้ดิน
- การเปลี่ยนระดับน้ำในดินหรือการสูญเสียน้ำในดิน

ค. การทรุดตัวต่างกัน

- ความยาวเข็มต่างกัน
- เสาเข็มก่อสร้างต่างวาระ
- น้ำหนักบรรทุกต่างกัน

ง. เข็มหนีศูนย์

- ฐานรากเข็มเดี่ยว/เข็มระนาบเดียว
- กรรมวิธีการตอกเข็ม
- โครงยึดระบบโครงสร้าง
- การปักผังและการขึ้นเสา

จ. การขุดดิน

- เสถียรภาพเชิงลาด (Slope Stability)
- เข็มพืด (Sheet pile)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การค้ำยันและโยงยึด
- การขยับตัวด้านข้าง

ฉ. เขื่อนกันดิน

- ขาดการสำรวจดินที่เหมาะสม
- ยึดโยงไม่พอเพียง หรือในดินอ่อน
- การเปลี่ยนสภาพของดิน
- น้ำหนัก Surcharge

ช. การรบกวนดิน

- การเปลี่ยนระดับน้ำใต้ดิน
- การเคลื่อนย้ายเครื่องจักร
- การสั่นสะเทือนจากข้างเคียง
- การขุดดินหรือถมดินและสภาพจากเดิม

ซ. การบรรทุกน้ำหนักเกินขนาด

- การต่อเติมโดยพละการ
- ใช้อาคารผิดประเภท
- ใช้น้ำหนักบรรทุกเกินกำลัง

2. โครงสร้างเหนือดิน

ก. ขาดสมดุลย์ของแรง

- แรงจากการวิเคราะห์
- ไม่ได้ตรวจสอบแรงในการก่อสร้าง
- ไม่เข้าใจพฤติกรรมแท้จริงของแรงในชิ้นส่วนหรือองค์อาคาร

ข. เชื่อคอมพิวเตอร์เกินไป

- ขาดพื้นฐานทางทฤษฎีของโปรแกรม
- ไม่รู้ถึงขอบข่ายและสมมติฐานของโปรแกรม
- ใส่ข้อมูลผิดและแปลงผลผิดพลาด
- ผลักดันให้คอมพิวเตอร์ทำเกินพิกัดของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาดการตรวจสอบด้วยสามัญสำนึก

ค. เสถียรภาพของโครงสร้าง

- ความชลูดของเสาที่สูงมาก ๆ
- เสถียรภาพของโครงถักระนาบช่วงยาว
- เสถียรภาพเชิงเรขาคณิตต่อแรงลม หรือแผ่นดินไหว
- รอยเชื่อมต่อ และโยงยึด

ง. ขาดรายละเอียดก่อสร้าง

- เหล็กเสริมอยู่ผิดตำแหน่ง
- ระยะล้วงไม่พอเพียง
- หักเหล็กหรือตัดเหล็กผิดที่
- ไม่ได้พิจารณาถึงผลข้างเคียง

จ. แบบหล่อคอนกรีต

- ไม่ได้รับการออกแบบหรือตรวจสอบความแข็งแรง
- ค้ำยันไม่พอเพียง
- แรงที่ออกแบบไม่สอดคล้องกับเครื่องมือที่ใช้
- จุดรองรับอยู่บนดินหรือไม่แข็งแรงพอเพียง
- ความชลูดหรือเสถียรภาพของค้ำยัน/นั่งร้านไม่พอเพียง

ฉ. การควบคุมคุณภาพวัสดุ

- กำลังของคอนกรีตต่ำหรือการพัฒนากำลังไม่ได้ตามที่กำหนด
- ไม่แข็งตัวตามกำหนด ช้าไปหรือเร็วไป
- เหล็กเป็นสนิมขุม และไม่ได้มาตรฐานการเสื่อมหรือทาบต่อเหล็กเสริม
- เทคอนกรีตเป็นโพรง
- จำนวนหรือขนาดหน้าตัดไม่ได้ตามกำหนด

ช. ฝีมือการทำงานและความคลาดเคลื่อน

- ระยะหุ้มคอนกรีตน้อยกว่ากำหนดหรือเกินกำหนด
- พื้นหนาหรือบางเกินขนาดที่ระบุ
- คาน/เสาที่ไม่ได้ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสะกัด, เจาะ, ตัด, ต่อ
- การทำซ้ำ การทำเพิ่ม การเสื่อมคุณภาพและเพิ่มน้ำหนัก

ช. การบรรทุกน้ำหนักเกินกำหนด

- เปลี่ยนแปลงการใช้สอย
- ใช้กองวัสดุในระหว่างการก่อสร้าง
- ขนย้ายเครื่องมือหนักผ่าน
- บรรทุกน้ำหนักของพื้นที่เทใหม่ ซึ่งหนักกว่าน้ำหนักบรรทุกที่กำหนด

ฌ. ความทนทานของโครงสร้าง

- ความพรุนของคอนกรีต
- ความสามารถในการทึบน้ำ
- การด้านการเกิดสนิมในเหล็กหรือ ในโครงสร้างเหล็ก
- การเกิดคาร์บอนเนชั่นของผิวคอนกรีต
- การทำปฏิกริยาทางเคมีจากการเป็น กรด ด่าง เป็นเกลือ ของคอนกรีต

ญ. บัญหานอกเหนือการคาดการณ์

- เพลิงไหม้
- แก๊สระเบิด
- ก่อวินาศกรรม หรือวางระเบิด
- แรงจากแผ่นดินไหว
- แรงลมเกินขนาดจากพายุใต้ฝุ่น
- ฯลฯ

ข้อเสนอแนะและมาตรการป้องกันการวิบัติ

ข้อควรพิจารณาเพื่อป้องกันการวิบัติ

มาตรการป้องกันการวิบัติควรจะต้องพิจารณาจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทั้งในแง่ของนโยบายรัฐ กฎหมายที่รองรับ สถาบันการศึกษา สมาคมวิชาชีพ ผู้รับเหมาวิศวกรที่ปรึกษา หน่วยงานของรัฐ ผู้บริหารโครงการ วิศวกร สถาปนิก ช่าง รวมไปถึงกรรมกรและผู้ใช้สอยอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการขจัดการวิบัติต่าง ๆ ให้หมดไปจะต้องได้รับการพิจารณาและร่วมมือจากหลายฝ่ายอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอันที่เกี่ยวกับความสำนึกและความรับผิดชอบ

ตัวอย่างที่ดีและเป็นที่ยอมรับกันในระดับสากล คือ ระบบของการก่อสร้างในประเทศญี่ปุ่น โครงการจะเริ่มจากการศึกษาอย่างละเอียดถี่ถ้วน มีการวิจัยรองรับกับการวางแผนอย่างมีระบบหลังจากนั้นจึงมีการออกแบบและดำเนินการก่อสร้าง การออกแบบจะนิยมออกแบบมาหลาย ๆ แบบแล้วเลือกอันที่ดีที่สุดทำรายละเอียดก่อสร้างและจะพิจารณาวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมควบคู่ไปด้วยเสมอ การทำงานจะเป็นทีม มีการศึกษาและวิจารณ์ทุกแง่ทุกมุมควบคู่กับการตรวจสอบทุกขั้นตอนและเมื่อทำรายละเอียดก่อสร้างจะมีการประสานกันอย่างละเอียดจากทุก ๆ ฝ่าย พอถึงขั้นตอนการก่อสร้างฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะช่วยกันตรวจสอบอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ขบวนการเช่นนี้จะไม่สามารถประกันคุณภาพได้อย่างดีเยี่ยม ในระหว่างการใช้สอยอาคารก็จะมีวิศวกรมาทำการตรวจสอบถึงพฤติกรรมการใช้สอยอาคารอย่างสม่ำเสมอ และอาจมีการตรวจสอบวัดแรงต่าง ๆ หรือแรงลม โดยเฉพาะถ้ามีความสูงเกิน 60 ม. ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะเป็นการประกันความแข็งแรงเท่าเทียมกัน การออกแบบและการใช้งานอีกด้วย

ในประเทศยุโรปส่วนใหญ่จะโอนภาระให้วิศวกรเป็นผู้รับผิดชอบเต็มตัว แต่วิศวกรทางยุโรปจะมีการเรียนการสอนในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติการอย่างเข้มข้น อีกทั้งจะต้องมีวาระฝึกงานระยะหนึ่ง จึงจะสามารถประกอบวิชาชีพออกแบบและรับผิดชอบโครงการได้ โครงการใหญ่ ๆ ทุกโครงการจะต้องมีทีมตรวจสอบ (Review team) เพื่อศึกษาข้อมูล การวิเคราะห์โครงสร้างและการให้รายละเอียดปลีกย่อยของโครงการ นอกจากนี้ยังอาจจะมีการทบทวนผลกระทบต่าง ๆ เกี่ยวกับการลงทุน และผลกระทบระยะยาวต่าง ๆ อย่างลึกซึ้ง ซึ่งเป็นระบบที่มีการตรวจสอบและประกันคุณภาพโครงสร้างได้ใกล้เคียงระบบในประเทศญี่ปุ่น

ส่วนการดำเนินการโครงการก่อสร้างในประเทศไทยจะเลียนแบบของอเมริกา แต่ลอกมาไม่ครบถ้วน เอารูปแบบบางอย่างมา แต่ส่วนใหญ่ที่ดูยุ่งยากและติดขัดก็มักจะตัดทิ้ง เป็นเหตุให้รูปแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังขาด ๆ หาย ๆ ให้ความมั่นใจได้ไม่เท่าเทียมกันทุกโครงการ ขึ้นอยู่กับบุคคลและรายละเอียดปลีกย่อยในแต่ละโครงการ ภาระความเสี่ยงต่าง ๆ ยังมีสูงมากในฐานะของวิศวกรผู้ออกแบบ ผู้เซ็นชื่อควบคุมงาน และผู้ลงทุน

ประเด็นที่ควรพิจารณาเป็นมาตรการป้องกันการวิบัติของโครงสร้าง มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.กฎหมาย

ควรมีการปรับปรุงแก้ไขกฎหมายต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ปัจจุบัน เช่น

- กฎหมายควบคุมอาคาร
- กฎหมายควบคุมวิชาชีพ
- กฎหมายการควบคุมผู้รับเหมา
- เพิ่มบทลงโทษผู้กระทำผิด หรือละเมิดฝ่าฝืน
- ควรใช้นิติกรเป็นผู้ร่างกฎหมาย ไม่ควรเป็นช่าง
- กฎหมายให้คำนึงถึงสาธารณะชนไม่ใช่เป็นผลประโยชน์เฉพาะจุดใดจุดหนึ่ง

ข.มาตรฐานการออกแบบและก่อสร้าง

- ควรมีการปรับปรุงให้บ่อยครั้ง เป็นวาระ ประมาณ 6-10 ปี
- ใช้ทฤษฎีที่สอดคล้องกับภาวะก่อสร้างจริง
- มีระบบการถ่ายทอดประสบการณ์เข้าสู่มาตรฐาน
- พัฒนาให้ทันกับเทคโนโลยี่และวิชาการใหม่ ๆ

ค.การวิเคราะห์โครงสร้าง

- จำลองโครงสร้างให้ถูกต้องตามสภาพจริง
- ให้มีการสมดุลย์ของแรง
- เลือกวิธีการวิเคราะห์ที่ให้ความละเอียดพอเพียง
- ไม่ควรเชื่อถือคอมพิวเตอร์มากเกินไป
- ไม่ควรลืมผลของเสถียรภาพทางโครงสร้าง

ง.การออกแบบ

- จะต้องมีข้อมูลการออกแบบเพียงพอ (ทั้งข้อมูลดินและแรงต่าง ๆ)
- เขียนแบบรายละเอียดอย่างปราณีตและถูกต้อง
- หากไม่มั่นใจส่วนใดควรได้มีการตรวจสอบ
- ให้ครอบคลุมทั้งความแข็งแรงและความทนทานด้วย

จ.การก่อสร้าง

- มีการประสานงานที่ดีระหว่างฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- ให้มีมาตรการควบคุมคุณภาพอย่างรัดกุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศึกษาและใช้เทคนิคการก่อสร้างที่มีความมั่นใจเชิงคุณภาพ
- มีการบริหารงานก่อสร้างที่ดี
- มีการวางแผนการก่อสร้างสอดคล้องกับเทคนิคและเครื่องมือ
- มีการควบคุมน้ำหนักและกำลังระหว่างการก่อสร้าง

ฉ.การใช้อาคารและบำรุงรักษา

- ใช้สอยอาคารตามที่ได้รับการออกแบบไว้
- มีการตรวจสอบส่วนต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ
- มีการตรวจวัดโครงสร้างเท่าที่จำเป็น
- วางตารางการบำรุงรักษาที่เหมาะสม
- ควบคุมไม่ให้มีการใช้งานเกินหรือผิดประเภท

สรุปข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

การวิบัติของอาคารและสิ่งก่อสร้างที่เคยปรากฏมาเสมอ ๆ นั้น นอกจากจะเกิดจากข้อบกพร่องของโครงสร้างแล้ว ยังเกิดจากข้อบกพร่องของฝ่ายต่าง ๆ เช่น เจ้าของโครงการหรือผู้ประกอบการ สถาปนิก วิศวกร ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของรัฐ ซึ่งบุคคลเหล่านี้ ขาดคุณภาพ ขาดการประสานงาน ขาดความรับผิดชอบและขาดสามัญสำนึก จึงทำให้เกิดอุบัติภัยบ่อย ๆ ทำให้เสียหาย ทั้งชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และสูญเสียงบประมาณของทางรัฐมากมาย

การจะขจัดปัญหาการวิบัติเหล่านี้ให้หมดไป หรือให้เบาบางลงจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่ายทั้งภาครัฐและเอกชน เช่นนักธุรกิจ นายทุนผู้เป็นเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรผู้ออกแบบคำนวณโครงสร้าง เจ้าหน้าที่ของรัฐ และความเอาใจใส่ของรัฐบาลด้วย ซึ่งควรตระหนักถึงภาระหน้าที่ ความสำนึก และความรับผิดชอบของตนเอง ดังนี้

ก. **วิศวกร ผู้ออกแบบผู้คำนวณการก่อสร้าง** ควรเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถ และได้รับอนุญาต ให้เป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรม เพื่อให้การออกแบบถูกต้องเหมาะสมตามหลักวิชาการได้มาตรฐานตามหลักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โดยคำนึงถึงความมั่นคงปลอดภัย เป็นประการสำคัญ เพราะถ้าการออกแบบหรือคำนวณโครงสร้างผิดพลาดอาคารก็จะไม่มั่นคงแข็งแรง อาจพังทลายได้ง่าย วิศวกรจะต้องยึดมั่นในความถูกต้องตามหลักวิชาการอย่างจริงจัง ปฏิบัติหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างตรงไปตรงมา ไม่เห็นแก่ อามิสสินจ้างใดๆ เคารพในจรรยาบรรณวิชาชีพและปฏิบัติตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด (ตามมาตรา 8 แห่งพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พศ. 2505)

นอกจากนี้วิศวกร จะต้องมีความรอบคอบ ละเอียดถี่ถ้วน ตรวจสอบดูแล และควบคุมการใช้วัสดุ ก่อสร้างและเทคนิคต่าง ๆ อย่างใกล้ชิด ทั้งนี้ เพราะว่าปัจจุบันนี้เทคโนโลยี การก่อสร้างได้ก้าวหน้าไปมาก มีการนำเอาเครื่องมือ วัสดุก่อสร้างหลายๆ ชนิด และเทคนิคใหม่ ๆ มาใช้กันมาก ในขณะที่ ผู้รับเหมาก่อสร้างหรือเจ้าของโครงการมักจะจ้างแรงงานในราคาถูก และคนงานเหล่านี้อาจจะยังไม่คุ้นเคยกับเทคนิคใหม่ ๆ ไม่เข้าใจในหลักการ ขั้นตอน และวิธีการที่ถูกต้อง เช่น อัตราส่วนผสมคอนกรีตไม่ถูกต้องตามมาตรฐานทางวิชาการ นั่งร้านรับแบบคอนกรีตไม่แข็งแรงพอ ถอดไม้แบบหล่อท้องคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนกำหนด การตอกเสาเข็มไม่ถูกต้อง ไม่ได้มาตรฐานเป็นต้น เพราะฉะนั้น ความผิดพลาดทางเทคนิคมักอุบัติขึ้นบ่อย ๆ ด้วยเหตุนี้ วิศวกรต้องคอยควบคุมคนงานอย่างใกล้ชิด ตรวจสอบทุกระยะทุกขั้นตอน ก่อนลงมือทำงานควรอบรมแนะนำคนงานให้เข้าใจขั้นตอนและเทคนิคการทำงานเสียก่อน

ข. เจ้าของโครงการ หรือผู้รับเหมา หรือผู้ประกอบธุรกิจทางการก่อสร้าง

อุบัติภัย ที่เกิดขึ้นมา บางครั้งเป็นเพราะความบกพร่องความเห็นแก่ได้ของเจ้าของโครงการหรือผู้รับเหมา ซึ่งมักจะมีการแก้ไขดัดแปลงแบบโดยพลการ ต้องการเพิ่มพื้นที่ใช้สอย เพิ่มชั้นอาคารให้มากขึ้นกว่าที่แบบกำหนด หรือไม่ก็ลดต้นทุน การก่อสร้างโดยใช้วิธีลดขนาดของโครงสร้างให้ผิดไปจากแบบเช่นลดขนาดของเสา คาน รวมทั้งลดขนาด ของเหล็กเส้น และเสาเข็มลง เพียงเพื่อให้ประหยัดต้นทุน โดยไม่คำนึงถึงอันตราย และความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในภายหลัง นอกจากนี้ อุบัติภัยมักเกิดจาก เจ้าของโครงการหรือผู้รับเหมา มักง่าย ดัดแปลงรื้อถอน เคลื่อนย้าย วัสดุก่อสร้างด้วยความประมาท ขาดความระมัดระวังบางครั้งมักลักลอบต่อเติมอาคารโดยพลการ ไม่ได้ขออนุญาต ต่อเติมและมักกระทำโดยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

ดังนั้นเพื่อความมั่นคงปลอดภัย และลดอุบัติเหตุของอาคาร เจ้าของโครงการ หรือนักธุรกิจก่อสร้าง จึงควรหลีกเลี่ยง การเสี่ยงที่ไม่คุ้มค่า ลดความเห็นแก่ตัวลง เพิ่มความระมัดระวังไม่ประมาท ให้ความร่วมมือกับสถาบนิก วิศวกร และปฏิบัติตามระเบียบ และกฎหมายอย่างเคร่งครัดก็จะช่วยให้ลดอุบัติภัยลงได้

ค. เจ้าหน้าที่ของรัฐ หรือพนักงานท้องถิ่น

อุบัติภัยที่เคยเกิดมาแล้วบางครั้ง มีสาเหตุมาจาก เจ้าหน้าที่ของรัฐหรือพนักงานท้องถิ่นละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

AIT, "Investigation of Land Subsidence Caused by Deep Well Pumping in Bangkok Area",Final Report NEB Publication 1982.

Brenner, R.P. and Chittikuladilok, B.(1975), "Vibration from Pile Driving in the Bangkok Area", Geotechnical Engineering Journal, Vol. 6, pp. 167-197

Lee, S.L, Karunaratne, G.P, and Sithichaikasem, S,"Foundation System For Bangkok Shangri-Hotel",เอกสารการประชุมวิชาการเทคโนโลยีใหม่ ในงานวิศวกรรม ว.ส.ท. 2526.

Nipon Thiensiripipat, "A Seismic Design Methods for Buildings in Thailand." Paper No. P-22 presented to the (Second) International Seminar on Seismology and Earthquake Engineering for Structural Engineers, Indonesia, January 1983.

Sukit Yenthrong, "Earthquakes in Thailand.",Metrorological Department of Thailand, 1978.

Committee report, "Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structure" ACI Journal Title no. 81-21, May-June 1984.

Gergely, Peter , and Lutz, Leroy A; "Maximum crack width in reinforced Concrete flexuralmembers", Cause, Mechanism, and Control of cracking in concrete, SP-20 American concrete Institute Detrost 1968, PP.1237-1256

Hajime OKAMURA, Kazumasa OZAWA, Koichi MAEKAWA,"High Performance Concrete", การสัมมนาโดยบริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, กรุงเทพฯ, 2534.

Clough, G.W.(1982)"Effects of Excavation Induced Movements in Clays on Adjacent Structure"

Mana, A. and Clough, G.W.(1981),"Prediction of Movements for Braced

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

Cuts in Clay" , ASCE Journal, GT 6 , Vol. 107, June, pp. 759-778

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, "วิศวกรรมสาร", กรุงเทพฯ, ปีที่ 3 , ฉบับที่ 1, 2534

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, "วิศวกรรมสาร", กรุงเทพฯ, ปีที่ 3 , ฉบับที่ 2, 2534

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, "วิศวกรรมสาร", กรุงเทพฯ, ปีที่ 4 , ฉบับที่ 2, 2535

เกษม เพชรเกตุ พินิต ตั้งบุญเติม วิชัย สังวรปทานสกุล จำนงค์ จันทกาญจน์ และศิวศิลป์ สาระนาค, **รายงานการวัดและตรวจสอบการเคลื่อนตัว**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรกฎาคม 2534.

ปฐม เฉลยวรเรศ, "**การทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียว**", จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 2529

เอกสิทธิ์ ล้ำสุวรรณ, "**พื้นสำเร็จรูป การใช้และการทดสอบ**", วิศวกรรมสาร, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, มิถุนายน 2527

กองบรรณาธิการ, "**อนุสนธิจากตึกถล่ม**", วิศวกรรมสาร, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, เล่มที่ 4 ประจำปี 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้