

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ความสูญเสียของอาคารที่อยู่ในสภาวะของการทรุดและจม

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) The Deterioration of Buildings under a Submerged Environment

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก งบประมาณแผ่นดิน สภาวิจัยแห่งชาติ (ว.ช.)

ประจำปีงบประมาณ 2552 จำนวนเงินที่ได้รับสนับสนุน 980,000.00

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2551 ถึง 30 กันยายน 2552

รายชื่อผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

1. รศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ สด.บ., D.Eng.(Architectural Eng.)

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทร 081 555 9528

2. นายณรงค์ มณฑาไปใหญ่ วศ.บ., วศ.ม.(บริหารการก่อสร้าง)

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทร 089 220 8654

3. นายอัครเดช คุรุชาทุ่ม คอ.บ.(สถาปัตยกรรม), สด.ม.(สถาปัตยกรรมเขตร้อน)

สถาปนิกอิสระ นักวางผังฯ
โทร 089 134 8665

บทคัดย่อ

เมื่อความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจขยายตัวการก่อสร้างก็เพิ่มขึ้น จากการสำรวจ โครงสร้างที่สร้างขึ้นใช้งานแล้วพบว่ามี ความสูญเสียเกิดขึ้นกับ โครงสร้างอาคารที่ตั้งอยู่บนที่ราบลุ่มเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เนื่องจากมีน้ำท่วมขังต่อเนื่องเป็นเวลานานในที่ปลูกสร้างเหล่านั้น สภาพแวดล้อมที่มีน้ำขังเป็นปัญหาที่ได้นำความสูญเสียมาสู่อาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆให้เห็นได้ทั่วไป ปัญหาการกัดเซาะในโครงสร้างอาคารนี้ทำให้สูญเสียความแข็งแรงและอาจจะนำไปสู่การวิบัติของโครงสร้างอาคารได้ อนึ่ง ทางกองทัพเรือของสหรัฐอเมริกาได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ถึงการที่ต้องสูญเสียงบประมาณ ไปเป็นจำนวนมากในแต่ละปีเพื่อที่จะชะลอความสูญเสียและซ่อมเสริมโครงสร้างลานของฐานทัพที่ตั้งอยู่ในส่วนต่างๆของโลกให้มามีสภาพที่ยังใช้ต่อไปได้อีกนานเท่าที่จะทำได้

RCH
TH
A39
ส 241ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการทำการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่..... 16 ส.ย. 2554



การออกแบบอาคารที่มุ่งแต่เพียงจะสนองการใช้สอยที่ว่าง (Utility Space) เท่านั้นคงจะไม่เพียงพอหากมิได้มีการกำหนดให้มีการจัดการผังประธานและทำการออกแบบให้โครงสร้างของอาคารได้รับการปกป้องจากภาวะแวดล้อมที่มีความเสี่ยงเหล่านั้น กล่าวคือ ให้มีคุณสมบัติที่สามารถหลีกเลี่ยงหรือลดทอนปัญหาจากภัยพิบัติดังกล่าวได้

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางใหม่ของการจัดการผังประธานและการออกแบบอาคารชนิดที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้เสริมหรือทดแทนวิธีการออกแบบดั้งเดิม การออกแบบชนิดนี้จะประยุกต์ศาสตร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีป้องกันความสูญเสียจากการก่อกวนเพื่อทำให้เกิด “สถาปัตยกรรมในน้ำ” ที่มีคุณสมบัติเทียบพร้อมขึ้นและสามารถเผยแพร่แนวทางเหล่านี้ให้ใช้กันอย่างกว้างขวางต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัยได้ดำเนินไปในขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้คือ

1. สืบค้นข้อมูล อัตราการทรุดตัวของดินในกรุงเทพมหานคร
2. สืบค้นข้อมูล และสถิติน้ำท่วมในกรุงเทพมหานครอันเชื่อได้ว่าอาจจะซ้ำเติมปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในข้อที่ 1. ข้างบน
3. สสำรวจร่องรอยและอัตราความสูญเสียทางการก่อสร้างในเหล็กเสริมและการหลุดล่อนออกของเนื้อคอนกรีตในโครงสร้างที่จมอยู่ในน้ำเป็นเวลานาน
4. หล่อแท่งทดลอง-จำลองสภาพคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อทำการทดลองการก่อกวนๆ ด้วยการจุ่มแช่อยู่ในสารละลาย น้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม โดยใช้เวลาสังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะๆ
5. คณะผู้วิจัยได้มีแผนการที่จะทบทวนทำลายแท่งทดลองที่แช่จมอยู่ครบระยะเวลาประมาณ 18 เดือนเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเสียหายในเหล็กเสริมต่อไป (คาดว่าจะแล้วเสร็จในเดือน มิถุนายน 2553)
6. ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองคาดว่าจะจำลองสภาพความสูญเสียของโครงสร้างเป็นทวิคูณของระยะเวลาที่ใช้งานจริง และ
7. สามารถนำเสนอรูปแบบของสถาปัตยกรรมชนิดที่จมน้ำเพียงบางส่วนอีกทั้งยังสามารถเสนอแนะการปกป้องพิทักษ์โครงสร้างที่ทรุดและจมด้วยการห่อหุ้มทางผิวที่ล่อแหลมได้ และคาดว่าจะได้รับความสนใจจากสถาปนิกและผู้ออกแบบในวงการที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Architecture and the development of economy of man are parallel in the modern living path nowadays. It was discovered that there are a great deal of disputes over the deterioration of building structures due to floods and corrosion, especially in Bangkok and its sub-urban areas. The causes are doomed to be related to the phenomenon of rust in metal and corrosions of other structural materials involved in the duration of residual flood in the environment the building situated in. The U.S. Navy found that they lost a huge amount of maintenance budget each year to cope with the corrosion losses which are redundantly continuing today.

We are proposing a simple yet economical method of consideration that the study of flood phenomenon, land subsidence in the vicinity, and rate of corrosion of the submerged structures in focus are undertaken in order to relocate the elevations and type of structures as well as the most reliable useful life of those structures prior to the floor planning stage in the design. And in order to do so the designers should conduct their design making good use of the prevailing natural hazards data and how to avoid possible damages that may harm the building structures towards their service lives.

We propose the most common ways to not only relocating the construction site in to a dry-controlled zoning but also trying to protect the submerged portions of structure which might be possibly flooded in to the residual “wet-land” environment and finally man can be safely protected from the natural hazards and may lead their lives on the waterfront anywhere even in the ocean.

The research was conducted into operational procedure as follow:-

1. Gathering land-subsidence data of Bangkok and the urban areas
2. Gathering the residual flooding data of Bangkok and the urban areas in combination with the Item 1.
3. Detecting the deterioration degree and durability oriented situation of few Re-inforced concrete buildings in Lat-krabang City, Bangkok and bring them into the considerations.
4. Simultaneously, constructed approximately 160 R.C.prism-specimens of column simulation, submerged them up to their half-length- level and observe any changes of the deterioration traces.

5. We planned to destroy them down to expose only the corroded reinforcing bars inside and finally will record their deterioration extends and degrees after 18 months of the submerging test period.(hopefully, the operation will be completed in June 2010)
6. The derived data of test will reveal the possible progressing degree of the deterioration which might be referred and used to predict the real useful life of building structures.
7. Finally, we would be able to propose the **New Waterfront Architectural Design Patterns** in a way that the **Design Patterns** will attract and be firstly introduced to most architects who are concerning and specialized in this field of study.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยความอนุเคราะห์อุดหนุนทุนวิจัยทั้งครบจากสถาบันวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ.2552 คณะวิจัยฯ มีความซาบซึ้งและขอบพระคุณ ที่ทำให้งานนี้ได้บรรลุก้าวพ้นความยากลำบากในเบื้องต้น ไป ก่อให้เกิดความมั่นใจให้สามารถดำเนินงานในขั้นต่อไป ได้ด้วยความสว่างและกระจ่างขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญเรื่อง	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	X
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย	21
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	22
1.4 กรอบแนวความคิดของ โครงการวิจัย	23
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	23
2 ปัญหา สาเหตุแห่งความสูญเสียของอาคารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	25
2.1 การแก้ปัญหาการถล่มที่ต่ำหรือการก่อสร้างในที่ราบลุ่ม	25
2.2 แนวทางในการออกแบบ โครงสร้างป้องกันน้ำท่วม	27
2.3 ปัญหาจากการวางผังเมืองในอดีต	30
2.4 ตัวอย่างแนวทางแก้ปัญหาจากภาครัฐในภาวะการณน้ำท่วม	32
2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาแผ่นดินทรุดในประเทศไทย	38
2.6 แนวความคิดจาก “สรีดภงส์” เขื่อนกั้นน้ำโบราณในประเทศไทย	45
2.7 การประยุกต์ค้นเขื่อนกั้นน้ำ Seuthopolis, Bulgaria	51
2.8 วรรณกรรมการวิจัยเรื่องการกักต่อน้ำในคอนกรีตเสริมเหล็ก	57
2.9 การออกแบบระดับชุมชนเมือง (Urban – Context)	58
3 ระเบียบวิธีวิจัยและแนวความคิดในการออกแบบ โครงสร้างที่จมอยู่ในน้ำ	62
3.1 ศึกษาเพื่อเสนอการแก้ปัญหาความเสียหายจากการจมน้ำของทางวิ่ง และทางขับของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	62

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2 ศึกษาและสำรวจปัญหาการเกิดสนิมเหล็กในสภาวะจมน้ำจืด – น้ำกร่อย และน้ำเค็มเป็นเวลานาน	66
3.3 ศึกษาการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมใกล้น้ำเค็ม	67
3.4 ศึกษาเหตุผลทางด้านปฏิกิริยาทางเคมี	69
3.5 ปัจจัยเร่งความรุนแรงของการก่อสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต	74
3.6 ปัญหาการเกิดสนิมเหล็กในสภาวะน้ำเค็ม	78
4 การดำเนินงานวิจัยและการทดลองหาอัตราของการกัดกร่อน	81
4.1 การทดลองเพื่อค้นหาอัตราการก่อสนิมและการกัดกร่อนใน โครงสร้างคอนกรีต	81
4.2 การสำรวจและตรวจสอบอัตราความเสียหายของ โครงสร้างที่จมน้ำจืดและน้ำกร่อย	85
4.3 การสำรวจและตรวจสอบอัตราความเสียหายของ โครงสร้างที่จมน้ำเค็มหรือในฝั่งทะเล	91
4.4 การสำรวจและตรวจสอบการร้าวพังกั้นน้ำ โลหะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	104
5 การประเมินอัตราความสูญเสีย วิเคราะห์ผลการทดลองและมาตรการออกแบบ เพื่อการเลี่ยงความเสียหายทาง โครงสร้าง	112
5.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์เบื้องต้น	112
5.2 ผลการวิเคราะห์อายุของการใช้งานจากการคำนวณค่าอัตราของการกัดกร่อนของเหล็กเสริม	121
5.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ช่วยปกป้อง โครงสร้างที่อยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการกัดกร่อน	123
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	135
6.1 สรุปผลข้อมูลวิจัยทางธรณีและอุทกวิทยา	135
6.2 สรุปผลการทดลองที่สามารถนำมาประยุกต์ออกแบบอาคารและ โครงสร้าง	135
6.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ช่วยปกป้อง โครงสร้างที่อยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการกัดกร่อน	137
6.4 ข้อเสนอแนะรูปแบบ “สถาปัตยกรรมบนน้ำ” ที่จะลดความสูญเสีย	138
6.5 แนวทางการออกแบบอาคารลอยตัวบนเสาเข็มหรือตอม่อ	143
6.6 งานออกแบบสถาปัตยกรรมที่เสี่ยงจากการกัดกร่อน	145

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

บทที่		หน้า
	6.7 โครงสร้างพื้นฐานและการขนส่ง	148
	6.8 เทคโนโลยีแห่งน้ำ	149
บรรณานุกรม		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณฝน (มม.) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่าง ๆ	11
1.2 ลักษณะชั้นดินจากผลการสำรวจและวิเคราะห์	18
3.1 ปริมาณสารที่ยอมให้ในน้ำผสมคอนกรีต	73
4.1 การจำแนกชนิดของแท่งทดลอง	84
4.2 สรุปอัตราความเสียหายของโครงสร้างที่สำรวจ พ.ศ. 2551-2552	106
5.1 อัตราของการกัดกร่อนของเหล็กในแท่งทดลอง	120
5.2 ผลจากการคำนวณอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเพื่อวิเคราะห์อายุการใช้งาน ของโครงสร้างที่จมน้ำ : ทดลองในน้ำจืด	121
5.3 ผลจากการคำนวณอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเพื่อวิเคราะห์อายุการใช้งาน ของโครงสร้างที่จมน้ำ : ทดลองในน้ำกร่อย	121
5.4 ผลจากการคำนวณอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเพื่อวิเคราะห์อายุการใช้งาน ของโครงสร้างที่จมน้ำ : ทดลองในน้ำเค็ม	122

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ปริมาณฝนรายปี (มม.) ของประเทศไทย	11
1.2 รูปตัดชั้นดินของกรุงเทพมหานคร	15
2.1 โชนของการพักน้ำจากที่ราบลุ่มเพื่อระบายลงอ่าวไทย	27
2.2 การยกติดตั้งผนังกันน้ำปลอดสนิม	28
2.3 การปรับโครงสร้างเชื่อมกันนํ้านอกผนังกันน้ำปลอดสนิม	28
2.4 ทักษณียภาพภายในของผนังกันน้ำปลอดสนิมขณะใช้งาน	29
2.5 สภาวะการเกิดน้ำท่วมใน ก.ท.ม.	30
2.6 ระบบการระบายน้ำใน กรุงเทพมหานคร	31
2.7 การติดตั้งระบบระบายน้ำเหนือพื้นดินด้วยระบบท่อไปตามคูคลอง	31
2.8 บ้านลอยน้ำในสหรัฐอเมริกา	32
2.9 ลักษณะของบ้านลอยน้ำ ออกแบบโดยกรมโยธาธิการ	35
2.10 รายการประกอบแบบ 1	35
2.11 รายการประกอบแบบ 2	36
2.12 รูปตัดและระบบสุขาภิบาล	36
2.13 ผังพื้นและระบบสุขาภิบาล	37
2.14 รายละเอียดประกอบแบบ	37
2.15 แผนที่แสดงเขตวิกฤตแผ่นดินทรุดตัวพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2526	39
2.16 แผนที่แสดงเขตวิกฤตน้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดตัว พ.ศ. 2538	40
2.17 การทรุดตัวสะสมของแผ่นดินบริเวณต่างๆของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลระหว่าง ปี พ.ศ. 2521 – 2548	40
2.18 การทรุดตัวสะสมของแผ่นดินบริเวณต่างๆของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ระหว่าง ปี พ.ศ. 2521 – 2548 ในรูปสามมิติ	41
2.19 การทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณต่างๆของกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลระหว่าง ปี พ.ศ. 2547 – 2548	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20	42
2.21	42
2.22	45
2.23	50
2.24	50
2.25	52
2.26	54
2.27	55
2.28	55
2.29	55
2.30	56
2.31	56
2.32	57
2.33	58
2.34	58
2.35	60
3.1	63
3.2	64
3.3	65
3.4	66
3.5	66
3.6	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 การกักคร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตเทหล่อในพื้นที่ที่มีการจี้คอนกรีต ขณะเทหล่อที่ไม่สมบูรณ์	68
3.8 สภาพการกักคร่อนของเหล็กเสริมในโครงสร้าง คอนกรีตบริเวณที่แตกร้าว จนถึงเนื้อเหล็กของอาคารจอดรถ แห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเลเมื่อโครงสร้าง มีอายุการใช้งานมาแล้วประมาณ 10 ปี	69
3.9 ความเสียหายของคอนกรีตชายฝั่งทะเล	69
3.10 แบบจำลองของความเสียหายของ โครงสร้างคอนกรีตจาก คลอไรด์และซัลเฟต	70
3.11 ความสูญเสียของเหล็กที่สัมพันธ์กับเวลา	76
3.12 แสดงกระบวนการเกิดสนิม	77
3.13 กระบวนการของการกักคร่อนโลหะเหล็ก (ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี)	77
4.1 แท่งทดลองที่หล่อแล้ว	82
4.2 แท่งทดลองที่ถอดแบบพร้อมจะนำไปเคลือบเรซิน	83
4.3 การจัดวางให้จุ่มจมในถังน้ำทดลองครั้งก่อน	83
4.4 แท่งทดลองอ้างอิงอยู่ในบรรยากาศ	84
4.5 ลักษณะเสาตอม่อที่จมอยู่ในระดับน้ำหรือมาประสบปัญหาน้ำท่วมขังหลังจากใช้อาคาร	86
4.6 สภาพภายนอกที่ตรวจพบ 2 หลังจากการใช้งานมาแล้ว 40 ปี	86
4.7 สะพานพันท้ายนรสิงห์หลังจากใช้งานมาแล้ว 30 ปี ก่อนการบูรณะ	87
4.8 สะพานพันท้ายนรสิงห์หลังจากการบูรณะ	87
4.9 สะพานบริษัทสากลการทอจำกัด 2	88
4.10 ตอม่อสะพานศูนย์ฝึกพานิชย์นาวี 1	88
4.11 ป้ายข้อมูลคั่นกันน้ำจังหวัดสุโขทัย	89
4.12 คั่นกันน้ำจังหวัดสุโขทัย	89
4.13 แผนผังวัดศรีสวาย อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย	90
4.14 สระแก้วถึงวัดศรีสวาย อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย	90
4.15 เสาสะพานข้ามคลองวัดเนรัญชราราม 1	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.16	เสาสะพานข้ามคลองวัดเนรัญชราราม 4	91
4.17	ที่จอดหลบคลื่นอำเภอชะอำ 3	92
4.18	การหุ้มพอกเสาตอม่อเพื่อชะลออัตราเร่งของการกัดกร่อนจากน้ำทะเล 1	93
4.19	ความเสียหายโดยทั่วไปของสะพานปลา อำเภอหัวหิน	94
4.20	การวัดขนาดของการสูญเสียของ สะพานปลา อำเภอหัวหิน	94
4.21	ความเสียหายของคานหลักของสะพานปลา อำเภอหัวหิน	95
4.22	ความเสียหายของเสาเข็มตอม่อรองรับสะพานปลา อำเภอหัวหิน	95
4.23	ความเสียหายของพื้นด้านล่างของสะพานปลา อำเภอหัวหิน	96
4.24	รูปแบบการยกตัวของคลื่น Storm surge ในการขึ้นฝั่งของไต้ฝุ่นเกย์ 2532	96
4.25	คลื่น Storm surge ที่เกิดจากอิทธิพลของพายุเกย์ พ.ศ. 2532	97
4.26	สะพานจิตภาวลีวิทยาลัย	98
4.27	อาคารปลายสะพานจิตภาวลีวิทยาลัย	98
4.28	สภาพความสูญเสียของสะพานปลาบางแสน	99
4.29	การก่อสร้างในเหล็กเสริมเสาอาคารในวัดญาณสังวราราม	99
4.30	พื้นและคานใต้สะพานท่าเรือพทยาใต้	100
4.31	สภาพพื้นใต้สะพานท่าเรือพทยาใต้	100
4.32	ความสูญเสียที่สุดของคานใต้สะพานท่าเรือพทยาใต้	101
4.33	ตอม่อสะพานปลา วัด โคมุทวิฆนาราม 1	102
4.34	ตอม่อสะพานยาวตำบลนาเกลือ 2	103
4.35	ตอม่อสะพานเลี้ยวเมืองชลบุรีส่วนที่แตกแล้ว	104
4.36	โครงสร้างเขื่อนโลหะวัดไชยวัฒนาราม	105
5.1	สภาพการก่อสร้างของท่อนเหล็กเสริม บริเวณระดับเปียก – แห้ง โดยทั่วไป	
	ก่อนเคาะสนิมออก	114

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ SW (25%-2) (P1010007 – เคาะสนิมแล้ว)	114
5.3 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ SW – WR (25%-2) (P1010008 – เคาะสนิมแล้ว)	115
5.4 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ SW – WR (50%-1) (P1010009 – เคาะสนิมแล้ว)	115
5.5 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW (RB-1) (P10100010 – เคาะสนิมแล้ว)	116
5.6 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW-WR (25%-2) (P10100011 – เคาะสนิมแล้ว)	116
5.7 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW-WR (50%-2) (P10100012 – เคาะสนิมแล้ว)	117
5.8 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW-WR (25%-1) (P10100013 – เคาะสนิมแล้ว)	117
5.9 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ W (RB - 1) (P10100014 – เคาะสนิมแล้ว)	118
5.10 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ W (50%-1) (P10100015 – เคาะสนิมแล้ว)	118
5.11 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ W-WR (25%-2) (P10100016 – เคาะสนิมแล้ว)	119
5.12 ลักษณะการกักกรองของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ W-WR (50%-3) (P10100018 – เคาะสนิมแล้ว)	119
5.13 การใช้ “PVC Seawall System” ที่ “Steampacket Place, Quay”	124
5.14 กำแพงกันดินกันคลื่นชนิด “PVC Seawalls”	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.15 “The thermal spraying”	125
5.16 แสดงการเชื่อมตัวบนผิวหลังฉีดพ่น	125
5.17 ท่อนเสริมกำลังชนิด “V•ROD rebar”	126
5.18 “Epoxy-coated rebars (ECR)”	130
5.19 แสดงการติดตั้ง “Aqua wraps 22-77 operation”	133
5.20 แสดงลักษณะหลังการดำเนินการหุ้มผิวของเสาตอม่ออาคารขนาดใหญ่	134
6.1 บ้านต้นไม้แห่งสุพรรณบุรี	138
6.2 ศาลากลางน้ำพุงด้วยเสาเด็วยกสูง ในสวนพระนครฯ ลาดกระบัง	138
6.3 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว	139
6.4 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว	139
6.5 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว	140
6.6 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว	140
6.7 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว	141
6.8 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว	141
6.9 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนชุด	142
6.10 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว	142
6.11 รูปตัดแสดงแนวทางการใช้สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในการแก้ปัญหาแผ่นดิน รอบอาคารหอคอยตัวต่อเนื่อง	143
6.12 แนวทางการออกแบบอาคารลอยตัวบนเสาเข็มหรือตอม่อ	143
6.13 อาคารสาธารณะขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นในนครกาต้า	144
6.14 “Singapore's floating towers Scott's Tower” Orchard Road, Singapore 2006	144
6.15 Elevation 1	145
6.16 Section A-A	145
6.17 Structural Floor Plan 2	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.18 Second Floor Details	146
6.19 Third Floor Details	147
6.20 Detail of Framing Structures	147
6.21 สะพานข้ามอ่าวชนิคลอยตัวบนน่านน้ำ	148
6.22 สะพานชิงที่มีตอม่อลอยพื้นระดับน้ำ	148
6.23 New Kansai Airport, Osaka	149
6.24 Dubai Waterfront Project	150
6.25 Chubu Centrair International Airport	153
6.26 Aquarius marine colony – Marshal Savage’s The Millennial Project	154
6.27 Sea City marine leisure city complex – TV21 Annual 1971	154
6.28 AZ Island	155
6.29 Floating Utopia and Ocean City Project 2008	156
6.30 อาคาร “ฟรีค้อมชิป”	156
6.31 อาคาร “ Dock & Decks เคลื่อนที่ได้อิสระในน่านน้ำ	158
6.32 ทศนียภาพด้านท้ายของอาคาร “ Dock & Decks	158
6.33 Shanghai World Expo’s Floating City	158
6.34 สถาปัตยกรรม “Lilypad” (1)	160
6.35 สถาปัตยกรรม “Lilypad” (2)	161
6.36 ภาพจินตนาการของ 'Four Seasons Ocean Residences' ที่กำลังจะเปิดดำเนินการ ณ Cityscape Dubai ในปี 2010	162
6.37 สะพานข้ามแม่น้ำน้อย ออยุธยา	163
6.38 กลุ่มอาคาร สนามหญาริมแม่น้ำน้อย	163
6.39 ทศนียภาพบนสะพานฯ	163
6.40 สะพานชิงพาดช่วงประมาณ 110 เมตร	164
6.41 ทศนียภาพทางอากาศโดยรวม	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจขยายตัวขึ้นการก่อสร้างก็เพิ่มขึ้น การอุตสาหกรรมหรือการลงทุนเพื่อส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยว การส่งออกและนำเข้าก็ขยายตัวตามไป จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นทำให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณที่อยู่อาศัยเป็นอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูงเนื่องจากไม่สามารถควบคุมระยะถอยร่นของอาคารอิสระให้ได้มาซึ่งที่โล่งว่างที่ต้องการได้โดยง่าย การออกแบบเพื่อการก่อสร้างมุ่งแต่เพียงการใช้สอยในผังเท่านั้นไม่เพียงพอหากมิได้มีการออกแบบเพื่อการหลีกเลี่ยงปัญหาภัยพิบัติอันเกิดโดยธรรมชาติและน้ำมือมนุษย์ให้รัดกุมพอ

การทรุดตัวของดินอย่างช้า ๆ แต่ต่อเนื่องนั้นเป็นปัญหาที่นำความเสียหายมาสู่อาคารและสภาพแวดล้อมที่แนบกับอาคารเรื่อยมา ดินที่ทรุดอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการต่างระดับในอาคารที่หยุดยั้งไม่ได้ สิ่งแวดล้อมรอบอาคารเสื่อมลง (เป็นที่เสื่อมของแมลงและสัตว์ร้ายเช่นยุงและงู) และน้ำท่วมขังสะสมใต้อาคาร ยากแก่การระบายออก แม้จะทำการซ่อมเป็นครั้งคราวก็เป็นงานที่หนักลงไปเรื่อย ๆ ทำให้สูญเสียงบประมาณอย่างไม่มีที่สิ้นสุด การหยุดยั้งปรากฏการณ์นี้ได้จะเป็นภาระที่หนักเกินกว่าความสามารถของทุกฝ่ายที่จะทำได้ แต่การวิจัยถึงต้นเหตุและแก้ปัญหาด้วยการออกแบบโครงสร้างในส่วนนั้นเป็นพิเศษ อีกทั้งทำการออกแบบงานระบบในอาคารให้ยืดหยุ่นจะเป็นสิ่งที่ทำได้ง่ายกว่าและจำเป็นอย่างยิ่ง มาตรการในการซ่อมบำรุง โครงสร้างเดิมที่เสื่อมคุณภาพลงไปแล้วตามเวลากลายเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง หากละเลยจะเกิดอันตรายและส่งผลเสียอย่างมากในระยะยาว

หากอาคารตั้งอยู่ในบริเวณที่มีภาวะเสื่อมโทรมจากสารเคมี อีกทั้งความชื้นที่สะสมอยู่เบื้องล่างยังเป็นสาเหตุให้เหล็กเสริมโครงสร้างเป็นสนิม การแตกร้าวในเนื้อคอนกรีตจะเลวร้ายมากขึ้นตามไป อาจทำให้อาคารวิบัติลงในที่สุด

นอกจากนี้งานระบบอุปกรณ์อาคารก็ได้รับผลกระทบตามไปด้วยพร้อม ๆ กับโครงสร้างอาคาร ต้องซ่อมแซมบ่อย ๆ ทำให้สูญเสียงบประมาณอย่างไม่มีที่สิ้นสุด

1.1.1 เหตุผลทางพลศาสตร์อื่นที่อาจซ้ำเติมต่อการเปลี่ยนสภาพของวัสดุโครงสร้าง

1.1.1.1 การคืบ (creep)

การคืบเป็นคุณสมบัติของวัสดุเช่นดินหรือคอนกรีตที่ทำให้วัสดุนั้นการเปลี่ยนรูปไป เมื่อดินหรือโครงสร้างคอนกรีตนั้นรับน้ำหนักบรรทุกทุกค้ำไว้เป็นเวลานาน (sustained loading) หน่วยการหดตัวเนื่องจากการคืบนี้ จะมีอัตราการเพิ่มอย่างรวดเร็วในระยะแรกเริ่ม และจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง ความเครียดเนื่องจากการคืบนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ สำหรับคอนกรีตนั้น ส่วนประกอบในการผสมคอนกรีต ความชื้นสัมพัทธ์ สภาพการบ่ม และอายุของคอนกรีตมีอิทธิพลต่อเรื่องนี้ หน่วยการคืบจะมีอัตราสูงมากในช่วงเวลาเริ่มต้น ต่อมาก็จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปแต่จะไม่หยุดจนกว่าจะเอาน้ำหนักที่กระทำออกไปเสีย

1.1.1.2 การหดตัวเนื่องจากความแห้ง (drying shrinkage)

หลังจากการหล่อ คอนกรีตจะมีการหดตัวโดยธรรมชาติเนื่องจากการสูญเสียความชื้น และความชื้น การเปลี่ยนรูปนี้จะเกิดขึ้นถึงแม้ว่าคอนกรีตไม่มีหน่วยแรงใดๆมากระทำเลยก็ตาม การหดตัวนี้ขึ้นอยู่กับเวลาและสภาพความชื้นในอากาศแต่ไม่ขึ้นอยู่กับแรงกระทำต่อคอนกรีต การหดตัวอาจเกิดขึ้นน้อยมาก หรือไม่เกิดขึ้นเลยถ้าคอนกรีตอยู่ภายใต้สภาพความชื้นที่สูงมาก อัตราการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตนี้จะเกิดเร็วและมากในช่วงแรก แต่จะค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในการออกแบบสามารถคิดค่าหน่วยการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้น (shrinkage strain) การหดตัวทั้งหมดเมื่อหยุดนิ่งแล้วมีค่าหน่วยความเครียดเท่ากับ 0.00080 สำหรับคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำ และเท่ากับ 0.00073 สำหรับคอนกรีตที่บ่มด้วยไอน้ำ ปรัชญาการนี้ตามปกติจะสิ้นสุดลงเมื่อคอนกรีตมีอายุครบประมาณ 2 ปีหลังการเทหล่อ

1.1.1.3 การเปลี่ยนรูปจากน้ำหนักบรรทุกเกินพิกัด

ด้านแรงที่มากระทำจากน้ำหนักบรรทุกทุกนั้น แม้ว่าจะพอเพียงและไม่ทำให้โครงสร้างล้มเหลวลงก็ตาม ชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ จะเปลี่ยนรูปไปเนื่องจากแรงต่าง ๆ ที่มากระทำนั้น เช่น ยาวออก หรือสั้นเข้า เป็นต้น การเปลี่ยนรูปดังกล่าวนี้มีอัตราน้อยมากจนไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารก็จะ ใหญ่ขึ้น เล็กลง หรือ ยาวออก แปรเปลี่ยนตามไปตลอดเวลา แต่เมื่อน้ำหนักบรรทุกนั้นถูกเคลื่อนย้ายออกไปแล้ว โครงสร้างนั้นก็จะมีขนาดหรือหน้าตัดเท่าเดิมอีก คุณสมบัติที่วัสดุมีการเปลี่ยนรูปและคืนตัวนี้ จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ตาม

คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุก่อสร้างประเภทใหญ่ ๆ คือ วัสดุที่อ่อนและหลวม (flexibility) เช่น พลาสติก หรือ ยางชนิดต่าง ๆ และที่มีความแข็งเกร็ง (rigidity) เช่น เหล็ก ไม้ หรือดิน เป็นต้น ในโครงสร้างที่ใช้งานทั่วไป ยอมให้มีการเปลี่ยนรูปจากสภาพเดิมได้บ้างดังตัวอย่างข้างล่างนี้คือ ความยาวของโครงชนิดท่อนยอมให้เปลี่ยนได้ในอัตรา 1 ต่อ 300 จากความยาวเดิมเมื่อบรรทุกน้ำหนักจร การเบนหนีศูนย์กลางของเสา มักยอมให้เบี่ยงไปได้ไม่เกิน 1 ต่อ 50 ของความสูง และยอมให้โครงสร้างโครงถักที่พาดช่วงเพื่อการมุงหลังคาเคลื่อนตัวในแนวนอนได้ไม่เกิน 1 ต่อ 1000 ของความสูงระหว่างพื้นถึงหลังคา เป็นต้น

การเปลี่ยนรูปของวัสดุนั้นอาจจะเกิดขึ้นได้ด้วยน้ำหนักตายของวัสดุเอง จึงควรได้มีการสังวรและป้องกันไว้ล่วงหน้า หรือ ระหว่างการทำกรก่อสร้าง เช่น การยกปลายขึ้นของโครงสร้างขึ้นไว้ก่อน หรือ ยกท้องคานที่พาดช่วงยาว (pre-casting camber) ขึ้นไว้ก่อนสัก 0.5 % ถึง 1.0 % แล้วยกตรึงไว้จนกระทั่งคานที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแข็งตัวเต็มที่ก่อน แล้วจึงยอมให้ทำการบรรทุกน้ำหนักต่อไป การปฏิบัติเช่นนี้เป็นการลดอัตราการเปลี่ยนรูปหรือการหย่อนตัวของโครงสร้าง โดยเฉพาะในส่วนที่จะไปรับกานและส่งผลกระทบไปยัง ประตู หน้าต่าง หรือ ผนังภายในอาคารที่จะติดตั้งตามมาทีหลัง ส่วนของโครงสร้างที่ยื่น (cantilevered) แม้ว่าจะอยู่ในระนาบนอนอยู่แล้ว บางครั้งคุณคล้ายลวงตาว่าปลายนอกนั้นหย่อนตัวตกลงเล็กน้อย ในทางปฏิบัติมักนิยมที่จะยกปลายขึ้นก่อนสัก 1 ต่อ 300 ของช่วงยื่น

1.1.2 อัตราการตัดและโค้งตัวของโครงสร้างที่พาดช่วง (นำไปใช้คำนวณเพื่อเสริมยกอาคารเข้าสู่สภาพเดิม)

ในการออกแบบและใช้คานคอนกรีตอัดแรงเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกประเภทต่าง ๆ นั้น จำเป็นจะต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมการตัดและการโค้งตัวของคาน การโค้งตัวของคานนั้นเกิดจากผลของการอัดแรง น้ำหนักของคานเอง น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม และน้ำหนักบรรทุกจรในรูปของแรงกระทำที่กระทำต่อคานต่างๆเหล่านี้ ยกเว้นน้ำหนักบรรทุกจรแล้วล้วนแต่เป็นแรงกระทำถาวรที่กระทำต่อคาน ซึ่งทำให้เกิดการคืบในคอนกรีตและมีผลทำให้เกิดการโค้งตัวมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้การคลายตัวของเหล็กเสริมอัดแรงก็มีผลต่อแรงดึงในเหล็กเสริม ทำให้ลดแรงพยุลงไปอีก การโค้งตัวในระยะยาวจึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแม้ว่าน้ำหนักภายนอกจะมีค่าคงที่ก็ตาม การคำนวณการ

โคงตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาวไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำ เพราะการคืบของคอนกรีตและการคลายตัวของเหล็กเสริมอัดแรงทำให้สูญเสียแรงอัดซึ่งสามารถจะคำนวณได้เพียงค่า โดยประมาณเท่านั้น วิธีที่จะคำนวณการโคงตัวที่เกิดขึ้นระยะยาวนั้น สามารถทำได้โดยประมาณด้วยการใช้ตัวคูณซึ่งได้พิจารณาผลของการคืบ การคลายแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงและตัวแปรค่าอื่นๆ ไว้แล้วที่ระยะเวลายาวเป็นช่วงหนึ่ง ค่าตัวคูณนี้ได้แสดงไว้ใน PCI design handbook ค่าตัวคูณนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของแรงที่กระทำให้เกิดการโคงตัว และขึ้นอยู่กับว่าเป็นช่วงติดตั้งหรือช่วงรับน้ำหนักบรรทุกภายนอก ที่ต้องพิจารณาช่วงติดตั้งด้วยก็เพราะว่าหลังจากถ่ายแรงแล้วแต่ยังไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกภายนอกนั้นอาจใช้เวลาเป็นเดือน การโคงตัวจึงเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้ค่าตัวคูณยังขึ้นอยู่กับว่าพื้นที่ที่อยู่เหนือคานห่อ้นนั้นเป็นเนื้อเดียวกับคานหรือไม่ เพราะพื้นที่ส่วนนี้จะช่วยในการรับแรงด้วยในลักษณะคอมโพสิต การคำนวณจะต้องแยกค่าการโคงตัวจากแรงที่กระทำแต่ละอย่างออก แล้วคูณด้วยค่าตัวคูณจำเพาะ หลังจากนั้นจึงนำค่าทั้งหมดมารวมกัน

1.1.3 การแตกร้าวในคอนกรีต

1.1.3.1 อิทธิพลของแรงดึง (tension)

การแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีต เป็นสาเหตุของการแปรเปลี่ยนสภาพการยึดเหนี่ยว (bond) ระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมเสี่ยงต่อการวิบัติขึ้นในวงกว้าง กรณีการแตกร้าวถูกรวมเข้าในการวัดความล้าและเป็นตัวบ่งชี้ถึงการวิบัติของโครงสร้างล่วงหน้า อายุการใช้งานของโครงสร้างก็สามารถจะชี้ให้เห็นชัดเจนได้จากข้อมูลของการแตกร้าวนี้ ในอาคารพิเศษเช่นถังภาชนะบรรจุน้ำหรือน้ำมันขนาดใหญ่ เชื้อเพลิงหรืออาคารศูนย์กลางคมนาคมเช่นสนามบิน เป็นต้น การแตกร้าวเป็นสิ่งที่ไม่ยอมให้เกิดขึ้นเลย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในองค์อาคารที่อาจมีการแอ่นตัวได้มาก ๆ นั้น การตรวจสอบและควบคุมการแตกร้าว จะต้องทำอย่างถี่ถ้วนเพื่อการกำหนดมาตรการควบคุมน้ำหนักบรรทุกอย่าง

1.1.3.2 อิทธิพลของแรงเฉือน (shear force) คือแรงที่กระทำให้วัสดุเฉไป หรือเบี่ยงทิศทางไปจากเดิมจนอาจจะขาดจากกันไป เปรียบประดุจตุ๊กกรรไกรตัดดอก อันเป็นผลมาจากแรงที่ลงมาเอียงกันและต่างทิศทางกันในเวลาเดียวกัน เป็นการต้านความพยายามของแรงที่มากกระทำในแนวสัมผัส ตรงเฉพาะพื้นระนาบที่รับแรงนี้พอดี วัสดุไม่จำเป็นต้องต่อติดเป็นเนื้อเดียวกันทางกายภาพ

เพื่อที่จะต้านแรงเฉือนนี้ก็ได้ แต่ต้องมีแรงอัดคดไว้ให้พื้นผิวดังกล่าวชนกันแน่นอยู่ ทำให้เป็นแรงฝืดที่พอเพียงพอต่อการต้านแรงเฉือนนั้นได้ โดยวัสดุในระบบโครงสร้างไม่หลุดเคลื่อนออกจากกัน ก็ได้

1.1.3.3 อิทธิพลของแรงบิด (torsion)

คือแรงที่กระทำให้วัสดุบิดหมุนไปรอบแกนกลางแท่ง (centric axis) ของวัสดุ รูปแท่งหรือท่อน ทำให้เกิดค่าโมเมนต์ขึ้นในหน้าตัดขวางของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อที่จะทำให้การวิเคราะห์ค่าของแรงและการเปลี่ยนรูปของวัสดุสามารถจะทำได้ง่ายขึ้นนั้น จำเป็น ต้องตั้งสมมุติฐานในการคิดไว้บางประการดังต่อไปนี้ เป็นการต้านความพยายามที่จะบิดวัสดุให้ขาดจากกันเป็นคล้ายเกลียวในตะปูเกลียว

1.1.3.4 ข้อดีของการใช้เหล็กเป็นวัสดุโครงสร้าง

เมื่อเหล็กรีด (rolled steel) ถูกผลิตขึ้นในโรงงาน ผิวของเหล็กจะถูกเคลือบไว้ด้วยผงของออกไซด์ขนาดใหญ่อยู่กระจัดกระจายทั่วไปปกคลุมผิวเหล็กที่รีดแล้วเอาไว้ชั้นหนึ่งก่อน แต่จากการตรวจสอบอย่างละเอียดจะพบว่า มีรอยแตก (cracking) หรือการหลุดล่อนของสารที่เคลือบไว้ในระดับหนึ่งเสมอ เมื่อมีน้ำและออกซิเจนที่อยู่รอบๆผิวของเหล็กนั้นแทรกซึมเข้ามาสัมผัสก็จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคเล็กๆ ของเหล็กที่แตกตัวอยู่ในรูปของ โมเลกุลหรือองค์ประกอบทางไฟฟ้าขนาดเล็ก เรียกว่า “ไอออนของเหล็ก” มีสัญลักษณ์ทางเคมีว่า “ Fe^{++} ” ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นบริเวณที่อยู่ระหว่างชั้นบางๆของออกไซด์ที่เคลือบเอาไว้และมีร่องรอยหลุดลอกออกไปก่อนในชั้นแรก จากนั้นจะลุกลามออกไปเป็นบริเวณกว้างในเวลาอันรวดเร็ว

1.1.3.5 กระบวนการกัดกร่อนของโลหะเหล็ก

การกัดกร่อนของโลหะใด ๆ เป็นขบวนการที่ผิวของโลหะเหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical phenomenon) ส่งผลให้ผิวของโลหะนั้นหลุดลอกหายไปทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง และหากมีสิ่งเร้าภายนอกบางอย่างมาโหมช่วยทำปฏิกิริยาอีกด้วยแล้ว ก็จะเลวร้ายลงไปมากและเร็วขึ้นอีก สิ่งเร้าเหล่านี้ ก็คือ ความชื้น อุณหภูมิที่เพิ่มหรือลดลงเป็นจังหวะ สารเคมีที่มีสภาพเป็นกรด และ กระแสไฟฟ้าที่รั่วและพาดผ่านผิวเหล็ก เป็นต้น ขบวนการนี้ทำให้ผิวของโลหะหลุดหายไป เสมือนผิวของโลหะถูกกัดกร่อนไปอย่างต่อเนื่อง

ผลการทำปฏิกิริยาทางเคมีนี้ก่อให้เกิดเป็น “เฟรสต์ไฮดรอกไซด์” ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ ปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไปเมื่อการผุกร่อนมีมากขึ้น แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะต้อง มีน้ำ

และออกซิเจน ประกอบด้วยเสมอ ถ้าขาดตัวหนึ่งตัวใดปฏิกิริยาก็จะไม่เกิดขึ้น เหล็กก็จะไม่ผุกร่อน

1.1.4 ธรณีวิทยาของประเทศไทย

โครงสร้างทางธรณีวิทยาของประเทศไทย

● พื้นที่ชุ่มน้ำ

คำว่า “พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands)” เป็นคำรวมที่ใช้เรียกแหล่งที่อยู่ หรือแหล่งที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมสำหรับเป็นที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ (habitats) ทั้งที่อยู่บนบก ชายฝั่งทะเล และในทะเล โดยมีลักษณะร่วมกันอย่างหนึ่ง คือมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกับน้ำ หรือความชุ่มชื้น มีผู้ให้คำจำกัดความของคำว่า “พื้นที่ชุ่มน้ำ” มากมายกว่า 50 ความหมาย คำจำกัดความที่กว้างที่สุด เป็นนิยามที่ปรากฏอยู่ในอนุสัญญาแรมซาร์ (The Ramsar Convention) ให้ความหมายของ “พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands)” ว่า “พื้นที่ลุ่ม พื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ พื้นที่น้ำท่วม มีน้ำท่วม มีน้ำขัง พื้นที่พรุ พื้นที่แหล่งน้ำ ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น ทั้งที่มีน้ำขังหรือท่วมอยู่ถาวรและชั่วคราว ทั้งที่เป็นแหล่งน้ำนิ่งและน้ำไหล ทั้งที่เป็นน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็มรวมไปถึงพื้นที่ชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำ (Estuaries) : บริเวณปากแม่น้ำตรงที่น้ำจืดและน้ำเค็มมาพบผสมกัน เป็นบริเวณน้ำกร่อย มีความเค็มอยู่ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม กระแสน้ำขึ้นลงมีอิทธิพลสำคัญต่อลักษณะทางกายภาพและชีววิทยา บริเวณปากน้ำแม่น้ำซึ่งน้ำทะเลเข้าไปผสมกับน้ำจืด เป็นบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติมากที่สุดแห่งหนึ่งของโลก มีอัตราการผลิต และผลผลิตสูง ผลผลิตต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้นในบริเวณนี้ เป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงข่ายอาหาร และเป็นแหล่งอาหารสำคัญของลูกปลา ทำให้ลูกปลาเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว บริเวณปากแม่น้ำในส่วนต่างๆ ของโลก อาจมีผลผลิตแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศ ลักษณะทางอุทกวิทยา และลักษณะธรณีสัณฐานของชายฝั่งทะเล บริเวณปากแม่น้ำหลายแห่งติดต่อกับทะเลสาบน้ำเค็ม ซึ่งเกิดจากการปิดกั้นปากแม่น้ำจนตัดขาดจากทะเล (Odum, 1989) ทะเล และพื้นที่ของทะเล ในบริเวณซึ่งเมื่อน้ำลดลงต่ำสุดมีความลึกของระดับน้ำไม่เกิน 6 เมตร”

จากคำจำกัดความของพื้นที่ชุ่มน้ำ บริเวณปากแม่น้ำทั้งหมดเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่บริเวณปากแม่น้ำแต่ละแห่ง อาจมีลักษณะแตกต่างกัน จึงอาจจะประกอบด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำต่างประเภทกันด้วย ในเขตอบอุ่นมักพบบริเวณปากแม่น้ำซึ่งเป็นพื้นที่ทรายโคลน ที่ลุ่มน้ำเค็มขึ้นแฉะและมีการวดหินกระจายอยู่ทั่วไป ในขณะที่เขตร้อนและกึ่งร้อนมักพบบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งมีป่าชายเลนแทนที่ลุ่มน้ำเค็มขึ้นแฉะ และพบป่าจาก ในพื้นที่ถัดเข้าไป

- ป่าชายเลน เป็นสังคมพืชชายฝั่งทะเลของเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น หมู่ไม้ชายฝั่ง ป่าที่น้ำขึ้นถึง และป่าโกงกาง พรรณไม้ที่ได้ชื่อว่าเป็นพันธุ์ไม้ชายเลนนั้นมีมากมายหลายพันธุ์แตกต่างกันไปตามลักษณะพื้นที่ชายฝั่งแต่ก็มีลักษณะทางรูปทรงพื้นฐาน ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการปรับตัวและการแพร่กระจายพันธุ์ คล้ายคลึงกัน ทำให้สามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่ยากลำบากผันแปรได้ตลอดเวลา ในป่าชายเลนทั่วโลก มีพรรณพืชราว 80 ชนิด 30 วงศ์ มากกว่า 20 สกุล (Saegner et al., 1983) หากสภาพแวดล้อมทุกอย่างเหมาะสม ป่าชายเลนจะเป็นป่าที่มีขอบเขตกว้างขวาง และมีผลผลิตสูง

ป่าชายเลน มักพบเห็นอยู่ได้ในบริเวณชายฝั่งทะเลเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน เป็นลักษณะเฉพาะของระบบนิเวศปากแม่น้ำในภูมิภาคเหล่านั้น มีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจต่อประชากรที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล มานับเป็นพันๆ ปีแล้ว ด้วยเหตุนี้เอง ป่าชายเลนจึงถูกจัดเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญมาก

- บริเวณชายฝั่งทะเล (Open coasts) : บริเวณซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลของน้ำจืดและระบบนิเวศ ทะเลสาบ น้ำเค็ม เช่นเดียวกับบริเวณปากแม่น้ำ ระบบนิเวศชายฝั่งทะเลประกอบด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำหลายประเภทรวมทั้งที่ลุ่มราบชายเลน (mudflats) และป่าชายเลน แม้ว่าพื้นที่ชุ่มน้ำทั้งสองนี้ จะมีพัฒนาการสูงกว่าในบริเวณป่าแม่น้ำ
- บริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (Floodplains) : พื้นที่ราบระหว่างลำน้ำกับพื้นที่บนบกซึ่งอยู่สูงกว่า มีน้ำท่วมเป็นครั้งคราว พบได้ตามระบบลำน้ำในบริเวณต่างๆ ทั่วโลก ที่ราบน้ำท่วมถึงหลายแห่ง อยู่ในบริเวณที่ลุ่มชายฝั่งทะเลติดกับดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ และอีกหลายแห่ง แม่น้ำสายใหญ่ๆ มีที่ราบน้ำท่วมถึงเป็นบริเวณกว้างใหญ่ ประกอบด้วย ที่ลุ่มชื้นแฉะมีหญ้าขึ้นอยู่รก ป่าน้ำท่วมทะเลสาบรูปแอก และแอ่งน้ำต่างๆ ในบางพื้นที่ อาจเรียกบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงเหล่านี้ว่าดินดอนสามเหลี่ยม ภายในแผ่นดินบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงที่สำคัญมากหลายแห่งเช่น บริเวณลุ่มน้ำไนเจอร์ ประเทศมาลี ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่แห้งแล้ง ผลผลิตจากพื้นที่ดังกล่าวจึงมีความสำคัญยิ่งต่อสถานะเศรษฐกิจของท้องถิ่น เช่นเดียวกับการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งหากินที่สำคัญยิ่งของนกน้ำและสัตว์ป่านานาชนิด

บริเวณที่ลุ่มน้ำจืดชื้นแฉะ (Freshwater Marshes) : พบได้ทั่วไปในบริเวณซึ่งน้ำได้ดิน ตาน้ำผิวดินแม่น้ำและลำธาร มีส่วนก่อให้เกิดภาวะน้ำท่วมบ่อยครั้งหรือเกิดภาวะน้ำขังอย่างถาวรใน

ระดับตื้นๆ ไม่ลึกนัก เป็นผลให้เกิดเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีน้ำจืดท่วมขังหรืออยู่ในสภาพชื้นแฉะเกือบตลอดเวลาบริเวณที่ลุ่มน้ำน้ำจืดชื้นแฉะขนาดใหญ่หลายแห่ง มีพืชเด่นที่ขึ้นอยู่คือ กก (papyrus cyperus papyrus) ฐูปลาชี กากข้าง (cattail typha) และอ้อ แวม (reed phragmites) มีน้ำนิ่งขังอยู่เกือบตลอดปี เรียกว่าที่ลุ่มน้ำขัง หรือมาบ (swamps)

- **ทะเลสาบ (Lakes)**

ทะเลสาบ สระน้ำและบ่อน้ำ เกิดขึ้นได้จากขบวนการหลายอย่าง บางแห่งเกิดจากการยกตัวยุบตัว หรือการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก ตัวอย่างเช่น Reelfoot Lake (USA), Lake Baikal (USSR) และ Lake Tanganyika (Africa) บางแห่งเกิดจากการทำงานของภูเขาไฟ เกิดเป็นทะเลสาบภูเขาภูเขาไฟ (crater lakes) บางแห่งเกิดจากการทำงานของธารน้ำแข็ง เช่น ทะเลสาบในวงล้อมของเซิร์ก (cirque lakes) ทะเลสาบที่เกิดจากการหลอมละลายของธารหิมะและกุ่มถ้ำ (potholes) หรือทะเลสาบรูปกาต้มน้ำ (kettle lakes) ทะเลสาบบางแห่งในเขตแห้งแล้งเกิดจากการทำงานของลม การทำงานของแม่น้ำลำธารก็ก่อให้เกิดทะเลสาบรูปแอก (oxbow lakes) ทะเลสาบเนินตะกอนรูปพัด (alluvial fan lakes) แอ่งฐานน้ำตก (plunge pools) และแอ่งน้ำขัง ทะเลสาบในเขตแอลไพน์ (Alpine lakes) อาจเกิดจากแผ่นดินถล่ม และการไหลเลื่อนของดิน

ทะเลสาบบางแห่งเป็นส่วนหนึ่งของทะเลสาบขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดขึ้นภายใต้สภาพแวดล้อมในยุคก่อนประวัติศาสตร์ซึ่งมีความชื้นสูงกว่า การเคลื่อนตัวของตะกอนโดยอิทธิพลของกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสามารถก่อให้เกิดทะเลสาบชายฝั่งที่ตัวขาดจากทะเล กลายเป็นทะเลสาบน้ำจืด เวลาต่อมาได้สัตว์เช่นตัวบีเวอร์และมนุษย์เอง บางครั้งก็สร้างทะเลสาบขึ้น พื้นที่ชุ่มน้ำในบริเวณขอบโดยรอบทะเลสาบจากบริเวณน้ำตื้น ไปสู่บริเวณที่ลึกกว่า แต่ยังมีแสงส่องถึงนั้น เป็นบริเวณที่พืชสามารถยึดเกาะรากอยู่ได้การทำงานของคลื่น และระดับน้ำที่ผันแปรไปตามฤดูกาล มีอิทธิพลต่อชนิดของพืชที่จะขึ้นอยู่ในบริเวณนี้ได้ และเพราะบริเวณดังกล่าว เป็นรอยต่อซึ่งรองรับน้ำที่ไหลลงมาจากแผ่นดินและแม่น้ำลำธารพืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณนี้จึงมีอิทธิพลต่อคุณภาพน้ำ โดยการช่วยลดปริมาณธาตุอาหารและตะกอนดินที่จะลงสู่ทะเลสาบ ในขณะเดียวกันบริเวณดังกล่าวยังมีความสำคัญยิ่ง ในการเป็นแหล่งน้ำที่อยู่อาศัยและขยายพันธุ์ของปลา นก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นานาชนิด

- **พื้นที่พรุ (Peatlands)**

ในสภาวะปกติที่มีปริมาณออกซิเจนมากพอ ซากพืชจะเน่าเปื่อย สลายตัวเกิดเป็นแร่ธาตุ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ แต่ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ ความเป็นกรดสูง ปริมาณธาตุอาหารต่ำ น้ำท่วมขัง และขาดออกซิเจน ขบวนการย่อยสลายซากพืชจะถูกยับยั้ง เป็นผลให้ซากพืช

เหล่านั้นสะสมตัวอยู่ในรูปของพรุ ซึ่งครั้งหนึ่งเคยเชื่อกันว่า พรุจะเกิดขึ้นได้เฉพาะในบริเวณแถบซีกโลกภาคเหนือ ในบริเวณละติจูดที่สูงกว่า ในปัจจุบันพบว่า มีพื้นที่พรุไม่น้อยกว่า 500 ล้านเฮกตาร์ กระจายอยู่ทั่วทุกทวีป ทุกละติจูด รวมทั้งในเขตร้อนซึ่งมีการสะสมตัวของพรุเป็นชั้นหนาในบริเวณที่ลุ่มชื้นแฉะ และที่ลุ่มน้ำขัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณรอบขอบทะเลสาบและบริเวณชายฝั่งทะเล พื้นที่พรุในบริเวณต่างๆ ของโลกมีความแตกต่างกันไป ตามลักษณะทางอุทกวิทยา (ที่สำคัญยิ่ง คือ การปล่อยให้อยู่ตามสภาพธรรมชาติ หรือการชักน้ำออก) สภาพความเป็นกรดและสภาพภูมิอากาศ ตัวอย่าง เช่น พื้นที่พรุที่มีลักษณะแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดในแถบซีกโลกภาคเหนือ ที่มีลักษณะเป็นที่ลุ่มบ็อก (bog) ทุ่งมัวร์ (moor) พรุตะไคร้มีสเคก (muskeg) ซึ่งเป็นคำที่ชาวอินเดียนแดงแถบอเมริกาเหนือ แคนาดา และอะแลสกา ใช้เรียกพรุที่มีตะไคร้ลุ่มอยู่หนา และที่ลุ่มสนุ่น (fen (Maltby, 1986)

ขบวนการเกิด และลักษณะของระบบนิเวศพื้นที่พรุ มีมากมายหลายแบบ ทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำชนิดนั้นมีบทบาทสำคัญหลากหลายออกไป พื้นที่พรุบางแห่งมีความเป็นกรดสูงมากแต่มีปริมาณธาตุอาหารต่ำ ในขณะที่บางแห่งมีความเป็นกรดเป็นกลาง แต่มีปริมาณธาตุอาหารสูง พื้นที่พรุจึงอาจเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อยที่สุด หรืออาจเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์มากที่สุดก็ได้ แต่มีหลักฐานสำคัญที่แสดงว่า ระบบนิเวศพื้นที่พรุเป็นแหล่งสะสมธาตุคาร์บอน ซึ่งมีบทบาทสำคัญทางเคมีธรณี ชีววิทยา เกี่ยวข้องกับขบวนการเกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่ทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่ (Winkler and De Witt, 1985; Armentano and Menges, 1986)

- **บริเวณป่าที่ลุ่มน้ำขัง (Swamp Forest)**

ป่าที่ลุ่มน้ำขังเกิดขึ้นในบริเวณแหล่งน้ำนิ่งรอบๆ ทะเลสาบ และบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง เช่น บริเวณทะเลสาบรูปแอก ซึ่งมีน้ำขังอยู่เป็นช่วงระยะเวลาสั้น ลักษณะเฉพาะของพื้นที่นี้จะผันแปรไปตามที่ตั้งและสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์ ทางภาคเหนือของสหรัฐอเมริกาจะมีพืชชนิดเด่นที่ขึ้นอยู่ ได้แก่ red maple, ash, northern white cedar, black spruce, และ larch ในขณะที่ทางใต้ จะมีพืชชนิดเด่น ได้แก่ bald cypress, oaks และ willows ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ป่าที่ลุ่มน้ำขังประกอบด้วยพืชชนิดเด่นคือ Melaleuca และพืชอื่นๆ ที่มีคุณค่าทางการค้า โดยมีพืชตระกูลปาล์มหรือตาล เช่น ต้นสาธุ (sago palm) และพืชจำพวกลำเจียกและเคย Pandanus เป็นไม้พื้นล่าง ป่าที่ลุ่มน้ำขังในประเทศอินโดนีเซีย มีพื้นที่มากกว่า 17 ล้านเฮกตาร์ (Scott and Poole, 1989) เช่นเดียวกันในบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอนและบริเวณชายฝั่งทะเลแคริบเบียนของอเมริกากลางก็พบพื้นที่ชุ่มน้ำประเภทนี้ ในแอฟริกาพบพืชชนิดเด่นในป่าที่ลุ่มน้ำขัง ได้แก่ Ficus, Syzgium และ borassus palms

1.1.5 ลักษณะ ภูมิทัศน์ทั้ง 7 ในภาพรวม

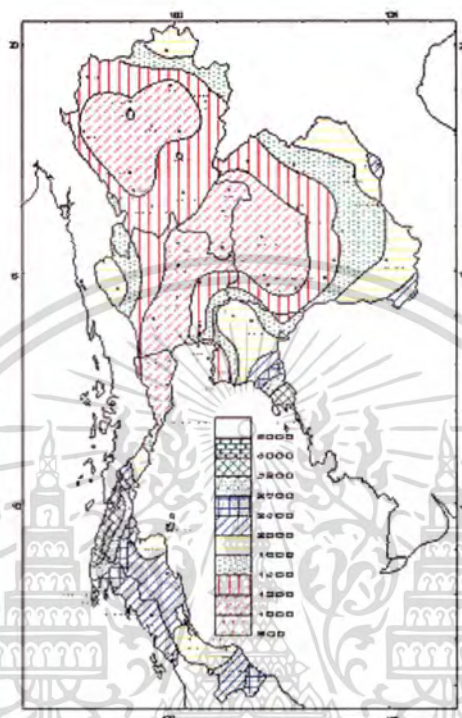
ในแต่ละหน่วยของภูมิทัศน์ทั้ง 7 ลักษณะที่กล่าวมานี้ ประกอบด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประเภทต่างๆ แตกต่างกันในแต่ละหน่วยอาจมีพื้นที่ชุ่มน้ำได้หลายประเภทซึ่งทำให้การจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำ มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ประเด็นสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอก็คือ พื้นที่ชุ่มน้ำเป็นระบบนิเวศรวม ซึ่งมีได้มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะเพียงลักษณะเดียว หากแต่มีลักษณะที่ปะปนคละเคล้ากัน ยิ่งไปกว่านั้น ในแต่ละส่วนของระบบยังมีความเชื่อมโยงสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ไม่แยกกันโดยเด็ดขาด ว่าจะจะเป็นพื้นที่บก หรือพื้นที่ทะเล ก็มีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่ชุ่มน้ำทั้งสิ้น ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์หรือการอธิบายจึงไม่อาจจำกัดขอบเขตอยู่เพียงแค่พื้นที่ชุ่มน้ำประเภทต่างๆ เท่านั้น แต่ต้องครอบคลุมถึงระบบลุ่มน้ำ และพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล ที่พื้นที่ชุ่มน้ำปรากฏเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

1.1.6 อุทกวิทยาของประเทศไทย

1.1.6.1 ปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยในประเทศไทย

ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศมีค่าประมาณ 1,580 มิลลิเมตร ปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่ เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิประเทศ นอกเหนือจากการผันแปรตามฤดูกาล บริเวณประเทศไทยตอนบนปกติจะแห้งแล้ง และมีฝนน้อยในฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นบ้าง พร้อมทั้งมีพายุฟ้าคะนอง และเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นมาก โดยจะมีปริมาณฝนมากที่สุด ในเดือนสิงหาคมหรือกันยายน พื้นที่ที่มีปริมาณฝนมากส่วนใหญ่จะอยู่ด้านหน้าทิวเขา หรือด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ได้แก่ พื้นที่ทางด้านตะวันตกของประเทศ บริเวณอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และบริเวณภาคตะวันออก บริเวณจังหวัดจันทบุรี และตราด โดยเฉพาะที่อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด มีปริมาณฝนรวมตลอดปีมากกว่า 4,000 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ที่มีฝนน้อยส่วนใหญ่อยู่ด้านหลังเขา ได้แก่ พื้นที่บริเวณตอนกลางของภาคเหนือ บริเวณจังหวัดลำพูน ลำปาง แพร่ บริเวณภาคกลาง และด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณจังหวัดชัยภูมิและนครราชสีมา สำหรับภาคใต้มีฝนชุกเกือบตลอดปียกเว้นช่วงฤดูร้อน พื้นที่บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงฤดูฝน โดยมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนกันยายน ส่วนช่วงฤดูหนาวบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก มีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ที่มีปริมาณฝนมากที่สุดของภาคใต้ อยู่บริเวณจังหวัดระนอง ซึ่งมีปริมาณฝนรวม

ตลอดปีมากกว่า 4,000 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ที่มีฝนน้อย ได้แก่ ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน ด้านหลังทิวเขาตะนาวศรี บริเวณจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 1.1 ปริมาณฝนรายปี (ม.ม.) ของประเทศไทย

ตารางที่ 1.1 ปริมาณฝน (ม.ม.) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่างๆ

ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	จำนวนวันฝนตกตลอดปี
เหนือ	104.6	166.5	955.2	123
ตะวันออกเฉียงเหนือ	72.8	211.1	1,111.9	117
กลาง	130.0	192.3	907.4	113
ตะวันออก	201.3	257.8	1,440.2	131
ใต้ฝั่งตะวันออก	819.9	197.9	661.2	148
ใต้ฝั่งตะวันตก	429.5	380.0	1,914.7	176

แหล่งข้อมูล - กองภูมิอากาศ และ กองอุตุนิยมวิทยาอุทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาปริมาณน้ำฝนต่อชั่วโมงที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยทั่วประเทศครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนราย 24 ชั่วโมง และข้อมูลความเข้มฝนราย 30 นาที และ 1 ชั่วโมง ในช่วงที่เกิดอุทกภัยและ 7 วันล่วงหน้า ของสถานที่ตั้งอยู่บริเวณอำเภอเมืองของจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ โดยทำการศึกษาในช่วงระยะเวลา 5 ปีที่ผ่านมา คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 - 2531

ผลที่ได้จากการศึกษาในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา มีข้อมูลสนับสนุนเพียง 18 จังหวัดเท่านั้นที่สามารถหาความเข้มฝนที่ทำให้เกิดน้ำท่วมได้ ซึ่งข้อมูลความเข้มฝนที่ได้นี้จะมีความอยู่ระหว่าง 35-70 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ความเข้มฝนที่มีค่าแตกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของภูมิประเทศและระบบระบายน้ำของท้องถิ่นนั้น ๆ เป็นสำคัญ

1.1.6.2 ดัชนีและแนวโน้มของฝนและอุณหภูมิที่ผิดปกติในประเทศไทย

เหตุการณ์ผิดปกติทางภูมิอากาศมีส่วนก่อให้เกิดผลกระทบ และความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผันแปร และแนวโน้มของลักษณะอากาศหรือเหตุการณ์ผิดปกติ ทางภูมิอากาศจึงได้รับความสนใจมากขึ้นในระยะสองสามปีที่ผ่านมา สำหรับประเทศไทยการวิเคราะห์แนวโน้ม ของข้อมูลที่สูงหรือต่ำมากผิดปกติในครั้งนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาติดตาม และตรวจสอบการผันแปรและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดรายวันในช่วง 40 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2504 - 2543 (ค.ศ. 1961 - 2000) จากสถานีตรวจอากาศผิวพื้นจำนวน 46 สถานี ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพเหมาะสม สำหรับการวิเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าแนวโน้มของ ดัชนีชี้วัดอุณหภูมิส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยวันอากาศอุ่น (warm days) ค่ำอากาศอุ่น (warm nights) วันอากาศร้อน (hot days) และ ค่ำอากาศร้อน (hot nights) มีแนวโน้มสูงขึ้น ขณะที่วันอากาศเย็น (cool days) ค่ำอากาศเย็น (cool nights) วันอากาศหนาว (cold days) และค่ำอากาศหนาว (cold nights) มีแนวโน้มลดลง สำหรับแนวโน้มของดัชนีชี้วัดสถานะฝนส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยปริมาณฝนรายปีจำนวนวันที่มีฝน ความถี่ที่มีฝนมากผิดปกติ และความแรงฝนส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง ขณะที่สัดส่วนฝนมีแนวโน้มสูงขึ้นเกือบทุกสถานี

1.1.6.3 การศึกษาปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยในประเทศไทย

การศึกษาปริมาณน้ำฝนต่อชั่วโมงที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยทั่วประเทศครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนราย 24 ชั่วโมง และข้อมูลความเข้มฝนราย 30 นาที และ 1 ชั่วโมง

ในช่วงที่เกิดอุทกภัยและ 7 วันล่วงหน้า ของสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณอำเภอเมืองของจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ โดยทำการศึกษาในช่วงระยะเวลา 5 ปีที่ผ่านมา คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 - 2531

ผลที่ได้จากการศึกษาในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา มีข้อมูลสนับสนุนเพียง 18 จังหวัดเท่านั้นที่สามารถหาความเข้มข้นที่ทำให้เกิดน้ำท่วมได้ ซึ่งข้อมูลความเข้มข้นที่ได้ี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 35-70 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นที่มีค่าแตกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของภูมิประเทศและระบบระบายน้ำของท้องถิ่นนั้น ๆ เป็นสำคัญ

1.1.6.4 ช่วงวันเริ่มต้นและสิ้นสุดของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในภาคใต้ของประเทศไทย

เกณฑ์การพิจารณาการเริ่มต้นและสิ้นสุดของฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีหลักการพิจารณาดังนี้ คือ

ก. ในระยะ 5 วันใด ๆ จะต้องมีฝนตก 3 วันที่ต่อเนื่องกัน หรือ ไม่ต่อเนื่องกันก็ได้ โดยมีปริมาณฝนใน 3 วันดังกล่าว แต่ละวันต้องไม่น้อยกว่า 5 มม. และปริมาณฝนรวมใน 5 วันนั้นต้องไม่น้อยกว่า 25 มม.

ข. ต้องใช้ฤดูกาลเริ่มต้นและสิ้นสุดของฤดูมรสุมเข้าร่วมพิจารณาคด้วย

1.1.7 ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

ชั้นดินของกรุงเทพมหานครนั้น ชั้นบนสุดประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อนเรียกว่า “Soft Bangkok Clay” มีความหนาประมาณ 15 เมตร ดินชั้นนี้มีความไวสูง (Very Sensitive Clay) และมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมากซึ่งมีค่าประมาณ 1-2 ตันต่อตารางเมตร ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก (First Stiff Clay) ถึงความลึกประมาณ 25-27 เมตร ดินชั้นนี้มีความไวลดลงและรับแรงเฉือนได้สูงกว่าคือมีค่าประมาณ 12-15 ตันต่อตารางเมตร ถัดจากนั้นจะเป็นชั้นทรายชั้นแรก (First Dense Silty Sand) มีความหนาไม่แน่นอน บางพื้นที่เช่นบริเวณถนนสุขุมวิทจะมีความหนาของชั้นนี้ไม่มากหรือเกือบไม่มีความหนาเลยเมื่อเทียบกับบริเวณเขตลาดพร้าวซึ่งมีความหนากว่า 10 เมตร ชั้นทรายชั้นแรกนี้กำหนดให้สามารถรองรับน้ำหนักอาคารได้มากและขึ้นอยู่กับการหยั่งลงไปของปลายเสาเข็มที่ลงไปลึกไม่เท่ากัน ถัดจากชั้นทรายชั้นแรก จะเป็นชั้นดินเหนียวแน่นชั้นที่สอง (Second Hard Silty Clay) ดินชั้นนี้สามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าชั้นข้างบน โครงการสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินมักจะหยั่งฐานรากลงมาถึงดินชั้น

นี้ ถัดลงจะเป็นชั้นทรายหนาแน่นมากชั้นที่สอง (Second Dense Silty Sand) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญสองประการดังนี้ คือ

- 1) มีระดับความหนาค่อนข้างคงที่ ง่ายต่อการออกแบบและควบคุมการก่อสร้าง มีความหนาแน่นสูงมาก ทำให้อาคารมีการทรุดตัวน้อยมาก รองรับปลายเข็มเจาะ โดยให้กำลัง
- 2) หวังผลสูงสุด สามารถควบคุมน้ำหนักบรรทุกของอาคารได้อย่างแม่นยำและแน่นอน

1.1.7.1 ชั้นดินส่วนบน (top layers)

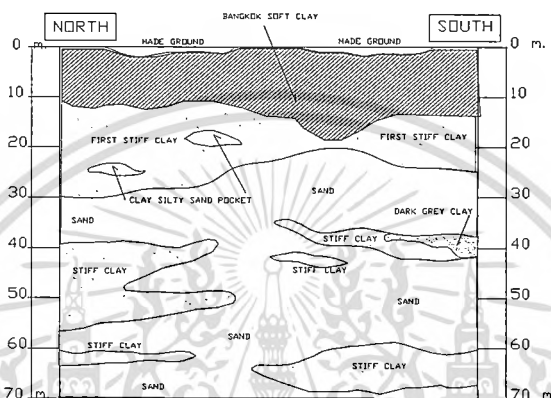
มีความลึกจากผิวดินลงไปประมาณ 21 – 30 เมตร และแบ่งออกเป็น 3 ชั้นย่อย ดังต่อไปนี้

1. ชั้นบนสุด เป็นดินหน้าดิน (top soil) มีสีเทา อ่อนร่วน และมีอินทรีย์วัตถุปนอยู่ในความหนาประมาณ 1 – 2 เมตร ในการก่อสร้างจะขุดดินชั้นนี้ออกไปเพราะไม่มีกำลังรับน้ำหนักอาคารเพียงพอ เมื่อมีความชื้นจะพองตัวได้ง่าย
2. ชั้นกลาง เป็นส่วนบนของชั้นดินตะกอนในทะเล มีกำลังรับน้ำหนักน้อยถึงปานกลาง มีสีเทาจนถึงสีเทาดำ มีปริมาณน้ำในเนื้อสูงอยู่ในความหนาประมาณ 10 – 17 เมตร มีชั้นดินย่อยของชั้นดินเหนียวสลับกับดินทรายอยู่ในชั้นนี้ การออกแบบเพื่อการรองรับ โครงสร้างอาคารต้องคำนวณไม่ให้เกิดความเค้นอัดมากจนเกินกำลังของดินชั้นนี้ อาคารอาจทรุดตัวหากไม่ออกแบบด้วยความระมัดระวัง
3. ชั้นล่าง เป็นส่วนล่างของดินตะกอนในทะเล มีความเชื่อมแน่นสูงกว่าชั้นกลาง มีสีน้ำตาลปนสีเทาอ่อน ความหนาประมาณ 10 เมตร ส่วนบนของดินชั้นล่างนี้สามารถรองรับน้ำหนัก โดยทำการหยั่งปลายเสาเข็มลงได้เพื่อการรับน้ำหนักอาคารขนาดกลาง หากต้องการความสามารถในการรับน้ำหนักมากกว่าปกติจะต้องทำการเสริมเสถียรภาพด้วยการทำให้มีความพรุนลดลงให้ดินมีการยึดตัวกันมากขึ้นกว่าเดิม

1.1.7.2 ชั้นดินส่วนกลาง (intermediate layers) เป็นชั้นดินที่มีระดับต่ำกว่า 30 เมตร มีลักษณะเป็นดินทรายปนดินเหนียว มีความลึกในชั้นนี้ประมาณ 100 เมตรหรือมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนบนประมาณ 2 เมตรแรกที่มืองค์ประกอบของดินเหนียวแข็งหรือดินทรายอัดตัวแน่น (very stiff clay to hard sand) สามารถให้รองรับน้ำหนักจากปลายเสาเข็มของอาคารขนาดใหญ่ได้

1.1.7.3 ชั้นหินดาน (bedrock) มีการสันนิษฐานจากข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ว่า เป็น หินชนวนหรือหินควอร์ตไซต์ ซึ่งอาจจะอยู่ในระดับลึกลงไปถึง 1,000 เมตร และเท่าที่ทำการสำรวจ กันในความลึกถึง 250 เมตรก็ยังไม่พบชั้นหินดานนี้เลย

เอกสารอ้างอิงอาจจะหาได้จากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย



รูปที่ 1.2 รูปตัดชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

ได้มีการศึกษาเรื่องของชั้นดินเหนียวอ่อนของกรุงเทพมหานครอยู่บ้าง แต่ข้อมูลที่บ่งชี้ถึงการทรุดตัวของดินอย่างต่อเนื่องที่ถูกต้องและแม่นยำเป็นสิ่งที่ยังจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายต่อโครงสร้างอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่สัมพันธ์กับฐานรากและห้องใต้ดิน แม้ว่าสิ่งที่ได้มาซึ่งข้อมูลของชั้นดินและอัตราการทรุดตัวที่ปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา นั้นค่อนข้างจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายก็ตาม ข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้พึงพาการขุดเจาะสำรวจดินจากหน่วยก่อสร้างที่ได้ทำสำเร็จลงไปเพียงหยิบมือรวมทั้งการศึกษาเพียงเพื่อทราบพฤติกรรมของดินเหนียว ไม่สามารถที่จะนำไปวิเคราะห์ถึงปัญหาการทรุดตัวของชั้นดินทั้งหมดได้ หรือแม้แต่ปัญหาน้ำท่วมซึ่งซึ่งประเมินไว้ว่าอาจมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการทรุดตัวของดินที่พยุ่งน้ำหนักอาคารและสิ่งปลูกสร้าง อยู่บนนั้นก็มีแนวโน้มว่าไม่เป็นการพอเพียงสำหรับภาวการณ์ในปัจจุบันนี้

ความรู้ทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวกับโครงสร้างของเปลือกโลกเป็นสิ่งจำเป็น เมื่อมีการเคลื่อนไหวเนื่องจากแรงกระทำภายใต้เปลือกโลกและเกิดการเปลี่ยนแปลงและปริมาตรของเปลือกโลกไป การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนรูปและปริมาตรของเปลือกโลกนั้น ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับหินตะกอนที่เกิดอยู่ใกล้เปลือกโลกชั้นตื้นๆ นับเป็นประมาณ ร้อยละ 75 ของปริมาณหินทั้งหมด แต่อาจจะพบหินอัคนีไหลแทรกตัวขึ้นมาหรือได้ปะทุไหลคลุมทับชั้นหินอื่นบ้าง นอกจากนี้ยังอาจจะพบหินแปรที่ได้จากภาวะการแปรสภาพบ้างแต่อยู่ในปริมาณน้อยมาก

1.1.8 ดินในเขตพื้นที่ลาดกระบังและสุวรรณภูมิ

การทดลองชุด “อ่างน้ำเปิด” (open basin) ที่หนองงูเห่า (Nong-Ngoo-Hao)

ลาดกระบังถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่รองรับทางเศรษฐกิจส่วนหนึ่งในสามส่วนใหญ่ของนครสุวรรณภูมิที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ ในทางธรณีโครงสร้างนั้น พื้นที่ดินส่วนนี้และบริเวณใกล้เคียงนั้นตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เคยเป็นทะเลมาก่อน มีดินอ่อน สามารถรองรับน้ำหนักโครงสร้างได้ไม่ดีนักเนื่องจากมีคุณลักษณะพิเศษเฉพาะของความเป็นที่ลุ่มและหนองน้ำในปัจจุบัน ดินชั้นแรกประกอบด้วยดินเหนียวที่อ่อน บางแห่งมีดินเลนเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ประกอบทั้งยังไม่มียุทธศาสตร์การระบายน้ำอย่างทั่วถึงทำให้ต้องพึ่งพิงการขุดเจาะใช้น้ำบาดาลกันอยู่ในอัตราที่สูงมากและยังไม่สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อมูลการทรุดตัวของดินที่ถูกบันทึกเป็นจุดพบว่า มีอัตราการทรุดตัวของดินอย่างต่อเนื่องระหว่าง 28 ถึง 100 มิลลิเมตร ตามจุดต่างๆทั่วทั้งบริเวณ

การขุดเจาะสำรวจและทดสอบในห้องทดลองทางปฐพีกลศาสตร์เป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน จากข้อมูลชั้นดินของเขตลาดกระบังที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นสามารถนำมาเป็นการนำร่องร่วมด้วยข้อมูลจากการการขุดเจาะดิน (boring log) เพื่อการก่อสร้างเพียงบางพื้นที่เท่าที่จะอำนวยได้ นั้น ทำให้สามารถเสนอทัศนคติในทางวิชาการออกแบบสถาปัตยกรรม บังชี้ถึงภาพรวมและหนทางที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นตามมาจากรากฐานการทรุดตัวของดิน (soil-subsidence phenomenon) การออกแบบอาคารและสิ่งปลูกสร้างเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาวิกฤตอันอาจจะเกิดขึ้นในระยะยาว ช่วยเอื้ออำนวยให้สามารถประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซมแก้ไขโครงสร้างอาคารที่ชำรุดอันเป็นผลสืบเนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้นได้เป็นอย่างดี

เคยมีการทดลองขุดเจาะดินเพื่อทำอ่างน้ำเปิดที่หนองงูเห่า (พื้นที่บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิในปัจจุบัน) อันมีที่ตั้งห่างจากกรุงเทพมหานครส่วนกลางประมาณ 20 กิโลเมตร ในเขตอำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียว และถูกจัดอยู่ในชุดของดินที่ราบลุ่มในแอ่งเจ้าพระยา

คุณสมบัติของดินเหนียว ณ บริเวณนี้เป็นชั้นดินเหนียวนิ่มจนถึงแข็งปานกลาง (soft to medium stiff clay) ที่มีการผุพังจนถึงระดับลึก 15 เมตรจากพื้นผิวดิน ชั้นบนสุดจากผิวดินถึงลงไป

ระดับ 8 เมตร มีค่าขีดเหลวสูงมาก ความชื้นในดินสูงด้วย กล่าวคือดัชนีมีค่าเกิน 100 % แต่ลึกลงไปถัดจากนั้นจนถึงระดับ 15 เมตร ค่าดัชนีขีดเหลวจะมีค่าประมาณ 60 % และค่าความชื้นในดินประมาณ 70 %

ได้ระดับที่ลึกกว่า 15 เมตรลงไปเป็นดินเหนียวแข็ง (stiff clay) สีนํ้าตาลปนเทา คาดว่าสามารถใช้เป็นชั้นดินที่อาจจะพยุงบานรากของแอ่งน้ำ (basin) ได้

การทดลองขุดเจาะเริ่มทำในเดือน มิถุนายน พ.ศ.2518 ทำการขุดอ่างน้ำที่กว้าง 32 เมตร ยาว 80 เมตร ต้องการให้อยู่ที่ระดับลึก 15 เมตร ตัวอ่างน้ำมีความลาดเอียง 1 : 2.5 (ดังในรูปที่ 2) การขุดเจาะใช้เวลาประมาณ 30 วัน ซึ่งได้ความลึกประมาณ 4 เมตร จากนั้นได้หยุดการขุดไว้เพื่อทำการตรวจสอบพฤติกรรมของดินในระยะยาวว่ามีการทรุดตัวหรือการคืบของมวลดินหรือไม่ ผลการตรวจสอบพบว่าพื้นลาดเอียงยังคงสภาพได้ดี ค่าปัจจัยความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

จากผลการตรวจสอบด้วยมาตรวัดความดัน เครื่องวัดการทรุดตัวและวัดการเบี่ยงเบนที่ติดตั้งก่อนการขุดเจาะเพื่อหาความดันของน้ำในโพรงและการเคลื่อนตัวพบว่า ค่าความดันเป็นลบเนื่องจากการคลายความเค้น (stress relief) ของมวลดิน และมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างประกอบกับการปูด (heave) ของมวลดิน จึงคาดว่าจะมีการแตกหัก (failure) ของมวลดินในบางส่วนที่เกิดขึ้นต่อมา

การป้องกันการพังทลายของมวลดิน ก็กระทำด้วยกรรมวิธีการสูบน้ำออกในช่วงที่มีฝนตก จุดที่พบว่าการแตกหักแห่งหนึ่งนั้นอยู่ทางมุมตะวันตกเฉียงใต้ของบริเวณที่ขุดเจาะ (ดังรูปที่ 3) ซึ่งพบภายหลังจากที่ได้ทำการขุดเจาะแล้วเสร็จได้ 85 วัน ระหว่างนั้นได้เกิดรอยแยกตามแนวคิงตรงบริเวณส่วนบนของการขุดเจาะ ทำให้น้ำใต้ดินแทรกเข้ามาท่วมบริเวณขุดเจาะมีความสูงถึง 2.20 เมตร ในวันที่ 93 หลังจากการขุดเจาะ มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการสูบน้ำทิ้งและทำการสูบน้ำออกตลอด 24 ชั่วโมง ระดับน้ำในแอ่งจึงลดลงอย่างรวดเร็วจนลงมาอยู่ที่ระดับ 0.70 เมตร อย่างไรก็ตามพื้นลาดเอียงบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ก็พังทลายลงมาในวันที่ 94 ของการขุดเจาะ

จากสังเกตการณ์นี้มีางลงมคิดว่าไม่สามารถขุดลึกลงไปได้มากกว่านี้คือในความลึก 4 เมตร ได้ ข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียในการเพิ่มเสถียรภาพของมวลดินที่เป็นดินเหนียวเนื้อนํ้าของแอ่งเจ้าพระยาบริเวณนี้ก็คือ การเสริมโครงสร้างด้วยสันยื่นกำแพง (buttress)

หรือเพิ่มเสาเข็มเข้าไปโดยใช้กำแพงเข็มพืด (sheet pile) โดยรอบบริเวณที่ทำการขุดเจาะนั้น จึงพบว่ามวลดินในแอ่งดินนี้มีสภาพพลาสติกได้ง่ายเมื่อเปียกน้ำ

ผลการขุดเจาะสำรวจชั้นดินในเขตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้มีการตรวจสอบสภาพชั้นดินเพื่อทำการก่อสร้างอาคารสูง 11 ชั้นในเขตที่ดินของสถาบันฯ ในระหว่างปี พ.ศ.2541 ถึง 2542 ตั้งแต่ผิวดินลงไปยังระดับความลึกที่ 50 เมตรเพื่อศึกษาวิเคราะห์ถึงลักษณะชั้นดินและนำได้ดินพร้อมทั้งนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลของการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.2 ลักษณะชั้นดินจากผลการสำรวจและวิเคราะห์

ความลึก – เมตร	ชนิดดิน	SPT (ครั้ง/ฟุต)
0 - 2.50	ดินถม	-
2.50 - 18.30	ดินเหนียวอ่อนมาก-แข็งปานกลาง	$S_u=0.6-2.8t/m^2$
18.30 - 23.60	ดินเหนียวปนซิลต์แข็ง-ดินคาร์แข็ง-บางหลุมพบดินเหนียวปนทรายแทรกที่ - 21 เมตร	$S_u=4.6-15.7t/m^2$, 10 - 35
23.60 - 31.50	ทรายปนซิลต์แน่นปานกลาง – แน่นมาก	21
31.50 - 35.00	ดินเหนียวปนซิลต์แข็งมาก	19-22
35.00 - 39.00	ดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากสีเทาเข้ม-มีการยุบอัดตัวสูงและมีกำลังรับน้ำหนักต่ำ	12-27
39.00 - 40.95	ทรายปนซิลต์หวมถึงแน่นมาก-มีชั้นทรายหวมแทรกกันหลุมนี้	36-57
40.00 - 50.45	ทรายหยาบปนซิลต์หวมปานกลาง-แน่นมาก	26-60
หมายเหตุ	ระดับน้ำใต้ดินท่วมหลุมเจาะ 24 ชั่วโมง ที่ระดับ +,- 0.00 เมตร	ขึ้นอยู่กับฤดูกาลและปริมาณฝนตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะดินทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง (Soil Subsidence Phenomenon)

จากพื้นฐานธรณีวิทยาที่นำเสนอเบื้องต้นสามารถให้คำจำกัดความของสภาพชั้นดินของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้ดังต่อไปนี้

ชั้นดินชั้นบนสุดประกอบด้วยชั้นดินเหนียว(Soft Bangkok Clay) มีความหนาประมาณ 15 เมตรในทางปฐพีกลศาสตร์ให้นิยามว่ามีความไวสูง(Very Sensitive Clay) มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมากที่สุดประมาณ 1-2 ตันต่อตารางเมตร

1.1.9 แหล่งน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนใต้ ลึกลงไปได้พื้นดินมีแหล่งกวดทรายขนาดใหญ่และมีลักษณะกลมมน จึงมีช่องว่างที่สามารถเก็บกักน้ำบาดาลไว้ได้มากชั้นกวดทรายดังกล่าวเรียกว่าเป็นชั้นน้ำบาดาลจะวางตัวสลับอยู่กับชั้นดินเหนียวก่อให้เกิดเป็นชั้นน้ำบาดาลหลายชั้นซ้อนกันและแยกจากกันโดยตลอด ชั้นน้ำบาดาลดังกล่าวนี้แผ่ขยายไปทางทิศเหนือถึงเขตจังหวัดชัยนาท แผ่ขยายไปทางทิศตะวันตกและตะวันออกของกรุงเทพมหานคร จรดขอบแอ่งเจ้าพระยา ส่วนทางใต้จรดอ่าวไทย กรุงเทพมหานครจึงมีแหล่งน้ำบาดาลขนาดใหญ่และมีปริมาณมากที่สุดในอาณาบริเวณนี้

ผลจากการเจาะสำรวจปิโตรเลียมทราบว่า บริเวณท้องที่เขตราษฎร์บูรณะมีชั้นกวดทรายสลับชั้นดินเหนียวหนาดถึง 1830 เมตร โดยมีชั้นของน้ำบาดาลเก็บอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 600 เมตร และแบ่งออกได้เป็น 8 ชั้น รูปที่ 12.12 ส่วนที่ลึกลงไปมากกว่า 600 เมตรลงไปก็ยังมีชั้นน้ำบาดาลอีกแต่ยังไม่มีการขุดนำมาใช้

ชั้นน้ำชั้นที่ 1 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำกรุงเทพ” อยู่ลึกประมาณ 50 เมตรจากผิวดิน ไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้เนื่องจากมีสภาพเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็มยกเว้นในท้องที่ทางตอนใต้ของกรุงเทพบางแห่งซึ่งพอนำไปใช้ได้เนื่องจากมีความกร่อยน้อยกว่าเขตอื่น และไม่สารธาที่ดึกว่านี้ได้

ชั้นน้ำชั้นที่ 2 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำพระประแดง” อยู่ลึกประมาณ 100 เมตรจากผิวดิน

ชั้นน้ำชั้นที่ 3 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำนครหลวง” อยู่ลึกประมาณ 150 เมตรจากผิวดิน

ชั้นน้ำชั้นที่ 4 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำนทบุรี” อยู่ลึกประมาณ 200 เมตรจากผิวดิน ชั้นน้ำ

ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 นี้ให้น้ำได้มากมีคุณภาพดี เหมาะแก่การอุปโภคบริโภค จึงมีการใช้มากที่สุด บ่อน้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการและนนทบุรีจะสูบน้ำจากชั้นใดชั้นหนึ่งใน 3 ชั้นนี้ เนื่องจากมีปริมาณการใช้มากและเป็นเวลาต่อเนื่องอันยาวนาน จึงเป็นเหตุให้ระดับน้ำลดลงมาก น้ำซึมเข้ามาทดแทนไม่ทัน จนเกิดวิกฤตการณ์น้ำบาดาลขึ้น

ชั้นน้ำชั้นที่ 5 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำสามโคก” อยู่ลึกประมาณ 300 เมตรจากผิวดิน ปัจจุบันได้เริ่มมีการพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้สำหรับการอุตสาหกรรมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอำเภอลาดหลุมแก้วและอำเภอเมืองปทุมธานี

ชั้นน้ำชั้นที่ 6 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำพญาไท” อยู่ลึกประมาณ 350 เมตรจากผิวดิน ชั้นนี้ให้คุณภาพน้ำไม่ดื่มนักต่างๆที่อยู่ในระดับลึกมากจึงไม่ค่อยมีการนำมาใช้

ชั้นน้ำชั้นที่ 7 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำธนบุรี” อยู่ลึกประมาณ 450 เมตรจากผิวดิน

ชั้นน้ำชั้นที่ 8 ซึ่งมีชื่อว่า “ชั้นน้ำปากน้ำ” อยู่ลึกประมาณ 550 เมตรจากผิวดิน เป็นชั้นที่ให้น้ำจืดคุณภาพดี มีอุณหภูมิประมาณ 42-49 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากอยู่ลึกมาก จึงต้องมีค่าใช้จ่ายในการขุดเจาะและพัฒนาน้ำบาดาลที่สูงมาก โรงงานอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่และพร้อมเท่านั้นที่สามารถจะลงทุนทำได้

บริเวณที่มีการพัฒนาน้ำบาดาลในระดับที่ลึกถึงประมาณ 600 เมตรนั้น ผลจากการสำรวจของกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี จนถึงปี พ.ศ. 2536 มีมากกว่า 20 บ่อ ส่วนใหญ่อยู่ในท้องที่อำเภอพระประแดงและอำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอบางบ่อ หรืออยู่ในเขตบางขุนเทียนกรุงเทพมหานคร อำเภอลาดหลุมแก้วจังหวัดปทุมธานี ซึ่งปรากฏแล้วว่าในชั้นน้ำที่ตื้นกว่านี้นั้น ให้คุณภาพน้ำต่ำจนไม่สามารถนำไปใช้ได้

ปัญหาแผ่นดินทรุดตัวของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครมีปัญหาแผ่นดินทรุดต่อเนื่องกันยาวนาน ทำให้มีการศึกษาเรื่องนี้กันอย่างจริงจัง ในปี พ.ศ.2526 ได้มีการศึกษาปัญหาการทรุดตัวของกรุงเทพฯ กำหนดเขตวิกฤตการณ์และแผ่นดินทรุด โดยแบ่งความรุนแรงออกเป็น 3 ระดับ

- เขตวิกฤตอันดับ 1 พื้นที่ ที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินมากกว่า 10 ซม./ปี หรือน้ำบาดาลลดลงอย่างรวดเร็ว ครอบคลุมหลายเขตทางตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยารวมทั้งเขตบางกะปิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เขตวิกฤตอันดับ 2 พื้นที่ ที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินระหว่าง 5-10 ซม./ปี หรือน้ำบาดาลลดลงมาก

- เขตวิกฤตอันดับ 3 พื้นที่ ที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินน้อยกว่า 5 ซม./ปี หรือน้ำบาดาลลดลงไม่มาก

ก่อนปี พ.ศ.2526 บางกะปิอยู่ในเขตวิกฤตแผ่นดินทรุดตัวรุนแรง จากข้อมูลของกรมพื้นที่ทหารในปี พ.ศ.2525 พื้นที่บริเวณต่ำสุดของพื้นดินกรุงเทพฯ อยู่ที่บริเวณมหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก ซึ่งหมุดหลักฐานดังกล่าวอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 4 ซม.

หลังจากมีมาตรการกำหนดให้การประปานครหลวงเลิกใช้น้ำบาดาล จะช่วยหยุดยั้งการทรุดตัวของแผ่นดินได้บ้าง แต่ก็ยังมีการทรุดตัวอยู่ กรมทรัพยากรธรณีได้มีการประกาศเขตวิกฤตน้ำบาดาลใหม่เมื่อวันที่ 8 พ.ย. พ.ศ.2538 ปรากฏว่าเขตบางกะปิยังจัดอยู่ในกลุ่มเขตวิกฤตน้ำบาดาลอันดับที่ 1 อยู่โดยพื้นที่ ที่อยู่ในกลุ่มนี้มีระดับน้ำบาดาลลดลงมากกว่า 3 ซม./ปี

ในการออกแบบและก่อสร้างอาคารเพื่อสนองประโยชน์ใช้สอยในปัจจุบันมีความจำเป็นต้องกำหนดอายุใช้งานของ โครงสร้างอาคารนั้นๆ ให้ยืนยาวที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่มักประสบปัญหาความชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะวิกฤตทางสภาพแวดล้อม เช่นเกิดภาวะน้ำท่วม แผ่นดินทรุด น้ำทะเลกัดเซาะ เป็นต้น นำมาซึ่งการกักกร่อนในโครงสร้างอาคารทำให้เกิดความสูญเสียความแข็งแรงและอาจจะนำไปสู่การวิบัติของอาคารอย่างประเมินค่าไม่ได้

การศึกษาหาทางเลือกในการออกแบบชนิดอื่นมาเสริมหรือทดแทนวิธีการดั้งเดิมเพื่อการใช้สอยอาคารให้ได้ผลคุ้มค่าและเพื่อการอยู่อาศัยที่ถาวรและยั่งยืน หรืออีกนัยหนึ่ง นั่นคือการประยุกต์ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อสร้าง “สถาปัตยกรรมในน้ำ” ที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานจึงนับว่าเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างสรรค์งานสถาปัตยกรรมในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ค้นหาและวิเคราะห์อัตราของความเสื่อมสลายของโครงสร้างอาคารที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ถูกคุกคามโดยการทรุดของดินและน้ำท่วมขัง วิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของดินที่ทรุดตัวลงอย่างต่อเนื่องของกรุงเทพมหานครเฉพาะอย่างยิ่งอาคารสาธารณะที่ปลูกสร้างอยู่แล้วในเขตลาดกระบัง

2. สํารวจอัตราการแตกร้าวของโครงสร้างและการกักร่อนของเหล็กเสริมคอนกรีตในส่วนที่สัมผัสอยู่กับดินหรือในโพรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทรุดตัวดังกล่าวเพื่อหาวิธีแก้ไขต่อไป

3. เสาะหาและแนะนำเทคนิคใหม่ๆเพื่อการเสริมกำลังเช่นควบคุมการแตกร้าว ด้วยเทคนิคการอัดแรงในคอนกรีต เพื่อ ออกแบบการใช้วัสดุที่ทนทานถาวรมากกว่าวัสดุโครงสร้างชนิดเก่าเพื่อยืดอายุการใช้งาน หลีกเลี่ยงการซ่อมแซมบ่อยๆ นูรณปฏิสังขรณ์ให้มีสภาพใช้ได้ดั้งเดิม เป็นการยืดอายุการใช้งานของอาคาร

4. เผยแพร่ผลที่การศึกษาค้นคว้า เข้าสู่การวิจัยค้นคว้าในระดับนานาชาติ นำเสนอเทคโนโลยีเฉพาะแห่งการบูรณปฏิสังขรณ์อาคารในภูมิภาคนี้ อันจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถประหยัดงบประมาณในการก่อสร้างและการบำรุงรักษาอย่างมากในระยะยาว

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สถาปนิกผู้ออกแบบโครงการมักจะคำนึงถึงการใช้สอยอาคารมากกว่าการที่จะหิบบกเอาความได้เปรียบและเสียเปรียบในทางภูมิศาสตร์เข้ามาพิจารณา หากไม่มีการนำเอาความรู้ทางด้านปฐพีกลศาสตร์โดยละเอียดเสียแต่ต้นการออกแบบร่างและแบบพัฒนา (design develop stage) ก็จะไม่ตระหนักถึงความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ที่ทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมลงในระยะยาว โครงการวิจัยนี้จำกัดขอบเขตที่จะไม่ทำการจะวิเคราะห์ทางทฤษฎี หรือพฤติกรรมของ โครงสร้างที่ซับซ้อน

การสำรวจจะทำขึ้นเป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับที่มีอยู่เดิมแล้ว ทำการหาตรรกะที่เที่ยงตรงที่จะบอกกับสถาปนิกผู้ออกแบบอาคารว่า เขาจะต้องเตรียมรับกับธรรมชาติของการทรุดหนึลงไปอย่างต่อเนื่องของดินอย่างไรจึงจะสามารถลดอัตราความเสียหายลงจนสามารถประหยัดงบประมาณก่อสร้างและการทำนุบำรุงลงได้ ข้อมูลอันอาจจะเคยมีใช้อยู่แล้วในทางด้านปฐพีกลศาสตร์จะถูกทำการยืนยันให้มีความชัดเจนขึ้นด้วยการใช้เทคโนโลยีในการแสดงเป็นรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ให้มีความชัดเจนขึ้นในสามมิติ เพื่อการออกแบบเพื่อเลี่ยงการวิบัติของทั้งตัวโครงสร้างเอง อีกทั้งความเสียหายของอุปกรณ์ด้านงานระบบวิศวกรรมอื่นๆที่เข้ามาอยู่ในอาคารอีกด้วย งานนี้จึงเป็นการเสริมความมั่นใจต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในโปรเจ็คที่ต่างก็มีความมุ่งมั่นที่จะสร้างงานสถาปัตยกรรมที่ยั่งยืนเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1. การทрудตัวของดินที่ปรากฏอยู่เป็นที่ยอมรับกันว่าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด ผลของปรากฏการณ์นี้มีอิทธิพลต่อความเสื่อมของสิ่งแวดล้อมรอบนอกของอาคารอีกทั้งต่อโครงสร้างของอาคารเองอย่างปัญหาที่เกาะกินอยู่นานจนกลายเป็นความเคยชิน

2. โครงสร้างของอาคารอาจเกิดการชำรุดเสียหาย อันเป็นผลสืบเนื่องการทрудตัวอย่างต่อเนื่องของดินใต้อาคารนั้น ความเสียหายดังกล่าวอาจจะลดรอนอายุการใช้งานของโครงสร้าง จึงควรที่จะถูกหยิบยกขึ้นศึกษาเป็นวาระเร่งด่วน และหากไม่แก้ไขให้ทันเวลาแล้ว โครงสร้างอาจจะวิบัติ เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน สิ้นเปลืองงบประมาณในการก่อสร้างขึ้นใหม่ และกระทบต่อเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อมจนยากแก่การแก้ไขในที่สุด

3. การบูรณะโครงสร้างอาคารที่เสียหายไปอันเป็นผลสืบเนื่องจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น หรือสาเหตุอื่นที่ใกล้เคียงกันนั้น นับเป้าหมายอันสูงสุดสำหรับภาวะการณ์ปัจจุบัน หากการออกแบบสถาปัตยกรรมสามารถรวบรวมเอาเทคโนโลยีในการป้องกันหรือหลีกเลี่ยงความเสียหายดังกล่าวได้ก็จะทำให้ศาสตร์ของออกแบบอาคารสถาปัตยกรรมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การวิจัยค้นคว้าในเรื่องนี้ยังนับได้ว่ามีอยู่น้อยมากในปัจจุบัน อนึ่ง สถาปนิก และ วิศวกรกำลังออกมาตรการการตรวจสอบอาคารเพื่อการบังคับใช้ การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงนับได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำผลการวิจัยไปเผยแพร่ในวารสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สมาคมสถาปนิกสยาม สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และวารสาร วงการก่อสร้างของสมาคมช่างเหมาไทย เป็นต้น

2. แนะนำการใช้เทคโนโลยีทางการออกแบบสถาปัตยกรรมที่เจริญรุดหน้า เช่นการออกแบบโดยใช้โครงสร้างเหล็ก เหล็กถวดแรงดึงสูง และระบบการก่อสร้างสำเร็จรูป เข้ามาเสริมโครงสร้างชนิดเดิม เป็นบรรทัดฐานใหม่ในการออกแบบสถาปัตยกรรมต่อไป

3. สามารถใช้เป็นข้อมูลเสริมการแก้ไขและทดแทนคุณสมบัติที่ด้อยของเหล็กที่ผู้กร่อนไปตามเวลาและสิ่งแวดล้อม ได้ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยดุลยวินิจของสถาปนิกและวิศวกรหรือผู้ชำนาญงาน โดยไม่ต้องรอผลจากห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม อันอาจเกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สร้างคุณภาพในสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นแล้ว (the built environment) และเป็นเทคโนโลยีที่จะประสานกับสถาบันอื่นที่กำลังดำเนินการศึกษาค้นคว้าอย่างกว้างขวางในระดับนานาชาติ เช่นที่ประเทศ อังกฤษ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และ ญี่ปุ่น เป็นต้น
5. สามารถประยุกต์ในงานบูรณปฏิสังขรณ์ และสามารถนำเอาโครงสร้างที่ยังไม่เสื่อมสลายอย่างสิ้นเชิงกลับมาใช้ใหม่ เหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน
6. สอดคล้องกับนโยบายของสภาสถาปนิกและสภาวิศวกรทางการออกการตรวจสอบและออกข้อบังคับอาคารที่เปิดใช้แล้ว ซึ่งกำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน
7. สามารถที่จะส่งเสริมให้มีการศึกษาวิจัยในหัวข้อนี้และหัวข้อที่ใกล้เคียงในเชิงกว้างต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ปัญหา สาเหตุแห่งความสูญเสียของอาคารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Building Deterioration Problems and the Related Documents

2.1 การแก้ปัญหาการถล่มที่ตำหรือการก่อสร้างในที่ราบลุ่ม

เนื่องจากไม่สามารถนำมาตรการทางด้านกฎหมายผังเมืองมาบังคับใช้อย่างเป็นรูปธรรม หรือไม่สามารถควบคุมบังคับมิให้มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ให้แตกต่างไปจากสภาพเดิมโดยการถมที่ อีกทั้งไม่สามารถเสนอแนะให้เป็นรูปธรรมให้การปลูกสร้างบ้านเรือน เป็นไปตามลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เป็นหลัก เช่น ปลูกแบบมีได้สูง เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็น ปัญหาที่หมักหมมมานาน

นอกจากการแก้ไขและป้องกันปัญหาดังที่กล่าวแล้วอาจต้องมีมาตรการอื่นเข้ามาช่วยเสริม ได้แก่ การเร่งก่อสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีน้ำท่วมซ้ำซาก เช่น ลุ่มน้ำยม การก่อสร้างฝายแบบขั้นบันไดเพื่อให้เป็นแก้มลิงคอยช่วยชะลอการหลากในพื้นที่เสี่ยงภัย เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในขณะนี้จะให้ได้ผลลัพท์ร้อยเปอร์เซ็นต์คงเป็นเรื่องที่ยาก เพราะต้องยอมรับสภาพความจริงก่อนว่าการขยายตัวอย่างกระจุกกระจายและขาดการวางแผน ของชุมชนเมืองตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ทำให้การตามแก้ปัญหาเป็นเรื่องที่ยาก ไม่แตกต่างจากการแก้ปัญหาคารจรจรของกรุงเทพฯ ในปัจจุบัน แต่กระนั้นก็คงจะดีกว่าที่เราจะไม่มามองหาทาง ป้องกันแต่อย่างใดเลย

การศึกษาปัญหาน้ำท่วมอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาข้อมูลน้ำท่วมจากในอดีต พบว่าอุทกภัยบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างตั้งแต่อดีต ที่ผ่านมา เป็นปัญหากับวิถีชีวิตของคนไทยมานานแล้ว สาเหตุหลักเพราะเราไปตั้งถิ่นฐานในบริเวณ ที่มีน้ำท่วม หรือตามริมแม่น้ำลำคลอง ซึ่งพื้นที่เหล่านั้นเป็นพื้นที่ล่อแหลมต่อการเกิดน้ำท่วม ใน พื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างก่อนปี พ.ศ. 2411 พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ลุ่มต่ามีน้ำท่วมขัง เกือบตลอดทั้งปี หลังจากนั้นก็มีการขุดคลองระบายน้ำ ผันน้ำออกจากพื้นที่บ้าง แต่ก็ยังคงได้รับ ผลกระทบจากอุทกภัยอยู่ สรุปได้ดังนี้

ปี พ.ศ. 2485 เป็นน้ำท่วมครั้งที่รุนแรงที่สุดเท่าที่มีการบันทึกไว้ ระดับน้ำที่สะพานพุทธหยุด ฟาจุพาโลก มีระดับน้ำถึง 2.25 เมตร อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการวัดในอดีตอาจจะไม่ถูกต้อง แม่นยำนัก แต่เป็นข้อมูลที่สำคัญ เนื่องจากลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาสถมัยนั้นเป็นสภาพธรรมชาติที่สุด เนื่องจากยังไม่มี การสร้างเขื่อน

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือระบบป้องกันน้ำท่วม จึงอาจใช้ข้อมูลที่ได้นี้เป็นข้อมูลอ้างอิง เปรียบเทียบกับน้ำท่วมในปี
หลังๆ ต่อไป

ปี พ.ศ. 2521 ฝนตกหนักบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน ที่สถานีวัดน้ำนครสวรรค์ และ
ชัยนาท มีปริมาณการไหลสูงสุดที่ 3,500 ลบ.ม./วินาที และ 3,800 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ น้ำส่วน
หนึ่งถูกพักไว้ด้วยทุ่งตามธรรมชาติ ทำให้ลดปริมาณได้มาก แต่น้ำที่มาจากแม่น้ำป่าสักมาากทำให้
น้ำไหลเข้ามาถึงกรุงเทพฯ เร็วกว่าปกติ ระดับน้ำสูงสุดที่วัดได้ที่สะพานพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก มี
ระดับน้ำถึง 2.05 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ปี พ.ศ. 2523 ปีนี้สามารถรับมือกับน้ำเหนือไหลบ่าได้ดี แต่มีน้ำท่วมหลายพื้นที่ที่มีสาเหตุจากมี
หย่อมความกดอากาศที่กั้นอ่าวไทย ทำให้เกิดฝนตกหนักมากบริเวณชานเมืองตั้งแต่สนามบินดอน
เมือง บางเขน ลาดพร้าว บางกะปิ บางเขน และบริเวณที่เป็นที่ลุ่ม วัดปริมาณฝนได้มากกว่า 200
มิลลิเมตร ในระยะเวลาเพียง 4 วัน แต่เนื่องจากพื้นที่บริเวณนั้นเป็นที่ลุ่มมากสูงกว่าระดับน้ำทะเล
เพียงเล็กน้อยทำให้ระบายออกสู่ทะเลได้ยาก และใช้เวลานานมาก ความเสียหายที่เห็นได้ชัดคือ
สถานที่ที่อยู่ในระดับต่ำ เช่นมหาวิทยาลัยรามคำแหง

ปี พ.ศ. 2526 ได้เกิดน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เพราะมีพายุหลายลูกนำฝนมาตก
อย่างหนัก และติดต่อกันยาวนานในกรุงเทพฯ ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันเป็นบริเวณกว้างในย่าน
สุขุมวิท, รามคำแหง, พระโขนง, บางนา, ลาดพร้าว, บางกะปิ, บางเขน, ห้วยขวาง โดยเฉพาะถนน
วิภาวดี มีน้ำท่วมตั้งแต่สะพานลอยเกษตรเป็นต้นไป นอกจากนี้ย่านสำโรง และสมุทรปราการก็ท่วม
เช่นกัน น้ำท่วมครั้งนี้นี้อยาวนาน 3 เดือน ทั้งนี้เพราะมีน้ำท่าหลากจากทางตะวันออก และทางด้าน
เหนือของพื้นที่ชานเมืองด้านตะวันออกของกรุงเทพฯ รวมถึงกับน้ำเหนือสูงสุดหลากมาหนุนพอดี
หลังจากนั้นยังต่อเนื่องด้วยน้ำทะเลหนุนสูง จึงทำให้ระบายน้ำออกจากกรุงเทพฯ ได้ลำบาก โดย
สามารถระบายน้ำออกได้เพียงวันละ 6 มิลลิเมตรเท่านั้น

ความพยายามในการแก้ปัญหาของทางกรุงเทพมหานคร

ทาง กทม. ได้มีความคิดที่จะสร้างเพิ่มเติมความสูงของคันกั้นน้ำ รวมทั้งหาแนวทางป้องกัน
กรณีปริมาณน้ำล้นคันกั้นน้ำ ซึ่งอาจต้องใช้ถนนบางสายเป็นทางกั้นน้ำไม่ให้น้ำไหลเข้าท่วมพื้นที่
ชั้นในมากขึ้น หากน้ำล้นคันกั้นน้ำ ผู้ที่ได้รับผลกระทบคือประชาชนที่อาศัยอยู่ริมแม่น้ำเจ้าพระยา คง
ไม่ท่วมถึง กทม. ชั้นใน อย่างไรก็ตาม ฝนยังเป็นตัวแปรสำคัญของการเพิ่มปริมาณน้ำเข้าในพื้นที่
กทม. ชั้นใน หากมีฝนตกช่วงเวลาที่น้ำทะเลหนุนหากมีฝนตกมากต่อเนื่องและไม่สามารถสูบน้ำลง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สู่มแม่น้ำเจ้าพระยาได้ทัน เนื่องจากน้ำหนุนสูง

2.2 แนวทางในการออกแบบโครงสร้างป้องกันน้ำท่วม

ในการออกแบบและก่อสร้างอาคารเพื่อสนองประโยชน์ใช้สอยในปัจจุบันมีความจำเป็นต้องกำหนดอายุใช้งานของโครงสร้างอาคารนั้นๆ ให้ยืนยาวที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่มักประสบปัญหาความชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะวิกฤตทางสภาพแวดล้อม เช่นเกิดภาวะน้ำท่วม แผ่นดินทรุด น้ำทะเลกัดเซาะ เป็นต้น โครงสร้างอาคารเกิดการกัดกร่อนทำให้สูญเสียความแข็งแรงและอาจจะนำไปสู่การวิบัติของอาคารได้

ตรงจุดนี้คณะวิจัยเสนอว่าควรจะศึกษาหาทางเลือกในการออกแบบชนิดอื่นมาเสริมเพื่อทดแทนวิธีการดั้งเดิมซึ่งจะต้องอาศัยการประยุกต์ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อสร้าง “สถาปัตยกรรมในน่านน้ำ” ที่ดีกว่าและเผยแพร่ให้ใช้กันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.1 โซนของการพักน้ำจากที่ราบลุ่มเพื่อระบายลงอ่าวไทย

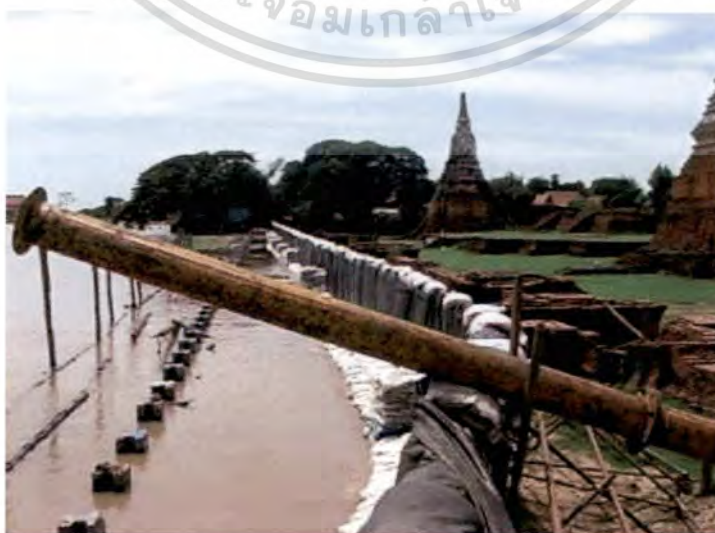
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุทกภัยบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างเป็นปัญหาเกี่ยวกับวิถีชีวิตของคนไทยมานานแล้ว ในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างนั้นพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ลุ่มต่ำมีน้ำท่วมขังเกือบตลอดทั้งปี หลังจากนั้นก็มีการขุดคลองระบายน้ำ ผันน้ำออกจากพื้นที่บ้าง แต่ก็ยังคงได้รับผลกระทบจากอุทกภัยอยู่ตลอดมา สรุปได้ดังนี้

ปี พ.ศ. 2521 เกิดฝนตกหนักบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน ที่สถานีวัดน้ำนครสวรรค์ และชัยนาท มีปริมาณการไหลสูงสุดที่ 3,500 ลบ.ม./วินาที และ 3,800 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ น้ำส่วนหนึ่งถูกพักไว้ด้วยทุ่งตามธรรมชาติ ทำให้ลดปริมาณได้มาก แต่น้ำที่มาจากแม่น้ำป่าสักมามากทำให้น้ำไหลเข้ามาถึงกรุงเทพฯ เร็วกว่าปกติ ระดับน้ำสูงสุดที่วัดได้ที่สะพานพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมีระดับน้ำถึง 2.05 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง



รูปที่ 2.2 การยกติดตั้งผนังกันน้ำปลอดสนิม



รูปที่ 2.3 การปรับโครงสร้างเขื่อนกันน้ำนอกผนังกันน้ำปลอดสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



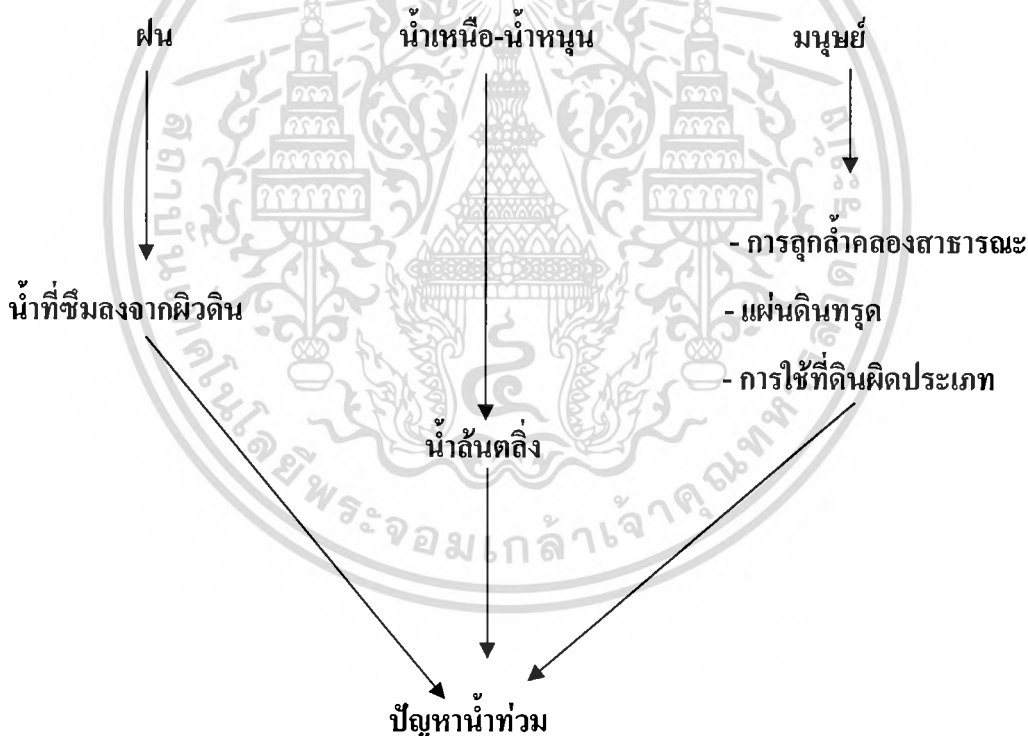
รูปที่ 2.4 ทักษะสภาพภายในของผนังกันน้ำปลอดสนิมขณะใช้งาน

คณงานก่อสร้างของ บ.ไทยวัฒน์วิศวกรรม จำกัด สาขิศาสตร์ติดตั้งแนวกำแพงป้องกันน้ำท่วมถาวรหน้าโบราณสถานวัดไชยวัฒนาราม อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา ซึ่งกำแพงป้องกันน้ำท่วมดังกล่าว ทำจากแผ่นสแตนเลส กว้าง 1.20 เมตร ยาว 2.10 เมตร ติดตั้งตลอดแนวริมแม่น้ำเจ้าพระยาหน้าวัดไชยวัฒนาราม รวมระยะทางเกือบ 400 เมตร ซึ่งกำแพงป้องกันน้ำท่วมที่จัดสร้างขึ้น จะเป็นแบบพับเก็บได้ โดยมีแผ่นปูนกว้าง 50 ซม. ยาว 1 เมตร ปิดทับอีกชั้น เพื่อความสวยงาม นายสมยศ สุนทรวิวงศ์ วิศวกรโยธาชำนาญการ กรมโยธาธิการและผังเมือง เปิดเผยว่า โครงการซ่อมแซมและปรับปรุงกันน้ำท่วมพื้นที่โบราณสถานวัดไชยวัฒนาราม ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 49.5 ล้านบาท เริ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 28 กรกฎาคม 2550 แล้วเสร็จในวันที่ 20 กันยายน 2552 โดยจนถึงขณะนี้การก่อสร้างมีความคืบหน้าไปกว่าร้อยละ 80 เหลือเพียงการตกแต่ง และเก็บรายละเอียดเล็กน้อยก็จะสมบูรณ์ทั้งนี้กำแพงดังกล่าววิศวกรกรมโยธาธิการและผังเมือง ที่เป็นผู้ออกแบบและทดสอบ สามารถรับระดับน้ำได้ประมาณ 2 เมตร หรือที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง 5.4 ม. เพราะได้นำระดับน้ำสูงสุดเมื่อปี 2539 มาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณการรับน้ำของแผ่นสแตนเลส ซึ่งหลักการยังคงเหมือนเดิมคือยกแผ่นสแตนเลสขึ้นซึ่งมีเหล็กค้ำยันเป็นตัวประคอง หลังจากนั้นก็จะใช้ฝ้ายางปิดทับอีกชั้นหนึ่ง แต่ที่ดีกว่าของเก่า คืออุปกรณ์ทั้งหมดสามารถเก็บไว้ที่เดียวกัน เมื่อถึงเวลาน้ำท่วมใช้คนงานเพียงแค่ 2-3 คน ในการติดตั้งเพียงแค่ระยะเวลา 2 วัน ก็แล้วเสร็จ นายเมธาตล วิจักษ์ผู้อำนวยการอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา กล่าวว่า ในปีนี้กรมโยธาธิการและผังเมือง ร่วมกับจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกรมศิลปากร จะทดสอบกำแพงป้องกันน้ำท่วมในปีนี้เป็นปีแรก เพื่อดูว่ามีจุดบกพร่องใดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข แต่จากการติดตามดูการติดตั้งพบว่า กำแพงป้องกันน้ำท่วมในครั้งนี้อาจดีกว่าของเดิมที่ผ่านมา เพราะประหยัดเวลาและแรงงาน ที่สำคัญไม่ต้องเสียเวลาในการติดตั้งนั่งร้านเพื่อก้ำยันแผ่นปูน และไม่ต้องเสียงงบประมาณในการจัดซื้อกระสอบทรายเหมือนทุกปีที่ผ่านมา ที่สำคัญระยะเวลาในการติดตั้งเร็วกว่าของเดิม ซึ่งเชื่อว่ากำแพงป้องกันน้ำท่วมนี้ จะสามารถป้องกันน้ำท่วมได้ดี และไม่ทำให้ทัศนียภาพการท่องเที่ยวทางน้ำเสียไปด้วย

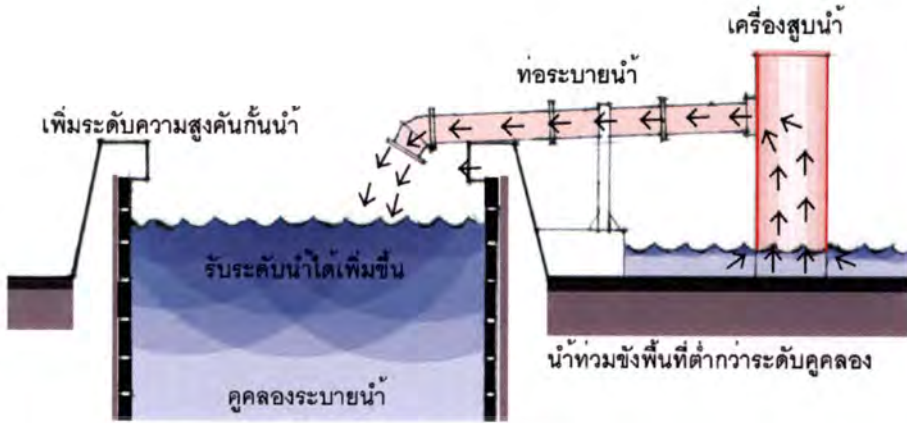
2.3 ปัญหาจากการวางผังเมืองในอดีต

ใช้ที่ดินไว้ระบาย บุกรุกคลองสร้างถนน ที่วางที่เคยเป็นที่รับน้ำเวลาน้ำท่วม ถูกนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น สิ่งปลูกสร้างที่สร้างภายหลัง ขวางทางเดินน้ำเดิมทำให้เกิดน้ำขังในบางพื้นที่

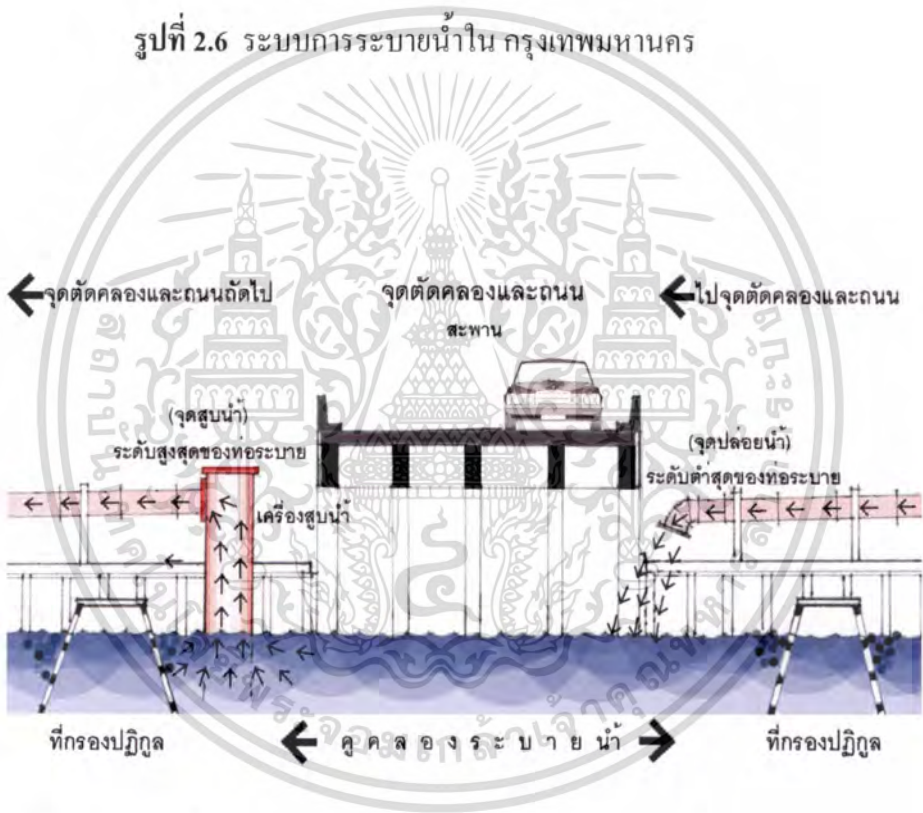


รูปที่ 2.5 สภาวะการเกิดน้ำท่วมใน ก.ท.ม.¹

¹ กองสารสนเทศระบายน้ำ ปรับปรุงเมื่อ 1/9/50



รูปที่ 2.6 ระบบการระบายน้ำใน กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2.7 การติดตั้งระบบระบายน้ำเหนือพื้นดินด้วยระบบท่อไปตามคูคลอง

บางครั้งแหล่งน้ำที่ใช้ระบายน้ำปลายทางเกิดรับน้ำจนใกล้ขีดจำกัดที่จะรองรับได้ ในขณะที่แหล่งระบายอีกแห่งที่อยู่ห่างออกไปยังมีขีดความสามารถรองรับได้อยู่ การระบายน้ำจากแห่งหนึ่งไปสู่อีกแห่งหนึ่งจึงเป็นเรื่องปกติแต่บางกรณีที่คูคลองที่เชื่อมระบบน้ำผิวดินเกิดเกินขีดความสามารถ เช่นกัน การระบายน้ำไปตามทางน้ำธรรมชาติปกติจึงต้องหยุดชะงักชั่วคราว พื้นที่เหนือพื้นดินที่มีอยู่อีกมาก จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการระบายน้ำที่อาจจะจำเป็นขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดทำ slope ที่มีความสำคัญสำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำมาก จากข้อมูลการเลือกใช้ท่อในการระบายน้ำฝน ตารางที่ 2 ในบทที่ 7 อาจสามารถออกแบบความลาดเอียงของท่อที่สามารถชะล้างตะกอนได้ด้วยตัวเองได้ตั้งแต่ 1:200 ถึง 1:2000

การออกแบบจะออกแบบให้จุดต่ำสุดของท่อให้พอดีกับจุดตัดกันของคูคลองและถนน โดยที่มีสะพานเป็นตัวข้าม หลังจากที่ถูกคลองลอดตัวสะพานไปแล้ว กำหนดจุดติดตั้งเครื่องสูบน้ำขึ้นสู่ท่อ โดยออกแบบให้บริเวณนั้นเป็นจุดสูงสุดของท่อ แล้วเดินท่อที่มีลักษณะเอียงลาดตามที่ออกแบบไว้ไปจนถึงจุดตัดต่อไปที่ออกแบบให้เป็นจุดที่เป็นจุดต่ำสุดของท่อ ระบบของท่อจะเป็นเช่นนี้ไปจนถึงคลองระบายอีกแห่ง หรือแหล่งน้ำปลายทางที่ต้องการระบายน้ำออกไป

2.4 ตัวอย่างแนวทางแก้ปัญหาจากภาครัฐในภาวะการณน้ำท่วม

บ้านลอยน้ำในต่างประเทศ

รูปข้างล่างนี้แสดงให้เห็นแนวทางของการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาน้ำท่วมขังในเขตที่อยู่อาศัยที่กำลังพัฒนาอย่างเร่งด่วนในปัจจุบัน



รูปที่ 2.8 บ้านลอยน้ำในสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบ้านลอยน้ำโดยความร่วมมือจากกรมโยธาธิการและผังเมืองฯ

ภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศไทยได้ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก ทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ประสบภัยซึ่งที่กล่าวมาแล้วนั้น กรมโยธาธิการและผังเมืองซึ่งมีภารกิจหลักประการหนึ่งคือการให้บริการแบบบ้านเพื่อประชาชนที่มีอยู่อย่างหลากหลายรูปแบบในระดับราคาต่างกันอยู่แล้วนั้น ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของบ้านที่จะสามารถป้องกันภัยดังกล่าวได้ จึงได้เริ่มทำการศึกษาเพื่อการออกแบบ จากแหล่งต่างๆ ทั้งจากในและต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บ้านท่าขนอน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งยังมีบ้านลอยน้ำภูมิปัญญาชาวบ้าน ได้รับการอนุรักษ์ไว้ในพื้นที่

เมื่อ 27 กันยายน พ.ศ. 2550 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ได้เสด็จมายังกรมโยธาธิการและผังเมือง เพื่อทรงเปิดพระอนุสาวรีย์สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอเจ้าฟ้ากรมพระยานริศรานุวัดติวงศ์ เมื่อได้ทอดพระเนตรนิทรรศการแบบบ้านเพื่อประชาชนของกรมฯ แล้วได้พระราชทานพระราชดำริเกี่ยวกับ “บ้านลอยน้ำ”

กรมโยธาธิการและผังเมืองจึงออกแบบบ้านลักษณะดังกล่าวขึ้น โดยปรับใช้แนวคิดจาก “บ้านลอยน้ำท่าขนอนและเรือนแพของชาวบ้านในอดีต นำมาประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน ซึ่งในฤดูแล้งตัวบ้านจะตั้งอยู่บนพื้นดินตามปกติ แต่เมื่อมีน้ำท่วมก็จะลอยขึ้นตามระดับน้ำได้โดยจะมีการยึดตัวบ้านไว้กับเสาหลักทั้งสี่มุมเพื่อป้องกันการโคลงตัวหรือลอยไปตามกระแสน้ำ และเมื่อระดับน้ำลดลงตัวบ้านก็จะกลับมาตั้งอยู่บนพื้นดินตามเดิม แนวความคิดนี้ยังตั้งอยู่บนพื้นฐานของการใช้วัสดุสำเร็จรูปที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดเพื่อให้เป็นการใช้วัสดุที่คุ้มค่าที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้และทำการก่อสร้างได้ง่าย เนื่องจากมีระบบวิศวกรรม โครงสร้างเป็นรูปแบบอย่างง่าย ชาวบ้านที่มีความรู้ด้านช่างในระดับทั่วไปก็จะสามารถดำเนินการก่อสร้างได้เอง

ผู้ออกแบบได้ใช้หลักวิศวกรรม โครงสร้าง ศึกษาจากของต่างประเทศ เช่น ที่เนเธอร์แลนด์ แคนาดา และกัมพูชา รวมทั้ง “บ้านลอยน้ำท่าขนอน” อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่เป็นบ้านในเรือนแพของชาวบ้านในอดีต ใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านในการก่อสร้าง และปัจจุบันได้รับการอนุรักษ์ไว้ในพื้นที่ โดยนำมาประยุกต์ใช้กับสภาพปัจจุบัน เป็นที่มาของ “บ้านลอยน้ำ” ภายใต้แนวคิดที่ว่า ในฤดูแล้งตัวบ้านจะตั้งอยู่บนพื้นดินตามปกติ แต่เมื่อมีน้ำท่วมก็จะลอยขึ้นตามระดับน้ำได้ โดยออกแบบยึดตัวบ้านไว้กับเสาหลักทั้ง 4 มุม เพื่อป้องกันการโคลงตัวหรือลอยไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสน้ำ สามารถลอยขึ้นลงในระดับน้ำสูงถึง 2.40 เมตร เมื่อระดับน้ำลดตัวบ้านก็จะตั้งอยู่บนดินเหมือนเดิม วัสดุก่อสร้างทั้งหมดเป็นวัสดุสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด

ขนาดพื้นที่ใช้สอยมีรวม 60 ตารางเมตร ตรงกลางกันเป็นห้องนอนที่อยู่อาศัย 23 ตารางเมตรที่เหลือเป็นชานบ้านโดยรอบ 4 ทิศ เป็นส่วนพื้นที่ห้องน้ำ ห้องครัว ระเบียง หากสร้างเองตกประมาณ 719,000 บาท หากจ้างผู้รับเหมาราว 915,000 บาท เนื่องจากต้องใช้วัสดุที่แข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานนับ 10-20 ปี ไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อย โดยใช้โครงเหล็กทั้งหลัง ด้านล่างสุดใช้ทุ่นลอยเป็นถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร หรือถังไฟเบอร์กลาสราว 80 ถัง พร้อมวัสดุปิดทุ่นลอย มีบันไดขึ้นลง พื้นบ้านและผนังบ้านใช้ซีเมนต์บอร์ด หลังคากระเบื้อง ระบบสุขาช่วงหน้าแล้งจะไหลไปทางท่อระบาย ส่วนหน้าน้ำใช้ระบบบำบัดน้ำเสียไหลไปกับน้ำ ระบบสุขาภิบาลที่ใช้เป็นระบบการย่อยสลายโดยมีถังบรรจุลินทรีย์ EM ติดตั้งอยู่ใต้ห้องน้ำเพื่อย่อยสลายและเร่งการตกตะกอนของสิ่งปฏิกูล

ขณะนี้ออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว พร้อมแจกจ่ายให้กับประชาชนทันที ผู้สนใจสอบถามได้ที่ กองเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ กรมโยธาธิการและผังเมือง โทร. 0-2299-4471-72 หรือสอบถามรายละเอียด และขอแบบแปลนได้ที่ สำนักสถาปัตยกรรม กรมโยธาธิการและผังเมือง ชั้น 20 ถนนพระราม 6 โทร. 0-2299-4858, 0-2299-4877 และประชาชนสามารถนำแบบบ้านดังกล่าวไปขออนุญาตก่อสร้างได้ที่พื้นที่ นอกจากนี้กรมฯ เตรียมส่งแบบบ้านดังกล่าวไปที่กรุงเทพมหานคร (กทม.) เพื่อกระจายแบบบ้านลอยน้ำไปยังสำนักงานเขตต่าง ๆ ทั้ง 50 เขต และทุกจังหวัดทั่วประเทศ เพื่อเพิ่มช่องทางในการรับแบบบ้านของประชาชนให้สะดวกยิ่งขึ้นด้วย ราคาค่าก่อสร้างประมาณการได้ว่า กรณีดำเนินการก่อสร้างเองจะมีราคาประมาณหลังละ 719,000 บาท หากจ้างเหมาราคาประมาณหลังละ 915,000 บาท (รวมค่าดำเนินการ กำไรและภาษี)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง กล่าวว่า แบบบ้านลอยน้ำ เป็นทางเลือกใหม่ที่จะช่วยบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชนที่ต้องอยู่อาศัยในพื้นที่ที่ต้องประสบภัยน้ำท่วม เช่น ในที่ลุ่มใกล้แม่น้ำ ซึ่งสามารถนำรูปแบบบ้านไปประยุกต์การใช้งานให้เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของตัวเอง ซึ่งกรมฯ พร้อมให้คำแนะนำ และจะเก็บข้อมูลมาปรับปรุงแบบบ้านให้ตรงกับความต้องการของประชาชนมากขึ้น จากเดิมที่กรมฯ ได้ออกแบบบ้านต่าง ๆ ให้ประชาชนเลือกใช้ฟรีถึง 33 แบบไปแล้ว

แบบบ้านลอยน้ำของกรมโยธาธิการและผังเมืองนี้ น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชนที่ต้องอยู่อาศัยในพื้นที่ที่อาจต้องประสบภัยน้ำท่วมตามฤดูกาลได้เป็นอย่างดี กรมฯ เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สนับสนุนให้ประชาชนไปศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับแบบบ้านลอยน้ำ และหากมีข้อสงสัยสามารถติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้เป็น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้อยู่อาศัยในบริเวณที่เป็นที่ลุ่ม โดยอาจปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรูปแบบและพื้นที่ใช้สอยให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องตามความต้องการที่แท้จริงของตนเองต่อไป



รูปที่ 2.9 ลักษณะของบ้านลอยน้ำ ออกแบบโดยกรมโยธาธิการ

วัสดุก่อสร้าง ใช้วัสดุก่อสร้างพื้นฐานทั่วไปที่สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด ซึ่งสามารถดัดแปลงได้ตามความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ ทุนลอยเป็นถังน้ำม้นขนาด 200 ลิตร หรือถังไฟเบอร์กลาส กรณีต้องการความทนทานเพิ่มขึ้น

รายการประกอบแบบภาคต่อท้าย

1. ไม้กระดาน
 - 1.1 ไม้กระดาน ไม้เนื้อแข็งขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้อแข็งชนิดดี
 - 1.2 ไม้กระดาน ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
 - 1.3 ไม้กระดาน ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
 - 1.4 ไม้กระดาน ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
 - 1.5 ไม้กระดาน ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
2. ไม้ท่อนกลม
 - 2.1 ไม้ท่อนกลม ไม้เนื้อแข็งขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้อแข็งชนิดดี
 - 2.2 ไม้ท่อนกลม ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
 - 2.3 ไม้ท่อนกลม ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
 - 2.4 ไม้ท่อนกลม ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
 - 2.5 ไม้ท่อนกลม ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
3. วัสดุอื่น ๆ
 - 3.1 วัสดุอื่น ๆ ไม้เนื้อแข็งขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้อแข็งชนิดดี
 - 3.2 วัสดุอื่น ๆ ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี
 - 3.3 วัสดุอื่น ๆ ไม้เนื้ออ่อนขนาด 2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว ใช้ไม้เนื้ออ่อนชนิดดี

ชนิดไม้	ขนาด	ชนิดไม้	ขนาด
ไม้เนื้อแข็ง	2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว	ไม้เนื้ออ่อน	2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว
ไม้เนื้ออ่อน	2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว	ไม้เนื้ออ่อน	2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว
ไม้เนื้ออ่อน	2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว	ไม้เนื้ออ่อน	2 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว

แบบก่อสร้าง

เลขที่	รายการ
1.	สายรัดและสายรัดข้อมือแบบกันน้ำ
2.	สายรัดข้อมือแบบกันน้ำ
3.	สายรัดข้อมือแบบกันน้ำ
4.	สายรัดข้อมือแบบกันน้ำ

การใช้จ่ายเงิน

ประเภท	จำนวนเงิน
บ้านลอยน้ำ	100,000
วัสดุอื่น ๆ	50,000
ค่าแรง	50,000
รวม	200,000

รูปที่ 2.10 รายการประกอบแบบ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาแผ่นดินทรุดในประเทศไทย

การทรุดตัวอย่างต่อเนื่องของดินในกรุงเทพมหานคร

ในอดีตที่ผ่านมากรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ได้มีประสบปัญหาจากแผ่นดินยุบตัวลง นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาซ้ำซ้อนขึ้นอีกประการตามมามากหลายด้านเช่นเมื่อเป็นดินยุบตัวลง เมื่อแผ่นดินต่ำลงปัญหาน้ำท่วมย่อมเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำฝนตกมาในเวลาที่เหมาะสมติดต่อกันนานนาน ซึ่งมีผลโดยตรงกับโครงสร้างในงานสถาปัตยกรรม

จากการสำรวจการทรุดตัวของพื้นแผ่นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 ซึ่งมีวิธีการสำรวจและอัตราการทรุดตัวของพื้นดินได้ 2 วิธีคือการวัดรังดินระดับเครือข่ายหมุดหลักฐานในแต่ละปีตั้งรูป และการใช้เครื่องมือตรวจวัดของชั้นดิน

สถานการณ์แผ่นดินทรุดในช่วงปี พ.ศ. 2547 – 2548²

1. มีอัตราการทรุดตัวที่ 3 - 5 ซม. อยู่บริเวณ อ. เมือง จังหวัดสมุทรปราการ อ.ธัญบุรี จ. ปทุมธานี และเขตลาดกระบัง

2. อัตราการทรุดตัว 2 - 3 ซม. บริเวณ บริเวณ อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี อ.บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร อ. เมือง ละ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ เขต บางแคร์ กรุงเทพมหานคร และทาง ตะวันออกของกรุงเทพมหานคร ได้แก่เขตห้วยหมาก เขตพระโขนง เขตคลองสามวา เขตบางจาก และเขตมีนบุรี

3. อัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 1 ซม. ในบริเวณใจการเมือง และชานเมืองกรุงเทพฯ มีการทรุดตัวของแผ่นดินลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงปีที่ผ่านมา

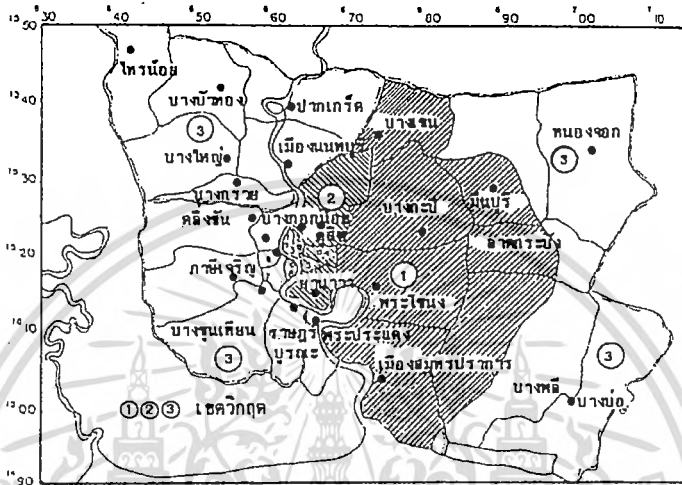
ปัญหาซ้ำเติมที่สืบเนื่องจากปรากฏการณ์แผ่นดินทรุด

กรุงเทพมหานครมีปัญหาแผ่นดินทรุดต่อเนื่องกันยาวนาน ทำให้มีการศึกษาเรื่องนี้กันอย่างจริงจัง ในปี พ.ศ.2526 ได้มีการศึกษาปัญหาการทรุดตัวของกรุงเทพฯ กำหนดเขตวิกฤตการณ์และแผ่นดินทรุด โดยแบ่งความรุนแรงออกเป็น 3 ระดับ

- เขตวิกฤตอันดับ 1 พื้นที่ที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินมากกว่า 10 ซม./ปี หรือน้ำบาดาลลดลงอย่างรวดเร็ว ครอบคลุมหลายเขตทางตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยารวมทั้งเขตบางกะปิ

² ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหาร

- **เขตวิกฤตอันดับ 2** พื้นที่ที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินระหว่าง 5-10 ซม./ปี หรือน้ำบาดาลลดลงมาก
- **เขตวิกฤตอันดับ 3** พื้นที่ที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินน้อยกว่า 5 ซม./ปี หรือน้ำบาดาลลดลงไม่มาก



รูปที่ 2.15 แผนที่แสดงเขตวิกฤตแผ่นดินทรุดตัวพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2526

ก่อนปี พ.ศ.2526 บางกะปิอยู่ในเขตวิกฤตแผ่นดินทรุดตัวรุนแรง จากข้อมูลของกรมพื้นที่ทหารในปี พ.ศ.2525 พื้นที่บริเวณต่ำสุดของพื้นดินกรุงเทพฯ อยู่ที่บริเวณมหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก ซึ่งหมุดหลักฐานดังกล่าวอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 4 ซม.

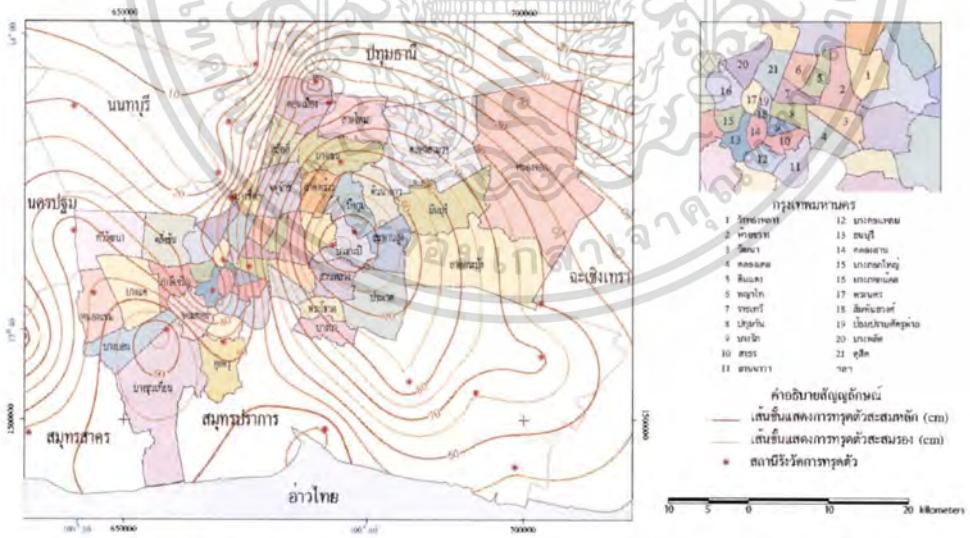
หลังจากมีมาตรการกำหนดให้การประปานครหลวงเลิกใช้น้ำบาดาล จะช่วยหยุดยั้งการทรุดตัวของแผ่นดินได้บ้าง แต่ก็ยังมีการทรุดตัวอยู่ กรมทรัพยากรธรณีได้มีการประกาศเขตวิกฤตน้ำบาดาลใหม่เมื่อวันที่ 8 พ.ย. พ.ศ.2538 ปรากฏว่าเขตบางกะปิยังจัดอยู่ในกลุ่มเขตวิกฤตน้ำบาดาลอันดับที่ 1 อยู่โดยพื้นที่ ที่อยู่ในกลุ่มนี้มีระดับน้ำบาดาลลดลงมากกว่า 3 ซม./ปี



รูปที่ 2.16 แผนที่แสดงเขตวิฤตผู้นำบาดาลและแผ่นดินทรุดตัว พ.ศ. 2538



การทรุดตัวสะสมของพื้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตั้งแต่ปี พ.ศ.2521 - พ.ศ.2548



ที่มา : ข้อมูลแผนที่ได้จากกรมวัดระดับพื้นที่ 1 ตั้งต้น พ.ศ.2521 - 2548

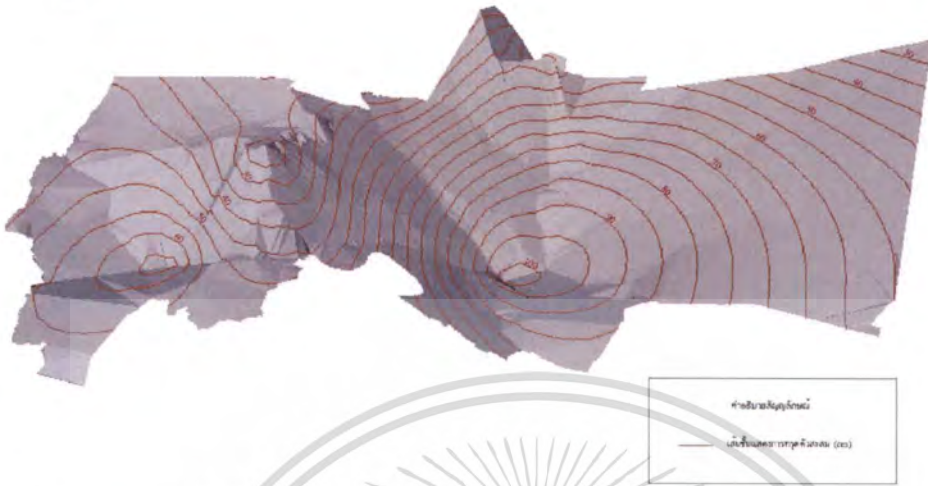
จัดทำโดย : กะอ็อดเค็ชและบ็อดสิลิกั๊ กั๊วมแน็กั๊ทการ ก.ค.19

รูปที่ 2.17 การทรุดตัวสะสมของแผ่นดินบริเวณต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลระหว่าง ปี พ.ศ. 2521 - 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การทรุดตัวของพื้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ.2521 – พ.ศ.2548



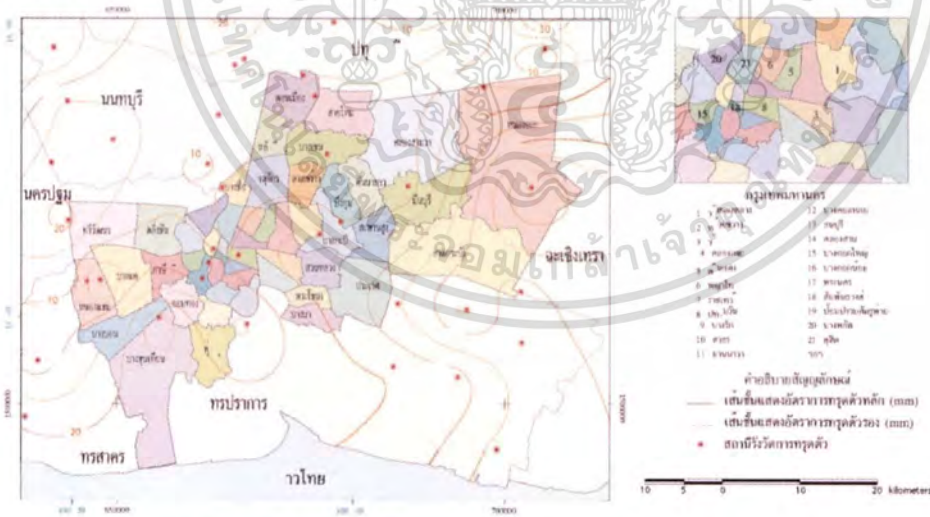
ที่มา : ข้อมูลแผนที่ได้จากการวัดระดับครั้งที่ 1 ตั้งแต่ พ.ศ.2521 – 2548

จัดทำโดย : ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาปิโตรเลียม กรมแผนที่ทหาร ก.ศ.49

รูปที่ 2.18 การทรุดตัวของพื้นดินบริเวณต่างๆของกรุงเทพมหานคร และปริมาณทรุดระหว่าง ปี พ.ศ. 2521 – 2548 ในรูปสามมิติ



อัตราค่าการทรุดตัวของพื้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมาณทรุด ระหว่างปี พ.ศ.2547 – พ.ศ.2548

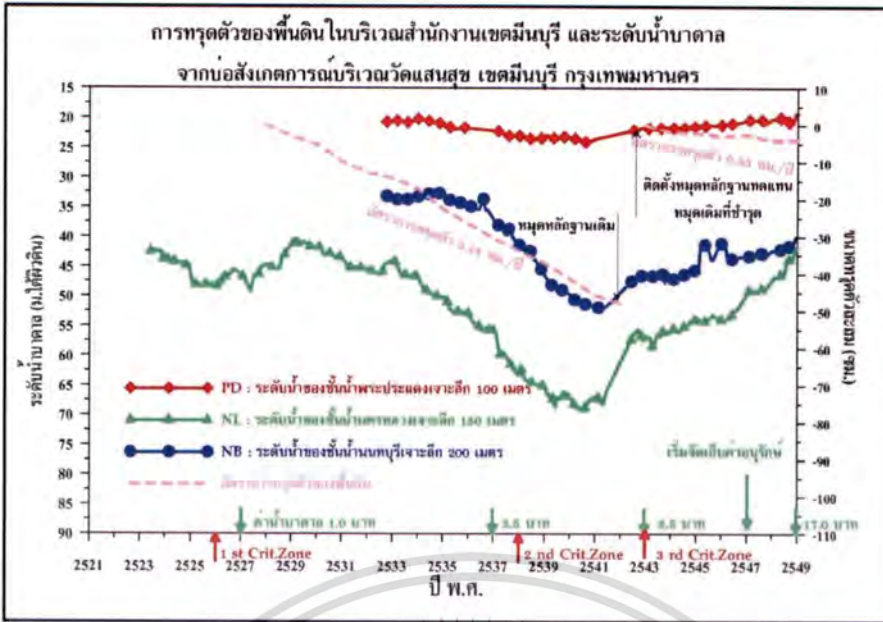


ที่มา : ข้อมูลแผนที่ได้จากการวัดระดับครั้งที่ 1 ตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 – 2548

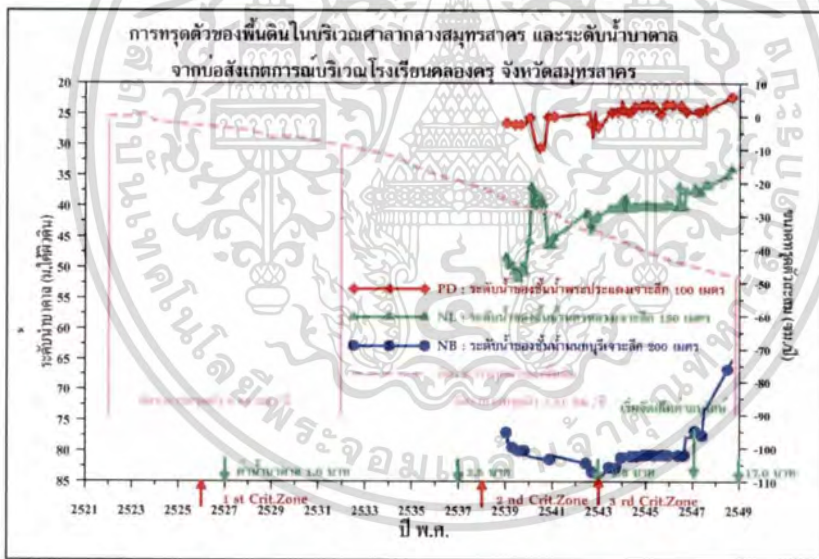
จัดทำโดย : ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาปิโตรเลียม กรมแผนที่ทหาร ก.ศ.49

รูปที่ 2.19 การทรุดตัวของพื้นดินบริเวณต่างๆของกรุงเทพมหานคร และปริมาณทรุดระหว่าง ปี พ.ศ. 2547 - 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 สถานะการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดเขตลาดกระบัง-มีนบุรี



รูปที่ 2.21 สถานะการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดเขตสมุทรปราการ

สาเหตุของการทรุดตัวของดินจากหลายปัจจัยด้วยกันดังต่อไปนี้

โดยทั่วไป ดินจะรับน้ำหนักได้ก็ด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน ซึ่งก็คือ ความหนาแน่นของดินนั่นเอง กำลังในการรับน้ำหนักของดิน เราเรียกว่า กำลังแบกทานของดิน ดินแต่ละชนิด แต่ละพื้นที่ จะมีค่าการแบกทานอยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ค่าแบกทานน้ำหนักปลอดภัย ซึ่งหมายถึงค่าที่ดิน สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยไม่สูญเสียกำลังการแบกทาน ไป หากน้ำหนักที่กดทับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงมา มีค่ามากกว่า กำลังแบกทานของดิน ก็จะก่อให้เกิดการพังทลายของชั้นดิน หรือ ดินทรุด นั่นเองสาเหตุของการทรุดตัวของดินจากหลายปัจจัยด้วยกันดังต่อไปนี้

1. สาเหตุจากการกระทำของมนุษย์

สาเหตุจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักกล่าวคือ การสูบน้ำบาดาล มากเกินสมดุลของชั้นน้ำที่สามารถจะให้ได้เป็นระยะเวลาอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดแผ่นดินทรุด เป็นบริเวณกว้าง ผลกระทบที่ตามมาได้แก่ ปัญหาน้ำท่วมขัง สิ่งก่อสร้างต่างๆแตกร้าวและ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจดังรูป

ภาพแสดงความระดับความแตกต่างระหว่างถนนและระดับพื้นหมู่บ้านมิตรภาพ

ภาพแสดงลักษณะการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณอาคารเรียน รามคำแหงเขตหัวหมาก

กรุงเทพมหานคร

2. สาเหตุจากการพฤติกรรมของดิน

คุณสมบัติการยุบอัดตัวของดิน

เนื่องจากมวลดินในสภาพธรรมชาติมีความกว้างมากเมื่อเทียบกับความลึก จึงอนุมานได้ว่าการยุบอัดตัวหรือทรุดตัวของมวลดินมีเพียงมิติเดียว คือเป็นไปในแนวตั้งตามทิศทางของแรงกดอัดเท่านั้น

มวลดินในสภาพธรรมชาติต้องรองรับแรงกดอัดของมวลดินที่ตกตะกอนทับถมลงมา การยุบตัวจึงเป็นปกติธรรมชาติในบางส่วนหนึ่ง แต่หากมีหน่วยแรงจากภายนอกกระทำเพิ่มอีก เช่น จากน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างต่างๆ การเพิ่มลดของระดับน้ำใต้ดินเหล่านี้จะทำให้มวลดินยุบตัว และทรุดตัวลงไปอีก น้ำที่แทรกตัวอยู่ก็จะถูกขับให้ไหลซึมและระบายออกไป ทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลในเม็ดดินมีค่าเพิ่ม เม็ดดินจึงเคลื่อนตัวเข้าหากันและลดปริมาตรลง ทำให้มวลดินเกิดการทรุดตัว

การยุบตัวของดินเรียกว่า “compressibility” มักจะพิจารณาเฉพาะมวลดินเม็ดละเอียด เช่น พวกรายแฉ่ง (silt) และดินเหนียว (clay) มวลดินเหล่านี้ยอมให้น้ำไหลซึมเข้าออกได้อย่างช้าๆ เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ในการซึม (permeability) ต่ำ อัตราการยุบตัวและทรุดตัวจึงเป็นไปอย่างช้าๆ ใช้เวลานานกว่ามวลดินจำพวกเม็ดหยาบ เช่น ทรายหรือกรวด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมสูง และการไหลซึมหรือระบายเข้าออกของน้ำจึงง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการยุบอัดตัวของดินนั้น พิจารณาถึงความสามารถต้านทานการยุบอัดตัวของดิน (compressibility) พบว่าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัด (compressive stress) กับหน่วยของการยุบตัวที่มักเรียกว่า ความเครียด (strain) คล้ายกับการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุก่อสร้างทั่วไป และค่าสัมประสิทธิ์ที่ให้ไว้ในบทนี้ จะเรียกว่า “ดัชนีคุณสมบัติในการทรุดตัว” ซึ่งจะนำไปใช้คาดคะเนการทรุดตัวและอัตราการทรุดตัวของดินได้

ขบวนการยุบอัดตัวของดิน เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นกับดินตามธรรมชาติเมื่อน้ำในมวลดินถูกขับให้ระบายออกไปภายใต้การกระทำของน้ำหนักคงที่หนึ่งซึ่งกระทำเป็นเวลานาน เช่น การถมดินบนที่ดินที่จะปลูกสร้างและทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนจะทำการปลูกสร้างอาคาร เมื่อดินยุบอัดตัวลงไปให้อัตราหนึ่งก่อนแล้ว การยุบหรือทรุดตัวต่อมาหลังจากการปลูกสร้างอาคารก็จะน้อยลง

5.2.2 ขนาดการทรุดตัวของพื้นดิน ชั้น 5 ปี ระหว่างปี

พ.ศ.2542 - 2546

(1) ขนาดการทรุดตัว 7 - 10 เซนติเมตร มี 7 พื้นที่ ได้แก่

- ๑ สถานีกำจัดน้ำเสียดอนเมือง กรุงเทพมหานคร
- ๑ วัดสนทรมลิตย อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร
- ๑ วัดใหญ่บ้านบ่อ อำเภอมือง สมุทรสาคร
- ๑ องค์การบริหารส่วนจังหวัดสมุทรสาคร
- ๑ วัดลาดปลาตก อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี
- ๑ วัดราษฎร์บำรุง ถนนสวนหวงศ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร
- ๑ โรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

(2) ขนาดการทรุดตัว 5 - 7 เซนติเมตร มี 4 พื้นที่ ได้แก่

- ๑ พุทธมณฑล อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม
- ๑ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร
- ๑ วัดสีชมพู ถนน ตู-คลองสิบ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร
- ๑ วัดกิ่งแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

(3) ขนาดการทรุดตัว 3 - 5 เซนติเมตร มี 6 พื้นที่ ได้แก่

- ๑ วัดใหม่ ปุณฺธิราราม อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม
- ๑ วัดราษฎร์ศรัทธากระษาราม อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร
- ๑ วัดแสงสวรรค์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี
- ๑ พิพิธภัณฑ์ทหารอากาศ ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร
- ๑ วัดพราราย อำเภไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี
- ๑ โรงเรียนเทคโนโลยีปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

(4) นอกจากนั้นมีขนาดการทรุดตัวน้อยกว่า 3 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แนวความคิดจาก “ศรีดงส์” เชื่อมกันน้ำโบราณในประเทศไทย



รูปที่ 2.22 แนวความคิดจาก “ศรีดงส์”

“นครพิงค์เวียงเชียงใหม่” ถ้าจะเป็นภาพเงาสุดท้ายแห่ง “พระนครธม” “เมืองโบราณนพบุรีศรีนครพิงค์” เป็นเมืองที่มีผังแนวกำแพงและคูเมืองเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพียงแห่งเดียวในภูมิภาคล้านนา) เพราะหลังจากการสร้างเมืองเชียงใหม่ในพุทธศตวรรษที่ 19 แล้ว ก็ยังไม่เคยปรากฏเมืองที่มีการสร้างรูปแบบผังเมืองตามลักษณะดังกล่าวขึ้น ในเขตวัฒนธรรมล้านนาอีกเลย

ครั้งการวางผังเมืองของเชียงใหม่ได้รับอิทธิพลมาจากเมืองสุโขทัยโดยไม่ต้องสงสัย จากหลักฐานตำนานความสัมพันธ์ระหว่างสามกษัตริย์แคว้นล้านนา สุโขทัยและพะเยา แต่จะรับอิทธิพลมาอย่างไรนั้น ขออาสาพา ขึ้นเหนือไปที่ขั้วเมืองเชียงใหม่ ย้อนเวลาไปในอดีตและฟัง “มุขปาฐะ” ที่ไม่น่าเชื่อ พร้อม ๆ กันอีกครั้งครับ นครคู่แฝดทั้งสองมีความเหมือนกันในหลาย ๆ ด้านและในคติความเชื่อพื้นฐาน หากเรานำภาพถ่ายจากดาวเทียมจากอวกาศ (ที่ปัจจุบันหาได้ง่ายจาก Google Earth) ของทั้งเมืองสุโขทัยและเมืองเชียงใหม่มาเปรียบเทียบกัน ก็จะเห็นได้ว่าเมืองทั้งสองมีความเหมือนกันอย่างน่าพิศวงหลายประการ อาทิ

1. มีผังเป็นรูปสี่เหลี่ยม และมีขนาดกว้างยาวเกือบเท่ากัน ต่างกันไม่กี่เมตร
 2. มีแนวคูเขาอยู่ทางด้านตะวันตก และมีแม่น้ำอยู่ทางตะวันออกเหมือนกัน เมืองเชียงใหม่มีลำน้ำคลองแม่ข่าไหลลงคลองคูเมืองมุมตะวันออก และมีแม่น้ำปิงห่างไปประมาณ 1 กิโลเมตรทางทิศตะวันออก เมืองสุโขทัยมีแม่น้ำรำพันซิดติดคูเมืองตะวันออกและแม่น้ำยมที่ห่างไปประมาณ 12 กิโลเมตร
 3. โกลัเมืองมีเมืองหรือเวียงขนาดเล็ก ๆ คล้ายกัน และมีขนาดเกือบเท่ากัน สุโขทัยมีเกาะวัดพระพายหลวงอยู่ทางทิศเหนือ ที่สร้างขึ้นก่อนเมืองสุโขทัยในราวพุทธศตวรรษที่ 17 ส่วนเมืองเชียงใหม่มีเวียงสวนดอกอยู่ทางทิศตะวันตก ที่สร้างขึ้นก่อนเมืองเชียงใหม่ ทั้งสองแห่งมีขนาดความ
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างแต่ละด้านประมาณ 600 เมตร

4. มีพระมหาธาตุศูนย์กลางของเมืองในตำแหน่งเดียวกัน กรุงสุโขทัยมีวัดมหาธาตุ เมือง เชียงใหม่มีวัดเจ็ดยอดหลวง

5. มุมเมืองทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ของเมืองสุโขทัยยกสูงขึ้นชนกับลำน้ำแม่รำพัน ส่วน เมืองเชียงใหม่ มุมเมืองด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือลดต่ำลงเกือบติดลำน้ำแม่ข่า และห่างออกไป เกือบหนึ่งกิโลเมตรคือแม่น้ำปิง

6. ทางทิศตะวันตกของทั้งสองเมือง มีเขื่อนกั้นน้ำโบราณเพื่อการชลประทานกักเก็บน้ำไว้ใช้ ในช่วงฤดูแล้งเหมือนกัน เมืองสุโขทัย มี “ศรีคกงส์” ส่วนเมืองเชียงใหม่มีเขื่อนโบราณเจ็ดลินที่ห้วย แก้ว ทั้งสองเมืองไม่พึ่งพาน้ำธรรมชาติจากแม่น้ำทางทิศตะวันออกเฉียงอย่างเดียว

ตำนานเมืองเชียงใหม่กล่าวว่า เมื่อนพบุรีศรีนครพิงค์ สร้างขึ้นในราวปีพ.ศ. 1839 ในสมัยของ พญาเม็งราย ราชวงศ์ชาวละโว้จักราช ผู้ครอบครองหิรัญนครเงินยางหรือเมืองเชียงแสน ริมฝั่งแม่น้ำ โยง ในเขตอำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงรายในปัจจุบัน

ในช่วงเวลานั้นเกิดวิกฤตการณ์ในภูมิภาค เมื่อราชวงศ์มองโกล กำลังขยายอิทธิพลลงมาทาง ตอนใต้ของแผ่นดินจีน และเข้าโจมตีพุกามประเทศ พญาเม็งรายจึงได้ทรงย้ายเมืองจากเมืองหิรัญ นครเงินยางเชียงแสนถิ่นฐานเดิมของพระองค์ ด้วย เป็นเมืองริมเส้นทางน้ำใหญ่ เป็นเส้นทาง ยุทธศาสตร์สำคัญ หากกองทัพใหญ่ของมองโกลรุกรงมาก็ยากจะต่อต้านได้ จึงทรงย้ายเมืองมาสร้าง เมืองเชียงรายในปี พ.ศ.1805 เมืองฝาง เมืองพร้าว และสถาปนาเวียงกุมกาม เมืองขนาดเล็ก อยู่ติด แม่น้ำปิงทางทิศใต้ของเมืองเชียงใหม่ขึ้นในปี พ.ศ. 1831 ในที่สุดพระองค์ก็ได้สถาปนาเมือง เชียงใหม่ขึ้นเป็นเมืองศูนย์กลางแห่งแคว้นแคว้น ในช่วงที่ทรงครองเมืองเวียงกุมกามในปี พ.ศ.1835 พญาเม็งรายได้ทำสงครามขยายดินแดนลงมาทางใต้จนสามารถยึดเมืองลำพูน – หริภุญไชยได้ ทำ ให้จำนวนไพร่พลและดินแดนกว้างขวางมากขึ้น ประกอบกับเวียงกุมกามเป็นเมืองที่มีขนาดเล็ก โคนกระแสน้ำหลากเข้ามาทับถมในเมืองในทุก ๆ ปี จนยากจะลอกดินทับถมออกได้ทัน จึงได้ทรง คิดจะสร้างเมืองใหม่ขึ้นทดแทน การสร้างเมืองเชียงใหม่ ก็มีตำนานเล่าว่า เกิดขึ้นจากความร่วมมือ กันของกษัตริย์สามแคว้นใหญ่แห่งภูมิภาค พญาเม็งรายแห่งล้านนา พญาเจ้าเมืองแห่งพะเยา และพ่อ ขุนรามคำแหง แห่งแคว้นแคว้นสุโขทัย ตำนานเมืองเชียงใหม่เล่าว่า ผู้นำแห่งรัฐทั้งสามกษัตริย์ เป็น พระสหายสนิทตั้งแต่ครั้งเดินทางไปศึกษาศิลปะวิทยาการด้วยกันที่เมืองลพบุรี หรือเมือง ลพบุรี ในราชอาณาจักรเขมร - สยามโบราณ ในภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งก็เป็นร่องรอยหลักฐาน สำคัญชิ้นแรกที่ปรากฏใน Myth หรือนิทานปรัมปราของตำนานเมืองเชียงใหม่ เชื่อมโยงให้เราเห็น อิทธิพลของเขมรพระนครธรรมที่เข้ามาสู่กรุงสุโขทัยและเมือง เชียงใหม่ ก็เพราะยุคกษัตริย์ทั้งสามได้ เรียนรู้ความเป็นวัฒนธรรมเขมรไปจากลพบุรีนี้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับมาที่เมืองเชียงใหม่กันก่อน ตามตำนานการสร้างเมืองเชียงใหม่ของพญาเม็งราย มีพ่อขุนรามคำแหงเป็นที่ปรึกษาคนสำคัญ รูปแบบของเมืองเชียงใหม่ จึงมีผังเมืองและการจัดการทรัพยากรน้ำเป็นพิมพ์เขียวเดียวกับกรุงสุโขทัย เรียกได้ว่าถอดแบบกันมาแทบทั้งหมด !!! ภูมิประเทศของเมืองเชียงใหม่มีแนวภูเขาอยู่ทางทิศตะวันตก และมีแม่น้ำอยู่ทางทิศตะวันออกบริเวณเชิงดอยสุเทพ มี “ห้วยแก้ว” เป็นลำน้ำใหญ่ไหลผ่านลงมายังพื้นที่ที่จะใช้สร้างเมืองใหม่ ซึ่งสามารถพัฒนาขึ้นเป็นระบบคั่นกั้นน้ำและทำชลประทานได้เช่นเดียวกับเมือง ต้นแบบที่สุโขทัย พญาเม็งรายไม่อยากจะสร้างเมืองติดแม่น้ำเหมือนอย่างแต่ก่อน เพราะหลายเมืองประสบปัญหาการกัดเซาะตลิ่ง การป้องกันเมืองและปัญหาดินทับถมจากน้ำหลากเช่นที่เวียงกุมกาม

ตำนานเมืองเชียงใหม่บอกว่า พญาเม็งรายอยากจะสร้างเมืองที่มีขนาดใหญ่ มีกำแพงและคูเมืองล้อมรอบที่แข็งแรง ให้ได้กว้างยาวด้านละ 2,000 วา หรือประมาณ 4 กิโลเมตร ซึ่งจะใหญ่กว่าเมืองสุโขทัยและเมืองพะเยาหนึ่งเท่าตัว แต่ขนาดจะเกือบเท่าเมืองพระนครสม แต่พ่อขุนรามคำแหงก็ได้ทรงแสดงความเห็นคัดค้าน ด้วยเหตุผลว่า หากสร้างเมืองขนาดใหญ่เกินไป ยามเมื่อมีศึกสงคราม ก็จะหาเกณฑ์ไพร่พลมารักษาเมือง ได้ยาก จำนวนประชากรที่มีอยู่ก็ไม่สัมพันธ์กับขนาดของเมือง การจัดการทรัพยากรน้ำก็จะมีปัญหา ควรจะลดขนาดความกว้างให้เหลือด้านละ 1,000 วา หรือ 2 กิโลเมตร จะเหมาะสมกว่า ซึ่งพญาเม็งรายก็เห็นด้วยกับพ่อขุนรามคำแหง เพราะหากล้านนาเป็นเมืองขนาดใหญ่ขึ้น ไพร่พลและแสงยานุภาพก็จะมากขึ้น แคว้นพะเยาซึ่งมีอาณาเขตแคว้นอยู่ติดกัน ก็อาจจะมีปัญหาและตกอยู่ในอันตราย เพราะดูเหมือนว่าพญาเม็งรายก็ต้องการจะเข้ายึดครองแคว้นพะเยาอยู่หลายครั้ง

พ่อขุนรามคำแหง “น่าจะ” ทรงเชี่ยวชาญในการจัดการระบบชลประทานเขื่อนกั้นน้ำมาก่อน ดังปรากฏหลักฐานเขื่อนกั้นน้ำศรีนครินทร์ขนาดใหญ่ทางทิศตะวันตกของกรุงสุโขทัยที่ สร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ในฤดูแล้ง เมืองที่ตั้งห่างไกลจากแม่น้ำยมมาก ตำนานเมืองเชียงใหม่กล่าวว่า “...คือ ว่าน้ำห้วยแก้ว อันไหลเข้าสู่แ่งหัวลินเลี้ยงบ้านเลี้ยงเมืองนั้น คั่นว่านอนมาแล่น้ำตกตาดเวลากลางคืนนั้น คนทั้งหลายอันอยู่ในเวียงก็ดี คั้น ได้ยินเสียงน้ำห้วยแก้วตกตาด ได้ยินเสียงท้วบ้านท้วเมืองท้วมวล บ้านนอกขอกอนนิคมก็ได้ยินเสียงชูแห่งชู ที่นั้น บ้านเมืองท้วมวลก็อยู่ดูมิจำเริญสุขยิ่งนักชะแล ปีใดน้ำห้วยแก้วนอง เวลากลางคืน แลคนทั้งหลายบได้ยินเสียงน้ำห้วยแก้วตกตาดนั้น บ้านเมืองท้วมวลก็จะเป็นทุกข์นานาต่างๆ ทั้งสัตว์แลคนทั้งหลาย ก็จักตายมากนักชะแล...”

แปลความว่า ถ้าปีใด ในเวลากลางคืน ชาวเวียงเชียงใหม่ทั้งในและนอกเมืองได้ยินเสียงน้ำตกกระทบหินผาดังสนั่น ห้วนไหว ปีนั้นน้ำท่าและพืชพันธุ์ธัญญาหารจะอุดมสมบูรณ์ ผู้คนจะสุขสบาย หาก (ฤดูน้ำ) ปีใดชาวเมืองไม่ได้ยินเสียงน้ำตก โกรกกระทกแก่งหิน ปีนั้นก็จะแห้งแล้ง ทั้งผู้คนสัตว์เลี้ยงจะได้รับความทุกข์ยากและล้มตายมากนัก ซึ่ง นั่นก็แสดงว่า ถึงขุนเขาดอยสุเทพจะมีน้ำมากและพอเพียง แต่ในบางปีก็อาจจะแล้งจนก่อให้เกิดปัญหาต่อการดำรงชีวิตได้ จึงต้องมีการคิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างระบบชลประทานไว้พร้อมกันกับการสร้างเมืองใหม่

พญาเม็ງรายสร้างเมืองเชียงใหม่ขึ้นโดยใช้คติการสร้างเมืองเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในคติจักรวาล 4 ด้านเท่าแบบเดียวกับสุโขทัย และมีการสร้างระบบชลประทาน เป็นเขื่อนคันดินขนาดใหญ่ ตัวเขื่อนสร้างด้วยดินเหนียว (homogenous fill) ความยาวสันเขื่อนประมาณ 1 กิโลเมตร บริเวณเวียงโบราณเจ็ดลิน (ปัจจุบันอยู่ในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เรียกว่า "อ่างแก้ว") เช่นเดียวกับระบบ "สรีดคองส์" ของกรุงสุโขทัย น้ำจากเขื่อนใหญ่ "เจ็ดลิน" จะถูกพักไว้ในคันดินอีกระดับหนึ่งเพื่อกรองตะกอน ก่อนจะไหลลงมายังเมืองเชียงใหม่ตรงมุมกำแพงที่แจ้งหัวริน

ในขณะที่เมืองสุโขทัยก็มี "ลำคลองเสา" บังคับน้ำจากเขื่อนสรีดคองส์ ให้ไหลเข้าสู่เมืองตรงมุมทิศตะวันตกเฉียงใต้ในลักษณะเดียวกัน เมื่อน้ำจากภูเขาตอยสุเทพเข้ามาในตัวเมืองเชียงใหม่มากเกินไปจนกลายเป็นอุทกภัย น้ำปริมาณมากจะถูกระบายตามคูเมืองทางทิศเหนือไปลงลำน้ำแม่ข่าออกไปสู่มแม่น้ำปิง จากผังเมืองและระบบชลประทานของเมืองเชียงใหม่ เรามาดูคติความเชื่อในการสร้างเมืองใหม่ที่หลงเหลืออยู่กันบ้างครับ

เวียงเชียงใหม่มีจุดศูนย์กลางเมืองเช่นเดียวกับเมืองในวัฒนธรรมล้านนาทั่วไป เรียกว่า "เสาคือเมือง" หรือ "สายคือเมือง" ปัจจุบันเป็นวัดเสาคือเมืองหรือวัดอินทะจิด เชื่อว่ามีการสถาปนา "เสาคือเมือง"หรือ"เสาหลักเมือง" ในสมัยแรกสร้าง จนเมื่อเมืองเชียงใหม่อายุไปเกือบ 60 ปี พระเจ้ากาวิละจึงกลับมาฟื้นฟูเมืองเชียงใหม่อีกครั้งในปี 2339 จึงได้ย้ายเสาคือเมืองไปตั้งใหม่ในบริเวณวัดเจดีย์หลวง จนถึงในปัจจุบัน "ช่วงเมือง" ก็คือสนามหลวงหรือพื้นที่โล่งกว้างภายในเมืองในวัฒนธรรมล้านนา เป็นสถานที่ประกอบพิธีกรรมและกิจกรรมหลวงของเมือง พื้นที่บางส่วนของช่วงเมืองจะเป็นที่ตั้งของคุ้มวังเจ้านายและหอคำ และเป็นที่ตั้งของวัดหลวงประจำช่วง เรียกกันว่า "วัดหัวช่วง"

วัดประจำ "ช่วงเมือง"ของเมืองเชียงใหม่ คือวัดหัวช่วงแสนเมืองมาหลวง ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของช่วงเมือง เดิมชื่อวัดพระเจ้าแสนเมืองมา แต่ชาวบ้านมักเรียกวัดหัวช่วงกันจนติดปากครับ ช่วงเมืองเชียงใหม่มีชื่อว่า "ช่วงสนามหลวง"หรือ "ช่วงหลวง" เคยเป็นที่ถวายพระเพลิงศพของพญาเม็ງราย ในปี พ.ศ. 1890 (ตามตำนาน) ปัจจุบันยังมีช่วงหลวงบางส่วนหลงเหลืออยู่ตรงบริเวณถนนหน้าอนุสาวรีย์สามกษัตริย์เท่านั้นครับ

วัดพระเจดีย์หลวง เป็นศาสนสถานในคติ "พระมหาธาตุ" ศูนย์กลางของนครใหญ่ สร้างขึ้นพร้อมกับเมืองเชียงใหม่อันครั้งพญาเม็ງรายสถาปนาเมือง แต่ก็มีการบูรณะและสร้างเสริมต่อกันให้ใหญ่ขึ้น โดยกษัตริย์เชียงใหม่พระองค์ ต่อ ๆ มา จนเกิดเหตุแผ่นดินไหวในราวพุทธศตวรรษที่ 22 ทำให้ยอดเจดีย์พังถล่มลงและยากจะปฏิสังขรณ์จนถึงร้างไป จนเมื่อปี 2535 กรมศิลปากรได้เข้าซ่อมแซมบูรณปฏิสังขรณ์ กำแพงเมืองเชียงใหม่อีกสองชั้น ชั้นนอกเป็นกำแพงดินอัด เรียกกันติดปากว่า "กำแพงดิน" เริ่มต้น จากแจ้งศรีภูมิทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำแม่ข่าลงมาทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทศิไต้ผ่านลำคูไหวไปจรดแจ้งกู่เอื้องทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะ เมืองหลายคนก็สันนิษฐานกันว่ากำแพงดิน เดิมน่าจะสร้างขึ้นในคราวเดียวกับช่วงสร้างเมืองเชียงใหม่ในครั้งแรก หรือมีอายุเก่าแก่กว่า กำแพงดินน่าจะมื่ออายุหลังจากการสร้างเมืองเชียงใหม่ เป็นร่องรอยการขยายตัวของเมืองที่เริ่มคับแคบลงมาทางทิศใต้ ประตูเมืองทางทิศใต้ขยายออกเป็นสองประตู และน่าจะมีการสร้างกำแพงดินขึ้น โดยใช้ไม้เป็นเสาเรียงระเนียดติดชิดกัน แล้วขุดดินจากคูขึ้นมอดหลังแนวเสา ไม้เป็นเชิงเทิน เหตุผลของการสร้างเชิงเทินดินและคูน้ำหันหน้ามาทางทิศใต้ตามแนวของแม่น้ำปิงนี้ “อาจจะ” มีเหตุผลจากความต้องการตั้งเมืองรับศัตรูจากทางทิศใต้ ในสมัยที่ “พม่า” มีอิทธิพลในเมืองเชียงใหม่ยาวนานกว่า 200 ปี

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ชี้ว่า เมื่อประมาณ 700 ปีในรัชสมัยพ่อขุนรามคำแหงนั้น ได้มีการนำเทคโนโลยีในการชลประทานควบคู่กันไปกับการป้องกันน้ำท่วมเมืองประวัติศาสตร์ ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มแม่น้ำยม แนวทางในสมัยนั้นใช้หุบเขาสองลูกที่กระหนาบแอ่งน้ำขนาดใหญ่อยู่ คือเขาพระบาทใหญ่ และ เขากิวอ้ายมา ซึ่งทั้งคู่อยู่ในเทือกภูเขาหลวงด้านหลังตัวเมืองสุโขทัยโบราณ ลึกเข้าไปในซอกเขาเป็นต้นกำเนิดของทางน้ำที่เรียกว่า โขกพระร่วงลงจรดซึ่งในปัจจุบันนี้กรมชลประทานได้สร้างเขื่อนดินสูงประมาณ 10 เมตร กันเชื่อมปลายเขาพระบาทกับเขากิวอ้ายมา สามารถกักน้ำที่ไหลมาจากโขกพระร่วงลงจรด น้ำในอ่างถูกควบคุมด้วยประตูน้ำชนิดยกขึ้นลงทางคิงควบคุมให้จ่ายระบายน้ำลงคลองเสาหอ นำน้ำเข้าไปจ่ายยังในคูเมืองสุโขทัยตรงมุมเมืองทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในความสูงที่แตกต่างกันประมาณ 45 เมตร จากต้นทางถึงปลายทาง จากนั้นจะระบายลงไปยังส่วนอื่นที่ลุ่มมีระดับต่ำกว่า และต่ำที่สุดตรงคูเมืองทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลลงแม่น้ำยมทางทิศตะวันออกในที่สุด

ทำนบพระร่วงนี้แต่เดิมไม่สูงมากนักแต่ก็สามารถใช้ควบคุมการใช้น้ำและป้องกันน้ำท่วมเมืองสุโขทัยได้เป็นอย่างดี เมื่อเขื่อนและทำนบได้แปรสภาพไปจากเดิมเรื่องความสูงนี้เองจึงได้มีการขนานนามใหม่ให้สถานที่นี้เรียกว่า “เขื่อนศรีดงค์” ซึ่งก็เป็นชื่อหนึ่งที่ปรากฏอยู่ในศิลาจารึกหลักที่ 1 (ศิลาจารึกพ่อขุนรามคำแหงมหาราช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ทศนียภาพทำนบพระร่วง (ศรีดงส์ ๑)

ทำนบพระร่วง (ศรีดงส์ ๑) อยู่นอกกำแพงเมืองด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ พื้นที่อ่างเก็บน้ำอยู่ระหว่างเขาพระบาทใหญ่กับเขากิวอ้ายมา โดยมีคันดินกว้างประมาณ ๔ เมตร เป็นแนวยาวประมาณ ๓๐๐ เมตรเศษ พาดผ่านระหว่างเชิงเขาสองลูก ทำหน้าที่กั้นน้ำไม่ให้ท่วมเมือง และเก็บกักไว้ใช้ในฤดูแล้ง โดยบังคับน้ำให้ไหลไปเชื่อมกับคูเมืองชั้นกลางของเมืองสุโขทัย ตามคลองส่งน้ำชื่อ คลองเสาหอ ปัจจุบันกรมชลประทานได้



รูปที่ 2.24 สันเขื่อนหลังการบูรณะฯ โดยกรมชลประทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การประยุกต์ค้นเขื่อนกั้นน้ำ Seuthopolis, Bulgaria

เมืองจมน้ำ “Seuthopolis, Bulgaria”

ปัญหาโลกร้อนที่กำลังคุกคามสิ่งแวดล้อมทางทะเลและบรรยากาศในปัจจุบันนี้ทำให้เราต้องหวั่นไหวและหาทางออกโดยมีการหวั่นเกรงกันว่าฝั่งทะเลที่สวยงามและมีค่าของโลกจะถูกกลืนโดยกระแสน้ำภายในเวลาไม่นานนับจากนี้ จุดนี้เป็นจุดหักเหให้เราต้องคิดค้นที่จะต้องหาหนทางออกเพื่อหลีกเลี่ยงมหันตภัยหรืออาจจะแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ ในจุดนี้มีแนวความคิดของการออกแบบอาคารลอยน้ำเพื่อหนีปัญหาเป็นการเฉพาะหน้าด้วยเช่นกันในปัจจุบันนี้ แต่งานอีกชิ้นหนึ่งที่กำลังนำเสนอนี้ “The ‘Underwater City’ in Bulgaria” จะกลายเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะปฏิวัติแนวความคิดในทางการออกแบบสถาปัตยกรรมให้ลงไปใต้น้ำ “ลงลึก” หรือ “ยัดติด” กล่าวคือสามารถอยู่กับปัญหาได้โดยไม่ต้องถอยหนีหรือละทิ้งถิ่นฐานเดิม

มันคือการสร้างหรือบูรณะเมืองขึ้นมาใหม่ลงไปใใจกลางของทะเลสาบให้มีศักยภาพ โดยที่แม้ว่าจะมีพื้นผิงานใช้งานอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นลงตามปกติงานที่กำลังจะกล่าวถึงนี้มีการออกแบบค้นเขื่อนกั้นน้ำขนาดเป็นทรงกลมล้อมรอบในฝั่งของเมืองวัดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ประมาณ 450 เมตร และลึกประมาณ 20 เมตร ตั้งอยู่ห่างไกลออกไปในท้องทะเลสาบ จะมีการเข้าถึงได้จากการขนส่งทางน้ำและทางอากาศเท่านั้น เดิมเป็นเมืองที่จมน้ำอยู่นานมาแล้วชื่อว่า Seuthopolis ซึ่งถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1948 ภายหลังจากที่มีการทำลายเขื่อนเก่าแห่งหนึ่งลงในประเทศบัลแกเรีย โปรเจกต์นี้กลับกลายเป็นหนึ่งในโครงการที่น่าสนใจที่สุดชิ้นหนึ่งที่ได้รับการบันทึกไว้ในหน้าประวัติศาสตร์ใหม่ของการสถาปัตยกรรมร่วมสมัย

ในยุคใหม่ของการออกแบบสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างชนิดลอยน้ำหรือสร้างได้ผิวน้ำ นับเป็นนวัตกรรมแห่งการออกแบบแนวใหม่ งานที่เรียกว่า ‘Underwater City’ ชิ้นนี้เป็นการเปิดประตูไปสู่การออกแบบแนวใหม่มาจากแนวความคิดของ Alexander Asadov ผู้มีประสบการณ์ในงานออกแบบชนิดที่เรียกว่า Floating Aerohotel ที่ได้กลายเป็นงานออกแบบทางสถาปัตยกรรมที่สื่อถึงชิ้นหนึ่งของเขา โครงสร้างพื้นฐานเป็นการวางเรียงองค์โครงสร้างเป็นคานจำนวนมากที่วางเป็นรัศมีพุ่งออกจากศูนย์กลางวงกลมคล้ายซี่ล้อจอร์จจัน อาคารส่วนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดตรงกลางจะบรรจุไปด้วยส่วนประกอบของ Aerohotel ที่มีร้านอาหาร คาเฟ่ ภัตตาคาร และสวนเมืองหนาวที่โอบล้อมโรงแรมไว้ ผู้เข้าเยี่ยมชมหรือมาพักจะต้องเดินทางมาโดยทางน้ำหรือทางอากาศเท่านั้นดังกล่าวเกริ่นนำมาแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ทศนิยมภาพทางอากาศเมืองจมน้ำ “Seuthopolis, Bulgaria”

Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria (Copyright Tilev Architects) (click-2-enlarge)

แนวความคิดนี้จึงสามารถที่จะนำไปเป็นแม่บทในการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาภัยพิบัติอันอาจเกิดขึ้นจากปัญหาโลกร้อนและน้ำท่วมได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นั่นคือเรื่องของการออกแบบ “Aerial hotel” และ “floating structures” เมืองโบราณแห่งหนึ่งในประเทศบัลแกเรียกำลังจะปรากฏขึ้นอีกครั้งจากก้นทะเลสาบ เมืองแห่งนี้มีชื่อว่า ซูโดโปลิส Seuthopolis ซึ่งมีอายุในช่วงสี่ศตวรรษก่อนคริสต์กาล ณ ช่วงเวลาดังกล่าว เมืองแห่งนี้เป็นเมืองหลวงของประเทศที่มีชื่อว่า โอดริสเซีย Odrissia โดยที่มาของชื่อเมือง ซูโดโปลิส มาจากพระนามของ กษัตริย์ ทราเซียน ซูตุส ที่สาม Thracian king Seuthus the third ไม่มีผู้ใดเคยค้นพบซากหรือสิ่งที่เหลือของเมืองแห่งนี้เลยจนกระทั่ง มีการก่อสร้างเขื่อนใหม่ ใน ปีคริสต์ศักราช 1948 และเมื่อต่อมาเมื่อทะเลสาบได้ถูกถมเต็มในปีคริสต์ศักราช 1954 เมืองแห่งนี้ จึงได้จมน้ำลง ไปอยู่ใต้น้ำลึกถึง 20 เมตร

ผลจากการระดมทุนในปี คริสต์ศักราช 2008 การกู้เมือง ซูโดโปลิส ที่จมน้ำจึงได้เริ่มขึ้น โดยการสร้างกำแพงกั้นน้ำเป็นวงกลม ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 420 เมตร ความคิดดังกล่าว มาจาก สำนักงานสถาปนิก ที่มีชื่อว่า ‘Tilev Architects’ และได้รับการสนับสนุนโดยเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจ และ กลุ่มบริหารท้องถิ่น เหล่าสถาปนิกกล่าวว่า โครงการนี้มีผู้ที่สนใจให้การสนับสนุนจากทั่วโลก

มีสี่กลุ่มผู้สนใจจาก เนเธอร์แลนด์ ที่อยากจะเข้ามามีส่วนร่วมในงานนี้ ซึ่งคือการขุดลอกบนพื้นที่ราบลุ่มที่อยู่ต่ำมาก โดยลักษณะพื้นฐานแล้ว มันก็คือพื้นที่ลุ่มคล้ายหลุมเล็กๆ แห่งหนึ่งนั่นเอง จุดนี้น่าจะเป็นพื้นที่ลุ่มที่มีราคาแพงที่สุดเท่าที่จะจินตนาการได้ แบบที่ได้จากการออกแบบของสำนักงานสถาปนิกชื่อ “Tilev Architects” ซึ่งเขาออกแบบให้สร้างกำแพงกั้นน้ำที่มีขนาดใหญ่มากกันไว้เพื่อที่จะทำการขุดลอกบริเวณพื้นที่เล็กๆนี้ออก ความสูงของกำแพงกั้นน้ำนี้จะต้องต้านทานแรงดันของน้ำรอบข้าง ระดับน้ำบนพื้นดินนั้นจะยังมีการซึมเข้ามาของน้ำที่ล้อมรอบอย่างต่อเนื่อง

ตลอดเวลา แต่อยู่ในปริมาณที่ควบคุมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบนี้เขาจึงกำหนดให้ใช้ปริมาณน้ำจำนวน สองตัวเข้ามาช่วยแก้ ปัญหาที่ ปริมาณน้ำจะ ใช้พลังงานจากกังหันลม กลไกนั้นมันคล้ายกับการใช้ผ้าพันแผลพันทับ บนผ้าพันแผลอีกทีหนึ่ง เพื่อห้ามเลือด และทั้งหมดนี้ก็เพื่อแก้ปัญหาให้กับการจัดการกับ ผังพื้นที่ ที่สุดแสนจะไม่ยั่งยืนนี้ ซึ่งก็เป็นที่น่าสังเกตว่า มันจะไม่ประหยัดกว่าหรือ หากจะยกเลิกความคิดที่จะสร้างคันเขื่อนนี้ ออกไปเสีย แล้วทำการ การเคลื่อนย้ายสิ่งที่เหลืออยู่ของเมืองโบราณแห่งนี้ขึ้นไปบนพื้นที่แห่ง เสียเลยจะดีกว่าหรือไม่

แต่นั่นก็คงจะไม่ใช่แนวทางที่เราตัดสินใจแทนผู้ออกแบบในที่นี้ แต่เราพบว่างานการฟื้นฟู เมือง ซูโดโปลิส แห่งนี้นั้นมิใช่เป็นการกระทำตามทฤษฎีปฏิบัตินิยม หรือหาใช่เป็นการกระทำตาม แนวทาง โบราณคดีวิทยาดั้งเดิม แต่ทว่านี่คือการกระทำเพื่อสื่อให้ตระหนักถึงภาพลักษณ์ ที่ยิ่งใหญ่ มั่นคือการสร้างสิ่ง ดึงดูดนักท่องเที่ยวในพื้นที่ลุ่มต่ำที่มีความน่าตื่นตาตื่นใจที่สุดแห่งหนึ่งทีเดียว

ในกรณีนี้ขนาดพื้นที่ๆ เล็กของมันกลายเป็นข้อได้เปรียบ สถาปนิก Tilev Architects จึงได้ ออกแบบให้เสมือนกับการสร้าง “สะดือ ลง ไปในกลางท้องทะเลสาบ” หากนึกถึงจินตนาการก็จะดู คล้ายกับการที่ “โมเสส” สามารถทำการแยกน้ำในทะเลสาบ ได้ดังที่ระบุไว้ในพระคัมภีร์คริสต์ ศาสนา ซึ่งมาบัดนี้ใน คริสต์ศักราช 2008 เรามีเทคโนโลยี ซึ่งทำให้เราสามารถทำแบบนั้นได้เอง จะ ว่าไปแล้ว นี่คือน้ำ อัจฉริยะ

เราไม่สามารถมองเห็นเมืองนี้ได้ขณะมุ่งหน้าเข้าไปใกล้ๆ โดยทางเรือ แต่เมื่อก้าวขึ้นไปบน คันเขื่อนกั้นน้ำ แล้วมองลง ไปก็สามารที่จะมองเห็นมุมเปิดอัน ไพศาลยิ่งของเมือง ซึ่งอยู่ต่ำลงไป 20 เมตร สามารถที่จะมองเห็น ภาพรวมทั้งหมดของสิ่งที่หลงเหลือ อยู่ ของเมือง ซูโดโปลิส แห่ง นี้ มันดูเสมือน ทรัพย์ ที่ล้ำค่าที่เหลืออยู่ในพื้นที่ลุ่มแห่งนี้

มุมมองนี้สามารถเปรียบได้กับ แรมพ์ ที่วนอยู่ภายในพิพิธภัณฑน์ เมอร์เซดิส-เบนซ์ แห่ง UNStudio ที่สามารถจะมองเห็นรถยนต์ที่จัดแสดงได้จากแรมพ์ที่ว่านี้ เป็นมุมมองมีต่างจากมุมมอง ที่เราเคยคุ้นอย่างสิ้นเชิง และในกรณีของ เมืองแห่งนี้ มุมมองจาก เฮลิคอปเตอร์ ก็เจ้าน่าดูมากเช่นกัน น่าเสียดายว่าในปัจจุบัน ไม่มีโครงสร้างของอาคารใดเหลือให้เห็นเลยนอกจากเส้นแนวผนัง กำแพง และเส้นถนน เท่านั้น ซึ่งสามารถมองเห็นได้จากด้านบน

เชื่อนางแหวนนี้ดูคล้ายแนวกันพรมแดน ระหว่าง อดีต กับ ปัจจุบัน ประวัติศาสตร์ กับ ความ ร่วมสมัย แผ่นดิน กับ ผืนน้ำ และ ที่ลุ่มต่ำ กับ ที่ราบสูง” Tilev Architects” กล่าว บนแนวของ กำแพงกั้นน้ำนี้ มีการเสนอให้มีการสร้าง ที่อาคารขึ้นมาใหม่อย่างหลากหลาย รวมถึงคาเฟ่ และ ร้านอาหาร นอกจากนี้ยังมี สิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการพักผ่อนอื่นๆ เช่น สถานที่ให้เช่าจักรยาน หรือศูนย์บริการ การตกปลา เป็นต้น และชั้นบนของภายในกำแพงกั้นน้ำแห่งนี้ก็ มีที่ว่างพอเพื่อ สร้างอาคาร พิพิธภัณฑน์ ศูนย์ประชุมใหญ่ๆ โรงแรม และ สำนักงาน ฯลฯ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการเสริมแนวความคิดที่ว่าให้มีการติดตั้งลิฟท์ขนส่งผู้โดยสารที่มีมุมมองกว้างชนิดพาโนรามาทั้งหมด เพื่อประสบการณ์การมองที่ไร้ซึ่งรอยต่อ โครงสร้างที่มีความสมบูรณ์ที่สุดจำนวน ห้าจุดจะถูกสร้างขึ้นใหม่ ความเหมือนจริงของโครงสร้างที่จะถูกสร้างใหม่เหล่านี้จะมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดยังคงเป็นคำถามให้ชวนสงสัย เนื่องจากโครงสร้าง ดังเดิมนั้นถูกสร้างขึ้นมาก่อนหน้านี้นานถึง 2400 ปี มาแล้ว นั้นไม่เหลือร่องรอยสามมิติให้เห็นเลย คล้ายกับภาพยนตร์เรื่อง “Jurassic Park” ที่ผู้สร้างได้พยายามให้แนวความคิดที่เขาได้อยู่ด้วยการสร้างภาพศิลป์ขึ้นมาให้เคลื่อนไหวได้อีกครั้งหนึ่ง

ในยุโรปตะวันตก การนำเอาสถาปัตยกรรมโบราณมาทำการสร้างใหม่นั้นเป็นประเด็นที่ได้หลุดออกจากวงสนทนาไปนานแล้ว เมื่อกระแสทันสมัยนิยม (Modernism) ได้เข้ามาแทนที่ ในศตวรรษที่ 19 ยูจีน วิโอเลต-เลอ-ดอง (Eugène Viollet-le-Duc) สามารถ สร้าง โบสถ์ และ วิหารยุคโกธิค ทั่วยุโรปซึ่งยังคงก่อสร้างไม่เสร็จในช่วงยุคกลาง จนสำเร็จอย่างไม่เคยมีใครทำมาก่อน และด้วยการสนับสนุนจากรัฐบาลใน ปารีส ไม่มีโครงสร้างยุค โกธิค โครงสร้างใดที่ ยูจีน วิโอเลต-เลอ-ดอง ไม่ได้แตะต้อง

แต่ในบรรดางานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมเก่านั้น แนวความคิดทั้งสิ้นที่มีอยู่ก็ดูเหมือนว่าไม่เหมือนกับแนวทางใหม่ที่กำลังดำเนินการอยู่ในงานการบูรณะเมืองซุโดโปลิสขึ้นมาใหม่ในครั้งนี้



รูปที่ 2.26 ทศนียภาพสะพานทางเข้าเมืองจมน้ำ “Seuthopolis, Bulgaria”

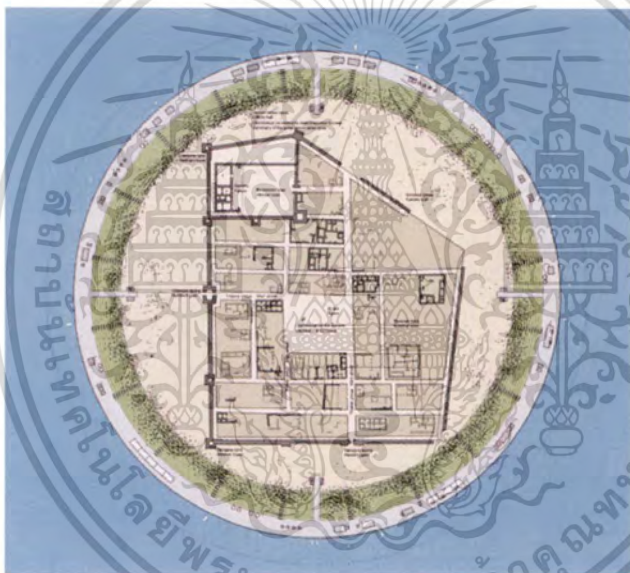
Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria (Copyright Tilev Architects) (click-2-enlarge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ทักษะภาพถ่ายทางอากาศของเมืองจมน้ำ “Seuthopolis, Bulgaria” 2

Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria (Copyright Tilev Architects) (click-2-enlarge)



รูปที่ 2.28 ผังมาตรฐานของเมืองจมน้ำ “Seuthopolis, Bulgaria”

Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria (Copyright Tilev Architects) (click-2-enlarge)



รูปที่ 2.29 รูปตัดขวางของเมืองจมน้ำ “Seuthopolis, Bulgaria”

Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria (Copyright Tilev Architects) (click-2-enlarge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แผนผังเมืองเดิมก่อนจมน้ำของ “Seuthopolis, Bulgaria”

Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria (Copyright Tilev Architects) (click-2-enlarge)



รูปที่ 2.31 ทักษณียภาพทางอากาศของเมืองจมน้ำ “Seuthopolis, Bulgaria”

แสดงแนวเขื่อนที่ไม่ถาวรจนทำให้ต้องจมน้ำ Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria

(Copyright Tilev Architects) (click-2-enlarge)

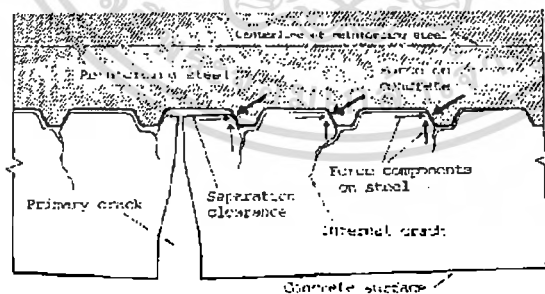
สิ่งที่เป็นประเด็นให้เราได้ศึกษาต่อไปก็คือแนวความคิดในการออกแบบบูรณะเมืองที่จมน้ำ Seuthopolis ขึ้นมาใหม่นี้ น่าจะนำไปประยุกต์เพื่อการออกแบบกันน้ำท่วมหรือการกักเซาะของน้ำ ได้ ผู้วิจัยพิจารณาเห็นว่าแนวความคิดของไทยเรานี้สามารถอ้างอิงและนำไปประยุกต์ร่วมกับ แนวทางในการกอบกู้อาคารหรือเมืองที่จมน้ำ ในประเทศสบูทกาเรีย (Seuthopolis, Bulgaria) ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอย่างดี เนื่องจากว่าคันท่อนที่มีขนาดพอสมควรแก่ภูมิประเทศนั้นสามารถนำมาใช้ทั้งหล่อเลี้ยง และทั้งใช้ป้องกันภัยธรรมชาติหรืออุทกภัยได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นการออกแบบเมืองที่ปลอดภัย จากปัญหาน้ำท่วมเช่นในเขตที่ราบลุ่มเช่น จังหวัดพระนครศรีอยุธยานั้นก็สามารถใช้เทคโนโลยีเช่น ที่ว่านี้ร่วมกับแนวความคิดจาก “สรีดภงส์” เชื่อกันน้ำโบราณในประเทศไทย นำมาซึ่ง แนวทางใหม่ที่จะสามารถใช้แก้ปัญหาน้ำท่วมเมืองได้เช่นเดียวกัน ดังจะได้ขยายความให้เป็น รูปธรรมในโอกาสต่อไป

2.8 วรรณกรรมการวิจัยเรื่องการกักร่อนในคอนกรีตเสริมเหล็ก

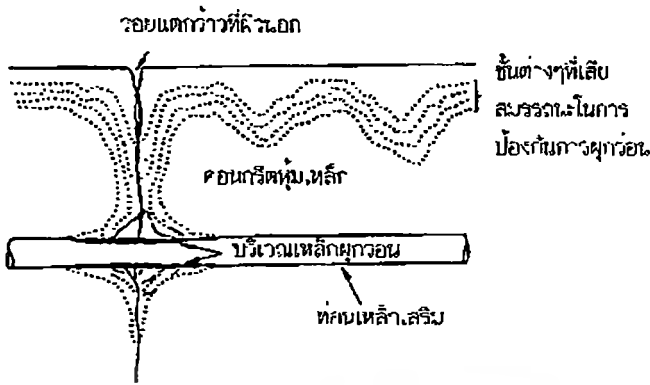
โดย Suzuki, Srisompong 1986

น้ำท่วมขังนำความชื้นสูงเข้ามาสัมผัสโครงสร้างอาคารทำให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากเกิด การกักร่อนของคอนกรีตและเหล็กเสริมกำลังของคอนกรีตเอง และจะรุนแรงขึ้นเมื่อมีการ แตร้าวเกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีต วรรณกรรมชิ้นหนึ่งที่กล่าวถึงเรื่องนี้ถูกนำเสนอโดย Suzuki, Srisompong ในปี 1986 ที่ได้กล่าวว่า รอยแตกร้าทั้งน้อยและใหญ่ที่ก่อจากผิวแล้วลามเข้าไปถึง เหล็กเสริมในคอนกรีตจะก่อให้เกิดการแยกผิวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นระยะทางไกล พอที่จะทำให้เกิดโพรงสะสมความชื้นและออกซิเจนข้างใน เหล็กจะเป็นสนิมและกักร่อนในทันที ที่เกิดการแตกร้าวขึ้น



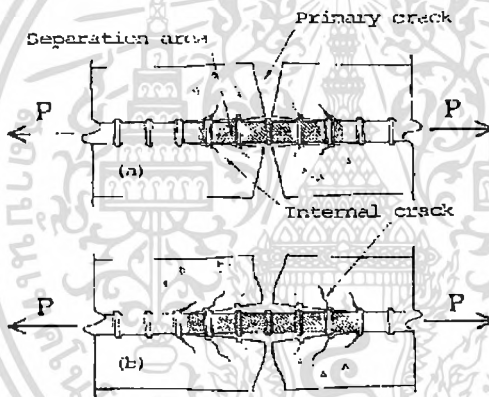
รูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์ระหว่างการแตกร้าวภายในและรอยแตกร้าวภายนอก

(Courtesy: Suzuki, Srisompong 1986)



รูปที่ 2.33 ช่องว่างระหว่างการแยกผิวเหนียวยืดระหว่างเหล็กและคอนกรีตใกล้บริเวณรอยแตกกว้าง

ภายนอก (Courtesy: Suzuki, Srisompong 1986)



รูปที่ 2.34 ลักษณะของการเกิดสนิมบริเวณเหล็กเสริมในคอนกรีต

(Courtesy: Suzuki, Srisompong 1986)

2.9 การออกแบบระดับชุมชนเมือง (Urban-Context)

แนวคิดในการสร้างบ้านแบบที่วุ่นนี้ เกิดขึ้นมาจากเหตุการณ์น้ำท่วมโลกเมื่อ 4,000 ปีก่อนที่บันทึกไว้ในพระคัมภีร์ไบเบิล และชายคนหนึ่งชื่อ โนอาห์ก็สามารถรอดชีวิตได้ เนื่องจากเขาได้ต่อเรือไว้รับมือกับเหตุการณ์นี้ และใช้ชีวิตอยู่อาศัยบนเรือลำนี้เป็นระยะเวลาอันยาวนานจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ ซึ่งก็เหตุการณ์ในครั้งนั้นก็ประจวบเหมาะกับการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโลกเราในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นภาวะโลกร้อน แผ่นดินไหว ซึนามิ และอุทกภัยอย่างรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างที่เห็นล่าสุดก็คือ เหตุการณ์น้ำท่วมครั้งรุนแรงที่สุดในรอบ 60 ปีของประเทศอังกฤษ ที่ส่งผลให้ประชากรกว่า 30,000 คนไร้ที่อยู่อาศัย และทำให้บริษัทประกันภัยต่างๆ ต้องจ่ายค่าชดเชยไปกว่า 6 ล้านดอลลาร์สหรัฐ

นอกจากนี้ยังมีเหตุการณ์ฝนตกหนัก โคลนถล่มที่ประเทศอินเดีย เนปาล และบังกลาเทศที่คร่าชีวิตผู้คนและทำให้คนไร้ที่อยู่เป็นจำนวนมาก

ที่สำคัญ ได้มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้ทำนายไปในทิศทางเดียวกันว่า ในอนาคตข้างหน้า โลกของเรานั้นจะมีปริมาณน้ำที่มากขึ้น ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ทำให้น้ำไหลเข้าท่วมบริเวณที่อยู่อาศัยของคนเป็นบริเวณกว้าง จึงทำให้มีคนที่เกิดแนวคิดที่จะสร้างบ้านที่สามารถลอยตัวบนน้ำได้ เพื่อรองรับกับเหตุการณ์ทางธรรมชาติที่จะเกิดขึ้น

แนวคิดการสร้างบ้านแบบใหม่นี้จะต่างจากบ้านแบบธรรมดาตรงที่การออกแบบและวัสดุที่ใช้จะค่อนข้างยืดหยุ่นและลอยตัวได้เมื่อน้ำท่วมหรือน้ำทะเลหนุนขึ้นสูงถึง 5 เมตร ซึ่งบริษัทที่คิดค้นได้มีการพัฒนาแบบบ้านมาสองแบบ โดยแบบแรกคือบ้านที่ปกติก็ลอยตัวอยู่บนน้ำเลยเหมือนเรือ และแบบที่สองที่ในสภาวะปกติก็ทรงตัวบนพื้นแผ่นดินธรรมดาเหมือนทั่วไป แต่ถ้าเกิดกรณีน้ำท่วมขึ้นมา ตัวบ้านก็จะสามารถลอยตัวขึ้นเหนือน้ำเหมือนเรือ

ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการสร้างจะใช้กล่องคอนกรีตสี่เหลี่ยมกลวงมาทำเป็นฐาน เพื่อทำให้บ้านลอยตัวได้บนน้ำ และใช้เสาเหล็กกล้าเป็นโครงสร้างหลักและเสริมความมั่นคงของตัวบ้าน ส่วนของสาธารณูปโภค เช่น น้ำและไฟนั้นจะมีการส่งผ่านท่อที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากต่อกระแสน้ำที่จะมาปะทะอีกด้วย และในส่วนที่เหลือต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ภายในบ้าน หรือแบบบ้านนั้นก็คล้ายกับบ้านปกติโดยทั่วไป เช่น ต้องการที่จะมีระเบียงบ้านยื่นออกไป หรือต้องการติดบานพับหน้าต่างและทาสีต่างๆ ซึ่งบ้านแบบใหม่นี้นอกจากจะออกแบบและสร้างไว้เพื่อรับมือกับน้ำท่วมแล้ว บ้านแบบนี้ก็ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

โดยแนวคิดนี้ได้ใช้เวลาในการพัฒนาและค้นคว้ามากกว่าสามปีโดยบริษัททางวิศวกรรม-สถาปัตยกรรมชั้นนำในประเทศเนเธอร์แลนด์ ที่ชื่อว่า “Dutch architectural form Factor Architecten” ซึ่งโครงการนี้เกิดขึ้นมาจากว่าที่ประเทศเนเธอร์แลนด์นั้น พื้นที่ครึ่งหนึ่งของประเทศมีระดับอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล จึงทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมอยู่เสมอ ทางบริษัทจึงคิดหาทางแก้ไข ซึ่งทางแก้ปัญหามันเหมือนว่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับประชากรในประเทศ และทั่วโลกอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎี”คลัสเตอร์-อิน-ดิ-แอร์” (“Clusters in the Air” by Arata IsoZaki)

โดย “อะระตะ ไอโซะซากิ”

Arata Isozaki ได้เสนอแนวความคิดที่อิงจากแนวทางชีวภาพของเซลล์ โดยออกแบบอาคารชุดที่มีรูปลักษณะผูกยึดกันไว้คล้ายฟองลูกโป่งที่มัดติดกันเป็นพวงและห้อยแขวนอยู่กลางอากาศโดยมีการรองรับด้วยเสาขนาดใหญ่ทำเป็นแกนกลางของแต่ละ “พวงร้อย” ที่ห้อยยึดกับเป็นแพ จากนั้นให้ปลายยื่นในแต่ละชุดยื่นออกมาบรรจบกันได้เพื่อการเข้าถึงกันได้บนอากาศเพื่อหลีกเลี่ยงความแออัดข้างล่างบนชั้นดิน แนวความคิดนี้ยังเป็นต้นตอของแนวทางหลีกเลี่ยงน้ำท่วมเมืองในเวลาต่อมา

เขาได้ให้ชื่อเรียกแนวความคิดนี้ว่า “Clusters in the Air” ในนครโตเกียวในปี ค.ศ.1960-62 เขาให้ความคิดว่าถึงเวลาแล้วที่โตเกียวต้องมีที่อยู่อาศัยในลักษณะนี้ทั่วไปทั้งเมือง รูปลักษณะโดยทั่วไปมองคล้ายต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีบ้านเล็กๆเป็นจำนวนมากแขวนอยู่บนนั้น(ตามกิ่งก้านสาขา) ซึ่งกิ่งของต้นไม้เหล่านี้จะเชื่อมต่อกันและกัน กิ่งต่อกิ่ง



รูปที่ 2.35 “Clusters in the Air” ออกแบบโดย Arata IsoZaki”

แม้งานนี้ไม่ได้ถูกนำไปสร้างขึ้นจริง แต่นับเป็น โปรเจ็คที่กล่าวขวัญกันอย่างกว้างขวางในศตวรรษนี้ขึ้นหนึ่ง แนวความคิดนี้ได้นำสถาปัตยกรรมไปผนวกกับแนวคิดทางโครงสร้างชนิด “megastructures” ในทางวิศวกรรมโยธา ร่วมด้วยกับแนวคิดทางด้านการผลิตในระบบอุตสาหกรรมที่อยู่อาศัยในรูปแบบแคปซูล ในปี 1960-1962 นั้นแนวความคิดนี้นับว่าใหม่และล้ำยุคมาก ความคิดนี้ได้ถูกนำมาใช้อย่างใกล้เคียงกับความคิดเดิม กล่าวคือสามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบที่ต้องการหนีจากความอึดอัด กอแฉะ และเลื่องปัญหาน้ำท่วมขังได้ ปัจจุบันนี้นคร โตเกียวปลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัญหาน้ำท่วมเฉียบพลันได้เนื่องจากได้มีการก่อสร้างอุโมงค์กักเก็บและระบายน้ำขนาดยักษ์แล้วเสร็จและได้เปิดใช้แล้วเมื่อประมาณปี ค.ศ.2006 ลักษณะการยกสูงในความคิดของ ไอโซะวาเกะ นี้คงคลายความจำเป็นในที่นั้น แต่คงจะเป็นประโยชน์กับประเทศอื่นที่กำลังพัฒนาและประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก เช่นประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศสิงคโปร์ด้วย

Isozaki ได้รับการยกย่องว่าเป็นสถาปนิกในยุคของ “Postmodernism” คนหนึ่งที่รองลงมาจาก Kenzo Tange สถาปนิกรุ่นพี่ที่มีชื่อเสียง และเคยเป็นหัวหน้างานออกแบบสถาปัตยกรรมของเขา

ก่อนการใช้งานผิวของเหล็กจะถูกเคลือบไว้ ด้วยผงของออกไซด์ขนาดใหญ่อยู่กระจัดกระจายทั่วไปปกคลุมผิวเหล็กที่รีดแล้วเอาไว้ชั้นหนึ่งก่อน แต่จากการตรวจสอบอย่างละเอียดจะพบว่ามียรอยแตก (Cracking) หรือการหลุดล่อนของสารที่เคลือบไว้ในระดับหนึ่ง ต่อมาเมื่อมีน้ำและออกซิเจนที่อยู่รอบๆ ผิวของเหล็กนั้นเซซิมเข้ามาสัมผัสก็จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ๆ ของเหล็กที่แตกตัวอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือองค์ประกอบทางไฟฟ้าขนาดเล็กเรียกว่า “ไอออนของเหล็ก” มีสัญลักษณ์ทางเคมีว่า “Fe++” ดังในรูปที่ 4.5 ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่บริเวณที่อยู่ระหว่างชั้นบางๆ ของออกไซด์ที่เคลือบเอาไว้ และมีร่องรอยหลุดลอกไปก่อนในชั้นแรกจากนั้นจะลุกลามออกไปบริเวณกว้างในเวลาอันรวดเร็ว

เนื่องจากการกัดกร่อนของโครงสร้างนั้นเกิดจากภายในเนื้อของโครงสร้าง สํารวจด้วยตาเปล่าจึงทำให้มีความแม่นยำในคิรีที่จำกัด ดังนั้นการสำรวจโดยการประเมินค่าที่แปรเปลี่ยนได้โดยมาตรวัดคุณภาพ (quantitative evaluation) จึงน่าจะเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งเพื่อสมทบหรือนำมาประกอบเพื่อเสริมเสริมความแม่นยำของข้อมูลที่ฟังจะได้รับมาตรวจดังกล่าวจะครอบคลุมการซังน้ำหนัก(ใช้แท่งทดลอง) การใช้มาตรวัดทางกระแสไฟฟ้า และการใช้สัญญาณเสียงสะท้อน (acoustic emission, หรือ AE techniques) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัยและแนวความคิดในการออกแบบโครงสร้างที่จมอยู่ในน้ำ

Research Methodology and Design Concepts

for the Submerged Structures

3.1 ศึกษาเพื่อเสนอการแก้ปัญหาความเสียหายจากการจมน้ำของทางวิ่งและทางขับของ

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

พื้นที่ก่อสร้างเป็นทางวิ่งของสนามบินสุวรรณภูมินั้นเป็นที่ต่ำ สภาพเดิมเป็น บ่อปลาและสวน โดยมีคลองไหลผ่านภายในหลายสาย ระดับน้ำใต้ดินและการขึ้น-ลงตามฤดูกาลของน้ำใต้ดินนั้นมักจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่มีชั้นดินที่อ่อนและมีน้ำท่วมขัง ก่อนการก่อสร้างได้มีการถมคลองและยกเลิกบ่อปลาในพื้นที่เป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังได้อพยพผู้อยู่อาศัยอยู่ในท้องที่เดิมออกไปถึงมากกว่า 2,000 หลังคาเรือน และวัดอีก 1 แห่ง มีการขุดคูตึก (side ditch) และทำคันเขื่อนสูง 3.50 เมตรรอบพื้นที่ นอกจากนี้ยังติดตั้งสถานีสูบน้ำและทำบ่อกักเก็บน้ำจำนวน 6 แห่ง ในขณะที่กรมชลประทานก็ได้ทำการสร้างสถานีสูบน้ำทิ้งลงทะเลอีกถึง 3 แห่งเพื่อเตรียมรับสถานการณ์เพื่อควบคุมน้ำท่วมพื้นที่ทั้งหมดก่อนการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ

การออกแบบทางวิ่งและทางขับได้ถูกจัดทำขึ้นโดยมีความคาดหมายว่า ด้วยเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาใช้ในการออกแบบ โดยทำการกดบิบบเพื่อขับน้ำใต้ดินออกไปอย่างเร่งด่วนก่อนซึ่งคาดหมายว่าจะสามารถแก้ปัญหาการขึ้น-ลงของน้ำใต้ดินที่มีระดับปริ่มและใกล้ถึงระดับทางวิ่งและทางขับได้ แต่เนื่องจากสภาพภูมิศาสตร์ในท้องที่นั้นเป็นที่ลุ่ม ดินอ่อนมากและที่มีน้ำท่วมขัง สภาพการทรุดตัวของดินที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลในท้องที่ก็ยังคงเป็นปัญหาอย่างต่อเนื่องอยู่แม้ว่าจะได้ออกมาตรการควบคุมโดยรัฐบาลอยู่แล้วก็ตาม และแม้ว่าการปรับสภาพและเพิ่มศักยภาพในการรับน้ำหนักของดินก็ได้ถูกทำขึ้นด้วยเทคโนโลยีใหม่ดังกล่าวข้างต้นแล้ว เพื่อการรับมือกับและป้องกันความเสียหายอันอาจจะเกิดขึ้นก่อนการใช้สนามบินก็ตาม แต่เมื่อเปิดใช้งานได้ไม่นานก็ได้ประสบปัญหา น้ำใต้ดินซึมขึ้นมาถึงผิวทางวิ่งและทางขับอย่างที่เกินจากความคาดหมายกลายเป็นปัญหาหนักที่ทำให้ต้องแก้อย่างเร่งด่วนเนื่องจากการใช้งานของทางวิ่งและทางขับไม่อาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยุดพักได้ ซึ่งคาดว่าจะต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการนี้เป็นจำนวนมาก ระดับน้ำใต้ดินและการขึ้น-ลงตามฤดูกาลของน้ำใต้ดินนั้นมักจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่มีชั้นดินที่อ่อนและมีน้ำท่วมขัง ในช่วงเวลานับตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2549 จนกระทั่งปัจจุบันนี้ ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ส่งผลกระทบต่อก่อให้เกิดความเสียหายของผิวทางวิ่ง (Runway) และ ทางขับ (Taxiway) ในหลายพื้นที่ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิซึ่งได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 4 เดือน หลังจากการเปิดใช้งาน) ปรากฏการณ์นี้ได้เป็นอุปสรรคต่อการใช้งานท่าอากาศยานที่เพิ่งเปิดใช้ใหม่ เป็นความสูญเสียที่เกินความคาดหมาย

ได้มีการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้นในครั้งนี้อย่างเร่งด่วนเพื่อการแก้ไข ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า น้ำใต้ดินที่มีระดับสูงชันในฤดูน้ำหลากเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้โครงสร้างสนามบินเกิดการชำรุด บทควมนี้นำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหา โดยปิดกั้นการซึมผ่านของน้ำ (water penetration) ที่ผ่านชั้นดินขึ้นมาจนถึงผิวบนของโครงสร้างพื้นทางวิ่งและทางขับของสนามบิน



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงการใช้พื้นที่ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสภาพแวดล้อมโดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงการใช้พื้นที่สร้างทางวิ่งของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ได้ระดับที่ลึกกว่า 15 เมตรลงไปเป็นดินเหนียวแข็ง (stiff clay) สีน้ำตาลปนเทา ซึ่งคาดว่าสามารถใช้เป็นชั้นดินที่จะพองฐานรากของอาคารและสิ่งปลูกสร้างได้อย่างมั่นคง

การทดลองขุดเจาะเริ่มทำในเดือน มิถุนายน พ.ศ.2518 ทำการขุดอ่างน้ำที่กว้าง 32 เมตร ยาว 80 เมตร ต้องการให้อยู่ที่ระดับลึก 15 เมตร ทั่วอ่างน้ำมีความลาดเอียง 1 : 2.5 การขุดเจาะใช้เวลาประมาณ 30 วัน ซึ่งได้ความลึกประมาณ 4 เมตร จากนั้นได้หยุดการขุดไว้เพื่อทำการตรวจสอบพฤติกรรมของดินในระยะยาวว่ามีการทรุดตัวหรือการคืบของมวลดินหรือไม่ ผลการตรวจสอบพบว่าพื้นลาดเอียงยังคงสภาพได้ดี ค่าปัจจัยความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

จากผลการตรวจสอบด้วยมาตรวัดความดัน เครื่องวัดการทรุดตัวและวัดการเบี่ยงเบนที่ติดตั้งก่อนการขุดเจาะเพื่อหาความดันของน้ำในโพรงและการเคลื่อนตัวพบว่า ค่าความดันเป็นลบเนื่องจากการคลายความเค้น (stress relief) ของมวลดิน และมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างประกอบกับการปูด (heave) ของมวลดิน จึงคาดว่าจะมีการแตกหัก (failure) ของมวลดินในบางส่วนที่เกิดขึ้นต่อมา

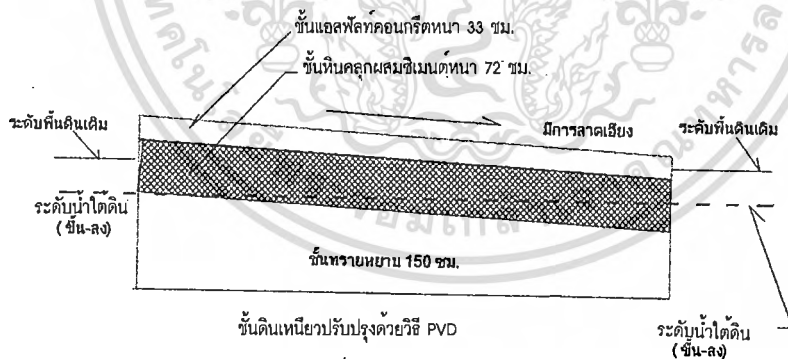
การป้องกันการพังทลายของมวลดิน ก็กระทำด้วยกรรมวิธีการสูบน้ำออกในช่วงที่มีฝนตก จุดที่พบว่าการแตกหักแห่งหนึ่งนั้นอยู่ทางมุมตะวันตกเฉียงใต้ของบริเวณที่ขุดเจาะ ซึ่งพบภายหลังจากที่ได้ทำการขุดเจาะแล้วเสร็จได้ 85 วัน ระหว่างนั้นได้เกิดรอยแยกตามแนวตั้งตรงบริเวณส่วนบนของการขุดเจาะ ทำให้น้ำใต้ดินแทรกเข้ามาท่วมบริเวณขุดเจาะมีความสูงถึง 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตรในวันที่ 93 หลังจากการขุดเจาะ มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการสูบน้ำทิ้งและทำการสูบน้ำออกตลอด 24 ชั่วโมง ระดับน้ำในแอ่งจึงลดลงอย่างรวดเร็วจนลงมาอยู่ที่ระดับ 0.70 เมตร อย่างไรก็ตามพื้นลาดเอียงบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ก็พังทลายลงมาในวันที่ 94 ของการขุดเจาะ

จากสังเกตการณ์นี้มีการลงมติว่าไม่สามารถขุดลึกลงไปได้มากกว่า 4 เมตร ได้ ข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียในการเพิ่มเสถียรภาพของมวลดินที่เป็นดินเหนียวเหนียวของแอ่งเจ้าพระยาบริเวณนี้ก็คือ การเสริมโครงสร้างด้วยสันยื่นกำแพง (butteress) หรือเพิ่มเสาเข็มเข้าไปโดยใช้กำแพงเข็มพีค (sheet pile) โดยรอบบริเวณที่ทำการขุดเจาะนั้น เนื่องจากได้ค้นพบว่ามวลดินในแอ่งดินนี้จะมีสภาพพลาสติกได้ง่ายเมื่อเปียกน้ำ

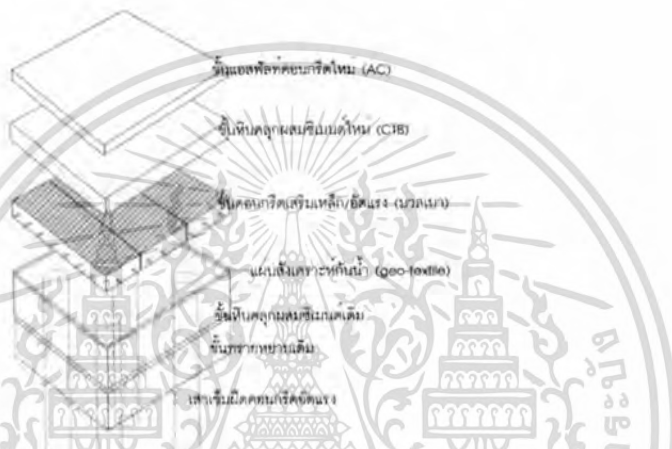
น้ำใต้ดินที่ท่วมสูงนับว่าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้พื้นผิวท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้างอย่างรวดเร็ว เนื่องจากได้ใช้งานพื้นที่ทางวิ่งในบริเวณนั้นในอัตราที่สูงเกือบเต็มความต้องการของการท่าอากาศยานเป็นประการหนึ่ง เมื่อเริ่มเปิดใช้สนามบิน นั้นเป็นฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน ทำให้มีปริมาณน้ำฝนที่ค้างอยู่ในสนามบินเป็นจำนวนมาก น้ำบางส่วนได้ซึมลอดผ่านลงดินและยังอยู่สะสมอยู่ใต้ผิวพื้นสนามบินเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินก็หนุนอยู่เป็นทุนเดิม น้ำจึงแทรกซึมขึ้นมาขังอยู่ ณ บริเวณชั้นของแอสฟัลติกคอนกรีตที่เป็นผิวของทางวิ่งโดยตรง ก่อให้เกิดการหลุดร่อนของวัสดุที่ทำหน้าที่รองรับล้อของอากาศยานโดยตรง



รูปที่ 3.3 โครงสร้างพื้นทางวิ่งเดิม



รูปที่ 3.4 รูปตัดแสดงแนวทางแก้ไขโครงสร้างพื้นทาง



รูปที่ 3.5 แนวทางการแก้ไข แสดงด้วยภาพสามมิติ

3.2 ศึกษาและสำรวจปัญหาการเกิดสนิมเหล็กในสภาวะจมน้ำจืด-น้ำกร่อย และน้ำเค็มเป็นเวลานาน

น้ำท่วมขังที่มีระดับชั้นลงตรงเสาตอม่อของอาคารเป็นกรณีที่เกิดขึ้นได้โดยทั่วไปเนื่องจากการออกแบบและก่อสร้างที่วางฐานรากและเสาตอม่อไว้ในที่ต่ำกว่าระดับน้ำอยู่แต่เดิม หรือมาประสบปัญหาน้ำท่วมขัง หลังจากใช้อาคารไปแล้วและยังไม่ได้รับการแก้ไขสถานการณ์ งานวิจัยชิ้นนี้จึงออกแบบให้มีการสำรวจความสูญเสียของโครงสร้างอาคารที่มีการกำหนดให้ตั้งอยู่หรือมาประสบปัญหาน้ำท่วมขังเป็นเวลายาวนานต่อมาภายหลัง ซึ่งสมมติฐานในการวิจัยครั้งนี้ตั้งอยู่ให้มีอัตราการเสี่ยงต่อความสูญเสียเท่าเทียมกันในทุกกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทบทวนวรรณกรรมที่ว่าด้วยการเสื่อมสภาพของคอนกรีตในสภาพแวดล้อมที่วิกฤติ

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตในสภาพแวดล้อมสามารถจำแนกออกได้ดังต่อไปนี้

1. การเสื่อมสภาพเนื่องจากการหดตัวขณะแห้ง (drying shrinkage) การหดตัวแบบพลาสติก (plastic shrinkage) การทรุดตัวของดิน (subsidence) การทรุดตัวของดินได้ฐานราก (settlement) และการแข็งตัวและหลอมตัวของน้ำในคอนกรีต (freezing and thawing)
2. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางเคมี ได้แก่การคาร์บอนเนชัน(carbonation) การกัดกร่อน โดยกรด (acid attack) การกัดกร่อน โดยซัลเฟต(sulfate attack) และปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (alkali-aggregate reaction) เป็นต้น
3. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางกล ได้แก่การขัดสี (abrasion) การชะด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย (erosion) และการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ(cavitations)
4. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางชีวภาพ ได้แก่การเสื่อมสภาพโดยตะไคร่ รา รากพืช หรือแบคทีเรียบางประเภท
5. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุรวม (mixed process) ได้แก่ การก่อสนิมในเหล็กเสริม ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่ทำลายเศรษฐกิจทางด้านอาคารและสิ่งปลูกสร้างและอาจทำให้เกิดการวิบัติแก่โครงสร้าง

3.3 ศึกษาการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมใกล้น้ำเค็ม

ในสภาวะแวดล้อมทางทะเลนั้นจะมีปรากฏการณ์ของการแทรกตัวของคลอไรด์เข้ามาเพิ่มความรุนแรงและอัตราเร่งการกัดกร่อนอีกประการหนึ่งร่วมกับ คลอไรด์นี้จะทำลายผิวปกป้องเดิมของเหล็กเสริมคอนกรีต (depassivation action) จนเป็นจุดเริ่มของการก่อสนิมในเหล็ก

อัตราการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตโดยรวมจะดำเนินไปในอัตราเร่ง ในขณะที่ความสามารถในการรับน้ำหนักและต้านทานความเค้นขององค์อาคารในโครงสร้างส่วนนั้นๆจะเสื่อมลงในอัตราเร่งเดียวกันจนกระทั่งสูญเสียความแข็งแรงจนหมดอายุการใช้งานในที่สุด



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสภาพการกัดกร่อนที่เห็นได้ชัดเจนของโครงสร้างที่เสียดอยู่ในสภาวะ
ปริ่มอยู่ในระดับน้ำทะเลที่ขึ้น-ลง โดยไม่มีคลื่นเป็นตัวเร่ง

(courtesy: Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach, Institute for Building

Materials Research of Aachen University, ibac)



รูปที่ 3.7 การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตเทหล่อในพื้นที่ที่มีการจี้คอนกรีตขณะเทหล่อที่
ไม่สมบูรณ์ (courtesy: Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach, Institute for Building Materials Research

of Aachen University, ibac)



รูปที่ 3.8 สภาพการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตบริเวณที่แตกร้าวจนถึงเนื้อเหล็กของอาคารจอดรถแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเล เมื่อโครงสร้างมีอายุการใช้งานมาแล้วประมาณ 10 ปี (deicing salts, courtesy: Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach, Institute for Building Materials Research of Aachen University, ibac)

3.4 ศึกษาเหตุผลทางด้านปฏิกิริยาทางเคมี

Chlorides

บทบาทของ chlorides ถูกถกเถียงกันมาก ว่าระดับของ chlorides ที่แทรกเข้าไปในเนื้อคอนกรีตที่จะทำให้เหล็กเสริมแปรสภาพไปนั้นเป็นอย่างไร

อิทธิพลของ chlorides ที่ก่อการ depassivation เป็นเรื่องที่พูดกันมาก หากปริมาณของ chlorides in the concrete ตรงตำแหน่งที่หุ้มเหล็กไว้อยู่นั้นเกินอัตราปกติไปแล้ว เข้า passive film ก็จะต้องออกไปปล่อยให้เหล็กอยู่ในสภาวะเปลี่ยนทันที

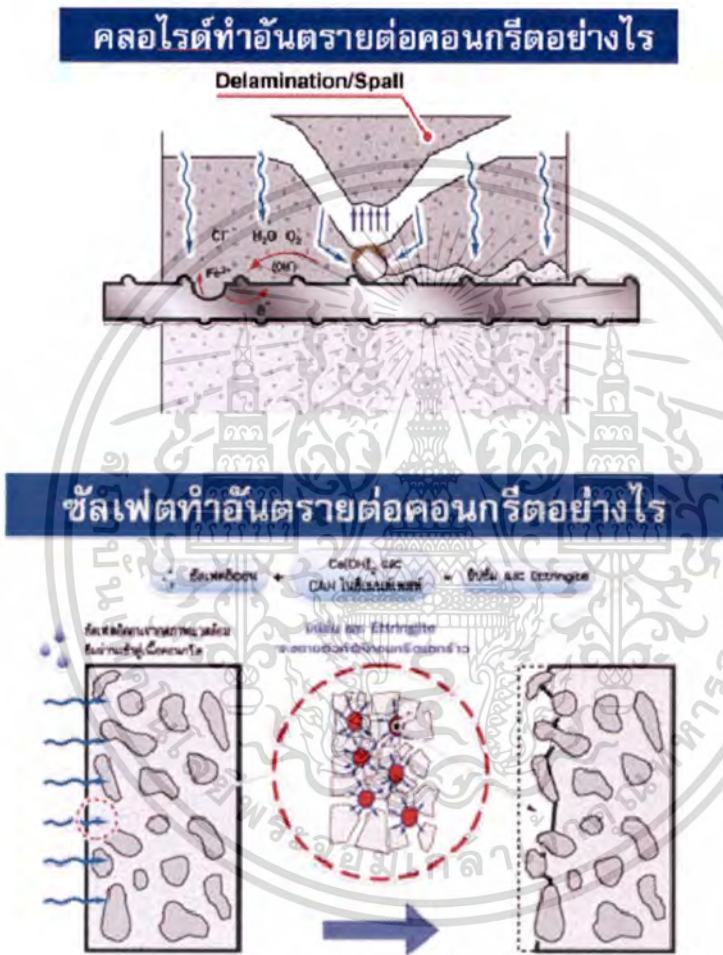


รูปที่ 3.9 ความเสียหายของคอนกรีตชายฝั่งทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาที่ทำลายคอนกรีตในทะเลคือ

1. คลอไรด์จะทำปฏิกิริยาทำให้เหล็กเสริมเป็น สนิมซึ่งเป็นการลดพื้นที่หน้าตัดรับแรงของเหล็กกล้า
2. ซัลเฟตทำปฏิกิริยาทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัว และลดสมรรถนะการรับแรงอัดของคอนกรีต



รูปที่ 3.10 แบบจำลองของความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตจาก คลอไรด์และซัลเฟต

โดยทั่วไปผู้อยู่ในวงการก่อสร้างมักมีความเข้าใจว่าซัลเฟต คือสาเหตุหลักของการเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล แต่การวิจัยพบว่าคลอไรด์เป็นเกลือที่อยู่ในน้ำทะเลมากที่สุดถึง 90% และทำลายเหล็กเสริม ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญการลดลงของประสิทธิภาพโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ แบ่งออกได้เป็น 2 แนวทางคือ

1. โดยการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต และเหล็กเสริม
2. โดยอาศัยขบวนการทางไฟฟ้า

1. การป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมโดยการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตและเหล็กเสริมอาจ กระทำได้ ดังต่อไปนี้

1) ออกแบบและใช้คอนกรีตที่มีความชื้นน้ำต่ำมาก ๆ คอนกรีตที่มีความชื้นน้ำต่ำจะทำให้คลอไรด์แพร่เข้าไปในคอนกรีตได้ยาก การใช้สารประเภท Filler ซิลิกาฟูม ซึ่งการใช้วัสดุ Pozzolan ในปริมาณเหมาะสม นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตที่บ่มน้ำมากขึ้นแล้ว ยังช่วยจับยึดคลอไรด์ได้มากกว่า

คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียวด้วย

2) ใช้สารเคลือบผิวคอนกรีต เช่น Epoxy เป็นต้น

3) ใช้สารผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น Calcium หรือ Sodium Nitrite ที่สามารถช่วยทำให้ปฏิกิริยาอะโนดิก (Anodic) นั้นเกิดยากขึ้น

4) ใช้เหล็กเสริมที่ไม่เป็นสนิม หรือเคลือบผิว เหล็กเสริม แต่จะเป็นวิธีที่แพงมาก ต้อง

ออกแบบคอนกรีตไม่ให้เกิดการแตกร้าว

2. การป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริม โดยอาศัยขบวนการทางไฟฟ้า มี 3 วิธี ได้แก่

1) Cathodic Protection คือ ขบวนการลดอัตราการเกิดสนิม โดยเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของขั้วลบให้เท่ากับศักย์ไฟฟ้าของขั้วบวกดีด โลหะซึ่งสามารถเกิดสนิมได้ง่ายกว่าเหล็ก (เสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า) ไว้กับเหล็กเสริม เรียกโลหะชนิดนี้ว่า “Sacrificial Anode”

2) Electrodeposition การป้องกันการเกิดสนิมด้วยวิธี Electrodeposition สามารถกระทำได้โดยผ่านไฟฟ้ากระแสตรงระหว่าง เหล็กเสริม (ขั้วลบ) ในคอนกรีต กับขั้วไฟฟ้า (ขั้วบวก) ที่ติดตั้งอยู่อีกบริเวณหนึ่งในทะเล วิธีการนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่อยู่ใต้ทะเล

3) Desalination and Realkalization วิธีการป้องกันการเกิดสนิมด้วยวิธี Desalination and Realkalization เป็นขบวนการที่ไม่ซับซ้อน โดยมีหลักการคือเมื่อแท่งคอนกรีตที่มีไอออนของคลอไรด์ (Cl-) ถูกวางอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ไอออนของคลอไรด์ซึ่งมีประจุลบจะเคลื่อนที่ไปสู่ขั้วบวก และถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงพอ ไอออนของคลอไรด์ จะเคลื่อนที่ออกจากคอนกรีต ไปสะสมในขั้วบวก ในขณะที่เดียวกันที่บริเวณเหล็กเสริมที่เป็นขั้วลบ อิเล็กตรอนก็จะรวมตัวกับน้ำ ทำให้เกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลข้างต้น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำงานใกล้ชายฝั่งทะเลจะเน้นการป้องกันการเป็นสนิมของเหล็กเสริมจากคลอไรด์ สำหรับมาตรฐานการทดสอบการต้านค่าซึมผ่านของคลอไรด์ที่ได้การยอมรับในระดับสากล คือ ASTM C-1202 : Rapid Chloride Penetration ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบ 6 ชั่วโมง บจก.สยามวิจัย รับบริการทดสอบ Rapid Chloride Penetration เป็นแห่งแรกของประเทศไทย และการทดสอบดังกล่าวเริ่มเป็นที่ยอมรับในหน่วยงานราชการ โดยเฉพาะ ถูกเลือกเพื่อควบคุมคุณภาพคอนกรีตโครงการการก่อสร้าง “สะพานติณสูลานนท์” ของกรมทางหลวง

การพัฒนาสินค้า CPAC Marine Concrete จะออกแบบโดยมาตรฐานการต้านการซึมผ่านของคลอไรด์ (ตารางที่ 1) ที่ Chloride Passed 100-1,000 coulombs ในปี 2547 (Very Good) ที่ผ่านมาได้ พัฒนาสินค้าในกลุ่มหลายตัวในชุด Marine Concrete Series ได้แก่ Fast Setting Marine Concrete, Pre-Cast Marine Concrete, Pavement Marine Concrete, Bore Pile Marine concrete และ Marine Concrete ในส่วนขยายระยะทางจากเดิมที่ไม่เกิน 3 กม. ไปจนเป็นระยะทาง 15 กม. ทำให้สินค้าในกลุ่มนี้ครอบคลุมการใช้งานคอนกรีตในเกือบทุกการใช้งาน (Application-Based-Design)

ในปี 2548 ได้ออกกลุ่มสินค้า Marine Concrete อีกชั้นคุณภาพเพื่อรองรับงานในกลุ่มงานทั่วไปที่ไม่ใช้งานโครงการโดยใช้ชื่อสินค้าคือ CPAC Marine Concrete Series-414 จะใช้มาตรฐานการต้านการซึมผ่านของคลอไรด์อยู่ที่ Chloride Passed 1,000-2,000 coulombs อยู่ในชั้นคุณภาพคอนกรีตระดับดี Good ซึ่งคุณสมบัติการต้านทานคลอไรด์เปรียบเทียบกับส่วนผสมอื่น ๆ แสดงในกราฟที่ 1

ปริมาณของคลอไรด์

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไป มักได้รับผลกระทบจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเป็น ส่วนมากซึ่งมีปัจจัยสำคัญมาจากการที่คลอไรด์ซึมผ่านคอนกรีตเข้าไปถึงเหล็กเสริมและไปทำลายฟิล์มที่เคลือบผิวของเหล็กเสริม เมื่อคลอไรด์ที่ซึมเข้าไปในคอนกรีตนั้นมีปริมาณมากพอ ก็จะทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นเกิดสนิมขึ้น ซึ่งการเกิดสนิมที่เหล็กเสริมนั้นมีผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ ทำให้หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลงเป็นผลให้ความคงทนต่อการรับน้ำหนักทั้งแรงดึงและแรงอัดของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง นอกจากนี้ยังมีการแอ่นตัวของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมากขึ้นและการที่เหล็กเสริมเกิดสนิมมากขึ้นก็จะดันให้คอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมที่อยู่ภายนอกแตกออกทำให้หน้าตัดในการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง ความเสียหายจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าการซึมผ่านของคลอไรด์เข้าไปในคอนกรีตจึงทำให้ความคงทนและอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดชายฝั่งทะเลนั้นจะได้รับผลกระทบจากคลอไรด์มากกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสาเหตุหลัก ๆ ของการเกิดสนิมที่เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีสาเหตุมาจากคลอไรด์ ในการวิจัยนี้จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณของคลอไรด์โดยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Chloride Removal) (ดร.วันชัย, 2549) และตรวจสอบด้วยวิธีศักย์ไฟฟ้าด้วยวิธีครึ่งเซลล์ในการวัดแนวโน้มการเกิดสนิม

คลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่น ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หรือที่ปนเปื้อนมากับหินทรายที่มีแหล่งที่มาจากบริเวณใกล้เคียง น้ำยาผสมคอนกรีตบางประเภทมี แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่พบอยู่ในสารเร่งการก่อตัว โดยทั่วไปแล้วคลอไรด์ในน้ำทะเลมีประมาณ 90% เกือบของคลอไรด์มีสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ประมาณ 27,000 ppm. แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) ประมาณ 3,200 ppm. และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ประมาณ 500 ppm.

การปนเปื้อนของคลอไรด์ในน้ำที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต ควรมีปริมาณไม่เกินค่าต่อไปนี้

- งานคอนกรีตอัดแรงหรืองานสะพาน 500 ppm.
- งานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป 1,000 ppm.

ปริมาณรวมของคลอไรด์ทั้งหมดในขณะที่ผสมคอนกรีตโดยทั่วไป (ไม่รวมรวมถึงคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตจากภายนอก) ต้องมีไม่มากเกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการความทนทานสูง หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงก่อน (pre-tension) หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงทีหลัง (post-tension) ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์ ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในกรณีของคอนกรีตผสมเสร็จ มาตรฐานดังกล่าวแนะนำว่าควรควบคุมปริมาณคลอไรด์ไว้ไม่ให้มากกว่า 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นได้รับอนุมัติจากผู้ใช้จึงอาจควบคุมไว้ไม่ให้เกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คณะกรรมการคอนกรีตและวัสดุ(2540) ระบุปริมาณการปนเปื้อนของคลอไรด์ในน้ำที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต ควรมีปริมาณไม่เกินค่าต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ยอมให้ในน้ำผสมคอนกรีต

สารคลอไรด์ ที่ยอมให้ในน้ำสำหรับผสมคอนกรีต	ปริมาณที่ยอมให้(ppm.)
-สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงหรืองานสะพาน	500
-สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป	1,000

ปริมาณรวมของคลอไรด์ทั้งหมดในขณะที่ผสมคอนกรีตโดยทั่วไป (ไม่รวมรวมถึงคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตจากภายนอก) ต้องมีไม่มากเกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการความทนทานสูง หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงก่อน (pre-tension) ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงทีหลัง (post-tension) ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์ ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในกรณีของคอนกรีตผสมเสร็จ มาตรฐานดังกล่าวแนะนำว่าควรควบคุมปริมาณคลอไรด์ไว้ไม่ให้มากกว่า 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นได้รับอนุมัติจากผู้ใช้จึงอาจควบคุมไว้ไม่ให้เกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.5 ปัจจัยเร่งความรุนแรงของการก่อสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต

การเกิดสนิมแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือ

1. ช่วงเวลาของการก่อตัว (initial period) จะเริ่มเมื่อคลอไรด์อออนซึมผ่านเข้าไปสะสมในเนื้อคอนกรีตจนมีความเข้มข้นถึงระดับวิกฤติ (ที่ปริมาณคลอไรด์ในช่วง 0.2-1.33 กก./ม.³ หรือตั้งแต่ 75-1175 ppm ของคอนกรีต) ซึ่งเป็นระดับที่ฟิล์มออกไซด์ที่เคลือบตามผิวเหล็กเสริมเริ่มถูกทำลาย และ

2. ช่วงเวลาของการลุกลาม (propagation period) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางไฟฟ้า-เคมี ส่งผลให้เกิดสนิมเหล็กอย่างต่อเนื่อง คอนกรีตส่วนที่เผชิญสภาพแวดล้อมของทะเลที่มีการเปียกสลับแห้งเป็นวัฏจักร โดยเฉพาะช่วงที่แห้งยาวนานกว่าช่วงที่เปียก การเกิดสนิมก็จะยิ่งรุนแรงมากขึ้น สามารถจัดระดับส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเรียงกันลงไปตามลำดับที่ต้องเผชิญความรุนแรงจากทะเลได้ดังนี้

- ส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำที่สัมผัสกับคลื่นและละอองน้ำทะเล (splash zone)
- ส่วนที่อยู่ระหว่าง ระดับน้ำขึ้นสูงสุดและระดับน้ำลงต่ำสุด (Tidal Zone)

การซึมผ่านของคลอไรด์อออนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ มีน้ำอยู่ในระบบโพรงที่อยู่หนึ่งในคอนกรีต ที่ค่อนข้างแห้งน้ำจะเป็นตัวพาคลอไรด์อออนเข้าไปในคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตอ้อมตัวด้วยน้ำ น้ำจะเป็นตัวกลางให้คลอไรด์อออนผ่านเข้าไปในคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเปียกสลับแห้งจะเกิดกลไกทั้งสองกรณี ซึ่งอัตราการซึมผ่านของคลอไรด์อออนจึงมีค่าเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของคลอไรด์อออน ขึ้นกับคุณสมบัติของคอนกรีตในหลายๆด้าน เป็นต้นว่าด้านความพรุนของเนื้อคอนกรีตเอง ชนิดของปูนซีเมนต์ สภาพของการบ่ม สภาพของอุณหภูมิทั้งในขณะผสม-เท-บ่ม ความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์โดยรอบ เป็นต้น ซึ่งหากคลอไรด์อออนมีปริมาณที่เพียงพอแล้ว จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเกิดสนิมได้

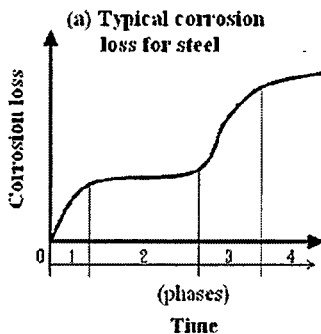
การซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนนั้นสามารถแบ่งออกได้ใน 4 ลักษณะดังนี้

1. โดยการแพร่กระจาย (diffusion) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของความเข้มข้นของคลอไรด์ในคอนกรีต
2. โดยการเคลื่อนย้าย (migration) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างทางศักย์ไฟฟ้า (หรือปริมาณของไอออน) ในคอนกรีต
3. โดยการพา (convection) : เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการเกิดวัฏจักรเปียกสลับแห้งในคอนกรีต ซึ่งนำไปสู่กระบวนการเกิดเหนี่ยวยึด (capillary suction) นั้นเอง

ความพรุนในเนื้อคอนกรีต (porosity & permeability of concrete)

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของคอนกรีตก็คือมีความพรุนในลักษณะของรูเล็กๆที่ต่อเชื่อมกันอย่างกว้างขวาง และมีความกว้างพอเพียงที่จะเอื้อให้น้ำซึมผ่านได้ในปริมาณหนึ่ง ในสภาพปกติที่ฟองตัวอยู่ในอนุของคอนกรีตจะมีคุณสมบัติความเป็นด่างอยู่ในระดับ pH 12- pH 13 ซึ่งนับเป็นเกณฑ์ที่สูงพอที่จะปกป้องเหล็กเสริมในคอนกรีตจาก (oxide film) ได้ แต่บางครั้งเราค้นพบว่าเหล็กนั้นได้ก่อสนิมในตัวเองมาก่อนหน้าที่จะถูกคอนกรีตมาห่อหุ้ม ซึ่งในกรณีนี้การยึดเหนี่ยวของวัสดุทั้งสองจะมีข้อบกพร่องอยู่ ในกรณีเช่นนี้เหล็กย่อยอยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการกัดกร่อนอย่างต่อเนื่องต่อไป

เมื่อปริมาณน้ำผ่านเข้าออกมีปริมาณมากและบ่อยขึ้น อีกทั้งยังมีสารแปลกปลอมชนิดอื่นเข้ามาปนเปื้อนอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารคลอไรด์ หรือเกลือ โดยได้ออกซิเจนมาเป็นตัวเร่งอีกเหล็กในบริเวณนั้นจะถูกกัดกร่อนในอัตราและความเร็วที่สูงขึ้นตามกันไป การสำรวจตรวจสอบปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถทำได้โดยตรง แต่สามารถใช้เครื่องจำลองการวัดความโน้มเอียงไปโดยวิธีการวัดทางไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่งที่เรียกว่า 'mixed' potential ของแท่งเหล็กในบริเวณนั้นๆ โดยสังเกตค่าศักย์ครึ่งเซลล์โดยไม่ต้องทำลายเนื้อคอนกรีตที่ห่อหุ้มไว้แต่อย่างใด วิธีการนี้ได้กลายมาเป็นวิธีการที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายเพื่อค้นหาร่องรอยและอัตราความสูญเสียอย่างใกล้ชิดที่สุดวิธีหนึ่ง



รูปที่ 3.11 ความสูญเสียของเหล็กที่สัมพันธ์กับเวลา

ปัญหาการเกิดสนิมเหล็กในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นปัญหาซึ่งมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารนับตั้งแต่เสาเข็ม ฐานราก เสา คาน พื้น และหลังคา

เหล็กเสริมในคอนกรีตจะถูกกัดกร่อนในในลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

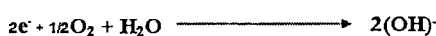
- 1.) ขนาดหน้าตัดเหล็กเล็กลง เนื่องจากเหล็กบางส่วนกลายเป็นสารละลายอิสระ (Fe^{2+}) และอิเล็กตรอน ทำให้สามารถรับแรงได้น้อยลง
- 2.) องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดการแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริม เนื่องจากสนิมเหล็กจะมีปริมาณมากกว่าเหล็กเดิมและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึง เกิดแรงดันต่อคอนกรีตบริเวณรอบๆ ผิวเหล็กทำให้เนื้อคอนกรีตหลุดล่อนออก ความสามารถในการรับกำลังของโครงสร้างจึงลดลง

พฤติกรรมของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม

พฤติกรรมของการเกิดสนิมเหล็กเสริมในคอนกรีตมีกระบวนการดังนี้คือ เมื่อเหล็กได้รับความชื้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีขึ้นดังนี้



เหล็กจะแตกตัวเป็นไอออน (Fe^{2+}) เข้าสู่สารละลายอิเล็กตรอนซึ่งจะวิ่งไปตามผิวเหล็กเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่ากระบวนการอะโนดิก (anodic process) ขึ้น จากนั้น อิเล็กตรอนอิสระ ($2e^-$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาอะโนดิก จะรวมกับน้ำและออกซิเจน ทำให้เกิดเป็นไฮดรอกไซด์ ไอออน (OH^-) เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า กระบวนการแคโทดิก (cathodic process) ดังสมการ

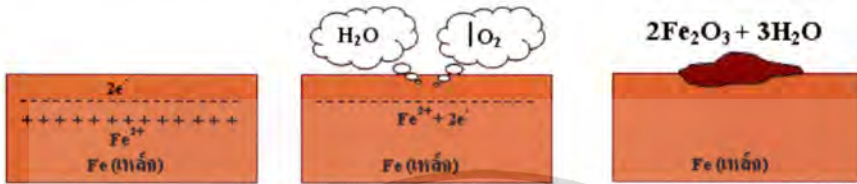


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากสมการดังกล่าวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ทำให้เกิดสนิมขึ้นดังสมการ



Fe₂O₃ (เฟอร์ริกออกไซด์) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวก็คือสนิมเหล็ก



รูปภาพที่ 3.12 แสดงกระบวนการเกิดสนิม



รูปที่ 3.13 กระบวนการของการกัดกร่อนโลหะเหล็ก (ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี)

กระบวนการเกิดสนิมเหล็กมีปัจจัยภายนอกที่สำคัญคือความชื้น (H₂O) และออกซิเจน (O₂) ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งปกติจะอยู่ได้ระดับผิวดินประมาณ 1 – 2 เมตร ออกซิเจนอาจแพร่ผ่านช่องว่างจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินเข้าไปทำปฏิกิริยากับความชื้นและเหล็ก ในภาวะปกติสภาวะความเป็นด่างที่สูงของคอนกรีต (ค่า PH อยู่ในช่วง 12.5 - 13.5) จะช่วยปกป้องไม่ให้เกิดปฏิกิริยาอะโนดิก นั่นคือป้องกันไม่ให้อนุมูลของเหล็กแตกตัวออกเป็นอออน (Fe²⁺) และอิเล็กตรอน (2e⁻) ซึ่งเป็นกระบวนการเบื้องต้นที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่จะเกิดสนิมเหล็ก แต่สภาวะความเป็นด่างนี้จะแปรเปลี่ยนไปไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ปัญหาการเกิดสนิมเหล็กในสภาน้ำเค็ม

ปัจจัยเร่งความรุนแรงของการก่อสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต

การเกิดสนิมในเหล็กเสริมเป็นปัญหาสำคัญต่อความคงทนและอายุการใช้งาน ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเลและพื้นที่น้ำกร่อย เนื่องจากผิวคอนกรีตต้องสัมผัสกับน้ำทะเลหรืออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีไอเกลือและความชื้นตลอดเวลา การซึมผ่านของคลอไรด์จะเป็นการเสริมหรือซ้ำเติมการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต

สารคลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่นในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หรือที่ปนเปื้อนมากับหินทรายที่มีแหล่งที่มาจากบริเวณใกล้ทะเล น้ำยาผสมคอนกรีตบางประเภทมี แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่พบอยู่ในสารเร่งการก่อตัว โดยทั่วไปแล้วคลอไรด์ในน้ำทะเลมีประมาณ 90% เกลือของคลอไรด์มีสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ประมาณ 27,000 ppm. แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) ประมาณ 3,200 ppm. และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ประมาณ 500 ppm.

ปริมาณของคลอไรด์

คณะกรรมการคอนกรีตและวัสดุ(2540) ระบุปริมาณการปนเปื้อนของคลอไรด์ในน้ำที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต ควรมีปริมาณไม่เกินค่าต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารคลอไรด์ ที่ยอมให้ในน้ำผสมคอนกรีต

สาร ที่ยอมให้ในน้ำสำหรับผสมคอนกรีต	ปริมาณที่ยอมให้(p.p.m.)
-สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงหรืองานสะพาน	500
-สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป	1,000

ปริมาณรวมของคลอไรด์ทั้งหมดในขณะที่ผสมคอนกรีตโดยทั่วไป (ไม่รวมรวมถึงคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตจากภายนอก) ต้องมีไม่มากกว่า 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการความทนทานสูง หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงก่อน(pre-tension) หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงทีหลัง (post-tension) ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์ ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในกรณีของคอนกรีตผสมเสร็จ มาตรฐานดังกล่าวแนะนำว่าควรควบคุมปริมาณคลอไรด์ไว้ไม่ให้มากกว่า 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นได้รับอนุมัติจากผู้ใช้จึงอาจควบคุมไว้ไม่ให้เกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยเร่งความรุนแรงของการก่อกวนในเหล็กเสริมคอนกรีต

การเกิดสนิมแบ่งเป็นสองขั้นตอน

1. ช่วงเวลาของการก่อตัว(initial period) จะเริ่มเมื่อคลอไรด์ไอออนซึมผ่านเข้าไปสะสมในเนื้อคอนกรีตจนมีความเข้มข้นถึงระดับวิกฤติ (ที่ปริมาณคลอไรด์ในช่วง 0.2-1.33 กก./ม.³ หรือตั้งแต่ 75-1175 ppm ของคอนกรีต) ซึ่งเป็นระดับที่ฟิล์มออกไซด์ที่เคลือบตามผิวเหล็กเสริมเริ่มถูกทำลาย และ

2. ช่วงเวลาของการลุกลาม (propagation period) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางไฟฟ้า-เคมี ส่งผลให้เกิดสนิมเหล็กอย่างต่อเนื่อง คอนกรีตส่วนที่เผชิญสภาพแวดล้อมของทะเลที่มีการเปียกสลับแห้งเป็นวัฏจักร โดยเฉพาะช่วงที่แห้งยาวนานกว่าช่วงที่เปียก การเกิดสนิมก็จะยิ่งรุนแรงมากขึ้น สามารถจัดระดับส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเรียงกันลงไปตามลำดับที่ต้องเผชิญความรุนแรงจากทะเลได้ดังนี้

- ส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำที่สัมผัสกับคลื่นและละอองน้ำทะเล (splash zone)
- ส่วนที่อยู่ระหว่าง ระดับน้ำขึ้นสูงสุดและระดับน้ำลงต่ำสุด (Tidal Zone)

การซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ มีน้ำอยู่ในระบบโพรงที่อยู่หนึ่ง ในคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งน้ำจะเป็นตัวพาคลอไรด์ไอออนเข้าไปในคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตอิมตัวด้วยน้ำ น้ำจะเป็นตัวกลางให้คลอไรด์ไอออนผ่านเข้าไปในคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเปียกสลับแห้งจะเกิดกลไกทั้งสองกรณี ซึ่งอัตราการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนจึงมีค่าเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของคลอไรด์ไอออน ขึ้นกับคุณสมบัติของคอนกรีตในหลายๆด้าน เป็นต้นว่าด้านความพรุนของเนื้อคอนกรีตเอง ชนิดของปูนซีเมนต์ สภาพของการบ่ม สภาพของอุณหภูมิทั้งในขณะผสม-เท-บ่ม ความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์โดยรอบ เป็นต้น ซึ่งหากคลอไรด์ไอออนมีปริมาณที่เพียงพอแล้ว จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเกิดสนิมได้

การซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนนั้นสามารถแบ่งออกได้ใน 4 ลักษณะดังนี้

1. โดยการแพร่กระจาย (diffusion) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของความเข้มข้นของคลอไรด์ในคอนกรีต
2. โดยการเคลื่อนย้าย (migration) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างทางศักย์ไฟฟ้า (หรือปริมาณของไอออน)ในคอนกรีต
3. โดยการพา (convection) : เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการเกิดวัฏจักรเปียกสลับแห้งในคอนกรีต ซึ่งนำไปสู่กระบวนการเกิดเหนี่ยวยึด (capillary suction) นั้นเอง
4. โดยการซึมผ่าน (permeability) : เกิดขึ้นเนื่องจากผลของความแตกต่างทางด้าน

แรงดันไฮดรอลิก (hydraulic pressure) ในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่ม-ลดปริมาณของคลอไรด์และอัตราในการกักกร่อนสามารถตรวจวิเคราะห์โดยวิธีทางไฟฟ้าเคมี ด้วยวิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ในการวัดแนวโน้มในการก่อเกิดสนิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การดำเนินงานวิจัยและการทดลองหาอัตราของการกัดกร่อน

Research and Laboratory Conductivities

4.1 การทดลองเพื่อค้นหาอัตราการก่อสนิมและการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีต

การทดลองเพื่อค้นหาอัตราการก่อสนิมและการกัดกร่อนในโครงสร้าง เป็นวิธีการที่ดีที่สุดเพื่อประเมินอัตราความเสียหายของโครงสร้างที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว แม้ว่าจะมีความซับซ้อนในขั้นตอนและกรรมวิธีในการดำเนินการทดลองแต่ก็เป็นวิธีการที่สามารถนำข้อมูลแห่งการทดลองไปเทียบเคียงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างที่ใช้งานจริงในสนามได้อย่างใกล้เคียงที่สุด ข้อจำกัดของการทดลองมีอยู่ในจุดที่ว่าข้อมูลที่จะจัดเก็บนั้นจะได้มาจากการอ่านค่าในความถี่ที่ไม่มากเนื่องจากต้องใช้เวลาให้เกิดการก่อสนิมหรือการกัดกร่อนตามระยะเวลาที่ใช้จริง การอ่านค่าจึงไม่สามารถทำได้บ่อยตามต้องการ ในการทดลองของการวิจัยนี้ได้ทำการอ่านค่าความเปลี่ยนแปลงทุก ๆ วัน และใช้เวลาในเบื้องต้นถึง 18 เดือน (นานกว่าที่ได้วางแผนงานไว้ในขั้นต้นถึง 6 เดือน)

4.1.1 ขอบเขตและเป้าหมาย

การทดลองการก่อสนิมได้เริ่มต้นขึ้น โดยใช้เวลาในเบื้องต้น 18 เดือน ทำการหล่อแท่งทดลองคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อจำลองสถานะของเหล็กเสริมที่มีคอนกรีตหุ้มอยู่ โดยรอบประมาณ 30 มิลลิเมตร แบ่งเป็นสถานะของการหุ้มห่อตั้งแต่เต็มผิวไปจนถึง หุ้มห่อเพียง ร้อยละ 25 ของผิวเหล็ก แล้วจุ่มแช่ลงในบ่อน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็มในจำนวนเท่าๆกันเพื่อบันทึกอัตราการเปลี่ยนแปลงและการเกิดสนิมจนถึงอัตราของการกัดกร่อน ทำการบันทึกข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทุกๆ 60 วัน ก่อนที่จะเลือกกลุ่มออกมาทาบเปลือกลอกเอาคอนกรีตส่วนที่หุ้มออกแล้วบันทึกสถานะการกัดกร่อนในเบื้องต้นสามารถได้รับข้อมูลออกมาวิเคราะห์ในชุดแรกในช่วงเวลาเพียง 18 เดือน ส่วนที่เหลือยังคงทดลองต่อไปเพื่องานวิจัยที่จะตามมาภายหลัง มีการเติมน้ำในสามสถานะอยู่ในลักษณะที่ให้ระดับน้ำอยู่ที่กึ่งกลางแท่งทดลองเพื่อจำลองการจุ่มจมนของโครงสร้าง รายละเอียดในการจัดการแท่งทดลองมีดังต่อไปนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ใช้เหล็กและคอนกรีตที่มีส่วนผสมและคุณสมบัติตามปกติเพื่อจำลองสภาพของคอนกรีตตามที่ใช้งานจริงทั่วไป ไม่มีการผสมปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตโดยใช้สารผสมอื่นใด ให้มีความชื้นน้ำต่ำมากๆ หรือ ลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ หรือใช้สารประเภท Filler เพื่อเพิ่มความทึบน้ำ เช่น ซิลิกาฟูม การใช้สารปอซโซลานในคอนกรีตแต่อย่างใด
- 2) ลดหรือปิดกั้นอิทธิพลของออกซิเจน การไหล-ซึมผ่านของความชื้น การไหล-ซึมผ่านของคาร์คลอไรด์ (Chloride ion concentration) และลดหรือปิดกั้นการไหล-ซึมผ่านของคาร์บอนเนชั่น (Influence of carbonation) ด้วยการปิดหุ้มผิวของแท่งทดลองจำนวนหนึ่งด้วยสารอีพ็อกซีเรซินที่มีความหนา 3 มิลลิเมตรเพื่อผลในการทดลองเปรียบเทียบ
- 3) ทำการคัดแท่งทดลองจำนวนหนึ่งเอาไว้ในที่แห้งที่ไม่จุ่มจมน้ำชนิดใดๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบอัตราความเปลี่ยนแปลงสภาวะตลอดเวลาของการทดลอง

4.1.2 แท่งทดลองและคุณสมบัติ



รูปที่ 4.1 แท่งทดลองที่หล่อแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แท่งท่อดวงที่ถอดแบบพร้อมจะนำไปเคลือบเรซิน



รูปที่ 4.3 การจัดวางให้จุ่มจมในถังน้ำท่อดวงครึ่งท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แท่งทดลองอ้าวอิงอยู่ในบรรยากาศ

ตารางที่ 4.1 การจำแนกชนิดของแท่งทดลอง

Specimen	Marking	Description	Note
1	A	วางในบรรยากาศ	อ้างอิง
2	A-WR	เคลือบผิว-วางในบรรยากาศ	อ้างอิง
3	SW	จุ่มจมน้ำเกลือ-ทะเล	ทดสอบในน้ำ (18 เดือน)
4	SW-WR	เคลือบผิว-จุ่มจมน้ำเกลือ-ทะเล	ทดสอบในน้ำ (18 เดือน)
5	BW	จุ่มจมน้ำกร่อย	ทดสอบในน้ำ (18 เดือน)
6	BW-WR	เคลือบผิว-จุ่มจมน้ำกร่อย	ทดสอบในน้ำ (18 เดือน)
7	W	จุ่มจมน้ำในสระ (น้ำจืด)	ทดสอบในน้ำ (18 เดือน)
8	W-WR	เคลือบผิว-จุ่มจมน้ำในสระ (น้ำจืด)	ทดสอบในน้ำ (18 เดือน)

4.1.3 วิธีการทดลองและรวบรวมข้อมูล

ท่อนทดลองทั้งหมดจำแนกออกเป็นชั้นส่วนจำลองภาคการเสริมเหล็กทางตั้งของโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเฉพาะส่วนที่คอนกรีตได้ห่อหุ้มแท่งเหล็กเสริมไว้ โดยอัตราความหนาของส่วนที่ห่อหุ้มเท่ากับประมาณ 25 -27 มิลลิเมตร ทุกท่อน (R.C. prism – specimens) ซึ่งมีจำนวนรวมทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

146 ท่อน แบ่งออกเป็นชนิดที่จะใช้น้ำไปทำการทดลองโดยการจุ่มแช่ลงในน้ำที่จำแนกออกเป็น 3 แอ่ง น้ำที่มีคุณสมบัติเป็น น้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็มในระดับน้ำทะเล ในจำนวนที่เท่ากัน ระดับน้ำถูกควบคุมให้อยู่ที่แนวระยะกึ่งกลางของความยาวท่อนทดลอง

ทำการบันทึกข้อมูลทางกายภาพเช่น น้ำหนัก และรูปพรรณสัณฐานภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 2 เดือน จนกระทั่งมีอายุในการแช่น้ำทดลองได้ครบ 18 เดือน (มิถุนายน 2552) จะดำเนินการบันทึกความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพภายนอกขั้นสุดท้าย และดำเนินการทุบทำลายเนื้อคอนกรีตที่เหลืออยู่ออกเพื่อทำการวิเคราะห์ท่อนเหล็กที่เปิดเผยออกทั้งหมด คาดว่าจะพบข้อมูลแห่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆ พร้อมทั้งอัตราของการกัดกร่อนในเนื้อเหล็กในปริมาณและอัตราที่เหมาะสมสำหรับการนำไปทำการเปรียบเทียบกับปรากฏการณ์แห่งการกัดกร่อนที่ค้นพบในงานก่อสร้างจริงในงานสำรวจตลอดระยะเวลา 18 เดือนที่ผ่านมา

ข้อมูลและผลของการวิเคราะห์จะบันทึกต่อไปใน Volume 5 ผลของการทดลองเหล่านี้สามารถใช้พิสูจน์และยืนยันในการกำหนดมาตรการเบื้องต้นก่อนการดำเนินการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีแนวโน้มที่จะถูกจุ่มจมอยู่ในน้ำทั้งในกรณีที่เกิดจางหรือกรณีของอุทกภัยได้เป็นอย่างดี และนับได้ว่าเป็นความพยายามที่จะเข้าถึงข้อมูลทางการทดลองในห้องปฏิบัติการเป็นครั้งแรกของวงการออกแบบสถาปัตยกรรมที่เรียกว่า “สถาปัตยกรรมบนน้ำ” ได้เป็นอย่างดี

4.2 การสำรวจและตรวจสอบอัตราความเสียหายของโครงสร้างที่จมอยู่ในน้ำจืดและน้ำกร่อย

4.2.1 อาคารจมสระในเขตลาดกระบัง

น้ำท่วมขังที่มีระดับขึ้นลงตรงเสาคอม่อของอาคารเป็นกรณีให้เห็นได้โดยทั่วไปเนื่องจากการออกแบบและก่อสร้างที่วางฐานรากและเสาคอม่อไว้ในที่ต่ำกว่าระดับน้ำอยู่แต่เดิม หรือมาประสบปัญหาน้ำท่วมขังหลังจากใช้อาคารไปแล้วและยังไม่ได้รับการแก้ไขสถานการณ์

ความสูญเสียที่สำรวจพบ

สภาพของโครงสร้างคอม่ออาคารหลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะน้ำกร่อยและใช้งานมากกว่า 40 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 90



รูปที่ 4.5 ลักษณะเสาตอม่อที่อยู่จมอยู่ในระดับน้ำหรือมาประสบปัญหาน้ำท่วมขังหลังจากใช้อาคาร (อาคาร 1-ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)



รูปที่ 4.6 สภาวะภายนอกที่ตรวจพบ 2 หลังจากการใช้งานมาแล้ว 40 ปี

ผู้เขียนได้นำเสนอสาเหตุ ความสูญเสียเมื่ออาคารที่ปลูกสร้างต้องจมน้ำในบทความที่ลงพิมพ์ในวารสารวิชาการของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ผ่านมาเป็นแนวทางในการการค้นหาทางช่วยเหลือไม่ให้อาคารต้องประสบกับความเสียหายจนกระทั่งลึกรอนอายุใช้งานโดยทั่วไป ในบทนี้ผู้เขียนใคร่เสนอแนวทางและรูปแบบของอาคารที่มีคุณสมบัติที่สามารถต่อต้านการกัดกร่อนของคอนกรีตโครงสร้างได้อย่างยาวนานในสภาวะน้ำท่วมขัง เป็นแนวทางเลือกใหม่ในการออกแบบสถาปัตยกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 โครงสร้างที่เสียหายในกลุ่มน้ำแม่กลอง

สภาพของสะพานพื้นท้ายนรสิงห์หลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะน้ำกร่อยและใช้งานมากกว่า 30 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 60-70



รูปที่ 4.7 สะพานพื้นท้ายนรสิงห์หลังจากใช้งานมาแล้ว 30 ปี ก่อนการบูรณะ



รูปที่ 4.8 สะพานพื้นท้ายนรสิงห์หลังจากการบูรณะ

4.2.3 สะพานบริษัทสากลการทอจำกัด

สภาพของสะพานบริษัทสากลการทอจำกัด หลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะน้ำกร่อยและใช้งานมากกว่า 30 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 70-80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สะพานบริษัทรักษาการทองจำกัด 2

4.2.4 สะพานศูนย์ฝึกพานิชย์นาวี

สภาพของสะพานพื้นที่ยานรสิงห์หลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะน้ำกร่อยและใช้งานมากกว่า 30 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 60-70



รูปที่ 4.10 ตอม่อสะพานศูนย์ฝึกพานิชย์นาวี 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การรุดพื้นปัญหาหน้าท่วมในจังหวัดสุโขทัย

เขื่อนกั้นน้ำจังหวัดสุโขทัย



รูปที่ 4.11 ป้ายข้อมูลกั้นน้ำจังหวัดสุโขทัย



รูปที่ 4.12 กั้นน้ำจังหวัดสุโขทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่กักเก็บน้ำวัดศรีสวาย อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย



รูปที่ 4.13 แผนที่วัดศรีสวาย อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย



รูปที่ 4.14 สระแก้ววัดศรีสวาย อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสำรวจและตรวจสอบอัตราความเสียหายของโครงสร้างที่จมอยู่ในน้ำเค็มหรือในฝั่งทะเล

4.3.1 สะพานข้ามคลองวัดเจริญธรรม

สภาพของความเสียหายของเสาสะพานข้ามคลองวัดเจริญธรรม อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรีหลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะปากน้ำกร่อยใกล้ทะเลและใช้งานมากกว่า 15 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 50-60



รูปที่ 4.15 เสาสะพานข้ามคลองวัดเจริญธรรม 1



รูปที่ 4.16 เสาสะพานข้ามคลองวัดเจริญธรรม 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 เขื่อนและสะพานปลาอำเภอชะอำ

เกาะกันคลื่นและสะพานปลาในประเทศไทย

ในประเทศไทยได้เริ่มมีการก่อสร้างเกาะกันคลื่นตามแนวชายฝั่งทะเลในเขตอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรีกันบ้างแล้วเนื่องจากมีความจำเป็นต้องปกป้องบริเวณที่ถูกคลื่นทะเลกัดเซาะชาวประมงที่ประกอบอาชีพและต้องใช้บริการสะพานปลาต้องพึ่งพาทางสัญจรที่เชื่อมต่อกับฝั่งไปยังน้ำทะเลที่ลึกพอที่จะเทียบเรือประมงได้ การก่อสร้างได้เริ่มทำกันมาตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ.2545 มาจนกระทั่งถึงปัจจุบัน การก่อสร้างได้ใช้วัสดุหินขนาดใหญ่ก้อนละก้อน นำมาถมเป็นคันเขื่อนตามแนวที่จะถมเต็มก่อนที่จะใช้วัสดุหิน ลูกกรงและทรายมาถมเต็มเป็นพื้นที่ทางสัญจรและพื้นที่ทำการเอนกประสงค์ต่างๆ



รูปที่ 4.17 ที่จุดหลบคลื่นอำเภอชะอำ 3

ความจำเป็นที่ชาวประมงที่อำเภอชะอำต้องประกอบอาชีพนั้นทำให้มีการจัดการก่อสร้างท่าเทียบเรือชนิดถมทะเลขึ้นมา เริ่มการก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ.2549 ดังในรูปข้างบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การหุ้มพอกเสาต่อม่อเพื่อชะลออัตราเร่งของการกัดกร่อนจากน้ำทะเล 1

4.3.3 สะพานปลาหัวหิน

การสำรวจความเสียหายของโครงสร้างสะพานปลา อำเภอหัวหินฯ

คณะวิจัยได้เดินทางไปสำรวจสภาพความเสียหายของโครงสร้างสะพานปลา ณ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เมื่อเดือน เมษายน 2552 ได้พบข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับความสูญเสียที่เกิดแก่โครงสร้างสะพานปลาเดิมและที่ก่อสร้างขึ้นมาเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ.2508 ตามแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช สภาพความเสียหายของโครงสร้างสะพานปลา อำเภอหัวหินหลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะน้ำกร่อยและใช้งานมากกว่า 40 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมมีค่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ความเสียหายโดยทั่วไปของสะพานปลา อำเภอหัวหิน



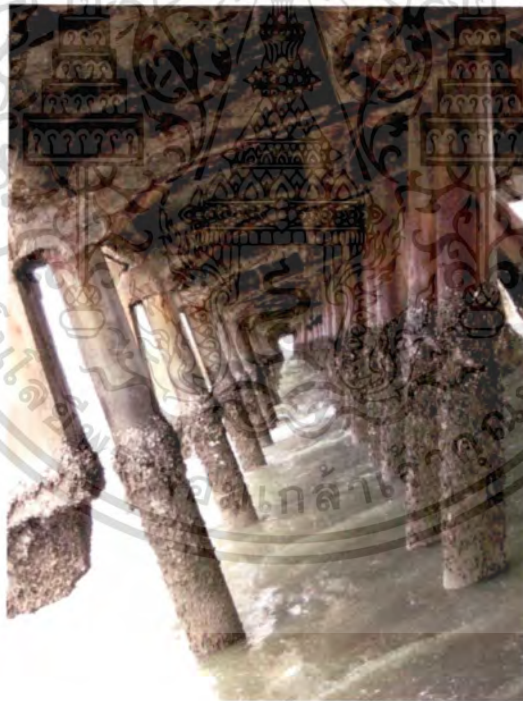
รูปที่ 4.20 การวัดขนาดของการสูญเสียของ สะพานปลา อำเภอหัวหิน

สภาพความสูญเสียของ โครงสร้างสะพานปลาเดิมและที่ก่อสร้างขึ้นมาใหม่ตามพระราชดำริน
สมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ (บันทึกเมื่อ 2 เมษายน 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ความเสียหายของคานหลักของสะพานปลา อำเภอหัวหิน



รูปที่ 4.22 ความเสียหายของเสาเข็มตอม่อรองรับสะพานปลา อำเภอหัวหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ความเสียหายของพื้นด้านล่างของสะพานปลา อำเภอหัวหิน

4.3.4 สะพานปลาปราณบุรี

สภาพของสะพานปลาปราณบุรีหลังจากการจุ่มจมอยู่ชายหาดทะเลที่มีความผันผวนมาก และใช้งานมากกว่า 20 ปี และล่าสุดได้รับอิทธิพลจากไต้ฝุ่นเกย์ในปี 2532 ได้รับความเสียหายเกือบหมดสิ้น ความเสียหายโดยรวมที่กล่าวเสียหายไปกว่าร้อยละ 99



รูปที่ 4.24 รูปแบบการยกตัวของคลื่น Storm surge ในการขึ้นฝั่งของไต้ฝุ่นเกย์ พ.ศ. 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 คลื่น Storm surge ที่เกิดจากอิทธิพลของพายุเกย์ พ.ศ. 2532

Storm surge จะเกิดขึ้นพร้อมกับพายุซึ่งแน่นอนว่าต้องเป็นวันที่ท้องฟ้าปั่นป่วนไม่แจ่มใส สภาพอากาศเลวร้าย มีการก่อตัวของเมฆฝน ฝนตกอย่างหนัก ลมพัดแรง บริเวณชายฝั่งเกิดคลื่น โถมกระแทกอย่างหนัก คลื่นในทะเลสูง แต่เมื่อศูนย์กลางของพายุเคลื่อนเข้ามา ก็จะหอบเอา โคนน้ำขนาดใหญ่ซัดเข้ามาอีกครั้ง ดังนั้น ความเสียหายจึงเพิ่มเป็นทวีคูณ อ่าวไทยนั้น เมื่อเริ่มเข้าสู่เดือนตุลาคม พายุจะก่อตัวทางตอนใต้ของปลายแหลมญวนทางเขมร และเมื่อถึงช่วงเดือนพฤศจิกายนพายุจะเคลื่อนลงจากแหลมญวนจนเคลื่อนสู่อ่าวไทย ไปตลอดจนถึงเดือนธันวาคมพายุจึงจะสลายไปในที่สุด

วิธีการป้องกันมีอยู่หลายแนวทางทั้งการสร้างกำแพงป้องกันแต่ก็ไม่ควรนำมาใช้กับบ้านเรา และอาจจะเป็นการสูญเงินอย่างมหาศาล ทางออกที่ดีที่สุดคือการช่วยกันรักษาป่าชายเลนตามแนวชายฝั่งหรือปลูกป่าชายเลนเพิ่มในพื้นที่ที่ชายฝั่งซึ่งจะเป็นทางออกที่ดีที่สุด ที่จะช่วยลดความรุนแรงได้ อีกทั้งควรกำหนดเป็นหลักสูตรในเรื่องของภัยพิบัติลงในแบบเรียนเพราะเป็นสิ่งที่ต้องปลูกฝังให้เด็กเกิดความตื่นตัว จึงต้องสร้างความตระหนักให้เกิดขึ้น และต้องมีการซ้อมแผนเตือนภัยอยู่ตลอดเวลา เมื่อถึงคราวเกิดขึ้นจริงจะได้ช่วยลดความเสียหายจากชีวิตและทรัพย์สินได้

4.3.5 โครงสร้างริมทะเลในจังหวัดชลบุรี

จิตภาวลวิทยาลัย

สภาพของสะพานจิตภาวลวิทยาลัยหลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะน้ำเค็มชายทะเลมากกว่า 20 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 สะพานจิตภาววิทยาลัย



รูปที่ 4.27 อาคารปลายสะพานจิตภาววิทยาลัย

ทำเทียบเรือและสะพานปลาบางแสน

สภาพของสะพานปลาบางแสนหลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะชายหาดทะเลบางแสนใช้งานมากกว่า 10 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ

60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 สภาพความสูญเสียของสะพานปลาบางแสน

วัดญาณสังวราราม

สภาพความสูญเสียของอาคารบางหลังที่จมอยู่ในสระน้ำกร่อยในบริเวณวัดญาณสังวรารามและใช้งานมากกว่า 23 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 20-25



รูปที่ 4.29 การก่อสร้างในเหล็กเสริมเสาอาคารในวัดญาณสังวราราม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่าเทียบเรือพญาใต้ (แหลมบาลีไฮ)

สภาพของสะพานท่าเทียบเรือพญาใต้หลังจากการจุ่มจมอยู่ในสถานะชายทะเลหาดพญาใต้ที่มีคลื่นแรงและใช้งานมากกว่า 15 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 60-70



รูปที่ 4.30 พื้นและคานใต้สะพานท่าเรือพญาใต้



รูปที่ 4.31 สภาพพื้นใต้สะพานท่าเรือพญาใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ความสูญเสียที่สุดของถ้ำน้ำใต้สะพานท่าเรือพัทยาใต้

สะพานปลาวักโกมุทพัฒนาราม

สภาพของสะพานปลาวักโกมุทพัฒนารามหลังจากการจุ่มจมอยู่ในสภาวะน้ำเค็มชายทะเล
ชลบุรีและใช้งานมากกว่า 20 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมคือว่าเสียหาย
ไปกว่าร้อยละ 60-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ตอม่อสะพานปลาวัดโกมุทวัดนาราม 1

สะพานยาวตำบลนาเกลือ

สภาพของสะพานยาวตำบลนาเกลือหลังจากการจุ่มชมอยู่ในสภาวะน้ำกร่อย-น้ำเค็ม เนื่องจากตั้งอยู่ปากอ่าวและใช้งานมากกว่า 30 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ 60-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ค่อม่อสะพานยาวตำบลนาเกลือ 2

สะพานเลียงเมืองชลบุรี

สภาพของสะพานเลียงเมืองชลบุรีหลังจากการจุ่มจมอยู่ในสถานะน้ำกร่อยและใช้งานมาประมาณ 6-7 ปีเป็นไปตามที่เห็นในภาพข้างล่างนี้ ความเสียหายโดยรวมตีค่าว่าเสียหายไปกว่าร้อยละ

15-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ตอม่อสะพานเลียบเมืองชลบุรีส่วนที่แตกร้าวแล้ว

4.4 การสำรวจและตรวจสอบการร้าวพังทลายของน้ำโลหะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

4.4.1 วัดไชยวัฒนาราม

หลังจากความพยายามที่จะแก้ปัญหาเพื่อป้องกันความสูญเสียต่อโครงสร้างอาคารประวัติศาสตร์ของวัดไชยวัฒนารามที่ดำเนินมาตลอดระยะเวลาที่ผจญต่ออุทกภัยริมน้ำเจ้าพระยา ก็ได้มีการก่อสร้างเขื่อนพื้นฐานกันค้ำค้ำกร่อนขึ้นและต่อชั้นบนด้วยการก่อสร้างระบบค้ำค้ำน้ำชนิดชักตึงและเอนนอนเพื่อเก็บได้เป็นครั้งแรกในประเทศไทย และจากการสำรวจตรวจสอบความเสียหายครั้งล่าสุดในเดือนตุลาคม 2553 ซึ่งได้เกิดอุทกภัยแผ่เป็นบริเวณกว้างได้ข้อมูลยืนยันว่าค้ำค้ำน้ำชนิดค้ำค้ำทำงานได้ผล สามารถตรงไม่ให้น้ำทะลักเข้าท่วมขังในเขตวัดฯได้ ทั้งนี้ต้องใช้เครื่องสูบน้ำควบคู่กันไปด้วยตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 โครงสร้างเขื่อนโลหะวัดไชยวัฒนาราม

ในหลายโอกาส อาคารที่สร้างบนน้ำจะถูกสร้างขึ้นเพื่อรักษาสภาพที่ดินชายฝั่งทะเล หรือ อาจจะใช้เพื่อยับยั้งการพังทลายลงซึ่งดินหรือการยุบตัวของหินทรายรอบชายฝั่ง ในหลายโอกาสจะใช้คอนกรีตเช่นการทำเป็น “rip rap” นำมาวางกองไว้จะมีระเบียบ แต่หากว่ามีการใช้แผ่นเหล็กมาทำเป็นเข็มพืดเพื่อการตอกลงกันคลื่นพังแทนการใช้ “rip rap” แล้ว สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอย่างมากก็คือ อันตรายจากการกัดกร่อนของสนิม ซึ่งในการนี้จะต้องมีการพิจารณาใช้เทคโนโลยีของการทำ “cathodic protection system” ให้เข้ามาช่วยเพื่อปกป้องจากการกัดกร่อนของสนิมอย่างน้อย ณ บริเวณที่จมลงใต้ผิวน้ำของเหล็กโครงสร้าง

นอกจากที่ได้กล่าวแล้ว เรื่องทฤษฎีที่เกี่ยวกับ anode method ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก กลุ่มอะโนดที่ว่ามีมักจะประกอบด้วยสาร aluminum-alloy ซึ่งจะมีคุณสมบัติมี positive potential มากกว่าเหล็กก่อสร้างต่างๆ ไป ในทฤษฎีนี้จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านจากขั้วอะโนดนี้ไปรูปของเซลล์อออนไปสู่เนื้อเหล็ก และในระบบนี้เหล็กเหล่านี้ก็จะกลายเป็นขั้ว แคโทด ของเซลล์ตัวนำไฟฟ้าตัวใหม่ขนาดใหญ่ซึ่งจะกัดตัวเองลงเรื่อยๆ แต่หากว่ากระแสไฟฟ้าในเซลล์เหล่านี้ถูกปิดกั้นลงกลไกในการกัดกร่อนของการเป็นสนิมจะเป็นไปได้ยาก ในกรณีนี้จึงได้มีการหุ้มวัสดุผิวเหล็กด้วย ไฟเบอร์กลาส หรือห่อตัวด้วยแจ็กเก็ตอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าลงเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น การเทคอนกรีตที่มีมวลที่แน่นหนามาก (ปราศจากฟองอากาศ) และคอนกรีตมีปริมาณน้ำผสมต่อมวลซีเมนต์ต่ำมาก ก็จะสามารถปิดกั้นการแทรกซึมของ chloride ions ที่จะทำลายผิวเหล็กให้ผุกร่อน

Epoxy coated rebar ก็เป็นเทคโนโลยีอีกชนิดหนึ่งที่ใช้มากในโครงสร้างริมทะเลทั่วไป ในขณะที่การใช้ไม่แข็งจะค่อยๆหายไปเนื่องจากว่าจะต้องผ่านกรรมวิธีในการอบมากมายอีกทั้งยังมีปริมาณที่ไม่พอเพียงต่อความต้องการอีกด้วย

ตารางที่ 4.2 สรุปอัตราความเสียหายของโครงสร้างที่สำรวจ พ.ศ. 2551 – 2552

ลำดับที่	สถานที่สำรวจ - ประวัติการใช้โครงสร้าง	สถานะวิกฤติที่เผชิญ - อายุใช้งานจนถึงปัจจุบัน	อัตราความเสียหาย (%)	หมายเหตุ
1	ลาดกระบัง:สถานะน้ำจืด-น้ำกร่อย อาคารเรียนและสำนักบริหารคณะฯ สถาบัน สจล.-ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระน้ำจืด-น้ำกร่อยตลอดเวลาในการใช้งานจนกระทั่งปัจจุบัน	ตั้งแต่ 2508 = 45 ปี ไม่พบจุกคลื่นลมแรง-แสงแดดปกติ-อาจมีสารเคมีเจือปนในสระน้ำเล็กน้อย	ร้อยละ 97.00 ไม่เคยมีการบูรณะโครงสร้างตลอดการใช้งาน	สำรวจ : 2551-2552 บันทึก : 2552-2553
2	สมุทรปราการ-ลุ่มแม่กลอง: สถานะน้ำกร่อย 2.1 สะพานพื้นท้ายนรสิงห์ ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในน้ำกร่อยตลอดเวลาในการใช้งานจนกระทั่งปัจจุบัน	ตั้งแต่ 2520 = 33 ปี ไม่พบจุกคลื่นลมแรง-แสงแดดปกติ-อาจมีสารเคมีเจือปนในน้ำเล็กน้อย	ร้อยละ 50.00 ได้รับการบูรณะซ่อมแซม	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552-2553
	2.2 สะพานบริษัทสากลการทอจำกัด ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในน้ำกร่อยตลอดเวลาในการใช้งานจนกระทั่งปัจจุบัน	ตั้งแต่ 2530 = 25 ปี ไม่พบจุกคลื่นลมแรง-แสงแดดปกติ-อาจมีสารเคมีเจือปนในน้ำเล็กน้อย	ร้อยละ 75.00 ไม่เคยมีการบูรณะโครงสร้างตลอดการใช้งาน	

ลำดับ ที่	สถานที่สำรวจ - ประวัติการใช้ โครงสร้าง	สถานะวิกฤติที่เผชิญ - อายุใช้งานจนถึงปัจจุบัน	อัตราความเสียหาย (%)	หมายเหตุ
	2.3 สะพานศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี ต่อม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในน้ำ กร่อยตลอดเวลาในการใช้งาน จนกระทั่งปัจจุบัน	ตั้งแต่ 2538 = 17 ปี ไม่ผจญคลื่นลมแรง- แสงแดดปกติ-อาจมี สารเคมีเจือปนในน้ำ เล็กน้อย	ร้อยละ 60.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552- 2553
	2.4 สะพานโรงเรียนอุณหารวีวิทยา ต่อม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในน้ำ จืด-น้ำกร่อยตลอดเวลาในการใช้ งานจนกระทั่งปัจจุบัน	ตั้งแต่ 2530 = 25 ปี ไม่ผจญคลื่นลมแรง- แสงแดดปกติ-อาจมี สารเคมีเจือปนในน้ำ เล็กน้อย	ร้อยละ 75.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	
3	สุโขทัย:สถานะน้ำจืด			สำรวจ : 2551-2552
	3.1 วัดศรีสวาย โครงสร้างมณฑลหน้าอิฐและศิลา แครงวางบนดินแข็ง อยู่สูงมากจาก ระดับ รทก.	= 600-700 ปี ไม่ผจญคลื่นลมแรง- แสงแดดปกติ-อาจมี สารเคมีเจือปนในสระ น้ำเล็กน้อย	ร้อยละ 0.00	บันทึก : 2552- 2553
	3.2 เขื่อนศรีดงศ์ โครงสร้างมณฑลหน้าของหินและ ศิลาแครงวางบนดินแข็ง อยู่สูงมาก จากระดับ รทก.	= 600-700 ปี ไม่ผจญคลื่นลมแรง- แสงแดดปกติ-อาจมี สารเคมีเจือปนในอ่าง เก็บน้ำเล็กน้อย	ร้อยละ 0.00	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552- 2553
	3.3 เขื่อนกั้นน้ำเมืองสุโขทัย โครงสร้างมณฑลหน้าของหินและ ศิลาแครงวางบนดินแข็ง อยู่สูงมาก จากระดับ รทก.	= 20-30 ปี ไม่ผจญคลื่นลมแรง- แสงแดดปกติ-อาจมี สารเคมีเจือปนในน้ำ เล็กน้อย	ร้อยละ 10.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	สถานที่สำรวจ - ประวัติการใช้ โครงสร้าง	สถานะวิกฤติที่เผชิญ - อายุใช้งานจนถึงปัจจุบัน	อัตราความเสียหาย (%)	หมายเหตุ
4	ประจวบคีรีขันธ์:สถานะน้ำเค็ม			สำรวจ : 2552
	4.1 ทำเทียบเรือและสะพานปลา ปราณบุรี ตั้งอยู่บริเวณแม่น้ำปราณ ตำบล ปากน้ำปราณ อำเภอปราณบุรี วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2532 เวลา 08.30 น. พายุไต้ฝุ่นเกย์ เคลื่อนเข้าสู่ภาคใต้ตอนบนด้วย ความเร็วถึง 185 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วของพายุ ไต้ฝุ่นในระดับ 3 ถล่ม อำเภอเมือง ประจวบคีรีขันธ์ บางสะพานน้อย และบางสะพาน ก่อนขึ้นฝั่งที่ อำเภอท่าแซะ และปะทิว จังหวัด ชุมพรทำให้เกิดคลื่นพายุซัดฝั่งมา จนถึงปราณบุรีส่วนหนึ่งทำให้ โครงสร้างสะพานเสียหายมากจน ใช้การต่อไปไม่ได้	ตั้งแต่ 2508 = 38 ปี พจ ญ ค ถึ น ล ม แ ร ง ช ย ท ะ เ ล มี พ ย ู ตี เ พ ร ส ชั น และ ไ ต้ ฝู น เป็น ครั ้ง ค ร ว แ ส ง แ ต ด ป ก ตี	ร้อยละ 99.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	บันทึก :2552- 2553
	4.2 ทำเทียบเรือและสะพานปลา หัวหิน ตั้งอยู่ปลายถนนชมสิน เขต เทศบาลตำบลหัวหิน อำเภอหัวหิน จัดสร้างขึ้นโดยพระราชดำริของ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดย ในระหว่างเสด็จพระราชดำเนิน แปรพระราชฐาน ณ พระราชวัง ไกลกังวล เมื่อปี 2506	ตั้งแต่ 2508 = 38 ปี ไม่พจญคลื่นลมแรง- แสงแดดปกติ-อาจมี สารเคมีเจือปนในสระ น้ำเล็กน้อย	ร้อยละ 90 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	สถานที่สำรวจ - ประวัติการใช้ โครงสร้าง	สภาวะวิกฤติที่เผชิญ - อายุใช้งานจนถึงปัจจุบัน	อัตราความเสียหาย (%)	หมายเหตุ
5	เพชรบุรี:สภาน้ำเค็ม			สำรวจ : 2552
	5.1 ท่าจอดเรือประมงและตลาด ปลาชะอำ	ตั้งแต่ 2543 = 10 ปี	ร้อยละ 70.00	บันทึก :2552- 2553
	ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่งตลอดเวลา ของการใช้งาน	พ จ ญ ค ลี น ล ม แ ร ง ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	
	5.2 สะพานหน้าวัดเนรัญชราราม ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำจืด-น้ำกร่อยตลอดเวลาในการ ใช้งานจนกระทั่งปัจจุบัน	ตั้งแต่ 2538 = 15 ปี ไม่พจ ญ ค ลี น ล ม แ ร ง - แสงแดดปกติ-อาจมีพายุ ดีเปรสชันและไต้ฝุ่น เป็นครั้งคราว แสงแดด ปกติ	ร้อยละ 55.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก :2552- 2553
	5.3 เชื้อนก้นคลื่นและท่าเทียบเรือ ชะอำ ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ ในสระน้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่ง ตลอดเวลาของการใช้งาน	ตั้งแต่ 2543 = 10 ปี พ จ ญ ค ลี น ล ม แ ร ง ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ร้อยละ 10.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก :2552- 2553
6	ชลบุรี:สภาน้ำเค็ม			สำรวจ : 2552
	6.1 จิตภาววิทยาลัย ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่งตลอดเวลา ของการใช้งาน	ตั้งแต่ 2528 = 25 ปี พ จ ญ ค ลี น ล ม แ ร ง ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ร้อยละ 60.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	บันทึก :2552- 2553
	6.2 สะพานปลาบางแสน ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่งตลอดเวลา	ตั้งแต่ 2543 = 10 ปี ไม่พจ ญ ค ลี น ล ม แ ร ง - แสงแดดปกติ-อาจมี	ร้อยละ 60.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด	สำรวจ : 2552 บันทึก :2552- 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	สถานที่สำรวจ - ประวัติการใช้ โครงสร้าง	สถานะวิกฤติที่เผชิญ - อายุใช้งานจนถึงปัจจุบัน	อัตราความเสียหาย (%)	หมายเหตุ
	ของการใช้งาน	สารเคมีเจือปนในสระ น้ำเล็กน้อย	การใช้งาน	
6.3	วัดญาณสังวราราม ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่งตลอดเวลา ของการใช้งาน	ตั้งแต่ 2530 = 25 ปี ผจญคลื่นลมแรงใกล้ ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ร้อยละ 60.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552- 2553
6.4	ท่าเทียบเรือพัทธาใต้ ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่งตลอดเวลา ของการใช้งาน	ตั้งแต่ 2542 = 11 ปี ผจญคลื่นลมแรง ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ร้อยละ 70.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552- 2553
6.5	สะพานปลาวัดโกมุทพัฒนา ราม ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ใน สระน้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่ง ตลอดเวลาของการใช้งาน	ตั้งแต่ 2543 = 10 ปี ผจญคลื่นลมแรง ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ร้อยละ 60.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552- 2553
6.6	สะพานยาวตำบลนาเกลือ ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่งตลอดเวลา ของการใช้งาน	ตั้งแต่ 2543 = 10 ปี ผจญคลื่นลมแรง ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ร้อยละ 60.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552- 2553
6.7	สะพานเลี้ยวเมืองชลบุรี ตอม่อของอาคารจุ่มจมอยู่ในสระ น้ำทะเลที่มีคลื่นซัดฝั่งตลอดเวลา ของการใช้งาน	ตั้งแต่ 2546 = 7 ปี ผจญคลื่นลมแรง ชายทะเล มีพายุดีเปรส ชันและไต้ฝุ่นเป็นครั้ง คราว แสงแดดปกติ	ร้อยละ 15.00 ไม่เคยมีการบูรณะ โครงสร้างตลอด การใช้งาน	สำรวจ : 2552 บันทึก : 2552- 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	สถานที่สำรวจ - ประวัติการใช้ โครงสร้าง	สภาวะวิกฤติที่เผชิญ - อายุใช้งานจนถึงปัจจุบัน	อัตราความเสียหาย (%)	หมายเหตุ
7	พระนครศรีอยุธยา:สภาน้ำจืด			สำรวจ : 2552
	เขื่อนกั้นน้ำโลหะ-วัดไชยวัฒนา ราม ปรับยกด้วยระบบท่อนยันโลหะ	ตั้งแต่ 2552 = 2 ปี ไม่ผจญคลื่นลมแรง- แสงแดดปกติ-อาจมี สารเคมีเจือปนในสระ น้ำเล็กน้อย	โครงสร้างใหม่ 2552	บันทึก :2552- 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การประเมินอัตราความสูญเสีย วิเคราะห์ผลการทดลอง และมาตรการออกแบบเพื่อการเลี่ยงความเสียหายทางโครงสร้าง

5.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์เบื้องต้น

ก่อนทดลองจำนวน 18 ท่อนในแต่ละชนิดและเงื่อนไขของการเปิดผิวเหล็กได้ถูกทาบเปลือก
เผยให้เห็นสภาพของผิวเหล็กที่ได้ซ่อนอยู่ภายในหลังจากการแช่จุ่มอยู่ในน้ำจืด น้ำกร่อย หรือ
น้ำเค็มเป็นเวลา 18 เดือน โดยได้ทำการทาบเปลือกคอนกรีตเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2553

5.1.1 ผลของการทดลองสามารถประเมินได้ในเบื้องต้นดังต่อไปนี้ คือ

1. สภาพทั่วไปที่เปิดเผยออกมานั้น ได้แสดงไว้ในภาพข้างล่างนี้ แสดงให้เห็นอย่าง
ชัดเจนว่าผิวของ เหล็กเสริมนั้นมีสนิมเหล็กก่อตัวรอบแท่งเหล็กทุกพื้นที่ ในลักษณะของสนิมขุมมี
อัตราการกัดกร่อนเข้าจากผิวเหล็กเดิมในอัตราที่วิกฤตที่สุด โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1 มิลลิเมตร 0.8
มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร ตามสถานะของการแช่จุ่มใน น้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับ
สถานะดังกล่าวปรากฏอยู่ในโซนของระดับจุ่มแช่พอดี

2. ในโซนอื่นตลอดแนวแกนของท่อนทดลองนั้นผิวของ เหล็กเสริมนั้นมีสนิมเหล็กก่อ
ตัวรอบแท่งเหล็กทุกพื้นที่ ในลักษณะของสนิมขุมมีอัตราการกัดกร่อนเข้าจากผิวเหล็กเดิมในอัตรา
ที่วิกฤตที่สุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร 0.3 มิลลิเมตร และ 0.1 มิลลิเมตร ตามสถานะของการ
แช่จุ่มใน น้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับ

3. ท่อนทดลองที่มีคอนกรีตห่อหุ้มอยู่มิดท่อนและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยอีพ็อกซีเร
ซินนั้นไม่ปรากฏให้เห็นร่องรอยของสนิมขุมที่กัดกร่อนเข้าไปจากผิวเดิม คงมีเฉพาะการก่อสนิม
บนผิวในอัตราระหว่างร้อยละ 1.0 ถึง 5.0 ของผิวที่ถูกคอนกรีตห่อหุ้มอยู่

4. ท่อนทดลองที่มีคอนกรีตห่อหุ้มอยู่มิดท่อนและได้รับการเคลือบผิวด้วยอีพ็อกซีเรซิน
นั้นไม่ปรากฏให้เห็นร่องรอยของสนิมชนิดใดๆ ที่กัดกร่อนเข้าไปจากผิวเดิม ยกเว้นส่วนที่โผล่พ้น
ระยะความยาวของการหล่อหุ้มด้วยคอนกรีตเท่านั้น 2.4 ข้อสรุปเบื้องต้นและการเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ระบุไว้ในข้อ 1. ข้างบนนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า โครงสร้างคอนกรีต
เสริมเหล็กทั่วไปนั้น หลังจากการที่ถูกปล่อยให้อยู่ในสถานะของการจุ่มแช่น้ำเป็นเวลาประมาณ
540 วันไปแล้วนั้น การกัด

กร่อนได้เกิดขึ้นในอัตราที่สามารถวัดได้ การกัดกร่อนนี้หากปล่อยให้อยู่ในสภาวะบรรยากาศที่มีมลพิษธรรมชาติพัฒนา และมีแสงแดดตามเลียบข้างตามช่วงเวลาของวันและตลอดฤดูกาลแห่งปีแล้ว จะมีอัตรากัดกร่อนได้รอบผิว จนทำให้เหล็กเสริมเดิมที่มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตรนั้น ลดลงเหลือเพียง 13 มิลลิเมตร – 12.5 มิลลิเมตร – และ 12.8 มิลลิเมตร สำหรับท่อนทดลองที่จุ่มจมอยู่ในน้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับ

ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ที่เบื้องต้นดังกล่าวข้างบนนี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อเหล็ก โครงสร้างเริ่มต้นถูกใช้งานนั้น บรรยากาศโดยรอบที่ห่อหุ้มอยู่จะก่อให้เกิดสนิมและกัดกร่อนเนื้อเหล็กในฉับพลัน และอาจจะทำให้เหล็กเสริมโดยทั่วไปนั้นลดขนาดหน้าตัดลงไปประมาณ ร้อยละ 90, ร้อยละ 60 และ ร้อยละ 30 สำหรับท่อนทดลองที่จุ่มจมอยู่ในน้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับ ภายในระยะเวลาของการใช้งาน 15 ปีแรกเท่านั้น

จากข้อสรุปผลการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างบนนี้ โครงสร้างที่ใช้งานไปแล้ว 15 ปีแรกนั้นนับได้ว่าถึงจุดเสื่อมสภาพจนเกือบจะถึงจุดอันตรายวิกฤต หากจะใช้งานต่อไปโดยไม่ได้นำเนินการใดๆ ในการซ่อมบำรุง โครงสร้างนี้จะพบกับสภาวะวิบัติเมื่ออายุใช้งานผ่านอยู่ในรอบปีที่ 25 – ปีที่ 30 โดยประมาณ แต่ในสภาวะที่แท้จริงนั้น โครงสร้างอาคารยังทรงตัวอยู่ได้อย่างไร โคนไม่วิบัติลงทันทีนั้น สามารถให้คำอธิบายในเบื้องต้นได้ว่า โครงสร้างนี้ยังคงตรึงรั้งกันอยู่เป็นระบบที่ปรองดอง อีกทั้งยังมีเผื่อเตอร์ของความปลอดภัยคุ้มครองอยู่นั่นเอง

เมื่อเหล็กเสริมที่นำมาหล่อเป็นท่อนทดลองนั้นเป็นเหล็กที่มีเกรดธรรมดาที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป ไม่มีการเคลือบหุ้มผิวด้วยกรรมวิธีของการป้องกันสนิมใดๆ และร้อยละ 90 ของเหล็กชนิดนี้ เป็นเหล็กที่มีการหมุนเวียนนำมาใช้ (re-cycling reinforcing steel) โดยทั่วไปนั่นเอง

5.1.2 ลักษณะผิวเหล็กเสริมที่ผ่านการทดลองอัดรอกัดคร่อนหลังจากการจุ่มจมน้ำ 18 เดือน



รูปที่ 5.1 สภาพการก่อสนิมของท่อนเหล็กเสริม
บริเวณระดับเปียก - แห้ง โดยทั่วไปก่อนเคาะสนิมออก



รูปที่ 5.2 ลักษณะการกัดคร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ SW (25%-2)

(P1010007-เคาะสนิมแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ลักษณะการกักคร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ SW-WR (25%-2)
(P1010008-เคาะสนิมแล้ว)

รูปที่ 5.4 ลักษณะการกักคร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ SW-WR (50%-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW (RB-1)
(P1010010-เคาะสนิมแล้ว)

รูปที่ 5.6 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW-WR (25%-2)
(P1010011-เคาะสนิมแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW-WR (50%-2)
(P1010012-เคาะสนิมแล้ว)



รูปที่ 5.8 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ BW (25%-1)

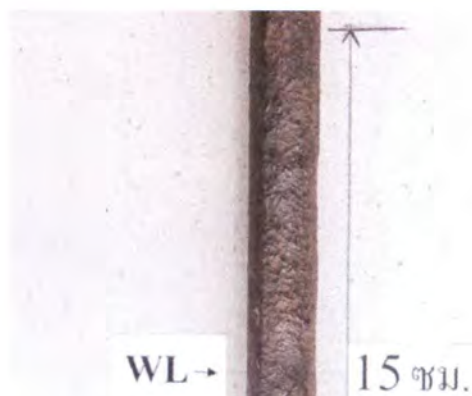
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ W (RB-1)
(P1010014-เคาะสนิมแล้ว)

รูปที่ 5.10 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนทดลองที่ W (50%-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนตลิ่งที่ W-WR (25%-2)
(P1010016-เคาะสนิมแล้ว)

WL → 15 ซม.

รูปที่ 5.12 ลักษณะการกัดกร่อนของแท่งเหล็กในท่อนตลิ่งที่ W-WR (50%-3)

(P1010018-เคาะสนิมแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 อัตราของการกัดกร่อนของเหล็กในแท่งทดลอง

TYPE	No.	LOSS – 15 CM. (MAX)	LOSS – 30 CM. (MIN)
A	RB-1	-	-
	25%-3	-	-
	50%-2	-	-
	100%-1	-	-
A - WR	25%-3	-	-
	50%-2	-	-
SW	RB-1	2.0 mm.	1.0 mm.
	25%-2	1.5 mm.	0.5 mm.
	50%-2	1.5 mm.	0.5 mm.
SW - WR	25%-2	2.0 mm.	1.0 mm.
	50%-1-	1.5 mm.	0.5 mm.
BW	RB-1	2.0 mm.	1.0 mm.
	25%-1	2.0 mm.	0.5 mm.
	50%-3	1.5 mm.	0.5 mm.
BW - WR	25%-2	1.5 mm.	1.0 mm.
	50%-2	1.0 mm.	0.5 mm.
W	RB-1	1.0 mm.	0.5 mm.
	25%-1	1.0 mm.	0.5 mm.
	50%-1	1.0 mm.	0.5 mm.
W - WR	25%-2	1.5 mm.	1.0 mm.
	50%-3	1.0 mm.	0.5 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการวิเคราะห์อายุการใช้งานจากการคำนวณค่าอัตราของการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

ตารางที่ 5.2 ผลจากการคำนวณอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเพื่อวิเคราะห์อายุการใช้งานของ
โครงสร้างที่จมน้ำ : ทดลองในน้ำจืด

Table 1.10	Tendency of Loss		POND WATER								ทดลองในน้ำจืด
Bar Size Item	Size of Bar	Initial Section Area (Sq.Cm)	Deterioration (Loss Rate)								
			18 Months After (Sq.Cm)		10 Years After (Sq.Cm)		20 Years After (Sq.Cm)		35 Years After (Sq.Cm)		
			Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	
RB15,DB16	Φ 15 mm.	1.77	0.52	29.44	1.13	64.00	1.48	84.00	1.76	99.56	
RB-DB20	Φ 20 mm.	3.14	0.71	22.56	2.36	75.00	2.95	93.75	3.14	100.00	
RB-DB22	Φ 22 mm.	3.80	0.78	20.63	2.85	75.00	3.42	89.88	3.80	100.00	
DB25	Φ 25 mm.	4.91	0.90	18.28	3.14	64.00	4.41	89.76	4.84	98.56	

ตารางที่ 5.3 ผลจากการคำนวณอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเพื่อวิเคราะห์อายุการใช้งานของ
โครงสร้างที่จมน้ำ : ทดลองในน้ำกร่อย

Table 1.20	Tendency of Loss		BRACKISH WATER								ทดลองในน้ำกร่อย
Bar Size Item	Size of Bar	Initial Section Area (Sq.Cm)	Deterioration (Loss Rate)								
			18 Months After (Sq.Cm)		10 Years After (Sq.Cm)		20 Years After (Sq.Cm)		35 Years After (Sq.Cm)		
			Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	
RB15,DB16	Φ 15 mm.	1.77	0.64	36.00	1.48	84.00	1.76	99.56	none	none	
RB-DB20	Φ 20 mm.	3.14	0.87	27.75	2.01	64.00	2.95	93.75	3.14	100.00	
RB-DB22	Φ 22 mm.	3.80	0.97	25.41	2.26	59.50	3.42	89.88	3.80	100.00	
DB25	Φ 25 mm.	4.91	1.11	22.56	3.14	64.00	4.41	89.76	4.84	98.56	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ผลจากการคำนวณอัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเพื่อวิเคราะห์อายุการใช้งานของโครงสร้างที่จมน้ำ : ทดลองในน้ำเค็ม

Table 1.30		Tendency of Loss		SALINE WATER		ทดลองในน้ำเค็ม				
Bar Size Item	Size of Bar	Initial Section Area (Sq.Cm)	Deterioration (Loss Rate)							
			18 Months After (Sq.Cm)		10 Years After (Sq.Cm)		20 Years After (Sq.Cm)		35 Years After (Sq.Cm)	
			Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)	Loss Rate	(%)
RB15,DB16	Φ 15 mm.	1.77	0.64	36.00	1.48	84.00	1.76	99.56	none	none
RB-DB20	Φ 20 mm.	3.14	0.87	27.75	2.36	75.00	2.86	91.00	3.14	100.00
RB-DB22	Φ 22 mm.	3.80	0.97	25.41	2.67	70.25	3.52	92.56	3.80	100.00
DB25	Φ 25 mm.	4.91	1.11	22.56	3.58	72.96	4.63	94.24	4.90	99.84

ข้อมูลในตารางข้างบนนี้แสดงให้เห็นว่าเหล็กเสริมในคอนกรีตที่จุ่มจมอยู่ในน้ำโดยมีส่วนที่สัมผัสกับอากาศชั้นอยู่ระหว่างท่อน โครงสร้างที่ตั้งขึ้นเช่น เสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปนั้นจะถูกกัดกร่อนจากการก่อกอสนิมจนทำให้พื้นที่หน้าตัดของท่อนเหล็กเสริมเดิมนั้นลดลงไป ดังตัวอย่างของเหล็กเสริมขนาด RB15,DB16 ที่แสดงนั้น จะเห็นได้ว่ามีผลการกัดกร่อนไปในอัตราร้อยละ 12.89, 24.98 และ 46.22 ในโครงสร้างที่จุ่มอยู่ในน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม ตามลำดับ และสามารถที่จะคาดเดาว่าหากใช้เหล็กเสริมในขนาดที่ใหญ่ขึ้นเป็น RB-DB22 แล้ว ผลการกัดกร่อนมีแนวโน้มว่าจะอยู่ในอัตราร้อยละ 17.36 และ 33.06 ในโครงสร้างที่จุ่มอยู่ในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย และในน้ำเค็ม ตามลำดับ เมื่อโครงสร้างนี้จุ่มจมอยู่ในน้ำเป็นเวลา 18 เดือน (ระยะเวลาของการทดลอง)

ตารางข้างบนนี้ยังชี้แนะอีกว่าหากระยะเวลาใช้งานผ่านไปในเดือน ไชเค็มนี้เป็น 20 ปีแล้ว อัตราการกัดกร่อนก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะตัดตัวแปรในเรื่องสภาวะแวดล้อมวิปริตอื่นๆ ออกไป เช่นลมพายุ แสงแดด หรือสารเคมีเจือปนต่างๆออกไปแล้ว อัตราการกัดกร่อนในเหล็กขนาด RB15,DB16 จะมีผลการกัดกร่อนไปในอัตราร้อยละ 84.00, และ 96.56 ในโครงสร้างที่จุ่มอยู่ในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย และน้ำเค็ม ตามลำดับ และสามารถที่จะคาดเดาว่าหากใช้เหล็กเสริมในขนาดที่ใหญ่ขึ้นเป็น RB-DB22 แล้ว ผลการกัดกร่อนมีแนวโน้มว่าจะอยู่ในอัตราร้อยละ 89.88 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

92.56 ในโครงสร้างที่จมอยู่ในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย และในน้ำเค็ม ตามลำดับ (เป็นการใช้งานอย่างต่อเนื่อง-และผลจากการคาดคะเนอย่างใกล้ชิด)

5.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ช่วยปกป้องโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการกัดกร่อน

Essential Tools for Structure Protection in a Hazard Environment

5.3.1 วัสดุการกันเขื่อนริมตลิ่งชนิด “PVC Seawall System”

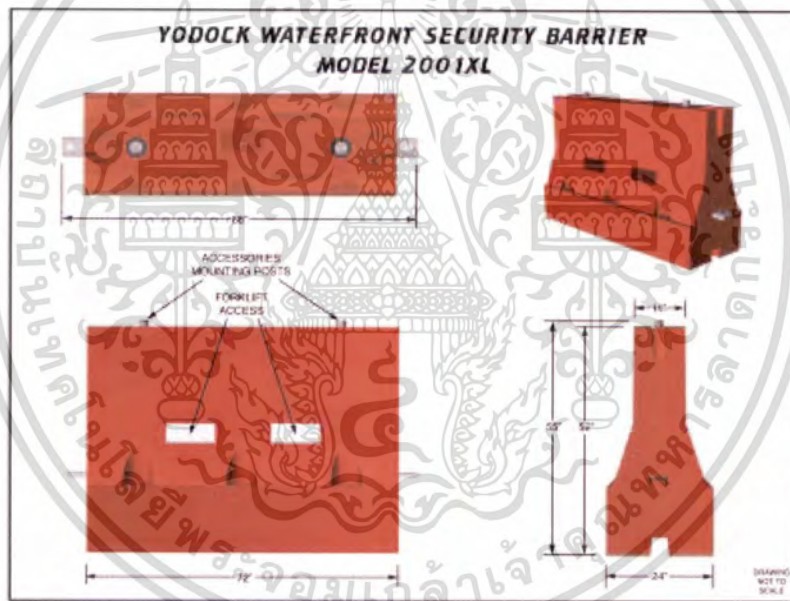
Seawalls คือ โครงสร้างริมฝั่งชนิดมอดูลาร์ที่ใช้สำหรับการป้องกันของ shorelines จากน้ำที่แวดล้อม แต่เดิม seawalls ถูกสร้างโดยการใส่การก่อสร้างสามัญ เช่น แผ่นเหล็ก คอนกรีตเสริมเหล็ก และ ไม้ เป็นต้นที่จะป้องกันพื้นที่ backshore จากกัดกร่อน

Seawalls ยังใช้เป็นที่แยกแผ่นดินจากน้ำ ใช้สารประกอบ Polymer ที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถทนต่อสภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่หยาบ Seawalls และ sheetpiles ถูกติดตั้งเป็น shorelines สำหรับการป้องกันของบ้าน, อาคารสิ่งปลูกสร้าง, หาดทราย และของ โครงสร้างพื้นฐานดั้งเดิม โดยใช้วัสดุสามัญ เช่น ดิน, ซีเมนต์, เหล็ก, ไม้อัด และ ริพ-เรพ (rip rap) เป็นต้น ต่อมา มีการนำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติเบาเช่น PVC และ/ หรือ เส้นใย FRP (fiber reinforced plastic) เข้ามาใช้มากขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งมีความทนทานมากกว่าวัสดุดั้งเดิมมากแต่มีราคาต้นทุน ไม่แพงทั้งๆที่มีความแข็งแรงไม่แพ้กัน

Seawalls เป็นวัสดุโครงสร้างชนิดประกอบได้เป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปใช้สำหรับปกป้องตลิ่งจากน้ำที่มาประชิด ปกติวัสดุประเภทนี้มักมาจากเศษวัสดุเหล็ก คอนกรีต และเศษไม้ Seawalls นี้อาจจะใช้ป้องกันคลื่นหรือแยกแยะสัดส่วนของการกั้นส่วนของที่ดินออกจากส่วนของน้ำ Polymer composites เป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุใหม่นี้ มีลักษณะความหนาแน่นต่ำ มีความเหนียวมาก (high toughness) และสามารถต้านทานสภาวะแวดล้อมที่เลวได้ มีลักษณะคล้าย sheet pile



รูปที่ 5.13 การใช้ “PVC Seawall System” ที่ “Steampacket Place, Quay”



รูปที่ 5.14 กำแพงกันดินกันคลื่นชนิด “PVC Seawalls”

5.3.2 การพ่นเคลือบผิวโครงสร้างด้วยด้วยโลหะ (Metallizing for Corrosion Protection)

การเคลือบผิวด้วยอีพ็อกซี่ Epoxy-Coated Rebar (ECR)

เทคนิคพิเศษในการปกป้องโครงสร้างด้วยการพ่นเคลือบด้วยโลหะ “Metallizing for Corrosion Protection”

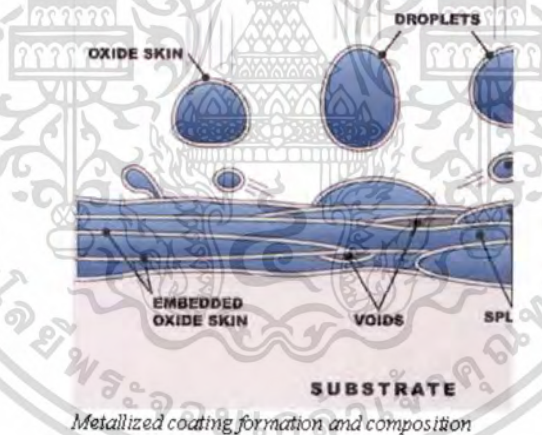
Metallizing ก็คือการเคลือบผิวโลหะชนิด “The thermal spraying” เริ่มใช้เมื่อปี 1920 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการใช้วัสดุที่มีการผลิตชนิดเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นหลัก

“The thermal spraying” เป็นวิธีการที่แพร่หลายอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ความร้อนสูงและอุปกรณ์ทันสมัยมาจัดการกับผิววัสดุที่ดำเนินการ บางทีใช้ชื่อว่า “detonation gun”, “high velocity oxyfuel”, “high-energy plasma”, หรือ “vacuum plasma” เป็นต้น



รูปที่ 5.15 The thermal spraying



รูปที่ 5.16 แสดงการเซ็ทตัวบนผิวหลังฉีดพ่น

5.3.3 การใช้ “V-ROD rebar”

ปัญหาที่วิกฤตของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในเชิงของเทคโนโลยีในปัจจุบันก็คือการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในเนื้อคอนกรีตที่ทำให้ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการบูรณะแก้ไขมากมายและไม่มีสิ้นสุด ได้มีความพยายามใช้เหล็กหรือโลหะเคลือบกัลวาไนซ์ (galvanized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

steel rebar) ใช้ข้อพอกซีพอก หรือใช้เหล็กไร้สนิมเข้ามาทดแทนเหล็กคาร์บอนรีดร้อนชนิดเก่า แต่ผลสำเร็จในความพยายามนี้มีไม่มาก อีกทั้งยังมีปัญหาค่าใช้จ่ายสูงตามมา



รูปที่ 5.17 ท่อนเสริมกำลังชนิด “V-ROD rebar”

“V-ROD rebar” เป็นวัสดุรับแรงดึงสูงชนิดใหม่สำหรับอนาคต ที่มีใช้แล้วและมีข้อกำหนดทางด้านคุณสมบัติไว้ใน “CSA codes” สำหรับการก่อสร้างสะพานและอาคารทั่วไปที่ก่อสร้างขึ้นในประเทศแคนาดา และอเมริกาตะวันออก

ต่อมามีการใช้วัสดุที่มีส่วนผสมของวัสดุ “Plasticized PVC” และ “fiber reinforced plastic (FRP)” มักมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตแต่มีกำลังดึงสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวแต่ไม่สลายง่ายในบรรยากาศและสภาพแวดล้อมปกติ

ปัจจุบันนี้ท่อนเสริมคอนกรีตที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ชนิด โพลีเมอร์ (Fibre-reinforced polymer ,FRP) กำลังอยู่ในความนิยมใช้ในงานก่อสร้างร่วมสมัย วัสดุชนิดนี้มีน้ำหนักเบาแต่มีกำลังดึงอีกทั้งความทนทานสูงกว่าเหล็กคาร์บอนรีดร้อนชนิดเก่ามาก การเก็บสำรองไว้ใช้นานๆก็ไร้ปัญหาเนื่องจากไม่ก่อสนิม

“V-ROD” เป็นชื่อเรียกของผลิตภัณฑ์นี้ “V-ROD” นั้นไม่ก่อสนิมเมื่ออยู่ในสถานะที่เสี่ยงสูงเนื่องจากไม่ทำปฏิกิริยากับเกลือ สารเคมีอื่น หรือสารอัลคาไลน์ในเนื้อคอนกรีตเอง

“V-ROD” มีค่าของกำลังดึงที่สามารถใช้งานประมาณสองเท่าของเหล็กคาร์บอนรีดร้อนชนิดเก่า อีกทั้งยังมีอัตราการยืด-หดตัวต่ำกว่ามาก

US Navy มีภารกิจทาง waterfront มากมายซึ่งมักจะมีอายุใช้งานมานานแล้วแต่ยังต้องการใช้งานต่อไป ในงานทั้งหมดนี้มีท่าเทียบเรือและอู่เรือที่อยู่ในสถานะวิกฤตเป็นจำนวนมากที่ได้สร้างขึ้นไม่นานหลังสงครามโลกครั้งที่สอง ทั้งหมดนี้มีลักษณะของการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตที่คล้ายคลึงกัน คือมักเกิดการแตกร้าวและการแทรกซึมของคลอไรด์จากน้ำทะเลสลับกัน อย่างผกผันอันเป็นไปตามธรรมชาติของการกัดกร่อนดังได้กล่าวมาแล้วในบทต้น ความรุนแรงจะมากขึ้นในส่วนที่ถูกคลื่นทะเลซัดตลอดเวลา และยังไปกว่านั้นยังมีปัญหาเพิ่มเติมทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีที่อาจจะมาจากการปนเปื้อนจากขั้นตอนก่อนการหล่อคอนกรีต นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงการใช้สอยไปเป็นอย่างอื่นที่มีเงื่อนไขเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมก็เป็นอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่ทำให้สถานะการณ์เลวร้ายยิ่งขึ้น

สิ่งนี้นับว่าเป็นภาระอย่างยิ่งก็คือเมื่อมีการซ่อมแซม จะต้องทำลายส่วนของการกัดกร่อนออกจนหมด จากนั้นต้องอุดปิดด้วยการยาแนวสนิทเพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนที่หลงเหลืออยู่นั้นลุกลามต่อไป สภาพภาระงานนี้นำไปสู่การค้นคว้าหาวัสดุและเทคโนโลยีที่ใหม่กว่าเพื่อนำมาใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างชนิดนี้

องค์กรที่ชื่อว่า “The Naval Facilities Engineering Service Center (NFESC)” จากการสนับสนุนของ “the Office of Naval Research” เริ่มโปรเจกต์คิดค้นวัสดุผสมเพื่อใช้ในการนี้ในปี 1990 ทำงานร่วมด้วยกับทีมพัฒนาของกองทัพบกที่ใช้ชื่อว่า “Market Development Alliance (MDA) of the FRP (Fiber Reinforced Polymer)” โดยให้ชื่อโครงการโปรเจกต์นี้ว่า “Construction Productivity Advancement Research (CPAR) Program.” ทำการทดสอบทดสอบวัสดุใหม่ เช่น เสาค้ำที่ผลิตสำเร็จรูปจากวัสดุประเภท “FRP materials” ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้ยังมีโปรเจกต์อื่นๆอีกมากที่ทางกองทัพสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ดำเนินการและดำเนินการอย่างต่อเนื่องล่าสุดได้ก่อตั้งสถาบัน “Advanced Waterfront Technology Test Site (AWTTS)” ขึ้น

ในการทดสอบทุกขั้นตอนจะใช้วัสดุจำลองขนาด (One-fifth scale laboratory tests and one-half scale) เขาสรุปว่าวัสดุ “carbon fiber sheets” ที่เสริมในตำแหน่งที่สำคัญตรงหัวเสาจะช่วยให้เพิ่มกำลังต้าน “punching shear” ได้ดีมาก

วิศวกรในทีมยังตรวจสอบต่อไปอีกว่าโครงสร้าง “bonded carbon fiber” จะยังมีอายุใช้งานเหลืออีกเท่าใดหลังการซ่อมเสริมเสร็จสิ้นลงไปแล้ว เขาพบว่าส่วนที่เสี่ยงที่สุดคือพื้นหน้าของท่าเรือด้านบนที่มักได้รับการเสริมกำลังด้วยวัสดุเหนียวตรงระนาบที่ต่อแหลมต่อการกัดกร่อนมากที่สุด อีกทั้งส่วนนั้นมักถูกขูดขยาดเสียหายอยู่ตลอดเวลา การทำงานในส่วนนี้ต้องใช้ความประณีตมาก เช่นต้องทำการและเนื้อวัสดุหุ้มเดิมออกแล้วเสริมลงไปใหม่ด้วยวัสดุชนิดที่เรียกว่า “epoxy adhesive”

นอกจากนี้ยังมีการแสดงคุณสมบัติที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับพื้น โครงสร้างที่เสริมกำลังด้วย “fiber sheets” นานาชนิด

วัสดุชนิดใหม่ที่ถูกนำไปใช้ในฐานทัพเรือสหรัฐฯ Norfolk Pier 11

Pier 11 ถูกกำหนดให้ต้องรองรับรถขนเลนขนาดใหญ่ที่สามารถยกน้ำหนักได้ 90 ตัน ในขณะที่ตัวรถเองมีน้ำหนักถึง 70 ตัน และยังคงออกแบบให้เป็นเลนที่มีคูขนานกันเนื่องจากต้องทำสำรองไว้เพื่อฉุกเฉินด้วย

ผิวพื้นชนิด “The laminate overlay” ข้างบนจะช่วยเสริมอายุการใช้งานของพื้นทำงานอีกประมาณร้อยละ 5 และจะเพิ่มกำลังรับแรงทางวิศวกรรมอีกประมาณร้อยละ 10 ทำให้สามารถระบุได้ใกล้เคียงความจริงว่าอายุการใช้งานน่าจะเพิ่มอีกประมาณ 20 ปีหลังการซ่อมเสริมแล้ว

หน่วยงานที่ชื่อ NFES มีหน้าที่ทำการทดสอบสมรรถนะของวัสดุเทียบเคียงชนิด กราไฟต์ หรืออีพ็อกซี่ “graphite/epoxy laminate overlays” ที่ออกแบบให้ใช้กับผิวพื้น โครงสร้างท่าเรืออย่างกว้างนี้ว่าจะมีคุณสมบัติอย่างไร โคคได้ทำการทดลองที่ San Diego Pier 12 (1946) ที่ก่อสร้างขึ้นหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ฐานทัพเรือ Naval Station San Diego โดยจะทดลองเพิ่มน้ำหนักบรรทุกบน โครงสร้างหล่อในที่เป็นพื้นขนาด 9.1 คูณ 444 เมตรให้สามารถรองรับเรือที่มีท้องแบน ค่อยข้างกินระดับน้ำต่ำและใช้รองรับอากาศยานขนาดปานกลาง (Figure 3). ให้มีคุณสมบัติรับน้ำหนักบรรทุกทุกเครื่องบินขนาด 30 ตันได้ มีภาระงานดังนี้

1. เปลี่ยนเหล็กที่กัดกร่อนไปแล้วในที่
2. อุดรอยร้าวด้วย “polyurethane”.
3. เสริมวัสดุชนิด “high strength carbon composite reinforcing rods” ลงไปบนผิวบนของโครงสร้างพื้น (deck)
4. อุดด้วยกาบ “high strength carbon lamination” ลงในชั้นใต้พื้นซึ่งหนา 24 นิ้วนั้น
5. อุดเสริมช่องว่างระหว่าง “fiberglass composite I-beams” ที่รองรับพื้นซึ่งหนา 8 นิ้วที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด
6. ติดตั้ง “pre-formed fiberglass cylindrical shells” คลุมหัวเข็มขัด แล้วอัดด้วยวัสดุเกราท์ที่ไม่หดตัว (shrink-resistant grout) การดำเนินการนี้ทำไปโดยไม่ต้องหยุดงานบริการที่ทำอยู่ทั้งหมด

วัสดุชนิดใหม่ที่ถูกนำไปใช้ในฐานทัพเรือสหรัฐ Pearl Harbor Bravo 25

ฐานทัพเรือสหรัฐ Pearl Harbor Bravo 25 มีโครงสร้างเดิมเป็นชนิดหล่อในที่ รองรับน้ำหนักด้วยเสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูป มีขนาดแผ่นพื้นใช้งานที่ 11 คูณ 168 เมตร โครงสร้างนี้ใช้งานมามากกว่า 55 ปีแล้ว แต่เดิมออกแบบให้รองรับระบบรางที่มีขนาดน้ำหนัก 50 ตัน แต่หลังจากทำการปรับปรุงแล้วสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของโมบายเครน (mobile crane) ได้ตามมาตรฐานใหม่ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้

เป้าหมายหลักอยู่ที่การใช้เพื่อยืดอายุการใช้งานของโครงสร้าง

เป้าหมายในการปรับปรุงโครงสร้างนอกจากจะพยายามเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในการใช้งานแล้ว ยังจะต้องต่ออายุการใช้งานออกไปโดยใช้งบประมาณที่วางไว้ด้วย ในงานนี้ก็เช่นเดียวกัน คือมีการประยุกต์วัสดุประสม (composite materials) ซึ่งมักพบว่าสามารถใช้กับงานซ่อมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงโครงสร้างเดิมเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่โครงสร้างที่สร้างใหม่นั้นไม่ค่อยเป็นที่นิยมทำกัน กลับหันมานิยมใช้ “modular floating double deck pier” ร่วมด้วยกับลวดแรงดึงสูงหรือเหล็กปลอก สนิม ส่วนผสมของคอนกรีตนั้นใช้สารเถ้าแกลบ (fly ash) เป็นที่คาดหมายว่าจะมีอายุใช้งาน ยาวนานกว่าระบบเดิม พวกเขาพิจารณาว่าการใช้ “FRP technology” ในรูปของ “carbon fiber” ต่างๆนั้นแม้จะมีราคาต้นทุนที่ยังสูงอยู่ แต่ค่อนข้างจะมั่นใจว่าจะเผชิญกับปัญหาการเปราะแตกของ วัสดุโครงสร้างที่ห่อหุ้มผิวอยู่ ทำให้อายุการใช้งานจะถูกยืดออกไปตามความต้องการ

อย่างไรก็ดีเป็นที่ชัดเจนว่าการนำเอา “carbon fibers” มาเสริมนอกชิ้นส่วนโครงสร้าง สำเร็จรูปที่วางในที่แล้ว (เช่น ตงหรือคาน ค.ส.ล.) นั้นสามารถประกันการเพิ่มขีดความสามารถและ ป้องกันการวิบัติในโครงสร้างนั้นๆได้ เทคโนโลยีนี้ได้พัฒนาไปสู่การประยุกต์ใช้กับองค์อาคารที่ รับแรงคดแม้ในอาคารพักอาศัยขนาดใหญ่หรืออาคารสำนักงานมากขึ้น

การใช้ “pre-formed FRP shells” ที่มีผิวบางนำไปหุ้มโครงสร้างเสาก็เป็นอีกตัวอย่าง หนึ่งของงานสร้างเสริมที่น่าสนใจ ระบบดังกล่าวนี้ถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างที่ทำกันใน “San Diego” ด้วย บางครั้งมีการเพิ่มจำนวนเสาขึ้นมาเพื่อทดแทนส่วนที่ขาดหายไปจากการรื้อเล็กผนัง รับน้ำหนักในส่วนนั้นไป แต่เป็นที่น่าสังเกตและต้องไม่ลืมว่าส่วนที่เสริมขึ้นมาใหม่นี้ไม่สามารถ เพิ่มขอบเขตความสามารถในการรับแรงเฉือนหรือโมเมนต์เป็นส่วนเพิ่มได้

นอกจากนี้ การทำ “lay-up bonded carbon fibers” ก็นับว่าเป็นเทคนิคอีกอย่างหนึ่งที่ สามารถช่วยเสริมผิวโครงสร้างได้ก็จริงแต่มันมีน้ำหนักตัวที่กลายเป็นภาระใหม่อีกทั้งยังจะไม่ช่วย เมื่อโครงสร้างพื้นนั้นต้องรองรับน้ำหนักที่มีทิศทางที่สวนขึ้น เนื่องจากว่าในข้อเท็จจริงแล้ววัสดุ ใหม่ที่ไม่สามารถทดแทนเหล็กเสริมโมเมนต์ ๖ ลบในพื้นที่โครงสร้างได้

5.3.4 การหุ้มเคลือบพอนเหล็กด้วยวัสดุออร์แกนิก(Organic Coating)

มีการใช้ Epoxy-coated rebars (ECR) กันตั้งแต่ประมาณปี 1970 นั้นเป็นการทาทับผิว เหล็กหลังจากการหักงอและผูกอยู่ในที่แล้ว หากมีการขนส่งก็จะต้องไม่ทำลายผิวที่เคลือบแม้แต่น้อยเช่นทำการลากจูงหากจำเป็นโดยใช้เชือกพลาสติกแทนการใช้ลวดเคเบิลดึงเอา

เขาทำการทดสอบงานการทาผิวเหล็กในโปรเจกต์ที่ยาวนานถึง 5 ปีของ Federal Highway Administration (FHWA) โดยวิธีการใหม่ๆ ผลการสำรวจพบว่าความสม่ำเสมอและความหนาของชั้นที่ทาเคลือบเป็นตัวแปรที่สำคัญแห่งการปกป้องอย่างมีประสิทธิภาพ (McDonald et al., 1994; McDonald et al., 1995).

จุดที่เริ่มเสียหายและมีร่องรอยของการก่อสนิมมักจะเป็นในจุดที่มีการครูดออกจาก การเบียดไลของของแข็งอื่นที่เข้ามาปะทะ ซึ่งจุดเหล่านั้นพบว่ายากแก่การค้นพบและทาทับบใหม่ให้ ครบถ้วนด้วย epoxy coating



รูปที่ 5.18 “Epoxy-coated rebars (ECR)”

จากงานค้นคว้าของ FHWA มีข้อสรุปจากการบันทึกของ Virmani and Clemena 1998 ไว้ว่า

- การก่อสร้างด้วยวัสดุชนิด ECR สามารถปกป้องพื้นผิวคอนกรีตสะพานได้ดีไม่น้อยกว่า 20 ปีโดยไม่ต้องบำรุงรักษา
- พื้นผิวสะพานที่ West Virginia มีการหลุดล่อนของคอนกรีตออกเพียง ร้อยละ 0.25 หลังอายุใช้งานแล้วเป็นเวลาถึง 19 ปี การหลุดล่อนของคอนกรีตได้เกิดขึ้นแค่เพียงจุด รอนต่อของโครงสร้างที่ประชิดกันเท่านั้น และไม่มีร่องรอยของการกัดกร่อนลงไปถึง เนื้อเหล็กเสริมให้เห็น
- ร้อยละ 81 ของวัสดุ ECR segments ที่ได้ขุดออกมา deck cores ปราศจากร่องรอยของ การกัดกร่อน
- มีร่องรอยของ chloride concentrations ในอัตราที่น้อยกว่าค่าความเสี่ยงต่อการกัด กร่อนมาก และมีลักษณะเฉกเช่นสีสนิมที่เห็นเคลือบผิวเหล็กดังที่เห็นอยู่ทั่วไปในการ ก่อสร้างปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Michael Brown et al. (2003) กล่าวว่าสรุปว่า epoxy-coated rebars (ECR) สามารถหน่วงเหนี่ยวอัตราการเป็นสนิมได้ดีและไม่ยอมให้สนิมในรูปทรงใดได้ลุกลามเข้าไปใน cement paste matrix ได้ และเขาสามารถคำนวณได้ค่าการยืดอายุใช้งานได้มากกว่าถึง 5 ปีมากกว่าโครงสร้างที่ใช้เหล็กเสริมธรรมดาที่ไม่ได้มีสารเคลือบใดๆ มาช่วยเลย

ในเขตภูมิอากาศที่ร้อนชื้นเช่นในมลรัฐฟลอริดา การทาเคลือบเหล็กด้วยสาร organic coating ไม่สามารถอยู่ทนนานเนื่องจากมีบรรยากาศที่มีความชื้นและไอเกลือในอัตราสูงซึ่งเนื้อคอนกรีตจะชื้นและอยู่ตลอดเวลา สภาวะเช่นที่วอานี้แตกต่างจากที่ Colorado, Central US อย่างมากทีเดียว

5.3.5 การหุ้มเคลือบท่อนเหล็กด้วยวัสดุโลหะ

Metallic coating

เป็นอีกหนทางหนึ่งในการปกป้องโครงสร้างคอนกรีตจากการกัดกร่อนสนิม เป็นการพ่นเคลือบด้วยสารที่มีอัตราการสลายของอนุโลหะต่ำกว่าเหล็ก ดังนั้นแม้ในสภาวะของสารทำลายที่เอื้อ สารที่เคลือบก็ทำการป้องกันไม่ให้กระบวนการกัดกร่อนดำเนินไปได้ง่าย

Galvanized Rebars

การทำ Zinc-coated หรือการทำ galvanized, เหล็กจะถูกห่อหุ้มอย่างแน่นหนาด้วยการจุ่มเคลือบในสารละลาย กรรมวิธีนี้แม้จะมีประสิทธิภาพดีมากแต่มีต้นทุนสูงมากไม่แพร่หลายเท่าใดนัก แต่ข้อมูลที่มีอยู่ระบุว่า หากพื้นผิวคอนกรีตที่หุ้มอยู่มีความหนาประมาณมากกว่า 51 มม. และมีคอนกรีตคุณภาพชนิดที่ใช้สัดส่วน น้ำ/ซีเมนต์ น้อยกว่า 0.45, การเคลือบในระบบนี้จะเพิ่มอายุใช้งานให้ยาวนานออกไปอีกถึง 5 ปี

Stainless Steel-clad Rebars

การประมวลผลระบุว่าการใช้วัสดุนี้จะลดอัตราการกัดกร่อนของสนิมลง ประมาณ 800 เท่าระบบนี้ใช้กันมากในทวีปยุโรปและสหราชอาณาจักร และไม่เป็นที่นิยมมากนักในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากมีราคาแพงมาก แต่ในเวลาเดียวกันค่าการซ่อมแซมไม่มี ดังนั้นอาจจะพิจารณาไปได้ว่าจะประหยัดกว่าหรือไม่ในระยะยาว ในเรื่องนี้ DOTs กำลังทำการค้นคว้าอยู่อย่างขมุกขมม่น มีผู้ผลิตตามรายชื่อข้างล่างนี้เป็นหัวหอกในการดำเนินการร่วมกันอย่างเหนียวแน่น

Copper-clad Rebars

วิธีการนี้พบว่าใหม่มากซึ่งกำลังจะนำหน้าในบรรดากระบวนการทั้งหมดที่คล้ายคลึงกัน เป็นที่มุ่งหวังว่าจะประหยัดมากที่สุดเนื่องจากสามารถกำหนดความหนาของการเคลือบให้สม่ำเสมอจนสามารถควบคุมปริมาณการใช้วัสดุเคลือบได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการคำนวณอย่างแม่นยำสร้างความเชื่อมั่นในความคลาดเคลื่อนที่ต่ำมาก

5.3.6 วอเตอร์สตอป และ จีโอเท็กซ์ไทล์ (Waterstop & Geo-textile)

วอเตอร์สตอป และ จีโอเท็กซ์ไทล์ (Waterstop & Geo-textile) เป็นวัสดุที่เหนียวและบาง มักจะผลิตและเก็บไว้ได้ในรูปวัสดุม้วน

ดังที่ได้กล่าวในบทก่อนแล้วว่า ระดับน้ำใต้ดินและการขึ้น-ลงตามฤดูกาลของน้ำใต้ดินนั้นมักจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่มีชั้นดินที่อ่อนและมีน้ำท่วมขัง ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึง พื้นที่ก่อสร้างในส่วนที่เป็นทางวิ่งและทางขับของสนามบินสุวรรณภูมิในกรุงเทพมหานคร พื้นที่ดินในบริเวณนั้นเป็นที่ราบลุ่มที่มีระดับต่ำปริ่มระดับน้ำทะเลปานกลาง สภาพเดิมเป็นหนองน้ำ มีการทำบ่อปลาและสวน มีคลองไหลผ่านภายในหลายสาย ระดับน้ำใต้ดินและการขึ้น-ลงตามฤดูกาลของน้ำใต้ดินนั้นมักจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารต่างๆ ผู้เขียนได้เสนอแนวทางแก้ไขในเชิงวิชาการเอาไว้ว่า วิธีการที่ประหยัดและได้ผลที่สุดน่าจะเป็นการประยุกต์การใช้ วอเตอร์สตอป และ จีโอเท็กซ์ไทล์ (Waterstop & Geo-textile) เข้ามาแก้ปัญหา แม้ว่าจะไม่ได้ระบุไว้ในเบื้องต้นของขั้นตอนในการออกแบบทางวิศวกรรมก็ตาม เทคโนโลยีนี้เป็นที่ยอมรับกันมานานในวงการก่อสร้างและงานวิศวกรรมโยธา

5.3.7 การห่อหุ้มเสา ค.ส.ล. ด้วยวัสดุแผ่น “Aqua wraps 22-77”

อาควาแรพ (Aquawrap 22-77) เป็นชื่อทางพาณิชย์ของสารกันชื้นที่เก็บในรูปแบบของการม้วน มีคุณสมบัติที่จะปกปิดเพื่อกันมิให้ความชื้นเข้าไปสัมผัสผิวได้สร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างคอนกรีตได้ เนื้อวัสดุเป็นจำพวก ไฟเบอร์รีนฟอร์ต-โพลีเอสเตอร์ (FRP) ส่วนใหญ่มักจะนำมาใช้เพื่อซ่อมแซมการกัดกร่อนในเนื้อของโครงสร้างเสา ซึ่งสามารถดำเนินการได้ง่ายเนื่องจากสามารถใช้กรรมวิธีการพันหุ้ม โคนเสาไว้ได้ทันทีเมื่อมีวัสดุติดยึดคล้ายกาวมาทำหน้าที่เป็นตัวยึดไว้ไม่ให้หลุดล่อนก่อนเวลาอันสมควร

นอกจากนี้มันยังสามารถใช้หุ้มผิวที่ทำด้วยไม้หรือพลาสติกได้อีกด้วยอาควาแรพพ์ ใช้วัสดุส่วนหนึ่งที่มาจากใยแก้ว (woven glass fiber) หรือ แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (carbon fiber sheets) ที่บ่มแล้วใน โพรพิยูเรเทนเรซิน (polyurethane resin)

งานที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างทางวิศวกรรมโยธาเช่นเสาตอม่อสะพานซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

- ลอกทำลายชั้นของคอนกรีตที่ล่อนลอกบริเวณผิวนอกของเสา
- ทำความสะอาดผิว
- ซ่อมส่วนหลุดล่อนของคอนกรีตด้วยวัสดุ HD-25
- หุ้มห่อด้วยแผ่น “ Aqua wrap 22-77 Cloth” และ “22-77 Veil Prepreg Cloth” ตามลำดับ
- ทำการบ่มตามระบบ และ ทาสีทับตามต้องการ



รูปที่ 5.19 แสดงการติดตั้ง “Aqua wraps 22-77 operation”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 แสดงลักษณะหลังการดำเนินการหุ้มผิวของเสาต่อม่อาคารขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลข้อมูลวิจัยทางธรณีและอุทกวิทยา

1. การแปรสภาพทางกายภาพของอาคารที่ขึ้นอยู่กับสภาพของสิ่งแวดล้อมที่อาคารตั้งอยู่
2. ดินที่พุงอาคารอยู่นั้นเปลี่ยนสภาพไปตามเวลาและการใช้งานของมนุษย์ การศึกษาและสืบค้นค่าการทรุดตัวของดินในเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบอาคาร เนื่องจากงบประมาณในการซ่อมความเสียหายในระยะยาวจะมีความสิ้นเปลืองมากกว่าค่าการออกแบบให้ถูกต้องในเบื้องต้นในทุกๆ ระบบรวมกัน
3. การควบคุมปริมาณการระบายน้ำที่รวดเร็ว ช่วยแบ่งเบาความเสียหายอันเกิดจากน้ำท่วมขังบนดิน ในขณะที่การควบคุมปริมาณชุดเจาะน้ำบาดาลจะบรรเทาปัญหาการทรุดของพื้นดินในระยะยาวได้
4. การทรุดของดินอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดการทรุดตัว หรือเอียงทรุดของระบบฐานรากและจะลดรอนอายุ(Durability) ของอาคาร
5. ฐานรากของอาคารเป็นส่วนประกอบที่ซ่อนเร้นจากสายตาและเป็นส่วนประกอบที่ทำงานหนักที่สุดในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของดินขึ้นอย่างต่อเนื่อง อายุของอาคารน่าจะขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของฐานรากนี้เป็นสำคัญ

6.2 สรุปผลการทดลองที่สามารถนำมาประยุกต์ออกแบบอาคารและโครงสร้าง

1. สภาพทั่วไปที่ผิวของ เหล็กเสริมนั้นมีสนิมเหล็กก่อตัวรอบแท่งเหล็กทุกพื้นที่ ในลักษณะของสนิมขุมมีอัตราการกัดกร่อนเข้าจากผิวเหล็กเดิมในอัตราที่วิกฤตที่สุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร ตามสถานะของการแช่จุ่มใน น้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับสถานะดังกล่าวปรากฏอยู่ใน โชนของระดับจุ่มแช่พอดี

ใน โชนอื่นตลอดแนวแกนของท่อนทดลองนั้นผิวของ เหล็กเสริมนั้นมีสนิมเหล็กก่อตัวรอบแท่งเหล็กทุกพื้นที่ ในลักษณะของสนิมขุมมีอัตราการกัดกร่อนเข้าจากผิวเหล็กเดิมในอัตราที่วิกฤตที่สุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร 0.3 มิลลิเมตร และ 0.1 มิลลิเมตร ตามสถานะของการแช่จุ่มใน น้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับ

ก่อนทดลองที่มีคอนกรีตห่อหุ้มอยู่มีค่อนและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยอีพ็อกซีเรซินนั้นไม่ปรากฏให้เห็นร่องรอยของสนิมขุมที่กัดกร่อนเข้าไปจากผิวเดิม คงมีเฉพาะการก่อสนิมบนผิวในอัตราระหว่างร้อยละ 1.0 ถึง 5.0 ของผิวที่ถูกคอนกรีตห่อหุ้มอยู่

ก่อนทดลองที่มีคอนกรีตห่อหุ้มอยู่มีค่อนและได้รับการเคลือบผิวด้วยอีพ็อกซีเรซินนั้นไม่ปรากฏให้เห็นร่องรอยของสนิมชนิดใดๆ ที่กัดกร่อนเข้าไปจากผิวเดิม ยกเว้นส่วนที่โผล่พ้นระยะความยาวของการหล่อหุ้มด้วยคอนกรีตเท่านั้น 2.4 ข้อสรุปเบื้องต้นและการเสนอแนะ

2. จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่า โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปนั้น หลังจากการที่ถูกปล่อยให้อยู่ในสถานะของการจุ่มจมน้ำเป็นเวลาประมาณ 540 วัน ไปแล้วนั้น การกัดกร่อนได้เกิดขึ้นในอัตราที่สามารถวัดได้ การกัดกร่อนนี้หากปล่อยให้อยู่ในสถานะบรรยากาศที่มีลมธรรมชาติพัดพา และมีแสงแดดตามเลียบข้างตามช่วงเวลาของวันและตลอดฤดูกาลแห่งปีแล้ว จะมีอัตราการกัดกร่อนได้รอบผิว จนทำให้เหล็กเสริมเดิมที่มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตรนั้น ลดลงเหลือเพียง 13 มิลลิเมตร – 12.5 มิลลิเมตร – และ 12.8 มิลลิเมตร สำหรับก่อนทดลองที่จุ่มจมน้ำในน้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับ

ข้อมูลและผลการวิเคราะห์เบื้องต้นดังกล่าวข้างบนนี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อเหล็กโครงสร้างเริ่มต้นถูกใช้งานนั้น บรรยากาศโดยรอบที่ห่อหุ้มอยู่จะก่อให้เกิดสนิมและกัดกร่อนเนื้อเหล็กในฉับพลัน และอาจจะทำให้เหล็กเสริมโดยทั่วไปนั้นลดขนาดหน้าตัดลงไปประมาณ ร้อยละ 90, ร้อยละ 60 และ ร้อยละ 30 สำหรับก่อนทดลองที่จุ่มจมน้ำในน้ำเค็ม น้ำกร่อย และ น้ำจืด ตามลำดับ ภายในระยะเวลาของการใช้งาน 15 ปีแรกเท่านั้น

3. ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้รับจากห้องทดลองชี้ว่า โครงสร้างที่ใช้งานไปแล้ว 15 ปีแรก นั้นนับได้ว่าถึงจุดเสื่อมสภาพจนเกือบจะถึงจุดอันตรายวิกฤต หากจะใช้งานต่อไปโดยไม่ได้นำเนินการใดๆ ในการซ่อมบำรุง โครงสร้างนี้จะพบกับภาวะวิบัติเมื่ออายุใช้งานผ่านอยู่ในรอบปีที่ 25 – ปีที่ 30 โดยประมาณ แต่ในสถานะที่แท้จริงนั้น โครงสร้างอาคารยังทรงตัวอยู่ได้อย่างไร โคนไม่วิบัติลงทันทีนั้น สามารถให้คำอธิบายในเบื้องต้นได้ว่า โครงสร้างนี้ยังคงตรึงรั้งกันอยู่เป็นระบบที่ปรองดอง อีกทั้งยังมีเผื่อเตอร์ของความปลอดภัยคุ้มครองอยู่นั่นเอง

เมื่อเหล็กเสริมที่นำมาหล่อเป็นท่อนทดลองนั้นเป็นเหล็กที่มีเกรดธรรมดาที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป ไม่มีการเคลือบผิวด้วยกรรมวิธีของการป้องกันสนิมใดๆ และร้อยละ 90 ของเหล็กชนิดนี้เป็นเหล็กที่มีการหมุนเวียนนำมาใช้ (re-cycling reinforcing steel) โดยทั่วไปนั่นเอง

4. เหล็กเสริมในคอนกรีตที่จุ่มจมอยู่ในน้ำโดยมีส่วนที่สัมผัสกับอากาศคั่นอยู่ระหว่างท่อน โครงสร้างที่ตั้งขึ้นเช่น เสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปนั้นจะถูกกัดกร่อนจากการก่อสร้างจนทำให้พื้นที่หน้าตัดของท่อนเหล็กเสริมเดิมนั้นลดลงไป ดังตัวอย่างของเหล็กเสริมขนาด RB15,DB16 ที่แสดงนั้น จะเห็นได้ว่ามีผลการกัดกร่อนไปในอัตราร้อยละ 12.89, 24.98 และ 46.22 ในโครงสร้างที่จุ่มอยู่ในน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม ตามลำดับ และสามารถที่จะคาดเดาว่าหากใช้เหล็กเสริมในขนาดใหญ่ขึ้นเป็น RB-DB22 แล้ว ผลการกัดกร่อนมีแนวโน้มว่าจะอยู่ในอัตราร้อยละ 17.36 และ 33.06 ในโครงสร้างที่จุ่มอยู่ในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย และในน้ำเค็ม ตามลำดับ เมื่อโครงสร้างนี้จุ่มจมอยู่ในน้ำเป็นเวลา 18 เดือน (ระยะเวลาของการทดลอง)

5. ผลการทดลองยังชี้แนะว่าหากระยะเวลาใช้งานผ่านไปในเดือนไหนก็ตามนี้เป็น 20 ปีแล้ว อัตราการกัดกร่อนก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะตัดตัวแปรในเรื่องสภาวะแวดล้อมวิปริตอื่นๆออกไป เช่นลมพายุ แสงแดด หรือสารเคมีเจือปนต่างๆออกไปแล้ว อัตราการกัดกร่อนในเหล็กขนาด RB15,DB16 จะมีผลการกัดกร่อนไปในอัตราร้อยละ 84.00, และ 96.56 ในโครงสร้างที่จุ่มอยู่ในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย และน้ำเค็ม ตามลำดับ และสามารถที่จะคาดเดาว่าหากใช้เหล็กเสริมในขนาดใหญ่ขึ้นเป็น RB-DB22 แล้ว ผลการกัดกร่อนมีแนวโน้มว่าจะอยู่ในอัตราร้อยละ 89.88 และ 92.56 ในโครงสร้างที่จุ่มอยู่ในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย และในน้ำเค็ม ตามลำดับ (เป็นการใช้งานอย่างต่อเนื่อง-และผลจากการคาดคะเนอย่างใกล้เคียง)

6.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ช่วยปกป้องโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการกัดกร่อนมีดังต่อไปนี้

1. วัสดุการกันเขื่อนริมตลิ่งชนิด “PVC Seawall System“
2. การพ่นเคลือบผิวโครงสร้างด้วยด้วยโลหะ
3. การหุ้มเคลือบท่อนเหล็กด้วยวัสดุออร์แกนิก
4. การหุ้มเคลือบท่อนเหล็กด้วยวัสดุโลหะ
5. วอเตอร์สตอป และ จีไอเท็กซ์ไทล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การห่อหุ้มเสา ค.ส.ล. ด้วยวัสดุอีพ็อกซีเรซินหรือแผ่น “Aqua wraps 22-77”

6.4 ข้อเสนอแนะรูปแบบ “สถาปัตยกรรมบนน้ำ” ที่จะลดความสูญเสีย

6.4.1 อาคารพักอาศัย (residential)

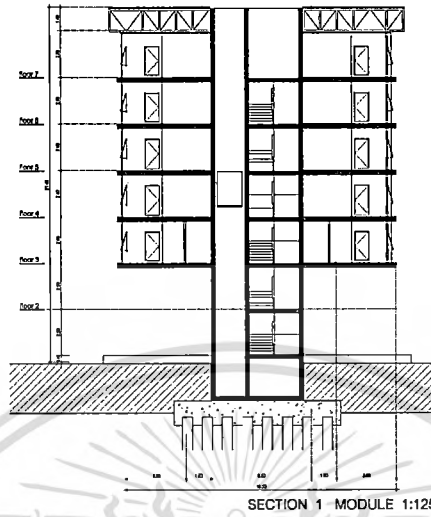


รูปที่ 6.1 บ้านต้นไม้แห่งสุพรรณบุรี



รูปที่ 6.2 ศาลากลางน้ำพุงด้วยเสาเดี่ยวยกสูง ในสวนพระนครฯ ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

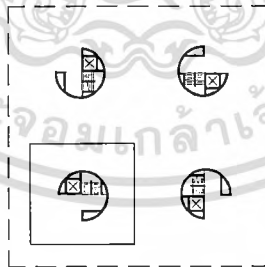


รูปที่ 6.5 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว

6.4.3 อาคารสาธารณะ (public buildings)

อาคารลอยตัวอิสระชนิดปล่องแกนร่วมขนาบออกแบบ โดย ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และ

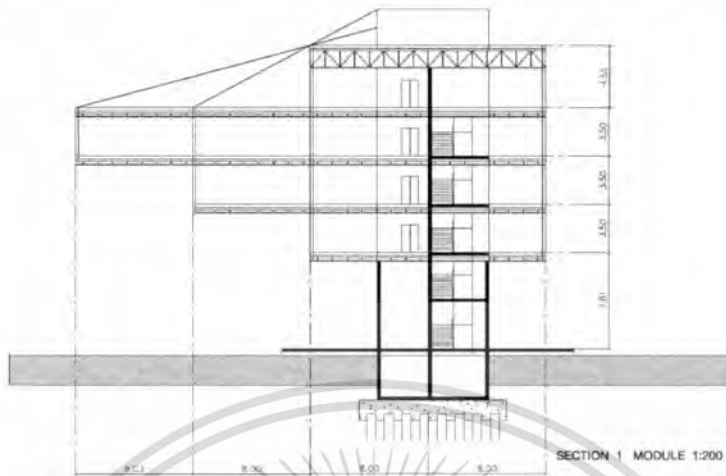
คณะฯ



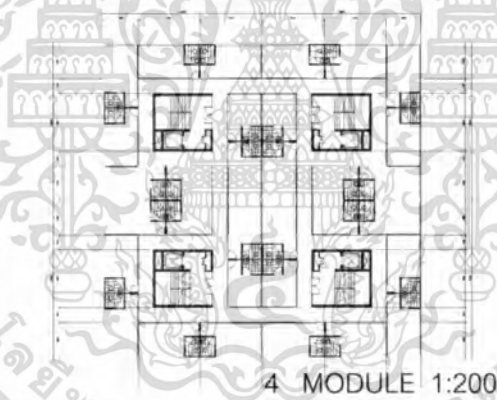
1 st Floor 4MODULE 1:400

รูปที่ 6.6 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

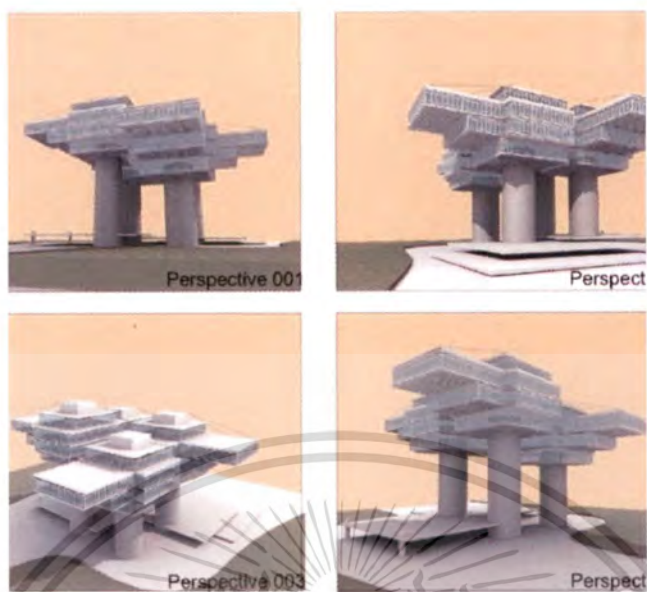


รูปที่ 6.7 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดียว



รูปที่ 6.8 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

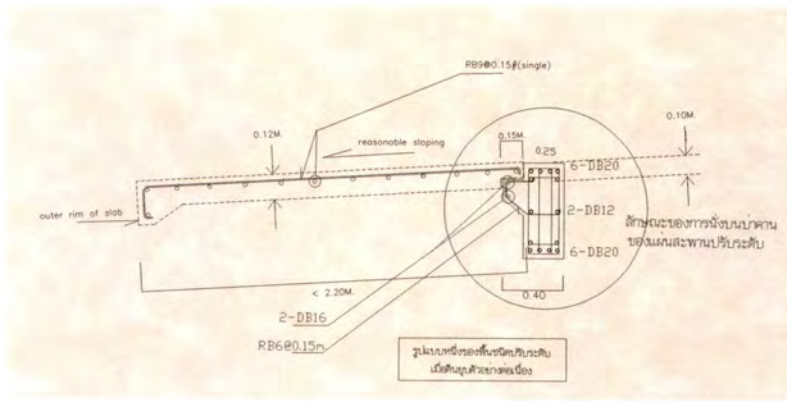


รูปที่ 6.9 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนชุด



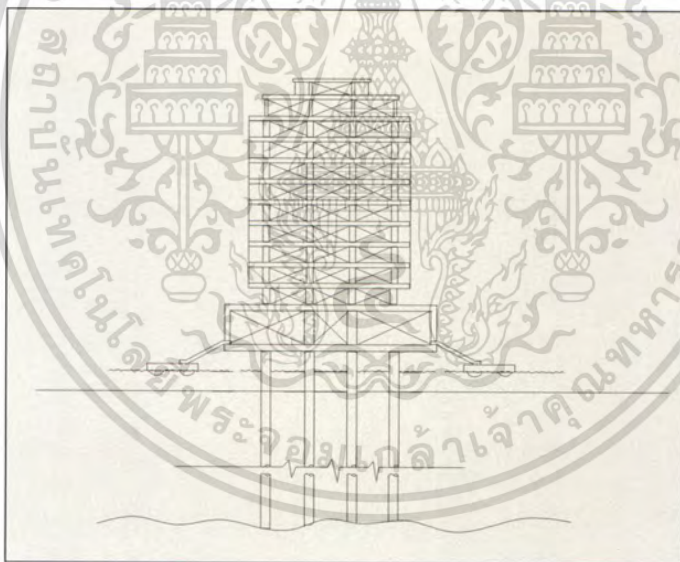
รูปที่ 6.10 อาคารลอยตัวบนปล่องแกนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 รูปตัดแสดงแนวทางการใช้สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ในการแก้ปัญหาแผ่นดินรอบอาคารทรุดตัวต่อเนื่อง

6.5 แนวทางการออกแบบอาคารลอยตัวบนเสาเข็มหรือตอม่อ



รูปที่ 6.12 แนวทางการออกแบบอาคารลอยตัวบนเสาเข็มหรือตอม่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 อาคารสาธารณะขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นในนครกาต้า



รูปที่ 6.14 “Singapore’s floating towers³ Scott’s Tower” Orchard Road, Singapore 2006

³ Designed by Office for Metropolitan Architecture (OMA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 งานออกแบบสถาปัตยกรรมที่เลี้ยงจากการกักร่อน

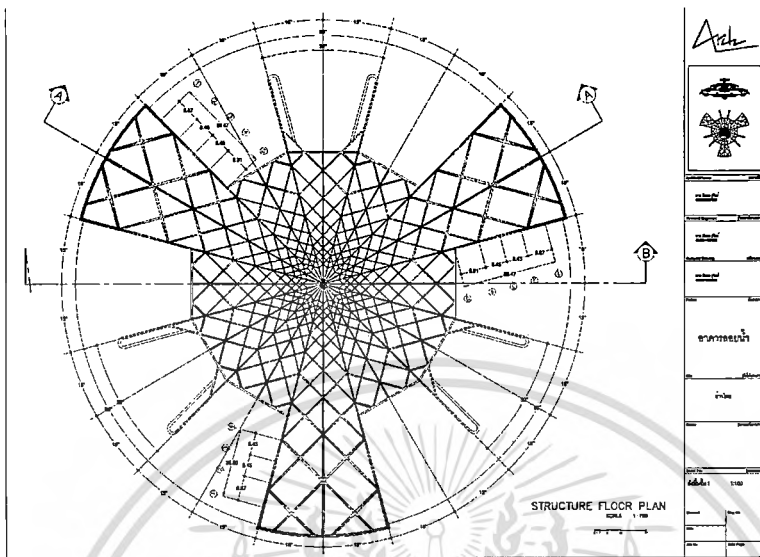
ออกแบบโดย ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และคณะฯ (Floating Structure 001/2009 As designed by

S.Srisompong et at 2009)

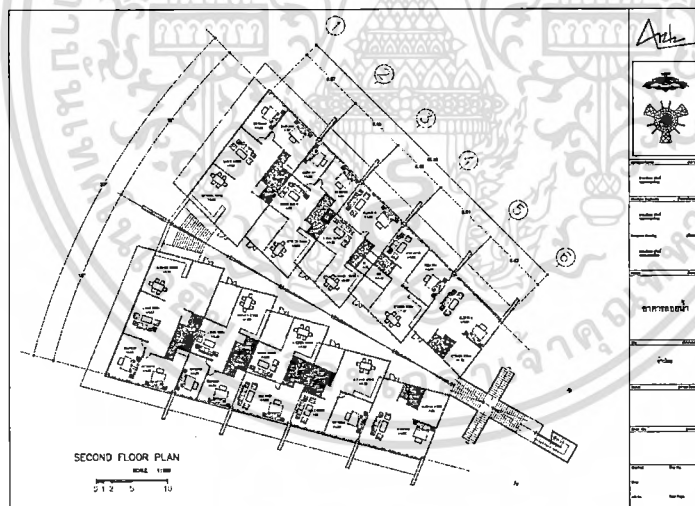


รูปที่ 6.16 Section A-A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

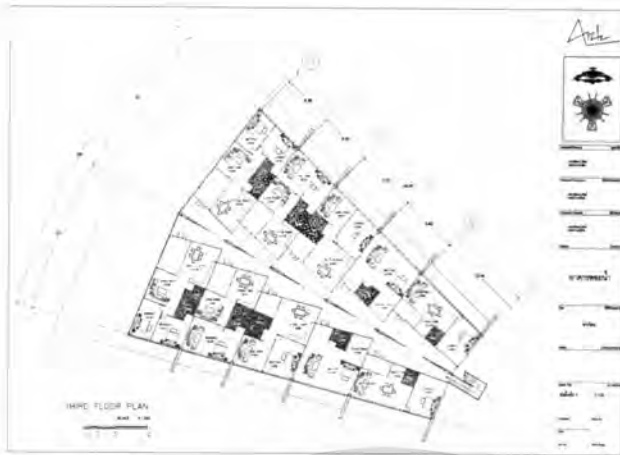


รูปที่ 6.17 Structural Floor Plan 2

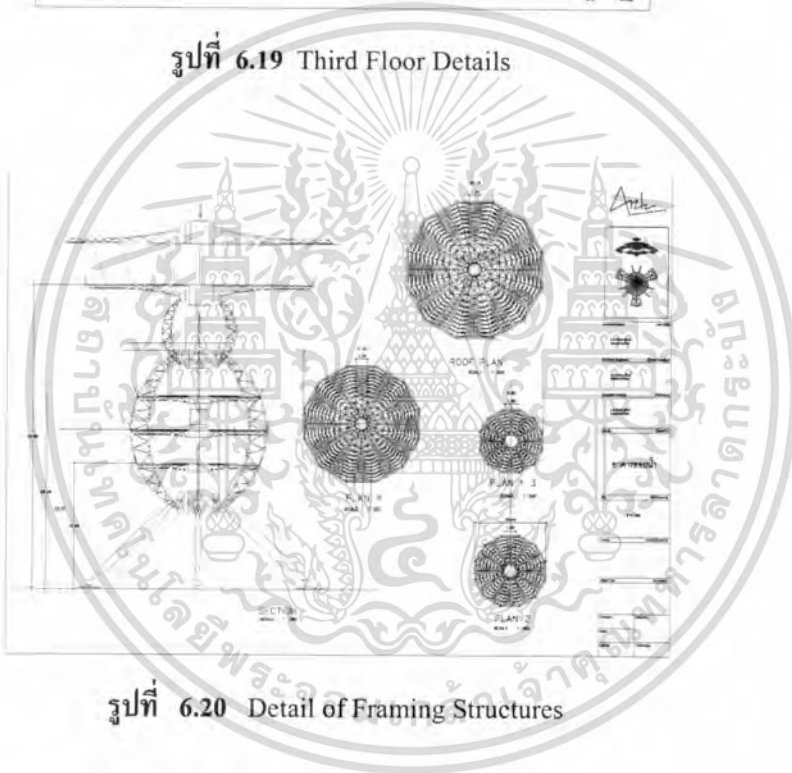


รูปที่ 6.18 Second Floor Details

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 Third Floor Details



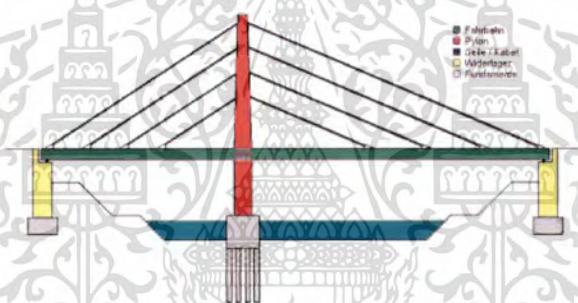
รูปที่ 6.20 Detail of Framing Structures

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 โครงสร้างพื้นฐานและการขนส่ง (Highway Structures)



รูปที่ 6.21 สะพานข้ามอ่าวชนิดลอยตัวบนน่านน้ำ



รูปที่ 6.22 สะพานจึงที่มีตอม่อลอยพื้นระดับน้ำ

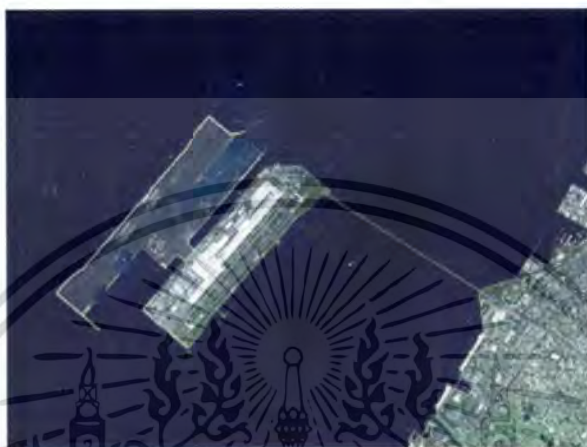
รูปข้างบนนี้แสดงแนวความคิดใหม่ของสถาปัตยกรรมสะพานที่เสนอเป็นรูปแบบที่จะสร้างให้ลอยพ้นจากระดับน้ำท่วมขังทำให้สามารถเลี่ยงความสูญเสียจากการถล่มกร่อนของโครงสร้างได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8 เทคโนโลยีแห่งน้ำ (Waterfront Technology)

6.8.1 เกาะที่เกิดจากการถมทะเล

New Kansai Airport, Osaka 1998



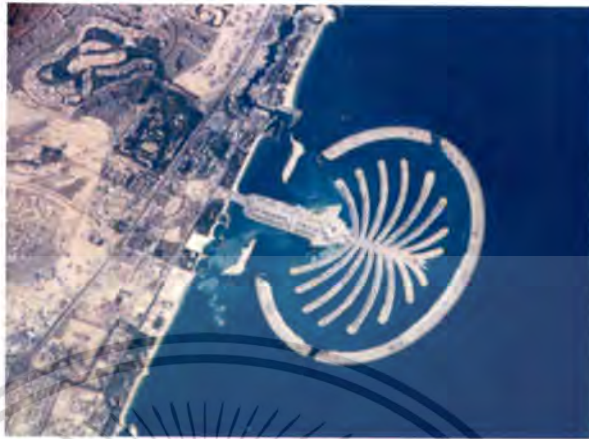
รูปที่ 6.23 New Kansai Airport, Osaka

ในการพัฒนาเมืองใหม่ขึ้นในปัจจุบันมีการถมทะเลกันมากขึ้นเพื่อรองรับการขยายตัวของเมือง เช่นที่ชิคาโก นิวยอร์ก และฮ่องกง ได้มีการขยายเขตเมืองลงไปสู่น่านน้ำกันมากขึ้น แม้แต่เมืองที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลเช่นในประเทศเนเธอร์แลนด์ก็พบว่ามีความจำเป็นต้องขยับขยาย ได้มีการเสาะหาพื้นที่ดินที่กว้างขวางขึ้นด้วยการถมทะเลเพื่อรองรับโปรเจ็กสนามบิน เช่นเดียวกันกับที่ได้มีการถมทะเลและปลูกสร้างอาคารสนามบินนานาชาติขึ้นที่นคร โอซากา ประเทศญี่ปุ่น

การดำเนินงานที่ง่าย ๆ ก็คือพยายามที่จะเทวัสดุถาวรขนาดใหญ่ลงไปในทะเลตามแนวทางและขอบเขตที่จะถม วัสดุต่าง ๆ เช่นหิน ซิเมนต์ ดิน และ แม้แต่เศษขยะก็นำมาใช้ได้หมด ซึ่ง ณ เมืองโอซากานี้เขาได้ขมย่อยภูเขาลงไป 3 ลูกเพื่อที่จะนำหิน ไปถมที่ขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าชิ้นหนึ่งที่มีความลึกประมาณ 100 ฟุตห่างออกจากฝั่งทะเลโอซากาออกประมาณ 4 กิโลเมตร เมื่อทำการถมลงไปแล้วยังพบว่าการยุบตัวลงไปอีกรวมแล้วประมาณ 25 ฟุตซึ่งต้องจัดการถมเพิ่มอีก และในการนี้ต้องทำการออกแบบอาคารทั้งหมดอยู่บนเสาที่สามารถต่อเพิ่มความยาว แต่ถึงอย่างไรก็ตามโครงสร้างทั้งหมดสามารถรอดพ้นความเสียหายจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ที่นคร โทเบ (1995) และพายุไต้ฝุ่นขนาดใหญ่ในปี ค.ศ.1998 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dubai Waterfront Project 2008⁴



รูปที่ 6.24 Dubai Waterfront Project

นครดูไบ ในประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรต เป็นอีกเมืองหนึ่งซึ่งกำลังพัฒนาโปรเจกต์ก่อสร้างในน่านน้ำขนาดใหญ่ที่สุดในโลกขึ้นมาและกำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่ในปัจจุบัน ดังที่ทราบกันอยู่ในปัจจุบันภายใต้ชื่อโปรเจกต์ “Palm Islands Project” ซึ่งจะประกอบด้วยเกาะที่เกิดจากการถมทะเลประมาณ 300 เกาะ วางเรียงตัวกันในผังรูปต้นปาล์ม ในขณะที่มีการถมทะเลเพิ่มขึ้นอีกและจำลองให้เป็นเสมือนแผนที่โลกวางอยู่บนน่านน้ำใกล้กับ “Palm Islands Project” และเอื้ออำนวยให้มีการจับจองหรือซื้อเอาไปเสมือนกับจะจำลองโลกทั้งโลกไว้ในน่านน้ำของเขา ทำให้เมื่อรวมตัวกันแล้วจะเป็นโครงการในน่านน้ำที่ใหญ่ที่สุดในโลกและนำทางการศึกษาเป็นอย่างยิ่ง

แม้ว่ามนุษยชาติได้เคยทำการดำเนินงานทางด้านวิศวกรรมขนาดใหญ่ในรูปโปรเจกต์เดี่ยว แต่เมื่อมองจากภาพถ่ายทางดาวเทียมแล้วจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันมนุษย์กำลังจะเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวโลกไปจากเดิม นักบินอวกาศชื่อ จอห์น เกล็น (John Glenn) ได้สามารถมองเห็นกำแพงเมืองจีนได้จากยานอวกาศ “Freedom 7” ของเขา ในอดีต ปัจจุบันนักบินอวกาศรุ่นใหม่จะสามารถมองลงมาเห็นต้นปาล์มขนาดใหญ่กำลังงอกออกไปในอ่าวเปอร์เซีย และคงจะต้องแก้ไขแผนที่โลกฉบับเก่าที่เขาพกพาอยู่

⁴ Anthony Kendall (January, 2006) : From DamnInteresting.com

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะใช้ความพยายามทางด้านวิศวกรรมให้วังเหล่านี้ดำเนินไปได้ แต่การเปลี่ยนแปลงโลกในลักษณะนี้ย่อมจะประสบปัญหาสภาพแวดล้อมไม่น้อยทีเดียว การถมทะเลไม่ว่าจะน้อยหรือมากย่อมเปลี่ยนทางน้ำไหลและกระแสน้ำทะเลที่มีอยู่ก่อน การก่อสร้างสภาพแวดล้อมมาทดแทนส่วนที่ขาดหายไปจะกลายเป็นภาระที่จำเป็นอย่างยิ่ง และในโอกาสที่มนุษยชาติกำลังเร่งมืออพยพกันลงไปในทะเลเช่นนี้ มนุษย์ชาติจะต้องไม่ลืมว่าพลังแห่งธรรมชาตินั้นควรค่าแก่การที่จะเคารพและให้ความสนใจมากยิ่งขึ้นและไม่ควรละเลยหรือปฏิเสธ

มนุษย์นอกจากจะใช้น้ำประกอบธุรกิจต่างๆแล้วมนุษย์ยังต้องการขยายหรือย้ายถิ่นฐานลงไปอาศัยในน้ำอีกด้วย แต่สิ่งที่จะเป็นผลเสียอย่างยิ่งแก่สภาวะแวดล้อมก็คือเมื่อมนุษย์จะละเลยเรื่องการก่อกมลภาวะ จึงได้มีการคิดค้นการออกแบบเพื่อการเข้าไปพักอาศัยกันในทะเล โดยที่ไม่ต้องประสบปัญหามลภาวะและได้มีมาตรการออกแบบ บ้านปลอดมลภาวะทางทะเล (*non-toxic housing On The Waterfront*) ขึ้นตามมา เนื่องจากที่อยู่ใหม่นี้จะไม่มีรถยนต์เข้าถึง แต่จะเรียงวังเวงปราศจากการรบกวนจากเพื่อนบ้านที่มีกฐู้ในชีวิตและอาจกระทบการเป็นอยู่ของเพื่อนบ้านด้วยกัน

ในอ่าวซานฟรานซิสโกได้มีการก่อสร้างเกาะที่เรียกชื่อว่า “Forbes Island” ขึ้นมาซึ่ง โครงสร้างต่างๆของอาคารในเกาะนี้จะลอยน้ำหมด ทั้งหมดจะใช้โฟมเป็นวัสดุกันการจมน้ำแล้ววางทำเทียบลอยโดยใช้เฟอโรซีเมนต์เป็นท่อนลอยน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก (*ferro-concrete platform*) บนเกาะจะจำลององค์ประกอบที่จำเป็นเช่น ปรากฏการณ์ ต้นไม้ น้ำตก และชายหาดเทียม และกลายเป็นสถานที่ท่องเที่ยวยอดนิยมแห่งหนึ่งในภูมิภาคนี้

แต่นั้นไม่ใช่แห่งแรก ตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ.1980 เป็นต้นมา บ้านลอยน้ำน้อยใหญ่ขนาดานาชนิดก็ได้ถูกสร้างขึ้นในนครแวนคูเวอร์ ประเทศแคนาดา (International Marine Flotation Systems) และนอกชายฝั่งเมืองอัมสเตอร์ดัม ในประเทศเนเธอร์แลนด์ วังเกือบทั้งหมดได้ประยุกต์วัสดุเฟอโรซีเมนต์วางบนท่อนโพลีโฟมทั้งสิ้น แต่รุ่นที่พัฒนาสูงขึ้นกว่าที่กล่าวมาทั้งสิ้นคงจะเป็นการออกแบบที่ใช้เครื่องยนตร์ขับเคลื่อนที่จะสามารถขับพาอาคารที่ต้องการให้เคลื่อนตัวไปสู่น้ำอื่นที่ต้องการได้ ในขณะที่บ้านในน้ำทั่วๆไปมักจะถูกกำหนดให้ติดตายอยู่ในตำแหน่งที่คาดหมายไว้แต่เดิมและมักจะผูกติดอยู่กับแพทางเดินที่เป็นท่อนลอยมาตรฐาน ที่สามารถควบคุมและวางกฎเกณฑ์ ได้ เทคโนโลยีในการยกลอนนั้นต่อมาได้มีการพัฒนาขึ้นไปจนกระทั่งมีการใช้ระบบ “Pneumatically Stabilized Platform system” ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย “Float Inc.” สำหรับใช้กับงานในท้องทะเลโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Forbes Island ถูกสร้างขึ้นก่อนหน้าที่จะมี GPS systems เล็กน้อย ซึ่งระบบดังกล่าวนี้จะช่วยในการดำน้ำ ซึ่งต่อมาก็เป็นประโยชน์ต่อการกำหนดตำแหน่งของบ้านหรืออาคารลอยน้ำต่างๆ และการรักษาระเบียบในน่านน้ำต่อไปก็จะต้องขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศจะตกลงกัน

นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีที่จำเป็นอีกบางประเภทเช่น ทางเชื่อมโยงโดยตรงจากอาคารสู่อาคารที่ลอยอยู่บนน่านน้ำ เครื่องทำไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ กังหันลมเอนกประสงค์ และมักนิยมใช้ “Spincraft” ว่าเป็นยานพาหนะที่วิ่งได้เหนือพื้นน้ำทะเลมากกว่าที่จะใช้เรือเร็วที่ใช้เชื้อเพลิงและมีการจุกะเปิดอย่างเดิม

Port Island

Port Island เป็นเกาะที่เกิดจากการถมทะเลที่ Chuo-ku, Kobe, ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งก่อสร้างขึ้นระหว่างปี ค.ศ.1966 ถึง1981 ที่อ่าวเมืองโกเบ และได้เปิดเป็นปฐมฤกษ์ในงานเอ็กซ์โปที่ชื่อ “Port Pier ‘81.” ในขณะนี้มีการสร้าง heliport โรงแรม หอประชุมสัมมนา UCC Coffee Museum และสวนสนุกมากมาย มีสะพานเดินข้ามทอดยาวจากเกาะนี้ไปยังสถานีชุมทางรถไฟ “Sannomiya Station” และทำอากาศยาน โกเบ โดยตรง

Chubu Centrair International Airport

Chubu Centrair International Airport — หรือที่เรียกขานกันว่า Central Japan International Airport — ก็เป็นเกาะที่มาจาก การถมทะเลอีกแห่งหนึ่งที่อ่าวอิเสะ Ise Bay, Tokoname City in Aichi Prefecture, ทางทิศใต้ของเมืองนะโกยะ Nagoya ในตอนกลางของประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 6.25 Chubu Centrair International Airport

Chubu นับว่าเป็นเกาะที่เป็นที่ตั้งของท่าอากาศยานในทะเลแห่งที่ 3 ของประเทศญี่ปุ่น รองลงมาจาก Nagasaki Airport และ Kansai International Airport และนับเป็น แห่งที่ 2 ที่สร้างบนเกาะที่เกิดจากการถมทะเล ด้วยแรงสนับสนุนจากกลุ่มธุรกิจโตโยต้า เป็นหลักทำให้เกิดธุรกิจการขนส่งทางอากาศ 24 ชั่วโมง ได้เริ่มต้นเมื่อปี ค.ศ.2000 และด้วยการลงทุนมากถึง 768 พันล้านเยน (7.3 พันล้านดอลลาร์) ที่สำคัญได้มีการลงทุนป้องกันทางด้านมลภาวะหลังจากที่ได้บทเรียนจากท่าอากาศยานคันไซมาก่อน เกาะถมทะเลที่เกิดขึ้นมีพื้นที่เป็นรูป “D” ซึ่งจะเอื้ออำนวยให้การไหลเวียนของกระแสน้ำทะเลไม่ติดขัดที่ขอบชายฝั่งของเกาะก่อสร้างโดยใช้ก้อนหินขนาดใหญ่มาถมรอบเพื่อเชื่อมกับชีวิตสัตว์ทะเลในท้องถิ่น แม้ในระหว่างการก่อสร้างยังมีนกนางนวลมาอาศัยทำรังลงบนส่วนที่จัดไว้ให้โดยจำเพาะอีกด้วย เมื่อขึ้น ณ วันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2005 ก็ได้มีการวางแผนงานต่อเติมอีก 7 จุดที่ใกล้เคียงโดยจัดแผนที่จะเริ่มต้นในปี 2008 โดยใช้ทุนทั้งสิ้นประมาณ 2 ล้านล้านเยน (2 trillion yen) หรือประมาณ 17 พันล้านดอลลาร์ (about \$17 billion U.S.).

Kobe Airport

Kobe Airport นั้นถูกสร้างขึ้นบนเกาะที่เกิดจากการถมทะเลนอกชายฝั่งของนคร โกเบ ประเทศญี่ปุ่น ให้เป็นลักษณะสนามบินที่เชื่อมต่อการขนส่งทางอากาศเครื่องบินโดยสารทั้งภายในประเทศและในน่านฟ้าสากล การก่อสร้างได้เริ่มต้นขึ้นในเดือน กันยายน 1999 ในระหว่างนั้นได้มีการโต้แย้งกันเรื่องโปรเจกต์นี้บ้างในระดับการเมือง เกิดคดีที่ต้องชำระสะสางกันบ้าง ที่สุดศาลได้สั่งให้การฟ้องร้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดค้านการก่อสร้างเป็นโมฆะ ในปี 2004 การก่อสร้างจึงดำเนินต่อไปและสำเร็จลุล่วงลงในวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2006 ในที่สุด

Eco-Island City

รูปแบบที่แสดงข้างล่างนี้เป็นการพัฒนาเกาะกลางอ่าวที่ประหยัดพลังงานที่สุดตามชื่อที่ให้ไว้



รูปที่ 6.26 Aquarius marine colony – Marshal Savage’s The Millennial Project

Oceania marine colony – Oceania group



รูปที่ 6.27 Sea City marine leisure city complex – TV21 Annual 1971

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมแห่งน้ำ (The Waterfront Architecture Design)



รูปที่ 6.28 AZ Island

AZ Island เป็นแนวคิดที่จะออกแบบให้อาคารลอยตัวสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในน้ำ ออกแบบโดย Jean-Philippe Zoppini จากสำนักออกแบบชื่อ Alstom Marine อาคารโดยรวมมีขนาด 400 X 300 เมตร มีความสามารถรองรับคนที่เป็นคล้ายผู้โดยสาร ได้ประมาณ 10,000 คนพร้อมกัน มาใช้งานร่วมกันบนอาคารสูง 29 ชั้นเหนือระดับน้ำทะเล อาคารนี้สามารถต้านทานแรงปะทะของคลื่นยักษ์ที่สูงถึง 20 เมตรได้อย่างปลอดภัย ในขณะที่ใช้งานหรือ “โคจร” ไปนั้นจะมีเรือ เฟอร์ และเฮลิคอปเตอร์ช่วยในการลำเลียงผู้โดยสารไปด้วยพร้อม ๆ กัน

โปรเจกต์นี้ได้รับการศึกษาทบทวนทางด้านงบประมาณในการก่อสร้างและการขับเคลื่อนอย่างถี่ถ้วน คาดว่าค่าก่อสร้างเบื้องต้นอาจจะมีมูลค่าถึง สองพันล้านปอนด์ แต่นั่นไม่ใช่ตัวเลขที่ผู้ออกแบบและเจ้าของงานเป็นกังวลตรงเท่าที่เขามั่นใจในการแสวงหาผู้ร่วมทุนที่มีความสนใจเดียวกัน ความฉงนสนเท่ห์จึงคงจะอยู่ในประเด็นที่ว่าพวกเราที่ไม่มีทุนรอนมากเท่ากับผู้ที่สามารถร่วมทุนหลักที่ได้รับการเลือกสรรนั้นจะยังคงมีโอกาสได้โดยสารไปกับพวกเขาสักคนสองคนหรือไม่บน “AZ Island” แห่งนี้

แต่เราจะเรียกโปรเจกต์เหล่านี้ว่า “เกาะ” หรือ “เรือ” ที่ทอดสมอยู่ในอ่าวหรือกลางท้องทะเล และอาจจะทอดเชื่อมถึงกันด้วยสะพานที่ทอดข้ามมาจากฝั่งแม่น้ำที่ใกล้เคียง ความคิดของการผนวกเอาชีวิตในเมืองเข้ามารวมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงแรมขนาดใหญ่ลอยน้ำ

รูปแบบที่แสดงข้างล่างนี้เป็นการพัฒนาอาคารขนาดใหญ่ลอยน้ำตามชื่อที่ให้ไว้



รูปที่ 6.29 Floating Utopia and Ocean City Project 2008 www.weburbanist.com



รูปที่ 6.30 อาคาร “ฟร็ด้อมชิป” (Holland : World’s First Floating Country)

[ResidenSea](#) เป็นบริษัทที่บริหารเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ลำเดียวที่มีอยู่ในปัจจุบันที่เดินทางอยู่ในน่านน้ำสากลอย่างต่อเนื่องชื่อ [The World](#) ที่มีกรขาย และโอนกรรมสิทธิ์ในรูปแบบของคอนโดมิเนียมให้แก่ลูกค้าในราคาประมาณหน่วยละ 2.5 ถึง 7.5 ล้านดอลลาร์ องค์กรประกอบบนนั้นจะมี สระว่ายน้ำ พัดตาคาร สนามเทนนิส ห้องสมุด ห้องออกกำลังกาย สปา และ สนามกอล์ฟเล็ก เป็นต้น มั่นคุดย้ายเรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดินสมุทร แต่ที่แท้จริงมันคือที่อยู่อาศัยชนิดที่ “ลอยเลื่อน” คล้ายกับว่าจะเป็นนิมานของนักเลี้ยงภาษีเงินได้ แต่เป็นความเป็นอยู่อย่างปกติไม่หิวหว่าเท่ากับอาคารลอยน้ำอีกลำหนึ่งที่ใช้ชื่อว่า “ฟรีด้อมชิป” ดังจะกล่าวต่อไปนี้

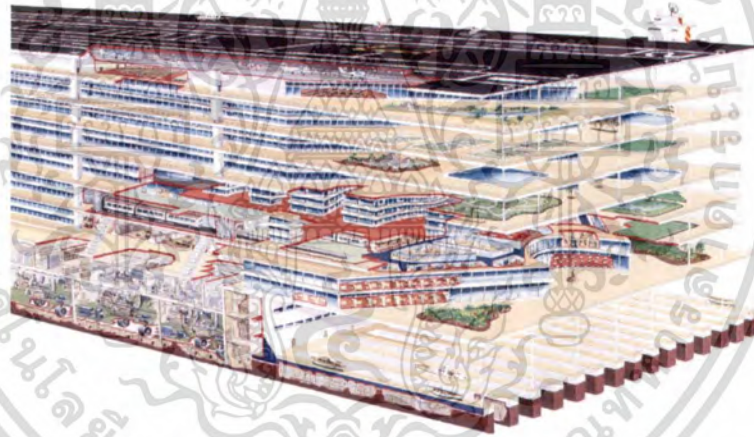
แนวความคิดของการออกแบบอาคาร “ฟรีด้อมชิป” นั้นเกิดขึ้นมาหลังปี ค.ศ.2000 ผู้ที่ได้เห็นรูปแบบเบื้องต้นนี้ต่างให้ความเห็นและวิจารณ์ว่ามันน่าจะเรียกได้ว่าเป็น floating paradise และก็ใครที่จะได้เห็นและสัมผัสมันด้วยตนเองสักครั้ง มันเป็นเรื่องที่ใหญ่ที่สุดเท่าที่เคยสร้างมา ช่างในออกแบบให้บรรจুব้านพักหลังเกษียณเป็นจำนวนถึงหลายหมื่นหน่วย และสถานที่บรรจุกุศุภสาธารณะขนาดใหญ่ เรือลำนี้จะล่องลอยไปในทุกที่ที่อยากท่องเที่ยวไป ส่วนหนึ่งของจุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือจะรองรับผู้เกษียณอายุที่ยัง โดดเล่นและแข็งแรงอยู่สักประมาณ 30000 คนซึ่งปัจจุบันอาศัยและมีชีวิตที่ไม่สู้จะตื่นเต้นเท่าใดนักในเขต Brooklyn ใน นครนิวยอร์ก

โครงการอาคารลอยในน้ำชื่อ “ฟรีด้อมชิป” นี้เป็นความคิดและจินตนาการของ บริษัท ResidenSea เช่นกันและอยู่ในระหว่างดำเนินการวางแผนเพื่อการก่อสร้าง แต่ทว่าพื้นที่ช่างบนนั้นคือถูกจับจองกันไปถึง ร้อยละ 20 แล้ว อาคารหลังนี้มีขนาดความยาวประมาณ 1 ไมล์ มีแหล่งผลิตพลังงานเพื่อการขับเคลื่อนในตัวเอง องค์กรประกอบหลักคือ อะพาร์ตเมนต์ และการจัดสวน ส่วนบริหารธุรกิจ โรงเรียน ซอปปิงมอลล์และ กาลิโน เป็นต้น มีเครือข่ายการเชื่อมโยงทางการสื่อสารไร้สายที่ทันสมัย คาดฟ้าชั้นบนใช้เป็นลานอากาศยายชนและถ่ายผู้โดยสาร

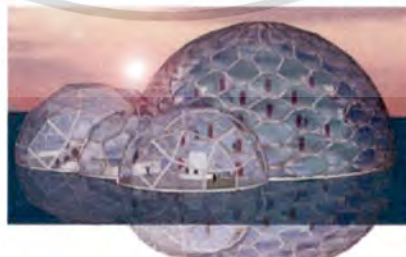
ส่วนที่เป็นรูปแบบอาคารนั้นซ้อนกันอยู่ 25 ชั้น สามารถจุผู้คนที่พักอาศัยอย่างถาวรได้ประมาณ 40000 คน นอกเหนือจากผู้มาเยี่ยมและดำเนินกิจการจากภายนอกอีกประมาณ 20000 คน การออกแบบคำนึงถึงการใช้พื้นที่ให้คุ้มค่าที่สุด แม้ว่าเคลื่อนที่ได้ดังเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ แต่รูปลักษณะโดยทั่วไปแลดูคล้ายเมืองขนาดยักษ์ที่ลอยน้ำได้ หากจะออกแบบให้มีหอสัญญลักษณ์ที่สูงขึ้นมากก็จะทำให้เห็นเด่นชัดจากระยะทางไกลได้ดีทีเดียว



รูปที่ 6.31 อาคาร “ Dock & Decks” เกิดขึ้นที่ได้อิสระในน่านน้ำ



รูปที่ 6.32 ทัศนียภาพด้านท้ายของอาคาร “ Dock & Decks”



รูปที่ 6.33 Shanghai World Expo’s Floating City

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปข้างบนนี้เป็นผลงานออกแบบที่นำเสนอในงานแสดงผลงานอาคารลอยน้ำใน World Expo Shanghai 2010 โดยนักออกแบบชาวเนเธอร์แลนด์ผู้ได้ออกแบบให้อาคารนี้ก่อสร้างได้ในน้ำน่าน้ำของแม่น้ำ Huangpu ในนครเซี่ยงไฮ้ เขาออกแบบให้มีสิ่งที่เป็น “สีเขียว” มากมายโดยถือโอกาสใช้น้ำในแม่น้ำนี้มาใช้ในการทำความเย็นภายในโครงการทั้งหมด นอกเหนือไปจากการใช้ระบบหมุนเวียนเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารทั้งหมด

รายละเอียดที่เกี่ยวกับเรื่องของการบำบัดของเสียและรักษาให้ปลอดภัยจากมลภาวะอย่างไรนั้นยังมีได้มีกำหนดลงมาอย่างชัดเจนนัก ได้มีการติดตั้งหุ่นจำลองของโครงการนี้ให้ชมกันที่สถาบันชื่อ “Shanghai Sculpture Space” แล้ว ลักษณะที่สำคัญของอาคารนี้อยู่ที่รูปทรงที่คล้ายลูกกลมทรงรวงผึ้งเกาะติดกันอยู่เป็นจำนวน 5 ลูกที่มีขนาดไม่เท่ากัน องค์ประกอบภายในมีการบรรจุโรงภาพยนตร์สามมิติ สถานบันเทิงยามค่ำ โรงละคร และห้างสรรพสินค้าน้อยใหญ่มากมาย อาคารรวงผึ้งตัวที่ใหญ่ที่สุดบรรจุร้านอาหารที่หรรษาบนคาน้ำซึ่งสูงกว่าระดับน้ำในแม่น้ำนั้นถึง 80 เมตรทีเดียว

6.8.3 สวนเมืองลอยน้ำ

Floating City “Lilypad”

หลายคนคงจะเคยได้ยินเรื่องราวของการรอดจากน้ำท่วมโลกในพระคัมภีร์ทางคริสต์ศาสนามาบ้างคงที่ได้กล่าวแล้วในเบื้องต้น แนวความคิดนี้สามารถนำมาประกอบเป็นจินตนาการให้ออกแบบอาคารชนิดที่สามารถเอื้ออำนวยให้คนสามารถเข้ามาเยี่ยมชมธรรมชาติที่สวยงามที่ลอยในน้ำได้เฉกเช่น “กระทง”

ที่ซึ่งมนุษย์อุปโลกให้อุ้มสมหอบหิ้วออกไปซึ่งธรรมชาติในสเกลของเมืองหรืออุทยานที่สามารถลอยล่องออกไปยังน่านน้ำที่ลึกได้และสามารถเคลื่อนตัวไปแสดงให้ผู้คนที่อยู่ห่างไกลได้เยี่ยมชมได้ด้วยโดยไม่ต้องกังวลเรื่องของปัญหา “โลกร้อน” แต่อย่างใด นักออกแบบชื่อ Vincent Callebaut ได้นำเสนอแนวความคิดนี้ออกมาและได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางทันทีที่ผลงานนี้ถูกนำออกเผยแพร่ แนวความคิดถูกตีแผ่ออกมาในชื่อที่เรียกว่า “Floating Ecopolis for Climate Refugees” หรืออีกนัยหนึ่งคือ “ที่พึ่งพิงของผู้ไร้ซึ่งธรรมชาติที่วิไล” สามารถบรรจุสถานที่พักพิงเพื่อการอยู่อาศัยสำหรับประชาชนประมาณ 50,000 คน ผู้ออกแบบบอกว่างานออกแบบของเขาสามารถที่จะชดเชยธรรมชาติชายฝั่งที่ถูกทำลายลงไปเรื่อยๆ ในอัตราที่กะลางกันได้ในภายในไม่เกินปี ค.ศ.2100 ซึ่งคาดว่าใน

ปีนั้นฝั่งทะเลที่มีค่าควรแก่การอนุรักษ์จะถูกทำลายลงจนเกือบหมดสิ้นแล้ว ส่วนหนึ่งจะเป็นผลอันเนื่องมาจากปัญหาระดับน้ำทะเลที่ขึ้นสูงอย่างต่อเนื่อง รูปทรงทางฝั่งพื้นแลดูละม้ายคล้ายคลึงกับตราสัญลักษณ์ของรถยนต์ยี่ห้อหนึ่งที่มีชื่อเสียง แต่แตกต่างกันที่เมื่อมองจากทิศทางโดยรอบแล้วจะเห็นการเจาะหน้าต่างที่พอดีดูงาม มีการติดตั้งกำแพงเอียงเฉียงที่ปลูกพืชพรรณธรรมชาติที่สวยงาม เรียงร้อยกันไปต่อเนื่องโดยไม่สามารถแยกแยะได้ออกเป็นกำแพง หรือหลังคาได้อย่างเด็ดขาด แต่ได้ซ่อนแผงวงจรแสงอาทิตย์ไว้ในหลายส่วนของมัน ด้านล่างของกระทงนี้ออกแบบให้เป็นหลุมลึกลงในน่านน้ำเพื่อการทัศนารทางธารา หรือใต้ท้องทะเล สามารถมองเห็นสาหร่าย ปลาใหญ่น้อยและปะการังได้ในมุมมองรอบตัวทีเดียว ไชยบรรยากาสนี้ผู้ที่ได้พบเห็นอาจจะจินตนาการว่าเป็นโลกที่สดใส่อีกโลกหนึ่งของอนาคต



รูปที่ 6.34 สถาปัตยกรรม“Lilypad” (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.35 สถาปัตยกรรม “Lilypad” (2)

อาคารพักอาศัยลอยน้ำปี 2010

เมื่อวันที่ 8 ตุลาคม ปี ค.ศ.2007 กลุ่มจัดการธุรกิจ โรงแรมชื่อ “Four Seasons” ในประเทศยูเออีค (อาหรับเอมิเรต (UAE) ได้ประกาศออกตัวส่วนหนึ่งของธุรกิจ “Cityscape Dubai 2007” เป็นแผนงานสร้าง “Ocean Residences” เป็นชื่อของอาคารพักอาศัยลอยน้ำที่มีสปาหรูหรรมาถบรจอยู่ที่ใช้ชื่อว่า ซึ่ง เป็นเรือพักอาศัยที่มีบริการ จะกลายเป็นสถานที่พักอาศัยลอยน้ำแห่งแรกของโลกที่มีบริการทางด้าน ความสะดวกและการบริการครบถ้วน สถานกาสิโนในสไต้ลค์ของมอนติคาร์โล มีบริการทางการ ออกเล่นเรือใบ ขอทท์ เจทสกี และ การดำน้ำ (scuba) ใช้กลุ่มกลาสีจำนวน 220 คนบริการเจ้าของห้อง จำนวน 112 คน ไม่รวมถึงแขกรับเชิญอื่นๆ

เรือพักอาศัยลำนี้พัฒนาขึ้น โดยกลุ่มบริษัท “BV International Ocean Holdings” มีความยาว 219 เมตร 13 ชั้นเรียงซ้อนกัน เป็นพื้นที่ให้บริการทั้งสิ้นประมาณ 7000 ตารางเมตร ประกอบด้วยห้องชุดพักอาศัยจำนวน 112 ชุดที่มีขนาดระหว่าง 1 ถึง 4 ห้องนอนบรจอยู่ภายใน ขนาดของห้องชุดอยู่ระหว่าง 100-650 ตารางเมตร ด้วยผลงานการออกแบบตกแต่งภายใน โดย “Tillberg Design, US” (ซึ่งมีผลงานออกแบบในเรือ Queen Mary II) อาคารลอยน้ำนี้มีน้ำหนักรวม 48600 ตัน สามารถเล่นทำความเร็วได้ ถึง 18.5 นอต เป็นผลงานต่อเรือของอู่ต่อเรือชื่อ Aker Yards ในประเทศฟินด์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



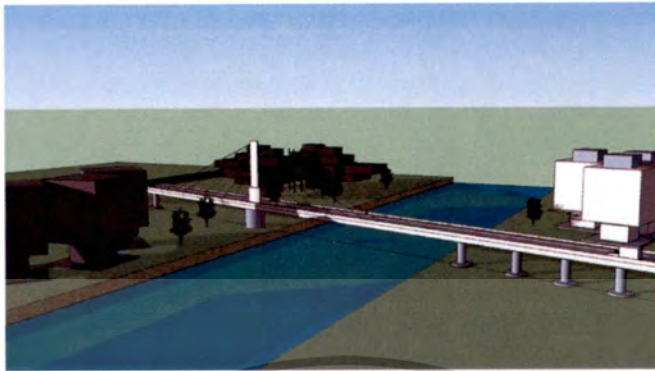
รูปที่ 6.35 สถาปัตยกรรม “Lily Pad” (2)

อาคารพักอาศัยลอยน้ำปี 2010

เมื่อวันที่ 8 ตุลาคม ปี ค.ศ.2007 กลุ่มจัดการธุรกิจ โรงแรมชื่อ “Four Seasons” ในประเทศยูเออี อาหรับเอมิเรต (UAE) ได้ประกาศออกตัวส่วนหนึ่งของธุรกิจ “Cityscape Dubai 2007” เป็นแผนงานสร้าง “Ocean Residences” เป็นชื่อของอาคารพักอาศัยลอยน้ำที่มีสปาหรูหรามากบรรจุอยู่ที่ใช้ชื่อว่า ซึ่ง เป็นเรือพักอาศัยที่มีบริการ จะกลายเป็นสถานที่พักอาศัยลอยน้ำแห่งแรกของโลกที่มีบริการทางด้าน ความสะดวกและการบริการครบถ้วน สถานกาสิโนในสไตล์ของมอนติคาร์โล มีบริการทางการ ออกเล่นเรือใบ ยachts เจทสกี และ การดำน้ำ (scuba) ใช้กลุ่มกลาสีจำนวน 220 คนบริการเจ้าของห้อง จำนวน 112 คน ไม่รวมถึงแขกรับเชิญอื่นๆ

เรือพักอาศัยลำนี้พัฒนาขึ้น โดยกลุ่มบริษัท “BV International Ocean Holdings” มีความยาว 219 เมตร 13 ชั้นเรียงซ้อนกัน เป็นพื้นที่ให้บริการทั้งสิ้นประมาณ 7000 ตารางเมตร ประกอบด้วยห้องชุดพักอาศัยจำนวน 112 ชุดที่มีขนาดระหว่าง 1 ถึง 4 ห้องนอนบรรจุอยู่ภายใน ขนาดของห้องชุดอยู่ระหว่าง 100-650 ตารางเมตร ด้วยผลงานการออกแบบตกแต่งภายใน โดย “Tillberg Design, US” (ซึ่งมีผลงานออกแบบในเรือ Queen Mary II) อาคารลอยน้ำนี้มีน้ำหนักรวม 48600 ตัน สามารถเล่นทำความเร็วได้ ถึง 18.5 นอต เป็นผลงานต่อเรือของอู่ต่อเรือชื่อ Aker Yards ในประเทศฟินแลนด์

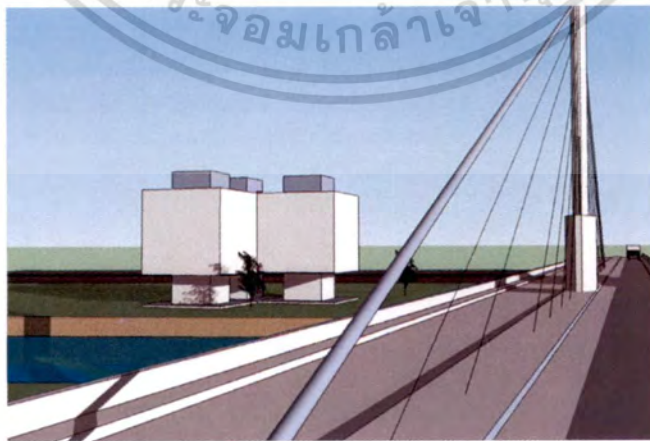
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.37 สะพานข้ามแม่น้ำน้อย อโยธยา

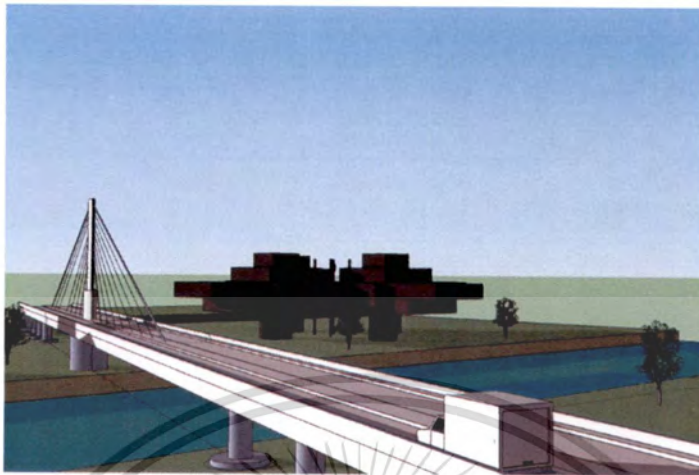


รูปที่ 6.38 กลุ่มอาคาร สยามหริภูมิแม่น้ำน้อย

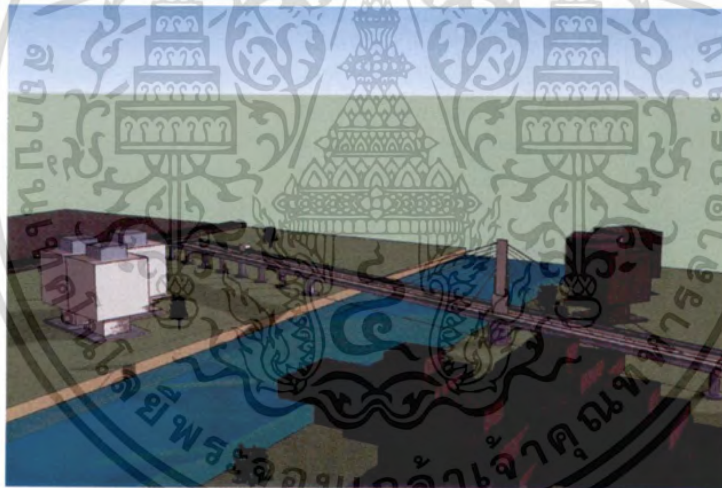


รูปที่ 6.39 ทศนียภาพบนสะพานฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.40 สะพานชิงฟาดช่วงประมาณ 110 เมตร



รูปที่ 6.41 ทักษิณภาพทางอากาศโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- การอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำ : สถานการณ์ปัจจุบันและมาตรการที่จำเป็น (กรมส่งเสริมคุณภาพ
สิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2537).
- โครงการ MWBP และกิจกรรมต่างๆ www.mekongwetlands.org (คอลัมน์:ประชาสังคม).
- หนังสือพิมพ์ข่าวสด 27 มี.ค. 2549.
- จิราภรณ์ จุฑาภรณ์ และ ชลัมภ์ อุ่นอารีย์. อุณหภูมิสุขสบายของมนุษย์. (2545)
- ครุณี แซ่ลิ้ว, นิตยสาร Architectural Digest/December 2007.
- นงคณาถ อุประสิทธิ์วงศ์ “ดัชนีและแนวโน้มของฝนและอุณหภูมิที่ผิดปกติในประเทศไทย” (2545)
- บัณฑิต พิศณุเสน ditss2001@yahoo.com, “บ้านลอยน้ำ 3” : โปสต์ ทูเดย์-ไลฟ์สไตล์
- มติที่ประชุม คณะรัฐมนตรี 5 สิงหาคม พ.ศ. 2552 เห็นชอบตามความเห็นของกระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในการทบทวนมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 1 สิงหาคม
2543 เรื่อง ทะเบียนรายนามพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติและระดับชาติของ
ประเทศไทย และมาตรการอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำ
- มันทนา พฤกษ์วัน และ วนิตา สุขสุวรรณ “อิทธิพลของภัยธรรมชาติที่มีต่อมนุษย์” (2545)
- มันทนา พฤกษ์วัน, วนิตา สุขสุวรรณ, วาสนา วงษ์รัตน์ และ แสงระวี สิทธิชีวะภาค “อากาศร้ายใน
ประเทศไทย”
- มันทนา พฤกษ์วัน และ สุธาพร นิ่มมา “ผลกระทบของลานีญาที่มีต่อฝนและอุณหภูมิของประเทศ
ไทย” (2542)
- รายงานผลการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดิน โครงการสำรวจระดับการทรุด ตัวของพื้นดินใน
เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลประจำปีงบประมาณ 2549
- เว็บไซต์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง : <http://subweb2.dpt.go.th/pip/floatin...floatingH.html>
- สมชาย ศรีสมพงษ์, สาเหตุและการแก้ไขความเสียหายของทางวิ่งและทางขับสนามบินสุวรรณภูมิ,
วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.ฉบับที่ 6/2551.
- หนังสือโยธาสาร ปี 2538
- เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีต เทคโนโลยีแบบบูรณาการ สำหรับวิศวกร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

American Concrete Institute, ACI COMMITTEE 201, Guide for durable concrete , ACI 201.

2R-92, 1992

Anonymous. 2000. Meeting Report on First Stakeholder Discussion on Threats to Boeung Thom and Suggested Solution Between Entangled Institutions and Local Users in Kampong Cham Province. Kampong Cham Inventory and Management of Cambodian Wetlands Project.

Anonymous. 2000. Summary Report of Discussion Meeting on Solutions and Agreement Related to Boeung Thom Management in Kampong Cham Province. Kampong Cham Inventory and Management of Cambodian Wetlands Project.

As designed by Srisompong, Mondhobpyai, Krootpume 2008

Brown, D.J. (1993). Bridges: Three Thousand Years of Defying Nature, Reed International, London.

Canning L, Luke S, Täljsten B, Brown P. Field testing and long term monitoring of West Mill Bridge. Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction, ACIC 2004, Woodhead Publishing Limited, Cambridge UK, 2004, 683- 692.

Clauss, G., Lehmann, E. and Ostergaard, C. (1992). Offshore Structures, Vol 1 Conceptual Design and Hydromechanics, Springer-Verlag, Berlin, 1992. (Translated by M.J. Shields).

Daly AF, Cuninghame JR. Performance of a fibre-reinforced polymer bridge deck under dynamic wheel loading. Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction, ACIC 2004, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2004, 483- 492.

EN13706. Reinforced plastic composites – Specifications for pultruded profiles. CEN/TC 249, 2002 Eatock Taylor, R. and Ohkusu, M. (2000). “Green functions for hydroelastic analysis of vibrating free-free beams and plates,” Applied Ocean Research, 22, pp. 295-314.

Endo, H., Yago, K. and Chiaki, S. (1998). “Elastic responses of a floating platform stimulated by dynamic load,” In: Proc. 14th Ocean Engrg. Symp., Soc. Nav. Arch. Japan, 411- 416.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Endo, H. (2000). "The behaviour of a VLFS and an airplane during takeoff/landing run in wave condition," *Marine Structures*, 13:477-491.
- Ertekin, R.C. and Riggs, H.R. (2003). "Static and dynamic analyses of a moored causeway," *Floating Utopia and Ocean City Project 2008* : weburbanist.com
- Floating Utopia and Ocean City Project 2008 : www.weburbanist.com
- FRP INTERNATIONAL *International Institute for FRP in Construction*
- Holland : World's First Floating Country
- Hydrology Aspects at Boeung Thom, Kampong Cham Province. In Khmer.
<http://www.cnn.com/2007/TECH/science/08/20/floating.houses/index.html>
- Ikoma, T., Maeda, H., Masuda, K. And Rheem, C.K. (2003). "Effects of the air-chambers on the hydroelastic response reduction," *Proceedings of International Symposium on Ocean Space Utilization Technology*, 180-188, Tokyo, Japan, 28-31 January 2003.
- ISO 19900, (1994). 'Petroleum and Natural Gas Industries – Offshore Structures – Part 1: General Requirements', (1994) Int. Standardization Organization, London
- ISSC (1973). "Report of ISSC Committee I.1. Environmental Conditions", *Proc. 5th International Ship Structures Congress*, Hamburg.
- Jahns, H.O. and Wheeler, J.D. (1972) 'Long Term Wave Probabilities based on Hindcasting of Severe storms', Paper No. 1590, *Offshore Technology Conf.*, Houston.
- JICA. 1990. *Feasibility Study on Improvement of Drainage System in Vientiane. Draft Final Report. Volume 1 Main Report.* Japan International Cooperation Agency.
- K. Maeda ed. "FRP bridge -Technologies and their Future", pp.152-156, *JSCE*, 2003
- "Cooperative research report on application of FRP to construction structural materials (volume 2)", *Public Works Research Institute*, et al, No.252, December 2000.
- Keller T, Gürtler H, Zhou A. Performance of adhesively bonded FRP deck and steel bridge girders. 4th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS IV), Calgary, Canada, 2004, CR ROM.

- Keller T. Use of Fibre reinforced polymers in bridge construction. *Structural Engineering Documents*. International Association for Bridges and Structural Engineering IABSE, Zurich, 2003, no. 7, 131 pages.
- Kashiwagi, M. (1998a). "A B-spline Galerkin scheme for calculating the hydroelastic response of a very large floating structure waves," *J. Mar. Sci. Tech.*, 3(1):37-49.
- Kashiwagi, M. (1998b) "A new solution method for hydroelastic problems of a very large floating structure in waves," In: *Proc. of the 17th Int. Conf. Offshore Mechanics and Arctic Engrg.*, ASME, Lisbon, Portugal, OMAE98-4332, July 8.
- Kashiwagi, M. (2000). "A time-domain mode-expansion method for calculating transient elastic responses of a pontoon-type VLFS," *Journal of Marine Science and Technology*, 5:89-100.
- Lee J, Hollaway L, Thorne A, Head P. The structural characteristic of a polymer composite cellular box beam in bending. *Construction and Building Materials*, 1995, 9/6, 333-340.
- Lin, X. and Takaki, M. (1998). "On B-spline element methods for predicting hydroelastic responses of a very large floating structure in waves," In: M Kashiwagi et al. (Eds), In: *Proc. of the 2nd Hydroelasticity in Marine Technology*, Kyushu University, Fukuoka, Japan, December 1-3, 219-228.
- Luke S, Canning L, Collins S, Knudsen E, Brown P, Täljsten B, Olofsson I. Advanced composite bridge decking system – Project ASSET. *Structural Engineering International*, 2002, 12/2, 76-79.
- Lwin, M.M. (2000). *Floating Bridges*, in: Chen W.F. and Lian Duan (eds) *Bridge Engineering Handbook*, 22, pp. 1-23, CRC Press.
- Maeda, H., Ikoma, T., Masuda, K. and Rheem, C.K. (2000). "Time-domain analyses of elastic response and second-order mooring force on a very large floating structure in irregular waves," *Marine Structures*, 13:279-299.
- Maeda, H., Masuda, K., Miyajima, S. and Ikoma, T. (1995). "Hydroelastic responses of pontoon-type very large floating offshore structure," *J. Soc. Naval Arch. Japan*, 178, 203- 212. (in Japanese).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Meylan, M. and Squire, V.A. (1994). "The response of ice floe to ocean waves," *Journal of Geophysical Research*, 99.
- Miao, Q., Du, S., Dong, S. and Wu, Y. (1996). "Hydrodynamic analysis of a moored very large floating structure," In: Y Watanabe (Ed.), In: Proc. Int. Workshop on Very Large Floating Structures, Hayama, Kanagawa, Japan, November 25-28:201-208.
- Moan, T. (2004). "Safety of floating offshore structures" Proc. 9th PRADS Conference, Keynote lecture, PRADS Conference, Luebeck-Travemuende, Germany, September 12-17, 2004.
- N. Kitayama and N. Uno, "Design, Fabrication and Erection of the "Pedestrian Bridge in the Road-Park of Ikei-Tairagawa" in Okinawa", *Ishikawagima-Harima Engineering Review, Special Issue-Bridges*, pp.69-72, September 2001.
- Nagai, T, Goto, C. and Kobune, K. (1990) "Wave hindcasting model using the hybridparameter method (1st report) – Application to Tokyo Bay" Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol. 29. No. 4, 85-118.
- Nagata, S., Niizato, H., Yoshida, H., Ohkawa, Y. and Kobayashi, K. (2003). "Effects of breakwaters on motions of an elastic floating plate in waves," *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 13(1), 43-51.
- Newman, J.N. (1994). "Wave effects on deformable bodies," *Applied Ocean Research*, 16, 47- 59.
- Ohkusu, M. and Namba, Y. (1998). "Hydroelastic behaviour of a large floating platform of elongated form on head waves in shallow water," In: M. Kashiwagi et al. (Eds.), In: Proc. of the 2nd Hydroelasticity in Marine Technology, Kyushu University, Fukuoka, Japan, December 1-3: 177-183.
- Ohmatsu, S. (1998a). "Numerical calculation of hydroelastic behaviour of pontoon type VLFS in waves," In: Proc. of 17th Int. Conf. on Offshore Mechanics and Artic Engrg., ASME, OMAE98-4333.
- Ohmatsu, S. (1998b). "Numerical calculation of hydroelastic behaviour of VLFS in time domain," In: Proc. 2nd Int. Conf. Hydroelastic in Marine Tech., Fukuoka, 89-97.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ohmatsu, S., Kato, S., Namba, Y., Maeda, K., Kobayashi, M. and Nakagawa, H. (2001). "Study on floating breakwater for eco-float mooring system," In: Proc. of 20th OMAE Conf., OMAE01-5012, Rio de Janeiro, Brazil.
- Ohta, H., Torii, T., Hayashi, N., Watanabe, E., Utsunomiya, Y., Sekita, K. and Sunahara, H. (1999). "Effect of attachment of a horizontal/vertical plate on the wave response of a VLFS," Proceedings of the 3rd International Workshop on Very Large Floating Structures, Vol. 1, pp. 265-274.
- OMA's first architectural project in Singapore : The Scotts Tower, Office for Metropolitan Architecture www.worldarchitecturenews.com
- "On The Waterfront" is an unofficial publication of the Shore Facilities Department, Naval Facilities Engineering Service Center, Port Hueneme, CA 93043-4370.
- Ookubo, H., Yamane, M. and Torii, T. (2002). "A study on the mooring of large floating structures inside a reef," In: Proc. of the 12th Int. Offshore and Polar Engrg. Conf., 229-234, Kitakyushu, Japan, 26-31 May 2002.
- REPAIR AND STRENGTHENING OF DOT COLUMNS AND PIERS WITH WATER ACTIVATED AQUAWRAP 22-77.
- Study on Wildlife, Fish and Water Birds in the Great Lake. In Khmer.
- Study on the Situation of the Flooded Forest at Boeung Thom, Kampong Cham Province. In Khmer.
- Sadka B, Daly A. Developments and design guidelines for fibre-reinforced polymer bridge decks. Lightweight Bridge Decks, European Bridge Engineering Conference, Rotterdam, Netherlands, 2003
- Seto, H. and Ochi, M. (1998). "A hybrid element approach to hydroelastic behaviour of a very large floating structure in regular waves," In: M. Kashiwagi et al. (Eds.), In: Proc. of the 2nd Hydroelasticity in Marine Technology, Kyushu University, Fukuoka, Japan, December 1-3: 185-193.

- Shimada, K. and Miyajima, S. (2002). "Comparison of mooring simulations and measurement for Mega-Float Phase II model," In: Proc. of the 12th Int. Offshore and Polar Engrg. Conf., 261-266, Kitakyushu, Japan, 26-31 May 2002.
- Shiraishi, S., Iijima, K., Yoneyama, H. and Harasaki, K. (2002). "Elastic response of a very large floating structure in waves moored inside a coastal reef," In: Proc. of the 12th Int. Offshore and Polar Engrg. Conf., 327-334, Kitakyushu, Japan, 26-31 May 2002.
- Study Group of World Cities (1988). Seto Bridges Memorial Museum, Kurashiki City, Japan
Tilev Architects - Seuthopolis, Bulgaria :<http://www.eikongraphia.com/images/seuthopolis/>
- Takahashi, Y. (2003). "Application and advantages of ocean floating structure technology," Proceedings of the International Symposium on Ocean Space Utilization Technology, NRMI, pp. 427-435, January 28-31, Tokyo, Japan.
- Taylor, R. (2003). "MOB project summary and technology spin-offs," Proceedings of the International Symposium on Ocean Space Utilization Technology, NRMI, pp. 29-36, January 28-31, Tokyo, Japan.
- The work of Akis Pattihis in AA Intermediate Unit 3 2006/7.
- Torsethaugen, K. (1996). 'Model for a Double Peaked Wave Spectrum', SINTEF Civil and Environmental Engineering, Rep. No., STF22 A96204, Trondheim.
- Utsunomiya, T., Watanabe, E. and Eatock Taylor, R. (1998). "Wave response analysis of a box-like VLFS close to a breakwater," 17th Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE98-4331, 1-8.
- Utsunomiya, T., Watanabe, E. and Nishimura, N. (2001a). "Fast multipole method for hydrodynamic analysis of very large floating structures," Proc. 16th Int. Workshop on Water Waves & Floating Bodies, 161-164.
- Utsunomiya, T., Watanabe, E. and Nishimura, N. (2002b). "Fast multipole algorithm for wave diffraction/radiation problems and its application to VLFS in variable water depth and topography," 20th Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE01-5202, 1-8.

- Utsunomiya, T. and Watanabe, E. (2003). "Wave response analysis of hybrid-type VLFS by accelerated BEM," *Hydroelasticity in Marine Technology*, Oxford, UK, 297-303.
- Wetland Management Programme. 1993. Excerpts from Progress Report. Lao Wetland Management Project. Mekong Secretariat.
- Workshop on Very Large Floating Structures, Hayama, Kanagawa, Japan, November 25-28:143-148.
- Watanabe, E. and Utsunomiya, T. (1996). "Transient response analysis of a VLFS at airplane landing," In: Y Watanabe (Ed.), In: Proc. Int. Workshop on Very Large Floating Structures, Hayama, Kanagawa, Japan, November 25-28:243-247.
- Watanabe, E., Utsunomiya, T. and Tanigaki, S. (1998). "A transient response analysis of a very large floating structure by finite element method," *Structural Engrg/Earthquake Engrg*, JSCE, 15(2):155s-163s.
- Watanabe, E., Maruyama, T., Kawamura, T. and Tanaka, H. (2001). "A new millennium steel pontoon swing arch bridge of Osaka," *International Journal of Steel Structures*, 1, 55-61.
- Watanabe, E. and Utsunomiya, T. (2003). "Analysis and design of floating bridges," *Progress in Structural Engineering and Materials*, 5, 127-144.
- Watanabe, E., Utsunomiya, T., Wang, C.M. and Xiang, Y. (2003). "Hydroelastic analysis of pontoon-type circular VLFS," *Proceedings of the 13th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Honolulu, Hawaii, USA, May 25-30, 2003, pp. 93-99.
- Watanabe, E., Utsunomiya, T. and Wang, C.M. (2004). "Hydroelastic analysis of pontoontype VLFS: A literature survey," *Engineering Structures*, 26(2), 245-256.
- Wu, C., Watanabe, E., and Utsunomiya, T. (1995). "An eigenfunction expansion-matching method for analysing the wave-induced responses of an elastic floating plate," *Applied Ocean Research*, 17, 301-310.
- Wu, C., Utsunomiya, T, and Watanabe, E. (1996). "Application of Galerkin's method in wave response analysis of flexible floating plates," In: Proc. of the 6th Int. Offshore and Polar Engrg, Los Angeles, USA, pp. 307-314, May 26-31, 1996.

Wu, C., Utsunomiya, T., and Watanabe, E. (1997). "Harmonic wave response analysis of elastic floating plates by modal superposition method," *Structural Engrg./Earthquake Engrg.*, JSCE, 14(1), 1s-10s.

www.clusterballoon.org

Yago, K. and Endo, H. (1996). "On the hydroelastic response of box-shaped floating structure with shallow draft," *J. of Soc. of Naval Arch. of Japan*, 180:341-352 (in Japanese).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้