สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเทคนิคและขั้นตอนการก่อสร้าง กรณีศึกษา ทางยกระดับ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก

A STUDY OF CONSTRUCTION TECHNIQUES AT RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

T105012

นาย สหพล สิงห์โตทอง
นาย เสฏฐวุฒิ วิชาช่วย
นาย อาทิตย์ ศรีแจ่ม

ปพ.
ส455ก
2551
เลขหมู่.........
เลขทะเบียน 105012
วัน,เดือน,ปี 12 พ.ย. 2552
b. 12164823
i. ....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

A STUDY OF CONSTRUCTION TECHNIQUES
AT RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

MR.SAHAPON SINGTOTONG

MR.SETTAWUT WICHACHUAI

MR.ARTID SRIJAMP

A SPECIAL PROJECT SUMITTED IN FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

การศึกษาเทคนิคและขั้นตอนการก่อสร้าง กรณีศึกษา ทางยกระดับ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก

A STUDY OF CONSTRUCTION TECHNIQUES AT RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

โดย นายสหพล สิงห์โตทอง
นายเสฏฐวุฒิ วิชาช่วย
นายอาทิตย์ ศรีแจ่ม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์

บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างทางยกระดับ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก เป็นโครงการที่ดำเนินการเพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในการเดินทางไปสู่ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพมหานคร ซึ่งในวงการก่อสร้างปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมากไม่ว่าจะเป็นโครงการขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ต่างได้มีการนำเทคโนโลยีและเทคนิคการก่อสร้างใหม่มาใช้ ทำให้โครงการแต่ละโครงการสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้มีบุคลากรให้ความสนใจในเรื่องโครงสร้างสะพานทางยกระดับเพิ่มมากขึ้น โครงงานพิเศษนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงเทคนิคการก่อสร้างและระบบความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง รวมไปถึงวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ข้อมูลบางส่วนเพื่อให้เป็นกรณีศึกษา

Abstract

The Construction project of Ramindra – Outer Ring Road Expressway was one which makes the transportation to North-East of Bangkok more comfortable. In the novel of recent civil engineering, there was greatly developed by using new technologies and techniques of construction for any projects. In addition, engineers and people in this area have been interested in expressway constructions more and more. As a consequence, this special project was performed for studying and providing the whole of construction techniques and safety systems used during the process. And this project also included the analyzed and compared some of information for being a case study.

กิติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์อาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา และเสนอแนวทางในการศึกษา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไข จนกระทั่งโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบของพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษทุกท่าน ที่ได้ตรวจสอบโครงงานฉบับนี้จนสำเร็จโดยสมบูรณ์

อนึ่งผู้จัดทำมีความสำนึกในพระคุณของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนวิทยาการต่างๆ ให้กับผู้จัดทำ และขอสำนึกในพระคุณบิดา มารดาที่ได้ให้การสนับสนุนแก่ผู้จัดทำจนสำเร็จการศึกษา และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจในการทำโครงงานครั้งนี้ บ. Unique Engineering จำกัด บ. STN Construction จำกัด และ บ. Chotichinda Mouchel Consultants จำกัด ที่ให้ข้อมูลในการทำโครงงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลงด้วยดี

ท้ายที่สุด ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อกรมโยธาธิการและหน่วยงานต่างๆ ที่กรุณาให้การสนับสนุนทางด้านข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลงได้ด้วยดี

คุณความดีและคุณประโยชน์ของโครงงานพิเศษฉบับนี้ ขอมอบเป็นสิ่งตอบแทนต่อผู้มีพระคุณต่อผู้จัดทำทุกท่าน

นายสหพล สิงห์โตทอง
นายเสฏฐวุฒิ วิชาช่วย
นายอาทิตย์ ศรีแจ่ม
คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

สารบัญ

หน้าอนุมัติ	**ก.**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข.**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข.**
กิตติกรรมประกาศ	**ค.**
สารบัญ	**ง.**
สารบัญตาราง	**ช.**
สารบัญรูป	**ซ.**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.3 แนวความคิดและขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการดำเนินโครงงานพิเศษ	3
บทที่ 2 รายละเอียดโครงการก่อสร้างทางพิเศษ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก	
2.1 บทนำ	4
2.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	4
2.3 การสำรวจชั้นดิน	5
2.4 คุณสมบัติของวัสดุ	6
บทที่ 3 การปฏิบัติก่อนเริ่มงานก่อสร้าง	
3.1 ศึกษาสัญญาจ้าง	11
3.2 ศึกษารูปและรายละเอียดประกอบแบบ	12
3.3 ตรวจสอบแผนงานของผู้รับจ้าง	13
3.4 ติดต่อประสานงานกับผู้รับจ้าง	15
3.5 การสำรวจภูมิประเทศ	15
บทที่ 4 เสาเข็ม	
4.1 ชนิดของเสาเข็ม	18

สารบัญ (ต่อ)

4.2 การรับน้ำหนักของเสาเข็ม 21

4.3 การจัดลำดับในการตอกเสาเข็ม 23

4.4 วิธีการตอกเสาเข็ม 24

4.5 ขั้นตอนการตอกเสาเข็ม 32

4.6 การทดสอบเสาเข็ม 38

4.7 ผลกระทบจากการตอกเสาเข็ม 45

4.8 ข้อเสนอแนะและข้อสังเกตุบางประการณ์ในการตอกเสาเข็ม 46

บทที่ 5 เสาและคานขวาง

5.1 ข้อมูลเสาในโครงการ 49

5.2 ขั้นตอนการก่อสร้างเสา 49

5.3 ลักษณะของคานขวาง 56

5.4 ขั้นตอนการก่อสร้างคานขวาง 56

บทที่ 6 แบบหล่อเหล็ก

6.1 แบบหล่อเหล็ก 61

6.2 ข้อดีและข้อเสียของแบบหล่อเหล็ก 62

บทที่ 7 ระบบโครงสร้างส่วนบน

7.1 บทนำ 63

7.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 63

7.3 ข้อพิจารณาในการออกแบบ 66

7.4 การผลิตชิ้นส่วน I-Girder แบบ Post-tensioned 67

7.5 ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน I-Girder เข้ากับชิ้นส่วน Crossbeam 79

บทที่ 8 ความปลอดภัย

8.1 ข้อกำหนดทั่วไปของความปลอดภัย 85

8.2 ความรับผิดชอบในสถานที่ก่อสร้าง 86

8.3 ความสะอาดและความปลอดภัยในการก่อสร้าง 87

8.4 กระบวนการก่อสร้างและการยก 89

8.5 การจัดการและการเก็บรักษาวัสดุก่อสร้าง 90

8.6 การจัดการและการควบคุมความปลอดภัย 91

8.7 ข้อมูลเพิ่มเติมโดยทั่วไป 91

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 9 สรุปการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบ

9.1 สรุปการวิเคราะห์ 99

9.2 การเปรียบเทียบ 100

9.3 ลักษณะแผนการทำงานของทั้ง 2 โครงการ 113

9.4 การสรุปและเปรียบเทียบ 116

บรรณานุกรม 118

ภาคผนวก 119

ภาคผนวก ก ภาพถ่ายการก่อสร้าง 120

ภาคผนวก ข รายการประกอบแบบ 135

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของเสาเข็ม Spun 21

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 25

ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบคานรูปตัวไอ คานรูปตัวยู และคานรูปตัวที 66

ตารางที่ 9.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเสาเข็มแต่ละประเภท 101

ตารางที่ 9.2 แสดงระยะเวลาแผนการทำงานของโครงการถนนวงแหวนรอบนอก (บางนา - บางปะอิน) 114

ตารางที่ 9.3 แสดงระยะเวลาแผนการทำงานของโครงการทางยกระดับ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก 115

ตารางที่ 9.4 เปรียบเทียบระบบโครงสร้างส่วนบนระหว่าง คานคอนกรีตอัดแรง I-Girder และ Segment Box Girder 117

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แสดงขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
รูปที่ 2.1 รถมาตรฐาน 1.3 * HS20-44 (AASHTO)	8
รูปที่ 2.2 รถสิบล้อหนัก 21 ตัน	8
รูปที่ 2.3 รถสิบล้อหนัก 21 ตันกับรถพ่วง	9
รูปที่ 2.4 รถกึ่งพ่วง 37.4 ตัน	9
รูปที่ 2.5 แผนที่แสดงแนวเส้นทางของโครงการ	10
รูปที่ 3.1 แสดงผังองค์กรของ บ.ยูนิค เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด	17
รูปที่ 4.1 แสดงรูปกระเปาะความเค้นบริเวณความเค้นสูงของกลุ่มเสาเข็ม	22
รูปที่ 4.2 แสดงรูปกระเปาะความเค้นเสาเข็มรับความฝืด	22
รูปที่ 4.3 แสดงรูปกระเปาะความเค้นของเสาเข็มรับแรงต้านทานส่วนปลาย	23
รูปที่ 4.4 แสดงลำดับในการตอกเสาเข็มกรณีอยู่ใกล้กับตัวอาคาร	24
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะลูกตุ้มตอกเสาเข็มแบบ Drop Hammer	26
รูปที่ 4.6 ก แสดงลักษณะของลูกตุ้มแบบ Diesel hammer	27
รูปที่ 4.6 ข แสดงลักษณะของลูกตุ้มแบบ Diesel hammer	28
รูปที่ 4.7 ก แสดงลักษณะของลูกตุ้มแบบ Hydraulic Hammer	29
รูปที่4.7 ข แสดงลักษณะระบบการทำงานของลูกตุ้มตอกแบบ Hydraulic Hammer	29
รูปที่4.8 แสดงวิธีการเจาะแบบ Auger Pressed Pile	30
รูปที่ 4.9 แสดงรูปเครื่องจักรที่ใช้ในการทำเสาเข็มแบบ Auger Pressed Pile	31
รูปที่ 4.10 แสดงรถตอกโดยใช้ Hydraulic Hammer	32
รูปที่ 4.11 แสดงการยกเสาเข็มขึ้นตั้ง	33
รูปที่ 4.12 แสดงการใช้กำลังคนในการปรับเสาเข็มให้ได้ตามจุดที่ต้องการตอก	34
รูปที่ 4.13 แสดง ไม้ที่ใช้รองหัวเสาเข็ม	34
รูปที่ 4.14 แสดงการทำงานของเครื่องตอกระบบ Hydraulic Hammer	35
รูปที่ 4.15 แสดงการต่อเสาเข็ม โดยวิธีการเชื่อม	36
รูปที่ 4.16 แสดงเสาเข็มเมื่อทำการตอกเสร็จแล้ว	36
รูปที่ 4.17 แสดงการทำเหล็ก Dowel Bar	37
รูปที่ 4.18 แสดงการแต่งหัวเสาเข็ม	37
รูปที่ 4.19 แสดงการใส่เหล็ก Dowel Bar	38
รูปที่ 4.20 ก แสดงการทำการติดตั้งชุดทดสอบ	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.20 ข แสดงการทำการติดตั้งชุดทดสอบ 41

รูปที่ 4.21 แสดงเครื่อง Hydraulic Jack 41

รูปที่ 4.22 แสดงเกจวัดค่าการทรุดตัว 42

รูปที่ 4.23 แสดงเกจความดันของปั้ม Hydraulic 42

รูปที่ 4.24 แสดงการใส่ Hydraulic Jack เพิ่มเข้าไปในชุดทดสอบ 43

รูปที่ 5.1 แสดง แบบหล่อKicker Column 49

รูปที่ 5.2 แสดง Kicker Column 50

รูปที่ 5.3 แสดงการเข้าแบบเสา (Column) 51

รูปที่ 5.4 แสดงการเทคอนกรีตและการบ่มคอนกรีต 52

รูปที่ 5.5 แสดงการเข้าแบบสำหรับเสาสูง 53

รูปที่ 5.6 แสดงชุดของระบบนั่งร้านส่วนบน 54

รูปที่ 5.7 แสดงการเทคอนกรีตของเสาสูงและการบ่มคอนกรีต 55

รูปที่ 5.8 แสดงการติดตั้งนั่งร้านของคานขวาง 56

รูปที่ 5.9 ก แสดงการติดตั้ง Main Truss เตรียมหล่อ Cross Beam 57

รูปที่ 5.9 ข แสดงการติดตั้ง Main Truss เตรียมหล่อ Cross Beam 57

รูปที่ 5.10 ก แสดง การติดตั้งนั่งร้านเพื่อรองรับแบบหล่อคานขวาง 58

รูปที่ 5.10 ข แสดง การติดตั้งนั่งร้านพื้นเพื่อรองรับแบบหล่อคานขวาง 58

รูปที่ 5.11 แสดงการเทคอนกรีตโดยใช้เครื่องปั้มคอนกรีตจากข้างล่างขึ้นข้างบน 59

รูปที่ 5.12 แสดง Cross Beam 60

รูปที่ 6.1 แบบหล่อเหล็กและอุปกรณ์ในการประกอบ 61

รูปที่ 7.1 แสดงคานสะพานแบบ Simple Beam 65

รูปที่ 7.2 แสดงคานสะพานแบบ Continuous Span 65

รูปที่ 7.3 แสดงรูปโครงสร้างสะพานรูปตัว I 67

รูปที่ 7.4 แสดงอุปกรณ์ของลวดอัดแรง 67

รูปที่ 7.5 แสดงการดึงลวดเหล็กอัดแรง 68

รูปที่ 7.6 แสดงการให้แรงของชิ้นส่วน Post – tensioned 69

รูปที่ 7.7 ก ระบบคอนกรีตอัดแรงก่อน (Pre-tension System) 70

รูปที่ 7.7 ข ระบบคอนกรีตอัดแรงที่หลัง (Post-tension System) 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 7.8 ลวดเหล็กแรงดึงสูงตีเกลียว (P.C. Strand) ชนิด 7 เส้น 72
รูปที่ 7.9 แสดงการขนย้ายชิ้นส่วน I-Girder จากโรงผลิตชิ้นส่วนมายังสถานที่ก่อสร้าง 79
รูปที่ 7.10 แสดงตำแหน่งติดตั้งแผ่นยางรองสะพาน 80
รูปที่ 7.11 แสดงลักษณะของแผ่นยางรองสะพาน 80
รูปที่ 7.12 แสดงการติดตั้งแผ่นกระจายน้ำหนักและแผ่นยางรองสะพาน 81
รูปที่ 7.13 แสดงการยกชิ้นส่วน I-Girder มาวางลงบน Crossbeam 82
รูปที่ 7.14 แสดงส่วนที่ต้องหล่อชิ้นส่วน I-Girder กับชิ้นส่วน Crossbeam 83
รูปที่ 7.15 แสดงการวางแผ่นพื้นสำเร็จรูป 83
รูปที่ 7.16 แสดงการทำผิวทางลาดยางคอนกรีต 84
รูปที่ 9.1 แสดง Mould ของ Segment Box Girder 103
รูปที่ 9.2 แสดง Match Cast Segment 104
รูปที่ 9.3 ก แสดง การผูกเหล็กของ Segments Box Girder 105
รูปที่ 9.3 ข แสดง การผูกเหล็กของ Segments Box Girder 106
รูปที่ 9.4 แสดงการผูกเหล็กชิ้นส่วน Pier Segment Box Girder 106
รูปที่ 9.5 แสดง Segments Box Girder ที่แข็งตัวแล้วตอนอยู่ใน Mould 107
รูปที่ 9.6 แสดงการกองเก็บของชิ้นส่วน Segments Box Girder เพื่อรอนำไปใช้งาน 108
รูปที่ 9.7 แสดง การติดตั้ง Pier Segment 109
รูปที่ 9.8 แสดงการติดตั้ง Lunching Truss 110
รูปที่ 9.9 แสดงการยก Segment Box Girder 111
รูปที่ 9.10 ก แสดงการร้อยลวดเหล็กอัดแรง 112
รูปที่ 9.10 ข แสดงการร้อยลวดเหล็กอัดแรงในช่วง Span 112

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในวงการก่อสร้างปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาก ไม่ว่าจะเป็นโครงการขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ต่าง ได้มีการนำเทคโนโลยีและเทคนิคการก่อสร้างใหม่ๆมาใช้ ทำให้โครงการแต่ละโครงการดำเนินการได้เอย่างรวดเร็วประหยัดค่าใช้จ่ายและมีประสิทธิภาพ การเพิ่มขึ้นของนักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจในเรื่องดังกล่าวจึงมีไม่น้อย แต่ด้วยการศึกษาให้เข้าใจถึงเทคนิคการก่อสร้างเป็นเรื่องยากเพราะขาดสื่อการเรียนรู้และมีการเผยแพร่ข้อมูลในการก่อสร้างน้อย ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงสนใจที่จะรวบรวมข้อมูล เทคนิคการก่อสร้าง โดยเลือกที่จะนำเสนอเทคนิคงานสะพาน และสร้างแบบจำลองแสดงขั้นตอนการทำงาน เพื่อใช้ในการศึกษาค้นคว้าของนักศึกษาและผู้ที่สนใจต่อไป

กรมการทางพิเศษกรุงเทพมหานครได้เล็งเห็นความสำคัญของการขยายขอบข่ายการให้บริการของทางพิเศษฉลองรัช (ทางด่วนสายรามอินทรา-อาจณรงค์) ทางด้านเหนือของกรุงเทพมหานคร ที่บริเวณถนนรามอินทรา ให้เชื่อมต่อกับถนนวงแหวนรอบนอก ของกรมทางหลวงซึ่งเป็นการเพิ่มเส้นทางการเดินทาง ไปสู่ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพ มหานคร

ทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นว่าโครงการทางพิเศษ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอกมีเทคนิคการก่อสร้างที่น่าสนใจ สมควรที่จะทำการศึกษารวบรวมข้อมูลของโครงการนี้ไว้ เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษา หรือ ผู้ที่สนใจในการก่อสร้างด้านนี้ได้ใช้ในการศึกษาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

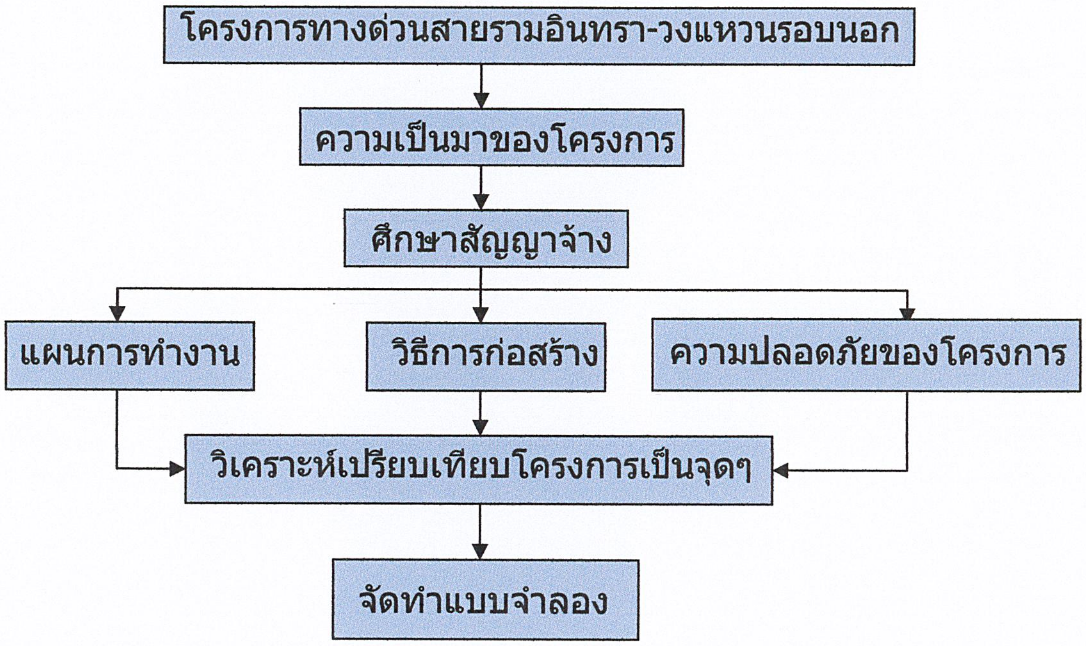
1.) เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูล เทคนิคการก่อสร้างและเทคโนโลยีที่ใช้ใน สะพานทางด่วน (สายรามอินทรา-วงแหวนรอบนอก)

2.) ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเป็นกรณีศึกษาเป็นจุดไป

3.) เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาค้นคว้า โดยอาศัยแบบจำลองแสดงขั้นตอนการทำงานเป็นสื่อ

1.3 แนวความคิดและขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษารูปแบบของสัญญาจ้าง
2. ศึกษาแผนการทำงาน
3. ศึกษาวิธีการก่อสร้าง
4. ศึกษาความปลอดภัยของโครงการ
5. วิเคราะห์เปรียบเทียบโครงการเป็นจุดๆ
6. จัดทำแบบจำลอง



รูปที่ 1.1 แสดงขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.4 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

1.) ติดต่อกับเจ้าของโครงการเพื่อรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ

2.) ติดต่อกับบริษัทผู้รับเหมาเพื่อศึกษาเทคนิคการก่อสร้าง การวางแผนและระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการ

3.) ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างว่ามีหลักการเบื้องต้นอย่างไรจากบริษัทผู้ออกแบบ

4.) สร้างแบบจำลองแสดงขั้นตอนการทำงานของโครงการ

1.5 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการดำเนินโครงงานพิเศษ

1.) สามารถเข้าใจถึงเทคนิคการก่อสร้างและเทคโนโลยีที่ใช้ในโครงการทางพิเศษ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก

2.) สามารถเข้าใจถึงขั้นตอนการทำงานได้ง่ายโดยอาศัยแบบจำลองแสดงขั้นตอน การทำงานเป็นสื่อ

3.) สามารถเปรียบเทียบระบบโครงสร้างส่วนบนระหว่าง I-Girder และ Segment Box Girder ได้

บทที่ 2
รายละเอียดโครงการก่อสร้างทางพิเศษ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก

2.1 บทนำ

ทางคณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบตามแผนแม่บทระยะสั้น จำนวน 5 โครงการ เมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2539 โดยมีโครงการทางพิเศษสายรามอินทรา - วงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานคร รวมอยู่ด้วย ซึ่งการทางพิเศษ แห่งประเทศไทย ได้ว่าจ้างที่ปรึกษาคือ กลุ่มบริษัท มูเซล คอนซัลติง จำกัด เพื่อทบทวนการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดโครงการฯ โดยได้ดำเนินการศึกษาแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2541 และการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ได้จัดส่งรายงานสรุปมาตรการ ลดผลกระทบ และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ของโครงการฯ ให้สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อทราบแล้ว

ต่อมาเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2547 คณะรัฐมนตรีได้มีมติอนุมัติ ในหลักการให้การทางพิเศษแห่งประเทศไทยดำเนินการโครงการฯ โดยการทางพิเศษแห่งประเทศไทยได้ว่าจ้างบริษัท เอพซิลอนจำกัด เป็นที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้าง เมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2548 การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ได้ลงนามสัญญาว่าจ้างผู้รับจ้าง ก่อสร้างงานโยธา (สัญญาที่ 1-3) เมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2550

2.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อขยายขอบข่ายการให้บริการของทางพิเศษฉลองรัช (ทางด่วนสายรามอินทรา-อาจณรงค์) ทางด้านเหนือของกรุงเทพมหานคร ที่บริเวณถนนรามอินทรา ให้เชื่อมต่อกับถนนวงแหวนรอบนอก ของกรมทางหลวงซึ่งเป็นการเพิ่มเส้นทางการเดินทาง ไปสู่ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพ มหานคร

โครงการทางด่วนสายรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก เป็นโครงการทางด่วนยกระดับขนาด 6 ช่องจราจร มีจุดเริ่มต้นโครงการที่จุดสิ้นสุดของทางด่วนสาย รามอินทรา - อาจณรงค์ บริเวณถนนรามอินทรา แนวทางจะมุ่งไปทางทิศเหนือ เลี่ยงอาคารขนาดใหญ่ วัดศิริพงศ์ธรรมนิมิต และโรงเรียนวัดศิริพงศ์ธรรมนิมิต แล้วยกระดับข้ามโครงการก่อสร้างถนนเพื่อต่อเชื่อมถนน รัตนโกสินทร์ – ถนนนิมิตรใหม่ของกรุงเทพมหานคร ต่อจากนั้นแนวสายทางจะเบนไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ยกระดับข้าม

ถนน กม.11 ของกรุงเทพมหานคร และไปสิ้นสุดโครงการที่ถนนวงแหวนรอบนอกของกรมทางหลวง บริเวณทิศใต้ของทางแยกต่างระดับลำลูกกา ระยะทางรวมประมาณ 9.5 กม. ตลอดเส้นทางมีทางแยกต่างระดับ 3 แห่งคือ

- ทางแยกต่างระดับถนนรามอินทรา ตั้งอยู่บริเวณถนนรามอินทราและซอยวัชรพล โดยทางแยกต่างระดับรามอินทรานี้จะต่อเชื่อมเข้ากับทางด่วนสาย รามอินทรา – อาจณรงค์
- ทางแยกต่างระดับถนน กม. 11 ตั้งอยู่กับบริเวณใกล้เคียงกับถนน กม.11 ไป ทางทิศตะวันตก โดยทางแยกต่างระดับ กม.11นั้นจะเชื่อมเข้ากับถนนกม.11
- ทางแยกต่างระดับถนวงแหวนรอบนอก ตั้งอยู่บริเวณถนนวงแหวนรอบนอกด้านตะวันออก โดยทางแยกต่างระดับถนนวงแหวนรอบนอกนั้นจะห่างจากทางแยกต่างระดับถนนลำลูกกา - ถนนวงแหวนรอบนอกด้านตะวันออกมา ทางทิศใต้ประมาณ 3 กม.

2.3 การสำรวจสภาพชั้นดิน

ทางบริษัทที่ปรึกษาได้ทำการเจาะสำรวจดินตามแนวเส้นทางทั้งหมดจำนวน 21 หลุม ซึ่งแบ่งเจาะที่ความลึก 40 เมตร จำนวน 15 หลุม และเจาะที่ความลึก 60 เมตร จำนวน 6 หลุม โดยมีระยะห่างระหว่างหลุมประมาณ 500 เมตร นอกจากนี้ยังมีการทดสอบดินในสนามโดยวิธีอื่นๆ ได้แก่ การทดสอบโดยวิธี Cone Penetration และ Field Vane ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้หาความเค้นเฉือนในดินอ่อน

ผลการทดสอบในสนามและในห้องปฏิบัติการ สามารถแบ่งชั้นดินที่เจาะลึกที่สุดประมาณ 60 เมตร ออกเป็น 7 ชั้นหลักๆ ดังนี้

Crust : ชั้นของ Crust จะพบอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 1.3 ถึง 3 เมตร

Soft to medium CLAY : ในชั้น 1 เมตรแรก ประกอบด้วยหน้าดินและดินแข็งแตก (Desiccated Crust) ถัดลงมาเป็นชั้น Soft to medium , dark grayish Bangkok Clay (CH) with high natural water content ความหนาของชั้นดินนี้ประมาณ 12 – 17 เมตร มีค่าความเค้นเฉือน (Undrained Shear Strengths) จากการทดสอบ Field Vane ประมาณ 1 – 3 ตัน/ ตารางเมตร

Stiff to very Stiff CLAY : ชั้นดินนี้เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลมะกอกถึงสีเทาเข้ม (moderate olive brown to dark gray CLAY(CH to CL)) พบได้ถัดจากชั้น Soft to medium clay layer มีความหนาประมาณ 4 – 8 เมตร มีความชื้นประมาณ 20 – 28% ค่า Blow count (N) จาก SPT มีค่าอยู่
ระหว่าง 9 – 30

Dens to Very Dense First Sand : ในชั้นนี้ประกอบด้วย Silty Sand ที่มีค่า Blow Count (N) จาก SPT มากกว่า 30 ความหนาของชั้นดินเปลี่ยนจาก 1-2 เมตร จนถึง 26 เมตร ที่บริเวณหลุมเจาะ DB-1

Hard Clay : ชั้น Hard Clay มีค่า Blow Count (N) Standard Penetration Test (SPT) มากกว่า 30 ซึ่งพบถัดจากชั้นทรายชั้นที่ 1 ชั้นดินนี้ไม่ต่อเนื่องกับบางส่วน ช่วงกิโลเมตรที่ 7 ถึง กิโลเมตรที่ 9 ใกล้กับวงแหวนรอบนอกจะไม่ปรากฏชั้นดินนี้

Very Dense Second Sand : ประกอบด้วย Very Dens Second Sand (SM) ขอบเขตด้านบนของชั้นดินนี้อยู่ในช่วงความลึก 30 – 40 เมตร บางส่วนของทรรายชั้นที่ 2 จะชื่อมต่อกับทรายชั้นที่ 1 เนื่องจากการหายไปของชั้น Hard Clay

Hard Clay : ขอบเขตด้านบนของชั้นดินเหนียวแข็งนี้ อยู่ในช่วงความลึก 48 เมตร ที่บริเวณถนนรามอินทรา ไปถึงความลึก 42 เมตร บริเวณวงแหวนรอบนอก ซึ่งมีการแสดงให้เห็นว่าชั้นดินนี้มีการลาดเอียงไปตามแนวทิศใต้ นอกจากนี้ยังมีชั้นทรายบางๆ ปรากฏอยู่ที่ความลึก 60 เมตรด้วย

2.4 คุณสมบัติของวัสดุ

2.4.1 คอนกรีต

กำลังอัดประลัยทรงกระบอก (fc’) ของคอนกรีตที่เลือกในการใช้ออกแบบทางยกระดับ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก จะพิจารณาออกแบบโดยเลือกรูปร่างภายนอกที่เหมือนกับของทางยกระดับ รามอินทรา – อาจณรงค์ เพื่อความสวยงามและประหยัด ดังนั้นกำลังอัดประลัยที่จะใช้ในการออกแบบของโครงสร้างนี้จะใช้ค่าดังนี้

สำหรับคอนกรีตอัดแรง

fc' = 400 กก./ตร.ซม.

สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก

fc' = 300 กก./ตร.ซม.

คอนกรีตหยาบ

fc' = 150 กก./ตร.ซม.

2.4.2 เหล็กเสริมคอนกรีตอัดแรง

ทางบริษัทที่ปรึกษาจะพิจารณาออกแบบโครงสร้าง โดยใช้เหล็กเสริมคอนกรีตและเหล็กอัดแรงดังต่อไปนี้:

เหล็กเส้นกลม

ตามมาตรฐาน มอก.20 เกรด SR 24

เหล็กข้ออ้อย

ตามมาตรฐาน มอก.24 เกรด SD 40

เหล็กอัดแรง

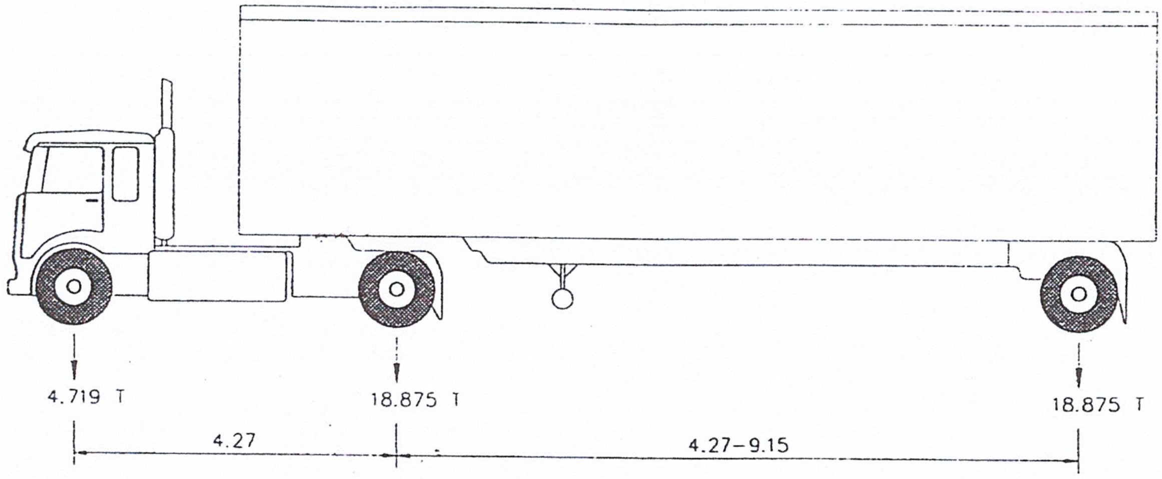
ตามมาตรฐาน มอก.420 เกรด 1860 หรือ ASTM A 416 เกรด 270

2.4.3 น้ำหนักบรรทุกและการรวม

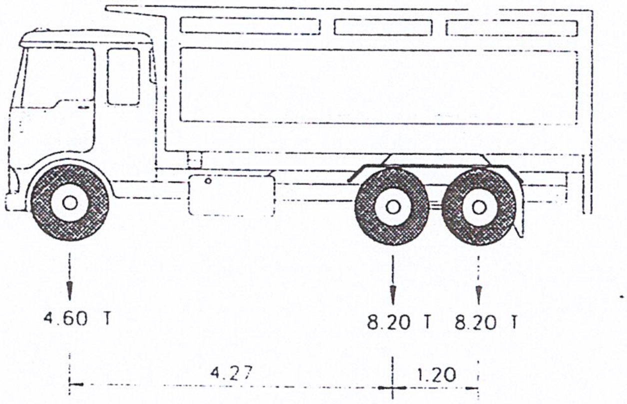
น้ำหนักบรรทุกและการรวมที่ได้กล่าวถึงในรายงานเบื้องต้นอย่างละเอียด ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน AASHTO จะนำมาใช้ในการออกแบบขั้นสุดท้าย โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมต่อไปนี้

น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load)

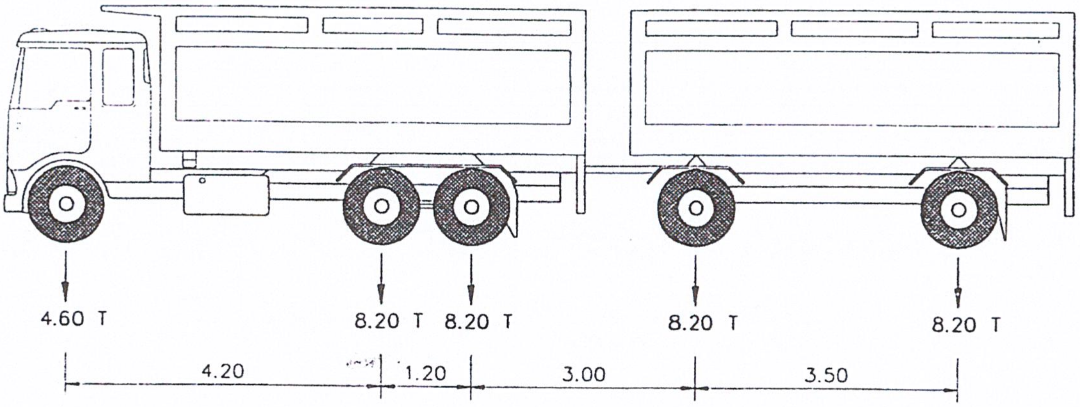
ที่ปรึกษาจะพิจารณาใช้น้ำหนักบรรทุกจรที่ 1.3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกมาตราฐาน HS20-44 หรือ 1.3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกแบบเลนตามมาตราฐาน AASHTO ขึ้นอยู่กับแบบใดให้ค่าแรงภายในที่สูงกว่าและได้โครงสร้างที่ปลอดภัยกว่าตามปกติแล้วน้ำหนักบรทุกมาตรฐานไทยจะไม่เท่ากับที่กำหนดไว้ในมาตราฐาน AASHTO ลักษณะของรถบรทุกมาตราฐานของหน่วยงานต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 ถึง 2.4 จากการศึกษาของกรมทางหลวง



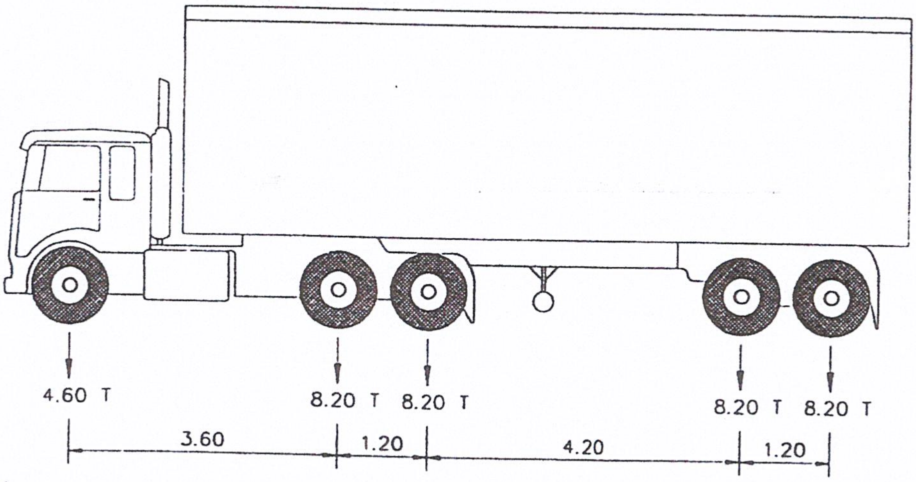
รูปที่ 2.1 รถมาตรฐาน 1.3 * HS20-44 (AASHTO)



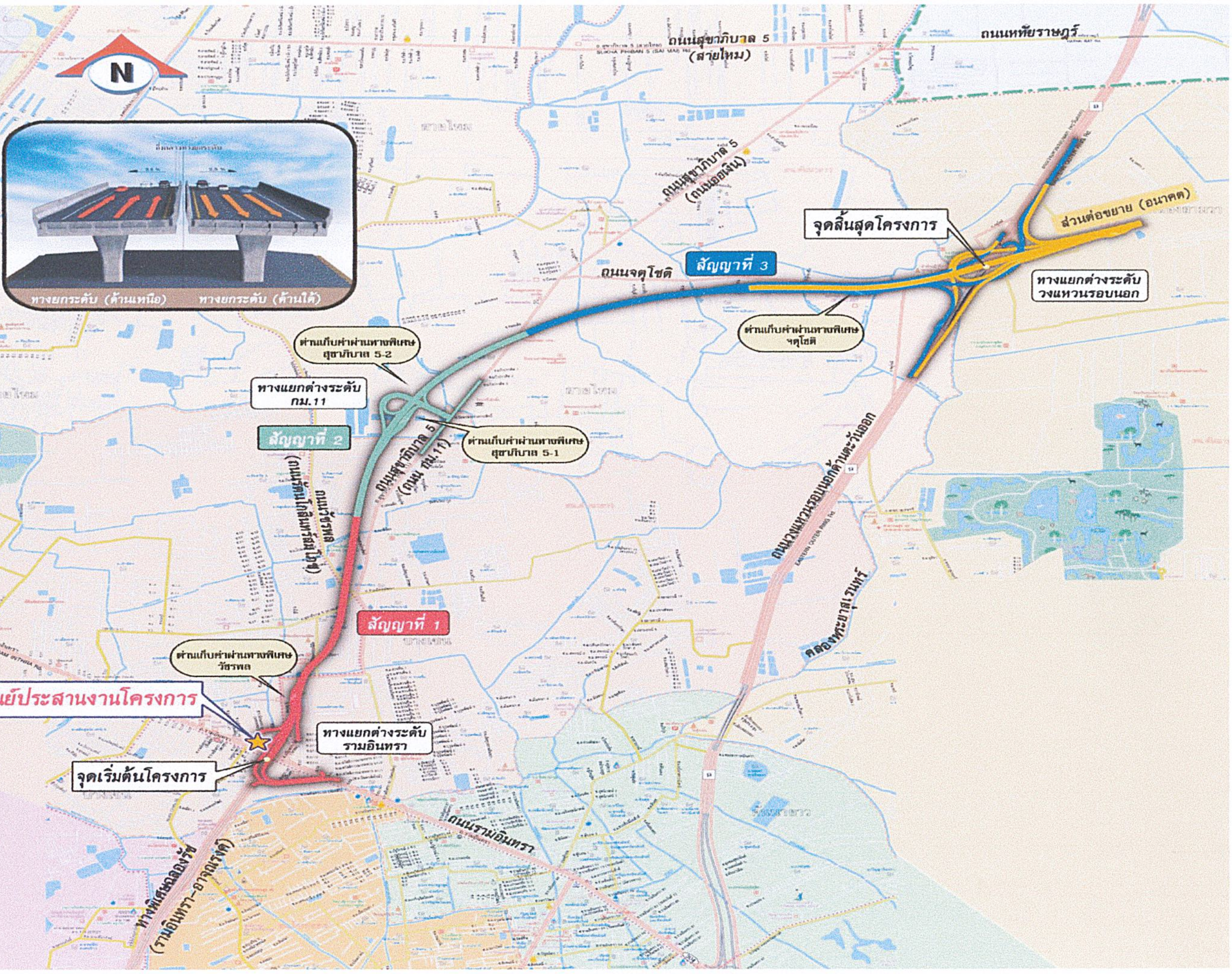
รูปที่ 2.2 รถสิบล้อหนัก 21 ตัน



รูปที่ 2.3 รถสิบล้อหนัก 21 ตันกับรถพ่วง



รูปที่ 2.4 รถกึ่งพ่วง 37.4 ตัน



รูปที่ 2.5 แผนที่แสดงแนวเส้นทางของโครงการ

บทที่ 3
การปฏิบัติก่อนเริ่มงานก่อสร้าง

จากการที่ทางผู้จัดทำโครงงานพิเศษได้ไปทำการสอบถามเรื่องสัญญาจ้างกับทาง บ. Unique Engineering จำกัด บ. STN Construction จำกัด และ บ. Chotichinda Mouchel Consultants จำกัด ทำให้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อหน่วยงานราชการได้มีการทำสัญญากับผู้รับจ้างให้ทำงานก่อนสร้างสะพานแล้ว หน่วยงานราชการในฐานะผู้ว่าจ้างจะต้องแต่งตั้งผู้ควบคุมงานเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการก่อสร้างให้ถูกต้องครบถ้วน เป็นไปตามแบบรูปรายละเอียดและข้อกำหนดในสัญญาจ้างทุกประการ ทั้งนี้เมื่อผู้ควบคุมงานได้รับคำสั่งแต่งตั้งแล้วจะต้องเตรียมการก่อนเริ่มงานก่อสร้าง ดังนี้

3.1 ศึกษาสัญญาจ้าง

สัญญาจ้างถือเป็นเอกสารสำคัญอันดับแรกที่จะต้องศึกษาทำความเข้าใจให้ละเอียดถี่ถ้วนก่อนที่จะเตรียมการในเรื่องอื่นต่อไป โดยในเอกสารสัญญาจะประกอบด้วยสาระสำคัญที่จำเป็นต้องรู้ดังนี้

3.1.1 เลขที่สัญญา วันลงนามในสัญญา ชื่อบริษัท ซึ่งเป็นผู้รับจ้าง

3.1.2 รายละเอียดงานจ้าง ซึ่งจะบอกถึงที่ตั้งโครงการ ลักษณะงาน และปริมาณงาน (เป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือสะพานประเภทใด ขนาดความกว้างผิวจราจร-ขนาดทางเท้า-ความยาวสะพาน) และงานประกอบอื่น ๆ เช่น ถนนคอนกรีต และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น

3.1.3 รายการเอกสารประกอบแนบท้ายซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของสัญญา ได้แก่ แบบก่อสร้าง, รายการประกอบแบบ , รายการก่อสร้างเพิ่มเติม , รายละเอียดงวดงาน , ใบเสนอราคาและบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ , บันทึกการตกลงราคาแต่ละรายการหลังการต่อรองราคายอดรวม, ประกาศประกวดราคาและเงื่อนไขหลักเกณฑ์ในการปรับราคาค่าก่อสร้าง

3.1.4 ค่าจ้างและวิธีการจ่ายเงินค่าจ้าง ซึ่งจะระบุเป็นแบบจ่ายตามเนื้องานจริง (UNIT COST) หรือเป็นแบบจ่ายเหมารวม (LUMP SUM)

3.1.5 กำหนดวันเริ่มทำงาน และกำหนดวันเสร็จสิ้น (วันสิ้นสุดสัญญา)

3.1.6 ค่าปรับในกรณีที่ผู้รับจ้างไม่สามารถทำงานให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนดไว้ในสัญญา รวมถึงค่าใช้จ่ายในการควบคุมงานซึ่งผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบ ในกรณีที่ผู้ว่าจ้างต้องจ้างผู้ควบคุมงานอื่น (เช่น บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา) อีกต่อหนึ่ง

3.1.7 ข้อกำหนดอื่นๆ ได้แก่ ระยะเวลารับประกันที่ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบในความชำรุดบกพร่องของงานจ้าง, การห้ามจ้างโดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ว่าจ้าง, การควบคุมงานและความรับผิดต่ออุบัติเหตุความเสียหายหรือภยันตรายใด ๆ อันเกิดจากการกระทำของผู้รับจ้าง, การจ่ายเงินแก่ลูกจ้าง, การตรวจงานจ้างของคณะกรรมการตรวจการจ้างและผู้ควบคุมงาน, อำนาจในการวินิจฉัยของกรรมการตรวจการจ้างและผู้ควบคุมงานกรณีแบบรูปและรายการรายละเอียดคลาดเคลื่อน, อำนาจในการตรวจสอบควบคุมงาน สั่งให้แก้ไขเปลี่ยนแปลงและสั่งหยุดงานของกรรมการตรวจการจ้างและผู้ควบคุมงาน, สิทธิในการสั่งให้ทำงานพิเศษและแก้ไขของผู้ว่าจ้าง, การทำบริเวณก่อสร้างให้เรียบร้อยหลังจากทำงานเสร็จสิ้น, เหตุและเงื่อนไขในการขยายเวลาปฏิบัติงานตามสัญญา

3.2 ศึกษาแบบรูปและรายละเอียดประกอบแบบ

ผู้ควบคุมงานจะต้องศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ของแบบก่อสร้าง ได้แก่ สัดส่วนต่างๆ ของสะพานกำลังของคอนกรีตที่ใช้ในส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้าง การเสริมเหล็ก มาตรฐานต่างๆ ที่กำหนด การเลือกใช้เสาเข็มและพื้นสะพานชนิดหล่อกับที่ หรือชนิดอัดแรงสำเร็จรูป ตลอดจนข้อกำหนดต่าง ๆ ที่จะต้องใช้ในการตรวจสอบและควบคุมการปฏิบัติงานของผู้รับจ้างได้อย่างถูกต้องรวมทั้งจะทำให้รู้ว่าแบบรูป, รายละเอียดประกอบแบบและข้อกำหนดในเอกสารสัญญามีความไม่ชัดเจนหรือมีข้อขัดแย้งกันหรือไม่ เพื่อจะได้พิจารณาดำเนินการแก้ไขไว้แต่เนิ่นๆ โดยในงานก่อสร้างสะพานโดยทั่วไปจะประกอบด้วยแบบก่อสร้างดังนี้

3.2.1 แผนที่สังเขป แสดงที่ตั้งของโครงการ ตามแผนที่มาตรฐานส่วน 1: 50,000

3.2.2 แปลนและรูปตัดตามยาวแสดงผังบริเวณ, ตำแหน่งการก่อสร้างสะพาน, หมุดอ้างอิงแนวการก่อสร้าง (REFERENCE POINT) และหมุดระดับหลักฐาน (BENCH MARK หรือ MB)

3.2.3 รูปตัดสะพาน แสดงรูปร่าง (ความกว้าง, ความยาว, ช่วงพื้นสะพาน) ของสะพานโดยรวมรายละเอียดรูปร่าง ขนาด และระดับก่อสร้างของโครงสร้างสะพานแต่ละส่วน, ชนิดของฐานรากตอม่อสะพานว่าเป็นแบบเสาเข็มตอกหรือแบบฐานแผ่ พร้อมรายละเอียดประกอบแบบที่ระบุถึงแบบ

มาตรฐานที่ใช้, รายการทั่วไป, ข้อกำหนดในการก่อสร้างสะพาน, ความยาวเสาเข็มแนะนำ และกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม (ALLOWABLE PILE BEARING CAPACITY)

3.2.4 เสาเข็มคอนกรีต แสดงขนาดรูปร่างของเสาเข็ม, รายละเอียดการเสริมเหล็กและจุดยกเสาเข็มพร้อมรายละเอียดประกอบแบบที่ระบุถึง ประเภทปูนซิเมนต์ที่ใช้, กำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต (ULTIMATECOMPRESSIVE STRENGTH), ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ได้จากการทำ SLUMP TEST, ระยะหุ้มคอนกรีตเสริมเหล็ก (COVERING), หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้รูปร่างของปลายเสาเข็ม ว่าเป็นแบบปลายแหลมหรือแบบปลายตัด, ข้อกำหนดในการขอเปลี่ยนเป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง, ข้อกำหนดในกรณีที่เสาเข็มมีความยาวมากเกินกว่าที่กำหนด, ข้อกำหนดในการขอใช้เสาเข็ม 2 ท่อนต่อ และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็ม (ULTIMATEPILE BEARING CAPACITY)

3.2.5 ถนนคอสะพาน ประกอบด้วยแบบโครงสร้างทาง, แบบแปลนและรูปตัดตามยาว, แบบรูปตัดตามขวางของถนนทุกระยะ, แบบแสดงวิธีการยกโค้งและขยายผิวจราจรทางโค้ง, แบบท่อกลมระบายน้ำ คสล. และแบบเครื่องหมายจราจร เป็นต้น เมื่อผู้ควบคุมงานศึกษาแบบก่อสร้างดังกล่าวข้างต้นแล้ว จะต้องทราบว่าสะพานมีความยาวพื้นสะพานแต่ละช่วงเท่าใดบ้าง ฐานรากตอม่อสะพานแต่ละตับเป็นฐานรากฐานชนิดตอกเสาเข็มหรือฐานแผ่ เพื่อจะได้เลือกใช้แบบประกอบการก่อสร้างได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งจะได้เตรียมรายละเอียดต่าง ๆ เช่น คำนวณระยะความยาวที่แปรเปลี่ยนตามมุมเฉียงของแนวสะพานและจัดทำ แบบขยายรายละเอียด (SHOP DRAWING) ไว้ใช้ในการตรวจสอบควบคุมต่อไป

3.3 ตรวจสอบแผนงานของผู้รับจ้าง

ก่อนเริ่มทำการก่อสร้าง ผู้รับจ้างจะต้องจัดทำแผนการทำงานเพื่อเสนอให้ผู้ว่าจ้างพิจารณาก่อนหากผู้ว่าจ้างเห็นชอบตามแผนการทำงานดังกล่าว ก็จะอนุมัติให้ใช้เป็นแผนงานประกอบการดำเนินงานตามสัญญาได้ดังนั้นผู้ควบคุมงานซึ่งจะต้องเป็นผู้ตรวจสอบแผนงานของผู้รับจ้างในขั้นต้นก่อนที่จะส่งให้มีการพิจารณาอนุมัติตามลำดับชั้นต่อไป จึงจำเป็นต้องมีความรู้ในการจัดทำ แผนงานก่อสร้าง ซึ่งรูปแบบการวางแผนงานมีหลายวิธีโดยรูปแบบที่นิยมมากที่สุดสำหรับงานก่อสร้างสะพาน คือแบบตารางเวลาทำ งานแบบแท่ง (BAR CHART) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน สะดวกในการจัดทำ และสามารถอ่านทำความเข้าใจได้ง่าย รายละเอียดที่จะต้องรู้และเข้าใจในการจัดทำแผนงานก่อสร้างมีดังต่อไปนี้

3.3.1 รายงานการก่อสร้าง (ITEM) เป็นส่วนสำคัญที่สุดในการจัดทำแผนงาน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดถึงลำดับขั้นตอนการทำงาน ระยะเวลาทำงาน และความก้าวหน้าของงาน

3.3.2 การจัดทำแผนงานแบบตารางเวลาทำงานแบบแท่ง (BAR CHART)

3.3.2.1 องค์ประกอบของแผนงาน จะต้องประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

- หัวบนชื่องานก่อสร้าง, ส่วนราชการผู้ว่าจ้าง, ชื่อผู้รับจ้าง, ค่าก่อสร้าง, เลขที่สัญญา, วันเริ่มต้นสัญญา และวันสิ้นสุดสัญญา

- ตารางช่วงกลาง รายการงานก่อสร้าง, ปริมาณงานพร้อมหน่วย, ราคาต่อหน่วย, ค่างานเปอร์เซ็นต์ค่างาน (เปรียบเทียบกับค่าก่อสร้างทั้งโครงการ), ตารางเวลา (เป็นวัน สัปดาห์หรือเดือน) แสดงการทำงานของงานก่อสร้างแต่ละรายการ และเส้นกราฟเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้า

- ตารางช่วงล่าง ค่างาน/เปอร์เซ็นต์ค่างาน ในแต่ละเดือน และค่างาน/เปอร์เซ็นต์ค่างานสะสม

3.3.2.2 องค์ประกอบของแผนงานตามข้อ 1 จะต้องถูกต้องตามสัญญาจ้าง, แบบรูปและบันทึกการตกลงราคาแต่ละรายการ หลังการต่อรองราคายอดรวมยกตัวอย่าง เช่น

- รายการงานก่อสร้าง, ปริมาณงานและค่างาน จะต้องครบถ้วนและตรงตามที่ปรากฏในแบบรูปและบันทึกการตกลงราคาแต่ละรายการ

- ช่วงเวลาปฏิบัติงานในตารางเวลาทำงาน จะต้องอยู่ภายในระยะเวลาสัญญา กล่าวคือจ้างตั้งแต่วันเริ่มต้นสัญญา และควรปฏิบัติงานจ้างแล้วเสร็จในวันสิ้นสุดสัญญา

3.3.2.3 การจัดลำดับการทำงานของรายการงานก่อสร้างแต่ละกิจกรรม จะต้องเป็นไปตามขั้นตอนที่สามารถปฏิบัติได้จริง เช่น งานสร้างเสาเข็มต้องเริ่มก่อนงานตอกเสาเข็มและงานตอม่อเป็นต้น แต่เมื่อเริ่มมีการทำงานกิจกรรมแรกไปสักระยะหนึ่งแล้วก็อาจมีการทำงานกิจกรรมหลังตามไปในช่วงเวลาเดียวกันหรือเหลื่อมซ้อนกันก็ได้

3.3.2.4 ระยะเวลาทำงานของรายการงานก่อสร้างแต่ละกิจกรรม ขึ้นอยู่กับปริมาณงาน, จำนวนและขีดความสามารถของเครื่องมืออุปกรณ์และบุคลากร ซึ่งเคยมีการบันทึกสถิติการทำงานไว้รวมถึงสภาพภูมิประเทศ, สภาพภูมิอากาศ และปัญหาอุปสรรคที่ทราบล่วงหน้า

3.3.2.5 แผนงานจะต้องมีความก้าวหน้าในอัตราที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาของสัญญา ซึ่งโดยปกติหากแบ่งระยะเวลาออกเป็น 3 ช่วงเท่า ๆ กันและก็จะเป็นดังนี้

- ช่วงแรก อัตราความก้าวหน้าค่อนข้างต่ำ (เปอร์เซ็นต์ค่างานในช่วงนี้เริ่มจาก 0 ถึงประมาณ20%)

- ช่วงกลาง อัตราความก้าวหน้าสูง (เปอร์เซ็นต์ค่างานในช่วงนี้เริ่มจากประมาณ 20% ถึงประมาณ 90%)

- ช่วงปลาย อัตราความก้าวหน้าต่ำลง (เปอร์เซ็นต์ค่างานในช่วงนี้เริ่มจากประมาณ 70%ประมาณ 100%)

3.4 ติดต่อประสานงานกับผู้รับจ้าง

เมื่อได้ทำสัญญาก่อสร้างแล้ว และอนุมัติแผนงานของผู้รับจ้างแล้ว ผู้ควบคุมงานจะต้องประสานงานผู้รับจ้าง เพื่อประสานดำเนินการในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1 ให้ผู้รับจ้างทำหนังสือแจ้งเข้าดำเนินการก่อสร้างตามที่ระบุไว้ในสัญญา ตลอดจนแต่งตั้งผู้แทนรับจ้าง ผู้ควบคุมงาน วิศวการ ฯลฯ

3.4.2 ให้ผู้รับจ้างจัดหาวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ระบุไว้ในสัญญา (ถ้ามี) เช่น เครื่องทดสอบ ยานพาหนะสำนักงานชั่วคราว ฯลฯ

3.4.3 ให้ผู้รับจ้างส่งวัสดุ เพื่อจะได้จัดเก็บตัวอย่างก่อนที่จะนำไปใช้ก่อสร้าง และให้ผู้รับจ้างจัดส่งรายการคำนวณเสาเข็ม และคานสะพาน (ในกรณีใช้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป)

3.4.4 เร่งรัด แจ้งเตือนผู้รับจ้าง ในกรณีไม่เข้าดำเนินการตามสัญญา

3.5 การสำรวจภูมิประเทศ

ก่อนที่จะเริ่มทำการก่อสร้างเราควรจะทำการสำรวจสภาพภูมิประเทศในสนาม พร้อมทั้งวางหมุดควบคุมหลักสำหรับงานสำรวจครอบคลุมพื้นที่โครงการทั้งหมด เพื่อที่จะนำมาใช้ในงานวางหมุดควบคุมแนวเส้นทางด่วน และงานวางหมุดเขตทาง โดยหมุดควบคุมทั้งหมดนี้ได้กำหนดให้อยู่ในพื้นที่ ซึ่งมีความปลอดภัยไม่ถูกทำลายและเคลื่อนย้ายได้ง่าย ระหว่างการก่อสร้าง

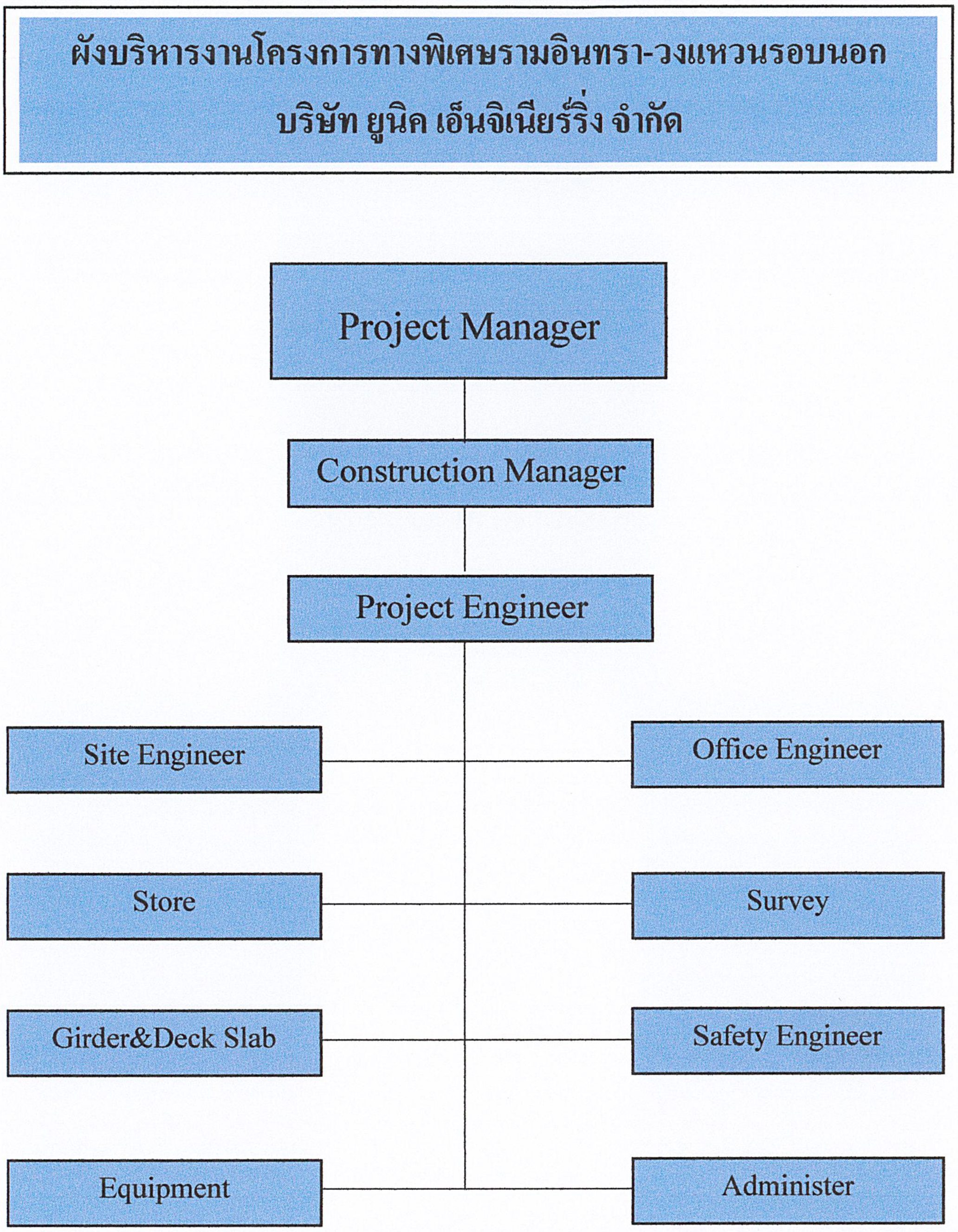
การติดตั้งหมุดควบคุมทางราบและทางดิ่งแบบถาวร ตลอดแนวพื้นที่โครงการ มีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 หมุดควบคุมหลักฐานทางราบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ ๆ ไม่เกิน 200 เมตร โดยมีตำแหน่งใกล้เคียงกับแนวเส้นทางที่ออกแบบ และวางอยู่บนเสาเข็ม

3.5.2 หมุดหลักสำคัญสำหรับงานควบคุมทางดิ่ง เป็นจุดที่มั่นคง และไม่ถูกรบกวนจากงานก่อสร้างที่บริเวณพื้นที่โครงการ หมุดหลักฐานอยู่ห่างกันไม่เกิน 1 กม. วางอยู่บนเสาเข็มยาว 20 เมตร

การคำนวณปรับแก้โครงข่ายวงรอบจะใช้ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้ในประเทศไทยคือ ระบบ UTM (Universal transverse Mercator) ซึ่งใช้ทรงกลมโลก Everest Spheroid ที่มีระดับมาตราฐานของทรงกลมโลกที่ประเทศอินเดีย โครงการทางด่วนสายรามอินทรา-วงแหวนรอบนอก มีการเชื่อมโยงกับโครงการทางด่วนสายรามอินทรา – อาจณรงค์ และถนนวงแหวนรอบนอก การปรับแก้โครงข่ายต้องอ้างอิงถึงหมุดควบคุมเดิมของโครงการดังกล่าว เพื่อให้ได้งานที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงจะใช้วิธีการรังวัดโดยใช้เทคโนโลยีการรังวัดสัญญาณดาวเทียม (GPS , Global Positioning System)

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.1 แสดงผังองค์กรของ บ.ยูนิค เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด

105012

บทที่ 4
เสาเข็ม

4.1 ชนิดของเสาเข็ม

เสาเข็มที่ใช้ทั่วไปในงานก่อสร้างสะพานปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะของการผลิตและการใช้งาน ได้แก่

- เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete pile)
- เสาเข็มเจาะ (bored pile)
- เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรง (prestressed concrete spun pile)

4.1.1 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเป็นเสาเข็มที่ใช้กันแพร่หลายสำหรับอาคารพานิชย์และบ้านพักอาศัยทั่วไป เป็นเสาเข็มคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ชนิดแข็งตัวเร็วและโครงเหล็กภายในทำจากลวดเหล็กอัดแรงกำลังสูง กรรมวิธีที่ใช้ในการลงเสาเข็มจะเป็นการตอกกระแทกลงไปในดินโดยใช้ปั้นจั่นซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนและประหยัดค่าใช้จ่าย รูปร่างลักษณะของเสาเข็ม ที่ใช้กัน แพร่หลาย ได้แก่

- เสาเข็มรูปตัวไอ
- เสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน
- เสาเข็มหกเหลี่ยมหรือแปดเหลี่ยมชนิดกลวง
- เสาเข็มรูปตัวที

4.1.2 เสาเข็มเจาะ

เสาเข็มเจาะเป็นเสาเข็มอีกประเภทหนึ่งซึ่งแตกต่างจากเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงในลักษณะของการใช้งานกรรมวิธีในการทำเสาเข็มเจาะค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและจะต้องทำ ณ สถานที่ที่

จะใช้งานจริงเลย โดยใช้เครื่องมือเจาะขุดดินลงไปให้ได้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของเสาเข็มตามที่กำหนดจากนั้นจึงจะใส่เหล็กเสริมและเทคอนกรีตลงไปเพื่อหล่อเป็นเสาเข็ม

เสาเข็มเจาะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆตามขนาดของเสาเข็มและกรรมวิธีที่ใช้ อันได้แก่

4.1.2.1 เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก (small diameter bored pile)

เป็นเสาเข็มเจาะที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 35-60 เซนติเมตร (ส่วนใหญ่จะเป็น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35, 40, 50, 60 เซนติเมตร) มีความลึกอยู่ในช่วงประมาณ 18-23 เมตร กรรมวิธีที่ใช้ในการเจาะมักจะเป็นแบบแห้ง (dry process) ซึ่งเป็นการขุดเจาะโดยใช้เครื่องมือขุดเจาะ ลงไปตามธรรมดา

4.1.2.2 เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ (large diameter bored pile)

เป็นเสาเข็มเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 เซนติเมตรขึ้นไป (ส่วนใหญ่จะมี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80, 100, 120, 150 เซนติเมตร) มีความลึกอยู่ในช่วงประมาณ 25-65 เมตร กรรมวิธีที่ในการเจาะมักจะเป็นระบบเปียก (wet process) ซึ่งแตกต่างจากระบบแห้ง คือจะต้องเพิ่ม ขั้นตอนในการฉีดสารเคมีเหลวซึ่งเรียกว่า Bentonite slurry ลงไปในหลุมที่ทำการขุดเจาะโดยเฉพาะหลุมที่มีความลึกมากๆถึงชั้นทรายหรือหลุมที่มีน้ำใต้ดิน ทั้งนี้ เพื่อสร้างแรงดันในหลุมที่เจาะและยึดประสานผิวดินในหลุมเพื่อป้องกันมิให้ผนังหลุมที่เจาะพังทลายลงมา

การใช้เสาเข็มเจาะจะไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนอันอาจเป็นอันตรายต่ออาคารข้างเคียง เพราะไม่มี การตอกกระแทกของปั้นจั่นดังเช่นที่ใช้กับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง อีกทั้งขนาดของเสาเข็มเจาะก็อาจทำให้มีขนาดใหญ่โดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางได้ถึง 200 เซนติเมตร เพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดของขนาดของปั้นจั่นและน้ำหนักของตัวเสาเข็ม ขณะที่เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงนั้นขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่ใช้กันทั่ว ไปมีขนาดความกว้างของพื้นที่หน้าตัดเพียง 40 เซนติเมตรเท่านั้น อีกทั้งความลึกของเสาเข็มเจาะก็สามารถเจาะได้ลึกกว่าความยาวของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ฉะนั้นเสาเข็มเจาะจึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารสูงซึ่ง ต้องรับน้ำหนักมากและอาคารที่สร้างใกล้ชิดเพื่อป้องกันมิให้เกิดการสั่นสะเทือนซึ่งจะเป็นอันตรายต่ออาคาร ข้างเคียง ในทางปฏิบัติแล้วขั้นตอนในการทำเสาเข็มเจาะจะมีรายละเอียดที่ยุ่งยากซับซ้อนกว่าที่กล่าวไว้มาก

4.1.3 เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรง

เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรงหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเสาเข็มสปันเป็นเสาเข็มที่ผลิตโดยใช้กรรมวิธีการปั่นคอนกรีตในแบบหล่อซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูงทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นสูงกว่าคอนกรีตที่หล่อโดยวิธีธรรมดา จึงมีความแข็งแกร่งสูงรับน้ำหนักได้มาก เสาเข็มสปันมีลักษณะเป็นเสากลม ตรงกลางกลวง มีโครงลวดเหล็กอัดแรงฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตโดยรอบ การตอกเสาชนิดนี้สามารถทำได้หลายแบบ ทั้งวิธีการตอกด้วยปั้นจั่นแบบธรรมดา และวิธีการตอกด้วยระบบเจาะกด เสาเข็มสปันมีให้เลือกใช้หลายขนาด ที่พบเห็นกันมากมีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 - 100 เซนติเมตร มีความหนาของเนื้อคอนกรีตอยู่ในช่วง 6 - 14 เซนติเมตร โดยมีความยาวอยู่ในช่วง 6 - 18 เมตร ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตซึ่งความยาวนี้สามารถเพิ่มได้โดยการนำเสาเข็มมาเชื่อมต่อกัน

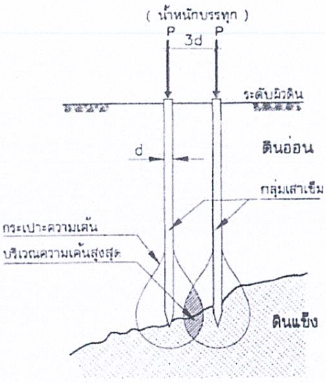
เนื่องจากเสาเข็มสปันมีลักษณะกลวงจึงช่วยลดการสั่นสะเทือนเวลาตอก และถ้าเสาเข็มที่ใช้ความยาวมากก็สามารถลดแรงดันของดินในขณะตอกได้โดยการเจาะนำและลำเลียงดินขึ้นทางรูกลวงของเสาซึ่ง จะช่วยลดความกระทบกระเทือนที่มีต่ออาคารข้างเคียงได้มาก เสาชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นฐานรากของอาคารสูงที่ต้องการความมั่นคงแข็งแรงสูงเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องลมแรงและการเกิดแผ่นดินไหว

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของเสาเข็ม Spun

OTHER DIAM (mm.)	WALL THICKNESS (mm.)	LENGTH PER PCE. (m.)	CONCRETE CROSS SECTION. AREA (cm.^{2})	TOTAL CROSS SECTION AREA (cm.^{2})	MOMENT OF INERTIA OF CONCRETE (cm.^{4})	NOMINAL WEIGHT (Kg./m.)	ALLOWABLE AXIAL LOAD ON PILE (Ton)	RECOMMENDED SAFE LOAD (BKK AREA) (Ton)
250	55	7-17	337	491	17289	88	39	25-35
300	60	7-17	452	707	34608	117	52	35-50
350	65	7-18	582	962	62163	151	67	50-65
400	75	7-19	766	1257	106489	199	88	65-80
450	80	7-19	930	1591	166570	242	107	80-100
500	90	7-19	1159	1964	255324	301	133	90-120
600	100	7-19	1571	2828	510509	408	181	100-160
700	110	7-17	2039	3850	918012	530	234	140-210
800	120	7-17	2564	5028	1527870	667	295	180-270
900	130	7-13	3146	6358	2397072	820	360	230-310
1000	140	7-13	3782	7857	3589571	983	435	220-410

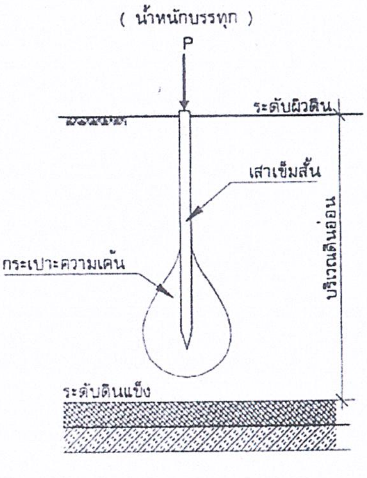
4.2 การรับน้ำหนักของเสาเข็ม

การรับน้ำหนักของเสาเข็มอาจจะเป็นการรับน้ำหนักของแต่ละต้น หรือการให้เข็มรับน้ำหนักเป็นกลุ่ม (Pile Group) แต่ขณะเดียวกันระยะห่างของเข็มแต่ละต้นไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม เพราะเมื่อตอกชิดกันมาก จะเป็นสาเหตุให้กระเปาะความเค้น (Stress Bulk) ของเข็มแต่ละต้นซ้อนกัน ทำให้เกิดเป็นบริเวณความเค้น (High Stress Zone)



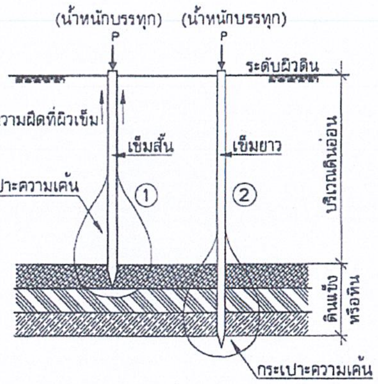
รูปที่ 4.1 แสดงรูปกระเปาะความเค้นบริเวณความเค้นสูงของกลุ่มเสาเข็ม

4.2.1 เสาเข็มรับความฝืด (Friction Pile) ปกติแล้วความลึกลงไปจากผิวดินจะเป็นชั้นๆ ชั้นต้นเรียก ดินอ่อน อยู่ในระดับไม่เกิน 20.00 เมตร (ที่ดินกรุงเทพฯ) ลึกจากนั้นเป็นชั้นดินแข็งและเป็นชั้นหิน แต่เมื่อตอกเข็มสั้นลงไปไม่ได้หยั่งถึงดินแข็งเท่ากับให้ดินอ่อนพยุงเสาเข็มไว้ ถ้าดินมีความแน่นมากก็พยุงไว้ได้มาก ผิวเข็มรอบๆต้นเข็มเป็นส่วนที่ดินรัดรอบ เข็มจะทรุดตัวต่อเมื่อดินพยุงเข็มไว้ไม่อยู่ ความฝืดหมายถึงดินที่เกาะยึดเข็มไว้



รูปที่ 4.2 แสดงรูปกระเปาะความเค้นเสาเข็มรับความฝืด (Friction Pile)

4.2.2 เสาเข็มรับแรงต้านทานส่วนปลาย (End-bearing Pile) เป็นเสาเข็มที่ตอกลงถึงชั้นทรายหรือชั้นหินแข็ง ซึ่งเสาเข็มจะไม่สามารถตอกจนทะลุลงไปได้ เสาเข็มแรงต้านส่วนปลายที่วางอยู่บนชั้นหินแข็งแรงเพียงพอที่รับน้ำหนักได้อย่างมั่นคง ช่วยลดอัตราการทรุดตัวของอาคาร โดยปลายเสาเข็มควรอยู่จมในชั้นหินแข็งอย่างน้อยประมาณ 1 – 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม และมีความหนาของชั้นทรายหรือชั้นหินแข็งควรมีความหนาย่างเพียงพอ ที่จะไม่ทำให้เสาเข็มเกิดการเคลื่อนตัวทะลุชั้นทรายหรือชั้นดินแข็งนั้นอีกด้วย



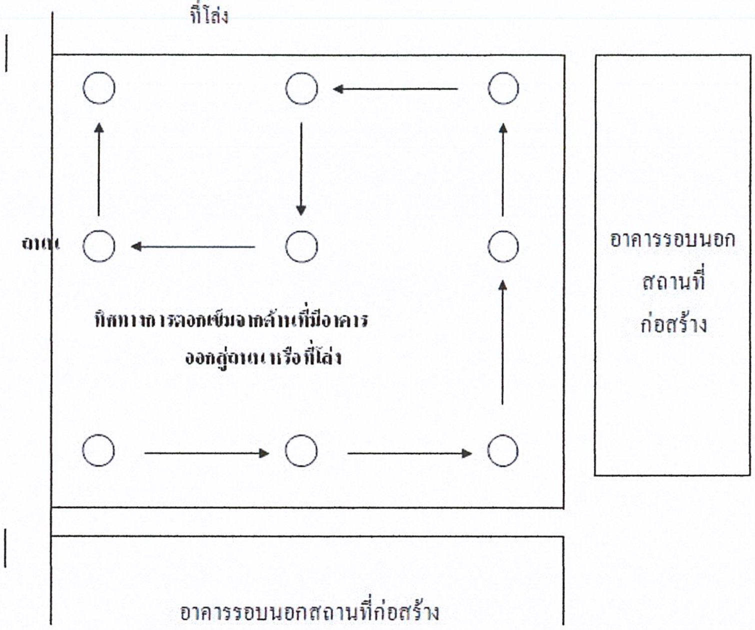
รูปที่ 4.3 แสดงรูปกระเปาะความเค้นของเสาเข็มรับแรงต้านทานส่วนปลาย (End-bearing Pile)

4.3 การจัดลำดับในการตอกเสาเข็ม

โครงการขนาดใหญ่ที่เร่งรัดงานตอกเสาเข็มจะใช้ปั้นจั่นหลายตัวพร้อมกันซึ่งจะต้องจัดลำดับการตอกและทางเดินปั้นจั่นที่มีอย่างเป็นระบบโดยจะคำนึงถึงทิศทางการเคลื่อนตัวของดินที่อาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียง นอกจากนี้การใช้ปั้นจั่นมากกว่าหนึ่งตัวควรตอกเข็มจากแถวริมเข้าหาแถวด้านในของกลุ่มเข็มจะทำให้ดินอัดแน่นอยู่ตรงกลางและตอกเข็มไม่ลงทำให้ความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็มจะน้อยลงกว่าที่ออกแบบไว้และการอัดตัวนี้จะทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่คงที่ดังนั้นในการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ที่มีการตอกเสาเข็มจำนวนมาก จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินในปริมาณสูง

ลำดับการตอกเข็มมีข้อพิจารณา ดังนี้

1. จำนวนเข็มตอก
2. จำนวนของปั้นจั่นที่ใช้ในการตอกเข็ม
3. ทิศทางการตอกเสาเข็มควรมีการตอกจากบริเวณใกล้โครางสร้างข้างเคียงหนีห่างออกไป
4. การตอกเสาเข็มควรเริ่มพร้อมกันและไปในแนวเดียวกันเพื่อลดการเบี่ยงเบนของเสาเข็ม ลดการเคลื่อนตัวของดินที่กระทำต่ออาคารข้างเคียง ลดการอัดตัวของดิน และทำให้มีทางเดินปั้นจั่นที่เป็นระบบ ซึ่งจะสะดวกในการตอกเสาเข็ม



รูปที่ 4.4 แสดงลำดับในการตอกเสาเข็มกรณีอยู่ใกล้กับตัวอาคาร

4.4 วิธีการตอกเสาเข็ม

เสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง (Spun pile) ที่ทำการก่อสร้างด้วยวิธี Driver Pile (เสาเข็มตอก)

เสาเข็มชนิดนี้มักใช้ในโครงการที่รับน้ำหนักไม่มากนักและมีบริเวณทำงานกว้างเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงอันเนื่องจากการตอกเข็ม เช่นการสั่นสะเทือน การเคลื่อนตัวและแรงดันของดิน

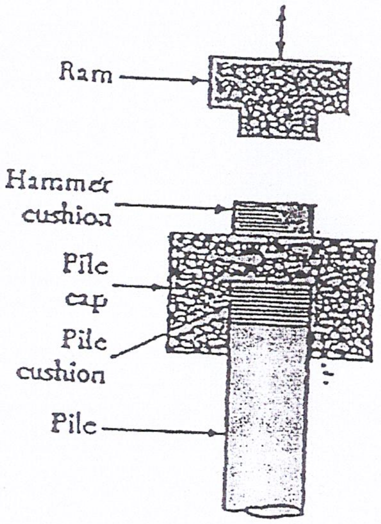
การตอกเสาเข็มมีปัจจัยที่สำคัญอันหนึ่งคือ การเลือกเครื่องมือในการตอกเสาเข็ม เพราะจะส่งผลถึงประสิทธิภาพและกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มรวมถึงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องมือในการตอกเสาเข็มให้เหมาะสมด้วย

การเลือกใช้เครื่องมือแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของดินและขนาดหรือชนิดของเสาเข็ม โดยหลักการนั้นจะใช้ฆ้อนหรือลูกตุ้มตกกระแทกบนเสาเข็ม ที่มี Anvil หรือ Pile cap รองรับเสาเข็ม จะจมได้ง่ายหรือยากนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักของลูกตุ้มหรือพลังงานให้แก่เสาเข็ม เครื่องตอกเสาเข็มนี้จะยึดติดอยู่กับปั้นจั่น ซึ่งเป็นโครงเหล็กประเภทเครื่องตอกที่ใช้กันอยู่มีดังนี้

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

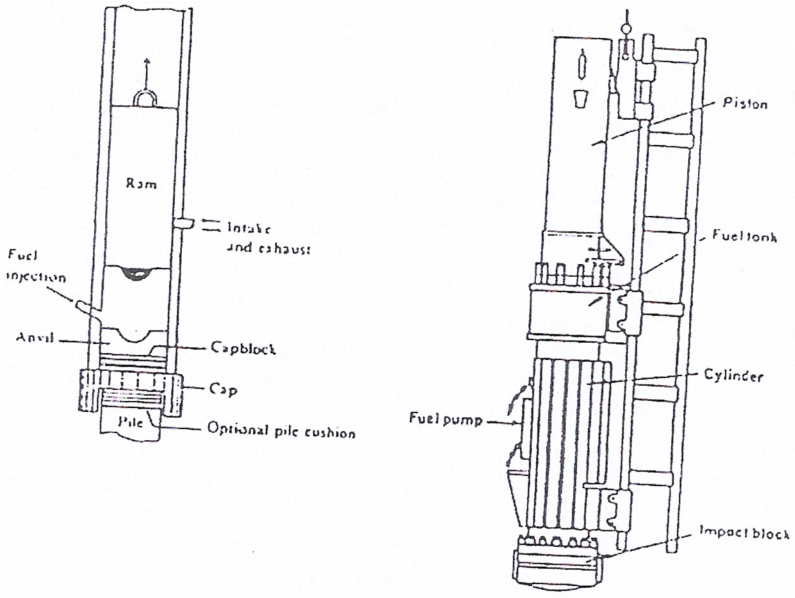
TYPE (cm.)	LENGTH (cm.)	CROSS SECTION (cm^{-2})	PERIMETER (cm.)	WEIGHT (Kg./m.)	SAFE LOAD (Ton)
16X16	4-6	256	64	61	0.61-2.30
18X18	7-10	324	72	78	8-10
20X20	7-10	400	80	96	20-25
22X22	7-24	484	88	116	25-30
26X26	7-24	676	104	162	40-45
30X30	7-24	900	120	216	45-50
35X35	21-26	1225	140	294	60-80
40X40	21-26	1600	160	384	80-100
45X45	21-26	2025	180	486	100-120
52.5X52.5	21-28	2756	210	661	120-150

4.4.1 **Drop Hammer** เป็นการยกลูกตุ้มเหล็กให้สูงขึ้นด้วยลวดสลิง ซึ่งได้กำลังจากเครื่องฉุด แล้วปล่อยให้ตกอิสระเพื่อกระแทกเสาเข็ม โดยมี Pile cap รองรับอยู่ แต่การตอกชนิดนี้จะควบคุมการตอกของลูกตุ้มได้ยาก และปั้นจั่นได้ต้องสูงพอทีจะยกลูกตุ้มได้



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะลูกตุ้มตอกเสาเข็มแบบ Drop Hammer

4.4.2 **Diesel Hammer** เป็นการใช้การอัดและระเบิดเชื้อเพลิงดีเซล ยกลูกตุ้มให้สูงขึ้น ขณะเดียวกันก็จะถีบให้เสาเข็มจมลงในดินพร้อมกับกระแทกของลูกตุ้ม โดยขั้นแรกนั้นจะตอกโดยการยกลูกตุ้มให้สูงขึ้นแล้วปล่อยให้ตกลงมาเพื่อเป็นการจุดระเบิดสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ทำงาน จะเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกับดินเหนียวที่แข็ง หรือทรายทีแน่นซึ่งระยะการจมของเสาเข็มมีน้อยหากใช้กับดินอ่อน หรือเสาเข็มจมลงในดินมากในการตอกแต่ละครั้งแล้วเครื่องยนต์จะดับเพราะระยะยกของลูกตุ้มไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการระเบิดของเชื้อเพลิงในครั้งต่อไป จำเป็นต้องมีการสตาร์ทเครื่องยนต์ใหม่และทำให้การทำงานไม่ค่อยได้ผลเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น

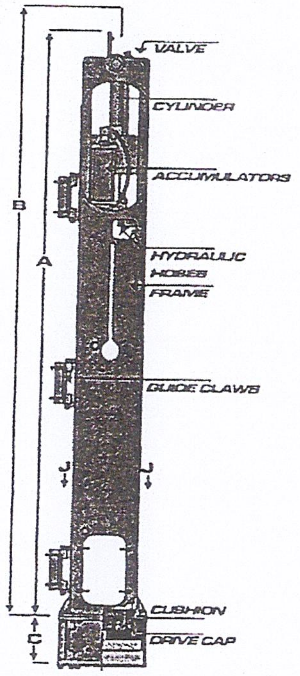


Delmag diesel pile hammer.

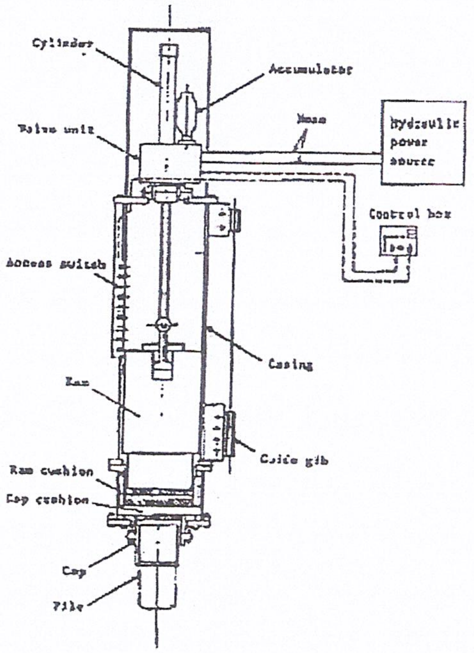
รูปที่ 4.6 ก แสดงลักษณะของลูกตุ้มแบบ Diesel hammer

รูปที่ 4.6 ข แสดงลักษณะของลูกตุ้มแบบ Diesel hammer

4.4.3 **Hydraulic Hammer** เป็นเครื่องตอกเสาเข็มที่มีพลังงานในการเร่งโดย Hydraulic oil จากเครื่องสูบและแก๊สความดันสูง เพื่อเพิ่มความเร่งของการกระแทกของการตอกที่ดีกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของการตอกเสาเข็มดีขึ้นเมื่อเทียบกับการตอกอิสระที่น้ำหนักเดียวกัน และ Hydraulic Hammer ยังไม่มีผลกระทบทางด้านเสียงรบกวน การสั่นสะเทือน และไอเสียจากการทำงาน



รูปที่ 4.7 ก แสดงลักษณะของลูกตุ้มแบบ Hydraulic Hammer

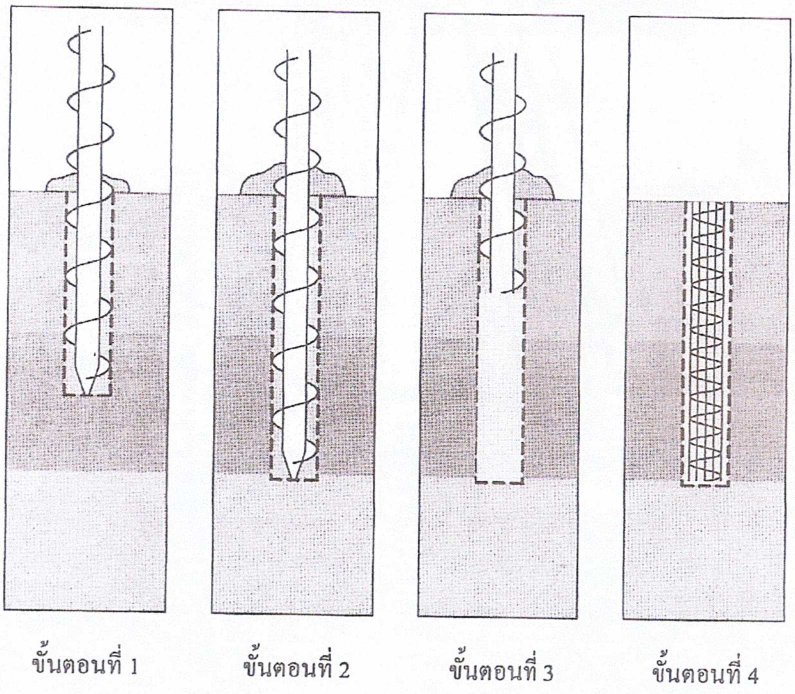


รูปที่4.7 ข แสดงลักษณะระบบการทำงานของลูกตุ้มตอกแบบ Hydraulic Hammer

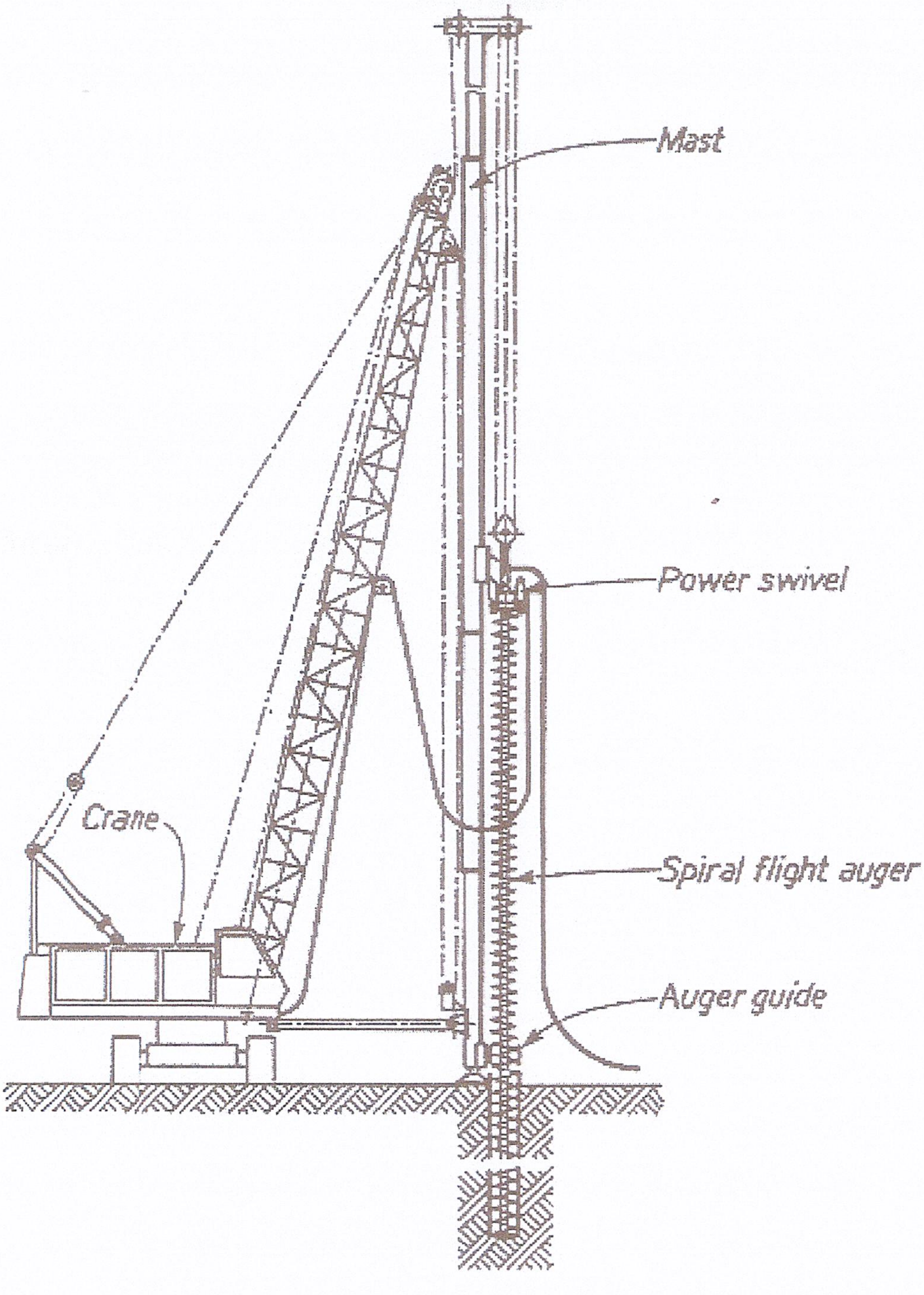
4.4.4 **Auger Pressed Pile** เทคนิคก่อสร้างนี้จะต้องเจาะสว่านนำลงไปก่อนเพื่อนำดินจากปลายเสาเข็มขึ้นมา ส่วนในการเจาะสว่านผ่านชั้นทรายจะมีการเติมสารละลาย เบนโทไนท์ผสมกับโพลิเมอร์ เพื่อที่จะให้สว่านเจาะทรายขึ้นมาได้ ดังนั้นหากหากทำการ Auger จนถึงปลายเสาเข็มกำลังรับน้ำหนักที่ปลายเข็ม (End Bearing Capacity) จะลดลงเนื่องจากดินที่ปลายเสาเข็มถูกรบกวน และดินที่ปลายเข็มไม่ได้ถูกอัดตัวให้แน่นมากนัก จึงมีการเพิ่มประสิทธิภาพของกำลังรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็มโดยวิธี

1. Fully Auger with Press into Sand layer ก่อสร้างโดยการเจาะดินด้วยสว่าน และกดเสาเข็มตามสลับกันจนถึงระดับความลึกสุดท้ายที่ต้องการ โดยพยายามควบคุมให้ Auger ถึงปลายชั้นดินเหนียวต่อกับชั้นทรายโดยพยายามมิให้ Auger ถึงชั้นทราย เพื่อป้องกันการไหลขึ้นของน้ำใต้ดิน จากนั้นจึงทำการกดเสาเข็มลงไปประมาณ 0.5 ถึง 1.0 เมตร ลงในชั้นทราย เพื่อให้ปลายเข็มจมอยู่ในชั้นทราย เมื่อเอาสว่านออกพร้อมทำการเติมน้ำให้เต็ม

2. Auger Press with Final Drive ทำการก่อสร้างโดยวิธี Auger Press ลงไปถึงชั้นดินเหนียวก่อนจะถึงชั้นทรายประมาณ 0.5 ถึง 1.0 เมตร แล้วทำการตอกส่งเสาเข็มลงไปในชั้นดินทราย โดยการตอกเสาเข็มที่ความลึกสุดท้าย เป็นการเพิ่ม End Bearing ให้เสาเข็ม



รูปที่4.8 แสดงวิธีการเจาะแบบ Auger Pressed Pile



รูปที่ 4.9 แสดงรูปเครื่องจักรที่ใช้ในการทำเสาเข็มแบบ Auger Pressed Pile

4.5 ขั้นตอนการตอกเสาเข็ม

ในโครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการตอกโดยเครื่องจักรชนิด Hydraulic Hammer ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนโดยสังเขป ดังนี้

1. ทำการยกเสาเข็มขึ้นตั้งโดยใช้ รถ Hydraulic Hammer ยกขึ้นให้ลอยขึ้นจากพื้น

รูปที่ 4.10 แสดงรถตอกโดยใช้ Hydraulic Hammer

รูปที่ 4.11 แสดงการยกเสาเข็มขึ้นตั้ง

2. เมื่อเสาเข็มได้ดิ่งแล้วทำการวางเสาเข็มลงบนดินเสาเข็มจะจมด้วยน้ำหนักตัวของมันเองในระยะนึงจากนั้นจึงทำการตอกเสาเข็มโดยใช้ Hydraulic Hammer

รูปที่ 4.12 แสดงการใช้กำลังคนในการปรับเสาเข็มให้ได้ตามจุดที่ต้องการตอก

รูปที่ 4.13 แสดงไม้ที่ใช้รองหัวเสาเข็ม

รูปที่ 4.14 แสดงการทำงานของเครื่องตอกระบบ Hydraulic Hammer

3. ทำการเชื่อมเสาเข็มอีกต้นที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากันด้วยลวดเชื่อม และควรจะเช็คลอยเชื่อมให้ดีก่อนเริ่มทำการตอก

รูปที่ 4.15 แสดงการต่อเสาเข็มโดยวิธีการเชื่อม

รูปที่ 4.16 แสดงเสาเข็มเมื่อทำการตอกเสร็จแล้ว

5 ทำการเชื่อมเหล็ก Dowel Bar เพื่อเตรียมที่จะนำไปใส่ในเสาเข็มโดยการหย่อนลงไป เมื่อถึงระยะที่ต้องการแล้วทำการยึดไว้ด้วยเหล็กอีกทีหนึ่ง

รูปที่ 4.17 แสดงการทำเหล็ก Dowel Bar

รูปที่ 4.18 แสดงการแต่งหัวเสาเข็ม

รูปที่ 4.19 แสดงการใส่เหล็ก Dowel Bar

4.6 การทดสอบเสาเข็ม

4.6.1 ขั้นตอนการทดสอบเสาเข็ม

การทดสอบนี้เป็นการหาความสามารถของเสาเข็มในการรับน้ำหนักบรรทุกโดยตรงอาจทำได้ทั้ง Static Load Test และ Dynamic Load Test ปกติมักใช้วิธีแรกเพราะสภาพการบรรทุกน้ำหนักใกล้เคียงกับการรับน้ำหนักจริงๆ ของเสาเข็ม ใช้อุปกรณ์น้อย สะดวกในการทำงาน และผลเป็นที่เชื่อถือได้ เป็นที่ยอมรับ ส่วน Dynamic Load Test ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ หรือตุ้มเหล็กขนาดใหญ่เพื่อให้แรงกระแทกกับตัวเสาเข็ม แล้วจึงแปลงกลับมาเป็นค่า Loading Capacity ของเสาเข็มนั้น ซึ่งยังเป็นวิธีการใหม่

4.6.1.1 การทดสอบเข็มโดยวิธี Static Load Test

วิธีการบรรทุกน้ำหนักแบบStatic Load Test ทั่วไปมี 2วิธีคือ วิธีใช้ระบบเสาเข็มสมอ และ ระบบวัสดุถ่วง วิธีแรกใช้อุปกรณ์หลัก ประกอบด้วย คานเหล็ก เสาเข็มสมอ และแม่แรงไฮดรอลิค (Hydraulic Jack) สำหรับกดเสาเข็ม ระบบนี้มักใช้กับเสาเข็มที่ตอกผ่านชั้นดินเหนียว เพราะเสาเข็มสมอต้องอาศัยแรงฝืดของดินเหนียวเป็นตัวต้านแรงถอน ฉะนั้น จึงใช้กับดินทรายไม่ได้ เพราะดินทรายมีแรงฝืดน้อยมากทำให้เสาเข็มสมอถอนขึ้นได้ สำหรับระบบหลังใช้ได้กับเสาเข็มทั้งที่ตอกในดินเหนียวและดินทราย เพราะไม่ได้ใช้เสาเข็มสมอแต่ใช้น้ำหนักบรรทุกเป็นตัวถ่วงวัสดุที่ใช้ถ่วงก็เช่น แท่งเหล็ก เหล็กเส้น ปูนซีเมนต์ โดยบรรทุกไว้บน Loading Platform ส่วน Hydraulic Jack ที่ใช้กดหัวเสาเข็มจะยังอยู่กับคานเหล็กข้างใต้ Loading Platform อีกทีหนึ่งมีวิธีดังนี้

1. น้ำหนักที่กระทำลงบนหน้าตัดของเสาเข็มทดสอบต้องตั้งฉากและอยู่ในแนวดิ่ง

2. น้ำหนักทดสอบสูงสุดเป็น 2 เท่า ของน้ำหนักที่ออกแบบเสาเข็มแต่ละต้น (DESIGN LOAD)

3. เพิ่มน้ำหนักทดสอบเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 ของน้ำหนักที่ออกแบบ

4. ในแต่ละขั้นตอนให้รักษาน้ำหนักไว้จนครบ 1 ชั่วโมง อ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวที่ 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40 และ 60 นาที ตรวจสอบอัตราการทรุดตัวของเสาเข็ม ซึ่งต้องไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จึงจะเพิ่มน้ำหนักขั้นตอนต่อไป ในกรณีที่รักษาน้ำหนักไว้ครบ 1 ชั่วโมงแล้ว อัตราการทรุดตัวของเสาเข็มยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้รักษาน้ำหนักนั้นไว้อีก 1 ชั่วโมง อ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทุก ๆ 20 นาที เมื่อครบชั่วโมงที่ 2 แล้ว อัตราการทรุดตัวของเสาเข็มไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ก็ให้เพิ่มน้ำหนักขั้นตอนต่อไปได้ หากอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงอีก ให้ถือว่าการทดสอบนั้นล้มเหลว หรือถึงจุดวิบัติแล้ว

5. เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึง 2 เท่าของน้ำหนักที่ออกแบบแล้ว และเสาเข็มทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติให้คงน้ำหนักไว้ 24 ชั่วโมง อ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวตามช่วงเวลาที่กำหนด หากอัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้ดำเนินการตามข้อ 4 แต่ถ้าอัตราการทรุดตัวยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ก็ให้รักษาน้ำหนักนั้นไว้อีก 24 ชั่วโมง อ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวตามช่วงเวลาที่กำหนดต่อไปอีก ถ้าอัตราทรุดตัวไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้ดำเนินการตามข้อ6 หากอัตราการทรุดตัวในช่วง 24 ชั่วโมงหลัง ยังสูงกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ให้ถือว่าการทดสอบนั้นล้มเหลว หรือถึงจุดวิบัติแล้ว

การอ่านและบันทึกค่าการทรุดตัวช่วง 24 ชั่วโมงแรก และ 24 ชั่วโมงหลัง ดังนี้

ทุก ๆ 20 นาที สำหรับช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรก

ทุก ๆ 1 ชั่วโมง สำหรับช่วงเวลา 10 ชั่วโมงต่อมา

ทุก ๆ 2 ชั่วโมง สำหรับช่วงเวลาที่เหลือ

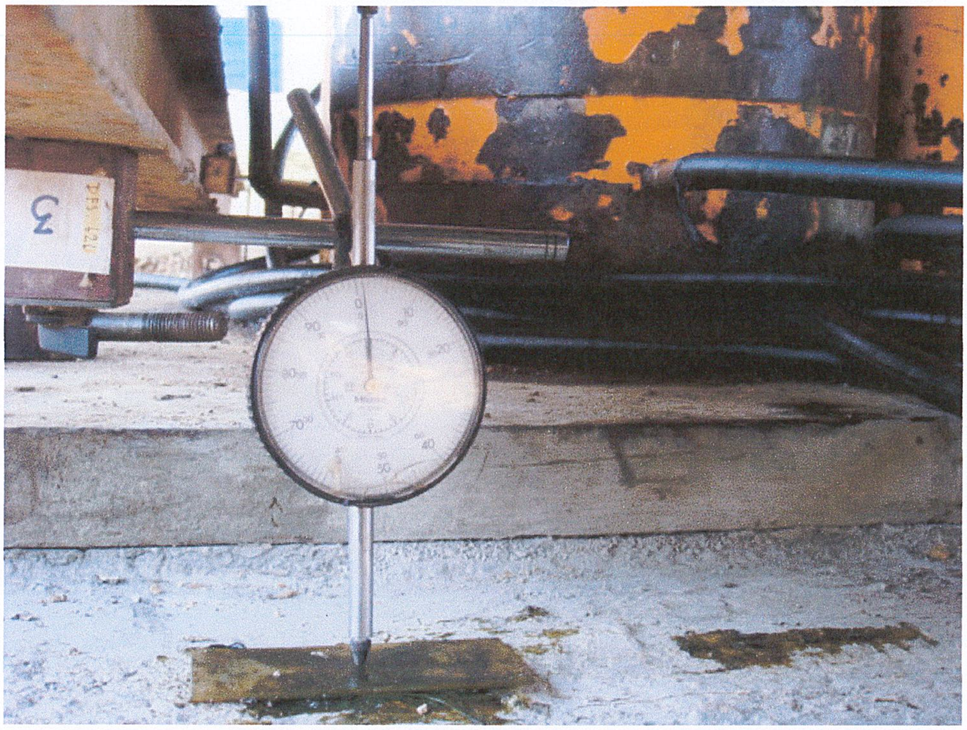
6. ทำการลดน้ำหนักทุก ๆ ชั่วโมงให้เหลือเป็นขั้นตอนดังนี้ ร้อยละ 150, 100, 50 และ 0 บันทึกการคืนตัวทุก ๆ 10 นาที และเมื่อลดน้ำหนักหมดแล้ว ให้อ่านต่อไปทุก ๆ ชั่วโมง จนครบ 24 ชั่วโมง หรือการคืนตัวคงที่

7. ต้องอ่านค่าจากมาตรวัดการทรุดตัวทุกตัวและทุกครั้งก่อนและหลังที่มีการเปลี่ยนน้ำหนัก

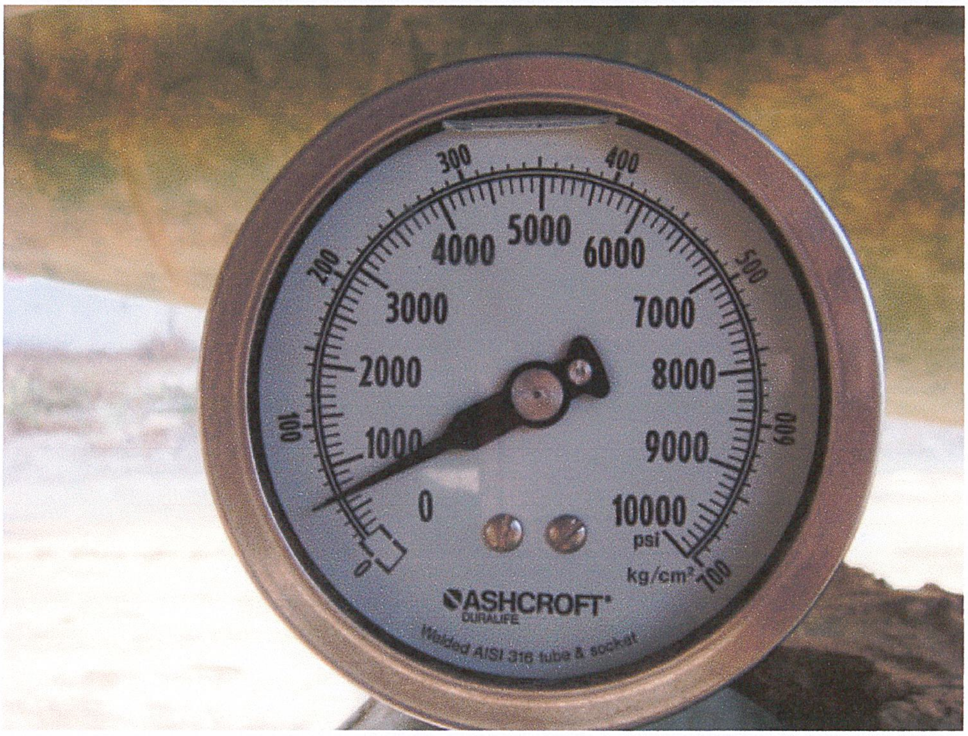
รูปที่ 4.20 ก แสดงการทำการติดตั้งชุดทดสอบ

รูปที่ 4.20 ข แสดงการทำการติดตั้งชุดทดสอบ

รูปที่ 4.21 แสดงเครื่อง Hydraulic Jack



รูปที่ 4.22 แสดงเกจวัดค่าการทรุดตัว



รูปที่ 4.23 แสดงเกจความดันของปั้ม Hydraulic

รูปที่ 4.24 แสดงการใส่ Hydraulic Jack เพิ่มเข้าไปในชุดทดสอบ

4.6.1.2 การทดสอบเข็มโดยวิธี Dynamic Load Test

การทดสอบโดยวิธี Dynamic Load Test นี้ เหมาะสำหรับการตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีปัญหา และไม่สามารถทดสอบแบบธรรมดาได้ เช่น เสาเข็มร้าว หรือสงสัยเสาเข็มหัก หรือเสาเข็มเอียงเกินกว่ากำหนด หรือเสาเข็มที่มีประวัติการตอกหรือการทำไม่ดี

หลักการคือ ใช้ปั้นจั่นยกตุ้มน้ำหนักแล้วปล่อยตุ้มให้กระแทกหัวเสาเข็ม พลังงานจากการกระแทกจะทำให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือน ซึ่งเมื่อสะท้อนเข้าเครื่อง Oscilloscope จึงแปรเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความความเร็วกับเวลา

4.6.2 ข้อกำหนดของเสาเข็มต้นที่จะทดสอบ

1. ลักษณะขนาดและความยาวของเสาเข็มต้องเหมือนกับเสาเข็มที่ใช้ตอกจริงทุกอย่าง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ตอกต้องเหมือนกับที่ใช้จริงด้วย

2. ถ้าตำแหน่งของเสาเข็มต้นที่จะทดสอบอยู่นอกผังการตอกควรอยู่ใกล้กับตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจดิน ซึ่งทราบคุณสมบัติของดินแล้วหรือต้องเป็นตำแหน่งที่คาดว่าชั้นดินตรงจุดนั้นจะเหลวที่สุด

3 . ถ้าจะทำการทดสอบเสาเข็มต้นที่ตอกไปแล้วในผังต้องทดสอบต้นที่

- อยู่ในบริเวณที่คาดว่ามีชั้นดินเหลวที่สุด
- เสาเข็มหนีศูนย์มากที่สุด
- มีค่า BLOW COUNT ต่ำหรือน่าสงสัย

4. เสาเข็มต้นทดสอบที่ตอกใน CLAY หรือ SILT ต้องรออย่างน้อย 7 วัน จึงจะเริ่มการทดสอบน้ำหนัก แต่ถ้าตอกในทรายให้รออย่างน้อย 3 วัน

5. บันทึกการตอกเสาเข็มตาม การบันทึกรายงานการตอกเสาเข็ม พร้อมทั้งค่าทรุดตัวและคืนตัวสำหรับการตอก 10 ครั้งสุดท้าย กราฟแสดงการทรุดตัวและคืนตัวของเสาเข็ม ถ้าใช้เสาเข็มสมอก็ให้บันทึกค่าการทรุดตัวสำหรับการตอก 10 ครั้งสุดท้าย ของการตอกเสาเข็มสมอทั้งหมดด้วย

4.6.3 เกณฑ์การตัดสินที่ใช้ในการทดสอบ

1. ในระหว่างการทดสอบถ้าปรากฏว่าการทรุดตัวต่าง ๆ เกิดขึ้นเร็วหรือเกินกว่าที่กำหนด หรือไม่สิ้นสุดลงภายในเวลาที่กำหนดไว้ ให้ถือว่าการทดสอบล้มเหลวหรือถึงจุดวิบัติแล้ว

2. เมื่อดำเนินการทดสอบแล้ว ปรากฏว่าค่าการทรุดตัวสุทธิทั้งหมด (TOTAL NET SETTLE-MENT) หน่วยเป็นมิลลิเมตร ไม่เกินกว่า 0.25 คูณด้วย น้ำหนักที่ออกแบบ หน่วยเป็นเมตริกตัน แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินกว่า 25 มิลลิเมตร และกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการทรุดตัวไม่แสดงถึงจุดวิบัติก็ให้ถือว่าผลการทดสอบนี้พอกับความต้องการแล้ว

4.7 ผลกระทบจากการตอกเสาเข็ม

การตอกเสาเข็มในดินเหนียว (Cohesive Soil)

1. เกิดปริมาตรเสาเข็มแทนที่ (Pile Volume displacement) ทำให้ดินบริเวณพื้น 2-5 เท่าของเส้าผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มเสียรูป (remold) และ pore pressure มีค่าเพิ่มขึ้นและจะกลับคืนประมาณ 30วันค่า Shear Strength และ Skin resistanceในบริเวณนี้จะเพิ่มขึ้เนื่องจากผลของ Consolidation เมื่อ pore pressure ลดลง

2. เมื่อเสาเข็มตอกผ่านชั้นกรวด ไปยังชั้นดินเหนียว เข็มจะพาเอากรวดเข้าไปในดินเหนียว ลึกประมาณ 20 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ซึงจะมีค่า Skin friction

3. เสาเข็มเมื่อตอกผ่านชั้นดินเหนียวแข็ง ที่อยู่ด้านใต้ของชั้นดินเหนียวย่อย ชั้นดินเหนียวแข็งจะแตกและดินเหนียวย่อยจะเข้าไปในรอยร้าว เนื่องจากการตอกเสาเข็มในความลึกประมาณ 20 เท่าของเส้นผ่านศูนยกลางเสาเข็ม ผลกระทบนี้ไม่ร้ายแรง เพราะดินอัดเข้าไปในรอยแตก ซึ่งจะทำให้ค่า adhesion สูงกว่าดินเหนียวย่อย

4. เสาเข็มตอกในดินเหนียวแข็งจะเกิดรอยแตกที่ผิวหน้าและด้านข้างของเสาเข็ม ลึกประมาณ 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ทำให้ค่า adhesion ในช่วงนี้ไม่ปกติแล้วในความลึก 1.2-1.8 เมตร จากหัวเสาเข็มจะไม่คิดค่า Skin resistance capacity

5. เมื่อตอกเสาเข็มลงในดินเหนียว โดยทั่วไปจะทำให้เกิดการปูดของผิวดิน (Heave) หรือเกิดการแทนที่ การปูดขึ้นของดินหากเป็น plastic Soil แล้วอาจสูงขึ้นเป็นฟุตได้ การปูดของดินนี้อาจจะทำให้เกิดการทรุดตัวติดตามมาก็ได้ หลังจากการตอกเสาเข็มเสร็จแล้ว เสาเข็มที่ถูกยกตัวลอยขึ้น เพราะการปูดของดินจะต้องตอกย้ำลงไป และเพื่อเป็นการป้องกันการปูดของดินการตอกเสาเข็มควรเริ่มเป็นแนวไป

8 ข้อเสนอแนะและข้อสังเกตุบางประการณ์ในการตอกเสาเข็ม

ข้อสังเกตุของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงสามารถสังเกตุได้ดังนี้

1. เสาเข็มที่ใช้ควรอยู่ในสภาพที่ดีไม่มีการแตกหักหรือชำรุดมาก่อน ถ้าเป็นไปได้ควรได้รับการรับรองมาตรฐานจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) โดยมีเครื่องหมายรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ประทับอยู่ และมีการระบุถึงวัน / เดือน / ปี ที่ทำการผลิตว่าผลิตออกมาเมื่อใด ถ้าเป็นไปได้เสาเข็มที่ใช้ควรจะมีอายุการผลิต 4 สัปดาห์ขึ้นไป เพราะเสาเข็มที่เพิ่งผลิตออกมาใหม่ คอนกรีต ที่ใช้ทำเสาเข็มยังบ่มตัวไม่เข้าที่ ความแข็งแกร่งยังมีน้อยอาจเกิดการชำรุดหรือแตกหักระหว่างการตอกได้

2. เสาเข็มที่มีขนาดยาวอาจใช้เสาเข็มขนาดสั้น 2 ท่อนมาเชื่อมต่อกันได้เพื่อความสะดวกในการตอกหรือความสะดวกในการขนส่ง ทั้งนี้ เสาเข็มที่นำมาเชื่อมต่อกันจะต้องมีลักษณะและขนาดของพื้นที่หน้าตัดเหมือนกัน กรรมวิธีในการตอกคือจะทำการตอกเสาท่อนแรกลงไปในดินจนเกือบมิดก่อน แล้วใช้ปั้นจั่นดึงเสาท่อนที่สองขึ้นมาจรดกับเสาท่อนแรกในแนวตรง แล้วทำการเชื่อมเหล็กที่ขอบเสาตรงรอยต่อให้ติดกัน การเชื่อมจะต้องเชื่อมอย่างประณีตโดยรอบให้เสาทั้ง 2 ท่อนต่อกันอย่างสนิทและเป็นแนวเส้นตรง จากนั้นจึงใช้ปั้นจั่นตอกลงไปต่อ

3. การตอกเสาเข็มให้ลึกถึงระดับ การจะดูการตอกเสาเข็มในแต่ละจุดเสร็จสิ้นเรียบร้อยได้ผลตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่นั้น มิใช่ดูแต่เพียงว่าเสาเข็มตอกจมมิดลงไปในดินเท่านั้น แต่จะต้องดูจำนวนครั้งในการตอกด้วย (blow count) ว่าเสาเข็มแต่ละต้นใช้ จำนวนครั้งในการตอกเท่าใดจนเสาเข็มจมมิดดิน ถ้าจำนวนครั้งในการตอกน้อยเกินไป คือสามารถตอกลงไปได้ง่าย แสดงว่าความแน่นของดิน ที่จุดนั้นที่จะใช้ในการรับน้ำหนักยังไม่เพียงพอ อาจจะต้องมีการต่อเสาเข็มและตอกเพิ่มลงไปอีกจนกว่าจำนวนครั้งในการตอกจะเป็นไปตามที่กำหนดในทางตรงกันข้าม ถ้าจำนวนครั้งในการตอกมากเพียงพอแล้วแม้ว่าเสาเข็มที่ตอกนั้น จะยังจมไม่มิดก็อาจแสดงว่าความแน่นของดินที่จุดนั้นที่จะใช้ในการรับน้ำหนักเพียงพอแล้ว ไม่จำเป็นจะตอกต่อลงไปอีก เพราะการฝืนตอกต่อไปอาจทำให้เสาเข็มแตกหักหรือชำรุดได้ ส่วนจำนวนครั้งในการตอกเสาเข็มแต่ละต้นควรจะเป็นเท่าใดนั้นวิศวกรจะเป็นผู้กำหนด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดของพื้นที่หน้าตัด และความยาวของเสาเข็มนั้น ๆ

4. ปั้นจั่นที่นำมาใช้ในการตอกเสาเข็มต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และมีความกว้างของฐานปั้นจั่นพอที่จะมีการทรงตัวได้ดีเมื่อยกเสาเข็มขึ้นตั้ง ชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นตัวปั้นจั่นต้องไม่คดงอหรือแตกร้าว ตะเกียบคู่หน้าของปั้นจั่นต้องเป็นเส้นตรงและไม่หลวมคลอน

5. เครื่องยนต์ที่ใช้บนปั้นจั่นต้องมีสภาพสมบูรณ์สามารถให้กำลังได้โดยสม่ำเสมอห้ามล้อครัทช์และที่ห้ามการคลายตัวของเชือกลวดต้องอยู่ในสภาพที่ใช้การได้โดยปลอดภัย เชือกลวดต้องมีขนาดพอเหมาะกับขนาดของน้ำหนักเสาเข็มและตุ้มที่ยก และไม่สึกหรอจนส่อให้เห็นว่าจะเกิดอันตรายได้โดยง่าย

6. พื้นที่ที่รองรับปั้นจั่นต้องเสริมให้แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักปั้นจั่น และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยขณะตอกปั้นจั่นต้องไม่โยกคลอนหรือทรุดตัวลงจนทำให้เสียแรงดิ่งของตะเกียบบังคับเสาเข็มหรือเกิดแรงเบียดเสาเข็ม

7. ถ้าใช้หมวกเหล็กครอบหัวเสาเข็มในการตอกเสาเข็มหมวกต้องมีขนาดพอเหมาะกับหัวเสาเข็ม คือไม่ได้โตกว่าหัวเสาเข็มเกิน 1 เซนติเมตร และภายในหมวกให้ใช้ไม้เนื้ออ่อนรองหัวเสาเข็มได้หนาไม่เกิน 3 เซนติเมตร และเมื่อไม้รองในหมวกแตกยุ่ยจนทำให้ประสิทธิภาพของการตอกลดลง ต้องเปลี่ยนไม้รองใหม่ หมวกเหล็กจะต้องมีที่บังคับกับตะเกียบด้วย

8. ตุ้มที่ใช้ตอกเสาเข็มต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของน้ำหนักเสาเข็ม แต่ต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 เมตริกตัน

9. ก่อนตอกเสาเข็มต้องปักหมุดแสดงตำแหน่งของเสาเข็มที่จะตอกแต่ละต้นให้ชัดเจน และต้องมีเครื่องบังคับเสาเข็มที่แข็งแรงพอ เพื่อว่าเมื่อยกเสาเข็มขึ้นตั้งในที่บังคับเสาเข็ม ปลายเสาเข็มต้องอยู่ตรงศูนย์เสาเข็มที่ทำเครื่องหมายไว้ โดยเครื่องบังคับเสาเข็มต้องไม่เคลื่อนที่หรือหักพังไปจนกว่าปลายเสาเข็มจะจมลงไปในดินแล้วไม่น้อยกว่า 6 เมตร

10. การตอกเสาเข็มต้องพยายามจัดให้แรงกระทบของตุ้มที่มีต่อหัวเสาเข็ม ถ่ายกำลังไปตามแนวเส้นแกนของเสาเข็ม หากอุปกรณ์ในการตอกเสาเข็มหลวมคลอนก่อให้เกิดแรงกระทบเสาเข็มเบนออกนอกแนวเส้นแกนจนเสาเข็มสะบัดคลอนไปในทางราบแล้วต้องหนุนการตอกเสาเข็มทันที จนกว่าจะมีการแก้ไขสาเหตุที่ทำให้เสาเข็มสะบัดเสียก่อน หากแก้ไขไม่ได้ต้องเปลี่ยนปั้นจั่นทั้งชุด

11. เมื่อเสาเข็มจมเสมอระดับดินแล้วแต่ยังไม่ได้ระดับ ให้ใช้เสาส่งวางบนหัวเสาเข็มได้ โดยที่เสาส่งต้องยาวไม่เกินกว่าระยะที่หัวเสาเข็มจมดินบวกด้วย 60 เซนติเมตร ในการใช้เสาส่งปลายเสาส่วนที่วางอยู่บนหัวเสาเข็มต้องมีที่บังคับ ไม่ให้เคลื่อนหลุดออกนอกแนวหัวเสาเข็ม ในขณะตอกให้ใช้วัสดุรองหัวเสาเข็มด้วยไม้เนื้ออ่อนหนาไม่เกิน 3 เซนติเมตร ที่บังคับเสาส่งต้องมั่นคงจนไม่โยกคลอนในขณะตอก และในกรณีใช้หมวกครอบหัวเสาส่งต้องไม่มีวัสดุรองทั้งภายในและภายนอกหมวกครอบ สำหรับคุณสมบัติของเสาส่งอยู่ในดุลพินิจของวิศวกรของผู้ว่าจ้าง

12. การตอกเสาเข็มต้องตอกด้วยความระมัดระวัง รวมทั้งต้องจัดทำหาวิธีป้องกันมิให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อบุคคลอื่นหรือทรัพย์สินของอาคารข้างเคียง ความเสียหายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอันมีสาเหตุเนื่องมาจากการตอกเสาเข็มแล้ว ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้ชดใช้ความเสียหายดังกล่าวนั้นแต่ผู้เดียว

13. ขณะตอกเสาเข็มถ้าปรากฏว่าเสาเข็มหักหรือเกิดรอยแตกร้าวด้วยเหตุประการใด ๆ ซึ่งสามารถมองเห็นได้ให้สกัดส่วนที่แตกร้าวหรือหักออกแล้วหล่อคอนกรีตใหม่ เมื่อคอนกรีตได้กำลังตามที่รายการกำหนดแล้วจึงจะทำการตอกต่อไปได้ หรืออนุญาตให้ถอนเสาเข็มต้นที่ชำรุดขึ้นแล้วใช้เสาเข็มต้นใหม่ที่ดีตอกลงแทนที่ได้ ในกรณีที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ทั้งสองประการให้ผู้รับจ้างรายงานให้ผู้ว่าจ้างทราบเพื่อพิจารณาสั่งการต่อไป

บทที่ 5

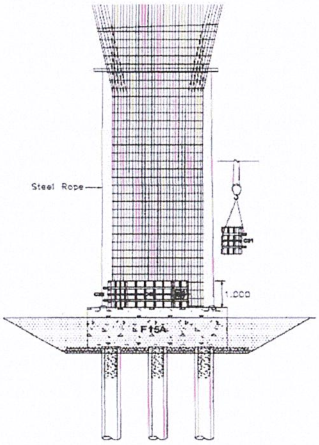
เสาและคานขวาง

5.1 ข้อมูลเสาในโครงการ

โครงการทางพิเศษรามอินทรา-วงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานคร ใช้เสาเดี่ยวรองรับโครงสร้างส่วนบน เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งใช้กำลังของคอนกรีตเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ลักษณะของเสาเป็นเสารูปวงรีมีขนาดของด้านกว้าง 1.2 เมตร ขนาดของด้านยาว 2.5 เมตร ความสูงของเสาในโครงการมี 3 ขนาดคือ 10.502 เมตร 15.235 เมตร และ 19.318 เมตร

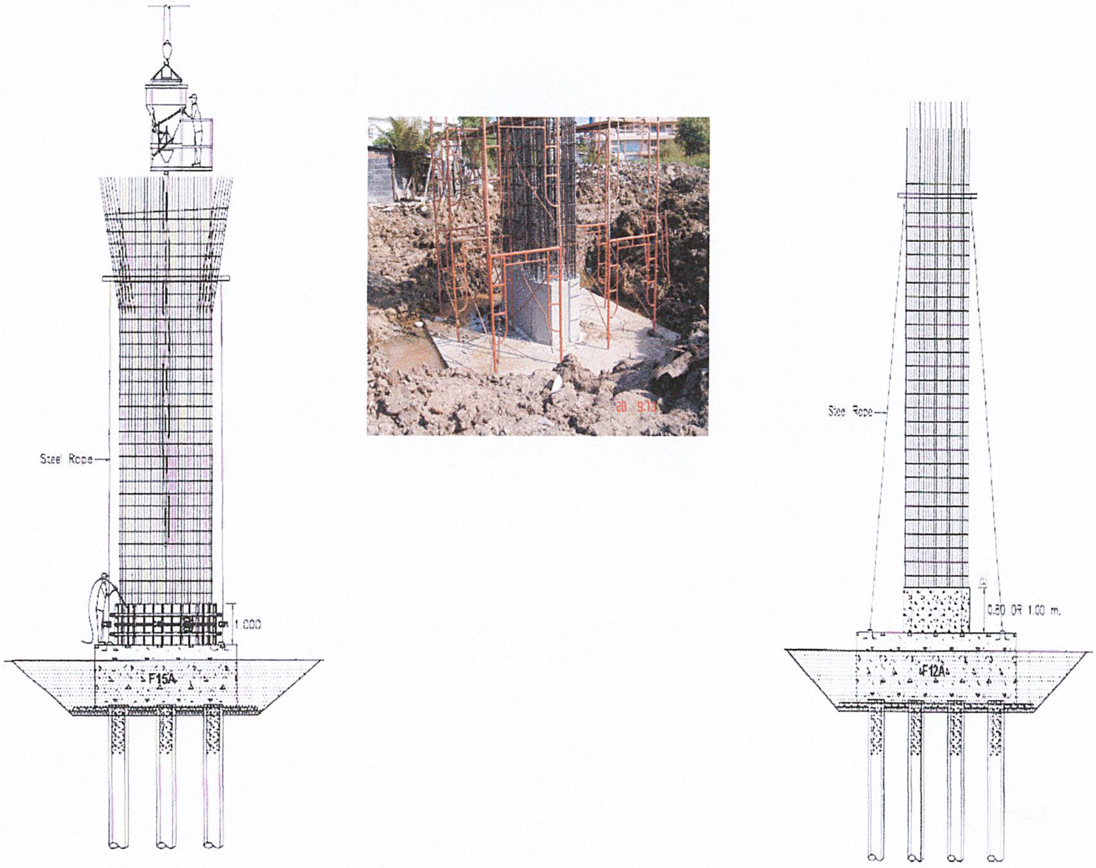
5.2 ขั้นตอนการก่อสร้างเสา

1. ติดตั้งเหล็กเสริม ทำการยึดโครงเหล็กเสริมกับพื้นด้วยสลิงเพื่อตรึงให้เหล็กเสริมมั่นคงพร้อมทั้งเข้าแบบ Kicker Column (ตามแบบสูง 1 เมตร)



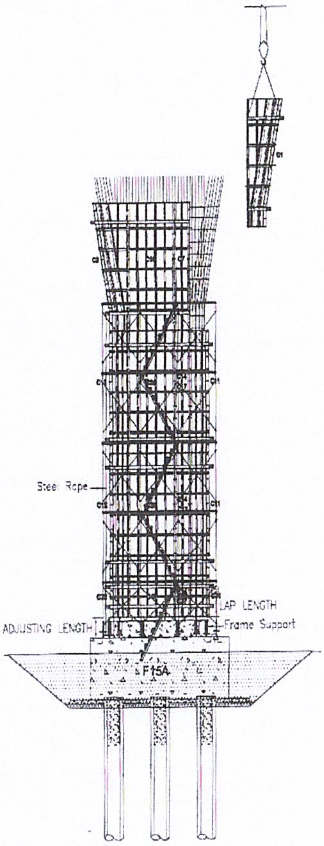
รูปที่ 5.1 แสดง แบบหล่อKicker Column

2. เทคอนกรีตบริเวณ Kicker Column ใช้กำลังคอนกรีต300กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเทจากด้านบนผ่านท่อเทคอนกรีต ระหว่างเทใช้เครื่องจี้เขย่าคอนกรีต จากนั้นถอดแบบ Kicker Column หลังจากเทคอนกรีต48 ช.ม. ทำการบ่มคอนกรีตด้วยการหุ้มด้วยพลาสติก



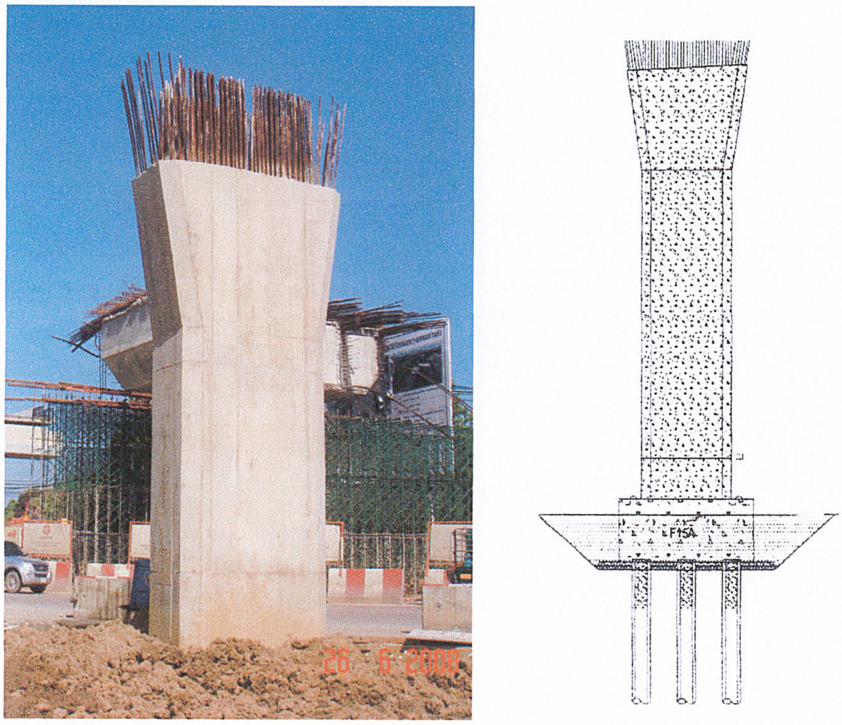
รูปที่ 5.2 แสดง Kicker Column

3. ติดตั้งนั่งร้านสำหรับติดตั้งแบบหล่อสำหรับเสาส่วนบน ขาของนั่งร้านที่วางบนฐานรากควรหาแผ่นไม้มารองเพื่อป้องกันการเสียหายของฐานราก ส่วนแบบหล่อเสาติดตั้งอยู่บนฐานรองรับทำด้วยเหล็ก และติดตั้ง Jack Base เพื่อปรับระดับ และความเอียงของแบบหล่อเสา จากนั้นติดตั้งท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว เพื่อติดตั้ง Shear Cone สำหรับนั่งร้านในการประกอบแบบหล่อช่วงถัดไป



รูปที่ 5.3 แสดงการเข้าแบบเสา (Column)

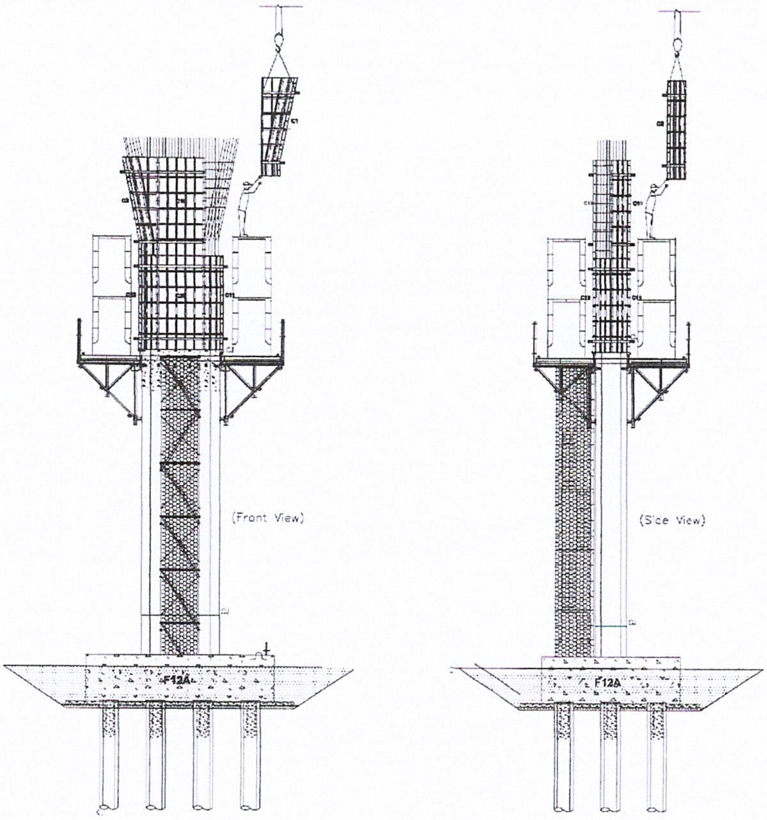
4. ขัดผิวแบบหล่อด้านในด้วยน้ำยาขัดแบบเพื่อทำให้แกะแบบง่ายและทำการเทคอนกรีต โดยเทจากด้านบนผ่านท่อเทคอนกรีต ระหว่างเทใช้เครื่องจี้เขย่าคอนกรีต(เทจนสุดความสูงเสาสำหรับเสาสูง 10.5 เมตร ถ้าสูงมากว่า 10.5 เมตร ให้แบ่งเท 2 ครั้งสำหรับเสาสูง15 เมตร และ 3 ครั้งสำหรับเสาสูง 19 เมตร) จากนั้นถอดแบบหลังจากเทคอนกรีต 5 วัน ทำการบ่มคอนกรีตด้วยการหุ้มด้วยพลาสติก หรือ บ่มด้วยการพ่นน้ำยา



รูปที่ 5.4 แสดงการเทคอนกรีตและการบ่มคอนกรีต

สำหรับเสาสูง 15 เมตร และ 19 เมตร

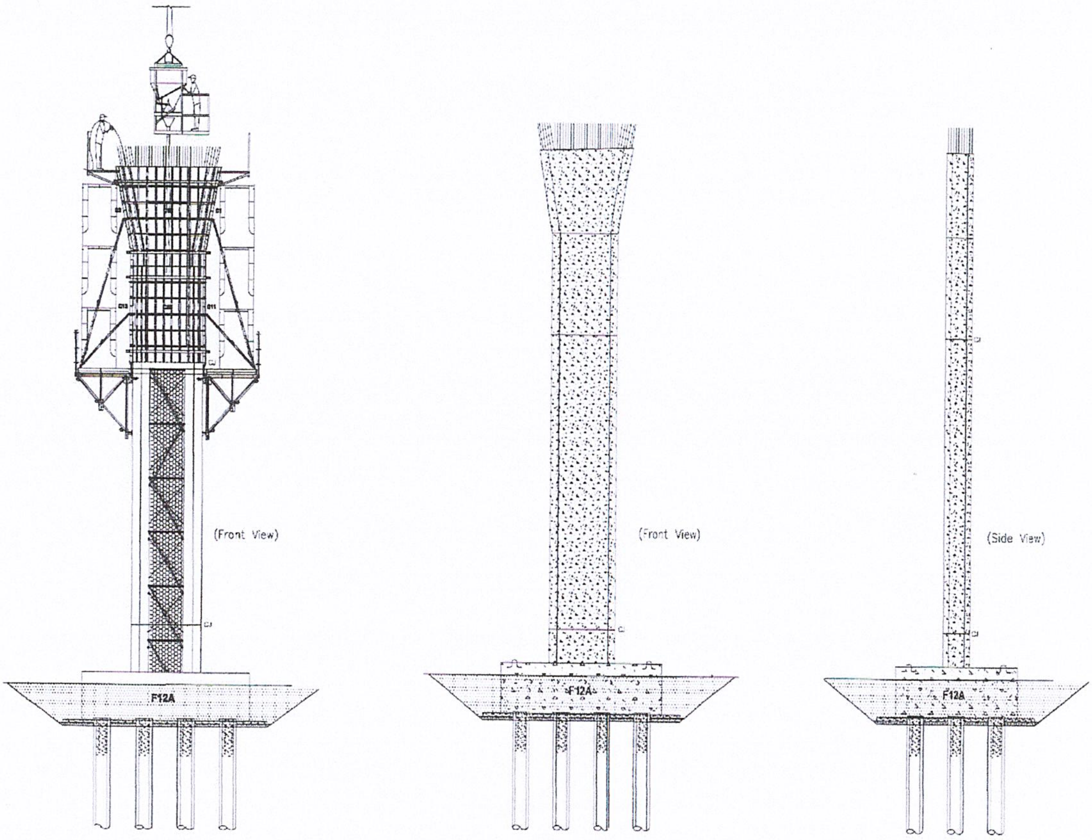
5. ติดตั้งนั่งร้านสำหรับติดตั้งแบบหล่อสำหรับเสาส่วนบน แบบหล่อเสาติดตั้งอยู่บนนั่งร้าน ติดตั้ง Jack Base เพื่อปรับระดับ และความเอียงของแบบหล่อเสา



รูปที่ 5.5 แสดงการเข้าแบบสำหรับเสาสูง

รูปที่ 5.6 แสดงชุดของระบบนั่งร้านส่วนบน

6. ทำการเทคอนกรีต โดยเทจากด้านบนผ่านท่อเทคอนกรีต ระหว่างเทใช้เครื่องจี้เขย่าคอนกรีต จากนั้นถอดแบบหลังจากเทคอนกรีต 5 วัน ทำการบ่มคอนกรีตด้วยการหุ้มด้วยพลาสติก หรือ บ่มด้วยการพ่นน้ำยา



รูปที่ 5.7 แสดงการเทคอนกรีตของเสาสูงและการบ่มคอนกรีต

5.3 ลักษณะของคานขวาง

คานขวาง (Cross Beam) คือ คานรูปตัวทีหงาย วางอยู่บนเสาตอม่อ มีบ่าสองข้างสำหรับรับ Beam Girder ขนาดความยาวและความกว้างของคานขวาง (Cross Beam) ขึ้นอยู่กับว่าคานขวาง (Cross Beam)ตัวนั้นรับพื้นถนนกว้างกี่ช่องจราจร (Lane) คานขวาง (Cross Beam)จะใช้รับ Beam Girder ขนาดความยาว 30 เมตร แต่ถ้าช่วงที่ทางด่วนต้องพาดผ่านถนน มีความกว้างเสาถึงเสาเกิน 30 เมตร คานขวาง (Cross Beam)จะถูกออกแบบให้กลายเป็นคานยื่น (Cantilever Deck) ทำให้มีความยาวช่วงเสาถึงเสาที่สามารถพาดผ่านถนนไปได้

5.4 ขั้นตอนการก่อสร้างคานขวาง

1. ติดตั้งนั่งร้าน Temporary Tower เพื่อรับและค้ำยันแบบหล่อคานขวาง (Cross Beam) บริเวณขาของนั่งร้านTemporary Tower นั้นติดตั้ง Sand Jack เพื่อปรับระดับและความเอียงของ Temporary Tower ซึ่งขาของนั่งร้าน Temporary Tower ทั้งสองข้างนั้นจะวางอยู่บน ฐานรากของตอม่อนั้นๆ ในกรณีที่คานขวาง (Cross Beam) มีความยาวมาก ต้องเพิ่มนั่งร้านขึ้นขาของนั่งร้านที่เพิ่มขึ้นมาจะเลยบริเวณฐานรากออกไป จึงจำเป็นต้องสร้างฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กขึ้นมาเพื่อรับขานั่งร้านตัวนั้นๆ

รูปที่ 5.8 แสดงการติดตั้งนั่งร้านของคานขวาง

2. ติดตั้งตัว Main Truss ซึ่งจะทำหน้าที่รับท้องแบบหล่อคานขวาง (Cross Beam) ตลอดความยาวคาน ก่อนที่จะติดตั้ง Main Truss จะต้องติดตั้ง Slope Wedge และ Screw Jack บน Temporary Tower เสียก่อนเพื่อปรับเพื่อปรับระดับและความเอียงของตัว Main Truss

รูปที่ 5.9 ก แสดงการติดตั้ง Main Truss เตรียมหล่อ Cross Beam

รูปที่ 5.9 ข แสดงการติดตั้ง Main Truss เตรียมหล่อ Cross Beam

3. ติดตั้งท้องพื้นเพื่อรับแบบหล่อคานขวาง (Cross Beam) จากนั้นติดตั้งแบบหล่อและเหล็กเสริมคอนกรีตได้

รูปที่ 5.10 ก แสดง การติดตั้งนั่งร้านเพื่อรองรับแบบหล่อคานขวาง

รูปที่ 5.10 ข แสดง การติดตั้งนั่งร้านพื้นเพื่อรองรับแบบหล่อคานขวาง

4. เทคอนกรีตพร้อมจี้เขย่าคอนกรีตด้วยเครื่อง การเทคอนกรีตทำได้โดยโดยเทจากด้านบนผ่านท่อเทคอนกรีต สามรถถอดแบบหล่อได้หลังเท 48 ช.ม. หลังถอดแบบต้องบ่มคอนกรีตด้วยการห่อพลาสติก และสามารถถอดนั่งร้านได้หลังจากเท 15 วัน

รูปที่ 5.11 แสดงการเทคอนกรีตโดยใช้เครื่องปั๊มคอนกรีตจากข้างล่างขึ้นข้างบน

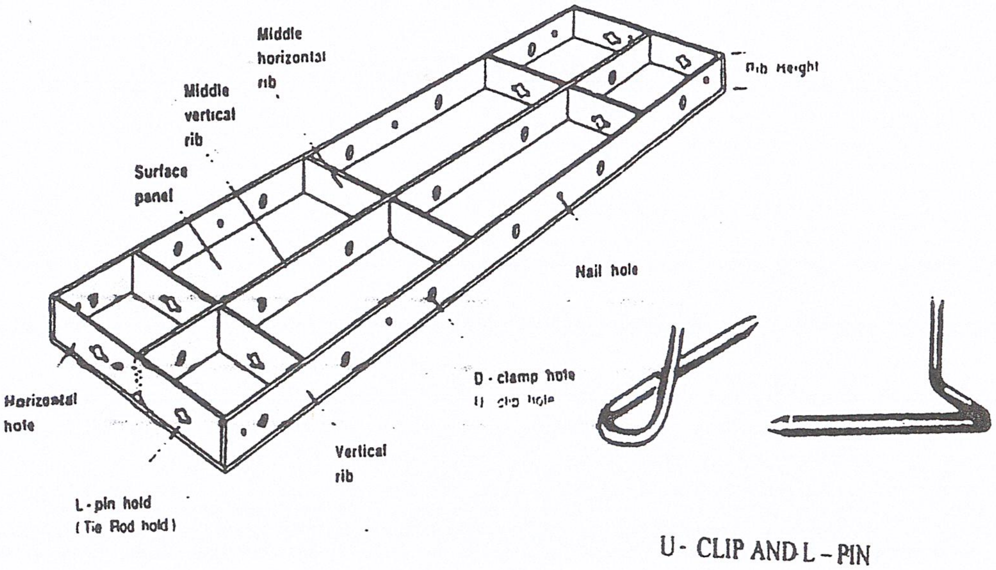
รูปที่ 5.12 แสดง Cross Beam

บทที่ 6
แบบหล่อเหล็ก

6.1 แบบหล่อเหล็ก Steel Form Work

เหล็ก เป็นวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้เป็นวัสดุแบบหล่อโดยเฉพาะในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ เหล็กสามารถใช้ประกอบเป็นส่วนต่างๆของแบบหล่อได้เกือบทุกส่วนตั้งแต่ส่วนแผ่นผิวของแบบหล่อ ส่วนเสริมความแข็งแรงของแผ่นผิว เช่น เคร่าหรือขอบ ส่วนยึดโยงและส่วนค้ำยันนั่งร้าน การใช้เหล็กเป็นวัสดุแบบหล่อสามารถเลือกใช้เหล็กตามรูปร่างและขนาดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด การเลือกใช้อาจแตกต่างกันไปโดยพิจารณาตามความเหมาะสมของส่วนต่างๆของแบบหล่อและการออกแบบแบบหล่อเพื่อรับแรงที่มากระทำ

การยึดเชื่อมเหล็กส่วนต่างๆในแต่ละแผงหรือแต่ละส่วนของชิ้นแบบหล่อนิยมใช้วิธีการเชื่อมเป็นระยะๆที่สม่ำเสมอสำหรับแผ่นผิวและเชื่อตลอกแนวสำหรับส่วนอื่นๆ ข้อควรระวังสำหรับการจัดทำแบบหล่อเหล็กคือ การเชื่อมต้องระวังในการเลือกความหนาของเหล็กโดยเฉพาะแผ่นผิวต้องให้หนาพอเพียงเพื่อที่จะมิให้เกิดการบิดงอจากการเชื่อม การประกอบหล่อแต่ละแผ่นเข้าด้วยกันอาจจะใช้ สกรูและสลักเกลียว ลิ่ม เหล็กยึดรั้งหรือเหล็กรัด ตามความเหมาะสมในการทำการงานประกอบติดตั้ง และการถอดแบบหล่อ



รูปที่ 6.1 แบบหล่อเหล็กและอุปกรณ์ในการประกอบ

6.2 ข้อดีและข้อเสียของแบบหล่อเหล็ก

แบบหล่อเหล็กมีความสามารถในการนำกลับมาใช้ซ้ำสูง จึงมักใช้เป็นแบบหล่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป แผงแบบหล่อมาตรฐานที่ทำขึ้นใช้ในสถานที่ก่อสร้าง และแบบหล่อสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายและให้เช่าในท้องตลาด มีทั้งที่ผลิตจากต่างประเทศและในประเทศ

6.2.1 ข้อดีของแบบหล่อเหล็ก

1. ความทนทานสูง จำนวนการใช้ซ้ำสูงมาก

2. ผิวไม่ดูดซึมน้ำ ผิวคอนกรีตที่หล่อออกมาจะเรียบ ไม่ต้องฉาบปูนทับ

3. สามารถทำให้เป็นรูปร่างต่างๆ โดยไม่มีขีดจำกัด

4. ติดตั้งได้รวดเร็ว ใช้แรงงานน้อย

5. ค่าคุณสมบัติต่างๆที่ใช้ในการคำนวณแบบหล่อคงที่ ไม่เหมือนวัสดุธรรมชาติ

6.2.2 ข้อเสียของการทำแบบหล่อคอนกรีต

1. การลงทุนเบื้องต้นสูง ราคาค่าวัสดุสูงมาก แม้อาจเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในระยะยาว

2. มีน้ำหนักมาก

3. ต้องการอุปกรณ์และเครื่องทุ่นแรงในการประกอบ การยกติดตั้ง แม้ในการประกอบแบบหล่อในแต่ละแผง การตัดและเชื่อม ต้องการอุปกรณ์และช่างเฉพาะ

4. เมื่อประกอบเชื่อมเป็นแผงหล่อแล้ว รื้อวัสดุออกเพื่อประกอบเป็นแผงขนาดอื่นใหม่ยุ่งยากมาก หรือไม่สามารถทำได้ จึงเหมาะในการทำแบบหล่อของงานที่ชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีขนาดและรูปร่างซ้ำๆกัน

5. ต้องการการเก็บรักษาที่ดี มิฉะนั้นอาจเกิดสนิมและการผุกร่อน

บทที่ 7
ระบบโครงสร้างส่วนบน

7.1 บทนำ

จากความก้าวหน้าทางด้านการออกแบบโครงสร้างของสะพานนปัจจุบัน ส่งผลให้ประเภทของสะพานค่อนข้างมีรูปแบบที่หลากหลาย เช่นโครงสร้างสะพานแบบ Box Girder, I-Girder , T-girder เป็นต้น และทำให้ต้นทุนการก่อสร้างสะพานต่ำลง ไม่ว่าจะเป็นส่วนของต้นทุนในด้านแรงงาน หรือต้นทุนในเรื่องวัสดุ รวมทั้งยังสามารถช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้างได้ด้วยวิธีการผลิตแบบ คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน(pre-tensioned) หรือ คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง(post-tensioned)

ซึ่งในที่นี้ได้ทำการศึกษาการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วน ชนิด I-Girder แบบ post-tensioned

7.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

7.2.1 คานต่อเนื่อง

ข้อแตกต่างระหว่างคานคอนกรีตอัดแรงที่เป็นคานต่อเนื่อง (continuous beam) กับคานช่วงเดียวธรรมดา (simple beam) ที่เห็นได้ชัดเจนคือความประหยัด กล่าวอีกนัยนึงได้ดังนี้ คือคานต่อเนื่องที่มีขนาดรูปร่างและร้อยละของลวดอัดแรงเท่ากันกับคานช่วงเดียวธรรมดาที่มีช่วงคานยาวเท่ากัน คานต่อเนื่องจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกปละลัยได้มากกว่าคานช่วงเดียวธรรมดาถึงสองเท่าซึ่งความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่านี้เนื่องจากความต่อเนื่องของคาน ทำให้วิศวะกรสามารถลดขนาดหน้าตัด และจำนวนลวดอัดแรงของคานต่อเนื่องลงได้ในกรณีที่รับน้ำหนักบรรทุกและมีช่วงคานยาวเท่ากับคานช่วงเดียวธรรมดา ซึ่งเป็นการประหยัดราคาก่อสร้างลงนอกจากนี้คานต่อเนื่องยังช่วยลดจำนวนสมอยึดลวดอัดแรงลงอีกด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการวิเคราะห์ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกประลัยแต่หลักการนี้ยังคงนำไปใช้ได้กับการวิเคราะห์ในช่วงอีลาสติค แม้ว่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกในช่วงอีลาสติคของคานต่อเนื่องจะไม่เป็นสองเท่าของความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของคานธรรมดา

ช่วงเดียวก็ตาม แต่ก็มีค่ามากกว่า เนื่องจากในคานต่อเนื่องมีโมเมนต์ต้านทานภายในสองค่าแต่ในคานช่วงเดียวธรรมดามีเพียงค่าเดียวเท่านั้น

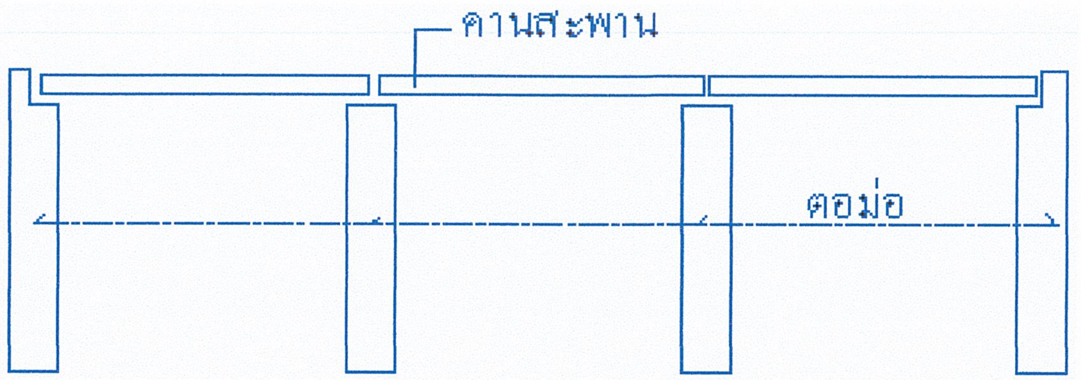
7.2.2 การวิเคราะห์คานต่อเนื่องคอนกรีตอัดแรงโดยทฤษฎีอีลาสติก

คานต่อเนื่องคอนกรีตอัดแรงอาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้ดังนี้

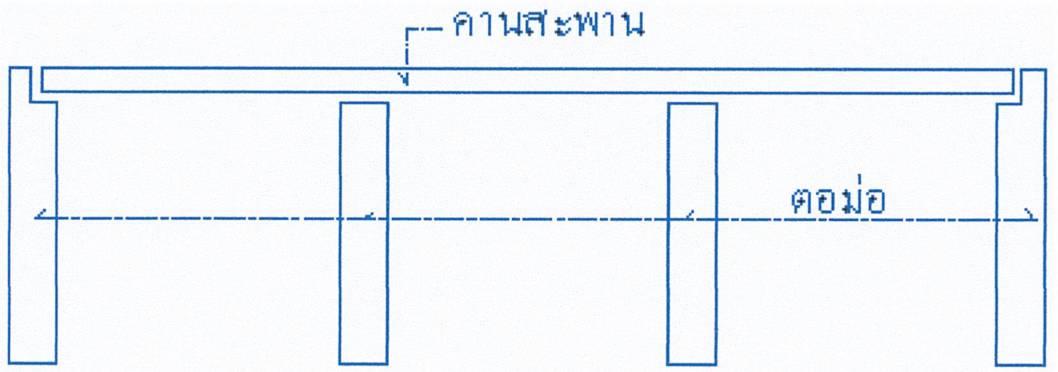
1. คานต่อเนื่องตลอดช่วง (Fully Continuous Beam) ซึ่งมีลวดอัดแรงยาวต่อเนื่องกัน จากปลายคานด้านหนึ่งไปยังปลายคานอีกด้านหนึ่ง หรืออาจมีสมอยึด (anchorage) อยู่ระหว่างปลายคานทั้งสองข้างก็ได้คานคอนกรีต อาจจะหล่อในที่หรือหล่อเป็นช่วงๆ แล้วนำมาประกอบกันในสนามลวดอัดแรงอาจจะฝังอยู่ในท่อระหว่างเทคอนกรีต หรือร้อยเข้าไปในท่อภายหลังการหล่อคานคอนกรีตแล้วก็ได้ ลวดอัดแรงอาจจะเป็นชนิดยึดหน่วง (bonded tendon) หรือ ไม่ยึดหน่วง (unbonded tendon) ทั้งนี้แล้วแต่วัตถุประสงค์ของงาน

2. คานต่อเนื่องบางช่วง (Partially Continuous Beam) เกิดจากการต่อคานช่วงเดียวธรรมดาเข้าด้วยกันตรงฐานรองรับ คานแต่ละช่วงจะอัดแรง (prestress) ก่อน สำหรับการขนส่งและติดตั้ง จากนั้นจึงนำมาประกอบกันในสนามซึ่งปกติจะไม่มีนั่งร้านรองรับระหว่างช่วงคาน แล้วจึงเทคอนกรีตเชื่อมต่อคานเข้าด้วยกันที่ฐานรองรับ ตรงรอยต่ออาจจะเสริมเหล็กธรรมดา หรือดึงด้วยลวดอัดแรงก็ได้

การวิเคราะห์คานต่อเนื่องคอนกรีตอัดแรง โดยวิธีอีลาสติก สามารถกระทำได้ด้วยความถูกต้องมากพอสมควร ทั้งนี้เพราะภายใต้สภาวะการทำงาน (working stage) หน่วยแรงดึง (tensile stress) แทบจะไม่เกิดขึ้นในคอนกรีตเลยหรือเกิดขึ้นน้อยมาก มักจะไม่มีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นในคอนกรีต คอนกรีตจึงมีพฤติกรรมเป็นแบบวัสดุยืดหยุ่นเนื้อเดียว (homogeneous elastic material) เนื่องจากคานต่อเนื่องแบบคอนกรีตอัดแรงเป็นโครงสร้างอินดิเทอร์มีเนทแบบสถิต(statically indeterminate structure) การวิเคราะห์หาแรงเฉือนและโมเมนต์ ที่เกิดขึ้นในคานต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากน้ำหนักกระทำภายนอก สามารถกระทำได้โดยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างทั่วไป เช่น วิธีสมการสามโมเมนต์ (Three Moment Equation Method) วิธีการกระจายโมเมนต์ เกิดจากการอัดแรงอีกด้วย และในกรณีของลวดอัดแรงชนิดไม่ยึดหน่วง ผลของการเปลี่ยนแปลงแรงอัดเนื่องจากการโก่งตัวของคาน ซึ่งทำให้แรงเฉือนและโมเมนต์เพิ่มขึ้นหรือน้อยลงก็ต้องนำมาคิดด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแรงเฉือนและโมเมนต์เนื่องจากการโก่งตัวของคานนี้มีค่าน้อยมาก อาจตัดทิ้งได้



รูปที่ 7.1 แสดงคานสะพานแบบ Simple Beam



รูปที่ 7.2 แสดงคานสะพานแบบ Continuous Span

7.3 ข้อพิจารณาในการออกแบบ

จากการศึกษาความเหมะสมปี พ.ศ. 2535 ได้เสนอรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในทางด่วนขั้นที่ 4 อยู่หลายรูปแบบได้แก่

1.1 พื้นวางคานแบบ Multibox ซึ่งเหมาะสมสำหรับสะพานช่วง 10 – 16 เมตร

1.2 พื้นวางบนคานรูปตัวไอ คานรูปตัวยู หรือคานรูปตัวที ซึ่งเหมาะสำหรับที่มีความยาวช่วง 20 – 35 เมตร

1.3 ระบบคานกล่อง (Box Girder) เหมาะสำหรับสะพานช่วง 60 – 120 เมตร

1.4 สะพานขึง (Cable Stay Bridge) เหมาะสมสำหรับสะพานช่วง 340 – 500 เมตร

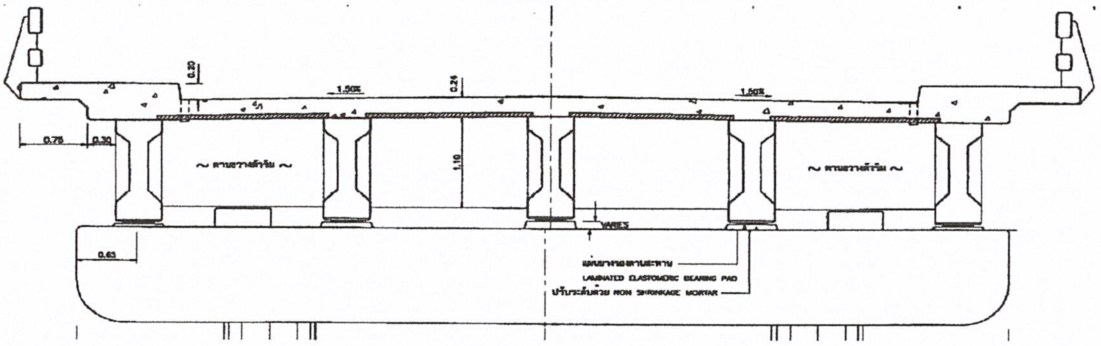
สำหรับโครงการนี้ ที่ปรึกษาจะพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะที่ใช้คานรูปตัวไอ รูปตัวยู และรูปตัวทีเท่านั้น

เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงข้อจำกัดของพื้นที่และความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ รูปแบบของสะพานดังกล่าวข้างต้นจะเหมาะสมที่สุด

ตารางที่7.1 การเปรียบเทียบคานรูปตัวไอ คานรูปตัวยู และคานรูปตัวที

คานรูปตัวไอ	คานรูปตัวยู	คานรูปตัวที
1. น้ำหนักเบา	1. น้ำหนักมากที่สุด	1. น้ำหนักอยู่ระหว่างคานรูปตัวไอและตัวยู
2. ต้องการคานขวางตลอดความยาวที่ระยะ 40 ฟุต	2. ต้องการคานขวางตลอดความยาวที่ระยะ 80 ฟุต	2. ต้องการคานขวางตลอดความยาวที่ระยะ 40 ฟุต
3. ต้องมีไม้แบบรับท้องพื้น	3. ต้องมีไม้แบบรับท้องพื้น	3. ต้องมีไม้แบบรับท้องพื้น
4. เหมาะสมสำหรับทำสะพานที่มีโค้งราบรัศมีแคบ	4. เหมาะสมสำหรับทำสะพานที่มีโค้งราบรัศมีแคบ	4. เหมาะสมสำหรับทำสะพานที่มีรัศมีมากกว่า 300 เมตร
5. จำนวนคานต่อช่วงมากกว่า	5. จำนวนคานต่อช่วงน้อยกว่า	5. จำนวนคานต่อช่วงมาก

เมื่อเปรียบเทียบด้านราคาค่าก่อสร้างพบว่าอยู่ในระดับที่กล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงเรื่องความสวยงามเนื่องจาก ทางด่วนช่วงรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก นี้ต้องเชื่อมต่อกับทางด่วนช่วงรามอินทรา – อาจณรงค์ และมีระยะทางสั้น ทางด่วนช่วงรามอินทรา – อาจณรงค์ ใช้โครงสร้างระบบพื้นรูปตัวไอ ดังนั้น ที่ปรึกษาจึงพิจารณาใช้โครงสร้างระบบเดียวกันในโครงการทางด่วนช่วง รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก

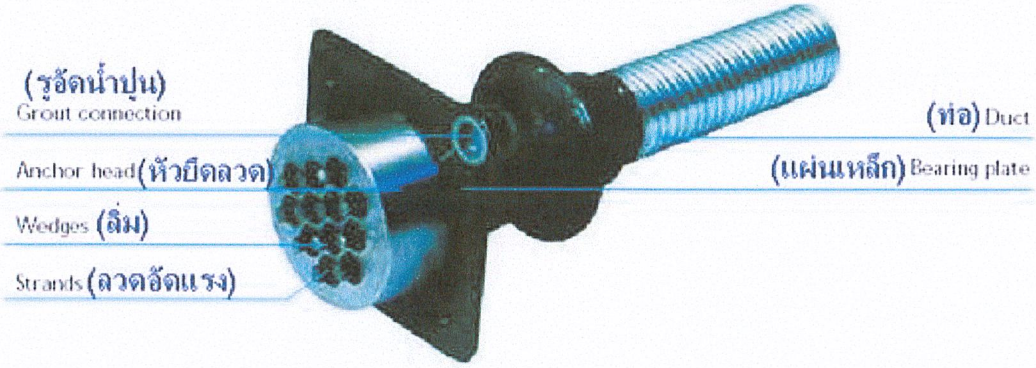


รูปที่ 7.3 แสดงรูปโครงสร้างสะพานรูปตัว I

7.4 การผลิตชิ้นส่วน I-Girder แบบ Post-tensioned

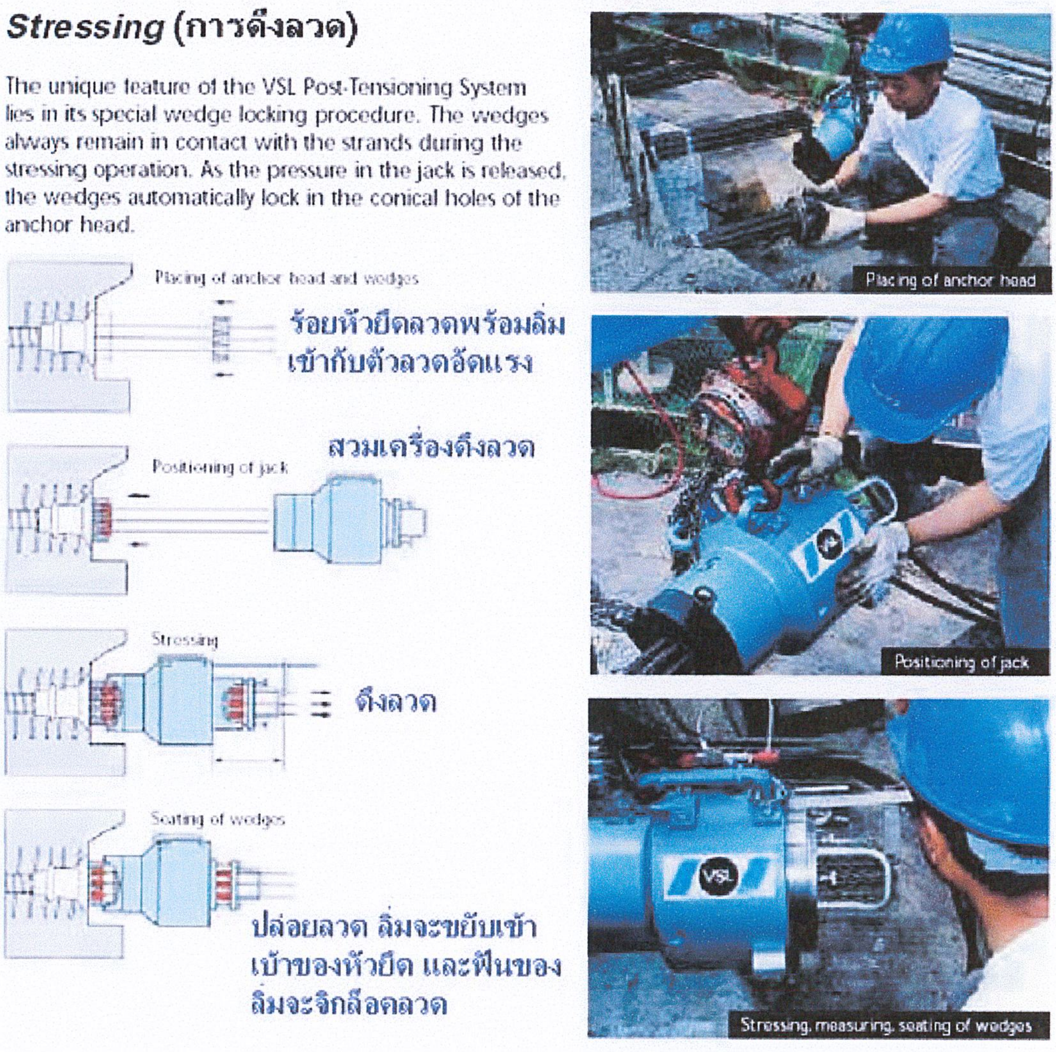
คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง (post-tensioned concrete)

คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง เริ่มต้นโดยการหล่อคอนกรีตในไม้แบบที่ได้ติดตั้งไว้โดยจะต้องมีการฝังท่อสำหรับร้อยเหล็กเสริม (hollow duct) ดังรูปที่ 7.4



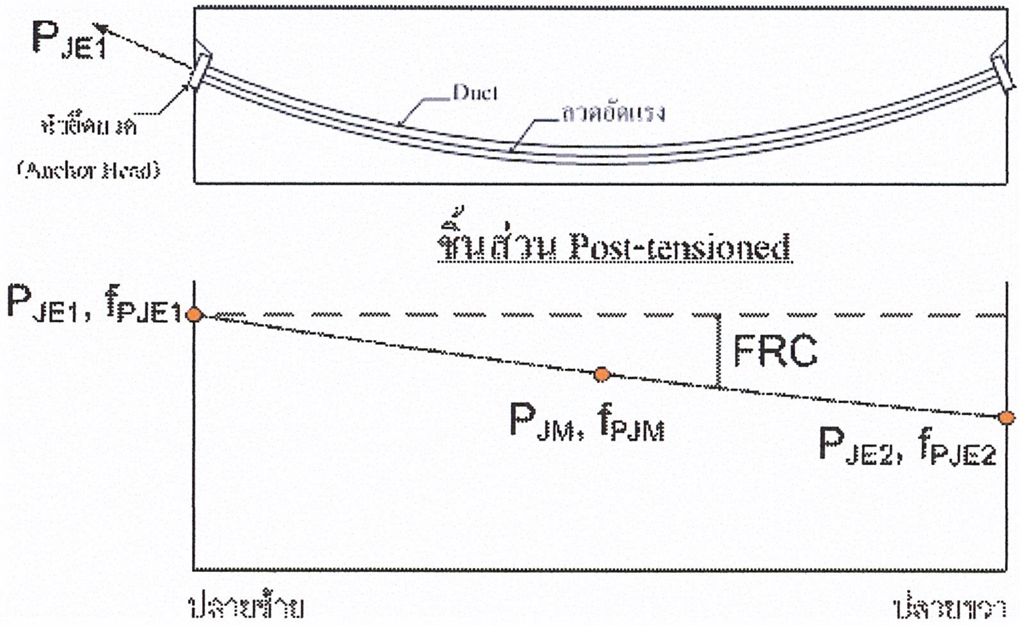
รูปที่ 7.4 แสดงอุปกรณ์ของลลวดอัดแรง

ในตำแหน่งที่ออกแบบไว้ โดยปกติเหล็กเสริมอัดแรงจะร้อยผ่านในท่อไว้โดยยังไม่ดึงก่อนการเทคอนกรีต (บางครั้งก็ร้อยเหล็กผ่านท่อหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว) เมื่อคอนกรีตมีกำลังสูงถึงค่าที่ต้องการก็จะทำการดึงเหล็ก การดึงเหล็กอาจดึงเพียงข้างเดียว หรือดึงทั้งสองข้าง ขณะทำการดึงจะยึดปลายข้างหนึ่งไว้และดึงที่ปลายอีกข้างหนึ่ง (ในกรณีที่ออกแบบให้ดึงที่ปลายทั้งสองข้างจะทำกรดึงทีละข้าง โดยเมื่อดึงปลายข้างหนึ่งสร็จแล้ว ก็จะสลับมาดึงปลายอีกข้างหนึ่ง) เมื่อดึงแล้วจะทำการยึดปลายด้านที่ดึงโดยใช้อุปกรณ์ยึดปลาย เหล็กเสริมอัดแรงจึงถูกดึงข้างไว้บนคอนกรีตทำให้เกิดแรงอัดในคอนกรีต เมื่ออัดแรงเสร็จแล้วขั้นต่อไปคือการอัดน้ำปูน (grouting) เข้าไปในท่อที่ร้อยเหล็กเสริมอัดแรง น้ำปูนที่เข้าไปในท่อทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับคอนกรีต การควบคุมร้อยแตกร้าว(crack) จึงทำได้ดีขึ้น และเพิ่มกำลังประลัย (ultimate strength) ให้สูงขึ้น

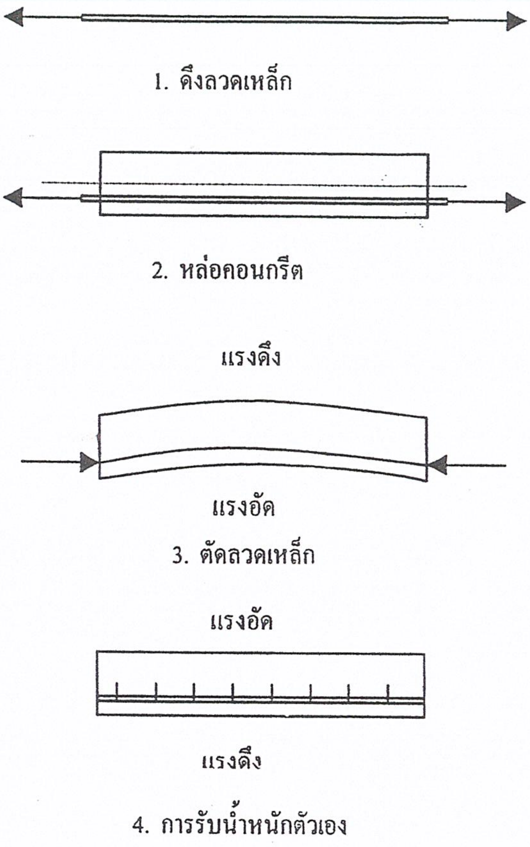


รูปที่ 7.5 แสดงการดึงลวดเหล็กอัดแรง

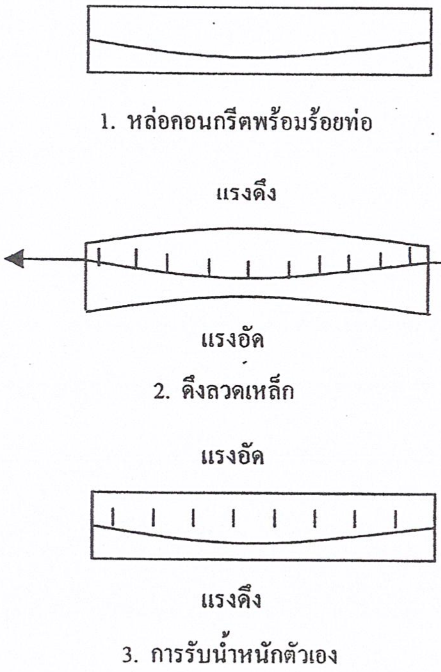
นอกจากนี้น้ำปูนหุ้มเหล็กเสริมอัดแรงจะช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงด้วย ระบบที่มีการอัดน้ำปูนเข้าไปในท่อร้อยเหล็กเสริม อัดแรงเป็นคอนกรีตอัดแรงระบบมีการยึดเหนี่ยว (bonded system) แต่ในบางครั้งหลังจากอัดแรงเสร็จก็ไม่มีการอัดน้ำปูน ซึ่งกรณีระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับคอนกรีตจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยว ระบบนี้เรียกว่า ระบบไร้การยึดเหนี่ยว (unbonded system) อย่างไรก็ตามนั้นเหล็กเสริมอัดแรงในระบบไร้การยึดเหนี่ยว ก็ต้องป้องกันการเกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงเนื่องจากไม่มีน้ำปูนหุ้ม การป้องกันการกัดกร่อนอาจทำได้โดยการเคลือบผิวของเหล็กเสริมอัดแรงด้วยสารป้องกันการกร่อน เช่น การใช้จารบีเครือบเหล็กเสริมอัดแรง โดยปกติระบบไร้การยึดเหนี่ยวจะมีราคาถูกกว่า และมีขั้นตอนการทำงานน้อยกว่าระบบนี้นิยมใช้กันทั่วไปกับพวกอาคารขนาดเล็กจนถึงปานกลาง และอาคารจอดรถ ในขณะที่ระบบที่มีการยึดเหนี่ยวนิยมใช้กับอาคารขนาดใหญ่



รูปที่ 7.6 แสดงการให้แรงของชิ้นส่วน Post – tensioned



รูปที่ 7.7 ก ระบบคอนกรีตอัดแรงก่อน (Pre-tension System)



รูปที่ 7.7 ข ระบบคอนกรีตอัดแรงที่หลัง (Post-tension System)

ขั้นตอนต่างๆของการทำงานในงานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กภายหลังโดยแยกออกเป็น4ส่วนคือ

- วัสดุอุปกรณ์
- การเตรียมงานและการติดตั้งอุปกรณ์
- การดึงลวดเหล็กอัดแรง
- การอัดน้ำปูน

7.4.1 วัสดุและอุปกรณ์ในงานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กภายหลัง

สามารถจำแนกได้เป็น 4 ส่วนคือ

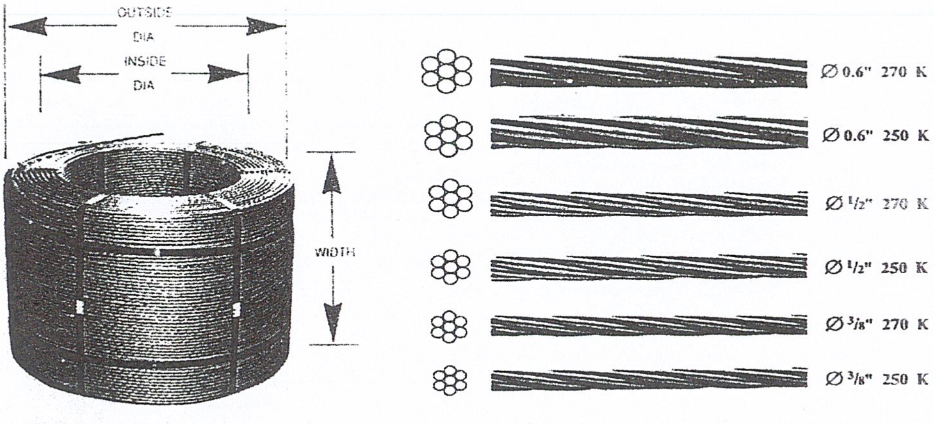
1. ลวดเหล็กแรงดึงสูง
2. ท่อหุ้มลวดเหล็กอัดแรง (Ducts)
3. อุปกรณ์ยึดลวดเหล็กอัดแรง (Anchorages)
4. น้ำปูนที่ใช้ในการอัดเข้าท่อ

7.4.1.1 ลวดเหล็กแรงดึงสูง

7.4.1.1.1 ลวดเหล็กตีเกลียวชนิด 7 เส้น (seven – wire strand)

ลวดเหล็กตีเกลียว ผลิตจาก high carbon steel ที่ผ่านการรีดเย็น(Cold-drawn) ออกมาเป็นเส้นลวดขนาดเล็ก (wire) แล้วนำเส้นลวดจำนวน 6 เส้น มาบิดเป็นเกลียวอย่างสม่ำเสมอ รอบเส้นลวดแกนกลาง (center wire) 1 เส้น ซึ่งโดยทั่วไป เส้นลวดแกนกลางจะมีขนาดใหญ่กว่าเส้นลวดอีก 6 เส้นรอบๆ ประมาณ 1.03เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเส้นอื่นๆ

ลวดเหล็กตีเกลียว (strand) ที่ใช้ในงานคอนกรีตอัดแรงทั่วไป จะมี 2 ประเภทคือประเภทความล้าธรรมดา (normal relaxation) และประเภทความล้าต่ำ (low relaxation)



ลักษณะการจัดเก็บ　　　　รูปร่างและหน้าตัด

รูปที่ 7.8 ลวดเหล็กแรงดึงสูงตีเกลียว (P.C. Strand) ชนิด 7 เส้น

7.4.1.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของลวดเหล็กตีเกลียว

1. ลวดเหล็กตีเกลียวจะต้องปราศจากรอยปริแตกร้าวของเส้นลวดและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสม่ำเสมอ
2. เมื่อลวดเหล็กตีเกลียวถูกตัดออกโดยไม่มีการรัดปลายใว้ ปลายลวดต้องไม่คลายออกถ้าคลายออก แต่สามารถทำให้เข้าที่ด้วยมือก็ถือว่าใช้ได้
3. ผิวของลวดเหล็กตีเกลียวต้องปราศจากน้ำมันหรือสารอื่นที่ทำใหแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดเหล็กตีเกลียวกับคอนกรีตหรือน้ำปูนสูญเสียไป
4. ลวดเหล็กตีเกลียวต้องไม่มีสนิมขุ่น เว้นแต่สนิมผิวซึ่งยอมให้มีได้

7.4.1.2 ท่อหุ้มลวดเหล็กอัดแรง (Duct)

ท่อหุ้มลวดเหล็กอัดแรงจะใช้ในงานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กภายหลังเพื่อไม่ให้คอนกรีตเข้าไปยึดจับลวดอัดแรงได้ โดยทั่วไปท่อแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. ท่อโลหะ (steel duct) ทำจากแผ่นโลหะผสม (galvanized steel) นำมาม้วนพับเป็นท่อ มี 2 ชนิดคือ

- ท่อเรียบ (smooth duct) ผิวท่อเรียบ
- ท่อลอน(corrugated duct) ผิวท่อถูกพับให้เป็นลอนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายแรงอัดจากลวดในท่อไปสู่ผิวคอนกรีต

2. ท่อโพลิเอทีลีน (poltethylene duct) ใช้กับงานที่ต้องการการทนสภาวะกัดกร่อนจากภายนอกสูง เช่น งานคอนกรีตอัดแรงภายนอกคอนกรีต (external post-tensioned) เนื่องจากโพลีเอทีลีนจะทนต่อปฏิกิริยาเคมีต่างๆได้ดีกว่าโลหะ

7.4.1.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของท่อหุ้มลวดอัดแรง

1. ท่อจะต้องสามารถกันไม่ให้คอนกรีตรั่วเข้ามาจับตัวกับลวดได้ และไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีต

2. ท่อจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะคงรูปร่างและไม่เกิดความเสียหายระหว่างการเทคอนกรีต

3. ท่อสำหรับลวดเส้นเดียวจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร

4. ท่อสำหรับกลุ่มลวดหลายเส้นต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดภายในอย่างน้อย 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของกลุ่มลวด

5. ระยะห่างระหว่างที่รองรับท่อควรอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.2 เมตร และมีความแข็งแรงพอที่จะยึดท่อให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้

7.4.1.3อุปกรณ์ยึดลวดเหล็กอัดแรง (anchorages)

ในงานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กภายหลัง แรงอัดจะถ่ายสู่คอนกรีตผ่านการทดลอง แผ่นรับแรงแบกทาน (bearing plate) กับคอนกรีต โดยค่าของ bearing pressure ที่เกิดขึ้นจะถูกควบคุมโดยขนาดพื้นที่ของ แผ่นรับแรงแบกทาน (bearing plate)ที่เหมาะสม ซึ่งกำหนดโดยกำลังอัดประลัยของ คอนกรีต เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติในคอนกรีต

อุปกรณ์ยึดจะต้องสามารถรับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 95% ของค่าแรงดึงประลัยของลวดอัดแรงที่ใช้โดยไม่เกิดความเสียหาย และไม่ทำให้เกิดการเลื่อนตัวของลวดอัดแรงเกินกว่าค่าที่ยอมให้ โดยปกติขณะถ่ายแรงหน่วยแรงจะเกิดสูงสุด ในอุปกรณ์ยึดสามารถต้านทานแรงอัดนี้ได้ก็จะปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างนั้น

7.4.2 การเตรียมงานและติดตั้งอุปกรณ์ในงานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กทีหลัง

7.4.2.1 ท่อหุ้มลวดเหล็กอัดแรง (duct)

ก่อนที่จะทำการติดตั้งท่อ จะต้องทำการศึกษาการวาง profile ตลอดจนขั้นตอนในการติดตั้งจากแบบให้ชัดเจน เพื่อไม่ให้เกิดวามผิดพลาดขึ้น

ท่อหุ้มลวดเหล็กอัดแรง จะต้องปราศจาก สนิม ไม่เป็นรอยบุบ หรือ มีรอยรั่วใดตลอดความยาวท่อ ส่วนท่อที่มีความเสียหายเฉพาะปลาย สามารถตัดส่วนปลายทิ้งและนำมาใช้งานได้

7.4.2.2 อุปกรณ์ยึดลวดอัดแรง (anchorages)

การติดตั้งอุปกรณ์ยึด นอกเหนือจากตัวอุปกรณ์ยึดเองที่จะต้องติดตั้งให้ถูกต้องตามตำแหน่ง tendon profile ช่วงที่จะเข้าสู่อุปกรณ์ยึดก็ควรจะปรับให้เป็น tangent เพื่อลดการเสียดสีของกลุ่มลวดอัดแรง ช่วงที่เริ่มก่อนผ่านเข้า anchor head ความยาวของ tangent ที่เหมาะสมจะสัมพันธ์กับค่าแรงดึงประลัยต่ำสุดของลวดอัดแรง

7.4.2.2.1 การติดตั้ง Casting

ขั้นตอนในการติดตั้งอุปกรณ์ยึดเข้ากับ แบบหล่อคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้

- ยึด Casting เข้ากับแบบหล่อโดยใช้ Bolts ในขณะที่ทำการติดตั้งให้ตรวจสอบให้แน่ใจว่า grout connection อยู่ด้านบน

- ในการติดตั้งด้านหน้าของ plate จะต้องตั้งฉากกับแนวแกนของ cable เสมอ

- Bearing plate อาจถูกติดตั้งเข้ากับปลายของแบบหล่อของโครงสร้าง โดยตรงหรืออาจติดตั้งเข้ากับ block-out ขึ้นกับลักษณะของการก่อสร้าง

- ปิด Grout Connection ให้เรียบร้อยก่อนการเทคอนกรีต

- แบบหล่อของโครงสร้างจะต้องมีช่องเปิดตามแนวแกนของ cable ในกรณีที่มีการวาง cable หรือมีการดัน strand ผ่าน duct ก่อนที่จะเทคอนกรีต

7.4.2.2.2 การติดตั้ง Anchor head

โดยปกติแล้ว Anchor head ที่ถูกส่งไปถึงไซด์งานจะได้รับการเคลือบด้วยสารป้องกันการสึกกร่อน ซึ่งทำหน้าที่ช่วยเหลือในการหล่อลื่น Wedge ในขณะที่เกิดการ draw-in หลังจากปล่อยลวดอัดแรงแล้วด้วย ดังนั้นจึงต้องดูแลรักษาให้ผิวของ Anchor head สะอาด ปราศจากฝุ่นและสนิมอยู่เสมอ

สิ่งที่ต้องปฏิบัติก่อนการติดตั้ง Anchor head

- ตรวสอบความยาวของปลายลวดอัดแรงที่โผล่พ้นจาก Bearing plate ถ้า strand เส้นใดเส้นหนึ่งมีความยาวไม่เพียงพอ ก็ให้ดึงจนกว่าจะได้ความยาวที่ต้องการ (ทำได้โดยการใช้ความยาวของลวดที่เกิดการ SAG)

- ทำความสะอาดปลายลวดอัดแรง ให้ปราศจาดฝุ่นและเศษปูนหรือคอนกรีตและควรจะสามารถขยับไปมาได้ในระยะที่สามารถทำงานได้สะดวก

- ตรวจสอบให้แน่ใจว่าด้านหน้าของ base plate ตั้งได้ฉากกับแกนของ cable

การติดตั้ง Anchor head จะต้องทำในลักษณะที่ไม่เกิดการพาดซ้อนกันไปมาระหว่าง strand ที่ร้อยเข้าในช่องของ Anchor head ซึ่งการจัด Anchor headที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับจำนวนของ strand และขนาดของ jack ที่ใช้และจะต้องทำตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคล่งครัด

7.4.3 การดึงลวดอัดแรง

ข้อควรสังเกตในการดึงลวดอัดแรง

ในขณะที่ทำการดึงลวดอัดแรง จะต้องคอยสังเกตุการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในกลุ่มลวดอัดแรง , สมอยึด และแม่แรง สิ่งที่ควรสังเกตุสามารถสรุปได้เป็นข้อๆดังนี้

7.4.3.1 กลุ่มลวดอัดแรง

- พฤติกรรมของกลุ่มลวดในขณะที่ถูกดึง

- ความแตกต่างของค่าความยืด (Elongation) ระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่เกิดขึ้นจริง

- มีการอุดตันของน้ำปูนในท่อหรือไม่

- มีการขาดของเส้นลวดอัดแรงหรือไม่

7.4.3.2 สมอยึดลวด (Anchor head)

- การถอยร่นของ Wedge ที่ปลายด้านอัดแรง (Stressing end) และปลายด้านตรงข้าม (Dead end)

- การแตกหักของ Wedge

- ความเสียหายที่ผิวของกลุ่มลวดเนื่องจากแรงเสียดทานด้านข้าง

- การเคลื่อนตัวของ Anchor head ในแนวนอน

- พฤติกรรมของคอนกรีตบริเวณรอบๆอุปกรณ์ยึดได้แก่รอยร้าวที่ผิดปกติเป็นต้น

- การแตกร้าวของ Anchor head

7.4.3.3 แม่แรง (Stressing Jack)

- บริเวณรอบด้านที่ใช้ทำงานของแม่แรง

- แม่แรงจะต้องวางให้ถูกตำแหน่ง กับ Anchor head

- ตัวลิ่มที่ใช้จับลวดในแม่แรง

- ค่าที่อ่านจาก Pressure gauge

- ระวังการยืดตัวของกระบอกสูบในแม่แรง

- Safety valve ของแม่แรง

7.4.4 การอัดน้ำปูน

การอัดน้ำปูนในงานคอนกรีตอัดแรง ประกอบด้วย ส่วนผสมของซีเมนต์ (Cement) น้ำ และสารผสมเพิ่ม (Admixtures) ที่ใช้อัดแรงดันเข้าไปในท่อเหล็กแรงดึงสูงที่ถูกดึงไว้เรียบร้อยแล้ว

วัตถุประสงค์หลักของการอัดน้ำปูนมี 2 ข้อใหญ่ดังนี้

1. เพื่อป้องกันเหล็กแรงดึงสูงไม่ให้เป็นสนิม

2. เพื่อทำให้เกิดแรงยึดเกาะ(Bond) ระหว่างเหล็กแรงดึงสูงกับคอนกรีตโครงสร้าง

วัสดุในการอัดน้ำปูน

1. ซีเมนต์ (Cement) ที่ใช้ในการผสมเป็นน้ำปูนต้องมีคุณสมบัติดังนี้
    - ต้องเป็นปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภท 1 ตามมาตราฐาน มอก.

- ส่วนผสมของคลอไลด์ ต้องไม่เกิน 0.1%

- อายุของซีเมนต์จะต้องไม่เก็บนานเกินควร จนเกิดการจับตัวเป็นก้อน

2. น้ำ(Water) ที่ใช้ในการผสมน้ำปูน จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้
   - ต้องมีคลอไรด์ผสมอยู่ไม่เกิน 500 mg ต่อน้ำ 1 ลิตร

   - ต้องไม่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์(Organic) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับซีเมนต์และเหล็กแรงดึงสูง

   - ต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้อุณหภูมิของน้ำปูนไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

3. สารผสมเพิ่ม(Admixtures) คือสารเคมีที่ใส่ลงในน้ำปูนแล้ว ทำให้น้ำปูนมีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น คุณสมบัติดังกล่าวได้แก่
   - ความไหลได้ (Flow ability)

   - การขยายตัว (Expansion)

   - การเยิ้ม (Bleeding)

   นอกจากนี้ยังใส่สารผสมเพิ่มเพื่อ
   - หน่วงเวลาการแข็งตัวของน้ำปูน (Retarder)

   - เพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์ (Water Cement Ratio)

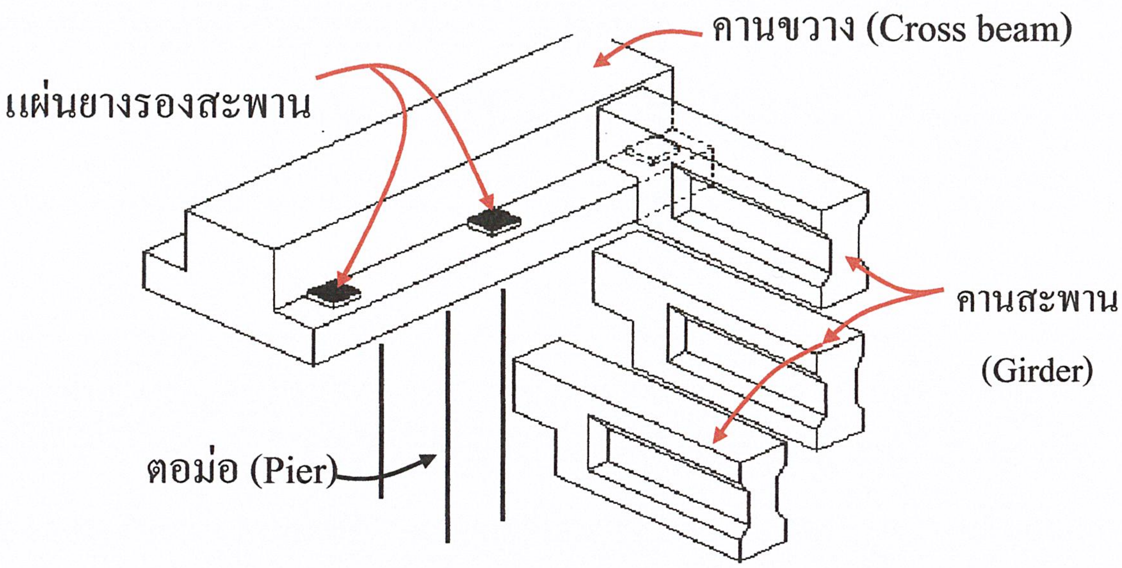
7.5 ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน I girder เข้ากับชิ้นส่วน Cross Bram

ในการติดตั้งชิ้นส่วน I-Girder นั้นอาจใช้ Mobile Crane หรือ Overhead Luanching Truss แต่ในที่นี้จะพูดถึงการใช้ Mobile Crane ยกขึ้นไปติดตั้งโดยสามารถสรุปได้เป็นขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

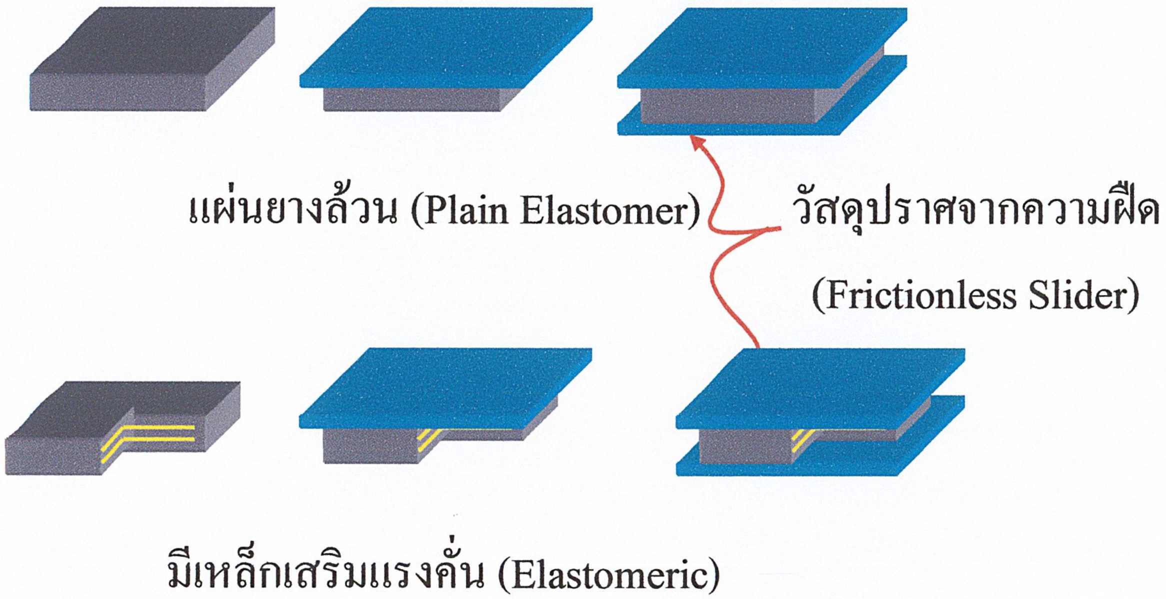
1. ทำการยกชิ้นส่วน I-Girder จากโรงผลิตชิ้นส่วนไปยังสถานที่ก่อสร้างโดยใช้รถบรรทุก โดยในขั้นตอนนี้ต้องดูตำแหน่งบนคานที่จะทำการยกให้ดีมิฉะนั้นจะทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนได้

รูปที่ 7.9 แสดงการขนย้ายชิ้นส่วน I-Girder จากโรงผลิตชิ้นส่วนมายังสถานที่ก่อสร้าง

2. ทำการหล่อแผ่นกระจายน้ำหนักและติดตั้งแผ่นยางรองสะพานลงบน CrossBeam



รูปที่ 7.10 แสดงตำแหน่งติดตั้งแผ่นยางรองสะพาน



รูปที่ 7.11 แสดงลักษณะของแผ่นยางรองสะพาน

รูปที่ 7.12 แสดงการติดตั้งแผ่นกระจายน้ำหนักและแผ่นยางรองสะพาน

3. ทำการวางชิ้นส่วน I-Girderลงบน Crossbeam. ในขั้นตอนนี้จะต้องมีผู้ที่ชำนาญการมาควบคุมการยกเพื่อลดการเกิดข้อผิดพลาดและอุบัติเหตุมิฉะนั้นอาจเกิดการสูญเสียได้

รูปที่ 7.13 แสดงการยกชิ้นส่วน I-Girder มาวางลงบน Crossbeam

4. ทำการหล่อชิ้นส่วน I-Girder กับชิ้นส่วน Crossbeam

รูปที่ 7.14 แสดงส่วนที่ต้องหล่อชิ้นส่วน I-Girder กับชิ้นส่วน Crossbeam

5. ทำการวางแผ่นพื้นสำเร็จรูปลงบนชิ้นส่วน I-Girder

รูปที่ 7.15 แสดงการวางแผ่นพื้นสำเร็จรูป

6. ทำการลาด Assphalt Concreteลงบนพื้นคอนกรีต

รูปที่ 7.16 แสดงการทำผิวทางลาดยางคอนกรีต

บทที่ 8
ความปลอดภัย

8.1 ข้อกำหนดทั่วไปของความปลอดภัย

1. จุดประสงค์ของระบบความปลอดภัย คือ การจัดเตรียมเครื่องป้องกันความปลอดภัยเพื่อป้องกันชีวิตและความปลอดภัยของพนักงานและบุคคลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ทั้งนี้เพื่อกันความเสียหายต่อทรัพย์สิน , วัสดุและเครื่องมือ และเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการหยุดชะงักของการทำงานในสถานที่ก่อสร้าง

2. การแนะนำโดยทั่วไปในด้านความปลอดภัยที่จะสามารถนำมาใช้ได้ และเพื่อเป็นการกำหนดความรับผิดชอบเฉพาะบุคคลในเรื่องของความปลอดภัยในสถานที่ก่อสร้าง

3. เป็นการจัดการการก่อสร้างเทียบได้กับการจัดการและการควบคุมการทำงานทุกอย่างในสถานที่ก่อสร้างในด้านความปลอดภัยของทั้งบุคคลและงานทั้งหมด นี่ไม่ได้เป็นการทำให้ผู้อื่นละเลยการดูแลตนในระดับเบื้องต้น แต่เป็นแผนการความปลอดภัยที่ดี ทุกคนในสถานที่ก่อสร้างมีหน้าที่ที่จะรวมกันดูแลรักษาความปลอดภัย สำหรับการเป็นอยู่ที่ดีของทุกคน

4. พื้นฐานของความสำเร็จคือการปลูกจิตสำนึกและให้การศึกษาของบุคคลทุกระดับ จากการทำงานที่เป็นระเบียบถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลเปิดเผยที่ถูกต้อง ความห่วงใยในด้านความปลอดภัยจะต้องมีอย่างชัดเจนในบุคคลระดับสูงๆ ในขั้นตอนดคยทั่วไปของส่วนต่อไปนี้

5. ความรับผิดชอบจะถูกบรรยายต่อไป ความผิดของลูกจ้างของผู้รับเหมาร่วมกันและของผู้รับเหมาย่อยที่ทำผิดซ้ำๆกันจะมีผลให้ถูกยกเลิกสัญญา

8.2 ความรับผิดชอบในสถานที่ก่อสร้าง

8.2.1 ความรับผิดชอบ

1.ในส่วนเริ่มต้น ความรับผิดชอบทั้งหมดในเรื่องของความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับผู้จัดการการก่อสร้างผู้ซึ่งรับผิดชอบสำหรับการทำให้สำเร็จลุล่วงและการดำเนินต่อไปสำหรับแผนความปลอดภัย และสำหรับการควบคุมและบทลงโทษของผู้ร่วมงานของเขาเองและของผู้รับเหมาย่อยในการดูแลของพวกเขา เพื่อให้สอดคล้องกับการจัดการงานก่อสร้างที่ดี เขาจะมอบหน้าที่ให้กับผู้คุมงานก่อสร้างดูแลสถานที่ก่อสร้างโดยเฉพาะวันต่อวัน ผู้จัดการก่อสร้างจะจัดมอบอำนาจหน้าที่โดยจะดูความสำคัญของแต่ละเรื่อง

2. บุคคลที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการดูแลทั้งหมดรวมทั้งหัวหน้างานจะอ่านคู่มือความปลอดภัยและลงรายชื่อเพื่อเป็นการแสดงว่าเอกสารได้ถูกอ่านและทำความเข้าใจอย่างเรียบร้อยแล้ว

3. ผู้รับเหมาย่อยจะต้องให้ความสนใจในคู่มือความปลอดภัยเดียวกันนี้ วิธีการและระเบียบต่างๆเช่นเดียวกับลูกจ้างของผู้รับเหมาหลัก ข้อย่อยพื้นฐานจะถูกแทรกในสัญญาของผู้รับเหมาย่อย เพื่อเป็นการแสดงว่าผู้รับเหมาย่อยจะให้ความร่วมมือกับคู่มือความปลอดภัยที่ได้รับการปรับปรุงโดยผู้ควบคุมจะต้องให้ความสนใจอย่างใกล้ชิด

8.2.2 การตรวจสอบและการประชุม

1. การตรวจสอบความปลอดภัยจะถูกจัดการโดยเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยเพื่อเป็นการรับประกันว่าทั้งหมดจะเป็นไปอย่างมีระเบียบ ถ้าเจ้าของโครงการจะทำการตรวจสอบและเสนอคำวิจารณ์สำหรับการตรวจสองของเจ้าของโครงการ

2. เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยจะมีการจัดการประชุมสำหรับเจ้าหน้าที่เพื่อที่จะดูแลอุบัติเหตุและความเจ็บป่วยอื่น ๆ เจ้าหน้าที่จะมีโอกาสที่จะแสดงความคิดเห็นและคำแนะนำในปัญหาเฉพาะต่างๆ

8.3 ความสะอาดและความปลอดภัยในสถานที่ก่อสร้าง

พื้นฐานของระบบความปลอดภัยที่ดีคือการพัฒนาในตอนต้นและการบำรุงรักษาที่เข้มงวดในด้านการตระหนักในทางบวกในส่วนของแต่ละคนในสัญญา การเริ่มต้นด้วยการรับรู้ของบุคคลที่มาใหม่ทั้งหมดในทัศนคติด้านความปลอดภัย จากการเริ่มต้น การพิจารณาจะเป็นไปดังต่อไปนี้

1. ความสะอาดในสถานที่ก่อสร้าง
2. ความปลอดภัยในสถานที่ก่อสร้าง
3. การป้องกันอัคคีภัย

8.3.1 ความสะอาดในสถานที่ก่อสร้าง

ความสะอาดของสถานที่ก่อสร้างเป็นการบ่งชี้โดยตรงถึงสิ่งที่น่าภูมิใจที่การจัดการการก่อสร้างระดับมืออาชีพจะมีในงานของตน กรรมวิธีต่อไปนี้จะเป็นประโยชน์ได้

เจ้าหน้าที่ทั้งหมดจะรับผิดชอบงานที่ได้รับมอบหมายในแต่ละคนเพื่อลดความยุ่งยากให้น้อยที่สุด

ที่ทำงานทั้งหมดจะได้รับการบำรุงรักษาในเรื่องความสะอาดเท่าที่เป็นไปได้ และพวกขยะจะถูกเก็บทุกวัน

พื้นที่ในการเก็บขยะ วัสดุที่เหลือต่างๆ จะถูกกำหนดเพื่อเป็นการกำจัดแมลงสิ่งสกปรกอื่นๆ

ห้ามไม่ให้มีการกินอาหารหรือของว่างต่างๆ ขณะทำงาน

ผู้จัดการการก่อสร้างจะแนะนำขั้นตอนต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อเป็นการประกันว่ากรรมวิธีดังกล่าวข้างต้นจะสำเร็จ

8.3.2 ความปลอดภัยในงานก่อสร้าง

เป็นข้อจำเป็นที่ว่าทัศนคติที่ถูกต้องสำหรับการระมัดระวังสม่ำเสมอตั้งแต่เริ่มต้นความรับผิดชอบจะมีขึ้นอยู่กับการจัดสถานที่ก่อสร้างเพื่อเป็นการแสดงถึงการยืนยันบนความระมัดระวังที่เหมาะสมที่จะมีอยู่ตลอดเวลา กรรมวิธีดังต่อไปนี้จะถูกจัดทำตั้งแต่เริ่มต้น

1. การสร้างรั้วป้องกันความปลอดภัยจะอยู่ในเอกสารสัญญา

2. ถ้าเป็นไปได้ทางที่ใช้เข้าเท่านั้นจะถูกกำหนดเป็นทางการสำหรับผู้เดินเท้าและใช้ยานพาหนะ กรรมวิธีในสถานที่ก่อสร้างที่แน่นอนต้องการทางเดินที่เลือกได้ ผู้ควบคุมในสถานที่ก่อสร้างจะพิจารณาและตกลงกับเจ้าของโครงการในกำหนดล่วงหน้า

3. สถานที่ทำงานทั้งหมดจะมีการจัดการรักษาและป้องกันความปลอดภัยที่เหมาะสมในทุกกรณี การใช้สิ่งกีดขวาง แสงสว่าง สัญลักษณ์ ธง ทางยาว และอื่นๆ ให้สอดคล้องกับความต้องการการรักษาความปลอดภัยทั่วไปอื่นๆ

4. แสงสว่างที่เพียงพอจะถูกจัดหาสำหรับส่งเสริมการทำงานและสำหรับความปลอดภัยต่างๆ

5. ผู้จัดการการก่อสร้างจะประกันการควบคุมที่เป็นระเบียบของผู้เยี่ยมชมสถานที่ก่อสร้างในด้านความปลอดภัยของพวกเขา

6. ผู้จัดการการก่อสร้างจะร่วมมือในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยในสถานที่ทำงานและโดยเฉพาะตามความต้องการของเจ้าของโครงการ

8.3.3 การป้องกันอัคคีภัย

เป็นความจำเป็นสำหรับทัศนคติที่ถูกต้องสำหรับการระมัดระวังอยู่เสมอตั้งแต่เริ่มต้นความรับผิดชอบขึ้นอยู่กับการจัดการในสถานที่ก่อสร้างที่แสดงถึงการยืนยันถึงความระมัดระวังที่เหมาะสมตลอดเวลา กรรมวิธีนี้จะถูกจัดให้มีขึ้นตั้งแต่ต้น

1. ป้ายเตือนอัคคีภัยอย่างเพียงพอ คำเตือนและสิ่งกีดขวางจะถูกติดตั้งที่สถานที่ก่อสร้างโดยความเห็นชอบของเจ้าของโครงการ

2. ที่ศูนย์กลางสถานที่ก่อสร้างคำสั่งต่างๆ จะมีการติดตั้งในการเกิดอัคคีภัย คำสั่งต่างๆนี้จะรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้ด้วย

- ความช่วยเหลือจะจัดหาให้แก่ผู้ได้รับบาดเจ็บ
- สถานที่ที่ใกล้ที่สุดของเครื่องดับเพลิง
- คำเตือนของสถานที่ที่ใกล้ที่สุด
- โทรศัพท์ที่ใกล้ที่สุด

3. ที่ดับเพลิงที่ต้องการจะถูกจัดหาและบำรุงรักษาตลอดเวลาที่สถานที่ก่อสร้าง ที่ทำงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย โดยทุกคนจะต้องปฏิบัติตามคำสั่งในการใช้งานอย่างเคร่งครัด

8.4 กระบวนการก่อสร้างและการยก

8.4.1 ขั้นตอนการเตรียม

ขั้นตอนความปลอดภัยต่อไปนี้จะสามารถปรับในการกระทำที่เกี่ยวพันกับการยกวัสดุต่างๆ

1. ทางเข้าที่เรียบร้อยสำหรับเครนเพื่อเข้าสู่บริเวณงานเฉพาะ ต้องประกันว่าทางเข้ามีความกว้างที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ก่อสร้าง
2. ป้องกันสายเคเบิ้ลที่ติดต่อกับสถานที่ก่อสร้างที่ผ่านและรถบรรทุกรับส่ง
3. วัสดุที่กอง ตามลำดับก่อนหลังจะต้องเคลื่อนย้ายตามลำดับสำคัญ
4. สถานที่ที่ทำการตรวจสอบอีกครั้งในเรื่องของวัสดุกีดขวางและสิ่งที่เป็นอันตรายที่พลาดไปในตอนต้น
5. จัดหาและป้องกันโครงสร้าง บันไดและไม้แบบให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย แผ่นกระดานสำหรับปูพื้นต้องทำให้แน่นเพื่อรองรับการติดตั้ง

8.4.2 ขั้นตอนการปฏิบัติ

ขั้นตอนความปลอดภัยต่อไปนี้จะสามารถประยุกต์ระหว่างการทำงานโดยให้สัมพันธ์กับวัสดุ

1. แต่งตั้งบุคคลหนึ่งเป็นพิเศษในการควบคุมการทำงานทั้งหมดให้สัมพันธ์กับสถานที่ก่อสร้าง และทุกคนจะต้องเชื่อฟังเขา
2. ประกันบุคคลที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ในการทำงานยกต่างๆ โดยจะต้องทำการทบทวนสัญญาณเหล่านี้ล่วงหน้าก่อนการทำงาน
3. จะไม่ทำงานใดๆ ในขณะที่อากาศเกิดความแปรปรวนหรือมีลมพายุแรงที่จะทำให้ที่ยกวัสดุเป็นอันตรายต่อบุคคล
4. ติดลวดสลิงกับจุดยกที่ได้รับการอนุมัติแล้วเท่านั้น
5. ส่วนประกอบต่างๆไม่สามารถปล่อยได้จนกระทั่งจะเกิดความสมดุลในการติดตั้งแล้วเท่านั้น
6. พื้นที่อยู่ข้างบนจะต้องไม่บรรทุกน้ำหนักเกินและตรวจสอบไม้แบบจะต้องทำอย่างเสมอ
7. การเคลื่อนย้ายสลิง ล้อสายพาน ของอ และสิ่งปกคลุมเพื่อสร้างสถานที่ที่มีรั้วล้อมทันทีที่เป็นไปได้ จัดการตรวจสอบสิ่งต่างๆ เหล่านี้ก่อนใช้งาน
8. ปล่อยที่รองรับชั่วคราวและวางเมื่ออยู่ในที่ปลอดภัย

9. เมื่อการเคลื่อนย้ายของวัสดุอยู่ในทิศทางที่เป็นอันตรายต่อบุคคลอื่นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ควบคุมน้ำหนัก จะต้องเป็นฉนวนในแนวที่เกิดการติดไฟ

8.4.3 การทำงานที่สูง

อุปกรณ์ความปลอดภัยจะถูกจัดหาสำหรับบุคคลที่กำลังทำงานที่ระดับสูงให้สอดคล้องกับการใช้งาน

8.5 การจัดการและการเก็บรักษาวัสดุก่อสร้าง

8.5.1 การจัดเก็บวัสดุ

ขั้นตอนความปลอดภัยต่อไปนี้จะใช้ในสถานที่ที่มีการทำการเกี่ยวกับการเก็บวัสดุ

1. การออกแบบและการรักษาส่วนของพื้นที่สำหรับที่เก็บวัสดุ
2. ประกันว่าผู้เก็บรักษาที่มีประสบการณ์เท่านั้นที่จะอยู่ในสถานที่เก็บ
3. วางและจัดหาส่วนที่เป็นสิ่งก่อสร้างชั่วคราว หิ้งและที่ปกคลุมเท่าที่จำเป็นสำหรับวัสดุและวัสดุที่สร้างไว้ล่วงหน้าที่ถูกเก็บ
4. ให้มีทางเดินส่วนบุคคลและทางสำหรับขนย้ายไปที่ส่วนต่างๆ ของบริเวณที่เก็บของ ซึ่งจะต้องดูทั้งแนวตั้งและแนวนอน
5. ออกแบบสำหรับพื้นที่สำหรับทิ้งพวกสิ่งของที่ไม่ต้องการ ขยะและมีการควบคุมที่เหมาะสม
6. สารที่มีอันตรายควรเก็บให้มิดชิด

8.5.2 การจัดการวัสดุ

ขั้นตอนความปลอดภัยต่อไปนี้จะประยุกต์ตามลักษณะการทำงาน

1. กำหนดบุคคลที่แน่นอนในการจัดการควบคุมการจัดการวัสดุในที่เก็บ โดยที่ทุกคนจะต้องเชื่อฟังคำสั่งเขา
2. ประกันว่าไม่มีอุปสรรคใดๆ ในการขวางการเคลื่อนย้ายวัสดุที่ต้องการหรือวัสดุที่มีการเตรียมล่วงหน้า
3. จัดหาแสงสว่างที่เพียงพอในพื้นที่ที่มีการจัดการ

4. ประกันว่าอุปกรณ์ยกและส่วนประกอบอื่นๆที่ถูกใช้ บำรุงรักษาและเก็บในที่ที่เหมาะสม

8.6 การจัดการและการควบคุมความปลอดภัย

8.6.1 การจัดการเอกสาร

1. ผู้จัดการการก่อสร้างจะรับผิดชอบสำหรับการเก็บรักษาและการจัดการเอกสารทั้งหมดและบันทึกส่วนที่เกี่ยวพันเพื่อความปลอดภัย

2. การรักษาของบันทึกของข้อมูลที่เปิดเผยจะเป็นไปตามข้อต่อไปนี้

- การตาย
- ผลจากการบาดเจ็บที่รุนแรงที่เป็นผลให้เกิดการเสียเวลา
- ความเสียหายต่อทรัพย์สิน วัสดุ การจัดหาและเครื่องมือในเวลาที่เสียไป

8.6.2 การประชุม

ผู้จัดการการก่อสร้างจะทำการทบทวนและพิจารณาบันทึกทางสถิติ รายงานประจำสัปดาห์ในการประชุมความปลอดภัย

8.7 ข้อมูลเพิ่มเติมโดยทั่วไป

ขั้นตอนความปลอดภัยดดยทั่วไปต่อไปนี้จะประยุกต์ใช้ในเวลาที่จำเป็นตลอดสถานที่ก่อสร้างดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ความปลอดภัย
2. สุขาภิบาล
3. การปฐมพยาบาล

8.7.1 อุปกรณ์ความปลอดภัย

เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ความปลอดภัยขั้นตอนเป็นดังต่อไปนี้

1. บุคคลทุกคนที่ต้องการเข้าไปยังสถานที่ก่อสร้างจะต้องใส่หมวกป้องกัน จะต้องมีการเตือนตลอดเวลาในสถานที่อันตราย

2. การแต่งตัวเฉพาะ (ยกตัวอย่างเช่น ถุงมือ แว่นตา ที่ป้องกันหู อื่นๆ) จะต้องจัดเตรียมเป็นความต้องการพื้นฐาน

3. ผู้คุมงานก่อสร้างจะต้องประกันว่าคนที่ทำงานสวมเสื้อผ้าที่เหมาะสมกับงาน

4. ผู้ที่มาเยี่ยมชมสถานที่ก่อสร้างจะต้องรายงานความปลอดภัยโดยสรุป และสวมหมวกนิรภัยก่อนเข้าไปในสถานที่ก่อสร้าง

8.7.2 สุขาภิบาล

เพื่อให้เป็นการถูกสุขลักษณะอนามัยทุกคนจะต้องปฏิบัติดังนี้

1. ทุกคนจะต้องใช้ห้องน้ำที่จัดไว้ให้โดยปราศจากข้อยกเว้น

2. ที่ใช้ในการทำความสะอาดฉุกเฉินจะต้องวางไว้ใกล้กับสถานที่ที่ใช้สารอันตรายโดยแต่ละคนจะต้องได้รับการสอนวิธีการทำความสะอาด

3. ทุกคนจะต้องรายงานความเจ็บป่วยของทุกคนที่เป็นประเภทโรคติดต่อและเชื่อฟังคำขอร้องของผู้ควบคุมงานก่อสร้างในการหยุดการทำงานเพื่อไปทำการรักษา

8.7.3 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลจะต้องเป็นไปตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ผู้จัดการการก่อสร้างจะต้องประกันว่ามีสถานที่สำหรับปฐมพยาบาลหรือสถานที่ที่จัดให้สอดคล้องตามบทบัญญัติที่มีการควบคุม

2. การระมัดระวังไว้ล่วงหน้าและการฝึกการปฐมพยาบาลจะต้องจัดให้แก่บุคคลที่ใช้เกี่ยวกับสารอันตราย

CONSTRUCTION SEFETY SYSTEM

UNIQUE ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED

RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY BANGKOK

กฎหมายความปลอดภัยในการทำงาน	อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น	ข้อเสนอแนะ / วิธีป้องกัน	วิธีการช่วยเหลือหากเกิดอุบัติเหตุ
1. กฎหมายความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร	1.1 เครื่องจักรกลหนัก		
	1.1.1 การพลิกคว่ำของรถแม็คโคร	1.1.1.1 จุดในการยืนของรถจะต้องมั่นคง 1.1.1.2 ไม่ควรขุดดินในแนวขนาน	
	1.1.2 การเฉี่ยวชนพนักงานผู้ปฏิบัติงานทั่วไป	1.1.2.1 มีการจัดทำรั้วกั้นและมีป้ายเตือนอันตรายห้ามเข้าใกล้พื้นที่ปฏิบัติงาน 1.1.2.2 ผู้บอกตำแหน่งไม่ควรอยู่ใกล้เครื่องจักรเกินไป 1.1.2.3 วงสวิงของบุ้งกี๋ไม่ควรอยู่เหนือหัวของพนักงานผู้ปฏิบัติงาน 1.1.2.4 วางบุ้งกี๋บนพื้นเมื่อหยุดใช้งานแล้ว	1.1.2.1.1 รีบตรวจสอบบาดแผลของผู้ได้รับบาดเจ็บว่ามากน้อยแค่ไหน 1.1.2.1.2 ทำการปฐมพยาบาลในเบื้องต้น หากมีการบาดเจ็บที่รุนแรงให้รีบนำส่งโรงพยาบาลใกล้เคียงโดยเร็วที่สุดโดยรถประจำหน่วยงาน หมายเลขทะเบียน ฒย-9668 กทม. ขับขี่โดยคุณสมบัติ ธงชาย
	1.2 เครื่องจักรกลที่ใช้พลังงานไฟฟ้า		
	1.2.1 กระแสไฟฟ้ารั่ว	1.2.1.1 เครื่องจักรกลที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจะต้องมีการติดตั้งสายดินเพื่อป้องกันไฟฟ้ารั่ว 1.2.1.2 ฉนวนหุ้มจะต้องไม่มีการขาดหรือชำรุดเสียหาย 1.2.1.3 เครื่องจักรกลที่ชำรุดเสียหายห้ามนำมาใช้งานโดยเด็ดขาดจนกว่าจะได้รับการซ่อมแซมแก้ไข	1.2.1.1.1 ให้รีบการตัดกระแสไฟฟ้าโดยเร็วที่สุดโดยการสับสวิชต์ปิด-เปิดในบริเวณที่มีการต่อกระแสไฟฟ้าหรือจุดควบคุม

กฎหมายความปลอดภัยในการทำงาน	อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น	ข้อเสนอแนะ / วิธีป้องกัน	วิธีการช่วยเหลือหากเกิดอุบัติเหตุ
3. กฎหมายความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)	3.1 ฝุ่นจากการสะกัดหินฟุ้งกระจาย	3.1.1 ให้พนักงานสวมใส่ผ้าปิดจมูกหรือที่กรองอากาศ 3.1.2 ให้พนักงานจัดหาน้ำพรมตลอดเวลาที่มีการสะกัดหิน	
	3.2 คอนกรีตกัดมือ/เท้าพนักงานขณะที่มีการผสมคอนกรีตหรือก่ออิฐฉาบปูน	3.2.1 กำหนดให้พนักงานสวมใส่ถุงมือยางและรองเท้าหุ้มส้นตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน	
4. กฎหมายความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า	4.1 กระแสไฟฟ้าดูด/ช็อตพนักงาน	4.1.1 จัดทำป้ายเตือนในพื้นที่ที่คาดว่าจะมีอันตรายจากกระแสไฟฟ้า 4.1.2 จัดให้มีการฝึกอบรมพนักงานใหม่ที่จะปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับไฟฟ้า 4.1.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีสายดินหรือใช้กับวงจรที่ใช้เครื่องตัดกระแสไฟรั่วโดยอัตโนมัติ 4.1.4 ตรวจเช็คการเดินสายไฟชั่วคราวซึ่งไม่ควรวางบนพื้นดิน พาดผ่านกองเหล็กหรือถูกนั่งร้านที่เป็นโลหะทับ 4.1.5 เมื่อมีการทำงานใกล้สายไฟฟ้าแรงสูงหรือสายโทรคมนาคมควรมีการหุ้มฉนวนก่อนใช้งานทุกครั้ง	4.1.1.1 ให้รีบใช้วัสดุที่เป็นฉนวนเขี่ยหรือปัดสายไฟออกจากตัวผู้ที่ได้รับบาดเจ็บในทันทีหรือทำการปิด/ตัดสวิทช์ควบคุมทั้งหมด 4.1.1.2 ตรวจสอบการได้รับบาดเจ็บว่ามีความรุนแรงมากน้อยขนาดไหน หากไม่มากให้ทำการปฐมพยาบาลในเบื้องต้น หากได้รับบาดเจ็บที่มีความรุนแรงมากให้ทำการปฐม - พยาบาลในเบื้องต้นแล้วให้รีบนำตัวผู้ที่ได้รับบาดเจ็บส่งโรงพยาบาลที่ใกล้เคียงเร็วที่สุดโดยรถประจำหน่วยงาน หมายเลขทะเบียน ฒย-9668 กทม. ขับขี่โดยคุณสมบัติ ธงชาย

กฎหมายความปลอดภัยในการทำงาน	อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น	ข้อเสนอแนะ / วิธีป้องกัน	วิธีการช่วยเหลือหากเกิดอุบัติเหตุ
		4.1.7 ห้ามมีการถอดหรือดัดแปลงอุปกรณ์ที่ติดตั้งมากับอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยเด็ดขาด 4.1.8 แผงจ่ายกระแสไฟฟ้าจะต้องติดสวิตซ์ตัดตอนอัตโนมัติ 4.1.9 ห้ามใช้ตัวนำอื่นๆมาใช้แทนฟิวส์โดยเด็ดขาด 4.1.10 ผู้ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าห้ามใช้หรือยุ่งเกี่ยวโดยเด็ดขาด 4.1.11 ฉนวนหุ้มจะต้องไม่ชำรุดเสียหาย 4.1.12 การต่อสายไฟฟ้าจะต้องต่อ Power plug เท่านั้น	
5. กฎหมายความปลอดภัยในการทำงานว่าด้วยเขตก่อสร้าง	5.1 พนักงานหรือผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องพลัดตกลื่นไถล วัตถุล่วงหล่นทับหรือถูกเครื่องจักรเฉี่ยวชน	5.1.1 จัดทำป้ายประกาศแสดงเขตก่อสร้างและติดตั้งป้ายเตือนอันตรายต่าง ๆที่ชัดเจน 5.1.2 จัดทำรั้วหรือแผงกั้นกันตกโดยรอบ 5.1.3 ทำการตรวจตราห้ามบุคคลภายนอกหรือผู้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องเข้ามาในพื้นที่ก่อสร้างโดยเด็ดขาด 5.1.4 ห้ามพนักงานเข้าพักอาศัยในเขตการก่อสร้างโดยเด็ดขาด	5.1.1.1 รีบทำการช่วยเหลือโดยด่วนโดยการปฐมพยาบาลเบื้องต้น หากมีการบาดเจ็บที่รุนแรงให้รีบทำการนำตัวส่งโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้เคียงเร็วที่สุดเพื่อให้แพทย์ทำการรักษาต่อไป 5.1.1.2 โทรแจ้งทางญาติพี่น้องของผู้บาดเจบให้รับทราบ และดำเนินการต่อไป

กฎหมายความปลอดภัยในการทำงาน	อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น	ข้อเสนอแนะ / วิธีป้องกัน	วิธีการช่วยเหลือหากเกิดอุบัติเหตุ
6. กฎหมายความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับปั้นจั่นชนิดเคลื่อนที่ (Mobile crane)	6.1 ปั้นจั่นชนิดเคลื่อนที่เฉี่ยวชน	6.1.1 มีการจัดทำรั้วกั้นและมีป้ายเตือนอันตรายห้ามเข้าใกล้พื้นที่ปฏิบัติงาน 6.1.2 มีการติดตั้งสัญญาณเตือนภัย ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ไป-มา หรือหมุนวงสวิง	6.1.1.1 รีบตรวจสอบบาดแผลของผู้ได้รับบาดเจ็บว่ามากน้อยแค่ไหน 6.1.1.2 ทำการปฐมพยาบาลในเบื้องต้น หากมีการบาดเจ็บที่รุนแรงให้รีบนำส่งโรงพยาบาลใกล้เคียงโดยเร็วที่สุดโดยรถประจำหน่วยงานหมายเลขทะเบียน ตย-9668 กทม. ขับขี่โดยคุณสมบัติ ธงชาย
	6.2 ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ปั้นจั่นชำรุดหรือการทำงานบกพร่อง	6.2.1 ต้องมีการตรวจเช็คและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ 6.2.2 ผู้ควบคุมและลูกจ้างที่ทำงานต้องมีความรู้ ความชำนาญ รู้ข้อจำกัดของอุปกรณ์และมีคู่มือในการปฏิบัติงาน 6.2.3 ควรมีการตรวจสอบปั้นจั่นทุกๆ 3 เดือน 6.2.4 จัดทำป้ายบอกพิกัดน้ำหนักที่ปั้นจั่นและป้ายบอกเขตการทำงานปั้นจั่นให้ชัดเจน 6.2.5 ห้ามทำงานเกี่ยวกับปั้นจั่นที่มีการชำรุดเสียหายหรืออยู่ในสภาพที่ไม่ปลอดภัย	
	6.3 ชิ้นงานล่วงหล่นถูกพนักงานหรือสิ่งก่อสร้าง	6.3.1 ห้ามยกหรือเหวี่ยงสิ่งของที่จะยกอย่างรวดเร็ว 6.3.2 ห้ามปล่อยชิ้นงานไว้บนขอเกี่ยวของปั้นจั่นและเมื่อหยุดใช้งานให้วางสิ่งของลงบนพื้น 6.3.3 ควรมีการให้สัญญาณมือควบคุมเครื่องหรือใช้วิทยุเคลื่อนที่ในการติดต่อประสานงาน กำหนดให้มีเพียงคนเดียวเท่านั้น	

กฎหมายความปลอดภัยในการทำงาน	อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น	ข้อเสนอแนะ / วิธีป้องกัน	วิธีการช่วยเหลือหากเกิดอุบัติเหตุ
		6.3.4 หากมีการปฏิบัติงานเวลากลางคืนควรมีการจัดแสงสว่างให้เพียงพอ 6.3.5 ห้ามผู้ไม่เกี่ยวข้องอยู่ใกล้บริเวณที่ปั้นจั่นทำงานหรือรัศมีการยกที่อันตราย	
	6.4 ไฟฟ้าช็อต/ดูด	6.4.1 การทำงานใกล้สายไฟฟ้าแรงสูงชิ้น-ส่วนต่างๆของปั้นจั่นจะต้องห่างจากสายไฟไม่น้อยกว่า 3 เมตรหรือตามขนาดของคลื่นไฟฟ้า	
7. กฎหมายความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม	7.1 เครื่องตอกเสาเข็มล้ม	7.1.1 ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ เครื่องตอกเสาเข็มก่อนใช้งาน เช่น อุปกรณ์ยกรางเลื่อนแม่แรงและอุปกรณ์ที่สำคัญทั้งหมด 7.1.2 ควบคุมให้มีการประกอบ ทดสอบซ่อมบำรุงและใช้เครื่องตอกเสาเข็มตามคู่มือการใช้งาน 7.1.3 จัดทำฐานของเครื่องตอกเสาเข็มให้มั่น-คงแข็งแรง 7.1.4 โครงเครื่องตอกเสาเข็มต้องมีการยึดโยงค้ำยันหรือตรึงให้มั่นคงแข็งแรง	1.1.2.1.1 รีบตรวจสอบบาดแผลของผู้ได้รับบาดเจ็บว่ามากน้อยแค่ไหน 1.1.2.1.2 ทำการปฐมพยาบาลในเบื้องต้น หากมีการบาดเจ็บที่รุนแรงให้รีบนำส่งโรงพยาบาลใกล้เคียงโดยเร็วที่สุดโดยรถประจำหน่วยงานหมายเลขทะเบียน ตย-9668 กทม. ขับขี่โดยคุณสมบัติ ธงชาย
	7.2 การพังทลายของดิน หิน เนื่องจากแรงสั่นสะเทือน	7.2.1 จัดทำแนวคันดินกั้นหรือจัดทำรั้วตาข่าย 7.2.2 ไม่ควรมีการปฏิบัติงานในขณะที่มีฝนตก 7.2.3 ติดป้ายพิกัดน้ำหนักยก และแนะนำการใช้เครื่องตอกเสาเข็ม	

กฎหมายความปลอดภัยในการทำงาน	อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น	ข้อเสนอแนะ / วิธีป้องกัน	วิธีการช่วยเหลือหากเกิดอุบัติเหตุ
		การใช้เครื่องตอกเสาเข็ม	
8. กฎหมายความปลอดภัยในการทำงานว่าด้วยนั่งร้าน	8.1 พนักงานล่วงหล่นจากนั่งร้าน	8.1.1 กำหนดให้พนักงานสวมรัดเข็มขัดนิรภัยตลอดระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน 8.1.2 ห้ามพนักงานปฏิบัติงานในขณะที่ฝนฟ้าคะนองหรือพายุฝน 8.1.3 ห้ามพนักงานปฏิบัติงานบนนั่งร้านที่มีความชำรุดเสียหาย 8.1.4 นั่งร้านสูงเกิน 3 เมตรควรจัดให้มีราวกันตก 8.1.5 แผ่นพื้นจับยึดด้วยวัสดุที่มีความมั่นคงและควรมีการติดตั้ง 2 แผ่นติดกันไม่เกิดช่องว่างระหว่างแผ่น 8.1.6 ไม่ควรสะสมวัสดุหรืออุปกรณ์ใดๆ ไว้บนนั่งร้านควรมีการจัดเก็บก่อนเลิกใช้งานทุกวัน	1.1.2.1.1 รีบตรวจสอบบาดแผลของผู้ได้รับบาดเจ็บว่ามากน้อยแค่ไหน 1.1.2.1.2 ทำการปฐมพยาบาลในเบื้องต้น หากมีการบาดเจ็บที่รุนแรงให้รีบนำส่งโรงพยาบาลใกล้เคียงโดยเร็วที่สุดโดยรถประจำหน่วยงานหมายเลขทะเบียน ฅย-9668 กทม. ขับขี่โดยคุณสมบัติ ธงชาย
	8.2 นั่งร้านล้ม	8.2.1 จัดทำฐานของนั่งร้านให้มีความมั่นคงและมีโครงค้ำยันที่แข็งแรง 8.2.2 พื้นดินที่มีการยุบตัวควรจัดหาแผ่นเหล็กรองเป็นฐานรองรับ	

บทที่ 9
สรุปการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบ

9.1 สรุปการวิเคราะห์

ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษได้ทำการวิเคราะห์ในเรื่องของระบบการทำงานที่มีคุณภาพซึ่งจะสามารถส่งผลดีถึงองค์กรนั้นๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

9.1.1 ในการดำเนินงานโครงการก่อสร้างในปัจจุบันมักมีปัญหาเกิดขึ้นอยู่เสมอ ไม่เฉพาะแต่เจ้าของโครงการและผู้รับเหมาเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย สำหรับปัญหาที่พบมักมาจาก

1. ขอบเขต และ ปริมาณงานตามสัญญา (เงื่อนไขของสัญญาและเอกสารของสัญญา)
2. ข้อกำหนดรายการก่อสร้าง
3. ระยะเวลาการก่อสร้างตามสัญญา
4. ความรู้ทางด้านเทคนิคและวิธีการ
5. สภาพแวดล้อมบริเวณที่ก่อสร้าง (สภาพพื้นที่และอากาศ)

9.2.2 ดังนั้นเราควรที่จะนำระบบที่มีคุณภาพมาใช้บริหารคุณภาพในงานก่อสร้างให้เกิดประสิทธิภาพนั้นจะต้องอาศัย เจ้าของโครงการ ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมา ที่ปรึกษา ตลอดจน ผู้จัดการโครงการ ได้เข้ามาร่วมมือกันในการจัดการงานก่อสร้าง ตั้งแต่ก่อนเริ่มดำเนินการ ระหว่างก่อสร้าง และภายหลังการก่อสร้างเสร็จสิ้น โดยการควบคุมการปฏิบัติในทุกๆขั้นตอน เพื่อให้ได้ระบบคุณภาพที่ดี จึงต้องมีการจัดทำระบบขึ้นมา สิ่งสำคัญที่จะทำให้ระบบที่มีคุณภาพประสบความสำเร็จหรือล้มเหลวได้แก่

1. ผู้บริหารสูงสุด ทั้งนี้เพราะว่าผู้บริหารเปรียบเสมือนเข็มทิศในการกำหนดทิศทางให้องค์กรเดินทางไปตามเส้นทางที่กำหนด เนื่องจากการจัดทำระบบดังกล่าวขัดกับความรู้สึกหรือระบบงานที่ผู้ปฏิบัติส่วนใหญ่ปฏิบัติอยู่ ดังนั้นผู้บริหารจะต้องแสดงออกถึงความตั้งใจและให้การสนับสนุนอย่างจริงจัง สร้างความรู้สึกให้ทุกฝ่ายร่วมมือร่วมใจกันปฏิบัติ จัดให้มีการอบรม การฝึกสอนงาน ให้ความรู้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้รับผิดชอบ และปฏิบัติ

2. ผู้จัดทำระบบ อาจเป็นบุคคลเดียวกันหรือไม่ก็ได้ เพราะว่าระบบมาตรฐาน มอก. 9000 , มอก. 14001 และ มอก. 18001 เป็นระบบที่ไม่เกี่ยวข้องกัน แต่สามารถรวมอยู่ในองค์กรเดียวกันได้ ดังนั้นในการจัดทำระบบ ควรแยกเนื้อหา หัวข้อการปฏิบัติออกจากกันเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการปฏิบัติงาน อีกทั้งผู้บริหารควรระบุขอบเขตอำนาจความรับผิดชอบให้กับผู้จัดทำระบบ โดยให้รายงานโดยตรงต่อผู้บริหาร หรือให้ผู้จัดทำระบบเป็นบุคลากรที่มีความอาวุโสในองค์กร จะเป็นสิ่งดีสำหรับคนโครงการก่อสร้าง ผู้จัดการโครงการจะเป็นผู้มีบทบาทมากที่สุด ดังนั้นอาจให้ผู้จัดการโครงการเป็นผู้รับผิดชอบหลักในการดำเนินงานได้

3. การจัดการการศึกษาการให้ความรู้ ถือได้เป็นหัวใจที่สำคัญที่สุดอันจะทำให้ระบบคุณภาพบรรลุความต้องการตามเป้าหมาย ควรมีการอบรมในระดับต่างๆที่เกี่ยวข้อง และเป็นประโยชน์ต่องานที่ปฏิบัติ ซึ่งจะช่วยให้เกิดความร่วมมือในการจัดทำระบบเป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะผู้ปฏิบัติงานไม่ว่าจะเป็นผู้จัดการ ผู้จัดการโครงการ วิศวกร ผู้รับเหมา โฟร์แมน ช่าง หรือแม้กระทั่งคนงานต่างมีบทบาทที่ตนเองรับผิดชอบ ต้องทำหน้าที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่ต้องปฏิบัติงานหน้างานก่อสร้างอยู่ในพื้นที่ปฏิบัติงาน ควรมีความเข้าใจและรับทราบถึงปัญหาต่างๆได้เป็นอย่างดี การให้ความรู้ที่ถูกต้องย่อมจะช่วยให้การทำงานดีขึ้น ผลงานดีขึ้น มีความปลอดภัยมากขึ้น

4. การสร้างกลุ่มงาน ถือเป็นกำลังหลักในการจัดทำระบบให้บรรลุตามเป้าหมาย ควรมีการส่งเสริมให้จัดการทำงานเป็นทีม มีการปรึกษาหารือ ช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่พบโดยเฉพาะในระดับช่างผู้ปฏิบัติงาน โดยมีวิศวกรหรือโฟร์แมนที่มีความรู้ และมีประสบการณ์ที่ถูกต้องคอยให้คำแนะนำ สำหรับการสอนนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับผู้ที่จะคอยให้คำแนะนำ

9.2 การเปรียบเทียบ

ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษ ได้จัดทำการเปรียบเทียบโดยมีข้อมูลเนื้อหาที่จะเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

1. การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเสาเข็มแต่ละชนิด
2. การเปรียบเทียบระบบโครงสร้างส่วนบนระหว่างคานคอนกรีตอัดแรง I-Girder และ Segment Box Girder โดยมีปัจจัยที่จะทำการเปรียบเทียบคือ
   - ขั้นตอนการทำงานระหว่างโครงสร้างทั้ง 2 ชนิด
   - ลักษณะของแผนการทำงาน

9.2.1 การเปรียบเทียบเสาเข็ม

ตารางที่ 9.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเสาเข็มแต่ละประเภท

ข้อจำกัด	เสาเข็มตอก	เสาเข็มเจาะโดยใช้สามขา	เสาเข็มเจาะโดยใช้เครน
สถานที่ทำงาน	โล่ง	แคบ	โล่ง
ความยาวเสาเข็ม	ผ่านชั้นดินแข็งไม่เกิน 35 blows/ft	ผ่านชั้นดินแข็งไม่เกิน 60 blows/ft	ไม่มีข้อจำกัด
ปลายเสาเข็ม อยู่ในชั้นดินเหนียว	ไม่สามารถตอกทะลุได้ถ้ามีค่า SPT มากกกว่า 25 blows/ft.	ไม่สามารถเจาะทะลุได้ถ้ามีค่า SPT มากกกว่า 60 blows/ft.	ไม่มีข้อจำกัด
เมื่อเจอชั้นทราย	ผ่านชั้นทรายไม่เกิน 35 blows/ft	ไม่สามารถทำงานได้	สามารถทำงานได้
ปลายเสาเข็ม อยู่ในชั้นทรายมีน้ำ	ไม่สามารถตอกทะลุได้ถ้ามีค่า SPT มากกกว่า 35 blows/ft.	ระบบแห้งไม่สามารถทำได้ ระบบเปียกสามารถทำได้ แต่ไม่สามารถเจาะทะลุถ้ามีค่า SPT มากกว่า 60 blows/ft.	ไม่มีข้อจำกัด
พบชั้นทราย หนามากกว่า 4 เมตร	ยากที่จะสามารถตอกทะลุได้ ถ้าไม่ใช้เทคนิคพิเศษ	ระบบเปียก สามารถเจาะทะลุได้	ไม่มีข้อจำกัด
เมื่อเจอชั้นหิน	ไม่สามารถทำงานได้	ไม่สามารถทำงานได้	สามารถทำงานได้
แรงสั่นสะเทือน ขณะทำเสาเข็ม	สูง	ต่ำ	ต่ำ
การทำงานในพื้นที่จำกัด	ไม่สามารถทำงานได้	ทำได้	ไม่สามารถทำงานได้
เสียงดัง	สูงมาก	สูง	ปานกลาง
งานก่อสร้างต่อเติม เมื่อมีอาคารอยู่ใกล้บริเวณก่อสร้าง	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม
ภายในตัวอาคาร	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม

9.2.2 เปรียบเทียบระบบโครงสร้างส่วนบนระหว่าง คานคอนกรีตอัดแรง I-Girder และ Segment Box Girder

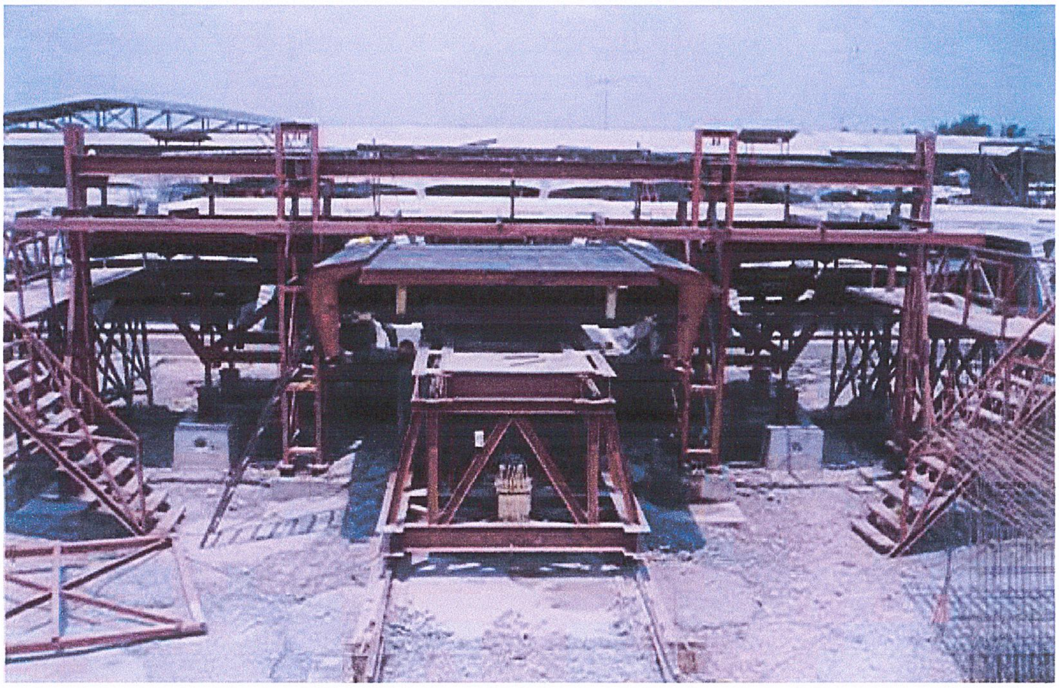
ทางคณะผู้จัดทำโครงงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 โครงการคือ โครงการทางยกระดับ รามอินทรา – วงแหวนรอบนอก กับ ถนนวงแหวนรอบนอก บางนา – บางประอินซึ่งในส่วนของโครงการหลังมีลักษณะเป็นทางยกระดับเหมือนกันแต่โครงสร้างส่วนบนเป็นระบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง (Segment Box Girder) ทางคณะผู้จัดทำจึงได้นำทั้ง 2 โครงการมาเปรียบเทียบกันโดยมีรายละเอียดต่อไปดังนี้

ขั้นตอนการทำงานของคานคอนกรีตอัดแรง I-Girder ได้กล่าวไว้ในบทที่ 7 ข้างต้นแล้วที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะเป็นการก่อสร้าง ระบบโครงสร้างแบบ Segment Box Girder โดยมีขั้นตอนการก่อสร้างดังต่อไปนี้

ก่อนที่จะไปทำความรู้จักกับขั้นตอนการหล่อ Segments Box Girder ใน Casting Yard นั้น ควรที่จะทำความรู้จักกับโครงสร้างประเภทนี้ก่อน เพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โครงสร้างสะพานแบบ Segments Box Girder นั้นจะมีลักษณะเป็นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปกลวงนำมาเรียงต่อกัน แล้วยึดเข้ากันด้วย Tendons โดยมีชิ้นส่วน Pier Segments เป็นตัวรับแรงที่ถ่ายมาจากTendons ซึ่งวางอยู่บนหัวเสา และแต่ละ Segments นั้นจะ Lock กันด้วย Shear Keys

1. ขั้นตอนการเตรียม Mould (Mould Preparation)

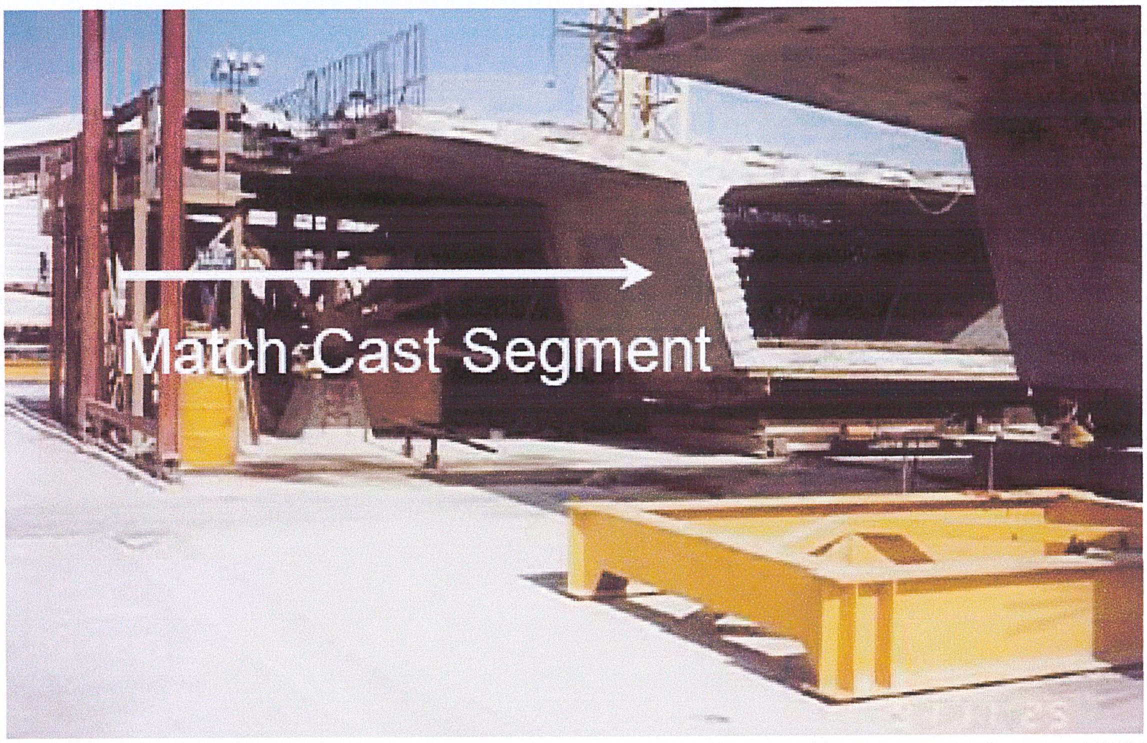
ในการหล่อชิ้นส่วน Segments Box Girder นั้น จะต้องมีการสร้างแบบหล่อคอนกรีตเป็นแบบเหล็กหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าMould ซึ่งจะมี Mould ทั้งหมด 2 ชนิดด้วยกันคือ Mould ที่ใช้หล่อ Pier Segments และ Mould ที่ใช้หล่อTypical Segments โดย Mould นั้น จะประกอบไปด้วย Components 2 ส่วนหลักๆ คือ Internal Formwork หรือ Core Form และ External Formwork



รูปที่ 9.1 แสดง Mould ของ Segment Box Girder

2. การเตรียม Match Cast Segment

ในการหล่อ Segments Box Girder นั้นจะต้องมีชิ้นส่วนที่เรียกว่า Match Cast Segment เพื่อนำมาเป็นแบบสร้าง Shear Keys ของ Segment ตัวใหม่ โดย Match Cast Segment ดังกล่าวก็คือ Segment ตัวที่เลื่อนออกมาจาก Mould หลังจากการถอดแบบ ทั้งนี้ Shear Keys ของ Match Cast Segment นั้นจะต้องทาด้วย Bond Breaker เพื่อป้องกัน Shear Keys ของ Segment ตัวใหม่เกาะติดกับผิวของ Shear Keys ของSegment ตัว Match Cast



รูปที่ 9.2 แสดง Match Cast Segment

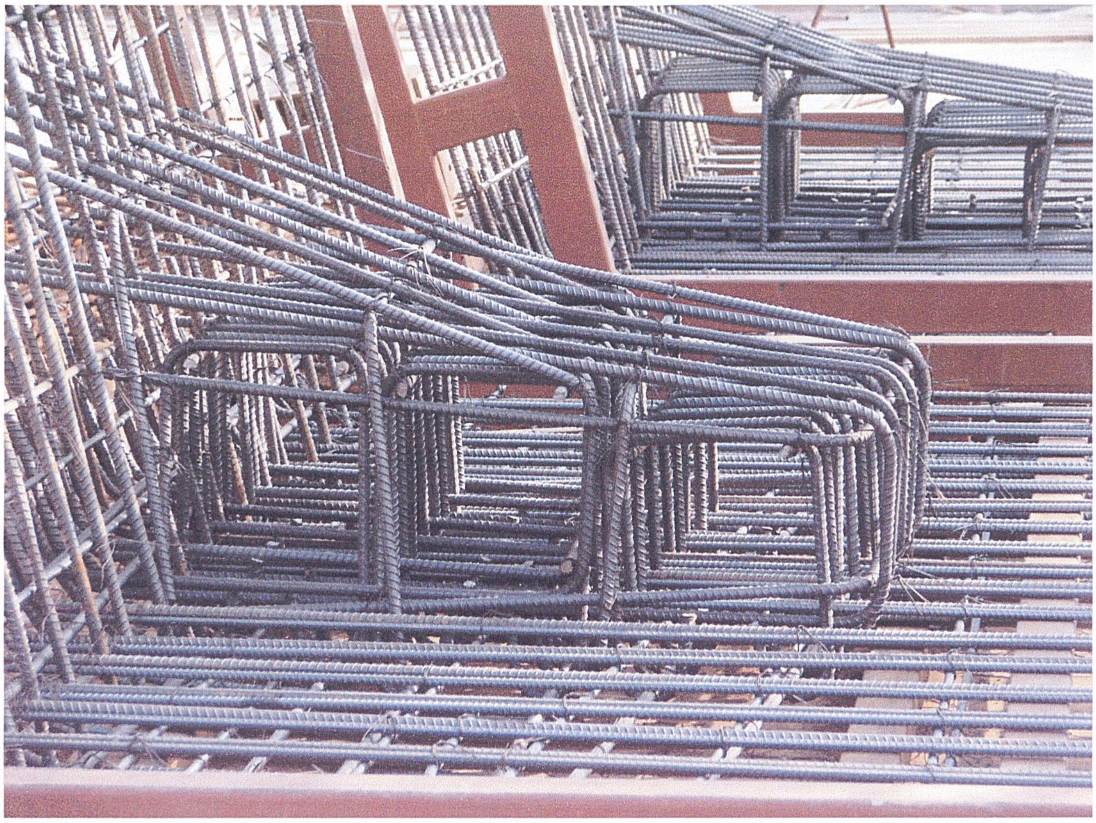
3. การกำหนดพิกัดรังวัดเบื้องต้น

ทางฝ่าย Geometry Control จะทำการปรับพิกัด Survey ของตัว Match Cast Segment จากค่าที่คำนวณได้จาก Drawings โดยการปรับพิกัดของ Match Cast Segment นั้นจะปรับโดยใช้ระบบ Hydraulicซึ่งควบคุมโดยพนักงานประจำ Mould นั้นๆ

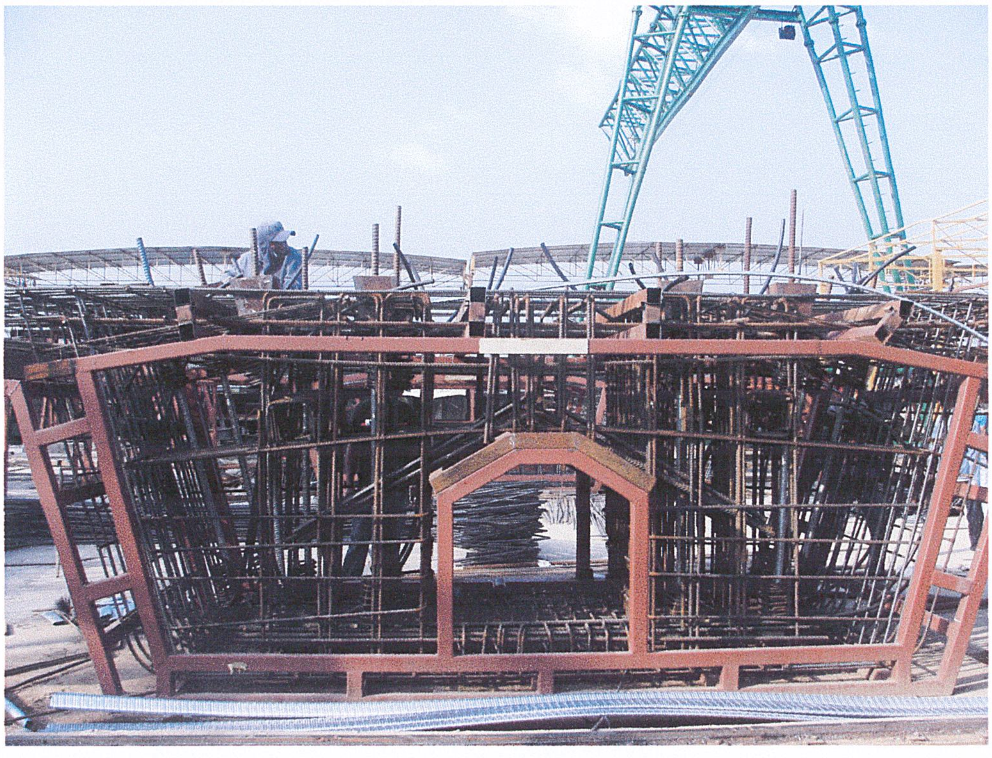
4. ขั้นตอนการลงเหล็ก (Installation of Rebar Cage)

ในขั้นตอนนี้ Tower Crane จะยกโครงเหล็กที่ผูกเสร็จแล้วเข้าไปใน Mouldและทำการเลื่อน Core Form ให้เข้าตำแหน่งและทำการปรับ Core Form ให้แนบสนิทกับ Match Cast Segment และทำการ Seal Joint ต่างๆ อีกครั้งเพื่อป้องกันการรั่วของ ซีเมนต์

รูปที่ 9.3 ก แสดง การผูกเหล็กของ Segments Box Girder



รูปที่ 9.3 ข แสดง การผูกเหล็กของ Segments Box Girder



รูปที่ 9.4 แสดงการผูกเหล็กชิ้นส่วน Pier Segment Box Girder

4. ขั้นตอนการเทคอนกรีต

หลังจากทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของการปรับ Mould แล้วนั้น จึงทำการเทคอนกรีตลงไปในMould โดยขั้นตอนการเทนั้นจะต้องเทในส่วนของพื้นล่างก่อน ตามมาด้วยส่วนผนัง (Web) และปิดท้ายด้วยการเทSlab บน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการแยกตัวของคอนกรีต แล้วทำการเปิดเครื่องให้เขย่าในขณะเทคอนกรีต หลังจากเสร็จสิ้นการเทคอนกรีตแล้วนั้น ผิวคอนกรีตด้านบนที่สัมผัสกับอากาศจะต้องทำการฉีดพ่นด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีตสด หรืออาจคลุมด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในคอนกรีต

รูปที่ 9.5 แสดง Segments Box Girder ที่แข็งตัวแล้วตอนอยู่ใน Mould

รูปที่ 9.6 แสดงการกองเก็บของชิ้นส่วน Segments Box Girder เพื่อรอนำไปใช้งาน

5. ทำการติดตั้ง Pier Segment โดยใช้ เครนยก

รูปที่ 9.7 แสดง การติดตั้ง Pier Segment

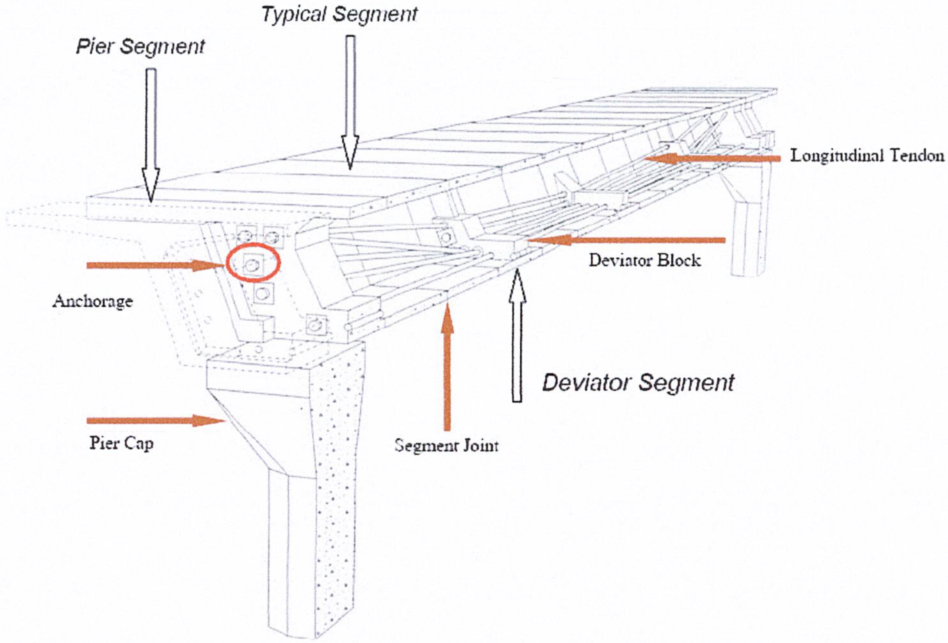
6. ทำการติดตั้ง Lunching Truss บน Pier Segment

รูปที่ 9.8 แสดงการติดตั้ง Lunching Truss

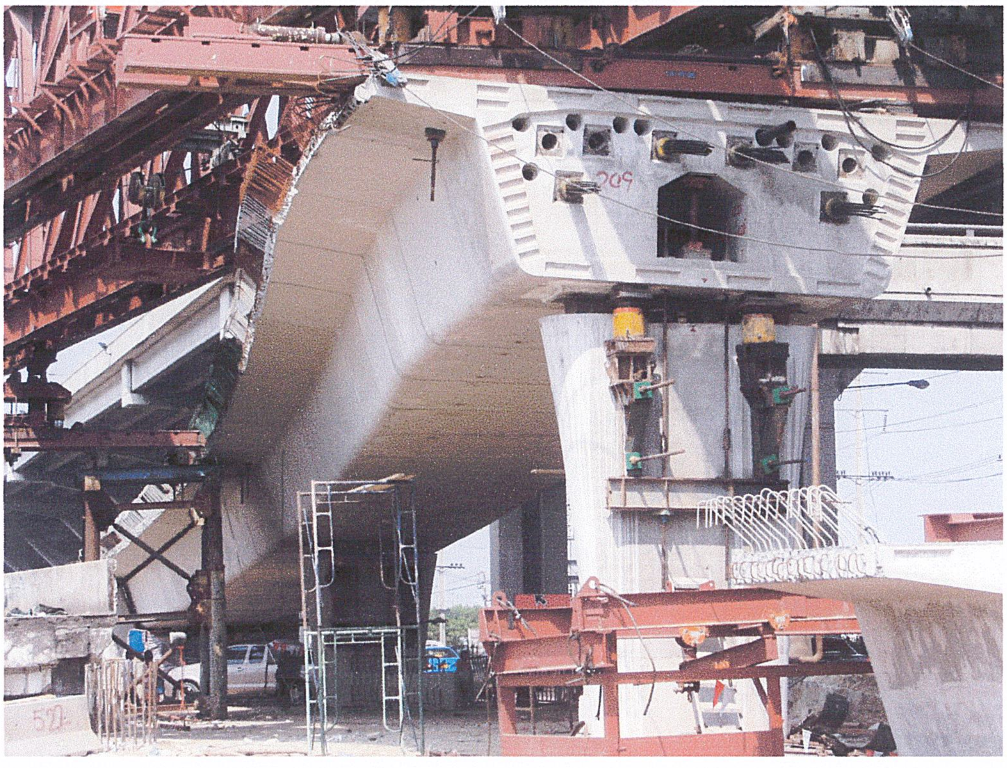
7. ทำการใช้ Lunching truss ยกชิ้นส่วน Segments Box Girder

รูปที่ 9.9 แสดงการยก Segment Box Girder

8. ทำการร้อยลวดเหล็กอัดแรงเข้ากับชิ้นส่วน Segment Box Girder ทั้งช่วง Span



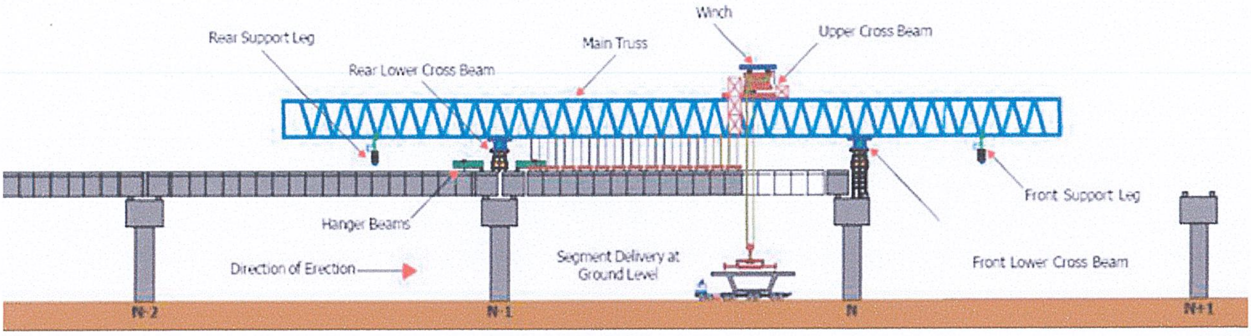
รูปที่ 9.10 ก แสดงการร้อยลวดเหล็กอัดแรง



รูปที่ 9.10 ข แสดงการร้อยลวดเหล็กอัดแรงในช่วง Span

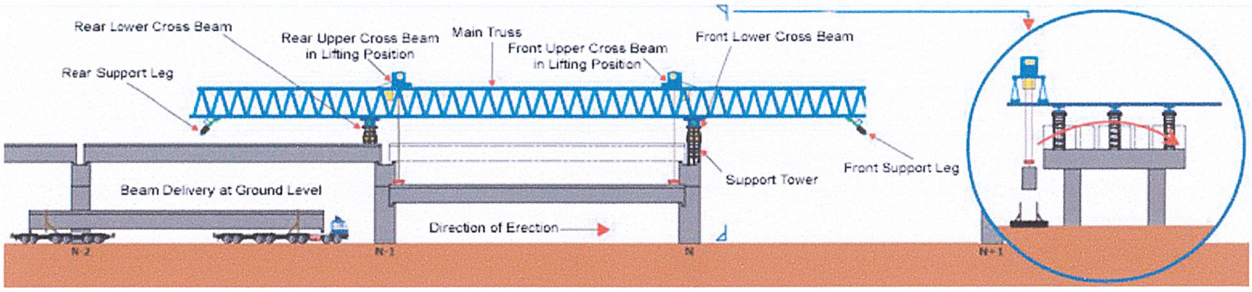
9.3 ลักษณะแผนการทำงานของทั้ง2โครงการ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเขียนแผนการทำงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างระหว่าง เสาถึงเสา (Span by Span) ของชิ้นส่วนแบบระบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก I-Girder กับ Segment Box Girder ดังต่อไปนี้



	ระยะเวลา (วัน)					
รายละเอียดงาน	1	2	3	4	5	6
เคลื่อนLAUNCHING GANTRY สู่ช่วงสะพาน(SPAN) ที่ต้องการทำงาน						
ยก SAGMENT BOX-GIRDER ไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการ						
จัดระดับและแนวของ SAGMENT BOX-GIRDER						
หล่อคอนกรีตที่ WET JOINT						
รอเวลาคอนกรีตที่ WET JOINT ได้กำลังประมาณ 180 ksc.						
ติดตั้งระบบลวดอัดแรง POST TENSION						
ทำการดึงลวดอัดแรง POST TENSION						
ลาดผิวจราจรด้วย ASPHALT CONCRETE						
หล่อผนังริมทาง						

ตารางที่ 9.2 แสดงระยะเวลาแผนการทำงานของโครงการถนนวงแหวนรอบนอก (บางนา - บางปะอิน)



	ระยะเวลา (วัน)						
รายละเอียดงาน	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**
เคลื่อน LAUNCHING GANTRY สู่ช่วงสะพาน(SPAN) ที่ต้องการทำงาน							
ยกคานหลัก I -GIRDER ไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ							
จัดตำแหน่งของคานหลัก I -GIRDER							
เคลื่อน LAUNCHING GANTRY สู่ช่วงสะพาน(SPAN) ที่ต้องการทำงานถัดไป							
ติดตั้งเหล็กเสริมคานซอยและหล่อคานซอย							
ติดตั้งค้ำยัน แบบหล่อพื้นสะพานและเหล็กเสริมพื้นสะพาน							
เทคอนกรีตพื้นสะพาน							
ลาดผิวจราจรด้วย ASPHALT CONCRETE							
หล่อผนังริมทาง							

ตารางที่ 9.3 แสดงระยะเวลาแผนการทำงานของโครงการทางยกระดับรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก

9.4 สรุปการเปรียบเทียบ

จากการเปรียบเทียบระบบการก่อสร้างทั้งสองแบบคือ ระบบคานคอนกรีตอัดแรง I-Girder และระบบคานกล่องคอนกรีตอัดแรง (Segment Box Girder) จะเห็นได้ว่า ในวิธีของระบบคานคอนกรีตอัดแรง I-Girder เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากแต่ว่ามีระยะเวลาการทำงานที่ค่อนข้างช้า ซึ่งเมื่อคิดระหว่าง Span ถึง Span จนเสร็จสิ้นแล้วจะใช้เวลาอยู่ที่ 14 วัน/1Span เมื่อเปรียบเทียบกับระบบคานกล่องคอนกรีตอัดแรง (Segment Box Girder) ที่มีวิธีการที่ยุ่งยากกว่าแต่สามารถทำงานได้เร็วกว่า ซึ่งระยะเวลาอยู่ที่ 6 วัน/1 Span

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างระบบคานคอนกรีตอัดแรง I-Girder หรือ คานกล่องคอนกรีตอัดแรง (Segment Box Girder) ซึ่งเป็นระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น มีประโยชน์ทั้งในด้านความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง เนื่องจากการทำงานในส่วนของหน้างาน และ โรงหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น สามารถเริ่มทำงานได้พร้อมกันแก้ไขปัญหาการปิดการจราจรพื้นล่างเป็นเวลานาน โดยเพียงปิดการจราจรช่วงติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเท่านั้น สามารถควบคุมคุณภาพของการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้ใกล้ชิดมากขึ้น

ตารางที่ 9.4 เปรียบเทียบระบบโครงสร้างส่วนบนระหว่าง คานคอนกรีตอัดแรง I-Girder และ Segment Box Girder

	ระบบคานคอนกรีตหน้าตัดรูปตัวไอ (I-Girder)	ระบบคานคอนกรีตรูปกล่อง (Segment Box Girder)
เสาเข็ม Pile	- เป็นเสาเข็มตอกแบบกลุ่ม - ใช้ระยะเวลามาก - ราคาถูก - ใช้เครื่องจักรน้อยและใช้คนงานน้อย - มีเสียงดังและการสั่นสะเทือน - ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก	- เป็นเสาเข็มเจาะต้นเดี่ยว - ใช้ระยะเวลาน้อย - ราคาแพง - ใช้เครื่องจักรหลายชนิดและใช้คนงานมาก - ไม่มีเสียงดังและการสั่นสะเทือน - ขั้นตอนยุ่งยากและซับซ้อน
ฐานราก Footting	- มีขนาดใหญ่	- มีขนาดเล็ก
เสา Column	-	-
คานขวาง Crossbeam	- มี	- ไม่มี (ใช้เป็น Pier Segment)
คาน Girder	- หน้าตัดเป็นรูปตัว I - เป็นการหล่อแบบ Post Tension - ได้ความยาวช่วงเสาสั้น (30-35 เมตร) - ใช้เวลาติดตั้งน้อย	- หน้าตัดเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมกลวง - เป็นการหล่อแบบ Post Tension - ได้ความยาวช่วงเสายาว (40-45 เมตร) - ใช้เวลาติดตั้งมาก
พื้น Slab	- หล่อในที่ - ใช้คานซอย - ต้องรอเวลาคอนกรีตได้กำลัง	- เป็นชิ้นเดียวกับ Segment Box Girder - ไม่ใช้คานซอย - หลังจากติดตั้ง Segment Box Girder สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เลย
ผิวจราจร Pavement	-	-
อายุการใช้งาน	- สั้นกว่าระบบคานคอนกรีตรูปกล่อง (Segment Box Girder) - อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับแผ่นยางรองสะพาน - ไม่สามารถซ่อมบำรุงได้หากแผ่นยางรองสะพานชำรุด	- นานกว่าระบบคานคอนกรีตหน้าตัดรูปตัวไอ(I-Girder) - อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลวดเหล็กตีเกลียวสำหรับดึง (Tendon)และแผ่นยางรองสะพาน - สามารถซ่อมบำรุงได้หากลวดเหล็กตีเกลียวสำหรับดึง (Tendon) เกิดการชำรุด

บรรณานุกรม

บ. Unique Engineering จำกัด "โครงการก่อสร้างทางยกระดับ รามอินทรา - วงแหวนรอบนอก" กรกฎาคม 2550

บ. Chotichinda Mouchel Consultants จำกัด "โครงการก่อสร้างทางยกระดับ รามอินทรา - วงแหวนรอบนอก" กรกฎาคม 2550

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพถ่ายแสดงการก่อสร้าง

รูปที่ ก-1 โรงหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป

รูปที่ ก–2 ชิ้นส่วน I – Girder

รูปที่ ก–3 รถตอกเสาเข็มโดยใช้ Hydraulic Hammer

รูปที่ ก-4 รถตอกเสาเข็มกำลังยกเสาเข็ม

รูปที่ ก-5 การเช็คดิ่งเสาเข็ม

รูปที่ ก–6 กลุ่มของเสาเข็มที่ตอกเสร็จแล้ว

รูปที่ ก-7 กลุ่มของเสาเข็มที่ตอกเสร็จแล้ว

รูปที่ ก-8 คนงานกำลังใส่เหล็ก Dowel Bar

รูปที่ ก-9 คนงานกำลังผูกเหล็ก Footing

รูปที่ ก-10 เทคอนกีตFooting

รูปที่ ก-11 Footingหลังการแกะแบบ

รูปที่ ก-12 คนงานกำลังผูกเหล็ก Column

รูปที่ ก-13 Kicker Column

รูปที่ ก-14.1 เข้าแบบ Column

รูปที่ ก-14.2 เข้าแบบ Column

รูปที่ ก-15 นั่งร้านรับ Crossbeam

รูปที่ ก-16 แสดงชุดของระบบนั่งร้านส่วนบน

รูปที่ ก-17 Crossbeam

รูปที่ ก-18 นั่งร้านรองรับ Cantiliver desk

รูปที่ ก-19 เครนยกเหล็กขึ้นไปวางเพื่อทำ Crossbeam

รูปที่ ก-20 การจัดเก็บชิ้นส่วน I-Girdersรอทำการยกไปติดตั้ง

รูปที่ ก-21.1 ชิ้นส่วน I-Girder ที่วางเสร็จเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ ก-21.2 ชิ้นส่วน I-Girder ที่วางเสร็จเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ ก-22 วางแผ่นพื้นสำเร็จ

รูปที่ ก-23 เท Assphalt Concrete

รูปที่ ก-24 แสดงรั้วป้องกันความปลอดภัย

รูปที่ ก-25 แสดงป้ายทางเบี่ยงเมื่อมีการก่อสร้างบริเวณถนน

ภาคผนวก ข
รายการประกอบแบบ

Scope of Work for Contract 1

Mainline Length	2,660	M
No of Ramp	4	Ramp
Pile Cap	290	EA.
Column	290	EA.
Cross beam	252	EA.
Deck Slab	103,114	Sq.m
Barrier	16,900	M
Toll Building	1	No
Toll Plaza	1	No

Main Material Quantities for Contact

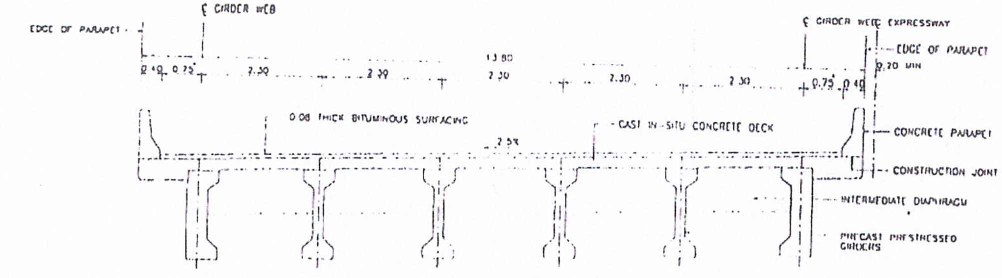
Concrete	83,900	CU.M.
Reinforcement	16,510	MT.
Pile		
- Spun pile 30	572	EA.
- Spun pile 60	2,926	EA.
- Spun pile 80	207	EA.
- Square pile 40	174	EA.
Girder	1,458	EA.
Asphaltic concrete	107,400	Sq.m

Scope of Work for Contact 2

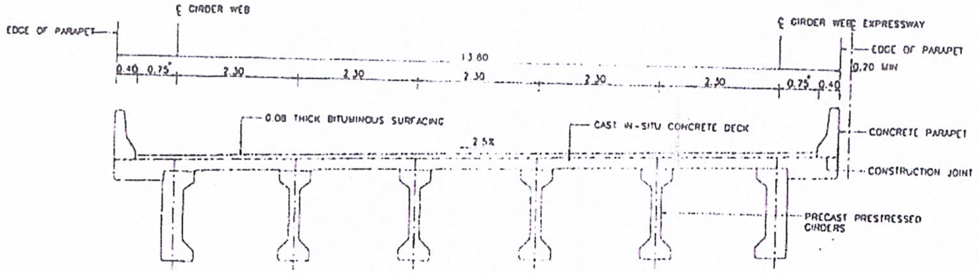
Mainline Length	2,590	M
No of Ramp	4	Ramp
Flyover	1	Ramp
Pile cap	242	EA.
Column	242	EA.
Cross beam	201	EA.
Deck slab	95,615	Sq.m
Barrier	13,673	M
Toll Building	1	No.
Toll Plaza	2	No.

Main Material Quantities for Contact 2

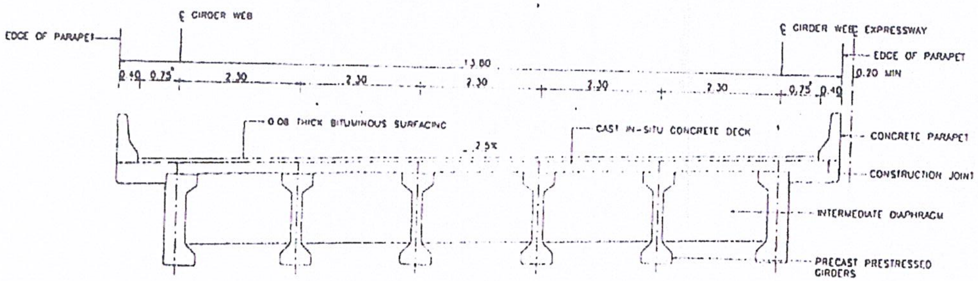
Concrete	78,180	CU.M.
Reinforcement	14,433	MT.
Pile		
- Spun pile 30	1,093	EA.
- Spun pile 60	2,867	EA.
- Spun pile 80	82	EA.
- Square pile 40	334	EA.
Girder	1,305	EA.
Asphaltic concrete	102,800	Sq.m



SECTION AT END DIAPHRAGM
SCALE 1:50

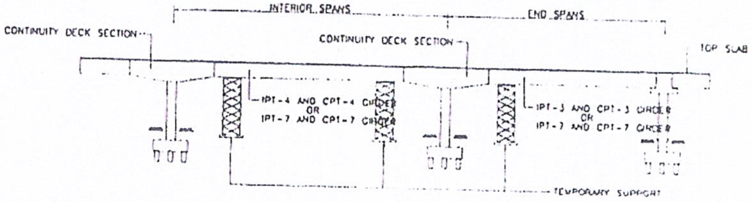


TYPICAL SECTION
SCALE 1:50

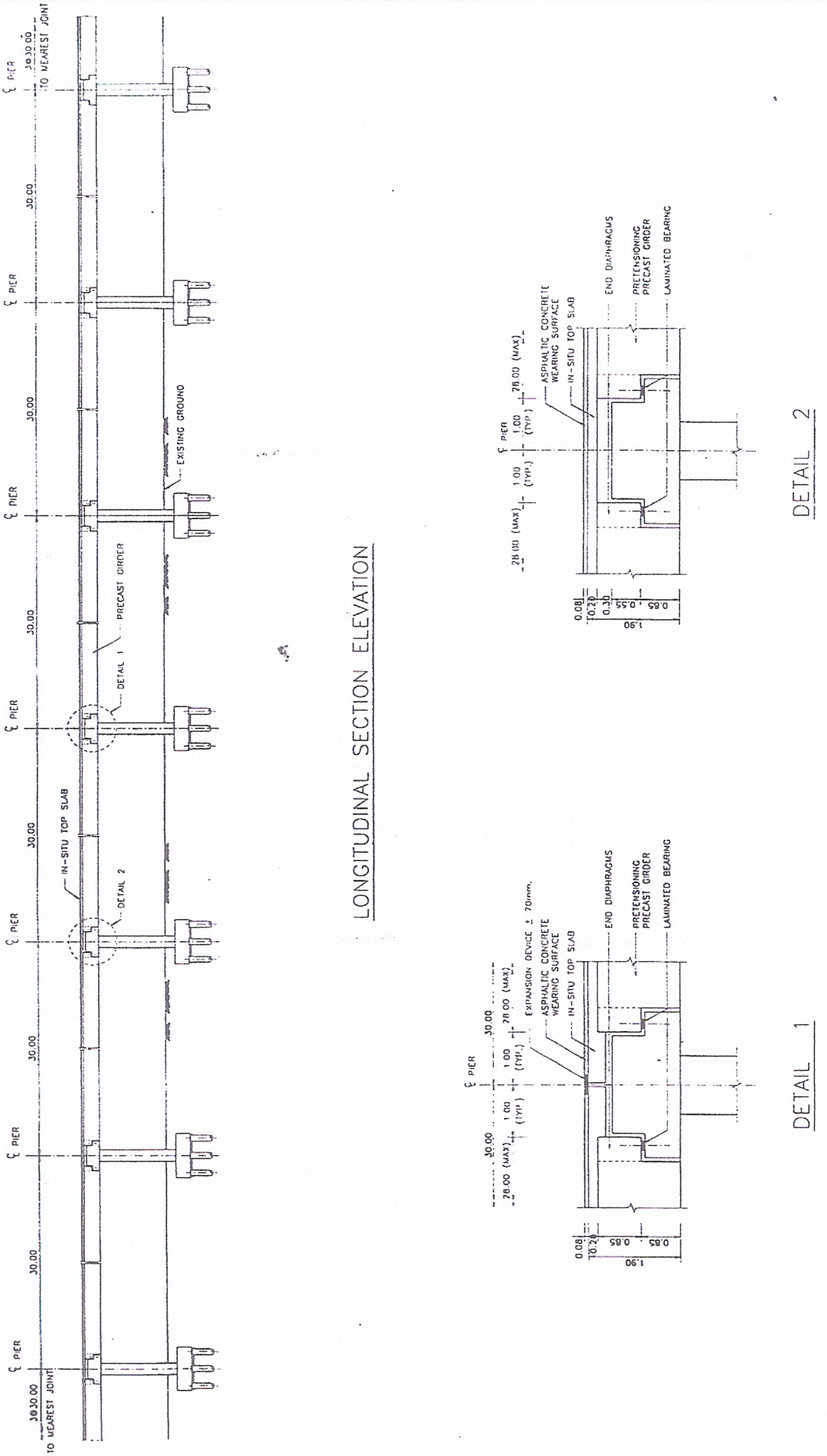


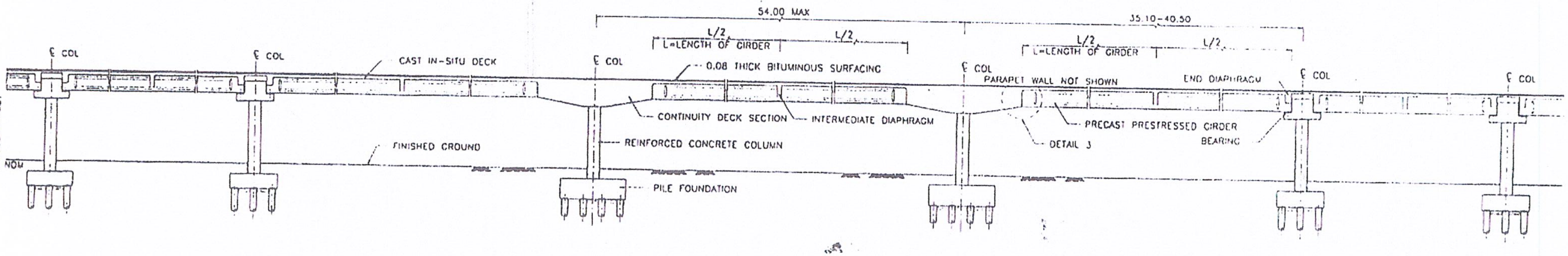
SECTION AT INTERMEDIATE DIAPHRAGM
SCALE 1:50

CONSTRUCTION SEQUENCE FOR SPANS SUPPORTED BY CONTINUITY DECK SECTION

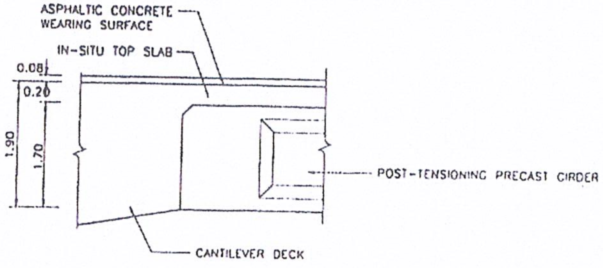


1. ERECT POST TENSIONED GIRDERS AND PLACE IN FINAL POSITION SUPPORTED ON TEMPORARY SUPPORTS.
2. CONSTRUCT FORMWORK AND POUR CONTINUITY DECK SECTION
3. POUR TOP SLAB
4. REMOVE TEMPORARY SUPPORT WHEN CONNECTION BETWEEN GIRDERS AND CONTINUITY DECK SECTION HAS REACHED DESIGNED STRENGTH OR APPROVED BY THE ENGINEER.

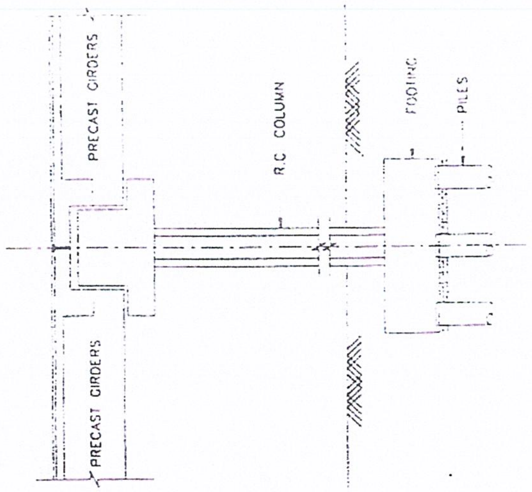

LONGITUDINAL SECTION ELEVATION
℄ PIER
30.00
30.00
TO NEAREST JOINT
EXISTING GROUND
PRECAST GIRDER
DETAIL 1
IN-SITU TOP SLAB
DETAIL 2
DETAIL 1
EXPANSION DEVICE ± 70mm.
ASPHALTIC CONCRETE WEARING SURFACE
IN-SITU TOP SLAB
END DIAPHRAGMS
PRETENSIONING PRECAST GIRDER
LAMINATED BEARING
28.00 (MAX)
1.00 (TYP.)
0.08
0.20
0.85
1.90
DETAIL 2
0.30
0.55



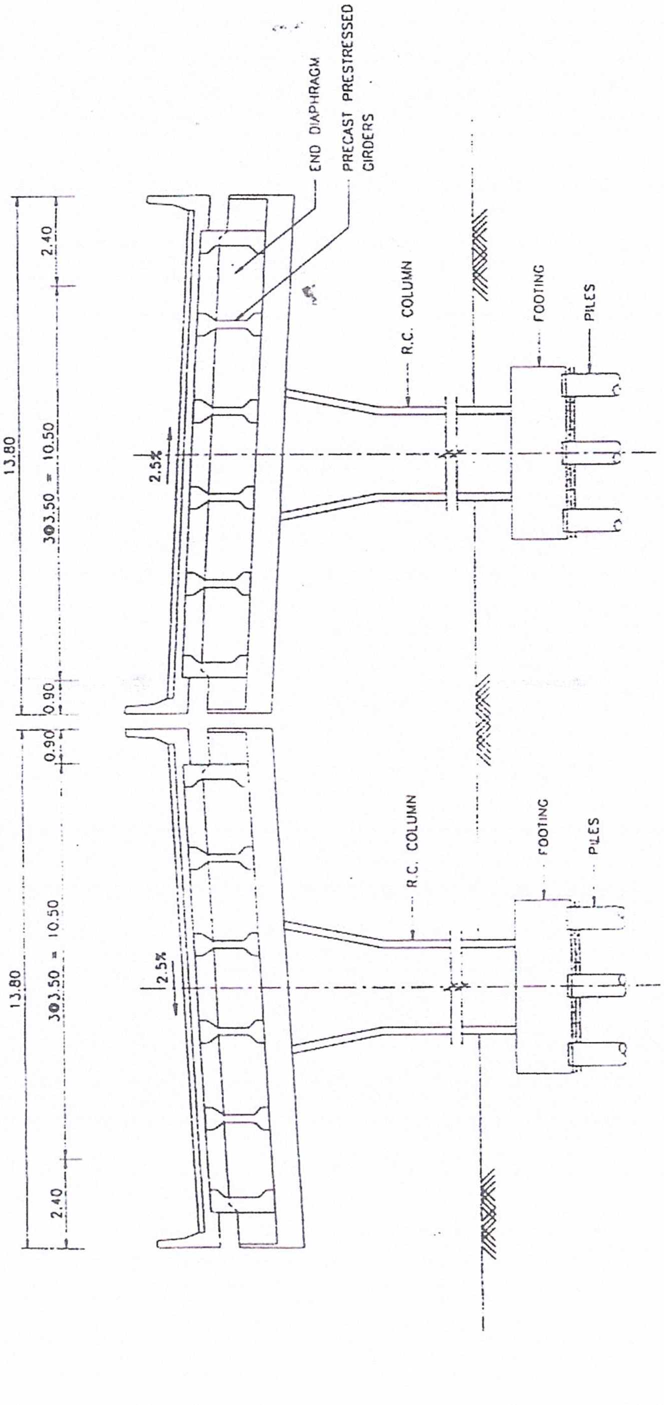
LONGITUDINAL SECTION ELEVATION



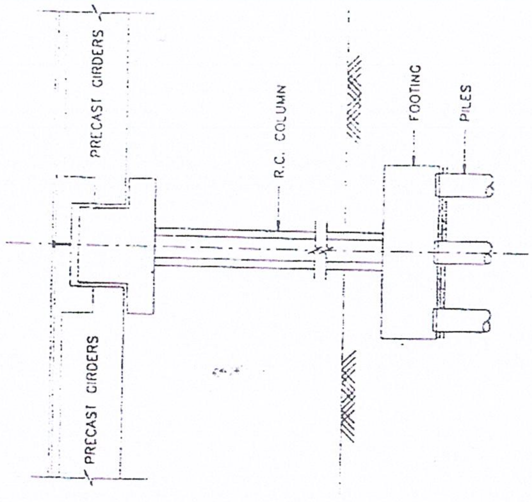
DETAIL 3



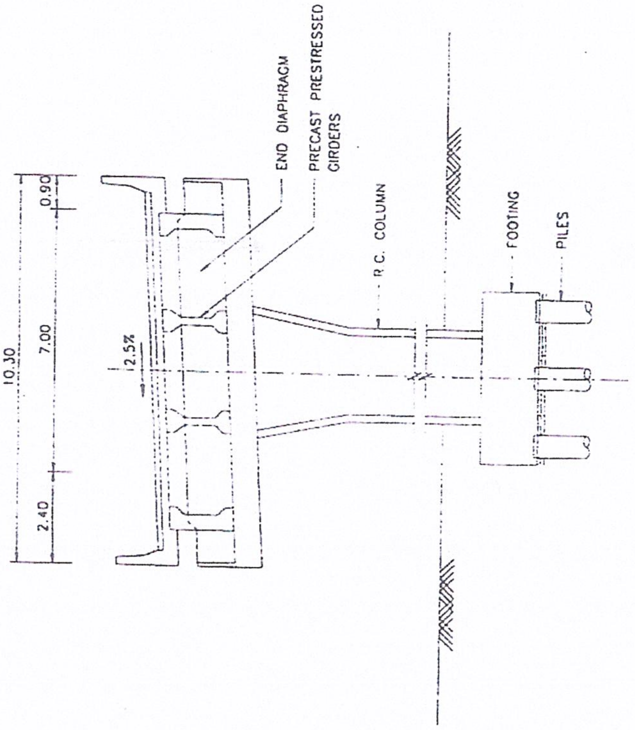
ELEVATION 2



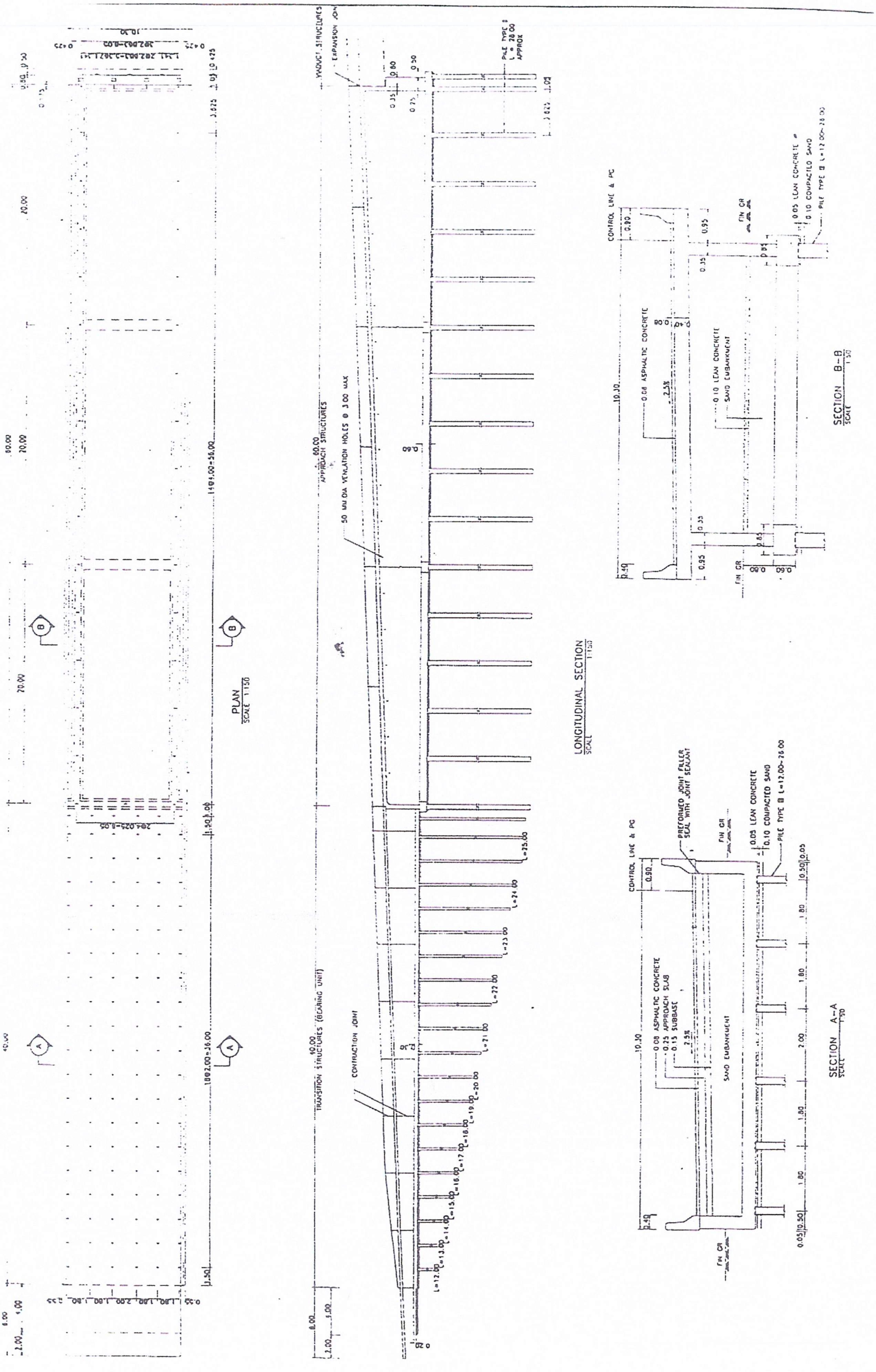
ELEVATION 1



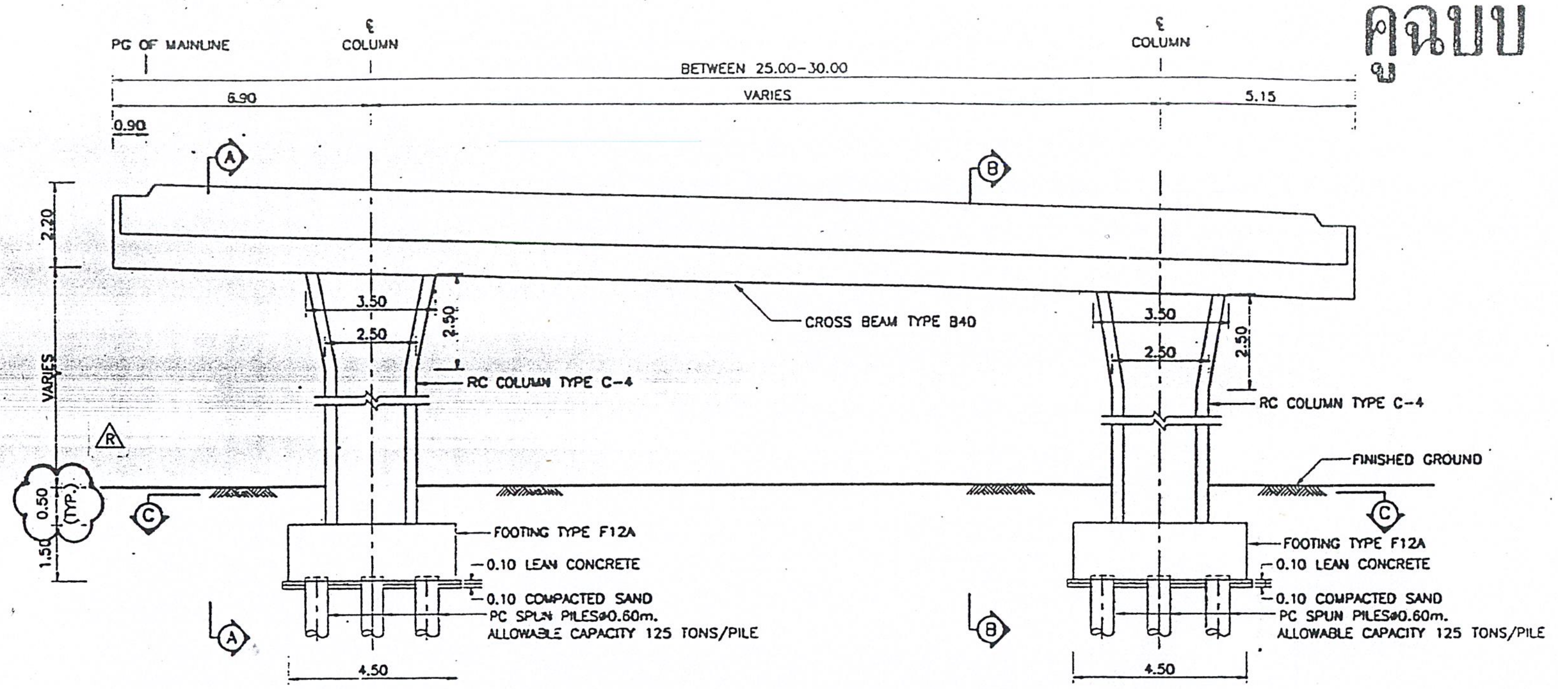
ELEVATION 2



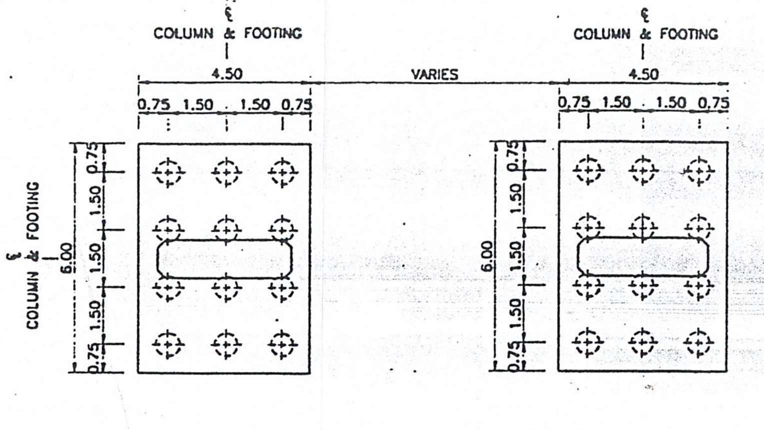
ELEVATION 1


PLAN
SCALE 1:150
LONGITUDINAL SECTION
VIADUCT STRUCTURES
EXPANSION JOINT
APPROACH STRUCTURES
50 MM DIA VENTILATION HOLES @ 3.00 MAX
TRANSITION STRUCTURES (BEARING UNIT)
CONTRACTION JOINT
SECTION B-B
CONTROL LINE & PC
0.08 ASPHALTIC CONCRETE
0.10 LEAN CONCRETE
SAND EMBANKMENT
FIN GR
SECTION A-A
PREFORMED JOINT FILLER SEAL WITH JOINT SEALANT
0.25 APPROACH SLAB
0.15 SUBBASE
0.05 LEAN CONCRETE
0.10 COMPACTED SAND
PILE TYPE B L=12.00~26.00

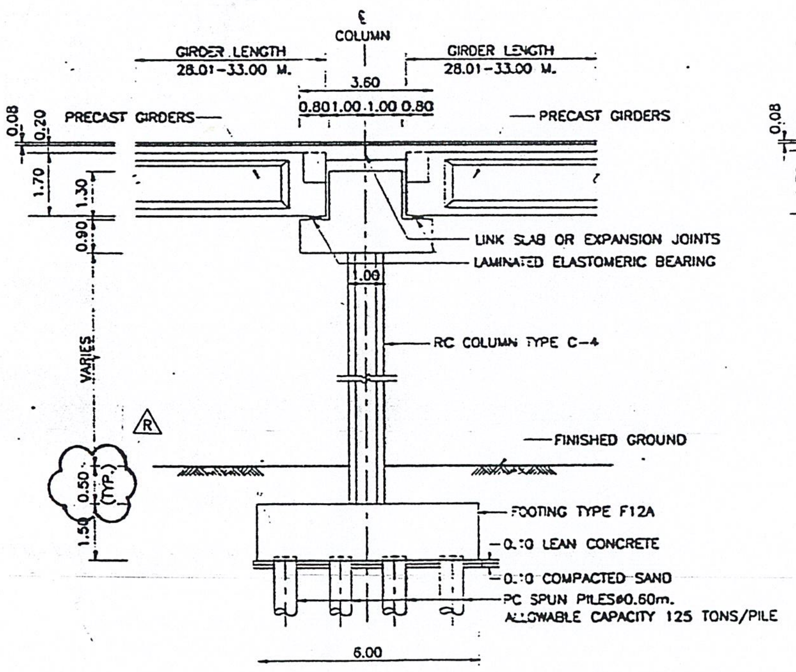
คู่ฉบับ



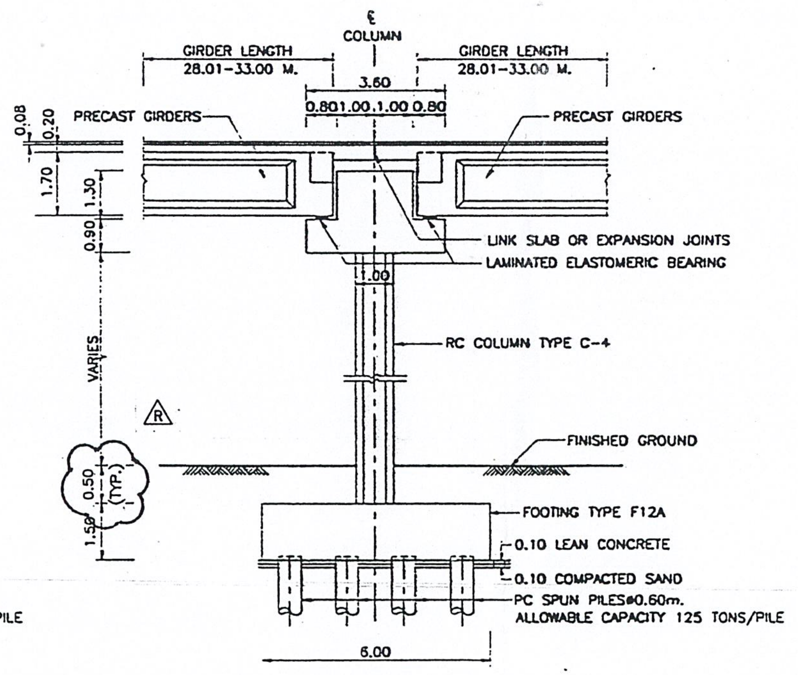
FRONT ELEVATION
SCALE 1:100



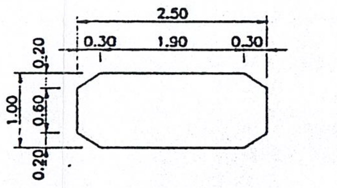
SECTION Ⓒ-Ⓒ
SCALE 1:100



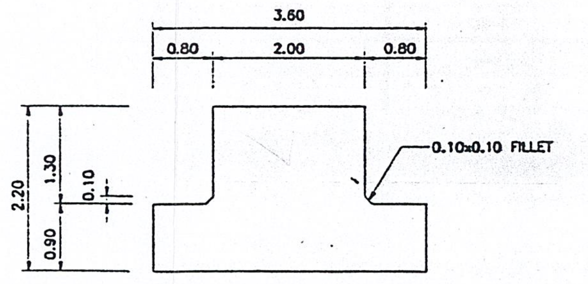
SECTION Ⓐ-Ⓐ
SCALE 1:100



SECTION Ⓑ-Ⓑ
SCALE 1:100



SECTION FOR RC COLUMN
SCALE 1 : 50



SECTION FOR RC CROSS BEAM
SCALE 1 : 50

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN METERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
2. ~~THIS DRAWING APPLIED TO OUT-TO-OUT ROADWAY WIDTHS RANGES FROM 25.00 TO 33.00 METERS.~~
3. ~~THIS DRAWING APPLIED TO LENGTH OF ADJACENT I-GIRDERS RANGES 28.01 TO 33.00 METERS.~~
4. ELEVATION OF TOP PILE CAP SHOWN IN VIADUCT GENERAL ARRANGEMENT DRAWING SHALL BE VERIFIED TO CONFORM WITH EXISTING GROUND LEVEL BY THE CONTRACTOR AND SUBMITTED FOR ENGINEER APPROVAL PRIOR TO PROCEEDING ANY WORKS

CROSS REFERENCE DRAWING

ITEM	TYPE	DWG.NO
CROSS BEAM	B40	S-CB-007
COLUMN	C-4	S-CO-002
FOOTING	F12A	S-SF-002

REVISIONS

NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED
R	10/11/05	EPSILON	REVISED BY EPSILON	

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

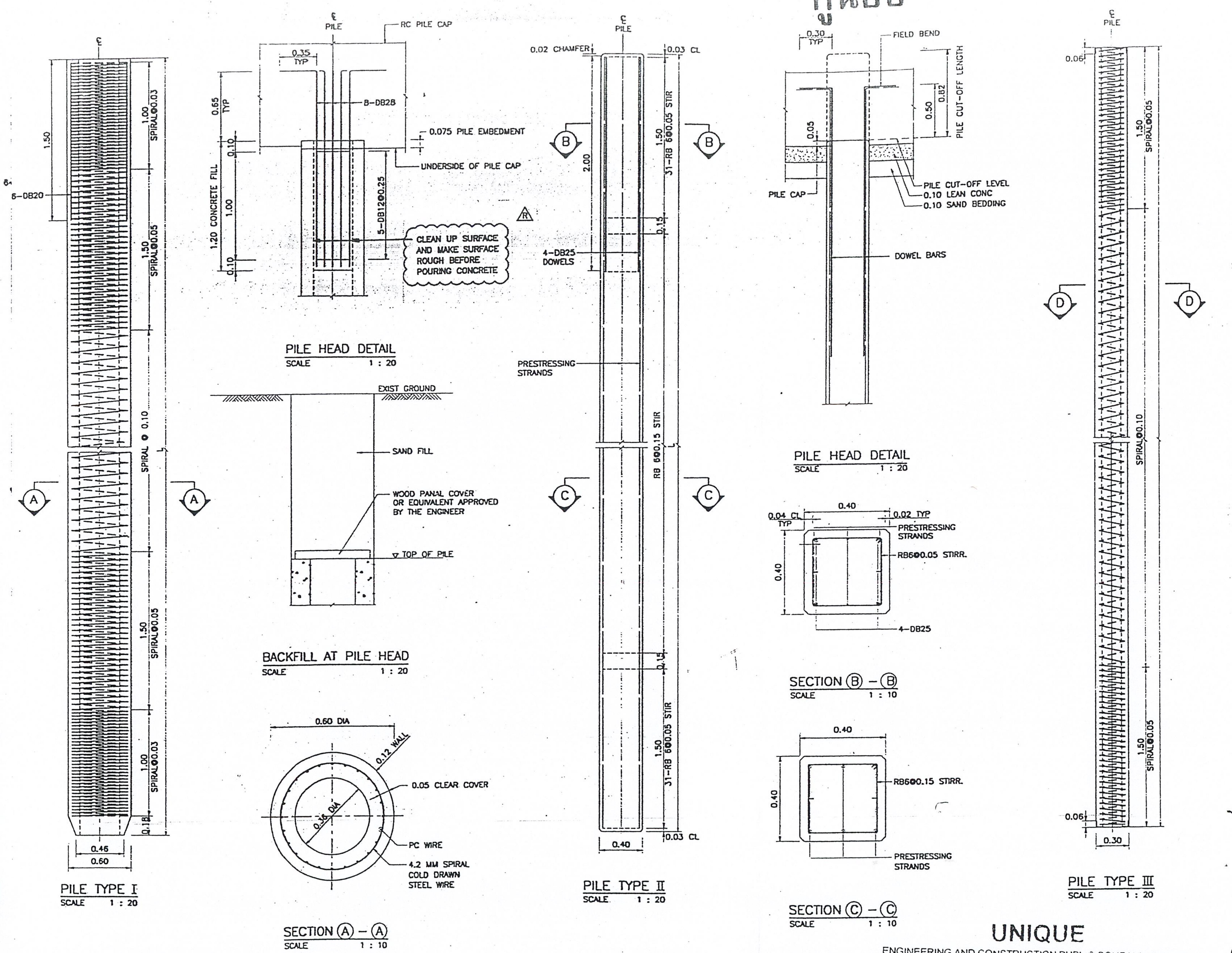
CONSULTANTS :
MOUCHEL CONSULTING LTD. — MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC. — MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD. — K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

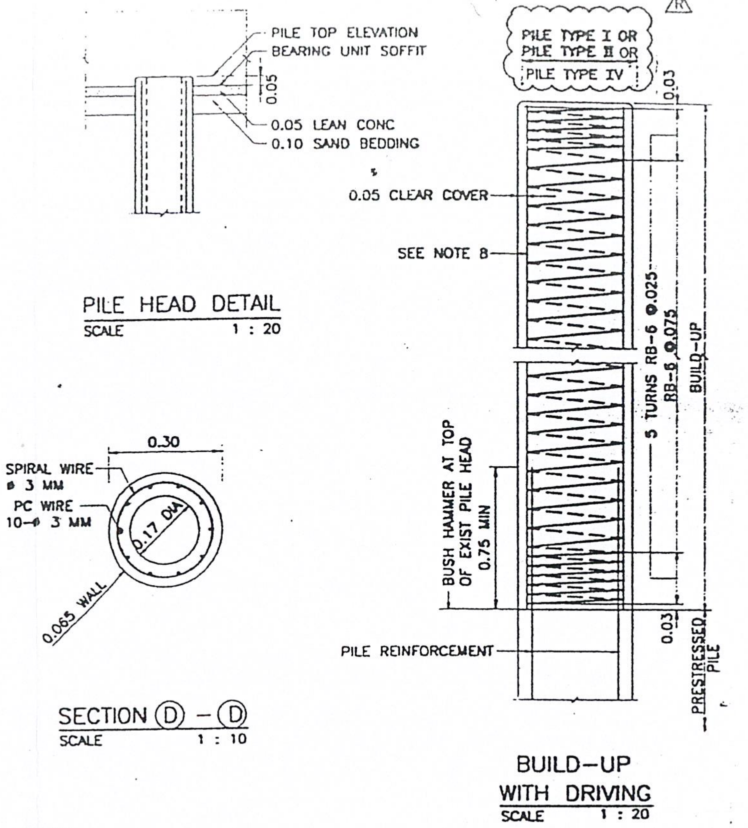
SUBSTRUCTURE

STRUCTURAL ARRANGEMENT TYPE 4B-04

DESIGNER	CHAMALIT L. / WINAI G.	
DRAFTSMAN	SURAT T.	
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.	
DRAWING CHECKED	WINAI S.	
PROJECT MANAGER	N. LIGHTBODY	

SCALE: AS SHOWN
DATE: APR 1998
DWG. NO. S-SU-029 (R)
SHEET NO. 33





NOTES

1. PILE SHALL BE MANUFACTURED CONFORMING TO THE REQUIREMENT AS SPECIFIED BELOW :

PILE TYPE	CONCRETE CLASS	f'c	f'ci	fpa	DESIGNED WORKING LOAD (TONS)	TIS
I	O (20)	500	280	50	125	398-2524
II	A (20)	400	280	50	80	396-2524
III	O (20)	500	280	50	40	398-2524
IV	O (20)	500	280	50	250	398-2524

IN WHICH

f'c = COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE AT 28 DAYS FOR CEMENT TYPE I (6 x 12 CYLINDER) IN KG/CM^2

f'ci = COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE AT TIME OF TRANSFERING THE FORCES IN KG/CM^2

fpe = COMPRESSIVE STRESS IN CONCRETE DUE TO EFFECTIVE PRESTRESS FORCE (AFTER ALLOWANCE FOR ALL PRESTRESSS LOSSES) IN KG/CM^2

2. THE STRESS AT SERVICE AFTER LOSSES SHALL BE LESS THAN 0.8 YIELD STRESS OF PRESTRESSING STRAND OR AS APPROVED BY THE ENGINEER.
3. ALL PC WIRES FOR PILE TYPE I,III & IV SHALL COMPLY WITH TIS 95. "STEEL WIRE FOR PRESTRESSED CONCRETE".
4. ALL PRESTRESSING STRANDS SHALL BE UNCOATED 7-WIRE STRESS RELIEVED STRAND,NORMAL RELAXATION,CONFORMING TO TIS 420-2525 OR APROVED EQUIVALENT.
5. NON PRESTRESSING BARS SHALL BE DEFORMED BARS CONFORMING TO TIS 24-2527,GRADE SD-40.
6. STIRRUPS SHALL BE ROUND BARS CONFORMING TO TIS 20-2527,GRADE SR 24.
7. THE CONTRACTOR SHALL AT HIS OWN EXPENSES SUBMIT THE DETAILED PILE DRAWINGS AND BACK-UP INFORMATIONS OF THE PRESTRESSING WORKS TO ENGINEER FOR APPROVAL PRIOR TO THE EXECUTION OF THE WORK.
8. THE REINFORCING STEEL FOR BUILD-UP SECTION OF THE PILE SHALL BE 8-DB25,6-DB25 AND 4-DB25 FOR PILE TYPE IV . I AND II RESPECTIVELY. PLACEMENT OF BARS SHALL BE IN SYMMETRICAL PATTERN.
9. ALL DIMENSIONS ARE IN METERS,UNLESS OTHERWISE NOTED
10. FOR ALL MINOR BRIDGE,DESIGNED WORKING LOAD OF PILE TYPE II SHALL BE 55 TONNE.
11. CONTRACTOR SHALL SUBMIT NUMBER OF PC WIRE AND PC STRAND, THE DIAMETER SIZE OF PC WIRE AND PC STRAND TO ETA'S ENGINEER FOR APPROVAL

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

REVISIONS

NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED
R	-	-	REVISED BY EPSILON	

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

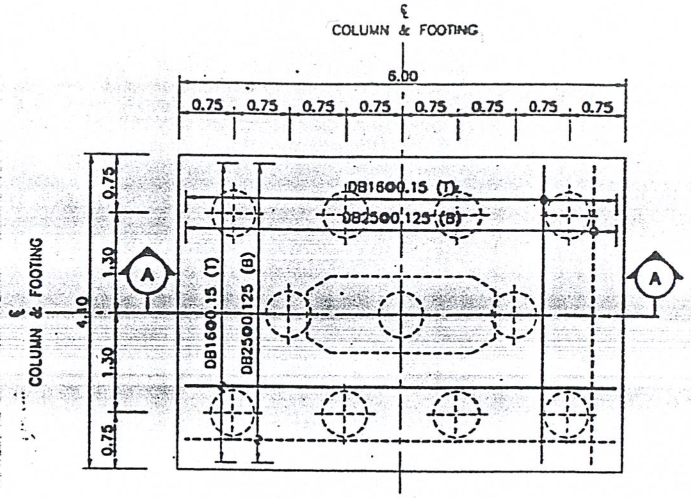
RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

CONSULTANTS :
MOUCHEL CONSULTING LTD. — MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC. — MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD. — K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

PILE DETAILS (1/3)

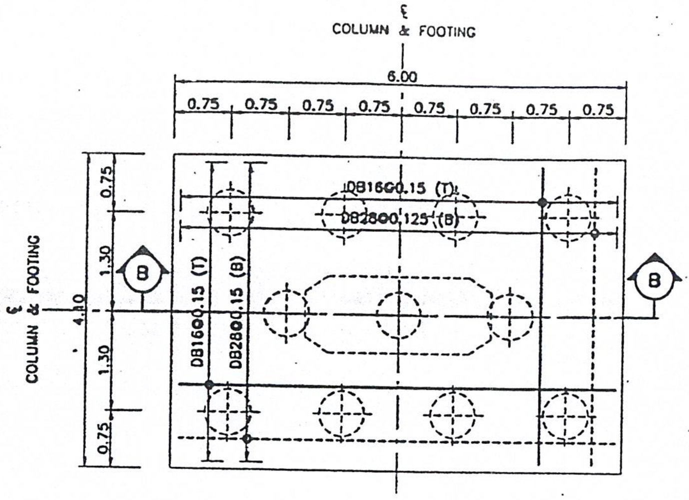
DESIGNER	CHAYALIT L. / WEERAPONG C.	SCALE: AS SHOWN
DRAFTSMAN	SURAT T.	DATE: APR. 1998
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.	DWG. NO. S-DT-005 (R)
DRAWING CHECKED	NIMAI S.	SHEET NO. 143
PROJECT MANAGER	N. LIGHTBODY	

คู่ฉบับ



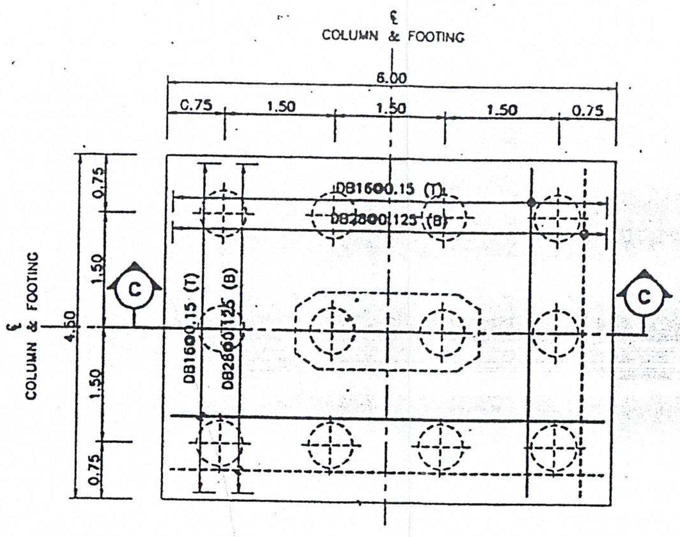
PLAN
SCALE 1:50

FOOTING TYPE F11A



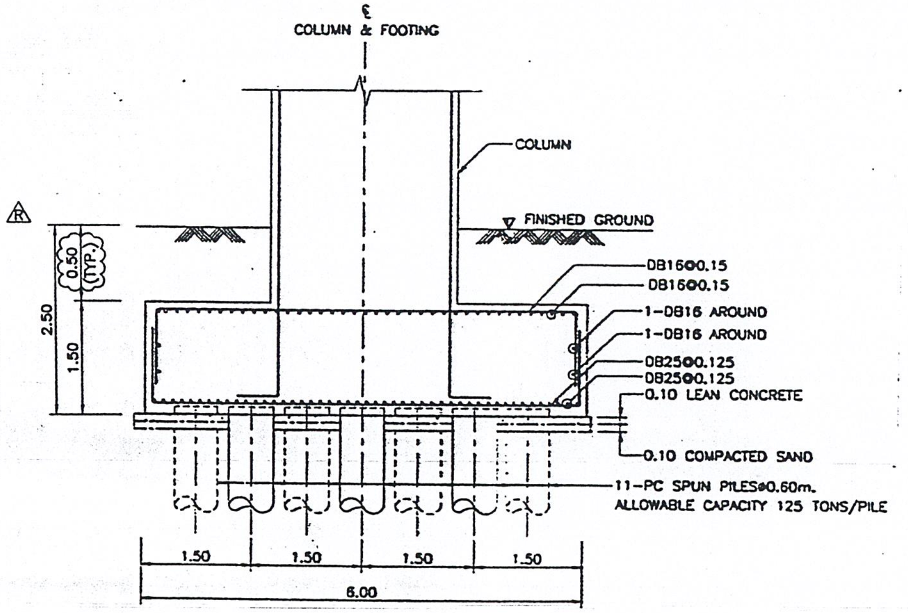
PLAN
SCALE 1:50

FOOTING TYPE F11A1

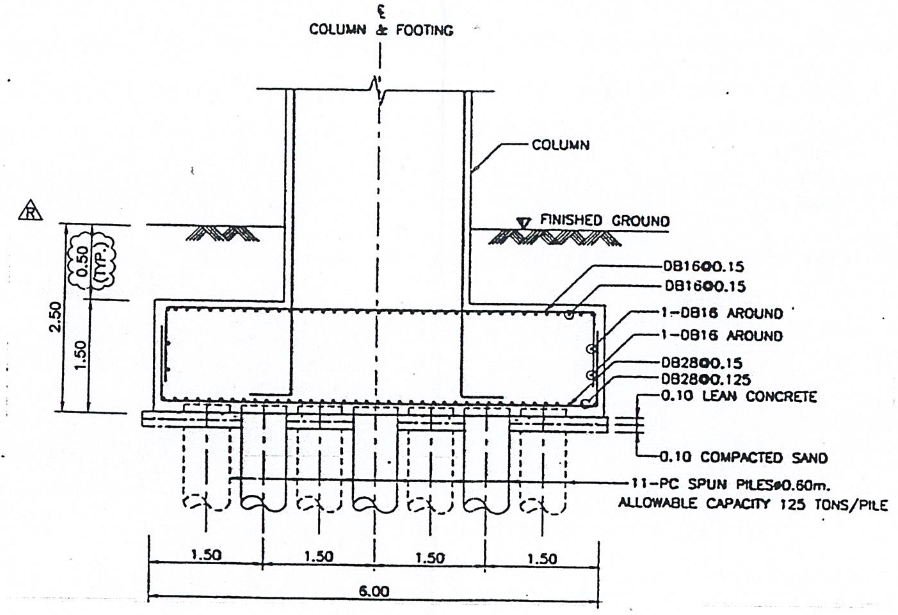


PLAN
SCALE 1:50

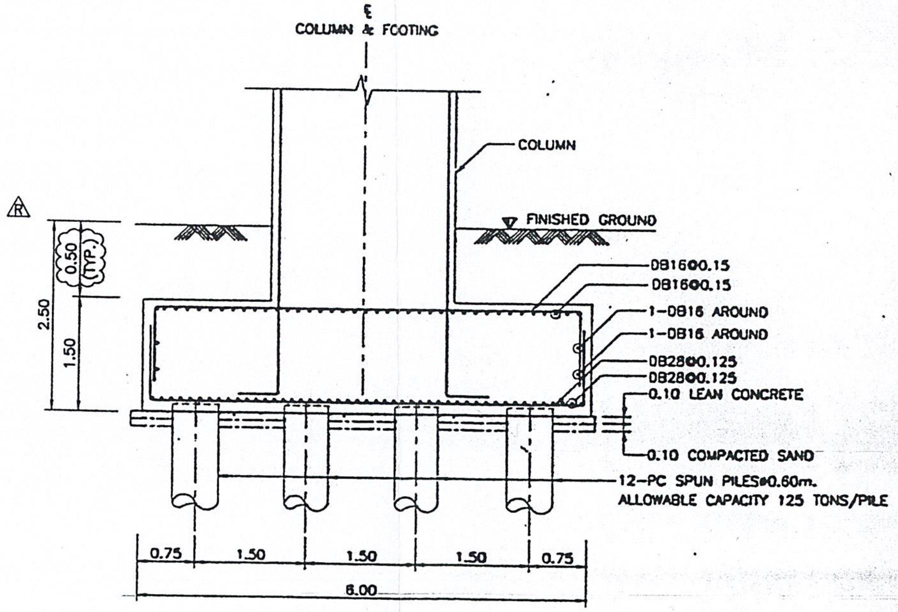
FOOTING TYPE F12A



SECTION (A)-(A)
SCALE 1:50



SECTION (B)-(B)
SCALE 1:50



SECTION (C)-(C)
SCALE 1:50

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

NOTE

ELEVATION OF TOP PILE CAP SHOWN IN VIADUCT GENERAL ARRANGEMENT DRAWING SHALL BE VERIFIED TO CONFORM WITH EXISTING GROUND LEVEL BY THE CONTRACTOR AND SUBMITTED FOR ENGINEER APPROVAL PRIOR TO PROCEEDING ANY WORKS

REVISIONS

NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED
R	10/11/05	EPSILON	REVISED BY EPSILON	

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

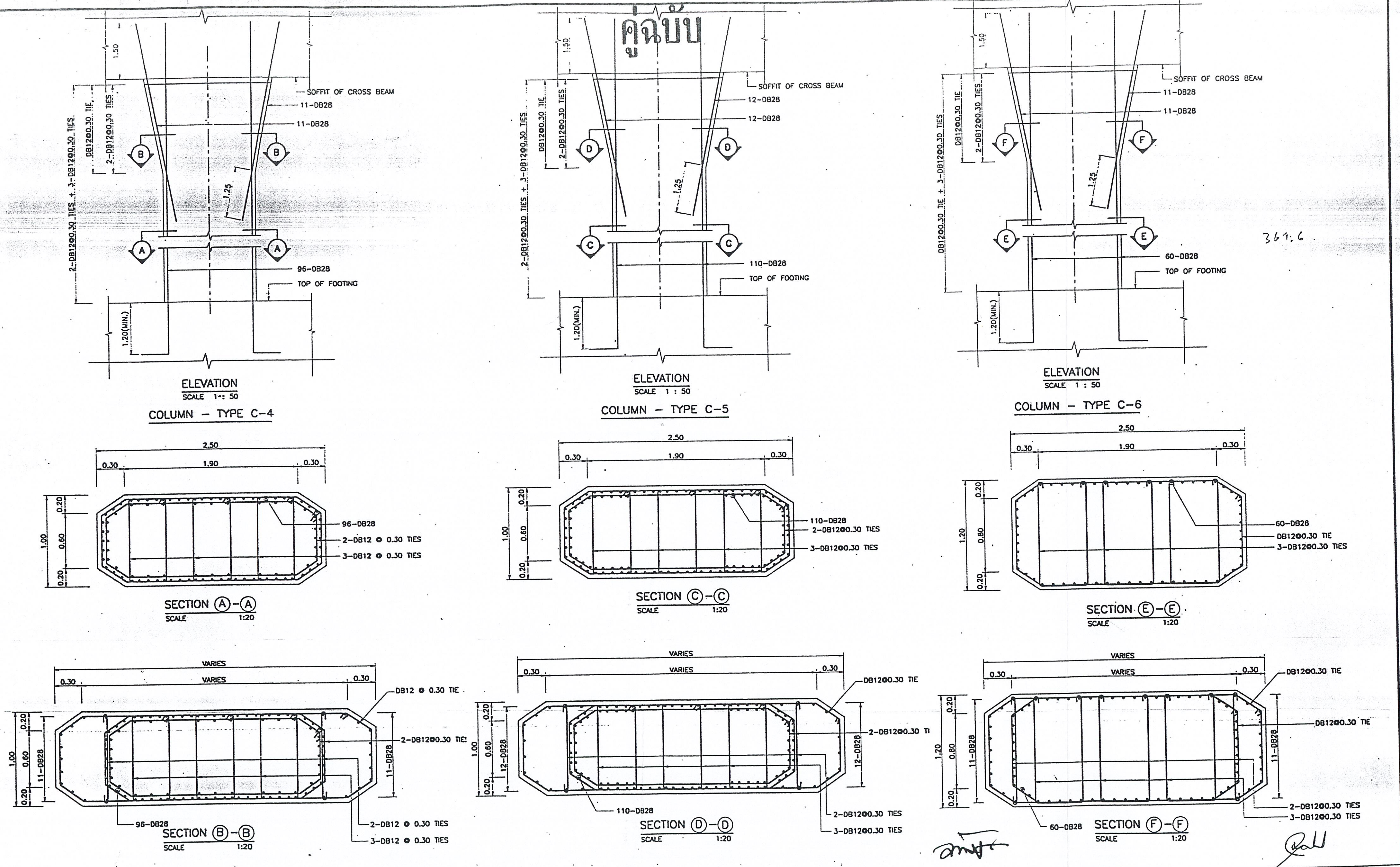
RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

CONSULTANTS :
MOUCHEL CONSULTING LTD. — MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC. — MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD. — K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

SUBSTRUCTURE

FOOTING DETAILS TYPE F11A, F11A1 AND F12A

DESIGNER	CHAMALIT L. / BUTAPONG Y.	SCALE 1:50	DATE APR 1998
DRAFTSMAN	SURAT Y.		
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.	DWG. NO. S-SF-002 (R)	SHEET NO. 37
DRAWING CHECKED	WINAI S.		



REVISIONS				
NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED

UNIQUE

ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED

บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

RAMINDRA - OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

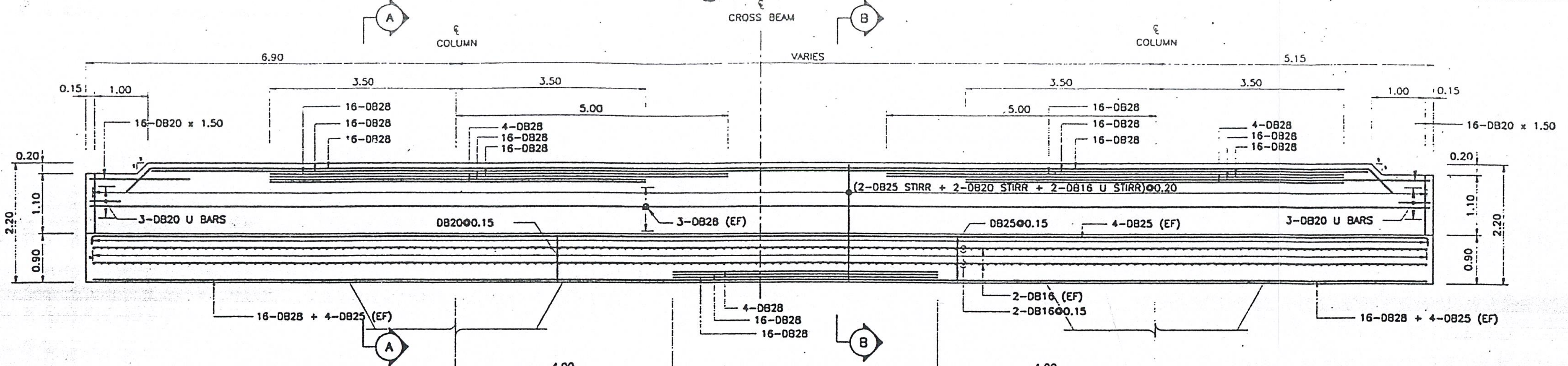
CONSULTANTS : MOUCHEL (THAILAND) LTD.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD.
MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

SUBSTRUCTURE

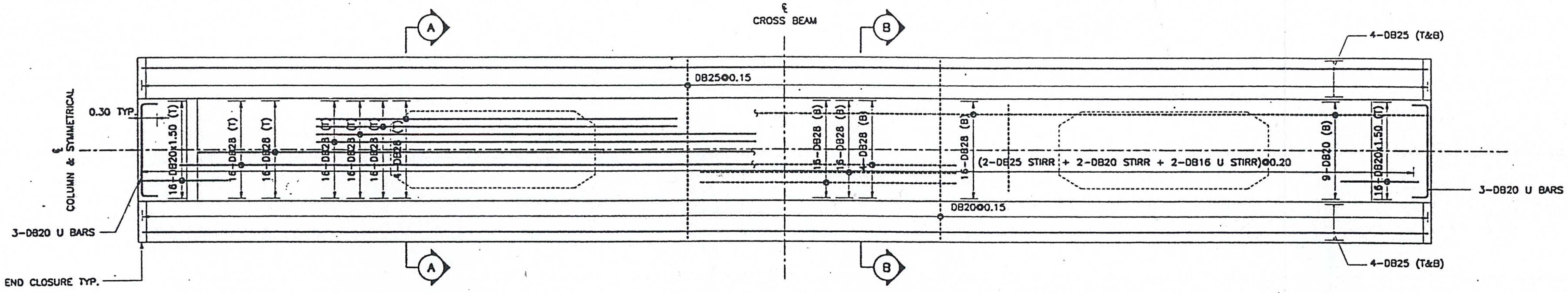
COLUMN DETAILS TYPE C-4, C-5 AND C-6

DESIGNER	CHAWALIT L. RATTAPONG Y.	
DRAFTSMAN	SURAT T.	
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.	
DRAWING CHECKED	WINAI S.	
PROJECT MANAGER	N. LIGHTBODY	

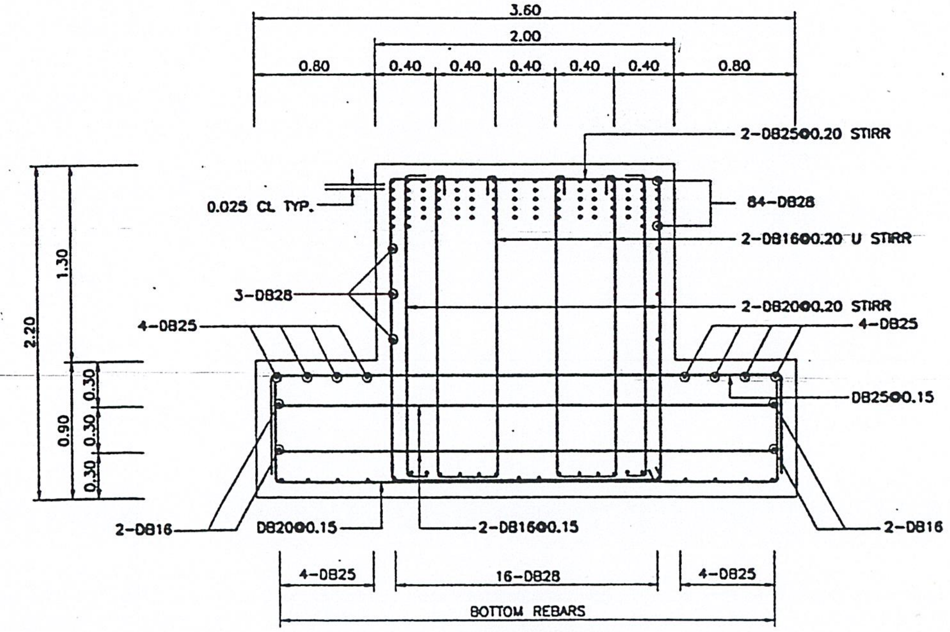
SCALE	DATE
AS SHOWN	APR 1998
DWG. NO.	SHEET NO.
S-CO-002	45



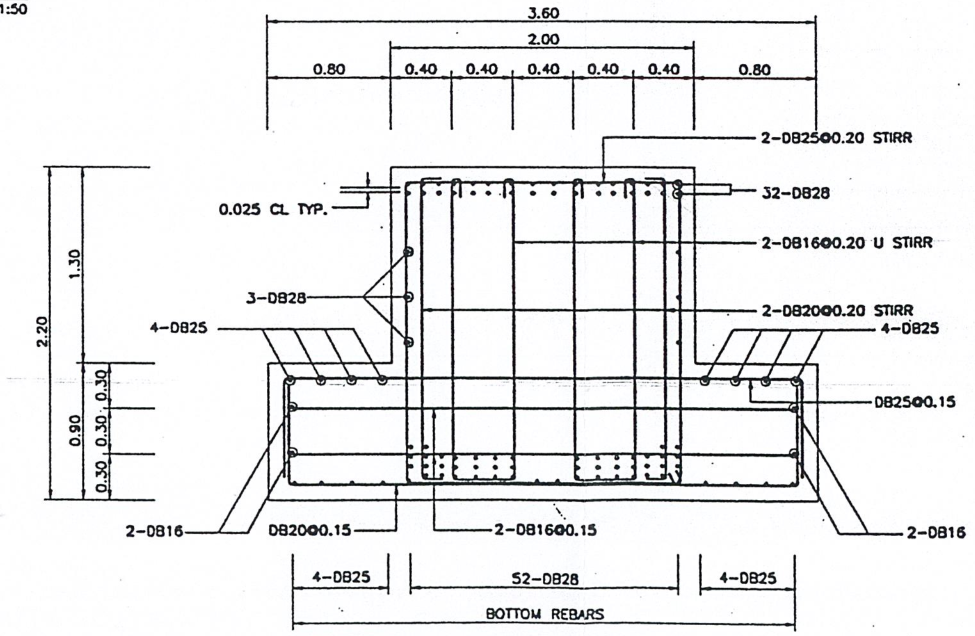
ELEVATION
SCALE 1:50



PLAN CROSS BEAM TYPE P5
SCALE 1:50



SECTION (A)-(A)
SCALE 1:25



SECTION (B)-(B)
SCALE 1:25

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

REVISIONS

NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

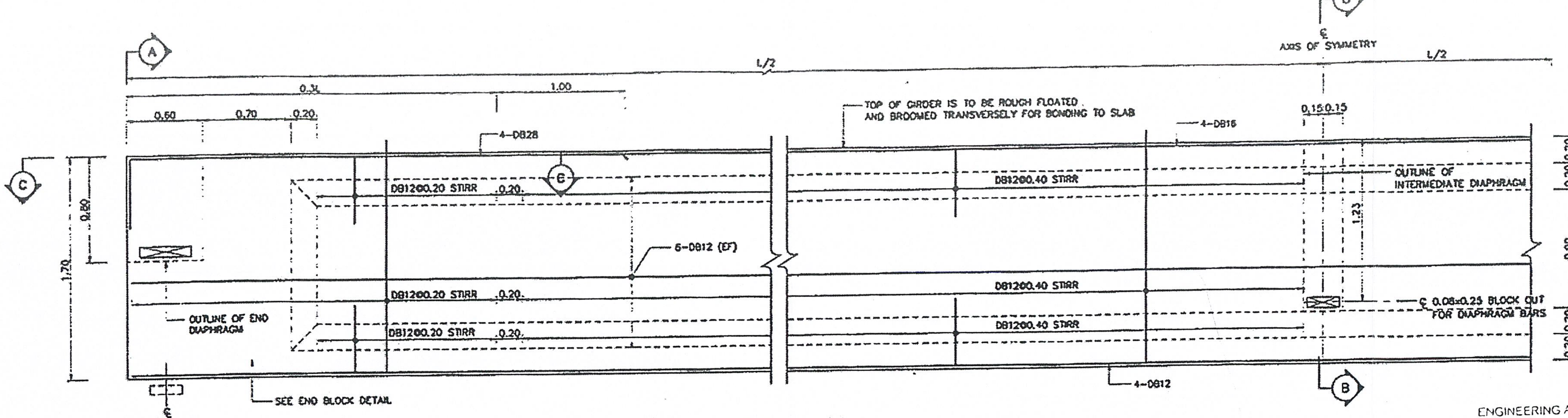
RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

CONSULTANTS :
MOUCHEL CONSULTING LTD. — MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC. — MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD. — K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

SUBSTRUCTURE

CROSS BEAM DETAILS TYPE B4D

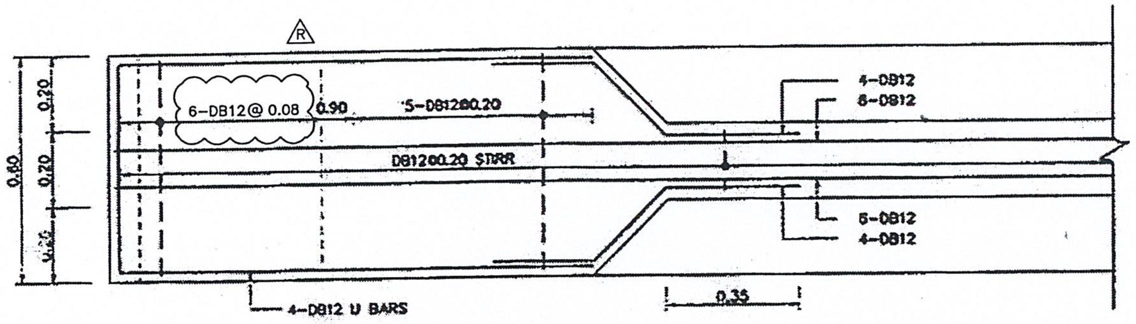
DESIGNER	CHARALIT L. WEERAPONG C.	SCALE	DATE
DRAFTSMAN	SURAT T.	AS SHOWN	APR 1998
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.	DWG. NO.	SHEET NO.
DRAWING CHECKED	WINAI S.	S-CB-007	58
PROJECT MANAGER	N. LIGHTBODY		



REINFORCEMENT ELEVATION

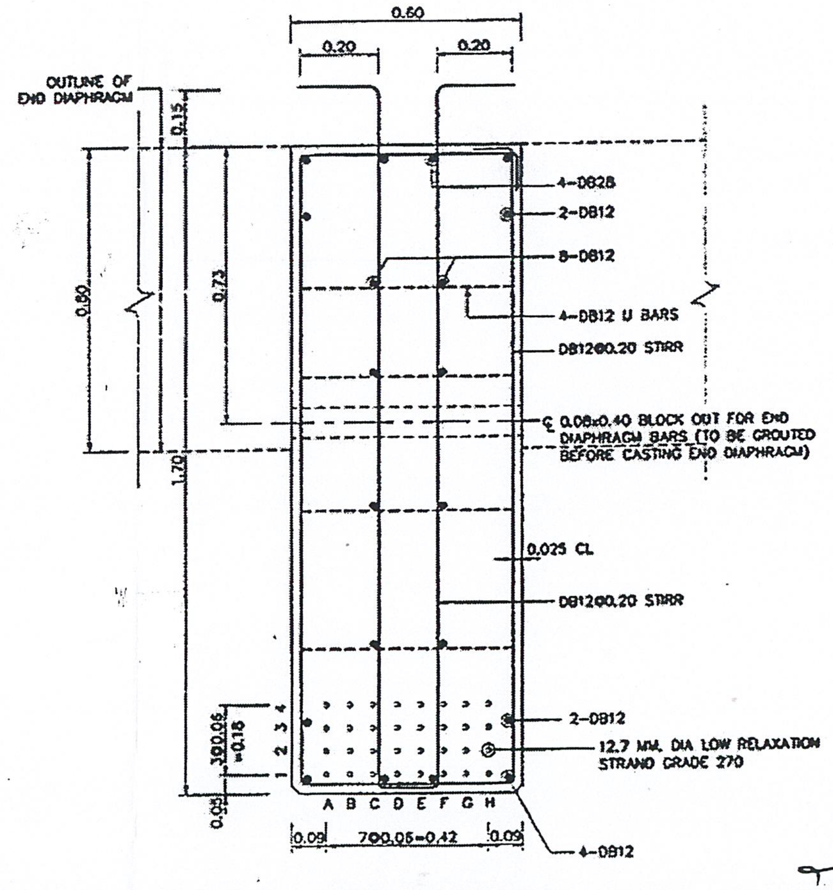
SCALE 1:20

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)



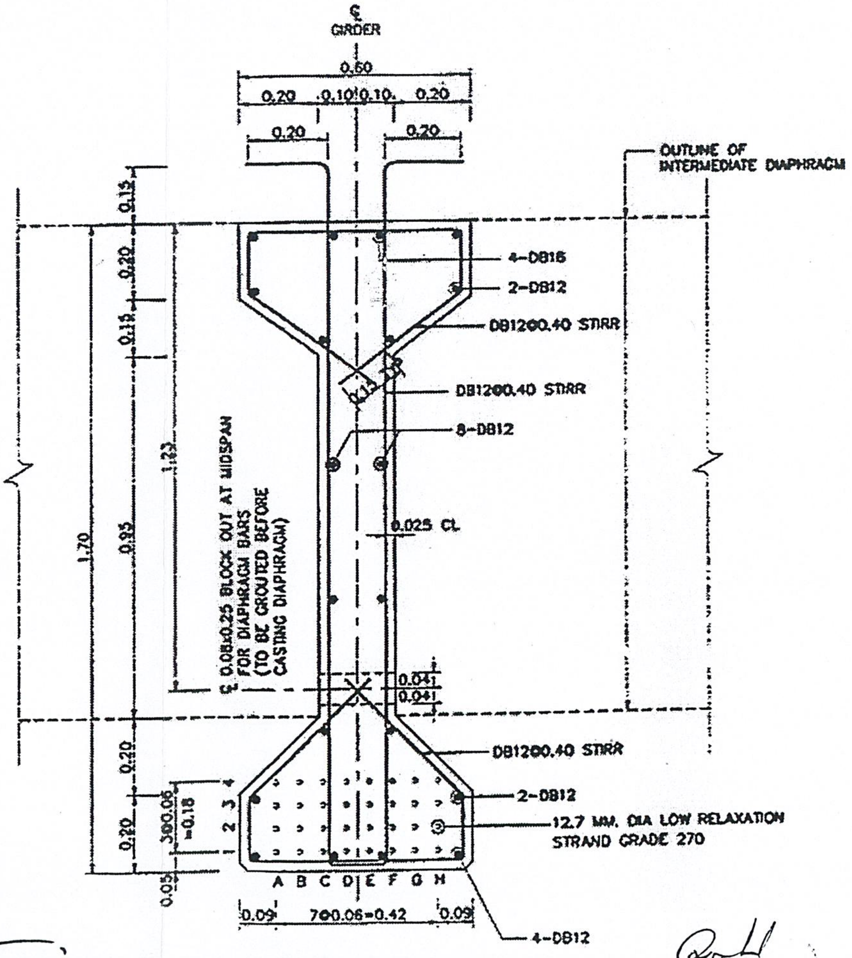
SECTION Ⓒ-Ⓒ

SCALE 1:10



SECTION Ⓐ-Ⓐ

SCALE 1:10



SECTION Ⓑ-Ⓑ

SCALE 1:10

STRAND SCHEDULE

GIRDER TYPE	GIRDER CASTING LENGTH (M)	NUMBER OF STRANDS	PATTERN		DEBONDING		
			ROW	STRAND	ROW	STRAND	LENGTH FROM END(M)
G3-INT	>23-28	32	1	A,B,C,D,E,F,G,H	1	A,C,D,F,G	2.00
			2	A,B,C,D,E,F,G,H	2	B,C,E,F,H	1.50
			3	A,B,C,D,E,F,G,H	3	A,D,G	0.60
			4	A,B,C,D,E,F,G,H			

DEBONDING SHALL BE ON BOTH ENDS OF GIRDER

NOTES

1. FOR STRUCTURAL NOTES SEE DWG NO S-DG-001 TO S-DG-003
2. JACKING FORCE FOR EACH STRAND SHALL BE 13.99 TONNE
3. USE TYPE OF END BLOCK (FULL OR HALF JOINT) AS INDICATED IN SUBSTRUCTURE TYPES DETAILS
4. THE DEBONDING MATERIAL TO BE ADAPTED SHALL BE APPROVED BY THE ENGINEER
5. GIRDER SHALL STAND UPRIGHT AT ALL TIMES AND MUST BE LIFTED AT POSITION OF BEARING CENTER LINE ONLY. THE METHOD OF LIFTING SHALL BE APPROVED BY THE ENGINEER.

REVISIONS

NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED
R	10/11/05	EPSILON	REVISED BY EPSILON	

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

CONSULTANTS :

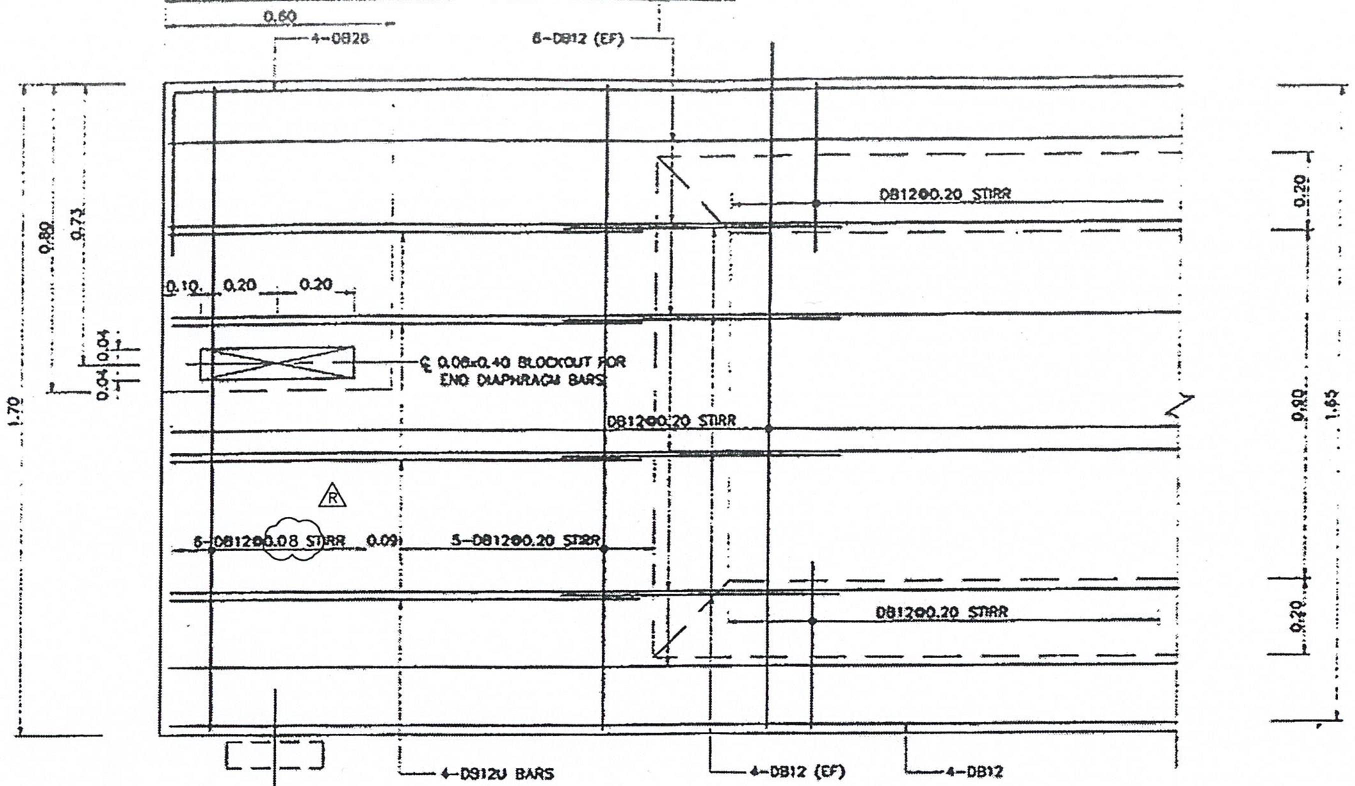
MOUCHEL CONSULTING LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD.
MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

SUPERSTRUCTURE

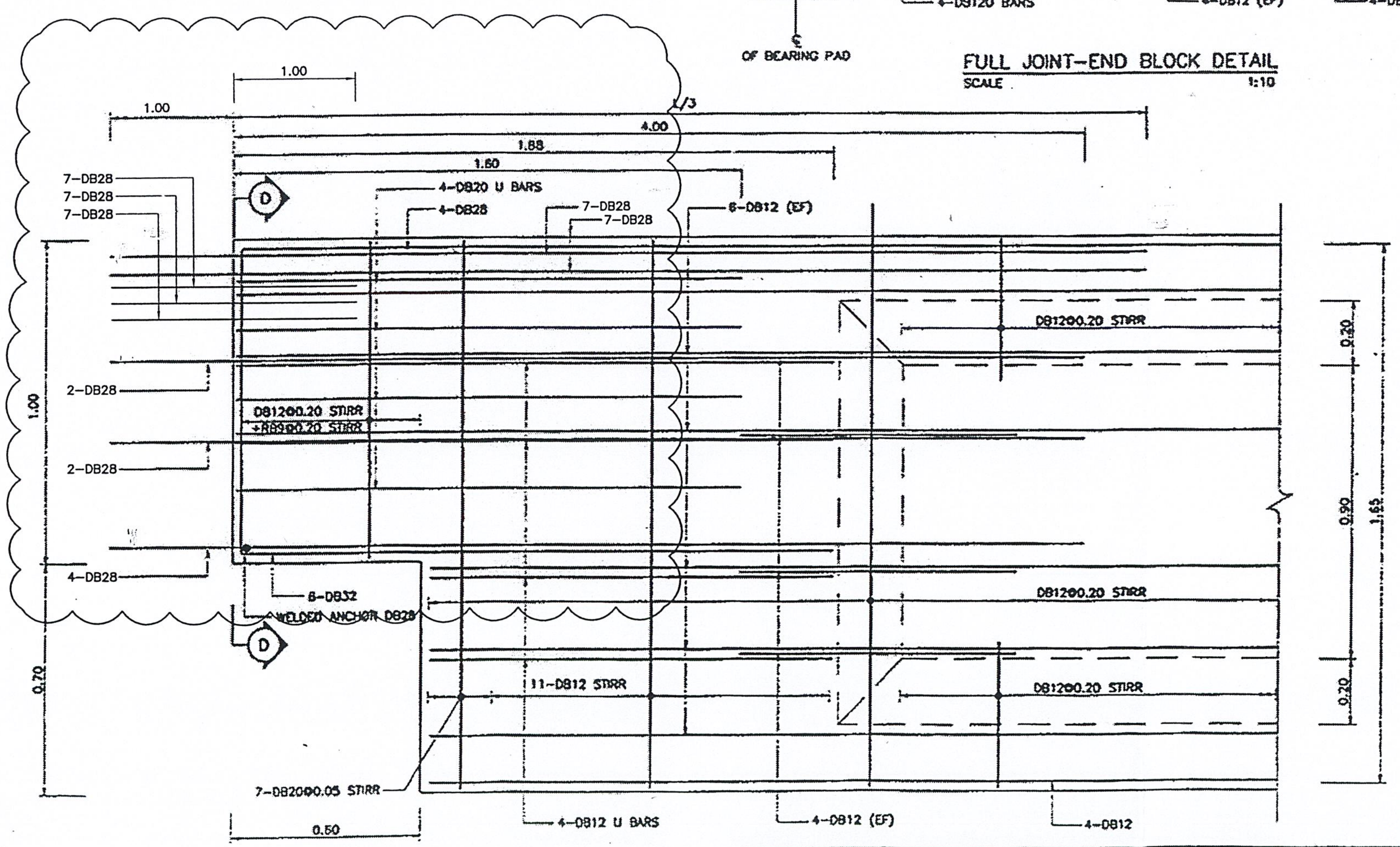
GIRDER DETAILS TYPE G3-INT (1/2)

DESIGNER	CHAWALIT L. / WINAI S.	
DRAFTSMAN	CHAO C.	
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.	
DRAWING CHECKED	WINAI S.	
PROJECT MANAGER	N. UCHTBODY	

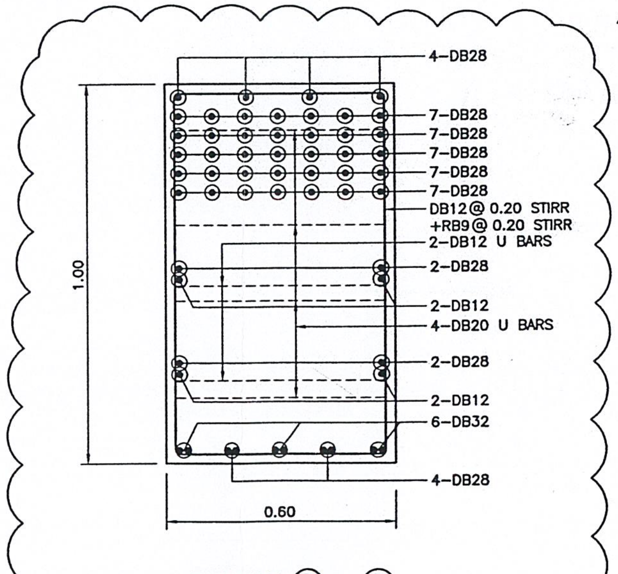
SCALE: AS SHOWN
DATE: APR 1998
DWG. NO.: S-GD-009 (R)
SHEET NO.: 106



FULL JOINT-END BLOCK DETAIL
SCALE 1:10



HALF JOINT-END BLOCK DETAIL
SCALE 1:10



SECTION D – D
SCALE 1:10

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

REVISIONS

NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED
R	10/11/05	EPSILON	REVISED BY EPSILON	

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

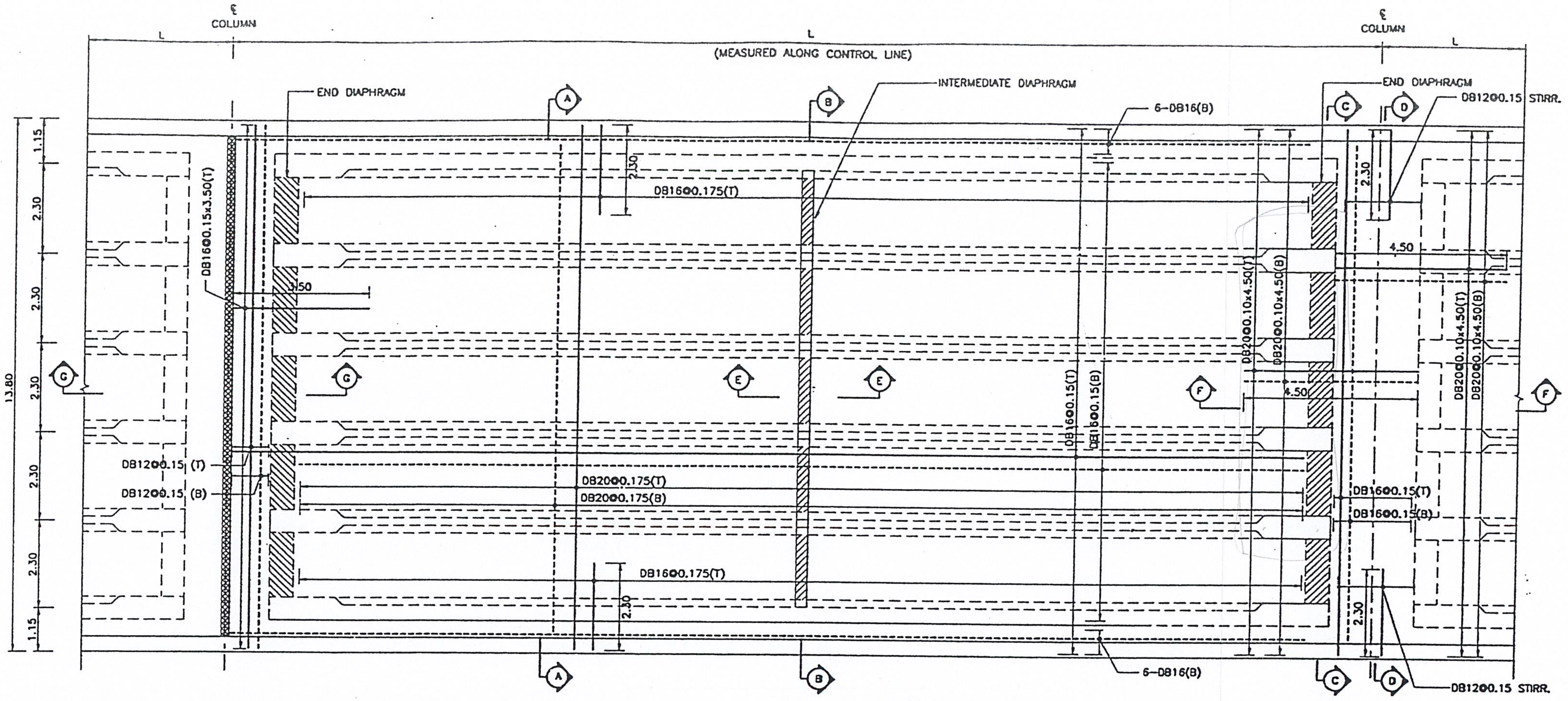
CONSULTANTS :
MOUCHEL CONSULTING LTD. — MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC. — MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD. — K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

SUPERSTRUCTURE

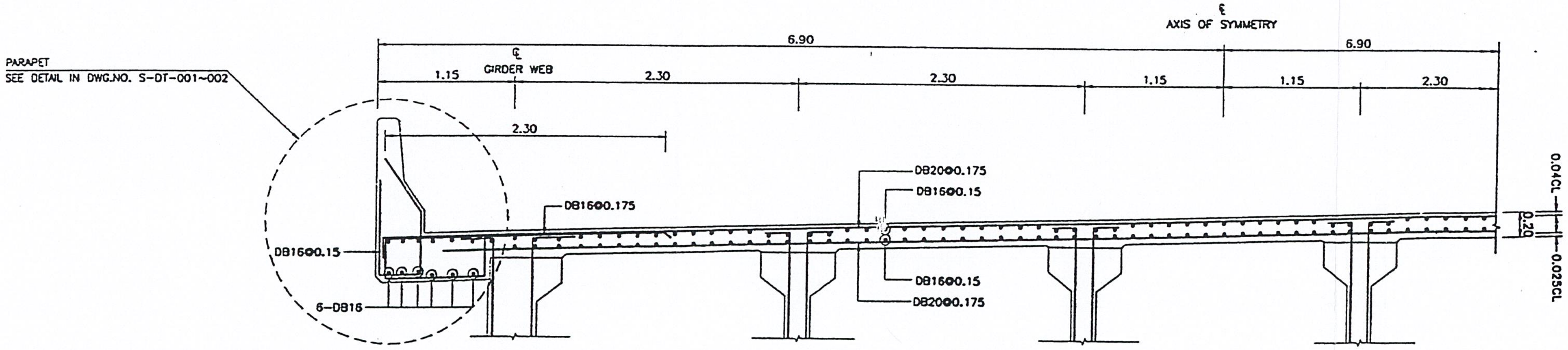
GIRDER DETAILS TYPE G3-INT (2/2)

DESIGNER	CHAWALIT L. / WINAI S.	
DRAFTSMAN	CHAO C.	
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.	
DRAWING CHECKED	WINAI S.	
PROJECT MANAGER	N. LIGHTBODY	

SCALE	DATE
1:10	APR 1998
DWG. NO.	SHEET NO.
S-GD-010 (R)	107



P L A N
SCALE 1:75



SECTION (A)-(A)
SCALE 1 : 25

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (

NOTES :

1. SPAN LENGTH " L " DEPENDS ON THE LENGTH OF GIRDER AND THE WIDTH OF PIER.
2. NUMBER AND LOCATION OF INTERMEDIATE DIAPHRAMS ARE SHOWN IN STRUCTURAL ARRANGEMENT DRAWINGS.

REVISIONS

NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

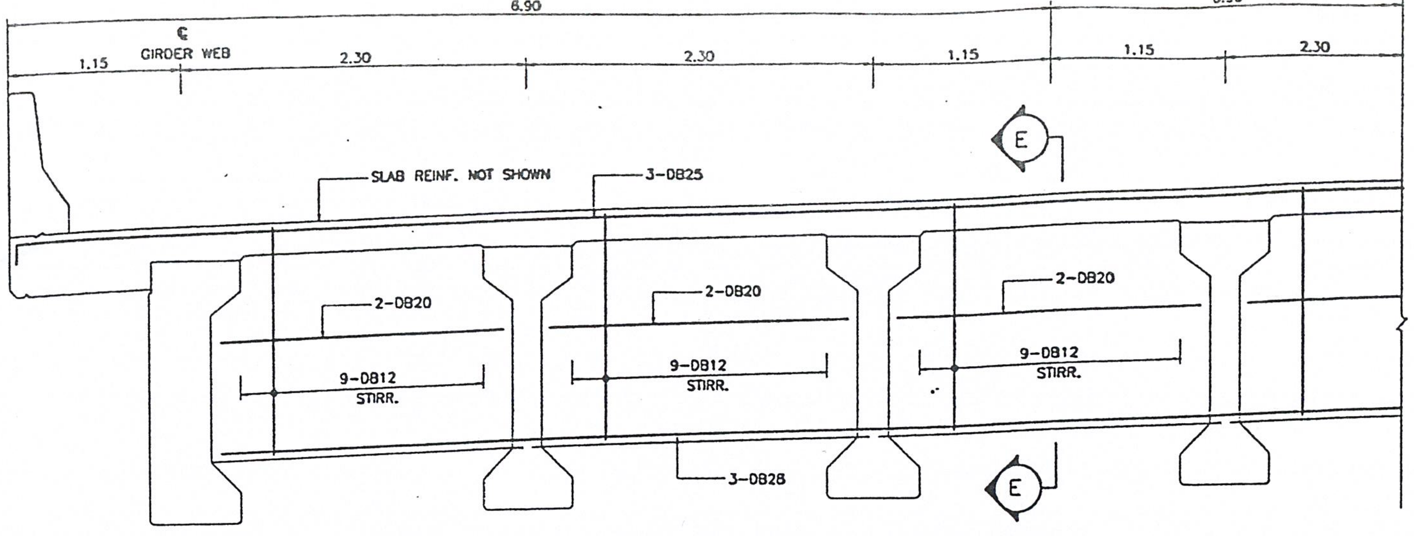
CONSULTANTS :

MOUCHEL CONSULTING LTD. — MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC. — MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD. — K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

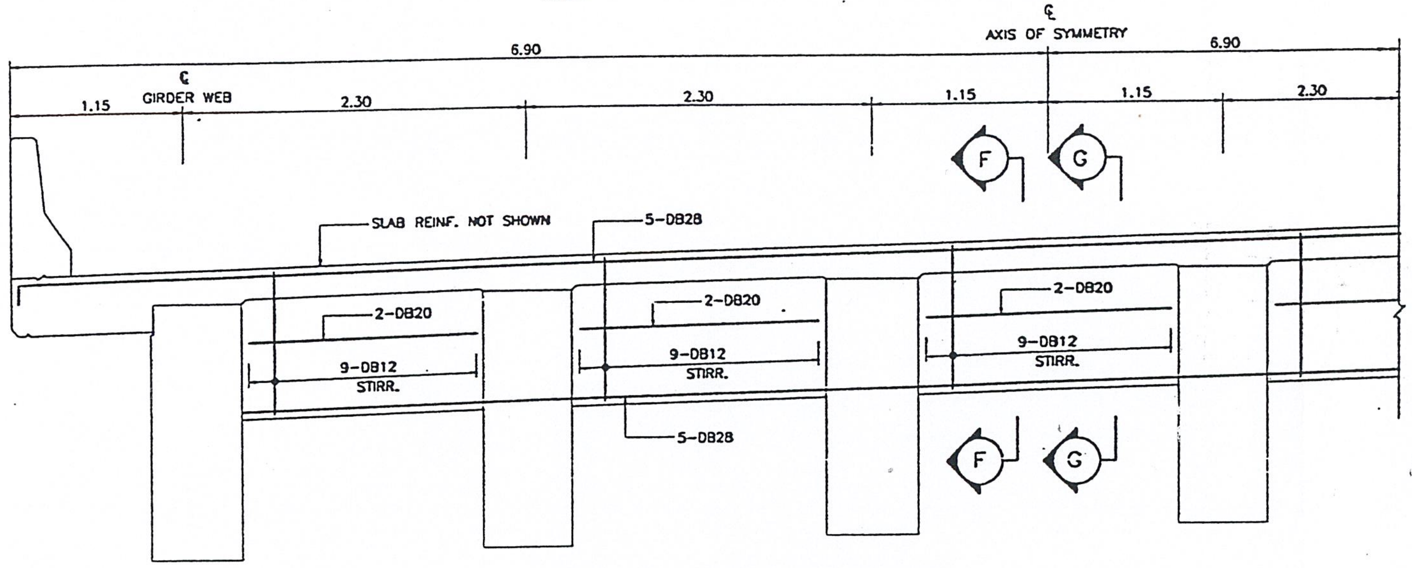
SUPERSTRUCTURE

BRIDGE DECK DETAILS TYPE BD15 (1/2)

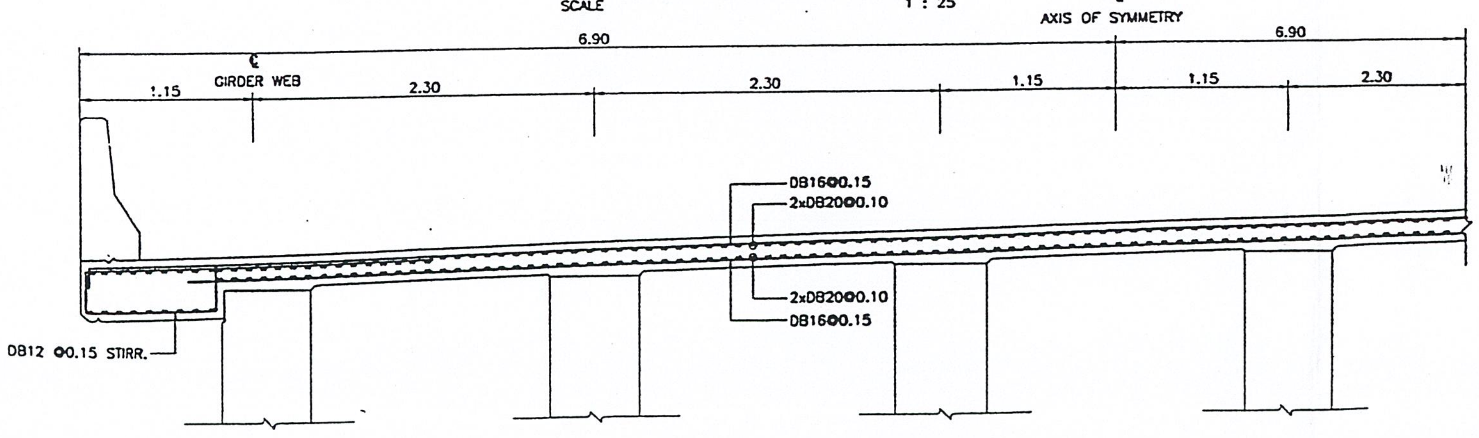
			SCALE	DATE
DESIGNER	CHAWALIT L. MONGKOL T.		AS SHOWN	APR 199
DRAFTSMAN	CHAO C.	C.C.	DWG. NO.	SHEET NO
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.		S-BD-029	142
DRAWING CHECKED	WINAI S.	Winai S.		
PROJECT MANAGER	N. LIGHTBODY	Nigel L.		



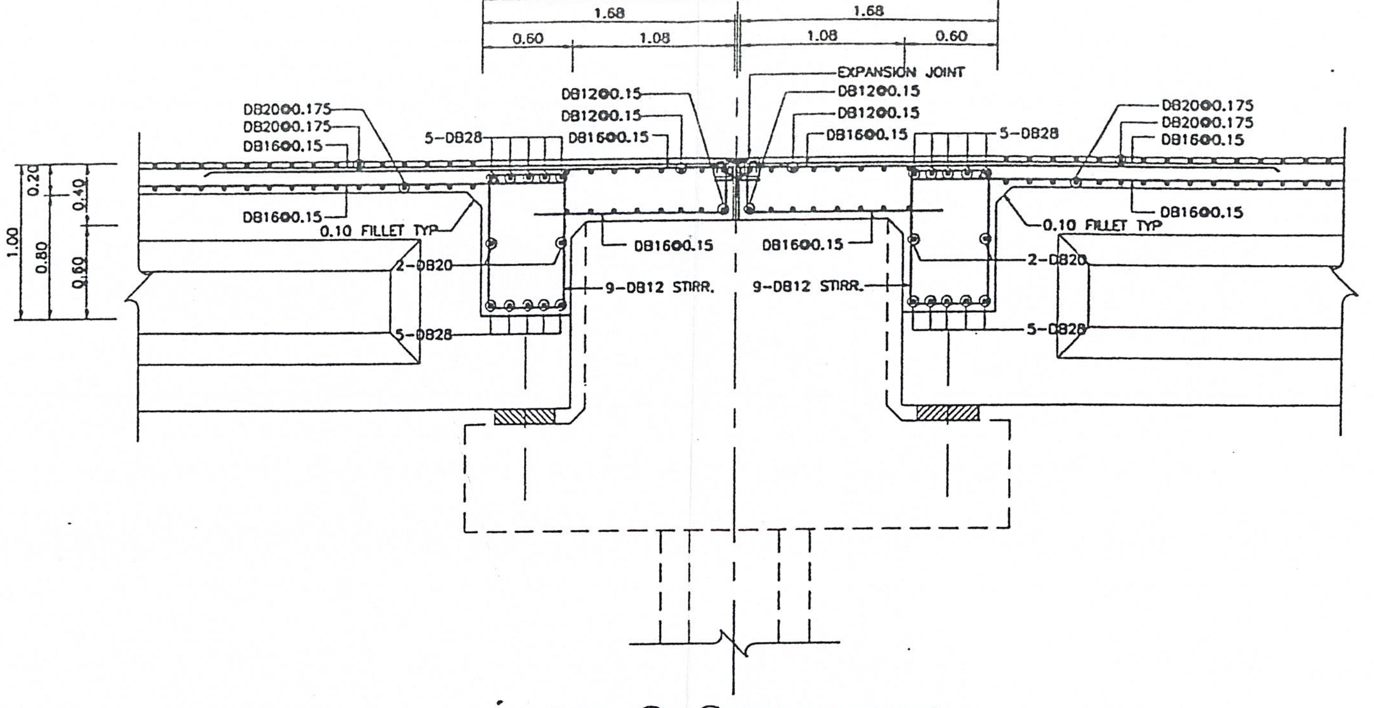
SECTION (B) – (B) (INTERMEDIATE DIAPHRAGM)
SCALE 1 : 25



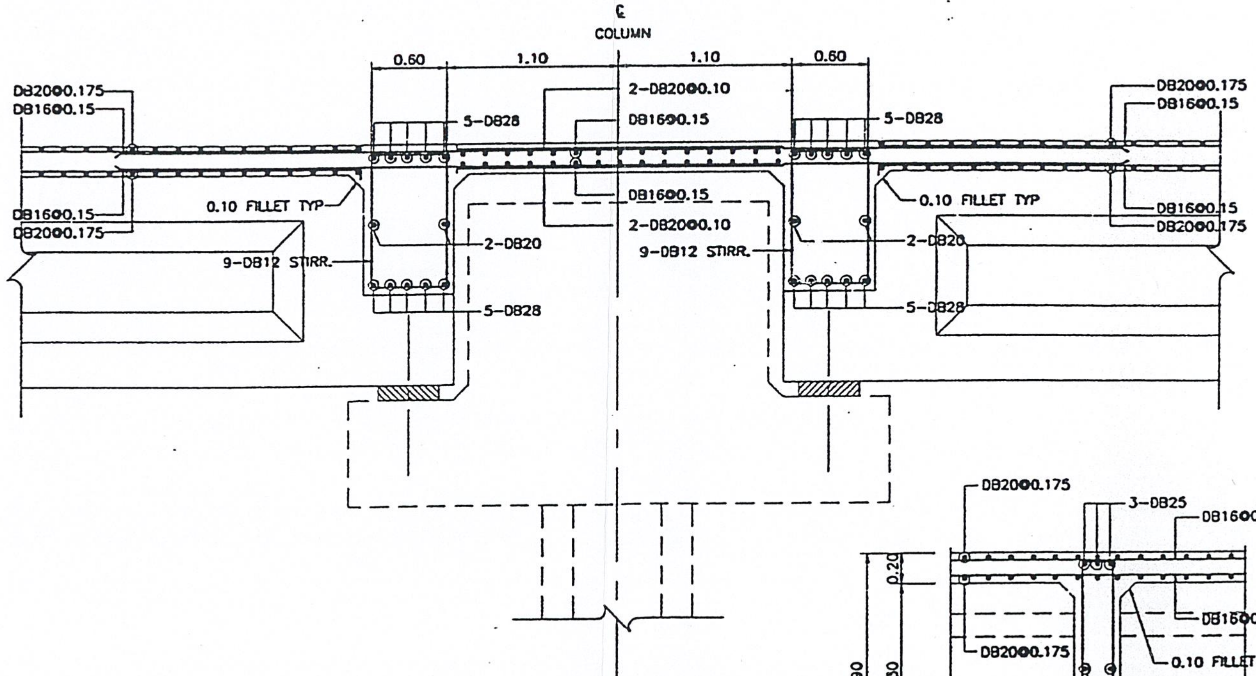
SECTION (C) – (C) (END DIAPHRAGM)
SCALE 1 : 25



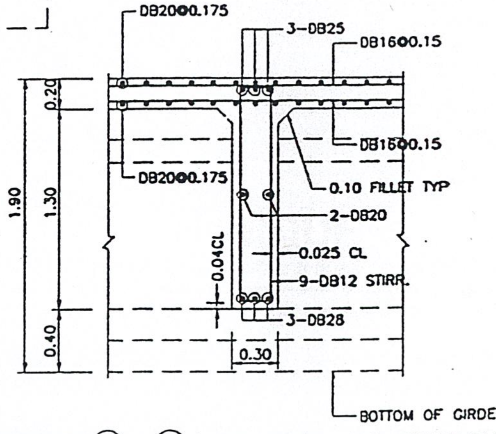
SECTION (D) – (D) (LINK SLAB)
SCALE 1 : 25



SECTION (G) – (G) (END DIAPHRAGM)
SCALE 1 : 25



SECTION (F) – (F) (END DIAPHRAGM)
SCALE 1 : 25



SECTION (E) – (E) (INTERMEDIATE DIAPHRAGM
SCALE 1 : 2

UNIQUE
ENGINEERING AND CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

REVISIONS				
NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF INTERIOR
EXPRESSWAY AND RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND

RAMINDRA – OUTER RING ROAD EXPRESSWAY

CONSULTANTS :
MOUCHEL CONSULTING LTD.
MOH AND ASSOCIATES INC.
PAL CONSULTANTS CO.,LTD.
MOUCHEL (THAILAND) LTD.
MAA CONSULTANTS CO.,LTD.
K.ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

SUPERSTRUCTURE

BRIDGE DECK DETAILS TYPE BD15 (2/2)

DESIGNER	CHAWALIT L. MONGKOL T.	Chawalit L.	SCALE 1:25	DATE APR 199
DRAFTSMAN	CHAO C.	C.C.		
DESIGN CHECKED	WICHIEN W.		DWG. NO.	SHEET NO.
DRAWING CHECKED	WINAI S.	Winai S.	S-BD-030	143
PROJECT MANAGER	N. LIGHTBODY	Nigel L.		