วิทยานิพนธ์

การศึกษาความเสี่ยงงานติดตั้งคานรูปกล่อง ระบบหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลังเพื่อความปลอดภัย กรณีศึกษาโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

RISK STUDY OF LIFTING SYSTEM PRECAST SEGMENT BOX GIRDER SPAN-BY-SPAN CONSTRUCTION FOR SAFETY CASE STUDY SUVARNABHUMI AIRPORT RAIL LINK AND CITY AIR TERMINAL

นายราชัน ฉ้วนเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย | โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาความเสี่ยงงานติดตั้งคานรูปกล่อง ระบบหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลัง เพื่อความปลอดภัย กรณีศึกษาโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

Risk Study of Lifting System Precast Segment Box Girder Span-by-Span Construction for Safety Case Study Suvarnabhumi Airport Rail Link and City Air Terminal

นามผู้วิจัย นายราชัน ฉ้วนเจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอกพิพัฒน์ สอนวงษ์, วศ.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์วิไล เจียมไชยศรี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเสี่ยงงานติดตั้งคานรูปกล่อง ระบบหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลัง เพื่อความปลอดภัย กรณีศึกษาโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

Risk Study of Lifting System Precast Segment Box Girder Span-by-Span Construction for Safety Case Study Suvarnabhumi Airport Rail Link and City Air Terminal

โดย

นายราชัน ฉ้วนเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2551

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก พิพัฒน์ สอนวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำให้งานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิไล เจียมไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ช่วยเหลือและให้คำชี้แนะเพื่อความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นของงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัทชิโน-ไทย เอ็นจีเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูล และสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณผู้บังคับบัญชาทุกท่านที่ได้ให้โอกาสและสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมา ตลอดจนถึงผู้ร่วมงานและเพื่อนิสิตทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และสนับสนุนข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ราชัน ฉิ้วนเจริญ

เมษายน 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)
สารบัญตาราง (2)
สารบัญภาพ (5)
คำนำ 1
วัตถุประสงค์ 7
การตรวจเอกสาร 8
อุปกรณ์และวิธีการ 56
อุปกรณ์ 56
วิธีการ 56
ผลและการวิจารณ์ 58
ผลการทดลอง 58
ข้อวิจารณ์ 73
สรุปและข้อเสนอแนะ 74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 75
ภาคผนวก 78
ภาคผนวก ก แบบตารางการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis 79
ภาคผนวก ข สถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) 83
ภาคผนวก ค ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน 93
ภาคผนวก ง รายละเอียดระบบที่ใช้ในการก่อสร้างคานรูปกล่อง 101
ภาคผนวก จ ตารางการพิจารณาใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตราย 209
ภาคผนวก ฉ ตารางระดับโอกาสเกิดเหตุการณ์อันตรายตามระเบียบ โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม, ตารางระดับความรุนแรงของอันตราย ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคลตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม, ตารางระดับความเสี่ยงอันตรายตามระเบียบโดย กรมโรงงานอุตสาหกรรม 211
ภาคผนวก ช แบบประเมินความเสี่ยง 213
ประวัติการศึกษา และการทำงาน 225

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis)	10
2	แสดงอัตราความเสียหายต่อปีของอุปกรณ์ต่างๆ	23
3	แสดงสมการทางคณิตศาสตร์จากการเขียนความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย Or gate	25
4	แสดงสมการทางคณิตศาสตร์จากการเขียนความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย And gate	26
5	การตัดสินความเสี่ยงของความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดของอันตราย	36
6	ความเสี่ยงในการปฏิบัติและเวลาที่ใช้	37
7	การจัดระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ	38
8	แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	41
9	การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล	42
10	การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อชุมชน	42
11	การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	43
12	การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อทรัพย์สิน	43
13	ผลกระทบต่อทรัพย์สินพิจารณาตามขีดความสามารถของโรงงาน	44
14	การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย	45
15	แผนที่ต้องดำเนินการสำหรับความเสี่ยงในแต่ละระดับ	47
16	การจัดทำแผนลดความเสี่ยงจะอยู่ในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	48
17	แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	52
18	แสดงจำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงานแยกคานรูปกล่อง	58
19	แสดงจำนวนพนักงานที่ประสบอุบัติเหตุ จากการทำงานติดตั้งคานรูปกล่อง	59
20	แสดงความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุต่อชั่วโมงการทำงานของพนักงานที่เข้าไปสัมผัสพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ	59
21	บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	แสดงขั้นตอนการทำงานของพนักงานที่ปฏิบัติงาน ติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder)	62
23	แสดงโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ และอายุการใช้งานเฉลี่ยก่อนเกิดการเสียหายของอุปกรณ์	65
24	แสดงโอกาสการเกิดความเสียหาย และความน่าเชื่อถือ ของคนขับ Mobile Crane	66
25	แสดงโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ และความน่าเชื่อถือของคนทำงานบนที่สูง ขณะจัดวาง Box Girder บน คานตามขวาง (Cross Beam)	68
26	แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ ความเชื่อมั่น และโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ จาก Mobile Crane และการตกจากที่สูง	69
27	แสดงระดับความเชื่อมั่น และโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ	70
28	Fault Tree Analysis 1	71
29	Fault Tree Analysis 2	72

ตารางผนวกที่

ข1	แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานยกติดตั้งคานรูปกล่อง (สถานีมักกะสัน)	84
ข2	แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานยกติดตั้งคานรูปกล่อง (สถานีรามคำแหง)	87
ข1	แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานยกติดตั้งคานรูปกล่อง (สถานีหัวหมาก)	90
ง1	แสดงค่า Time-Dependent Deflection ของโครงสร้างส่วนบน Typical Span 36.00 เมตร	201
ง2	แสดงค่า Camber ของโครงสร้างส่วนบน Typical Span 36.00 เมตร	202
ง3	แสดงค่า Camber ของโครงสร้างส่วนบน Span 40.00 เมตร (Frame 29.9+40+7เมตร)	203
ง4	แสดงค่า Camber ของโครงสร้างส่วนบน Span 45.00 เมตร (Frame 38 +45 +7 เมตร)	203
จ1	ตารางการพิจารณาใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตราย	210

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ฉ1	ระดับโอกาสเกิดเหตุการณ์อันตรายตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม	212
ฉ2	ระดับความรุนแรงของอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อบุคคลตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม	212
ฉ3	ระดับความเสี่ยงอันตรายตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม	212

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แบบจำลองแนวคิดของการเกิดอุบัติเหตุ	4
2	แสดงการใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน	12
3	แสดงการใช้สัญล์กษณ์ Or gate แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ	14
4	แสดงการใช้สัญลักษณ์ And gate แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ	14
5	แสดงการใช้ Inhibit gate	15
6	แสดงการภาพการเขียนเงื่อนไขของระยะเวลา	16
7	แสดงภาพแผนภูมิต้นไม้หรือโครงสร้างของ Fault tree analysis	17
8	แสดงตัวอย่างการเขียนสาเหตุของเหตุการณ์เพลิงไหม้ด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis)	18
9	แบบการชี้บ่งอันตราย	49
10	แบบการชี้บ่งอันตราย 1	53
11	แบบการชี้บ่งอันตราย 2	54
12	ขั้นตอนการจัดทำรายงานวิเคราะห์ความเสี่ยง	60
13	แสดงการเขียนความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจาก Launcher ด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้	63
14	แสดงการเขียนความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจาก Launcher	64
15	แสดงการเขียนความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการตกจากที่สูง ของคนงานขณะติดตั้ง Box Girder วางบน Cross Beam ด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้	67

ภาพผนวกที่

ง1	Launcher สำหรับระบบหล่อเสร็จ ชนิดหล่อเสร็จดึงลวดภายหลัง (Pre-cast Segmental Concrete Box-Girder)	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง2	Launcher แบบ Below Running Type	103
ง3	Launcher แบบ Center Running Type	105
ง4	Launcher แบบ top Running Type	105
ง5	Launcher แบบ Top Running Type ที่ใช้ในโครงการทางยกระดับ คลองภาษีเจริญ และส่วนต่อเนื่อง ตอนที่ 2	105
ง6	รูปตัดแสดงส่วนประกอบของ LAUNCHER	109
ง7	ภาพด้านหน้าแสดงส่วนประกอบของ ROLLER SUPPORT	110
ง8	ภาพด้านข้างแสดงส่วนประกอบของ ROLLER SUPPORT	111
ง9	การติดตั้งแบบหล่อและติดตั้งเหล็กเสริม Bottom Slab Web ของการก่อสร้าง Box-Girder Span แรก โดยใช้ระบบนั่งร้าน	112
ง10	การติดตั้ง Inner Web Formwork และเทคอนกรีต Bottom Slab และ Web	112
ง11	การติดตั้งเหล็กเสริมและเทคอนกรีต Deck Slab	113
ง12	การติดตั้ง Temporary Support เพื่อรองรับส่วนของ Main Girder บน Box-Girder Span แรก	114
ง13	การยกส่วนของ Main Girder ขึ้นวางบน Temporary Support เพื่อประกอบ	114
ง14	การติดตั้ง Main Girder ท่อน Nose (A) ด้วย Mobile Crane	115
ง15	การติดตั้ง Hanger Frame (Top Beam, Vertical Beam และ Bottom Beam)	117
ง16	การติดตั้ง Hanger Bar Anchor และ Hanger Rod บน Top Beam ของ Hanger Frame	117
ง17	การติดตั้ง Working Platform และการปลด Outer Formwork ลงวางบน Hanger Frame	119
ง18	แบบรายละเอียดแสดงชิ้นส่วน MAIN GIRDER เตรียมยกประกอบติดตั้ง	120
ง19	ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-1	121
ง20	ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-2	122
ง21	ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-3	123
ง22	ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-4	124
ง23	ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-5	125

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง24	ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-6	126
ง25	ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-7	127
ง26	การยก Roller Support ขึ้นไปติดตั้งบน Cross Head	128
ง27	การติดตั้ง PC Strand แล้ว Pre-Stressing ยึดรั้ง Cross Head	129
ง28	การแยก Outer Formwork และ Working Platform เตรียมเลื่อน Launcher	130
ง29	การเลื่อน Launcher ไปยัง Span ถัดไป	130
ง30	ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 1)	131
ง31	ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 2)	131
ง32	ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 3)	132
ง33	ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 4)	132
ง34	ประกอบ outer Formwork เมื่อ Launcher ถึง ตำแหน่ง	133
ง35	ลูกล้อรับ Outer Formwork ที่ Vertical Beam	133
ง36	ลูกล้อรับ Outer Formwork ที่ Bottom Beam	134
ง37	การติดตั้ง Hanger Rod บริเวณ Anchor บน Hanger Frame	134
ง38	การยึด Hanger Rod ใต้ Outer Formwork	135
ง39	ยกตัว Launcher ขึ้นด้วย Supporting Hydraulic Jack	135
ง40	จัดแนว Outer Formwork ด้วยโซ่	136
ง41	ตรวจสอบระดับ Outer Formwork	136
ง42	การปรับระดับ Outer Formwork ด้วยการขัน Spherical Nut	137
ง43	การลำเลียง วัสดุ-อุปกรณ์ขึ้น Box-Girder โดย Mobile Crane	137
ง44	การยก Roller Support โดยใช้ Pancake Hydraulic Jack และ Shim ด้วยแผ่นเหล็ก กรณีการเลื่อน Launcher ในแนวเอียงขึ้นและเอียงลง	141
ง45	การใช้ Breaking Hydraulic Jack	142

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง46	การใช้ Breaking Hydraulic Jack	142
ง47	การใช้ระบบเบรคแบบยึดติดกับพื้น Deck Slab เพื่อความปลอดภัย (1)	143
ง48	การใช้ระบบเบรคแบบยึดติดกับพื้น Deck Slab เพื่อความปลอดภัย (2)	143
ง49	การใช้ Side Hydraulic Jack เพื่อดัน Roller Support กรณี Launcher เลื่อนตัวในแนวโค้ง (1)	144
ง50	การใช้ Side Hydraulic Jack เพื่อดัน Roller Support กรณี Launcher เลื่อนตัวในแนวโค้ง (2)	145
ง51	การใช้ Recess Formwork (1)	145
ง52	การใช้ Recess Formwork (2)	146
ง53	แบบแสดงการเลื่อน LAUNCHER ในลักษณะแนวเอียงลง (DOWN SLOPE)	147
ง54	แบบแสดงการเลื่อน LAUNCHER ในลักษณะแนวเอียงขึ้น (UP SLOPE)	148
ง55	การจัดแนวและการเปลี่ยนแนว	149
ง56	แปลนแสดงรูปแบบการจัด OUTER FROMWORK และ RECESS FORMWORK ในแนวโค้ง	150
ง57	LONGTUDINAL SECTION	154
ง58	LONGTUDINAL SECTION	154
ง59	CROSS SECTION (FRONT)	156
ง60	CROSS SECTION (REAR)	157
ง61	การถอน Tie Rod ที่ Inner Web Formwork	160
ง62	การถอน Tie Rod ที่ Out Web Formwork	160
ง63	ปลด Thread bar ล็อครางบริเวณ Rear Anchorage	161
ง64	การเลื่อนรางด้วย Advancing Jack	161
ง65	การล็อครางเมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนด	162
ง66	ปลด Thread Bar ยึดแบบหล่อ Drivedeck บน Deck Slab ภายใน Box-Girder ให้รางรองรับ Drivedeck Formwork วางบน Roller Bracket	162
ง67	การติดตั้งนั่งร้านรองรับ Outer Formwork	163
ง68	การขันยึด Advancing Thread Bar และรอกโซ่บริเวณส่วนหลัง	164

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง69	การปลด Thread Bar บริเวณ Deck Slab	164
ง70	การปลด Thread Bar บริเวณ Bottom Slab	165
ง71	การปลด Thread Bar ส่วนหลังแล้วเสร็จ	165
ง72	ขันปรับระดับให้ลูกล้อ Rear Carriages สัมผัสปีกราง	166
ง73	การปลด Thread Bar ล็อครางคู่หน้า	166
ง74	การถอน Coupler บริเวณ Rear Anchorage	167
ง75	ลดระดับ Hydraulic Jack จนลูกล้อสัมผัสราง	167
ง76	การเลื่อน Form Traveler ด้วย Traveled Jack และรั้งหลังด้วย Tiefor	168
ง77	การเลื่อน Form Traveler ด้วย Traveled Jack	168
ง78	ปลดย้าย Thread Bar ล็อครางคู่หลัง ไปยึดล็อครางที่ตำแหน่งใหม่	169
ง79	ยก From traveler ให้ล้อลอยเหนือรางประมาณ 10 ซม.	169
ง80	การยก From traveler ด้วย Supporting Jack	170
ง81	การทดสอบการรับน้ำหนักโดย Test Hydraulic Jack	171
ง82	ตรวจสอบค่าความดันจาก Pressure Gauge	171
ง83	ใช้รอกโซ่ยก Bottom Frame	172
ง84	ติดตั้ง Thread Bar ของ Rear Bottom Frame 2 ตัวใน Box-Girder	172
ง85	เตรียมยึด Bottom Frame กับ Bottom Slab	173
ง86	การยึด Bottom Frame กับ Deck Slab	173
ง87	Thread Bar ยึด Drivedeck บน Deck Slab	174
ง88	Thread Bar ยึด Drivedeck ใน Box-Girder	175
ง89	การติดตั้ง Roller Bracket ใน Box-Girder	175
ง90	From Traveler สภาพพร้อมเทคอนกรีต	176
ง91	การป้องกันการตกของวัสดุ-อุปกรณ์ของ From Traveler	176
ง92	Calculation of Deflection (for Casting Curve)	178
ง93	Concrete and Prestressing Steel	179
ง94	Creep and Shrinkage Parameter (CEB-FIP)	180
ง95	CAMBER TABLE BALANCE CANTILEVER AXIS 503	181

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง96	CAMBER TABLE BALANCE CANTILEVER AXIS 504	182
ง97	แบบรายละเอียดแสดงฐานรากกับ TEMPORARY TOWER SUPPORT PIER 497-501	184
ง98	ประกอบแบบหล่อ Advance Segment	185
ง99	ทำการรื้อถอนแบบหล่อหลังเทคอนกรีตช่วง Bottom Slab & Web และ Deck Slab	186
ง100	ทำการเลื่อน Launcher เข้าประกบ Advance Segment ที่เทไว้	186
ง101	แบบรายละเอียดการติดตั้ง TEMPORARY TOWER SUPPORT และ FORMWORK ส่วน ADVANCE SEGMENT	189
ง102	แบบรายละเอียด ADVANCE SEGMENT หลังจากรื้อถอน FORMWORK	190
ง103	แบบรายละเอียดการติดตั้ง HYDRAULIC JACK และ ROLLER SUPPORT	191
ง104	การติดตั้ง LAUNCHER ก่อสร้างช่วง EXPANSION JOINT	192
ง105	แบบรายละเอียดการยึดรั้ง ADVANCE SEGMENT	193
ง106	แบบรายละเอียดการติดตั้ง FORMWORK ส่วน EXPANSION JOINT	194
ง107	LAUNCHER MOVING STAGES 1 WITH PRELIMINARY LOADINGS	196
ง108	LAUNCHER MOVING STAGES 2 WITH PRELIMINARY LOADINGS	197
ง109	LAUNCHER MOVING STAGES 3 WITH PRELIMINARY LOADINGS	198
ง110	LAUNCHER MOVING STAGES 4 WITH PRELIMINARY LOADINGS	199
ง111	LAUNCHER MOVING STAGES 5 WITH PRELIMINARY LOADINGS	200
ง112	ปัก King Post บริเวณคลองสาทรเพื่อใช้เป็นฐานรองรับระบบค้ำยัน	205
ง113	ติดตั้งนั่งร้านบน Support เพื่อรองรับแบบหล่อ	205
ง114	ประกอบแบบหล่อพื้นที่ด้านล่างกับกำแพงด้านข้าง (Bottom Slab & Webs	206
ง115	ติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีต (Bottom Slab & Webs Formwork)	206
ง116	ติดตั้งอุปกรณ์ลวดอัดแรง (Post Tension) ใน Webs	207
ง117	ปิดแบบ Webs พร้อมเทคอนกรีต Bottom Slab & Webs	207
ง118	Deck Slab ที่ทำการเทคอนกรีตแล้ว	208
ง119	รื้อถอนแบบหล่อและระบบค้ำยันออก	208

การศึกษาความเสี่ยงงานติดตั้งคานรูปกล่อง ระบบหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลัง เพื่อความปลอดภัย กรณีศึกษาโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

Risk Study of Lifting System Precast Segment Box Girder Span-by-Span Construction for Safety Case Study Suvarnabhumi Airport Rail Link and City Air Terminal

คำนำ

ปัจจุบันการพัฒนาประเทศมีการก่อสร้างเข้ามามีบทบาทมาก และพบว่างานก่อสร้างในประเทศไทยได้ก้าวรุดหน้าและเพิ่มปริมาณมากขึ้น แต่สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นเงาตามมาจากการปฏิบัติงานก่อสร้างคือ อุบัติเหตุ ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้งก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก และในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีก่อสร้างที่ทันสมัย ตลอดจนวิทยาการสมัยใหม่มาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทำงานให้ได้มาตรฐานตามกำหนดในรายการก่อสร้าง ขณะเดียวกันได้ก่อให้เกิดการประสบอันตรายจากการทำงานของลูกจ้าง และบุคคลภายนอกค่อนข้างรุนแรง

ดังนั้น ผู้วิจัยมีความประสงค์จะศึกษาถึงปัญหาของอุบัติเหตุที่เกิดจากงานการติดตั้งคานรูปกล่องในประเทศไทย โดยใช้กรณีศึกษา โครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง โดยการใช้การประเมินความเสี่ยงแบบแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis; FTA) ในการประเมินความเสี่ยงของอันตรายและอุบัติเหตุในงานก่อสร้างดังกล่าว โดยการประเมินความเสี่ยงแบบแผนภูมิต้นไม้เป็นการประเมินความเสี่ยงที่มีลักษณะเป็น Logic diagram เพื่อเชื่อมโยงเหตุการณ์ของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาเหตุการณ์พื้นฐานที่สำคัญอันเป็นต้นเหตุที่แท้จริงของอุบัติเหตุ นอกจากนี้ยังสามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการหาโอกาส (Probability) ของการเกิดอุบัติเหตุโดยแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขที่สามารถเข้าใจง่าย ผลที่ได้จากการประเมินความเสี่ยงจะนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงงานติดตั้งคานรูปกล่องระบบหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลัง

คำถามที่ใช้ในการวิจัย

ผลของการใช้เครื่องมือประเมินความเสี่ยงแบบแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree Analysis) สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ของงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) ในโครงการก่อสร้างระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ และสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง จะแสดงโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ (Probability) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงานออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างไร

ปัญหาสำหรับงานวิจัย

ศึกษาหาสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดอุบัติเหตุ จากการปฏิบัติงานของคนและเครื่องจักรอุปกรณ์ ในการติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) โดยใช้วิธีระบบหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลัง

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลการทำงานของการติดตั้งคานรูปกล่อง ระบบหล่อเสร็จดึงลวดภายหลัง กรณีศึกษาโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง ดำเนินการก่อสร้างโดยบริษัท ชิโน-ไทย เอ็นจีเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

2. ใช้การประเมินความเสี่ยงแบบแผนภูมิต้นไม้ ซึ่งเป็นการประเมินความเสี่ยงที่มีลักษณะเป็น Logic diagram เพื่อเชื่อมโยงเหตุการณ์ของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาเหตุการณ์พื้นฐานที่สำคัญอันเป็นสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดอุบัติเหตุ

3. ทำการศึกษาความเสี่ยงในงานติดตั้งคานรูปกล่อง ระบบหล่อเสร็จดึงลวดภายหลัง

4. เพื่อหาแนวทางการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทำงานก่อสร้าง

5. การวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะงานก่อสร้างสถานีขนส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง โดยการสุ่มเลือกเก็บตัวอย่างข้อมูลจาก 3 สถานี

5.1 สถานีมักกะสัน

5.2 สถานีรามคำแหง

5.3 สถานีหัวหมาก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของอันตรายที่เกี่ยวกับงาน และวิธีการทำงานกับเครื่องจักรอย่างปลอดภัยสูงสุด

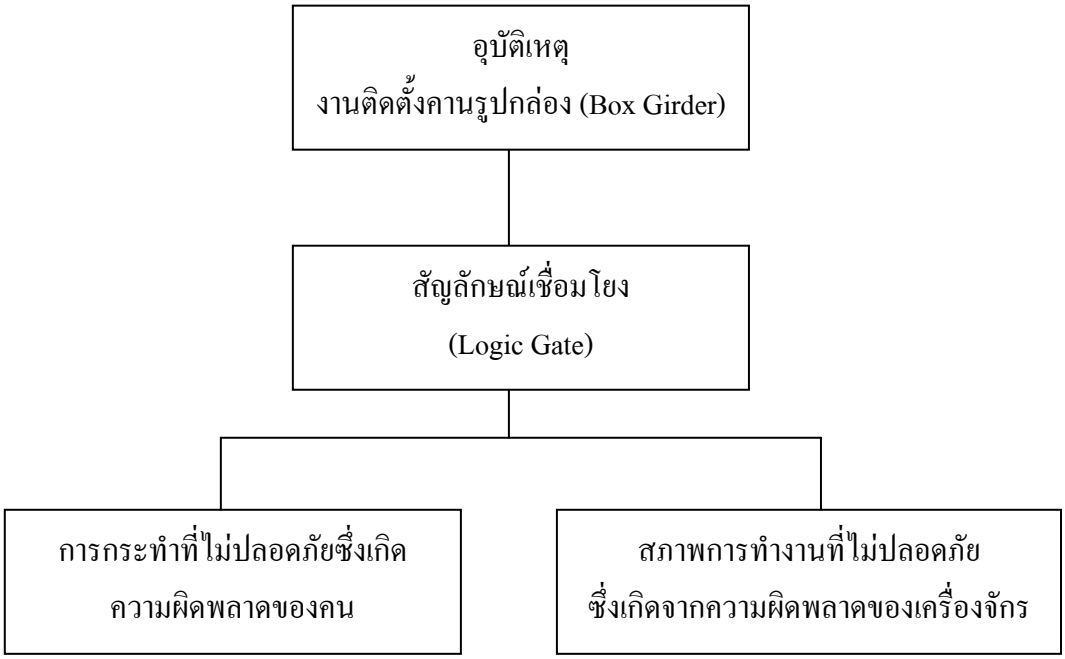
2. ใช้วางแผนป้องกันอุบัติเหตุเพราะจะทราบเหตุการณ์สำคัญที่มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุสูง

3. สามารถนำมาใช้ในการสอบสวนอุบัติเหตุที่ซับซ้อนได้

4. ทำให้เข้าใจและรู้จักพัฒนาเทคนิควิธีการประเมินความเสี่ยง

5. เป็นแนวทางในการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานก่อสร้าง

แบบจำลองความคิด



ภาพที่ 1 แบบจำลองแนวคิดของการเกิดอุบัติเหตุ

การเกิดอุบัติเหตุจะเกิดสองส่วน คือ เกิดจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัยของคนที่ทำงาน และเกิดจากสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยของเครื่องจักร อุปกรณ์ ดังนั้นจึงต้องทำการแสดงความสัมพันธ์ของการเกิดอุบัติเหตุ และใช้สมการทางคณิตศาสตร์แสดงโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ (Probability) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแต่ละกิจกรรมออกมาเป็นตัวเลข

นิยามศัพท์

ความหมายของศัพท์ที่ใช้ในการศึกษาความเสี่ยงในงานยกคานรูปตัวไอสะพานข้ามทางแยกเพื่อความปลอดภัยไว้ดังนี้

1. Steel Box Girder หมายถึง คานเหล็กตามแนวยาวของสะพาน

2. Cross Beam หมายถึง คานตามแนวขวางของสะพาน

3. Mobile Crane หมายถึง ปั้นจั่นชนิดเคลื่อนที่โดยล้อยาง เพื่อยกชิ้นงานตามจุดต่างๆ

4. Flyover หมายถึง ทางยกระดับ หรือ สะพานสำหรับรถวิ่งข้ามทางแยก

5. ความปลอดภัย (Safety) คือความเป็นอิสระจากสภาพความเสี่ยงภัย จากสภาพอันตรายในสภาวะแวดล้อมใดๆ การปราศจากอันตรายที่มีโอกาสจะเกิดอันตรายขึ้นด้วยโดยสิ้นเชิง

6. การทำงานอย่างปลอดภัย คือ การทำงานที่ไม่มีอุบัติเหตุ ไม่เป็นโรคภัยไข้เจ็บอันเนื่องมาจากการทำงาน

7. สภาพอันตราย คือ สภาวะหรือสภาพที่มีศักยภาพพอที่จะก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือทำให้ทรัพย์สินเสียหาย โดยทั่วๆ ไป สาเหตุของอุบัติเหตุจะอยู่นิ่งด้วยศักยภาพ ที่ทำให้เกิดอันตรายลักษณะเช่นนี้อาจเรียกได้ตามศัพท์ประกันภัยว่า “ภัยเสี่ยง” หรือ “ภาวะเสี่ยงภัย”

8. ความเสียหาย (Damage) เป็นความรุนแรงของการบาดเจ็บหรือความสูญเสียทางด้านกายภาพ หรือความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อการปฏิบัติงาน

9. อุบัติเหตุ (Accident) หมายถึง ปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิดหรือมิได้วางแผนล่วงหน้า ขาดการควบคุม ซึ่งก่อให้เกิดการเสียชีวิต การบาดเจ็บ พิการ และทำให้ทรัพย์สินได้รับความเสียหาย หรือต่อสภาพแวดล้อมโดยรวม

10. อันตราย (Hazard) หมายความว่า สิ่งหรือเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยจากการทำงาน ความเสียหายต่อทรัพย์สิน ความเสียหาต่อสภาพแวดล้อม ความเสียหายต่อสาธารณะชน หรือสิ่งต่างๆ เหล่านี้รวมกัน

11. ความเสี่ยง (Risk) หมายความว่า ผลลัพธ์ของความน่าจะเกิดอันตราย และผลจากอันตรายนั้นเป็นที่ควบคู่ไปกับความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นเหตุใดเหตุหนึ่ง

12. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยหรือสภาพการณ์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอันตรายที่มีและแอบแฝงอยู่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุและอาจก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์

13. ระดับความเสี่ยง (Level Risk) ยอมรับได้ หมายความว่า ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มมาตรการควบคุมอีกหรือเป็นผลจากการมีมาตรการที่เหมาะสมในการลดหรือควบคุมความเสี่ยง

14. ความน่าจะเป็น (Probability) ความเป็นไปได้ เป็นนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ เช่น ค่าช่วงตัวเลขในระหว่าง 0-1 เมื่อมีค่า 0 แสดงถึงความเป็นไปได้ และเมื่อมีค่า 1 แสดงถึงความแน่นอน การเก็บข้อมูลสถิติเป็นการศึกษาเรื่องของความน่าจะเป็นเช่นกัน

15. โอกาส (Chance) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผลลัพธ์ของเหตุการณ์ใดๆ จะเกิดขึ้นบางครั้ง จะพูดกันแบบไม่มีค่าตัวเลขมาเกี่ยวข้อง เช่น มีโอกาสค่อนข้างสูงที่เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น

16. ดัชนีบ่งชี้ความปลอดภัย หมายถึง ค่าดัชนีบ่งชี้ความปลอดภัยในกิจกรรมต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจ ในการทำกิจกรรมเหล่านั้น ซึ่งค่าดัชนีบ่งชี้ความปลอดภัยนี้เป็นค่าที่ได้จากการใช้สถิติข้อมูลในอดีตที่มีอยู่เป็นตัวกำหนดค่าดัชนีบ่งชี้นี้ โดยค่าดัชนีบ่งชี้ความปลอดภัยนี้มีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับการเทียบกับสมมติฐานใดๆ

17. OSHA (Occupational Safety and Health Administration) หมายถึง ค่าดัชนีแสดงอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นภายในเวลาทำงาน 100 ปี โดยสมมติฐานให้ปีหนึ่งมีชั่วโมงการทำงาน 2,000 ชั่วโมง

18. FAR (Fatal Accident Rate) หมายถึง ค่าดัชนีทางความปลอดภัยที่แสดงถึงจำนวนคนตายของพนักงาน 1,000 คน ในช่วงการทำงานตลอดชีวิต โดยให้พนักงานหนึ่งคนมีเวลาในการทำงานทั้งสิ้น 50 ปี ดังนั้น FAR จึงเป็นจำนวนคนตายในเวลาการทำงานทั้งสิ้น

19. Fatality Rate หมายถึง ค่าดัชนีทางความปลอดภัยที่แสดงจำนวนคนที่คาดว่าจะเกิดการเสียชีวิตต่อหรือค่าดัชนีทางการเสียหายและของเครื่องจักรอุปกรณ์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความเสี่ยงของงานติดตั้งคานรูปกล่องโดยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความผิดพลาดโดยใช้แผนภูมิต้นไม้

2. เพื่อนำเสนอเป็นแนวทางปรับปรุง และเป็นข้อมูลประกอบการจัดทำรายละเอียดของข้อกำหนด ความปลอดภัยงานติดตั้งคานรูปกล่องที่จะมีในอนาคต

การตรวจเอกสาร

การวิจัยเรื่องการใช้ Fault tree analysis ประเมินความเสี่ยงของนักศึกษาที่ใช้เครื่องกลึงโลหะฝึกปฏิบัติงาน สามารถแบ่งแนวคิดทฤษฎีและเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ ดังนี้

1. การประเมินความเสี่ยงและการชี้บ่งอันตราย (Risk Assessment and Hazard Identification)
2. การประเมินความเสี่ยงด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis)
3. การวางแผนการจัดการความเสี่ยงและการบริหารจัดการความเสี่ยง
4. การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงและการชี้บ่งอันตราย

กระทรวงอุตสาหกรรม (2542) ได้ออกประกาศประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3/2542 อธิบายถึงความหมายของการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงไว้ดังนี้

การชี้บ่งอันตราย (Hazard identification) หมายถึง การแจกแจงอันตรายต่างๆ ที่มีและที่แอบแฝงอยู่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการทุกขั้นตอนตั้งแต่การรับจ่าย การเก็บ การขนถ่ายหรือขนย้าย การใช้ การขนส่งวัตถุดิบ เชื้อเพลิง สารเคมีหรือวัตถุอันตราย ผลิตภัณฑ์ และวัตถุพลอยได้ กระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติการ เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และกิจกรรม หรือสภาพการณ์ต่างๆ ภายในโรงงาน เป็นต้น

การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์ถึงปัจจัย หรือสภาพการณ์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้อันตรายที่มีและที่แอบแฝงอยู่ ก่อให้เกิดอุบัติเหตุและอาจก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของ สารเคมีหรือวัตถุอันตราย เป็นต้น โดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงของเหตุการณ์เหล่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายแก่ชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

การประเมินความเสี่ยงด้วยแผนภูมิต้นไม้

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2534) ออกระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความปลอดภัย พ.ศ. 2534 ได้อธิบายถึงการประเมินความเสี่ยงด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) ไว้ดังนี้

แผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึง อุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุซึ่งเป็นเทคนิคในการคิดย้อนกลับที่อาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้หลักการเหตุและผล เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง โดยเริ่มวิเคราะห์จากอุบัติเหตุหรือ อุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อพิจารณาเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นก่อนแล้วนำมาแจกแจงขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์แรกว่ามาจากเหตุการณ์ย่อยอะไรได้บ้างและเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร การสิ้นสุดการวิเคราะห์เมื่อพบว่าสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยเป็นผล เนื่องจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือความผิดพลาดจาการปฏิบัติงาน

Louvar (1998) อธิบายถึงขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ ทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) ให้ปฏิบัติดังนี้

1. ให้พิจารณาเลือกจำลองเหตุการณ์แรก (Top event) ที่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรงตามมา

2. วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์แรกว่าเกิดได้จากเหตุการณ์ย่อย (Fault tree event or Intermediate event) อะไรได้บ้าง

3. วิเคราะห์หาสาเหตุของเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นอีกจนการวิเคราะห์หาสาเหตุจะสิ้นสุดเมื่อพบว่าสาเหตุต่างๆ เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ เครื่องมือ ระบบความปลอดภัย ความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน และหรือระบบการบริหารจัดการซึ่งสิ่งเหล่านี้จัดเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ โดยปกติ (Basic event)

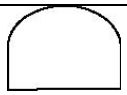
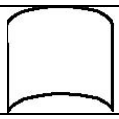
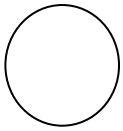
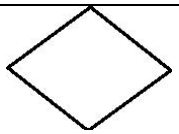
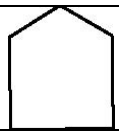
4. แสดงผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายในรูปแผนภูมิโดยใช้เครื่องหมายในตารางที่ 1

5. สรุปผลการศึกษา วิเคราะห์และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อ ชี้บ่งอันตราย และประเมินความเสี่ยงลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

6. จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การชี้บ่งอันตรายด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis)

ตารางที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis)

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	And gate สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	Or gate สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องมาจากสาเหตุใด สาเหตุหนึ่งของเหตุการณ์ย่อย
	Basic event เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยปกติ	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติ ซึ่งทราบถึงสาเหตุที่เห็นได้ชัดเจน โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป ถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิดอุบัติภัย
	Fault tree event เหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่อง จนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติภัย
	Undeveloped event เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External event เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ

ที่มา: Louvar (1998)

วิชัย (2544) ได้อธิบายถึงการใช้แผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) ในการประเมินความเสี่ยงไว้ดังนี้

แผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis, FTA) เป็นการวิเคราะห์ความปลอดภัยโดยการวิเคราะห์หาสาเหตุของอันตรายที่เกี่ยวข้องกับงาน วิธีการทำงานและกระบวนผลิตอยางเป็นระบบ แสดงให้

เห็นถึงความเกี่ยวโยงที่จะนำไปสู่เหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เพื่อจะได้นำข้อมูลที่ได้มาหามาตรการในการควบคุมและป้องกันต่อไป FTA เป็นการวิเคราะห์เพื่อความปลอดภัยโดยการเอาเหตุการณ์ที่อาจเกิดอันตรายหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงปรารถนา จะให้เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ โดยพิจารณาว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาจากสาเหตุการณ์ใดบ้าง มีลักษณะเป็น And gate, Or gate หรือลักษณะอื่นๆ จากนั้นก็พิจารณาไปเรื่อยๆ จนได้สาเหตุ หรือเหตุการณ์ที่เพียงพอ ต่อการหามาตรการป้องกันหรือควบคุมอันตรายได้จึงจะหยุดทำการวิเคราะห์

FTA เป็นเทคนิคที่ใช้หาสาเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect) เพื่อแสดงลักษณะของการเกิดเหตุบกพร่อง หรือการเกิดอุบัติเหตุ (Top event) หรือเกิดจากเหตุการณ์ใดบ้าง โดยแสดงเป็นแผนภูมิต้นไม้ ระบุถึงสาเหตุและขั้นตอนที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงหรือความบกพร่องภายในระบบ (Intermediate event) ซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุย่อยหลายๆ สาเหตุและสาเหตุพื้นฐาน (Basic event) ที่สนับสนุนให้เกิดสาเหตุย่อยขึ้น การวิเคราะห์จะใช้และ And gate หรือ Or gate เพื่อหาความเชื่อมโยงของสาเหตุต่างๆ ที่สนับสนุนให้เกิดความบกพร่องขึ้น โดยการหาสาเหตุของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจนได้สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นแล้วนำมาหามาตรการหรือวิธีการป้องกันควบคุมต่อไป เช่น การเกิดเพลิงไหม้ขึ้นในแต่ละครั้งจะประกอบด้วย องค์ประกอบ 3 ประการ คือ เชื้อเพลิง อากาศหรือออกซิเจนและความร้อน แต่เชื้อเพลิงนั้นมีหลายประเภท ซึ่งเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการลุกไหม้นั้นอาจจะเป็นเชื้อเพลิงประเภทของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ และความร้อน ก็มีที่มาจากหลายแห่งด้วยกัน

FTA ช่วยในการหาโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุหรือเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดขึ้นว่ามีโอกาสมากหรือน้อยเพียงใด โดยอาศัยหลักพิชคณิตบูลลีน (Boolean algebra) และข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายการล้มเหลวในการทำงาน (Failur rate) มาเป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยผู้วิเคราะห์จะต้อง มีความรู้ ความเข้าใจในเทคนิคและสัญลักษณ์ต่างๆ รวมทั้งขั้นตอนในการวิเคราะห์เป็นอย่างดี จึงจะทำให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

Louvar (2002) อธิบายถึงสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) ไว้ดังนี้

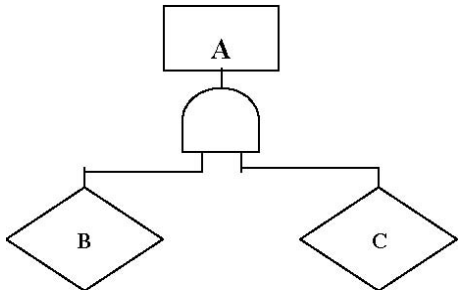
1. สัญลักษณ์ที่ใช้กับเหตุการณ์ (Event)

เหตุการณ์ของเทคนิค Fault tree analysis มีสัญลักษณ์พื้นฐานที่ใช้ 4 รูปแบบดังนี้

1.1 Fault event ใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ▭ (Rectangle) ส่วนมากใช้เป็นเหตุการณ์ที่อยู่ระหว่างกลาง (Intermediate event) ไม่ใช่เหตุการณ์เริ่มต้นหรือ เหตุการณ์สุดท้ายของกิ่งก้านสาขาในแผนภูมิต้นไม้ Fault event จะต้องอธิบายในลักษณะสาเหตุ ที่ก่อให้เกิดเหตุการณ์ผิดปกติ เพื่อนำไปสู่การสร้างหรือต่อเป็นรูปต้นไม้ต่อไปอีก Fault event จะใช้เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุหรือเป็นผลมาจากเหตุการณ์ผิดปกติต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ ด้านปริมาณ Fault event จะไม่ระบุเป็นตัวเลข เพราะไม่ใช่สาเหตุหรือเหตุการณ์สุดท้ายของปัญหา ซึ่งจะต้องถูกทำการวิเคราะห์ต่อไปอีกเสมอ ซึ่งต่างจาก Basic event ที่จะต้องระบุตัวเลขอัตราการเกิดเหตุการณ์ด้วยทุกครั้ง

1.2 Basic event ใช้สัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม ○ (Circle) ใช้เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ที่เกิดจากความบกพร่องหรือความผิดปกติ ซึ่งเป็นเหตุการณ์สุดท้ายหรือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เหตุการณ์นี้จะอยู่ในส่วนล่างสุดของทุกๆ เหตุการณ์เสมอไม่สามารถวิเคราะห์ต่อไปได้อีก เช่น เหตุการณ์ของดวงไฟที่ติดไว้เพื่อแสดงสัญญาณเตือนภัยไม่ทำงาน อันมีสาเหตุมาจากความเสื่อมสภาพของไส้หลอด เป็นต้น

1.3 Undeveloped intermediate event ใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนหรือรูปเพชร ◇ (Diamond) ใช้เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอหรือยุ่งยากซับซ้อนหรือเป็นข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับ Top event หรือไม่ใช่เหตุการณ์สำหรับจึงไม่ทำการวิเคราะห์ต่อไป แต่เมื่อใดมีข้อมูลเพิ่มเติมหรือสนับสนุนในภายหลัง ก็สามารถวิเคราะห์ต่อไปได้ (Fault event) จากรูป จะเห็นเหตุการณ์ B และ C เป็นสาเหตุทำให้เกิดเหตุการณ์ A ขึ้น



ภาพที่ 2 แสดงการใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน

ที่มา: กรมโรงงานอุสาหกรรม (2544)

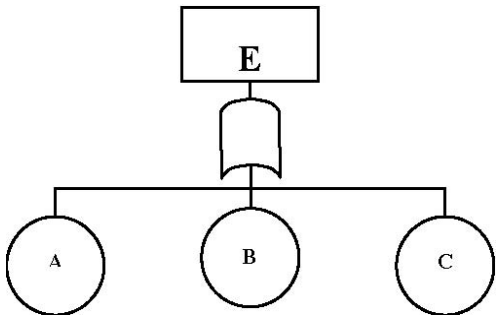
1.4 House event ใช้สัญลักษณ์รูปบ้าน (House) บางครั้งเรียกว่า Switch event หรือ Normal event เพราะเหตุการณ์นี้ต้องพิจารณาว่าจะเกิดเหตุการณ์หรือไม่เกิดเหตุการณ์ขึ้น ใช้แทนด้วยสวิตช์ปิด – เปิด

1.5 Tree transfer หรือ Transfer gate ใช้สัญลักษณรูปสามเหลี่ยม เป็นสัญลักษณ์ที่ไม่ได้ใช้แทนเหตุการณ์ แต่ใช้แทนการอ้างถึงเหตุการณ์อีกเหตุการณ์หนึ่ง ซึ่งอยู่ในกิ่งก้านอื่นของแผนภูมิต้นไม้ แต่เป็นเหตุการณ์ที่ซ้ำกันเพราะฉะนั้นในเทคนิค Fault tree ถ้าพบว่ามีเหตุการณ์ซ้ำกันก็ไม่ต้องเขียน เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการวิเคราะหนั้นๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้ว แต่จะใช้สัญลักษณ์สามเหลี่ยม อ้างไปถึงเหตุการณ์เดิมที่เคยวิเคราะห์แล้วในกิ่งก้านอื่นๆ ของ Top event เดียวกัน

2. สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความเป็นเหตุเป็นผลกัน (Logic gate)

แผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) เป็นเทคนิคแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ต่างๆ ของระบบ ความเชื่อมโยงของแต่ละเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องหรือไม่นั้น สามารถใช้สัญลักษณ์ ได้ดังต่อไปนี้

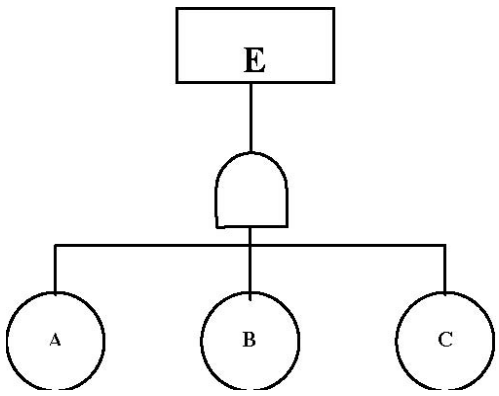
2.1 Or gate ใช้สัญลักษณ์รูป เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์อย่างน้อยหนึ่งเหตุการณ์ หรือมากกว่าหนึ่งเหตุการณ์ ซึ่งเกิดภายในเวลาเดียวกันหรือมีผลต่อเหตุการณ์เดียวกัน ซึ่งเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นได้นั้น ต้องมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์นั้นๆ อย่างน้อยหนึ่งเหตุการณ์ หรือมากกว่าหนึ่งเหตุการณ์ เช่น เหตุการณ์ A, B, C เป็น Input ที่มีความสัมพันธ์กันแบบ Or gate แสดงว่า เหตุการณ์ E จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ A หรือ B หรือ C ขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเกิดขึ้นพร้อมๆ กันก็ได้



ภาพที่ 3 แสดงการใช้สัญล์กษณ์ Or gate แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2544)

2.2 And gate ใช้สัญลักษณ์ เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นได้ (Output) จะต้องมีสาเหตุมาจากทุกๆ เหตุการณ์ (Input) ซึ่งจะต้องเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน เช่น เหตุการณ์ E จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ A, B และ C เกิดพร้อมๆ กันทั้งหมด แต่เมื่อใดก็ตามที่เกิดเหตุการณ์ A หรือ B หรือ C เกิดเหตุการณ์ A หรือ B, A หรือ C, B หรือ C อย่างใดอย่างหนึ่งก็จะไม่ทำให้เกิดเหตุการณ์ B ขึ้นมาได้

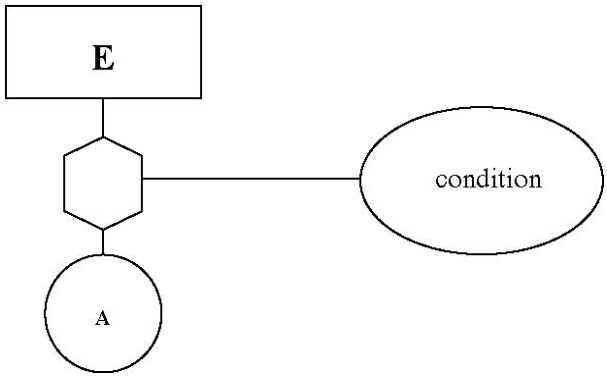


ภาพที่ 4 แสดงการใช้สัญลักษณ์ And gate แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2544)

หมายเหตุ: Or gate และ And gate เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้อธิบายความเป็นเหตุเป็นผลของแต่ละเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุได้อย่างดีและง่ายต่อการวิเคราะห์จึงนิยม ใช้มากกว่าสัญลักษณ์อื่นๆ

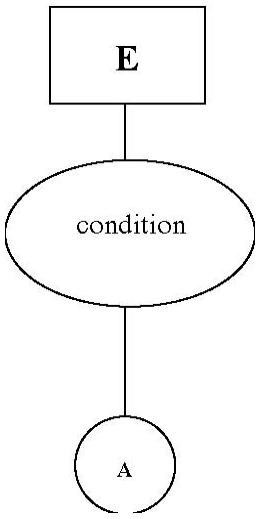
2.3 Inhibit gate ใช้สัญลักษณ์รูป เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงไว้ในแผนภูมิต้นไม้ ในกรณีที่เหตุการณ์ใดๆ (Output) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีเงื่อนไข (Condition) หรือข้อจำกัด (Restriction) หรือองค์ประกอบอื่นๆ ครบ เช่น สถานที่ อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบเสริมที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์นั้นๆ ได้ เช่น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ระบุไว้ต้องมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ A (Input) จึงจะสามารถทำให้เกิด High pressure (เหตุการณ์ E หรือ Output)



ภาพที่ 5 แสดงการใช้ Inhibit gate

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2544)

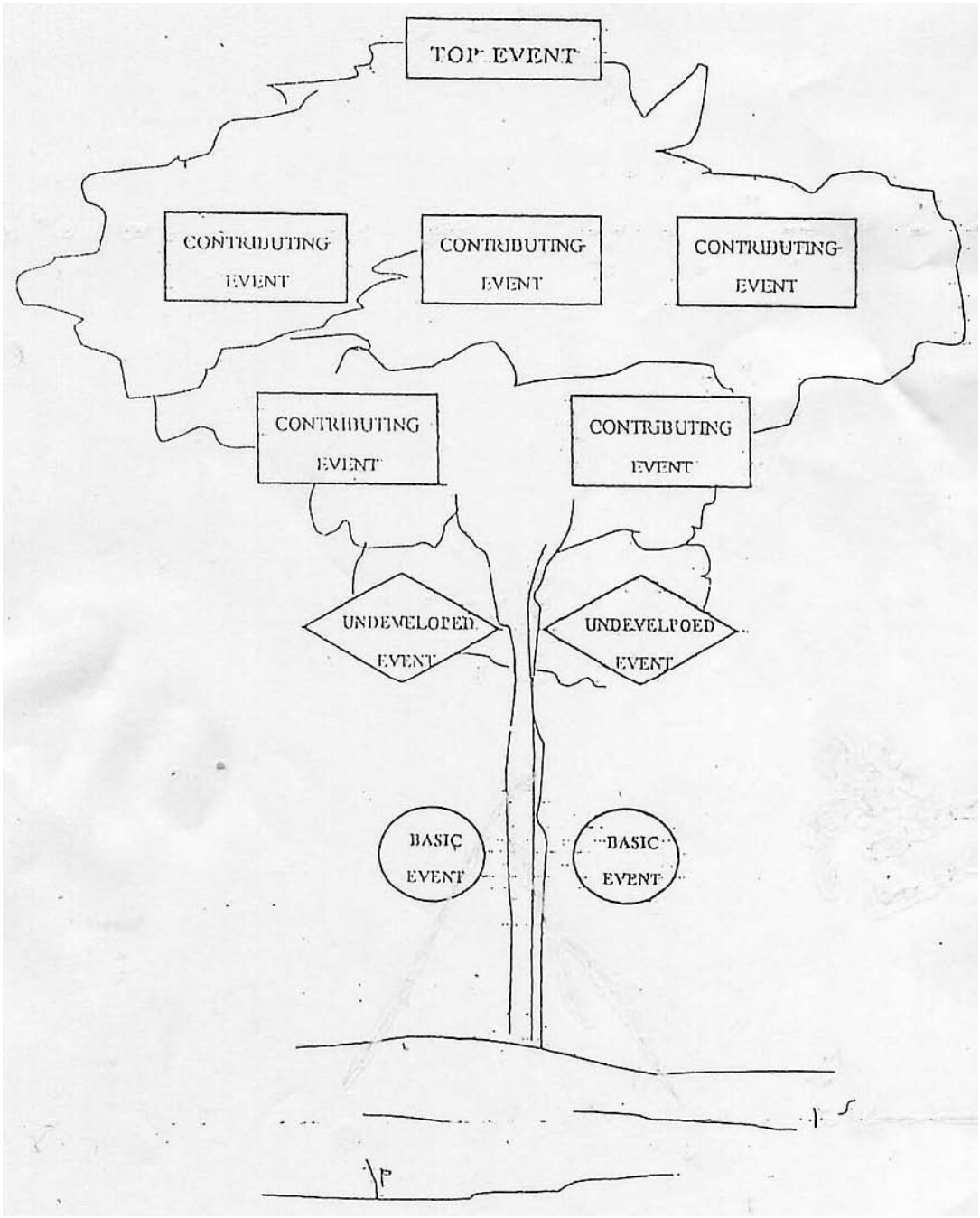
2.4 Delay time (Condition event) สามารถทำให้เกิดเหตุการณ์ผิดปกติ (Fault event, E) ได้ก็ต่อเมื่อมีเหตุการณ์ A และมีเงื่อนไขของระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องมีลักษณะเฉพาะ เช่น ถ้า Retort มีอุณหภูมิสูง 120 องศาเซลเซียล นานเกิน 2 นาที วาล์ว จะถูกเปิดออกเพื่อลดความดัน และอุณหภูมิ



ภาพที่ 6 แสดงการภาพการเขียนเงื่อนไขของระยะเวลา

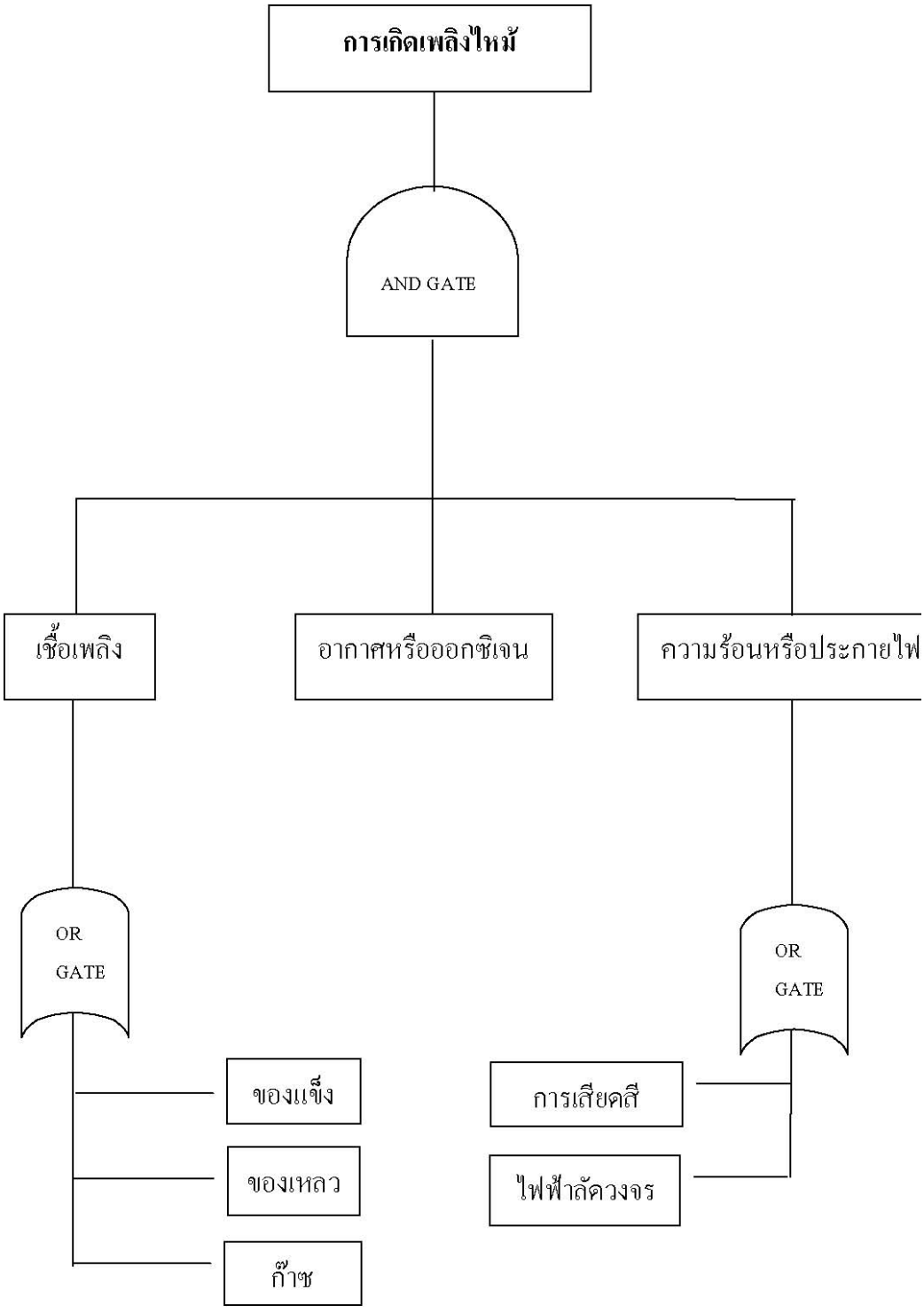
ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2544)

แผนภูมิต้นไม้หรือโครงสร้างของ Fault tree analysis



ภาพที่ 7 แสดงภาพแผนภูมิต้นไม้หรือโครงสร้างของ Fault tree analysis

ที่มา: วิชัย (2544)



ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างการเขียนสาเหตุของเหตุการณ์เพลิงไหม้ด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis)

ที่มา: วิชัย (2544)

American Institute of Chemical Engineers (1985) ได้สรุปประโยชน์ของการทำแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) ไว้ว่า

1. ใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของอันตรายที่เกี่ยวกับงาน วิธีการทำงาน เครื่องจักร และขบวนการผลิตได้

2. ใช้วางแผนป้องกันอุบัติเหตุเพราะจะทราบเหตุการณ์สำคัญที่มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุสูง

3. สามารถนำมาใช้ในการสอบสวนอุบัติเหตุที่สลับซับซ้อนได้

4. โครงสร้างการวิเคราะห์จะแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ของเหตุการณ์ด้วย Logic Gate ทำให้เข้าใจง่าย

วิชัย (2544) อธิบายถึงขั้นตอนในการทำแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis)์ ว่ามี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเลือกปัญหา (Problem definition)

1.1 โดยการกำหนดหรือเลือก Top event (Selecting the top event) ซึ่ง Top event เป็นเหตุการณ์หลักหรือเหตุการณ์สำคัญที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้น มักอยู่บนสุดของโครงสร้างรูปต้นไม้ ใช้สัญลักษณ์ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เช่น หม้อไอน้ำระเบิด เนื่องจากมีความดัน มากเกินไป เตาปฏิกรณ์เสียหาย เนื่องจากมีความดันสูง เป็นต้น

1.2 กำหนดขอบเขตที่พิจารณาดังนี้

1.2.1 ตัดประเด็นหรือข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องออก

1.2.2 เลือกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ หรือเกิดขึ้นในปัจจุบัน หรือเป็นอันตรายต่อการทำงาน

1.2.3 เลือกเหตุการณ์ที่มีอันตรายมากที่สุดเป็น Top event เช่น เหตุการณ์ ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต เป็นต้น

1.2.4 กำหนดขอบเขต (Scope) ในการพิจารณาเฉพาะจุด หรือสิ่งที่สนใจเพียงจุดเดียว

2. การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยการทำแผนภูมโครงสร้างรูปต้นไม้ (Fault tree construction)

การทำแผนภูมิรูปต้นไม้มีดังนี้

2.1 จัดทำโดยเริ่มจาก เมื่อได้เหตุการณ์ที่เป็น Top event แล้ว เริ่มค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิด Top event โดยทำเป็นลำดับขั้นตอน และให้พิจารณาเป็นลำดับขั้นต่อขั้น *ห้ามข้ามขั้นเด็ดขาด* โดยให้สัญลักษณ์ต่างๆ แทนสาเหตุที่ทำให้เกิด Top event เช่น สัญลักษณ์รูปวงกลม, สัญลักษณ์รูปเพชร, สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นต้น และใช้ Or gate หรือ And gate เชื่อมสาเหตุต่างๆ

2.2 วิเคราะห์หาสาเหตุของทุกเหตุการณ์ จนนำไปสู่สาเหตุพื้นฐาน (Basic event) ซึ่งเป็นสาเหตุหรือเหตุการณ์สุดท้าย ส่วนใหญ่มักใช้สัญลักษณ์รูปวงกลมหรือรูปเพชร

กฎสำหรับการสร้างแผนภูมิรูปต้นไม้ (Rules for fault tree construction)

1) Fault event stement (Fault identification – The “Be Precise Rule) : การเขียน Top event ต้องระบุให้ครบ 3 ประเด็น คือ WHAT, WHERE, WHEN

2) Fault event evalution เมื่อประเมินเหตุการณ์ผิดปกติแล้วให้พิจารณาว่าอุปกรณ์ล้มเหลวก่อให้เกิดเหตุการณ์ผิดปกติหรือไม่ โดยการตอบ “Yes” หรือ “No”

ถ้าตอบ “Yes” ให้ระบุเหตุการณ์เป็น State of equipment fault (ความผิดปกติของอุปกรณ์)

ถ้าตอบ “No” ให้ระบุเหตุการณ์เป็น State of system fault (ความผิดปกติของระบบ)

การแยกชนิดของเหตุการณ์ที่ผิดปกติจะช่วยให้หา Fault event ต่อไปได้ง่ายขึ้น เพราะถ้าอุปกรณ์ล้มเหลวให้พิจารณา Or gate แล้วดูว่าล้มเหลวเนื่องจากสาเหตุที่มาจากปัจจัยภายนอกหรือการควบคุมสัญญาณผิดพลาด แ9ต่ถ้าระบบล้มเหลวให้ค้นหาว่าเป็นเหตุฉุกเฉินเกิดจากภาวะจำเป็นหรือขาดระบบที่ดี

3) Rule for abbreviation : เขียนอธิบายคำจำกัดความหรือนิยามในแผนภูมิรูปต้นไม้ให้กระชับและได้ใจความ

4) The “No Miracles” Rule : ให้หาสาเหตุจากสภาวะการท่ผิดปกติของเครื่องนั้นๆ ไม่ต้องสมมติเหตุการณ์มหัศจรรย์ต่างๆ เช่น ฟ้าผ่า แผ่นดินไหว หรือ ไฟไหม้แล้วจะมีฝนตกลงมาทำให้ไฟดับ เป็นต้น

5) The “Complete the Gate” Rule : การทำทุก Gate ให้สมบูรณ์ในการทำ Fault tree ต้องหาสาเหตุหรือเหตุการณ์หรือประเด็นให้ครอบคลุมทั้งหมดในแต่ละระดับก่อน จึงเริ่มคิดในระดับถัดไปได้ “ห้ามคิดข้ามขั้น” โดยเด็ดขาด

6) The “No Gate – to – Gate” : ห้ามเขียน Gate ต่อกับ Gate โดยตรง

3. การระบุสาเหตุของปัญหา (Determining fault tree)

Hammer and Price (2001) อธิบายถึงเทคนิคการแก้ไขปัญหาของแผนภูมิต้นไม้ (Fault tree analysis) ว่ามี 4 ขั้นตอนดังนี้

3.1 ระบุสัญลักษณ์ทุกๆ Gate และ Basic event, Events

3.2 การพิจารณาทุก Gate โดยการเปลี่ยนทุก Gate ให้เป็น Basic event

3.3 ให้ตัดเหตุการณ์ (Basic event) ที่ซ้ำกันออก โดยใช้หลักทางคณิตศาสตร์ของบูลลีน (Boolean Algebra’s Laws)

3.4 ตัด Super sets ทั้งหมดออก

4. จัดลำดับความสำคัญของปัญหาหรือสาเหตุของปัญหาหรือสาเหตุพื้นฐาน (Minimum cut set ranking)

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่า สาเหตุใดที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้มากที่สุด ให้พิจารณาตามลำดับความสำคัญ โดยสาเหตุใดที่มีความสำคัญที่สุดให้นำมาแก้ไขก่อน โดยมีเกณฑ์ดังนี้

4.1 Minimum cut set : กลุ่มที่มีสาเหตุ หรือจำนวนเหตุการณ์น้อยที่สุด โดย Set ที่มีเพียงสาเหตุหรือเหตุการณ์เดียว ให้พิจารณาก่อน Set ที่มี 2 หรือ 3 สาเหตุ เนื่องจาก Basic event นี้มีความสำคัญที่ทำให้เกิด Top event ได้ง่ายที่สุด

เช่น Set 1 : มี 1 สาเหตุ
Set 2 : มี 1, 2 สาเหตุ
Set 3 : มี 1, 2, 3 สาเหตุ
Set 1 แก้ไขก่อน Set 2 และ Set 3

4.2 ถ้าจำนวนเหตุการณ์เท่ากัน คือ ถ้าจำนวน Basic event ในแต่ละ Set เท่ากัน

เช่น Set1: 1, 2
Set 2: 3, 4

ให้พิจารณาตามกฎดังต่อไปนี้

-Human error ต้องแก้ไขก่อน
-Active equipment failure ต้องแก้ไขก่อน
-Passive equipment failure ต้องแก้ไขก่อน

Louvar (1998) ไดแสดงอัตราความเสียหายต่อปีของอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงอัตราความเสียหายต่อปีของอุปกรณ์ต่างๆ

Instrument	**Failures/yr**
Controller	0.29
Control valve	0.60
Flow measurement (fluids)	1.14
Flow measurement (solids)	3.75
Flow switch	1.12
Gas-liquid chromatograph	30.6
Hand valve	0.13
Indicator lamp	0.044
Level measurement (liquids)	1.70
Level measurement (solids)	6.86
Oxygen analyzer	5.65
pH meter	5.88
Pressure measurement	1.41
Pressure relief valve	0.022
Pressure switch	0.14
Solenoid valve	0.42
Stepper motor	0.044
Strip chart recorder	0.22
Thermocouple measurement	0.52
Thermometer measurement	0.027
Valve positioned	0.44
Pump failure	0.026
Valves failure	0.026
Motor-operated	0.36
Solenoid	0.36

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Mechanical hardware	**Failures/yr**
Air-Operated	0.036
Check, failure to open	0.036
Relief, failure to open	0.0036
Electrical hardware	**Failures/yr**
Moter failure	0.0086
Transformers, open/shorts	0.0086
Relays, failure to energize	0.011
Circuit breakers, failure to transfer	0.36
Limit switch failure	0.036
Torque switches, failure to operate	0.036
Pressure switch, failure to operate	0.036
Manual switch, failure to operate	0.011
Battery power supply failure	0.0026
Solid state device failure	0.0086
Diesels, failure to start	10.8
Diesels, failure to run	8.6
Instrument, failure to operate	0.0086
Human error	**Failures/demand**
Selection of key-operate switch	10^{-4}
Selection of had switch	10^{-3}
Reading of lablels	3×10^{-3}
Correct action under stress	0.2
Corect action undet stress in 60 sec	1.0
Corect action undet stress in 5 min	0.9
Corect action undet stress in 30 min	0.1
Corect action undet stress in several hours	0.01
Check on different shift	0.12
(except when check list is not used)	

ที่มา: Louvar (1998)

Louvar (1998) ได้แสดงถึงวิธีที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของโอกาสของการเกิด อุบัติเหตุ เป็นสมการ exponential ดังนี้

$$R(t) = e^{-\mu t}$$

โดยที่ R คือ โอกาสของการไม่เกิดอุบัติเหตุ

t คือ เวลา หน่วย ปี

μ คือ อัตราของการเกิดความผิดพลาดต่อปี

และ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

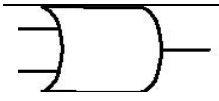
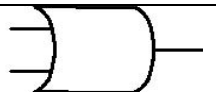
โดยที่ $F(t)$ คือ โอกาสของความผิดพลาดในช่วงเวลาหนึ่ง

และการหาค่าของช่วงเวลาก่อนเกิดการผิดพลาดของอุปกรณ์หรือความเสียหายของอุปกรณ์ (mean time between failure (MTBF))

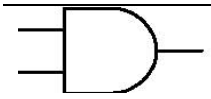
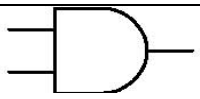
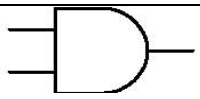
$$MTBF = \int_0^{\infty} t\left(\frac{dr}{dT}\right)dt = \frac{1}{\mu} \text{ปี}$$

Louvar (1998) ได้แสดงสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าของโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ และความน่าเชื่อถือของเครื่องกลึงโลหะที่นักศึกษาปฏิบัติหลังจากเขียนแสดงความสัมพันธ์ ของเหตุการณ์ด้วย Logic gate ด้วยวิธี Fault tree analysis ไว้ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์จากการเขียนความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย Or gate

Failure probability	**Reliability**	**Failure rate**
		
$F = 1-(1-F_1)(1-F_2)$	$R = R_1R_2$	$\mu = \mu_1 + \mu_2$
$F = 1\prod_{i=1}^{n}(1-F_1)$	$R = 1\prod_{i=1}^{n} R_i$	$\mu = \sum_{i=1}^{n}\mu_i$

ตารางที่ 4 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์จากการเขียนความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย And gate

Failure probability	Reliability	Failure rate
		
$F = F_1 F_2$	$R = 1-(1-R_1)(1-R_2)$	$\mu = \mu_1 - \mu_2$
$F = 1-\prod_{i=1}^{n} F_i$	$R = 1\prod_{i=1}^{n}(1-R_i)$	$\mu = (-InR)/t$

การวางแผนการจัดการความเสี่ยง

วิฑูรย์ และ วีรพงษ์ (2539) อธิบายไว้ว่าการเสริมสร้างความปลอดภัยอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องยึดหลักการ 3E คือ

Engineering (วิศวกรรมศาสตร์) คือการใช้ความรู้ทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์ ในการคำนวณและออกแบบเครื่องจักรเครื่องมือที่มีสภาพการใช้งานที่ปลอดภัยที่สุด การติดตั้งเครื่องป้องกันอันตรายให้แก่ส่วนที่เคลื่อนไหวหรืออันตรายของเครื่องจักร การวางผังโรงงาน ระบบไฟฟ้า แสงสว่าง เสียง การระบายอากาศ เป็นต้น

Education (การศึกษา) คือการให้การศึกษาหรือการฝึกอบรมและแนะนำคนงาน หัวหน้างานตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องในการทำงาน ให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการป้องกันอุบัติเหตุ และการเสริมสร้างความปลอดภัยในโรงงาน ให้รู้ว่าอุบัติเหตุจะเกิดขึ้นและป้องกันได้อย่างไรและจะทำงานวิธีใดจึงจะปลอดภัยมากที่สุด

Enforcement (การออกกฎข้อบังคับ) คือการกำหนดวิธีการทำงานอย่างปลอดภัย และมาตรการควบคุมบังคับให้คนงานปฏิบัติตาม เป็นระเบียบปฏิบัติที่ต้องประกาศให้ทราบทั่วกัน หากผู้ใดฝ่าฝืนหรือปฏิบัติตามต้องถูกลงโทษ เพื่อให้เกิดความสำนึกและหลีกเลี่ยงการทำงานที่ไม่ถูกต้องหรือเป็นอันตราย

วิฑูรย์ และ วีรพงษ์ (2539) อธิบายถึงการแก้ไขป้องกันอุบัติเหตุและมาตรการที่มีประสิทธิภาพสามารถทำได้ 4 วิธี ดังนี้

1. การแก้ไขปรับปรุงสภาพการที่ไม่ปลอดภัย โดยกำจัดสภาพการณ์ที่เป็นอันตรายให้หมดไป หรือเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการทำงานที่เสี่ยงภัยต่างๆ เช่น ติดตั้งการ์ดป้องกันอันตรายจากส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักร ปิดคลุม จุดกระแทก หรือล่อแหลม เป็นต้น

2. สับเปลี่ยนโยกย้ายคนงาน ให้คนงานได้ทำในหน้าที่อื่นบ้าง โดยเฉพาะคนงานที่ทำงานส่อให้เห็นว่าจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย เพราะการเปลี่ยนที่หรือบรรยากาศในการทำงาน จะทำให้เกิดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุอันตรายลดลง

3. กำหนดระเบียบหรือข้อบังคับที่เหมาะสมให้ถือปฏิบัติ วิธีการนี้ควรเป็นมาตรการสุดท้ายในการนำมาใช้

4. จัดการฝึกอบรม สอนงานให้แก่คนงานเป็นประจำและตามความจำเป็นตลอดจนการจูงใจ และเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงานด้วยวิธีต่างๆ เช่น การติดโปสเตอร์ภาพ หรือคำขวัญ

วิฑูรย์ และ วีรพงษ์ (2539) ได้อธิบายถึงเป้าหมายการฝึกอบรมคนงานไว้ดังนี้

การอบรมคนงานในสมัยปัจจุบันเปลี่ยนโฉมใหม่อีกประการคือ นอกเหนือจากการสอนให้คนงานรู้จักวิทำงานแล้ว ยังต้องสอนให้คนงานรู้จักทำงานอย่างปลอดภัยอีกด้วยต้องให้คนงานเรียนรู้ที่จะสังเกตเห็นอันตรายและรู้จักหลีกเลี่ยงอันตรายและหากจะให้การอบรมคนงาน เพื่อความปลอดภัยมีประสิทธิผลจะต้องทำให้คนงานรู้ว่าอะไรควรทำและอะไรไม่ควรทำด้วยตัวของเขาเอง

อาจแบ่งการฝึกอบรมเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการสอน คือ

1. ประเภทให้การศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัย (General safety training) ใช้สำหรับ

1.1 คนงานที่เข้าทำงานใหม่

1.2 คนงานหรือพนักงาน ในแผนกต่างๆ ของโรงงาน

1.3 คนที่ต้องรับหน้าที่ดูแลทำความสะอาดเครื่องจักรในโรงงาน

2. ประเภทให้การฝึกอบรมด้านความปลอดภัย (Specific safety training)

2.1 คนงานเก่าที่ย้ายแผนกใหม่

2.2 มีการเปลี่ยนแปลงระบบหรือกรรมวิธีการผลิตใหม่

2.3 มีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรใหม่

3. โอกาสที่ต้องมีการอบรม

3.1 เมื่อรับคนงานเข้ามารับ

3.2 เมื่อคนงานเก่าย้ายงานใหม่

3.3 เมื่อซื้อเครื่องจักรใหม่

3.4 อบรมรายปีเพื่อทบทวน

3.5 อบรมเพื่อเพิ่มสถานะภาพสู่ระดับหัวหน้างาน

คณะกรรมการปองกันอุบัติภัยแห่งชาติ (2527) อธิบายถึงการซ่อมบำรุงกับความปลอดดภัย (Maintenance and safety) ไว้ว่า

การซ่อมบำรุงโรงงาน (Plant maintenance) หมายถึง “การดำเนินการใดๆ เพื่อเกิดผลในการธำรงรักษาสภาพความพร้อมในการทำงานของอาคาร เครื่องจักรกลและอุปกรณ์การผลิตต่างๆ ให้คงอยู่เช่นเดียวกับเมื่อตอนเริ่มต้นตั้งโรงงาน โดยให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

การบริหารเพื่อความปลอดภัย งานซ่อมบำรุงมีบทบาทมากในการทำให้ “แผนงานความปลอดภัย” (Safety programme) ที่จัดทำไว้บรรลุความสำเร็จ

เป้าหมายของงานซ่อมบำรุงเพื่อความปลอดภัย คือ

1. ชะลอความเสื่อมสภาพของอาคาร เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตต่างๆ

2. รักษาสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย (Safe working environment) ให้คงอยู่ตลอดไป

3. ลดค่าใช้จ่ายในปัจจัยการผลิต 3M ที่สำคัญคือ

3.1 Material cost ลดความเสื่อมสภาพจากการจัดเก็บและของเสียจากการผลิตด้วยเครื่องจักรที่ชำรุด

3.2 Machine cost ลดค่าอะไหล่ และค่าเสียเวลาเนื่องจากเครื่องจักรหยุดผลิต

3.3 Man Power cost ลดค่ารักษาพยาบาลเนื่องจากคนงานเกิดอุบัติเหตุและลดค่าเสียเวลาเนื่องจากคนงานป่วยไม่มาทำงาน

4. บำรุงขวัญและกำลังใจแก่คนงาน (Morale)

ธงชัย (2540) อธิบายถึงการจำแนกประเภทของงานซ่อมบำรุงแบ่งออกได้ตามกฎเกณฑ์การจำแนกดังนี้

1. จำแนกตามสภาพเครื่องจักร แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

1.1 ซ่อมบำรุงขณะเครื่องจักรทำงานอยู่

1.2 ซ่อมบำรุงขณะเครื่องจักรหยุดทำงาน(อาจจะเมื่อเครื่องจักรชำรุดหรือหลักเวลางานปกติ)

2. จำแนกตามคนช่วย แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

2.1 คนคุมเครื่องจักรซ่อมบำรุงเอง

2.2 ช่างซ่อมบำรุงมาซ่อมให้

3. จำแนกตามช่วงเวลา แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

3.1 มีกำหนดซ่อมแน่นอน เช่น รายวัน รายสัปดาห์ ฯลฯ

3.2 ซ่อมบำรุงตามโอกาส เช่น เมื่อเครื่องจักรชำรุด

4. จำแนกตามลักษณะของงานที่ทำ แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

4.1 งานซ่อมแซม (Reparing) เมื่อเครื่องจักรชำรุด

4.2 งานบำรุงรักษา (Maintaining) เมื่อเครื่องจักรถึงกำหนดอายุงานต้องบำรุงรักษา

เทคนิคการวิเคราะห์เพื่อความปลอดภัย

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงเป็นการค้นหาอันตรายจากสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น การทำงานบนที่สูง มีเสียงดังมาก ทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตรายฟุ้งกระจาย อุปกรณ์หรือเครื่องมือชำรุด เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะสามารถทำการประเมินความเสี่ยง ความรุนแรง โอกาสที่จะเกิดอันตราย เพื่อที่จะนำมาพิจารณาว่าเป็นความเสี่ยงระดับใด เช่น เป็นความเสี่ยงชนิดที่ยอมรับไม่ได้ เราต้องทำการควบคุมทันที ก่อนที่เราจะเริ่มทำงานนั้น

วัตถุประสงค์

1. ควบคุม กำกับ ดูแล การประกอบกิจการ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม

2. ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง

3. สร้างความตระหนักในด้านความปลอดภัยแก่ผู้ประกอบการ

4. ให้เกิดการทบทวนการดำเนินงานด้านความปลอดภัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อการป้องกันและควบคุมอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเป็นการสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริหารในการดำเนินงานของโรงงานที่จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางธุรกิจ และไม่ทำผิดกฎหมาย นอกเหนือจากนั้นโรงงานยังได้รับประโยชน์ต่อการบริหารงานด้านความปลอดภัย

การประเมินความเสี่ยง แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) อันประกอบด้วยกระบวนการบ่งชี้ความเป็นอันตราย (Hazard Identification)

2. การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) ประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

2.1 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณ (Dose-Response Assessment)

2.2 การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment)

2.3 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

มาตรการป้องกันและควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย (Control Measure)

1. การออกแบบ การสร้าง และการติดตั้ง เครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนการใช้วัสดุที่ได้มาตรฐาน

2. การทำงานหรือการปฏิบัติงานตามขั้นตอนที่ถูกต้อง

3. การซ่อมบำรุงเครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือ

4. การทดสอบ ตรวจสอบ เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือ

5. การเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น กระบวนการผลิต วัตถุดิบ เครื่องจักร

6. การฝึกอบรม (Training)

7. การตรวจประเมินความปลอดภัย (Safety Audit)

8. การปฏิบัติตามข้อกำหนด (Code of Practice)

9. และ/ หรืออื่นๆ

การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน

1. ศึกษา ทบทวน รวบรวม การดำเนินงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโรงงานให้ครอบคลุม

   1.1 พื้นที่
   1.2 กิจกรรม
   1.3 เครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ฯลฯ

2. ชี้บ่งอันตราย (Hazard Identification) เพื่อวิเคราะห์หาอันตรายอะไรบ้างที่แอบแฝงอยู่ อันตราย หมายถึง อุบัติเหตุ อุบัติภัยร้ายแรง ความเสียหาย การบาดเจ็บ ฯลฯ

3. ประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) พิจารณาถึงโอกาสของการเกิดและความรุนแรงของอันตราย

4. จัดระดับความเสี่ยงจากอันตรายเพื่อป้องกัน (กำจัด) หรือควบคุม (ลด) ความเสี่ยงจากอันตรายให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Acceptable Level)

5. กำหนดแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง (Risk Management Program) เพื่อจัดหามาตรการความปลอดภัยในการป้องกัน (กำจัด) หรือควบคุม (ลด) ความเสี่ยง

การเริ่มขั้นตอนการทำงาน

1. จำแนกประเภทกิจกรรมของงาน

1.1 จัดทำรายการงานอาชีพหรือหน้าที่ของตนเองและงานที่รับผิดชอบทั้งหมด (Job description) โดยแบ่งตามงานที่สำคัญ เช่น อาชีพช่างซ่อมบำรุง งานที่รับผิดชอบ คือ ซ่อมอุปกรณ์ไฟฟ้า, ตรวจสอบ

1.2 จัดทำแบบรายการสำรวจประเมินสภาพแวดล้อมด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน โดยกำหนดรายการที่ต้องสำรวจให้ครอบคลุมสิ่งต่างๆ ดังนี้

1.2.1 พื้นที่ เช่น ห้อง Lab, ทางหนีไฟ, warehouse

1.2.2 กระบวนการผลิต เช่น ประกอบชิ้นส่วน

1.2.3 อุปกรณ์ / เครื่องจักร เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ (ตู้อบ, เครื่องล้าง), เครื่องมือกล (สว่าน, เลื่อย), รถยก (Fork Lift)

1.2.4 วัสดุ (Material) เช่น สารเคมี การจัดเก็บ การใช้

2. ชี้บ่งอันตราย

เราจะต้องบอกได้ว่างานที่ทำอยู่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายอย่างไรได้บ้าง แล้วถ้าเกิดแล้วใครหรืออะไรจะได้รับอันตรายหรือเสียหายได้บ้าง แล้วแหล่งที่จะก่อให้เกิดอันตรายนั้นคืออะไร โดยพิจารณาจากคำถามเหล่านี้

2.1 มีแหล่งกำเนิดของอันตรายหรือไม่

2.1.1 แหล่งที่เป็นเครื่องจักร เช่น สว่าน ปั้นจั่น เครื่องล้าง สายพาน มอเตอร์

2.1.2 แห่งที่เป็นวัสดุหรือสารเคมี เช่น IPA, Hexane, โลหะบัดกรี (Solder)

2.2 ใครหรืออะไร เป็นผู้ได้รับอันตราย

2.2.1 ต่อคน เช่น บาดเจ็บ, เจ็บป่วย

2.2.2 ต่อเครื่องจักร เช่น เสียหาย ชำรุด ลดประสิทธิภาพการทำงาน

2.2.3 ต่อวัตถุดิบ/ผลิตภัณฑ์ เช่น ของเสีย

2.2.4 ต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เสียงดัง ความร้อน อากาศเสีย ฝุ่น

2.3 อันตรายจะเกิดขึ้นอย่างไร

2.3.1 ลื่น/ล้ม เช่น น้ำเปียกพื้น

2.3.2 ตกจากที่สูง เช่น ตกนั่งร้าน

2.3.3 ถูกกระแทก/ตี เช่น ค้อนกระแทกนิ้วมือ

2.3.4 ถูกหนีบ/ถูกบีบ เช่น สายพานส่งชิ้นงานหนีบ ฯลฯ

3. การประมาณระดับของเสี่ยง

3.1 ความรุนแรงของอันตราย ลักษณะความรุนแรงมี 3 ระดับ

3.1.1 ระดับความรุนแรงมาก เช่น ตาย, สูญเสียอวัยวะ, กระดูกหัก, ได้รับพิษ, บาดเจ็บหลายแห่ง, โรคมะเร็ง

3.1.2 ระดับความรุนแรงปานกลาง เช่น บาดแผลฉีกขาด, แผลไฟไหม้, ข้อเคล็ดอย่างรุนแรง, กระดูกร้าวเล็กน้อย, ผิวหนังอักเสบ, หูหนวก, ความผิดปกติของมือและแขน และมีทรัพย์สินเสียหายมากกว่า 5,000 บาท แต่ไม่เกิน 100,000 บาท

3.1.3 ระดับความรุนแรงน้อย เช่น การบาดเจ็บเล็กๆ น้อยๆ การระคายเคืองตาจากฝุ่น, ผิวหนังคันหรือระคายเคือง, สิ่งรบกวนที่ทำให้เกิดความรำคาญ, ทำให้ไม่สบายเป็นครั้งคราว

3.2 โอกาสที่จะเกิดอันตรายมี 3 ระดับ

3.2.1 โอกาสมาก คือ เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อย

3.2.2 โอกาสปานกลาง คือ เป็นเหตุการณ์ที่นานๆ จะเกิดขึ้น

3.2.3 โอกาสน้อย คือ ยากที่จะเกิดขึ้น

ซึ่งสามารถใช้เกณฑ์ในการกำหนดระดับของโอกาสที่จะเกิดขึ้นของอันตราย

$$\%\ \text{โอกาสที่จะเกิดอันตราย} = \frac{\text{ผลรวมของ (คะแนนที่ได้ x น้ำหนักในแต่ละข้อ) x 100}}{\text{ผลรวมของ (คะแนนเต็ม x น้ำหนักในแต่ละข้อ)}}$$

หลังจากนั้นให้พิจารณาระดับของโอกาสที่จะเกิดตามความเหมาะสมขององค์กร โดยเปอร์เซ็นต์คือ

1.0 – 33% ไม่น่าจะเกิด

2.33 – 66% เกิดขึ้นได้ยาก

3.66 – 100% มีโอกาสที่จะคิด

4. การตัดสินความเสี่ยง

การตัดสินความเสี่ยงจะพิจารณาโดยใช้ “ระดับความเสี่ยง” ของความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดของอันตรายดังนี้

ตารางที่ 5 การตัดสินความเสี่ยงของความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดของอันตราย

โอกาสที่จะเกิดอันตราย	**ความรุนแรงของอันตราย**		
	มาก	**ปานกลาง**	**เล็กน้อย**
มีโอกาสมาก	ความเสี่ยงที่ไม่อาจยอมรับได้	ความเสี่ยงสูง	ความเสี่ยงปานกลาง
มีโอกาสปานกลาง	ความเสี่ยงสูง	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงยอมรับได้
มีโอกาสน้อย	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงยอมรับได้	ความเสี่ยงเล็กน้อย

5. เตรียมปฏิบัติงานควบคุมความเสี่ยง

ในการเริ่มต้นของการเตรียมแผนปฏิบัติงานควบคุม รวมทั้งความเร่งด่วน ซึ่งจะสัมพันธ์โดยตรงกับความเสี่ยงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ความเสี่ยงในการปฏิบัติและเวลาที่ใช้

ระดับความเสี่ยง	การปฏิบัติและเวลาที่ใช้
ที่ไม่อาจยอมรับได้ (1)	งานจะเริ่มหรือดำเนินต่อไปไม่ได้จนกว่าจะลดความเสี่ยงลง ถ้าไม่สามารถลดความเสี่ยงลงได้ ถึงแม้จะใช้ความพยายามอย่างเต็มที่แล้วก็ตาม จะต้องหยุดการทำงานนั้น
สูง (2)	ต้องลดความเสี่ยงลงก่อนจึงจะเริ่มทำงานได้ ต้องจัดสรรทรัพยากรและมาตรการเพียงพอเพื่อลดความเสี่ยงนั้น เมื่อมีความเสี่ยงเกี่ยวข้องกับงานที่กำลังทำอยู่ จะต้องทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน
ปานกลาง (3)	จะต้องใช้ความพยายามที่จะลดความเสี่ยง แต่ค่าใช้จ่ายในการป้องกันควรจะมีการพิจารณาอย่างรอบคอบและมีการจำกัดงบประมาณ จะต้องมีการลดความเสี่ยงภายในเวลาที่กำหนดด้วย เมื่อความเสี่ยงระดับปานกลางมีความสัมพันธ์กับการเกิดความเสียหายร้ายแรง ควรทำการประเมินเพิ่มเติม เพื่อหาค่าของความน่าจะเป็นของความเสียหายที่แม่นยำขึ้น เพื่อเป็นหลักการในการตัดสินความจำเป็น สำหรับมาตรการควบคุมว่าต้องมีการปรับปรุงหรือไม่
ยอมรับได้ (4)	ไม่ต้องมีการควบคุมเพิ่มเติม การพิจารณาความเสี่ยงอาจจะทำเมื่อเห็นว่าคุ้มค่า หรือการปรับปรุงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น การติดตามตรวจสอบยังคงต้องทำเพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมยังคงมีอยู่
เล็กน้อย (5)	ไม่ต้องทำอะไร และไม่จำเป็นต้องมีการบันทึกเป็นเอกสาร

6. ทบทวนความเพียงพอของแผนปฏิบัติการ

ควรทบทวนแผนปฏิบัติการก่อนดำเนินการ โดยใช้คำถามต่อไปนี้

6.1 การควบคุมที่ปรับปรุงใหม่นี้ทำให้ระดับความเสี่ยงลดลงจนยอมรับได้หรือไม่

6.2 ผลที่ได้จากการปรับปรุงตามข้อ 1 นั้นก่อให้เกิดอันตรายหรือไม่

6.3 ได้เลือกวิธีการแก้ไขปัญหาที่คุ้มค่าหรือไม่

6.4 มาตรการที่ใช้ควบคุมนั้นเป็นที่ยอมรับของผู้ปฏิบัติงานและสามารถนำไปปฏิบัติได้หรือไม่

6.5 จะมีการนำมาตรการนี้ไปใช้และจะไม่ถูกละเลยเมื่อเผชิญกับภาวะต่างๆ หรือไม่ เช่น ถ้ามีงานเร่งด่วนก็อาจละเลยมาตรการที่ต้องปฏิบัตินั้น

การบ่งชี้อันตรายและการประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง

1. การประเมินโอกาสของการเกิดเหตุการณ์

ขั้นตอนนี้คือการนำเอาข้อมูลจากการชี้บ่งอันตรายที่ระบุถึงความล้มเหลวของอุปกรณ์และความผิดพลาดจากการปฏิบัติงานมาพิจารณาว่า มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 ได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาถึงโอกาสเหตุการณ์ต่างๆ ไว้ 4 ระดับ ดังตัวอย่างในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การจัดระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ

ระดับ	รายละเอียด
1	มีโอกาสในการเกิดยาก เช่น ไม่เคยเกิดเลยในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป
2	มีโอกาสในการเกิดน้อย เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 5 – 10 ปี
3	มีโอกาสในการเกิดปานกลาง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้งในช่วง 1 – 5 ปี
4	มีโอกาสในการเกิดสูง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดมากกว่า 1 ครั้งใน 1 ปี

ข้อแนะนำ

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดแนวทางในการพิจารณากำหนดโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ซึ่งพิจารณาได้ในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพดังตัวอย่างในตารางที่ 7 เช่น

เชิงปริมาณ ได้แก่

ระดับ 1 ไม่เคยเกิดเลยในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป
ระดับ 2 เกิดขึ้น 1 – ครั้ง – ในช่วง 5-10 ปี
ระดับ 3 เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1-5 ปี
ระดับ 4 เกิดมากกว่า 1 ครั้ง ใน 1 ปี

เชิงคุณภาพ ได้แก่

ระดับ 1 มีโอกาสในการเกิดยาก
ระดับ 2 มีโอกาสในการเกิดน้อย
ระดับ 3 มีโอกาสในการเกิดปานกลาง
ระดับ 4 มีโอกาสในการเกิดสูง

การพิจารณาเชิงปริมาณ เป็นการพิจารณาโดยกำหนดโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งโรงงานสามารถนำข้อมูลจากสถิติอุบัติเหตุ ประวัติเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือจากแหล่งข้อมูลที่มี Failure rate ของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น U.K. Atomic Energy Authority [UKAEA] เป็นต้น มาใช้ในการดำเนินการ การพิจารณาเชิงปริมาณมีข้อดีคือสามารถวัดออกมาแล้วเห็นความแตกต่างชัดเจน แต่มีข้อเสียคือการขาดแคลนข้อมูลที่นะนำมาใช้ในการพิจารณา หากต้องการนำ Failure rate ของอุปกรณ์ต่างๆ มาใช้ในการพิจารณาขอให้ระวังเรื่องข้อมูล เนื่องจาก Failure rate ของอุปกรณ์ต่างๆ มีหลายแบบเช่น Failure rate โดยรวมของอุปกรณ์ หรือ Failure rate ในแต่ละ Mode หากนำมาใช้โดยไม่ตรวจสอบประเภทของข้อมูลให้ถูกต้องก่อนก็จะทำให้เกิดการเข้าใจผิดได้

การพิจารณาเชิงคุณภาพ เป็นการพิจารณาโดยนำเอาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ มาพิจารณา เช่น

1. มีการออกแบบ การสร้าง และการติดตั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนการใช้วัสดุที่ได้มาตรฐาน

2. การทดสอบ ตรวจสอบ ซ่อมบำรุง เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือ

3. ระบบควบคุมการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น กระบวนการผลิต วัตถุดิบ เครื่องจักร ฯลฯ

4. การทำงานหรือการปฏิบัติงานตามขั้นตอนที่ถูกต้อง

5. การฝึกอบรม

6. การตรวจประเมินความปลอดภัย (Safety Audit)

7. การปฏิบัติตามข้อกำหนด (Code of Practice)

8. และหรืออื่นๆ เช่น การเตือนอันตราย/การสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล/แผนระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์

อาจจะกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมกับโรงงานของตนขึ้นมาใช้เองได้ ตัวอย่างเช่น

ระดับ 1 มีโอกาสในการเกิดยาก หมายถึง มีมาตรการอย่างน้อยตามข้อ 1-6 ครบถ้วน

ระดับ 2 มีโอกาสในการเกิดน้อย หมายถึง มีมาตรการอย่างน้อยตามข้อ 1-3 ครบถ้วน

ระดับ 3 มีโอกาสในการเกิดปานกลาง หมายถึง มีมาตรการในข้อ 1-3 บางข้อ และข้อ 4-8 บางข้อ

ระดับ 4 มีโอกาสในการเกิดสูง หมายถึง ไม่มีมาตรการในข้อ 1-3 แต่มีในข้อ 4-8

2. การพิจารณาความรุนแรงของอันตราย

เป็นการนำเอาข้อมูลที่ระบุไว้ในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 1-6 มาประมาณระดับความรุนแรงว่าจะให้อยู่ในระดับใด จากที่กำหนดเอาไว้ 4 ระดับ โดยข้อมูลต่างๆ จะอยู่ในช่องต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	ข้อมูลที่นำมาใช้ในการพิจารณา
Checklist	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา
What If Analysis	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา
HAZOP	เหตุการณ์ที่เกิดตามมา
Fault Tree Analysis	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา
Failure Mode Effect Analysis	ผลที่จะเกิดขึ้น
Event Tree Analysis	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา

ระดับของความรุนแรงพิจารณาจากการบาดเจ็บ เจ็บป่วย หรือ ความเสียหายของทรัพย์สิน ชุมชน หรือ สิ่งแวดล้อม โดยผู้พิจารณาจะต้องนำข้อมูลจากตารางข้างบนมาพิจารณาว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทำความเสียหายให้เกิดขึ้นกับใครบ้าง ตัวอย่างเช่น

เหตุการณ์ที่เกิดตามมา

1. เกิดการระเบิด ไฟไหม้

2. พนักงานได้รับบาดเจ็บ เสียชีวิต เนื่องจากถูกไฟลวก และแรงระเบิด

3. ถังเก็บน้ำมันจำนวน 4 ถัง เสียหายใช้งานไม่ได้มูลค่าประมาณ 40 ล้านบาท

4. บ้านเรือนที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงเสียหายเนื่องจากแรงระเบิด

5. เขม่าและควันจากการเผาไหม้ทำให้อากาศและพื้นที่บริเวณใกล้เคียงสกปรก จากข้อมูลที่ระบุไว้ จะต้องข้อมูลออกมราพิจารณาทีละด้านคือ

5.1 ผลกระทบต่อบุคคล: พนักงานได้รับบาดเจ็บ เสียชีวิต

5.2 ผลกระทบต่อชุมชน: บ้านเรือนที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงเสียหายเนื่องจากแรงระเบิด

5.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม: เขม่าและควันจากการเผาไหม้ทำให้อากาศและพื้นที่บริเวณใกล้เคียงสกปรก

5.4 ผลกระทบต่อทรัพย์สิน: ถังเก็บน้ำมันจำนวน 4 ถัง เสียหายใช้งานไม่ได้ มูลค่าประมาณ 40 ล้านบาท

เมื่อได้ข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว ก็นำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 เพื่อจัดระดับความรุนแรงของผลกระทบแต่ละด้านมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับความรุนแรงเป็น 4 ระดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 9, 10, 11 และ 12

ตารางที่ 9 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	มีการบาดเจ็บเล็กน้อยในระดับปฐมพยาบาล
2	ปานกลาง	มีการบาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์
3	สูง	มีการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง
4	สูงมาก	ทุพลภาพหรือเสียชีวิต

ตารางที่ 10 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อชุมชน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ไม่มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน หรือมีผลกระทบเล็กน้อย
2	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น
3	สูง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และต้องใช้เวลาในการแก้ไข
4	สูงมาก	มีผลกระทบรุนแรงต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไข

หมายเหตุ ผลกระทบต่อชุมชน หมายถึง เหตุรำคาญต่อชุมชน การบาดเจ็บ เจ็บป่วยของประชาชน ความเสียหายต่อทรัพย์สินของชุมชนและประชาชน

ตารางที่ 11 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้
2	ปานกลาง	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลาง สามารถแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น
3	สูง	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไข
4	สูงมาก	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลานานในการแก้ไข

หมายเหตุ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หมายถึง การเสื่อมโทรมและเสียหายของสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ ดิน แหล่งน้ำ เป็นต้น

ตารางที่ 12 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อทรัพย์สิน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ทรัพย์สินเสียหายน้อยมากหรือไม่เสียหายเลย
2	ปานกลาง	ทรัพย์สินเสียหายปานกลาง และสามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้
3	สูง	ทรัพย์สินเสียหายมาก และต้องหยุดการผลิตในบางส่วน
4	สูงมาก	ทรัพย์สินเสียหายมาก และต้องหยุดการผลิตทั้งหมด

หมายเหตุ ความเสียหายของทรัพย์สินในแต่ละระดับ โรงงานสามารถกำหนดขึ้นเองตามความเหมาะสม โดยพิจารณาถึงขีดความสามารถของโรงงาน

หากพิจารณาผลกระทบต่อทรัพย์สินตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 ไม่ได้กำหนดรายละเอียดไว้เป็นตัวเลขที่ชัดเจน แต่ระบุให้โรงงานสามารถกำหนดขึ้นเองตามความเหมาะสม โดยพิจารณาถึงขีดความสามารถของโรงงาน ดังนั้นโรงงานอาจจะกำหนดเองได้ ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลกระทบต่อทรัพย์สินพิจารณาตามขีดความสามารถของโรงงาน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	ทรัพย์สินเสียหายน้อยมากหรือไม่เสียหายเลย
2	ปานกลาง	ทรัพย์สินเสียหายไม่เกิน 1 แสนบาท และสามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้
3	สูง	ทรัพย์สินเสียหายมากกว่า 1 แสน แต่ไม่เกิน 1 ล้านบาท และต้องหยุดการผลิตในบางส่วน
4	สูงมาก	ทรัพย์สินเสียหายมากกว่า 1 ล้านบาท และต้องหยุดการผลิตทั้งหมด

หากโรงงานกำหนดระดับความเสียหายไว้ตามตารางที่ 13 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน ตามเหตุการณ์ตามตารางที่ 13 จะสรุประดับความรุนแรงได้ดังนี้

ผลกระทบต่อบุคคล: พนักงานได้รับบาดเจ็บ และเสียชีวิต ระดับความรุนแรงเท่ากับ 4

ผลกระทบต่อชุมชน: บ้านเรือนที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงเสียหายเนื่องจากแรงระเบิด ระดับความรุนแรงเท่ากับ 3

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม: เขม่าและควันจากการเผาไหม้ทำให้อากาศและพื้นที่บริเวณใกล้เคียงสกปรกต้องใช้เวลาในการแก้ไข ระดับความรุนแรงเท่ากับ 3

ผลกระทบต่อทรัพย์สิน: ถังเก็บน้ำมันจำนวน 4 ถัง เสียหายใช้งานไม่ได้ มูลค่าประมาณ 40 ล้าน ระดับความรุนแรงเท่ากับ 4

ขั้นตอนต่อไปสำหรับการประมาณระดับความรุนแรง คือ การเลือกค่าความรุนแรงที่สูงที่สุดไปใส่ในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงสำหรับกรณีนี้ค่าสูงสุดคือ 4 ซึ่งเกิดจากผลกระทบต่อบุคคล และผลกระทบต่อทรัพย์สิน

การประมาณระดับความเสี่ยง

ขั้นตอนนี้เป็นการนำเอาผลคูณระหว่างค่าของโอกาสกับค่าของความรุนแรงไปกำหนดเป็นค่าความเสี่ยง ยกตัวอย่างเช่น

โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ มีค่าเท่ากับ 3

ความรุนแรงของอันตราย มีค่าเท่ากับ 4

นำค่าที่ได้มาคูณกัน คือ 3 x 4 = 12

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณไปเปรียบเทียบหาค่าความเสี่ยงของเรื่องนั้น จากตารางที่ 14 จัดระดับความเสี่ยง โดยพิจารณาถึงผลลัพธ์ของระดับโอกาสคูณกับระดับความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม หากระดับความเสี่ยงมีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม มีค่าแตกต่างกันให้เลือกระดับความเสี่ยงที่มีค่าสูงกว่าเป็นผลของการประเมินความเสี่ยงในเรื่องนั้นๆ ระดับความเสี่ยงจัดเป็น 4 ระดับดังรายละเอียด

ตารางที่ 14 การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย

ระดับความเสี่ยง	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	1 – 2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
2	3 – 6	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม
3	8 – 9	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง
4	12 – 16	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์เท่ากับ 12 จะได้ค่าความเสี่ยงที่ 4 ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที

การจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

ในหมวด 4 ข้อ 6 ของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 กำหนดให้มีการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง ดังนี้

ข้อ 6 แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง หมายถึง แผนงานลดความเสี่ยง และแผนงานควบคุมความเสี่ยง ซึ่งผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องดำเนินการจัดทำแผนงานเพื่อกำหนดมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการลดและควบคุมความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการดังต่อไปนี้

ข้อ 6.1 หากผลการประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องหยุดการดำเนินงานนั้นทันที และปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงก่อนดำเนินงานต่อไปโดยจัดทำแผนงานลดความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 1 และแผนงานควบคุมความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 2

ข้อ 6.2 หากผลการประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายเป็นระดับความเสี่ยงสูง ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดทำแผนงานลดความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 1 และแผนงานควบคุมความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 2

ข้อ 6.3 หากผลการประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดทำทำแผนงานควบคุมความเสี่ยงลงในแบบแผนงาน 2

ข้อแนะนำ

การจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง คือ การจัดทำแผนลดความเสี่ยง แผนควบคุมความเสี่ยง

จากระดับความเสี่ยงที่กำหนดไว้ 4 ระดับ มีเพียง 3 ระดับ ที่กฎหมายกำหนดไว้ที่ต้องการให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานเข้าไปดำเนินการควบคุมความเสี่ยงหรือลดความเสี่ยงลง ระดับความเสี่ยงเหล่านี้ได้แก่

1. ความเสี่ยงที่ยอมรับได้
2. ความเสี่ยงสูง
3. ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้

สำหรับความเสี่ยงเล็กน้อยถึงแม้ว่ากฎหมายจะไม่ได้กำหนดให้มีการดำเนินการอย่างไร แต่ก็แนะนำว่าความเสี่ยงเล็กน้อย ที่เกิดจากการที่มีมาตรการความปลอดภัยต่างๆ เจ้าไปควบคุมแล้วทำให้ค่าความเสี่ยงเหล่านั้นลดลง สิ่งสำคัญที่ควรทำก็คือ แผนควบคุมความเสี่ยงเพื่อให้มั่นใจว่ามาตรการทั้งหลายจะได้รับการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ

สำหรับแผนที่ต้องดำเนินการสำหรับความเสี่ยงในแต่ละระดับ สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 15 แผนที่ต้องดำเนินการสำหรับความเสี่ยงในแต่ละระดับ

ระดับความเสี่ยง	ความหมาย	การจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง
1	ความเสี่ยงเล็กน้อย	● ไม่ต้องทำแผน
2	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม	● แผนงานควบคุมความเสี่ยง
3	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง	● แผนงานลดความเสี่ยง ● แผนงานควบคุมความเสี่ยง
4	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที	● แผนงานลดความเสี่ยง ● แผนงานควบคุมความเสี่ยง

การจัดทำแผนงานลดความเสี่ยง

การจัดแผนงานลดความเสี่ยงในที่นี้หมายถึง แผนงานที่จะทำการลดโอกาสของการเกิดอันตราย หรือลดความรุนแรงของการเกิดอันตราย จนทำให้ระดับของความเสี่ยงลดลง

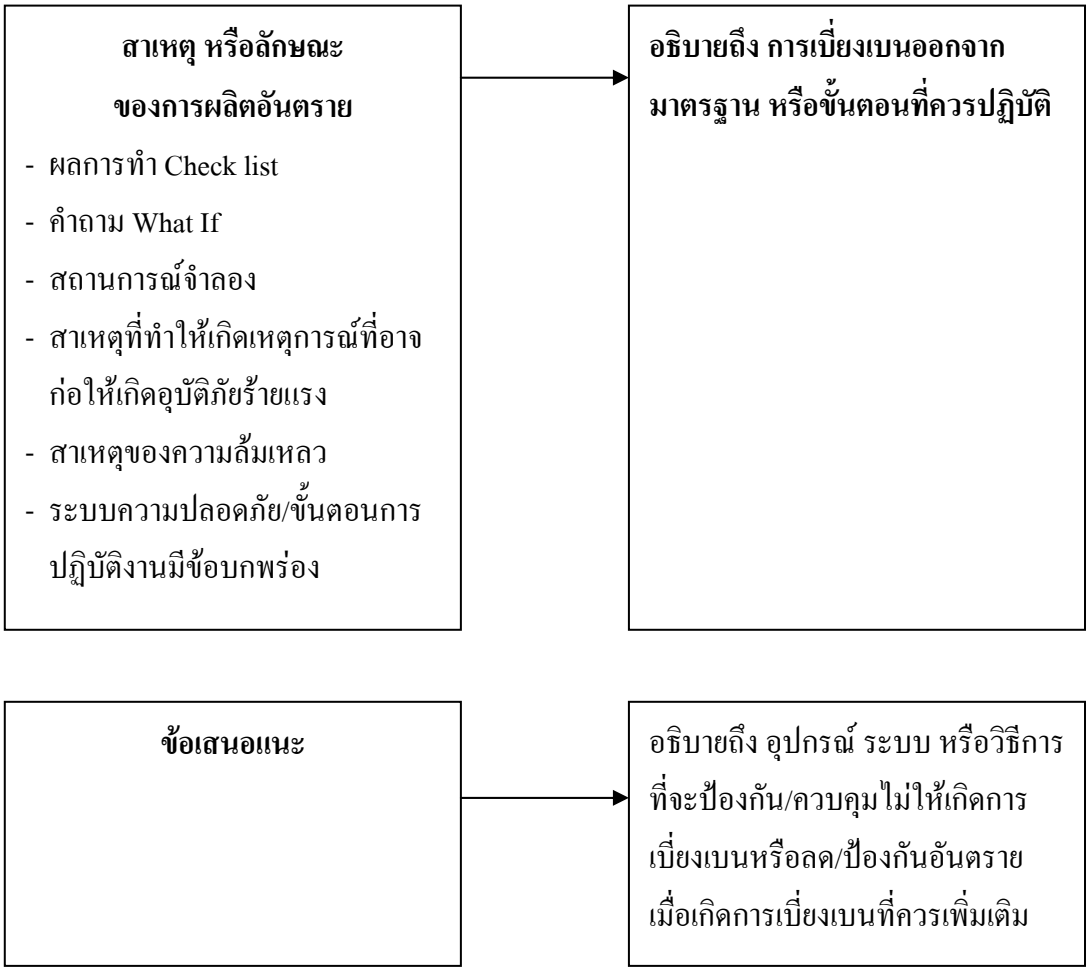
ข้อมูลสำคัญที่จะนำมาใช้ในการจัดทำแผนลดความเสี่ยง จะอยู่ในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 1-6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 16 การจัดทำแผนลดความเสี่ยงจะอยู่ในแบบการชี้บ่งอันตราย และการประเมินความเสี่ยง

แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	**สาเหตุ หรือลักษณะของการเกิดอันตราย**	**ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการทำแผนลดความเสี่ยง**
Checklist	ผลการทำ Checklist	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่ต้องเพิ่มในช้อง “ข้อเสนอแนะ” ของแบบการชี้บ่งฯ
What If Analysis	คำถาม What-if	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่ต้องเพิ่มในช้อง “ข้อเสนอแนะ” ของแบบการชี้บ่งฯ
HAZOP	สถานการณ์จำลอง	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่ต้องเพิ่มในช้อง “ข้อเสนอแนะ” ของแบบการชี้บ่งฯ
Fault Tree Analysis	สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่ต้องเพิ่มในช้อง “ข้อเสนอแนะ” ของแบบการชี้บ่งฯ
Failure Mode Effect Analysis	สาเหตุของความล้มเหลว	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข
Event Tree Analysis	ระบบความปลอดภัย/ขั้นตอนการปฏิบัติงานมีข้อบกพร่อง	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่ต้องเพิ่มในช้อง “ข้อเสนอแนะ” ของแบบการชี้บ่งฯ

หมายเหตุ จะเห็นได้ว่าในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงส่วนใหญ่จะมีช่อง “ข้อเสนอแนะ” เพื่อนำผลที่ใช้ในช่องนั้นไปใช้ในการจัดทำแผนลดความเสี่ยงและควบคุมความเสี่ยง ยกเว้นในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง (วิธี FMEA) ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติ จึงขอเสนอว่าให้เพิ่มช่อง “ข้อเสนอแนะ” ของแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี FMEA เพื่อให้ผู้ปฏิบัติสามารถนำข้อเสนอแนะไปใช้สำหรับการจัดทำแผนได้เหมือนกับวิธีอื่นๆ

ข้อมูลที่อยู่ในแบบการชี้บ่งอันตราย แต่ละช่องจะอธิบายถึงปัจจัยสำคัญที่มีประโยชน์ต่อการจัดทำแผนลดความเสี่ยงดังนี้



ภาพที่ 9 แบบการชี้บ่งอันตราย

ดังนั้นจึงสามารถสรุปให้ง่ายที่สุดก็คือว่า เมื่อทำการชี้บ่งอันตรายด้วยวิธีการชี้บ่งอันตรายต่างๆ ก็จะพบว่าระบบที่กำลังพิจารณาอยู่ มีลักษณะการเบี่ยงเบนที่ก่อให้เกิดอันตรายอย่างไรบ้าง มาตรการป้องกันและควบคุมมีอะไร เพียงพอหรือไม่ สิ่งที่ไม่เพียงพอก็จะอยู่ในข้อเสนอแนะ ดังนั้นในการจัดทำแผนงานลดความเสี่ยงก็คือนำสิ่งที่กำหนดไว้ในข้อเสนอแนะไปกำหนดว่า

1. จะให้ใครเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการ
2. จะทำเมื่อไร และจะเสร็จเมื่อไร
3. ใช้งบประมาณเท่าไร

แต่อย่างไรก็ตามในการทำแผนงานลดความเสี่ยงก็ควรมีการพิจารณาสิ่งที่จะทำเพื่อลดโอกาสและความรุนแรงโดยละเอียดอีกครั้ง เนื่องจากเทคนิคในการชี้บ่งอันตรายมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการค้นหาลักษณะการเบี่ยงเบนที่ก่อให้เกิดอันตราย ดังนั้นจึงไม่ได้ใช้เวลากับวิธีการแก้ปัญหาเท่าที่ควร เนื่องจากความจำกัดในเรื่องเวลา ความอ่อนล้าจากการชี้บ่งอันตราย

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ให้คำแนะนำไว้ในหมวด 4 ข้อ 6.4 ของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 ค่อนข้างละเอียดว่าจะต้องทำอะไรบ้างดังนี้

ข้อ 6.4 แผนงานลดความเสี่ยง เป็นแผนงานปรับปรุงแก้ไขการดำเนินงานในเรื่องต่างๆ ในการลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับความเสี่ยง ซึ่งต้องประกอบด้วยมาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยง โดยระบุรายละเอียดของขั้นตอนการปฏิบัติ ผู้รับผิดชอบระยะเวลาในการดำเนินการ รวมทั้งการตรวจติดตามการดำเนินการดังกล่าว ตามแบบแผนงาน 1

ข้อ 6.5 มาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงอาจประกอบด้วย

ข้อ 6.5.1 มาตรการป้องกันและควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย ได้แก่ การดำเนินงานในเรื่องต่างๆ เรื่องใดเรื่องหนึ่งหรือหลายเรื่องรวมกัน รวมทั้งมีการควบคุม และตรวจสอบการดำเนินงานในเรื่องเหล่านั้น โดยจัดทำเป็นขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

ข้อ 6.5.1.1 ลดหรือกำจัดอันตรายด้วยวิธีการทางวิศวกรรม เช่น การออกแบบ การสร้าง การติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ และการติดตั้งระบบความปลอดภัย การเลือกใช้วัสดุที่ได้มาตรฐาน โดยนำผลจากการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงมาดำเนินการ

ข้อ 6.5.1.2 กำหนดวิธีการทำงานหรือการปฏิบัติงานตามขั้นตอนที่ถูกต้อง

ข้อ 6.5.1.3 กำหนดวิธีการทดสอบ ตรวจสอบ และการซ่อมบำรุง เครื่องจักรอุปกรณ์ และระบบความปลอดภัย

ข้อ 6.5.1.4 กำหนดกระบวนการ วิธีการ หรือขั้นตอนสำหรับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต วัตถุดิบ เครื่องจักรอุปกรณ์ โดยให้มีการพิจารณาทบทวนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงก่อนเริ่มดำเนินการ

ข้อ 6.5.1.5 จัดให้มีการฝึกอบรมแก่ผู้ปฏิบัติงาน

ข้อ 6.5.1.6 จัดให้มีการตรวจประเมินความปลอดภัย

ข้อ 6.5.1.7 กำหนดวิธีการควบคุมให้มีการปฏิบัติตามข้อกำหนดของโรงงาน

ข้อ 6.5.1.8 จัดให้มีการทบทวนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงเมื่อมีอุบัติภัยร้ายแรงเกิดขึ้น

ข้อ 6.5.1.9 ดำเนินการอื่นๆ เพื่อป้องกันและควบคุมการเกิดอันตราย

ข้อ 6.5.2 มาตรการระดับและฟื้นฟูเหตุการณ์ ได้แก่

ข้อ 6.5.2.1 จัดทำและจัดให้มีการซ้อมแผนฉุกเฉิน

ข้อ 6.5.2.2 จัดให้มีการสอบสวนอุบัติเหตุ และอุบัติการณ์

ข้อ 6.5.2.3 จัดให้มีแผนฟื้นฟูโงงาน ชุมชน และสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นผลจากการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

การจัดทำแผนงานควบคุมความเสี่ยง

การจัดทำแผนงานควบคุมความเสี่ยงในที่นี้หมายถึง แผนงานที่จะทำการควบคุมการทำงานที่มีความเสี่ยงให้เป็นไปตามขั้นตอน Step-By-Step ภายใต้มาตรการควบคุมหรือป้องกันอันตรายที่กำหนด

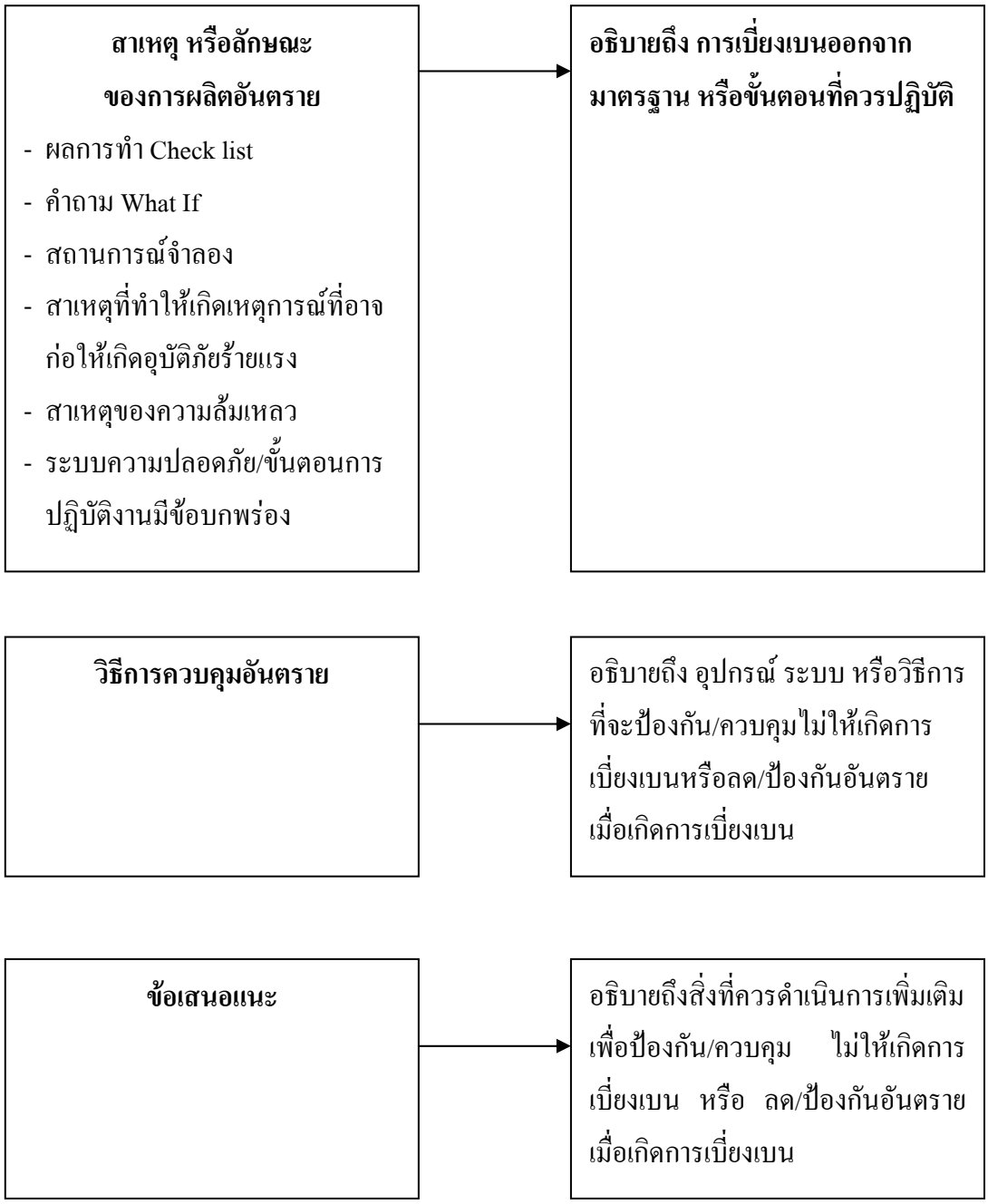
สำหรับการจัดทำแผนควบคุมความเสี่ยง กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้หั้คำแนะนำไว้ในระเบียบหมวด 4 ข้อ 6.6 ของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543

ข้อ 6.6 แผนงานควบคุมความเสี่ยง เป็นแผนงานในการควบคุมและตรวจสอบมาตรการป้องกันและควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย และมาตรการระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์ให้คงประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการป้องกัน ลด และควบคุมความเสี่ยง ซึ่งเป็นการควบคุมและตรวจสอบการดำเนินงานเพื่อรักษาให้ความเสี่ยงอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตลอดเวลา ซึ่งต้องประกอบด้วยมาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง ผู้รับผิดชอบ หัวข้อเรื่องที่ควบคุม เกณฑ์หรือค่ามาตรฐานที่ใช้ควบคุม และผู้ตรวจติดตาม ในแบบแผนงาน 2 ตามตัวอย่างท้ายระเบียบนี้

ข้อมูลสำหรับที่จะนำมาใช้ในการจัดทำแผนควบคุมความเสี่ยง จะอยู่ในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง 1-6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 17 แบบการชี้บ่งอันตราย และการประเมินความเสี่ยง

แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	**สาเหตุ หรือลักษณะของการเกิดอันตราย**	**ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการทำแผนลดความเสี่ยง**
Checklist	ผลการทำ Checklist	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย
What If Analysis	คำถาม What-if	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย
HAZOP	สถานการณ์จำลอง	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย
Fault Tree Analysis	สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย
Failure Mode Effect Analysis	สาเหตุของความล้มเหลว	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข
Event Tree Analysis	ระบบความปลอดภัย/ขั้นตอนการปฏิบัติงานมีข้อบกพร่อง	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย



ภาพที่ 10 แบบการชี้บ่งอันตราย 1

ภาพที่ 11 แบบการชี้บ่งอันตราย 2

ในกรณีนี้การควบคุมความเสี่ยงหมายถึง ควบคุมความเสี่ยงที่จะทำให้ถังรั่วเนื่องจากการเติมอากาศเหลว ซึ่งเราทราบจากการชี้บ่งอันตรายด้วยวิธีการ What-If ว่าสาเหตุที่จะทำให้ถังรั่วได้ คือ การเติมอากาศเหลวเข้าไปในถังของรถบรรทุก เนื่องจากอากาศเหลวมีอุณหภูมิเย็นถึง 120°C ในขณะที่ถังบรรจุจะมีอุณหภูมิ 20-35°C อากาศเหลวที่เย็นจัดจะทำให้ถังซึ่งเป็นโลหะเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว และการหดตัวเกิดขึ้นไม่เท่ากันจึงทำให้รอยตะเข็บต่างๆ ฉีกเกิดการรั่วขึ้น

มาตรการป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วของถังก็คือ ก่อนเติมอากาศเหลวลงไปในถัง จะต้องมีอากาศเหลวอยู่ในถังไม่น้อยกว่า 10% เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วของถัง จะทำให้ถังไม่รั่ว โดยบริษัทกำหนดให้พนักงานขับรถและพนักงานขนส่งเป็นผู้ตรวจสอบปริมาณอากาศเหลวก่อนทำการเติมทุกครั้ง

แผนควบคุมความเสี่ยงคืออะไร

แผนควบคุมความเสี่ยงคือ แผนที่จะไปควบคุมให้พนักงานขับรถและพนักงานขนส่งตรวจสอบปริมาณอากาศเหลวก่อนทำการเติมทุกครั้ง และอากาศเหลวในถังต้องไม่น้อยกว่า 10% ทุกครั้ง

สรุปผลการศึกษาวิเคราะห์และทบทวนการดำเนินงานที่เป็นความเสี่ยง

ขั้นตอนนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงในครั้งนี้ สาระสำคัญที่ต้องนำมาสรุปให้ผู้บริหารของโรงงาน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทราบมีดังต่อไปนี้

1. กิจกรรมหรือขั้นตอนการผลิตของโรงงาน
2. กิจกรรมหรือขั้นตอนที่ก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง
3. มาตรการป้องกันและควบคุมที่มีอยู่เดิม
4. มาตรการป้องกันและควบคุมที่จะจัดทำเพิ่มเติม
5. ระยะเวลาที่จะใช้ในการจัดทำมาตรการป้องกันและควบคุมเพิ่มเติม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) หน่วยความจำ 256 MB ความจุของ Hard disk drive 40 GB

2. โปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิต

3. เครื่องพิมพ์

4. เครื่องคิดเลข

5. กล้องบันทึกภาพ Digital cyber-short

วิธีการวิจัย

1. เก็บข้อมูลการกติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) ของโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ และสถานีขนส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

2. ประเมินความเสี่ยงด้วยแผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis)

สถานที่ทำการวิจัย

โครงการก่อสร้างโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ และสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง ดำเนินการก่อสร้างในงานติดตั้งคานรูปกล่อง ระบบหล่อเสร็จดึงลวดภายหลัง โดยบริษัทซิโน-ไทย เอ็นจีเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) โดยสุ่มเก็บข้อมูลจาก 3 สถานีคือ

1. สถานีรับส่งผู้โดยสารมักกะสัน

2. สถานีรับส่งผู้โดยสารรามคำแหง

3. สถานีรับส่งผู้โดยสารหัวหมาก

ระยะเวลาการทำวิจัย

แผนงานดำเนินการวิจัย	**2550**								**2551**					
	5	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
เสนอหัวข้อต่อคณะกรรมการ														
รวบรวมข้อมูลเอกสาร และงานสนาม														
ศึกษาข้อมูล														
ทำการวิจัย และวิเคราะห์														
สรุปผลการวิเคราะห์														
เสนอผลการทดลองต่อคณะกรรมการ														

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลอง

จำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงาน

การเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวนพนักงานที่ปฏิบัติในงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) ด้วยอุปกรณ์งานยก (Launcher)

ตารางที่ 18 แสดงจำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงานแยกคานรูปกล่อง

ตำแหน่ง/หน้าที่พนักงาน	จำนวนพนักงาน (คน)		
	สถานีมักกะสัน	สถานีรามคำแหง	สถานีหัวหมาก
พนักงานควบคุม Launcher	2	2	2
คนขับรถบรรทุก Tailer (1 คัน)	1	1	1
คนให้สัญญาณการยก	2	2	2
คนผูก / คล้อง ลวดสลิง	5	5	5
คนจัดวางคานรูปกล่อง (Box Girder)	4	4	4
อาสาจราจร	8	6	6
คนงานทั่วไป (ตั้งเครน, ทำความสะอาด, กั้นพื้นที่ทำงาน)	18	15	17
รวมทั้งหมด	**40**	**35**	**37**

สถิติการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน

การเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุของพนักงานที่ปฏิบัติงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder)

ตารางที่ 19 แสดงจำนวนพนักงานที่ประสบอุบัติเหตุ จากการทำงานติดตั้งคานรูปกล่อง

สถานที่/ โครงการ	จำนวนพนักงานที่ ประสบอุบัติเหตุ	จำนวนครั้ง การยก (ครั้ง)	จำนวน Box Girder (ชิ้น)	จำนวนวัน การยก (วัน)
สถานีมักกะสัน	6	50	50	38
สถานีรามคำแหง	7	30	30	25
สถานีหัวหมาก	5	29	29	24

ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน

Crowl and Louvar (2002) ได้อธิบายถึงการหาความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุต่อชั่วโมงการทำงานดังนี้

$$\text{ความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุ} = \frac{\text{(จำนวนครั้งการเกิดอุบัติเหตุ)}}{\text{(เวลาทั้งหมดที่เข้าไปสัมผัสบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุ)}}$$

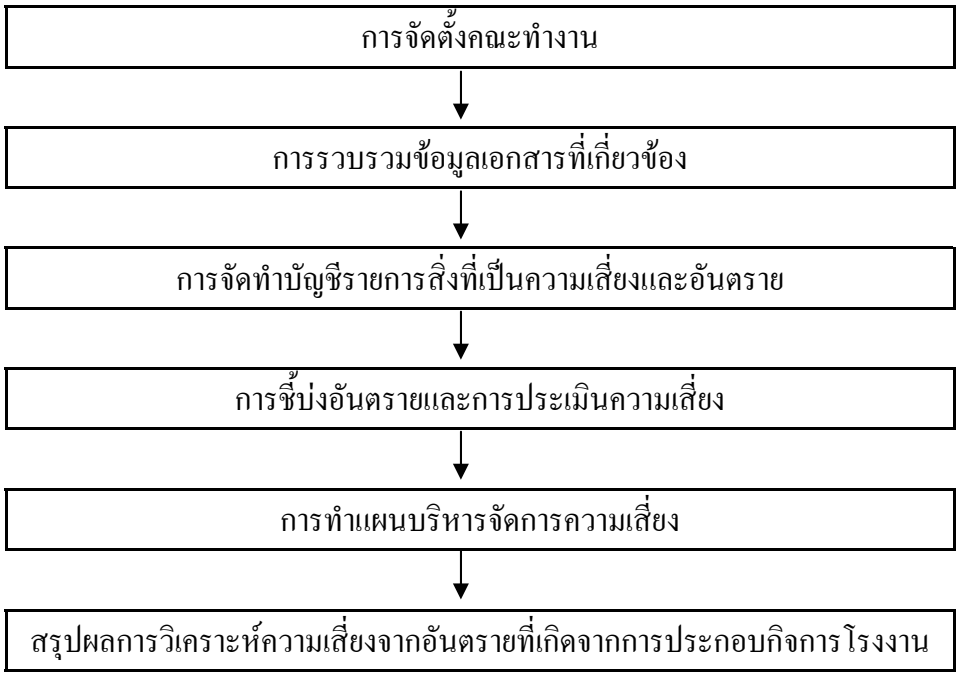
หน่วย คือ ครั้ง / ชั่วโมง

ดังนั้น จากสมการของการคำนวณการหาความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุต่อเวลาทั้งหมดที่เข้าไปสัมผัสบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 20 แสดงความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุต่อชั่วโมงการทำงานของพนักงานที่เข้าไปสัมผัสพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ

สถานที่/โครงการ	จำนวนพนักงานที่เกิดอุบัติเหตุ (คน)	ความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุ (ครั้ง/1,000 ชั่วโมงการทำงาน)
สถานีมักกะสัน	6	0.40
สถานีรามคำแหง	7	1
สถานีหัวหมาก	5	0.70

ขั้นตอนการจัดทำรายงานวิเคราะห์ความเสี่ยง



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการจัดทำรายงานวิเคราะห์ความเสี่ยง

ตารางที่ 21 บัญชีราชการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย

งาน: งานยกคานรูปกล่อง

โครงการก่อสร้าง: ระบบขนส่งรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

การดำเนินงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ
1. งานจราจรขนย้ายคานรูปกล่อง	- รถบรรทุกเฉี่ยวชน - ยางระเบิด - รถบรรทุกพลิกคว่ำ	- คานรูปกล่องล้มทับผู้ปฏิบัติงานหรือทับรถต่างๆ - การพังทลายหรือคานรูปกล่องล้มทับผู้ปฏิบัติงาน - ทำให้มีการได้รับบาดเจ็บและทรัพย์สินเสียหาย	- ประเมินความเสี่ยงโดยใช้ Checklist
2. งานยกคานรูปกล่องลงสู่พื้นที่หน้างาน	- พื้นดินรับน้ำหนักไม่ไหว	- การบิดงอและเสียรูปทรงของคานรูปกล่อง - คานรูปกล่องทับผู้ปฏิบัติงานและได้รับบาดเจ็บ	- ประเมินความเสี่ยงโดยใช้ FTA
3. ความพร้อมของอุปกรณ์ Launcher	- โครงสร้าง Launcher พังทลาย - ความผิดพลาดของผู้ควบคุม Launcher	- เกิดการพังทลายของโครงสร้าง Launcher - ไม่สามารถบังคับหรือควบคุมได้ตามต้องการ	- ประเมินความเสี่ยงโดยใช้ Checklist
4. การติดตั้งส่วนประกอบยึดรั้งของคานรูปกล่อง	- ตกจากที่สูง - อันตรายจากงานไฟฟ้า	- เสียชีวิตหรือได้รับบาดเจ็บอย่างรุนแรง - เสียชีวิตหรือได้รับอันตรายจากไฟฟ้าช็อตหรือไฟฟ้าดูด	- ประเมินความเสี่ยงโดยใช้ Check List
5. กิจกรรมอื่นๆ การซ่อมและบำรุงรักษา	- เกิดประกายไฟจากงานเชื่อมเจียร์ โดยไม่ป้องกันในบริเวณพื้นที่มีความเสี่ยง	- เกิดการระเบิดเป็นอันตรายต่อพนักงานทรัพย์สิน ชุมชน	- ประเมินความเสี่ยงโดยใช้ Check List

การวิเคราะห์อุบัติเหตุ โดยใช้แผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis)

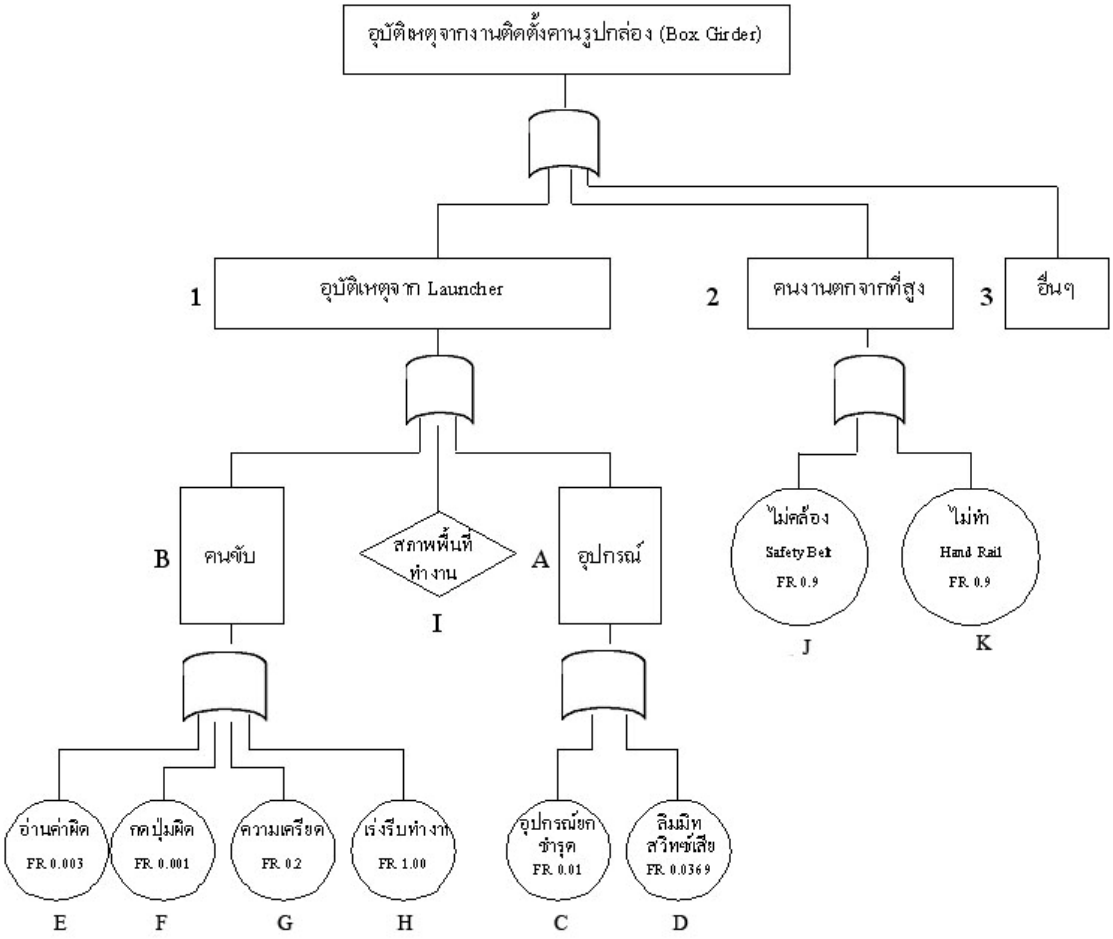
จากข้อมูลแสดงสถิติอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการทำงาน (ภาคผนวก ก) และอุบัติเหตุที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการทำงาน พบว่าอุบัติเหตุมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือ อุบัติเหตุที่เกิดจากความผิดพลาดและข้อบกพร่องของอุปกรณ์ช่วยยก (Launcher) และคนงานกระทำการไม่ปลอดภัย ดังนั้นจึงศึกษาลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงานเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุดังกล่าวด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้

ขั้นตอนปฏิบัติงานของพนักงานที่ปฏิบัติงานยกคาน Box Girder ขึ้นติดตั้งบนคาน Cross Beam ด้วย Launcher

ตารางที่ 22 แสดงขั้นตอนการทำงานของพนักงานที่ปฏิบัติงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder)

ลำดับขั้นตอนลักษณะการทำงาน	อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น
1. ขนย้ายคาน Box Girder ไปยังจุดติดตั้งหน้างานด้วยรถบรรทุก (Tailer)	1. สลิงบาดหรือหนีบมือขณะผูกมัดสลิงกับ Girder 2. Girder ทับหรือกระแทกเท้าหรือขา 3. ลวดสลิง เหวี่ยงกระแทกร่างกาย 4. อันตรายจาก Launcher หรืออุปกรณ์ เช่น การหักหรือการพังของโครงสร้าง
2. ยก Box Girder ขึ้นติดตั้งบน Cross Beam ด้วย Launcher	1. ลวดสลิงบาดมือขณะผูกมัดสลิงกับ Girder 2. ตกจากที่สูงขณะยืนจัดวาง Box Girder ให้เข้าที่บน Cross Beam 3. Girder ทับเท้า หรือกระแทกมือขณะจัดวาง Girder ให้เข้าที่ 4. อันตรายจากการพังของโครงสร้าง Launcher

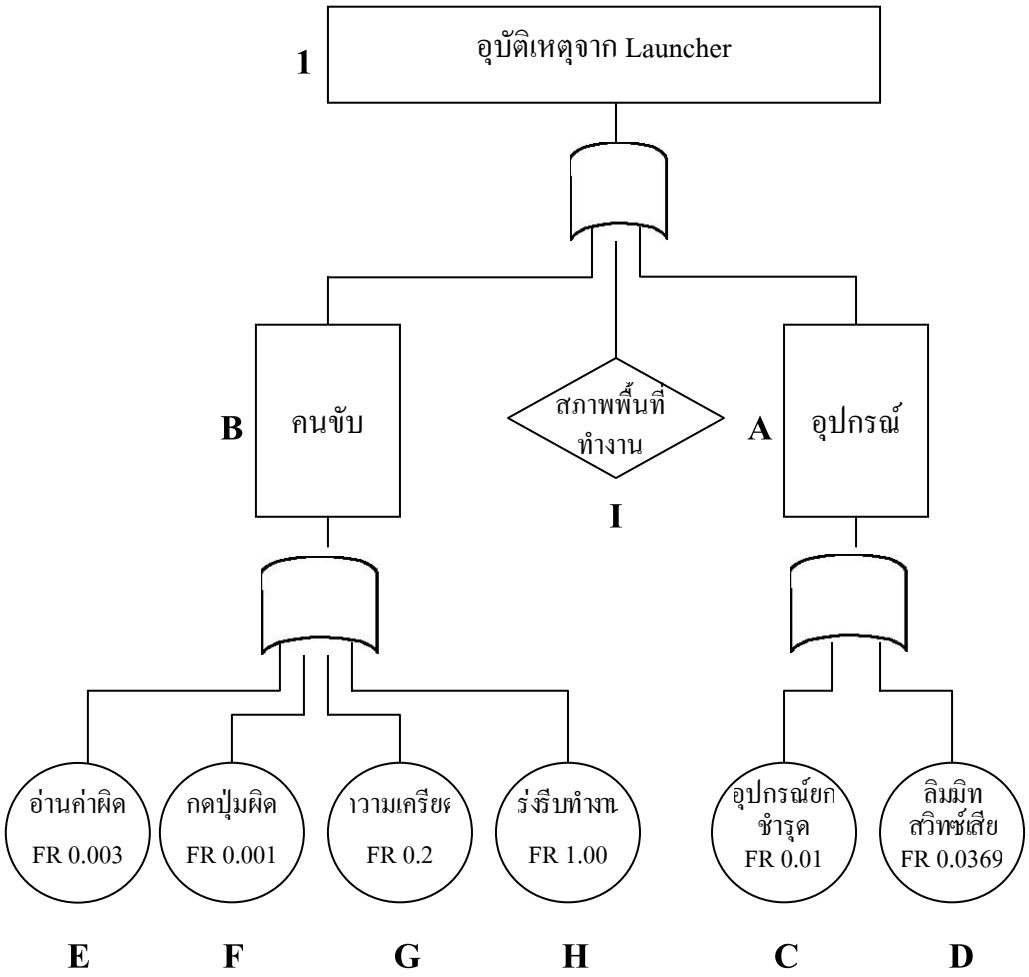
การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ด้วยแผนภูมิต้นไม้



ภาพที่ 13 แสดงการเขียนความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจาก Launcher ด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้

จากการเขียนความสัมพันธ์ของการเกิดอุบัติเหตุจาก Launcher ด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis) สามารถอธิบายได้ว่า การเกิดอุบัติเหตุจาก Launcher (Top Event) นั้นเกิดจากสาเหตุหลักคือ ผู้ควบคุม Launcher, อุปกรณ์ของ Launcher และสภาพพื้นที่ทำงานที่รถบรรทุก Box Girder ยืนทำงานเป็นดินอ่อนหรือลาดเอียง แต่เนื่องจากสภาพพื้นที่ทำงาน เป็นเหตุการณ์ที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอ จึงไม่ทำการวิเคราะห์ต่อไป

สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุจาก Mobile Crane



ภาพที่ 14 แสดงการเขียนความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจาก Launcher

สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจาก Launcher ที่เกิดจากผู้ควบคุมนั้นเกิดจากเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หรือทุกเหตุการณ์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่แท้จริง คือ ผู้ควบคุม อ่านค่าจากตารางบอกน้ำหนัก (Lode Chart) ผิดพลาด ผู้ควบคุมกดปุ่มบังคับด้วยมือผิดพลาด ผู้ควบคุมทำงานรีบเร่ง หรือ มีความเครียดขณะทำงาน

สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ จากอุปกรณ์ของเครนบกพร่องเกิดจากสาเหตุพื้นฐาน (Basic Event) อุปกรณ์การยก เช่น ตะขอ (Hook) สลิงชำรุด และลิมมิทสวิทซ์ชำรุดสามารถสรุปเป็นตารางแสดงโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ และช่วงเวลาก่อนการเสียหายของอุปกรณ์เหตุการณ์ A จากเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) ที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุจาก Launcher ตามตารางที่ 23

ตารางที่ 23 แสดงโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ และอายุการใช้งานเฉลี่ยก่อนเกิดการเสียหายของอุปกรณ์

เหตุการณ์	**ค่าความผิดพลาด Failure rate/year (μ)**	**ค่าความเชื่อถือของอุปกรณ์ Reliability $\left(R = e^{-\mu t}\right)$**	**โอกาสของการเกิดความผิดพลาด Failure Probability F = 1-R**	**อายุการใช้งานเฉลี่ยก่อนเกิดการเสียหายของอุปกรณ์ $MTBF = \frac{1}{\mu}$ ปี**
C	0.01	0.99	0.01	100
D	0.036	0.96	0.04	27.77

จากตารางที่ 23 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวจึงนำมาหาโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุและความน่าเชื่อถือเหตุการณ์ A (Fault Event) ของ Mobile Crane ดังนี้

ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของเหตุการณ์ A

สมการ $R_A = R_C \times R_D$

$= (0.99)(0.96)$

$R_A = 0.95$

โอกาสเกิดอุบัติเหตุความเสียหาย (Failure probability) ของเหตุการณ์ A

สมการ $F_A = 1 - (1 - F_C)(1 - F_D)$

$= 1 - (1 - 0.01)(1 - 0.04)$

$= 0.0496$

จากการคำนวณทำให้ทราบถึงโอกาสเกิดอุบัติเหตุความเสียหาย (FA) ของเหตุการณ์ A คือ 0.0496 และความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ Launcher (RA) คือ 0.95 แต่จากการเขียนความสัมพันธ์ การเกิดอุบัติเหตุของ Launcher ยังมีเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องอีก 2 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ B เกิดจากความผิดพลาดของผู้ควบคุม (Human error) และเหตุการณ์ 1 เกิดจากสภาพของพื้นที่ทำงานซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอจึงไม่ทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังนั้นจึงนำเหตุการณ์ที่เหลือเฉพาะเหตุการณ์ B (Human error) มาหาโอกาสเกิดอุบัติเหตุ และความน่าเชื่อถือของผู้ควบคุม Launcher

คำนวณหาสาเหตุจากคนขับ ซึ่งกำหนดให้เป็นเหตุการณ์ B ซึ่งผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสปฏิบัติงานผิดพลาด (Human Error) โดยมีเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) 4 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ E, F, G และ H ซึ่งต้องคำนวณหาโอกาสค่าโอกาสการเกิดอุบัติเหตุและค่าเชื่อถือ

สามารถสรุปเป็นตารางแสดงโอกาสของการเกิดความเสียหาย และความน่าเชื่อถือของเหตุการณ์ B คนขับเครนที่ทำงานผิดพลาด (Human Error) จากเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) ที่อาจจะเกิดอุบัติเหตุจาก Mobile Crane ตามตารางที่ 24 ได้ดังนี้

ตารางที่ 24 แสดงโอกาสการเกิดความเสียหาย และความน่าเชื่อถือของคนขับ Mobile Crane

เหตุการณ์	**ค่าความผิดพลาด Failure Rate/Year (μ)**	**ค่าความเชื่อถือของอุปกรณ์ Reliability $\left(R = e^{-\mu t}\right)$**	**โอกาสของการเกิดความผิดพลาด Failure Probability F = 1-R**
E	0.003	0.997	0.003
F	0.001	0.999	0.001
G	0.2	0.818	0.182
H	1.0	0.368	0.632

จากตารางที่ 24 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว จึงนำมาหาโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ ความเสียหาย และความน่าเชื่อมั่นเหตุการณ์ B (Fault Event) ของคนขับ Mobile Crane ได้ดังนี้

ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการของเหตุการณ์ B

สมการ $R_B = R_E \times R_F \times R_G \times R_H$

$= (0.997) \times (0.999) \times (0.818) \times (0.368)$

$R_A = 0.299$

โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุความเสียหาย (Failure probability) ของเหตุการณ์ B

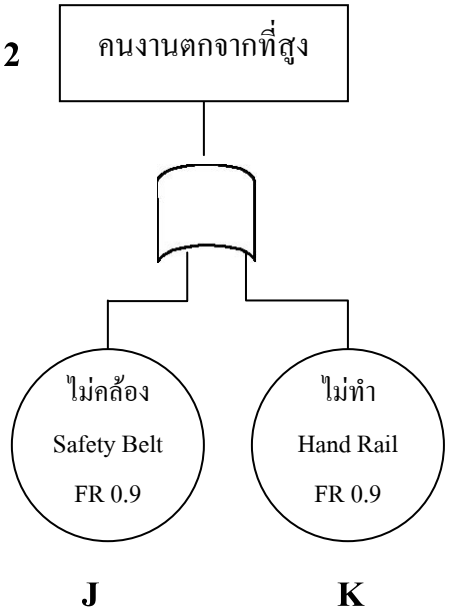
สมการ $F_B = 1 - (1 - F_E) \times (1 - F_F) \times (1 - F_G) \times (1 - F_H)$

$= 1 - ((1 - 0.003) \times (1 - 0.001) \times (1 - 0.182) \times (1 - 0.632))$

$F_B = 1 - (0.299)$

$F_B = 0.701$

สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ คนงานตกจากที่สูง



ภาพที่ 15 แสดงการเขียนความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการตกจากที่สูง ของคนงานขณะติดตั้ง Box Girder วางบน Cross Beam ด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้

จากการเขียนความสัมพันธ์ของการเกิดอุบัติเหตุ คนงานตกจากที่สูง ด้วยวิธีแผนภูมิต้นไม้ สามารถอธิบายได้ว่า คนงานจะตกจากที่สูงขณะจัดวาง Box Girder บนคานหลักตามขวาง เกิดจากเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) ซึ่งเป็นสาเหตุที่แท้จริงของการตกจากที่สูง คือ การไม่คล้องเข็มขัดนิรภัย (Safety Belt) หรือไม่ทำราวกันตก (Hand Rail) ขณะทำงานบนที่สูง

สามารถสรุปเป็นตารางแสดงโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ และความน่าเชื่อถือของคนทำงานบนที่สูง ที่ทำงานผิดพลาด (Human Error) จากเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) ที่อาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการตกจากที่สูง ตามตารางที่ 25 ได้ดังนี้

ตารางที่ 25 แสดงโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ และความน่าเชื่อถือของคนทำงานบนที่สูง ขณะจัดวาง Box Girder บน คานตามขวาง (Cross Beam)

เหตุการณ์	**ค่าความผิดพลาด Failure Rate/Year (μ)**	**ค่าความเชื่อมั่น Reliability $\left(R = e^{-\mu t}\right)$**	**โอกาสของการเกิดความผิดพลาด Failure Probability F = 1-R**
J	0.9	0.406	0.594
K	0.9	0.406	0.594

จากตารางที่ 25 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว จึงนำมาหาโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุความเสียหาย และความน่าเชื่อมั่นของเหตุการณ์ 2 ผู้ปฏิบัติงานอาจจะตกจากที่สูง (Fault Event) ได้ดังนี้

ค่าความเชื่อมั่น (Reliability)ของเหตุการณ์ B

สมการ $R_2 = R_J \cdot R_K$

$= (0.406) \cdot (0.406)$

$R_2 = 0.165$

โอกาสเกิดอุบัติเหตุความเสียหาย (Failure probability) ของเหตุการณ์ 2

สมการ $F_2 = 1 – (1 – F_J) . (1 – F_k)$

$= 1 – (1 – 0.594) . (1 – 0.594)$

$F_2 = 1 – (0.165)$

$F_2 = 0.835$

จากตารางที่ 25 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว จึงนำมาหาโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุความเสียหายและความน่าเชื่อมั่นของเหตุการณ์ 1 อุบัติเหตุจาก Launcher (Fault Event) ได้ดังนี้

ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการของเหตุการณ์ 1

สมการ $R_1 = (R_B) . (R_A)$

$= (0.299) . (0.95)$

$R_1 = 0.284$

โอกาสเกิดอุบัติเหตุความเสียหาย (Failure Probability) ของเหตุการณ์ 1

สมการ $F_1 = 1 – (1 – F_B) . (1 – F_A)$

$= 1 – ((1 – 0.701) . (1 – 0.0496)$

$F_1 = 1 – (0.299) . (0.95)$

$F_1 = 0.716$

ตารางที่ 26 แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ ความเชื่อมั่น และโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุจาก Mobile Crane และการตกจากที่สูง

ลักษณะอุบัติเหตุ	โอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ	ค่าของความเชื่อมั่น
เกิดจาก Launcher	0.716	0.284
เกิดจากการตกจากที่สูง	0.835	0.165

ระดับความเชื่อมั่น และโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ ข้อมูลทางสถิติจัดไว้ 5 ระดับ ตามตารางที่ 27

ตารางที่ 27 แสดงระดับความเชื่อมั่น และโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ

ระดับ	ความเชื่อมั่น	ช่วงค่า	โอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ	ช่วงค่า
1	น้อยมาก	0.10 – 0.20	สูงมาก	0.90 – 1.00
2	น้อย	0.30 – 0.40	สูง	0.60 – 0.80
3	ปานกลาง	0.50	ปานกลาง	0.50
4	ดี	0.60 – 0.80	ต่ำ	0.30 – 0.40
5	ดีมาก	0.90 – 1.00	ต่ำมาก	0.10 – 0.20

ที่มา: มิลลิกา (2542)

จากตารางที่ 26 และ 27 ด้านบน ค่าความเชื่อมั่นน้อยแสดงว่าโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุสูง และค่าความเชื่อมั่นสูงแสดงว่าโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุต่ำ ดังนั้นสรุปได้ว่า โอกาสของการเกิดอุบัติเหตุจาก Launcher และการตกจากที่สูงของพนักงานขณะปฏิบัติงานในการยกคานรูปกล่อง (Box Girder) ขึ้นติดตั้งบนคานตามขวาง (Cross Beam) ของการก่อสร้างโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมืองมีสูง

ตารางที่ 28 Fault Tree Analysis 1

กิจกรรม: งานติดตั้งคานรูปกล่อง
สถานที่: โครงการก่อสร้างระบบขนส่งรถไฟฯ

สถานการณ์จำลองของเหตุการณ์: Launcher พังหรือชำรุด
วันที่ทำการศึกษา: 13 มกราคม 2551

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ความเสี่ยง (ระดับ)
คำนวณการรับน้ำหนักผิด	การพังทลายของโครงสร้าง (Launcher)	ใช้มาตรฐานในการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน	ผู้เชี่ยวชาญในการใช้งานดูแลตลอด	3	4	12	ยอมรับไม่ได้
ผู้ควบคุมกดปุ่มผิด	การพังทลายของโครงสร้าง	มีระบบป้องกันตามหลักวิศวกรรม	จัดระบบป้องกัน 2 ชั้น	2	4	8	ความเสี่ยงสูง
ผู้ควบคุมเครียดจากการทำงาน	โครงสร้างชำรุดบกพร่องหรืออาจพังทลาย	มีการวางแผนการบำรุงรักษาที่ถูกต้องได้มาตรฐาน	จัดอบรมผู้ที่ควบคุมอย่างถูกต้อง	3	1	3	ยอมรับได้
ความเร่งรีบในการทำงาน (ลัดขั้นตอน)	โครงสร้างชำรุดบกพร่องหรืออาจพังทลาย	มีขั้นตอนในการทำงานที่ชัดเจน	กำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติ	2	2	4	ยอมรับได้
อุปกรณ์ชำรุด	โครงสร้างชำรุดบกพร่องหรืออาจพังทลาย	มีการวางแผนและตารางการบำรุงรักษาที่ชัดเจน	มีผู้เชี่ยวชาญมาตรวจสอบเป็นระยะๆ	3	3	9	ยอมรับไม่ได้
ปุ่มลิมมิทสวิทซ์เสีย	การพังทลายของโครงสร้าง	จัดระบบล็อก ถ้าเกิดอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานเสีย	ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นในการแก้ไข	3	4	12	ยอมรับไม่ได้

ตารางที่ 29 Fault Tree Analysis 2

กิจกรรม: งานติดตั้งคานรูปกล่อง
สถานที่จำลองเหตุการณ์: คนงานตกจากที่สูง

สถานที่: โครงการก่อสร้างระบบขนส่งรถไฟฯ
วันที่ทำการศึกษา: 31 มกราคม 2551

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ความเสี่ยง (ระดับ)
ไม่ได้ติดตั้งรางกันตก	ผู้ปฏิบัติงานตกจากที่สูง	ติดตั้งราวกันตกทุกจุดปฏิบัติงาน	ออกกฎระเบียบว่าด้วยการทำงานบนที่สูง	3	4	12	ยอมรับไม่ได้
ขณะปฏิบัติงานไม่สวมใส่เข็มขัดนิรภัย	ผู้ปฏิบัติงานตกจากที่สูง	จัดเตรียมอุปกรณ์/ควบคุมการใช้	อบรมให้พนักงานตระหนักตลอดเวลา	4	4	16	ยอมรับไม่ได้
ช่องเปิดในพื้นที่ปฏิบัติงาน	ผู้ปฏิบัติงานตกจากที่สูง	ตรวจสอบประจำวันแล้วปิดทันที	จัดทำที่ปิดที่ได้มาตรฐาน	2	4	8	ความเสี่ยงสูง
เป็นลมหน้ามืด	ผู้ปฏิบัติงานตกจากที่สูง	มีการตรวจความพร้อมของร่างกายก่อนปฏิบัติงานทุกวัน	จัดเครื่องตรวจแอลกอฮอล์ทุกวัน	2	2	4	ความเสี่ยงยอมรับได้
ลมพายุ หรือภัยธรรมชาติ	ผู้ปฏิบัติงานตกจากที่สูง	กำหนดแผนฉุกเฉิน	มีการอบรมและให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงาน	2	1	2	ความเสี่ยงเล็กน้อย

วิจารณ์

การวิจัยศึกษาหาความเสี่ยงงานติดตั้งคานรูปกล่อง เพื่อความปลอดภัยในงานก่อสร้างโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ และสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง พบว่า จากการทดลองและเก็บข้อมูลแล้วทำการวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงหาโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุของอุปกรณ์งานยก (Launcher) และผู้ปฏิบัติงานด้วย Fault Tree Analysis พบว่าโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุมาจากผู้ปฏิบัติงานผิดพลาด ความเครียด รีบเร่งทำงานเกินไป และอุปกรณ์งานยก (Launcher) ชำรุดบกพร่องขณะปฏิบัติงานติดตั้งคานรูปกล่อง

ผลการวิจัยศึกษาหาความเสี่ยงพบว่า โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุจากงานติดตั้งคานรูปกล่องโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุสูง จากการวิจัยได้แสดงให้ทราบถึงค่าความเชื่อมั่น และค่าโอกาสการเกิดอุบัติเหตุเป็นตัวเลขจากการทำงาน สามารถนำไปเป็นประโยชน์ในการวางแผนป้องกันอุบัติเหตุต่อผู้ปฏิบัติงาน และอุปกรณ์ของเครื่องจักรกลก่อสร้าง เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลง

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยครั้งนี้ ได้ผลสรุปเพียงการทราบค่าสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดอุบัติเหตุจาก Launcher และการตกจากที่สูง ซึ่งผู้ที่จะทำการวิจัยหรือทดลองต่อไปสามารถนำมาตรการป้องกันอุบัติเหตุจากการวิจัยครั้งนี้ไปดำเนินงานต่อไป เพื่อให้ทราบว่าอุบัติเหตุลดลงจริงหรือไม่ในลักษณะการทำงานที่เหมือนกัน

2. การวิจัยครั้งต่อไป ผู้ทำการวิจัยควรต้องวางแผน และจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยให้ครอบคลุมทั้งหมดกับเรื่องที่จะทำการวิจัย

3. หน่วยงานราชการที่กำกับดูแลหน่วยงานก่อสร้างนั้นๆ ควรต้องมีมาตรการตรวจสอบดูแลด้านปลอดภัยในการทำงานก่อสร้าง เพื่อลดและป้องกันอุบัติเหตุในภาพรวมระดับชาติ

4. หน่วยงานก่อสร้าง ควรให้ข้อมูลที่แท้จริงต่อผู้ทำวิจัย หรือหน่วยงานราชการ เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์วิจัยสำหรับการห้องกันอุบัติเหตุจากงานก่อสร้าง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2543. **ระเบียบหลักเกณฑ์การบ่งชี้อันตราย การประเมินความเสี่ยงและการวางแผนการบริหารจัดการความเสี่ยง**. กรุงเทพฯ.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2545. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้านครหลวง. 2545. **คู่มือการประเมินความเสี่ยง 2545**. เอกสารการไฟฟ้านครหลวง, กรุงเทพฯ.

งานวิกฤตฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง. 2545. **เอกสารฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย**. นนทบุรี.

ฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง. 2542. **การวิเคราะห์งานวิกฤตและขั้นตอนปฏิบัติ**. เอกสารฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, นนทบุรี.

_____. 2545. **คู่มือการประเมินความเสี่ยง**. เอกสารฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, นนทบุรี.

มิลลิกา บุนนาค. 2542. **สถิติเพื่อการตัดสินใจ**. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิชัย พฤกษ์ธารากุล. 2544. **เอกสารการบรรยายเรื่องการประเมินความเสี่ยง**. กรุงเทพฯ.

วิฑูรย์ สิมะโชคดี และ วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์. 2539. **วิศวกรรม และการบริหารจัดการความปลอดภัยในโรงงาน**. พิมพ์ครั้งที่ 8. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2544. **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. 2527. **แนวทางการป้องกันอุบัติภัย และสร้างความปลอดภัยในหน่วยงาน**. กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2543. **คู่มือการจัดทำระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มอก. 18001.** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

อภิชาติ ชำนินอก. 2544. **การประเมินความเสี่ยงตามแนวทาง BS8800**. บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

อรรถพันธ์ นามกุล. 2546. **การประเมินความเสี่ยงโดยการใช้ Fault Tree Analysis ของนักศึกษาที่ใช้เครื่องกลึงฝึกปฏิบัติงาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

American Institute of Chemical Engineer. 1985. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures.** New York.

Brauer, R.L. 1990. **Safety and Health for Engineer**. Van Nostrand Reinhold, New York.

British Standard. 1996. **Occupational Health and Safety Management System.** BS8800.

Crowl, D.A. and J.F. Louver. 2002. **Chemical Process Safety**. Prentice Hall PTR, New Jersey.

DNV. Loss Control Management. 1995. **DNV Rating System Auditing.** International Loss Control Institute Inc., Atlanta GA.USA.

European Agency for Safety and Health at Work. 2001. **How to Reduce Workplace Accidents.** Accident Prevention.

_____. 2002. **New Trends in Accident Prevention due to the to the Changing World of Work**. Luxembourg.

Groeneweg. J. 1996. **Controlling the Controllable : the management of Safety.** 3rd ed. DSWO Press, Netherland.

Hammer, W. and D. Price. 2001. **Occupational Safety Management and Engineering**. Prentice Hall PTR, New York.

Louvar, J.F. and B.D. Louvar. 1998. **Health and Environmental Risk Analysis.** Prentice Hall PTR, New York.

Posniak. 2001. "Down to Zero". **Preventing Accident at Work Mag** 4: 16-17.

Saari, J. 2001. "Accident Prevention Today". **Preventing Accident at Work Mag** 4: 3-5.

Simard and Marchand. 1995. **Guide the Evaluating the Effectiveness of strategies for Preventing Work Injuries : How to show Whether a Safety Intervention Really Work.** DHHS (NIOSH) Publication No. 2001-119.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบตารางการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis

แบบตารางการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง
ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis

งานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) โครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง

สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน/ควบคุม/แก้ไข	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
โครงสร้างเก่า	การพังทลายของโครงสร้าง	ตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างก่อนให้ถูกต้องตามมาตรฐาน	ทาสีกันสนิม				
ดัดแปลงโครงสร้าง	การพังทลายหรือคดงอขณะปฏิบัติงาน	งดการเจาะ, ตัด	ต้องขออนุมัติจากวิศวกรทุกครั้ง				
ไม่มีการจัดเก็บทำความสะอาด	วางของไม่เป็นระเบียบทำให้เป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงาน	จัดเก็บให้เป็นระเบียบ, ทำกล่อง	จัดทำแผงกั้นป้องกันของตก				
งานไฟฟ้าชำรุด	เกิดการช็อกต่อผู้ปฏิบัติงาน	เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดทันที	มีแผนการตรวจสอบงานไฟฟ้าประจำวัน				
ขาดการบันทึกการตรวจ Launcher	อาจเกิดการพังของโครงสร้างได้	กำหนด Check list จัดคนรับผิดชอบ	ประกาศใช้แบบ Check list				

Check lisk Launcher

วันที่ทำการตรวจเช็ค..... Location : ……

Item	รายการตรวจเช็ค	ตรวจเช็คโดย	สภาพ		หมายเหตุ
			ดี	ไม่ดี	
1	Main Girder (MG)				
	- ตรวจเช็คสภาพ Bolt & Nut ตามจุดต่างๆ ของโครงสร้าง				
	- ตรวจเช็คสภาพสลัก (Pin) ตามจุดต่างๆ ของโครงสร้าง				
	- ตรวจเช็คสภาพรอยเชื่อมต่อตามจุดต่างๆ ของโครงสร้าง				
2	Supporting Unit				
	- ตรวจเช็คสภาพ Rear Support				
	- ตรวจเช็คสภาพ Rear Leg Support				
	- ตรวจเช็คสภาพ Front Support & VSL Bracket				
3	Hanger Bar PT ∅ 36, Nut & Washer				
	- ตรวจเช็คสภาพ				
4	Spreader (ชุดอุปกรณ์ ยก Segment)				
	- ตรวจเช็คสภาพ Upper Spreader beam				
	- ตรวจเช็คสภาพ Lower Spreader beam				
5	Winch Unit				
	- ตรวจเช็ครอยรั่วไหลระบบ hyd.				
	- ตรวจเช็คสภาพลวดสลิง + Wedge Socket				
	- ตรวจเช็คสภาพรางเหล็กร่องฟันเฟือง (Rack)				
	- ตรวจเช็คสภาพสายไฟ, ตู้คอนโทล				
	- ตรวจเช็คสลัก (PIN) ตามจุดต่อต่างๆ				

Item	รายการตรวจเช็ค	ตรวจเช็คโดย	สภาพ		หมายเหตุ
			ดี	ไม่ดี	
6	Hydraulic Equipment - ตรวจเช็คสภาพ lo T.Mouving Jack For transverse จำนวน 2 Units - ตรวจเช็คสภาพ Single Acting 200 T. span Jack 12 Units - ตรวจเช็คสภาพ Single Acting 300 T. 4 Units - ตรวจเช็คสภาพชุด Power Unit Pump จำนวน 4 Units - ตรวจเช็คสภาพกระบอก hyd.46T/23T. สำหรับเดิน Gantry จำนวน 2 Units				

รับทราบโดย.....วันที่.....

รับทราบโดย.....วันที่.....

อนุมัติโดย.....วันที่.....

ภาคผนวก ข

สถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder)

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานยกติดตั้งคานรูปกล่อง (สถานีมักกะสัน)

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	เพศ	อายุ (ปี)	ตำแหน่ง	อายุงาน	หน่วยงาน	วัน	วันที่เกิด	เวลา
1	เอนก โคชะนะ	ชาย	23	ช่างไม้	5 เดือน	J-2277	ศุกร์	5/1/50	10.00
2	แก้ว มโยรา	ชาย	56	ช่างไม้	1 ปี 23 วัน	J-2277	จันทร์	8/1/50	10.13
3	บุญมา บุเงิน	ชาย	29	ช่างสำรวจ	8 เดือน 26 วัน	J-2277	เสาร์	27/1/50	11.45
4	อวยชัย วงษ์หาจักร	ชาย	51	ผช.ประกอบ	7 เดือน	J-2277	ศุกร์	2/2/50	14.50
5	ดาว บุญพา	ชาย	34	ช่างเหล็ก	10 เดือน 6 วัน	J-2277	พุธ	21/2/50	16.00
6	วราภรณ์ จันทร์ใด	หญิง	22	QC.	8 เดือน	J-2277	ศุกร์	9/3/50	11.30

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะการประสบอันตราย	สาเหตุประสบอันตราย	อวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ	หยุดงาน (วัน)	โรงพยาบาล	ค่ารักษาพยาบาล	หมายเหตุ
1	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานทำการเปลี่ยนใบหินเจียร์ใหม่โดยวางเครื่องเจียร์ไว้บนขา เมื่อทำการเปลี่ยนเสร็จได้เสียบปลั๊กไฟปรากฏว่าเครื่องเจียร์ได้หมุนบาดถูกขาของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ขา ข้างซ้าย	-	เพชรเวช	525.00	
2	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานผูกรัด Segment ได้ใช้เหล็กข้ออ้อยตีโซ่เพื่อตรวจสอบความตรึงของโซ่ปรากฏว่าเหล็กข้ออ้อยได้กระแทกถูกแขนข้างซ้ายของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	แขน ข้างซ้าย	-	ราชวิถี	719.00	
3	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานเช็ดระดับอยู่บน Mould 40 บริเวณใกล้เคียงมีเพื่อนร่วมงานกำลังใช้กัมมะลองเกาะเกี่ยวเหล็กกล่อง โดยที่ปลายเหล็กกล่องข้างหนึ่งพาดกับขอบ Mould อีกด้านหนึ่งพาดกับเหล็กสามขา ปรากฏว่าเหล็กสามขาได้พลิกคว่ำทำให้เหล็กกล่องตกลงมากระแทกถูกไหล่ของลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ไหล่ ข้างซ้าย	-	ราชวิถี	150.00	

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะการประสบอันตราย	สาเหตุประสบอันตราย	อวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ	หยุดงาน (วัน)	โรงพยาบาล	ค่ารักษาพยาบาล	หมายเหตุ
4	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานขึ้นไปขันน๊อตชุดยก Segment เสร็จแล้วได้ปีนลงมาจาก Segment โดยมือข้างซ้ายได้จับกับเหล็ก Stress Bar ปรากฏว่าผู้ควบคุม Straddle Lift ได้ปล่อยก้ามปูตัวยก Segment ลงมา ทำให้ก้ามปูทับนิ้วมือข้างซ้ายของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	นิ้วชี้มือข้างซ้าย	-	พญาไท	150.00	
5	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานขึ้นไปบนรถ Trailler เพื่อทำการปลดโซ่ที่รัด Segment ระหว่างที่ลูกจ้างดึงตัวรัดโซ่ออกปรากฏว่าตัวรัดโซ่ได้ดีดถูกขาของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ขาข้างขวา	2	ราชวิถี	295.00	
6	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานทดสอบลูกปูน ปรากฏว่ารถเข็นซึ่งบรรทุกลูกปูนอยู่นั้นได้ล้มมาทับเท้าของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	เท้าข้างซ้าย	-	ราชวิถี	240.00	

ตารางผนวกที่ ข2 แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานยกติดตั้งคานรูปกล่อง (สถานีรามคำแหง)

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	เพศ	อายุ (ปี)	ตำแหน่ง	อายุงาน	หน่วยงาน	วัน	วันที่เกิด	เวลา
1	เสน่ห์ แดงแก้ว	ชาย	33	ช่างประกอบ	1 ปี 6 เดือน	J-2277	อาทิตย์	11/3/50	14.00
2	บุญรอด หุ้มไธส่ง	ชาย	51	ช่างประกอบ	1 ปี 1 เดือน	J-2277	พฤหัส	5/4/50	9.13
3	ทองสา หล้าคำสอน	ชาย	50	คนงานทั่วไป	4 เดือน 8 วัน	J-2277	พฤหัส	26/4/50	16.30
4	วรา อินทรันต์	ชาย	28	ช่างประกอบ	1 ปี 3 เดือน	J-2277	พฤหัส	10/5/50	9.19
5	อนุวัฒน์ ม่วงศรี	ชาย	19	ช่างปูน	1 เดือน 20 วัน	J-2277	ศุกร์	20/7/50	8.30
6	สมศักดิ์ แสงเพิ่ม	ชาย	38	ช่างประกอบ	1 ปี 3 เดือน	J-2277	พุธ	8/8/50	16.15
7	วุฒินันท์ สัตนันต์	ชาย	19	ช่างไม้	3 เดือน 30 วัน	J-2277	อาทิตย์	17/9/50	8.30

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะการประสบอันตราย	สาเหตุประสบอันตราย	อวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ	หยุดงาน (วัน)	โรงพยาบาล	ค่ารักษาพยาบาล	หมายเหตุ
1	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานเจียร์ชิ้นงาน ปรากฏว่าสะเก็ดหินเจียร์ได้กระเด็นเข้าตา เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ตาข้างซ้าย	-	บ้านบึง	155.00	
2	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานใช้เหล็ก pipe งัดเหล็ก Beam เพื่อที่จะนำปากหมาเข้ามาจับกับเหล็ก Beam ระหว่างที่งัดเหล็ก pipe ได้หลุดออกจากเหล็ก Beam ทำให้มือของลูกจ้างกระแทกกับเหล็ก Beam เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	นิ้วหัวแม่มือข้างซ้าย	-	บ้านบึง	875.00	
3	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานใช้โซ่ผูกมัด Segment เพื่อทำการยกย้าย ซึ่งบริเวณใกล้เคียงได้มีเพื่อนร่วมงานกำลังปฏิบัติงานเจียร์แต่ง Segment ทำให้ฝุ่นละอองจากงานเจียร์ปลิวเข้าตาของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ตาข้างขวา	2	บ้านบึง	218.00	
4	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานยกเหล็กบีมขึ้นรถ Fork Lift ปรากฏว่าเหล็กได้เลื่อนไหลลงจากรถ ลูกจ้างจึงใช้มือผลักเหล็กเพื่อไม่ให้เลื่อนไหลลงมา ปรากฏว่าเหล็กได้ทับถูกนิ้วมือ เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	นิ้วหัวแม่มือข้างขวา	-	บ้านบึง		

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะการประสบอันตราย	สาเหตุประสบอันตราย	อวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ	หยุดงาน (วัน)	โรงพยาบาล	ค่ารักษาพยาบาล	หมายเหตุ
5	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานเจียร์ Segment ซึ่งพื้นที่ใกล้เคียงได้มีเพื่อนร่วมงานปฏิบัติงานเจียร์ Segment อยู่เช่นกัน ระหว่างที่ลูกจ้างถอดแว่นตาเพื่อดูชิ้นงาน ปรากฏว่าสะเก็ดหินเจียร์จากเพื่อนร่วมงานกระเด็นเข้าตา เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ตาข้างขวา	-	บ้านบึง	208.00	
6	ขณะที่ผู้ปฏิบัติงานประกอบโมลด์แล้วเสร็จ ได้ทำการตรวจสอบรอยรั่วของจุดต่อโมลด์ โดยการปีนขึ้นไปบน Bracing ซึ่งเป็น Support ความสูง 1.30 เมตร ปรากฏว่าได้เสียหลักพลักตกลงมาใบหน้ากระแทกถูกแท่น Support Concrete เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ใบหน้า	7	ชลบุรี		ผู้รับเหมา /นอนโรงพยาบาล 7 วัน / ลาออกแล้ว
7	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานปลดสะเก็นออกจากสลิงของ tower crane ปรากฏว่าสลิงได้ดีดถูกปากของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ปาก	-	เพชรเวช	5,970.00	

ตารางผนวกที่ ข3 แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากงานยกติดตั้งคานรูปกล่อง (สถานีหัวหมาก)

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	เพศ	อายุ (ปี)	ตำแหน่ง	อายุงาน	หน่วยงาน	วัน	วันที่เกิด	เวลา
1	พิชัย สีแสด	ชาย	39	ช่างไม้	2 เดือน 20 วัน	J-2277	ศุกร์	12/1/50	18.30
2	Soun Sal	ชาย	28	คนงานทั่วไป	3 เดือน	J-2277	เสาร์	16/8/50	8.30
3	อาทิตย์ เหล่าอันจัน	ชาย	30	ช่างประกอบ	1 เดือน	J-2277	ศุกร์	19/1/50	15.00
4	ขวัญประเสริฐ พรหมดี	ชาย	20	ช่างไม้	2 เดือน 13 วัน	J-2277	ศุกร์	19/1/50	20.30
5	สมบัติ รูวันมอม	ชาย	37	ผช.ช่างประกอบ	6 เดือน	J-2277	อาทิตย์	21/1/50	22.45

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะการประสบอันตราย	สาเหตุประสบอันตราย	อวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ	หยุดงาน (วัน)	โรงพยาบาล	ค่ารักษาพยาบาล	หมายเหตุ
1	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานยกย้ายเหล็ก Beam ระหว่างที่ยกปรากฏว่าเหล็ก Beam ได้หล่นกระแทกถูกนิ้วเท้าได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	นิ้วหัวแม่มือข้างซ้าย	-	เพชรเวช	2,200.00	
2	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานยกย้ายตู้เชื่อมเพื่อย้ายจุดปฏิบัติงาน ระหว่างที่ย้าย ปรากฏว่าได้เดินเหยียบสายไฟทำให้ลื่นหกล้ม เป็นเหตุทำให้ตู้เชื่อมทับข้อเท้าได้รับบาดเจ็บ	Unsafe con.	ข้อเท้าข้างซ้าย	4	เปาโลเมโมเรียล	10,030.00	
3	ขณะที่ปฏิบัติงานยกย้ายเหล็ก Beam ระหว่างที่รถ Hiab ยกเหล็กลงวางบนกองเหล็ก Beam ลูกจ้างได้ทำการปลดสลิงออก ปรากฏว่าเหล็ก Beam ได้ตกลงมากระแทกถูกเท้าของลูกจ้าง เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	เท้าข้างซ้าย	-	เพชรเวช	1,817.00	
4	ขณะที่ลูกจ้างปฏิบัติงานเจียร์ชิ้นงาน ปรากฏว่าสะเก็ดหินเจียร์กระเด็นเข้าตา เป็นเหตุทำให้ลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	ตาข้างขวา	-	เพชรเวช	952.00	

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะการประสบอันตราย	สาเหตุประสบอันตราย	อวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ	หยุดงาน (วัน)	โรงพยาบาล	ค่ารักษาพยาบาล	หมายเหตุ
5	ขณะที่มีการยกย้าย Concrete Segment โดยใช้ Crawler Crane ระหว่างที่จะวาง Segment ลูกจ้างได้เข้าไปจับประคอง โดยลูกจ้างยืนใกล้กับแผ่นเหล็กที่จะวาง Segment และได้วางเท้าสอดอยู่ใต้แผ่นเหล็กซึ่งแอ่นตัว ปรากฏว่าเมื่อวาง Segment ลง แผ่นเหล็กได้กดทับนิ้วเท้าของลูกจ้างได้รับบาดเจ็บ	Unsafe act.	นิ้วชี้เท้าข้างซ้าย	-	จุฬารัตน์ 9	1,400.00	

ภาคผนวก ค

ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน

ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน

ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน

จากงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) สถานีมักกะสัน

= 6 ครั้ง / [(จำนวนพนักงาน 40 คน) x (8 ชั่วโมง/วัน (38 วัน)] ครั้ง/ชั่วโมง

= 6 / [(40) x 8 x 38]

= 6 / 12,160

= 0.004 ครั้ง / ชั่วโมง

= 0.4 ครั้ง / 1,000 ชั่วโมง

ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน

จากงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) สถานีรามคำแหง

= 7 ครั้ง / [(จำนวนพนักงาน 35 คน) x (8 ชั่วโมง/วัน (25 วัน)] ครั้ง/ชั่วโมง

= 7 / [(35) x 8 x 25]

= 7 / 7,000

= 0.001 ครั้ง / ชั่วโมง

= 1 ครั้ง / 1,000 ชั่วโมง

ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน

จากงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) สถานีหัวหมาก

= 5 ครั้ง / [(จำนวนพนักงาน 37 คน) x (8 ชั่วโมง/วัน (24 วัน)] ครั้ง/ชั่วโมง

= 5 / [(37) x 8 x 24]

= 5 / 7,104

= 0.007 ครั้ง / ชั่วโมง

= 0.70 ครั้ง / 1,000 ชั่วโมง

การเก็บข้อมูลการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์

จากการรวบรวมข้อมูลของการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร อุปกรณ์ของงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder) พบว่าทางแผนกซ่อมบำรุงไม่ได้มีการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลความเสียหายของเครื่องจักรอุปกรณ์แต่ละประเภทไว้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ แสดงอัตราการเสียหายต่อปีเป็นฐานในการคำนวณ เพื่อหาโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ และความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์

การเก็บข้อมูล การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPE)

ตารางผนวกที่ ค1 แสดงข้อมูลการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงานติดตั้งคานรูปกล่อง (Box Girder)

สถานที่/โครงการ	หมวดแข็ง	รองเท้าหัวเหล็ก	เข็มขัดนิรภัย	ถุงมือหนัง	เสื้อสะท้อนแสง
สถานีมักกะสัน	✓	✓	-	-	✓
สถานีรามคำแหง	✓	✓	-	-	✓
สถานีหัวหมาก	✓	✓	-	-	✓

จากการเข้าไปเก็บข้อมูลการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลพบว่า พนักงานส่วนมากไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล โดยเฉพาะเข็มขัดนิรภัยสำหรับทำงานบนที่สูงและถุงมือหนัง ในขณะปฏิบัติงาน จึงเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุที่มาจาก Human Error ซึ่งส่งผลให้มีโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุ

การคำนวณหาโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ ค่าความเชื่อมั่น และช่วงเวลาก่อนการเกิดการเสียหายของเหตุการณ์

Fault Event – A

การคำนวณตามสมการ เหตุการณ์ C อุปกรณ์การยกชำรุด

ค่า Failure Rate (FR) หรือ Failure/year หรือของอุปกรณ์การยกชำรุด = 0.01

ดังนั้นค่าของความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการ $R(t) = e^{-\mu t}$

$$R_c(t) = e^{-0.01(1)}$$
$$R_c = 0.09$$

ช่วงเวลาก่อนที่จะเกิดการเสียหายของอุปกรณ์การยกหาได้จาก

$$MTBF = \frac{1}{\mu}$$
$$= \frac{1}{0.01}$$
$$= 100 \text{ ปี}$$

โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Failure Probability) ของอุปกรณ์การยก

จากสมการ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$$F_c(t) = 1 - R_c(t)$$
$$= 1 - 0.99$$
$$F_c = 0.01$$

การคำนวณตามสมการ เหตุการณ์ D Limit Switch Failure

ค่า Failure Rate (FR) หรือ Failure/year หรือของ Limit Switch failure = 0.036

ดังนั้นค่าของความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการ $R(t) = e^{-\mu t}$

$$R_D(t) = 1 - e^{-0.036(1)}$$
$$R_D = 0.96$$

ช่วงเวลาก่อนที่จะเกิดการเสียหายของ Limit Switch หาได้จาก

$$MTBF = \frac{1}{\mu}$$
$$= \frac{1}{0.036}$$
$$= 27.77 \text{ ปี}$$

โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Failure Probability) ของ Limit Switch

จากสมการ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$$F_D(t) = 1 - R_D(t)$$
$$= 1 - 0.99$$
$$F_D = 0.04$$

การคำนวณตามสมการ เหตุการณ์ E คนขับอ่านค่าผิดพลาด (Reading of Lables) ซึ่งมีค่า Failure Rate (FR) หรือ Failure/Year หรือ = 0.003

ดังนั้นค่าของความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการ $R(t) = e^{-\mu t}$

$$R_E(t) = e^{-0.003(1)}$$
$$R_E = 0.997$$

โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Failure Probability)

จากสมการ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$$F_E(t) = 1 - R_E(t)$$
$$= 1 - 0.997$$
$$F_E = 0.03$$

การคำนวณตามสมการ เหตุการณ์ F คนขับอ่านค่าผิดพลาด (Selection of hand Switch) ซึ่งมีค่า Failure Rate (FR) หรือ Failure/Year หรือ = 0.001

ดังนั้นค่าของความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการ $R(t) = e^{-\mu t}$

$R_F(t) = e^{-0.001(1)}$

$R_F = 0.999$

โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Failure Probability)

จากสมการ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$F_F(t) = 1 - R_F(t)$

$= 1 - 0.999$

$F_F = 0.01$

การคำนวณหาโอกาสการเกิดอุบัติเหตุและค่าความเชื่อมั่นของเหตุการณ์ Fault Event-B

การคำนวณตามสมการ เหตุการณ์ H ความผิดพลาดเฉพาะคนขับทำงานรีบเร่ง (Correct Action Under Stress in 60 Sec.) ซึ่งมีค่า Failure Rate (FR) หรือ Failure/Year หรือ $\mu = 0.2$

ดังนั้นค่าของความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการ $R(t) = e^{-\mu t}$

$R_H(t) = e^{-1.0(1)}$

$R_H = 0.368$

โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Failure Probability)

จากสมการ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$F_H(t) = 1 - R_H(t)$

$= 1 - 0.368$

$F_H = 0.632$

การคำนวณหาโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ และค่าความเชื่อถือ ของเหตุการณ์ Fault Event-2

คำนวณหาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุจากการตกจากที่สูง ซึ่งผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสปฏิบัติงานผิดพลาด (Human Error) โดยมีเหตุการณ์พื้นฐาน คือ เหตุการณ์ J และ K ซึ่งต้องคำนวณหาค่าโอกาสการเกิดอุบัติเหตุและค่าความน่าเชื่อถือ

การคำนวณตามสมการ เหตุการณ์ J ผู้ปฏิบัติงานไม่คล้องเข็มขัดนิรภัย (Safety Belt) ซึ่งมีค่า Failure Rate (FR) หรือ $\mu = 0.9$

ดังนั้นค่าของความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการ $R(t) = e^{-\mu t}$

$$R_J(t) = e^{-0.9(1)}$$
$$R_J = 0.406$$

โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Failure Probability)

จากสมการ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$$F_J(t) = 1 - R_J(t)$$
$$= 1 - 0.406$$
$$F_J = 0.594$$

การคำนวณตามสมการ เหตุการณ์ K ผู้ปฏิบัติงานไม่ทำราวกันตก (Hand Rail) ซึ่งมีค่า Failure Rate (FR) หรือ $\mu = 0.9$

ดังนั้นค่าของความเชื่อมั่น (Reliability) จากสมการ $R(t) = e^{-\mu t}$

$$R_k(t) = e^{-0.9(1)}$$
$$R_k = 0.406$$

โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Failure Probability)

จากสมการ $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$F_k(t) = 1 - R_k(t)$

$= 1 - 0.406$

$F_k = 0.594$

ภาคผนวก ง

รายละเอียดระบบที่ใช้ในการก่อสร้างคานรูปกล่อง

ระบบที่ใช้ในการก่อสร้างคานรูปกล่อง

เนื่องจากการก่อสร้างคานรูปกล่องในโครงการทางยกระดับคลองภาษีเจริญและส่วนต่อเนื่องตอนที่ 2 ต้องก่อสร้างผ่านสภาพที่ที่แตกต่างกันทำให้ วิธีการก่อสร้างคานรูปกล่องต้องปรับเปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่นั้นๆ เช่น ส่วนที่อยู่บนฝั่งกรุงเทพมหานครจะดำเนินการก่อสร้างโดย วิธีติดตั้งนั่งร้าน และแบบหล่อ (Scaffold & Formwork) ส่วนที่อยู่บนฝั่งธนบุรี จะดำเนินการก่อสร้างโดยใช้ Launcher ประกอบด้วยการหล่อ Advance Segment ส่วนสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาจะก่อสร้างโดย วิธี Cast in-situ Segment Balance Cantilever จากที่กล่าวมาวิธีการก่อสร้างคานรูปกล่องในโครงการนี้มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีรายละเอียดในการทำงานที่แตกต่างกันไป จึงขอกล่าวแยกดังนี้คือ

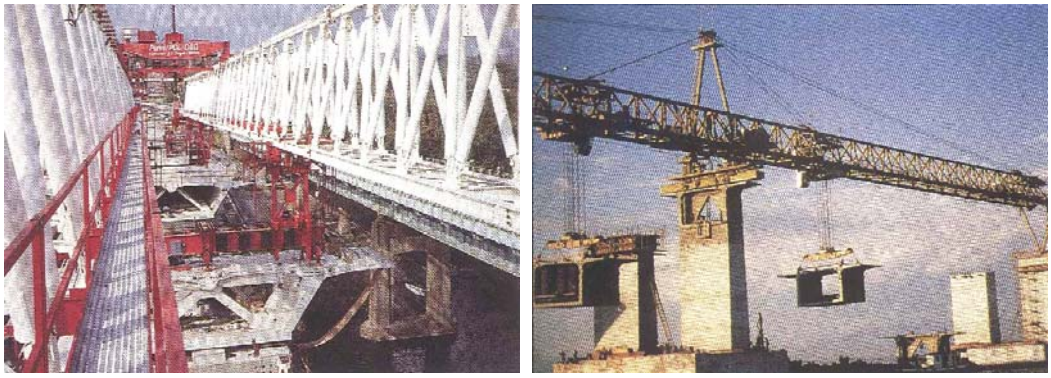
ระบบ Advancing Shoring System (ASS)

Advancing Shoring System (ASS.) เป็นวิธีการก่อสร้างทางยกระดับแบบหล่อในที่ Span by Span โดย Launcher จะทำหน้าที่รับน้ำหนักจากแบบหล่อและโครงสร้างส่วนบนทั้งหมด (Box-Girder) ในขณะที่ทำการก่อสร้าง และเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ จะสามารถเคลื่อนตัวไปก่อสร้าง Span ถัดไป ได้โดยไม่ต้องมีการรื้อย้ายแบบหล่อและค้ำยัน ซึ่งจะมีความคล่องตัวมากในการเคลื่อนอีกทั้งการหล่อในที่ด้วย Launcher จะได้ชิ้นงานที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้ง Span ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความสวยงามทั้งรูปร่างและผิวคอนกรีต

1. ชนิดของ Launcher

Launcher ที่ใช้ในการก่อสร้างทางยกระดับแบ่งตามรูปแบบการก่อสร้าง ได้ดังนี้

1.1 Launcher สำหรับระบบหล่อเสร็จชนิดหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลัง(Pre-cast Segmental Concrete Box-Girder)มีลักษณะการทำงานโดย ใช้ Main Girder ที่วางพาดบนโครงสร้างส่วนบนระหว่างช่วงเสา เพื่อยก Pre-cast Segment ขึ้นเรียงตามแนวทางยกระดับแล้วทำการดึงลวดอัดแรง (Post-Tension)

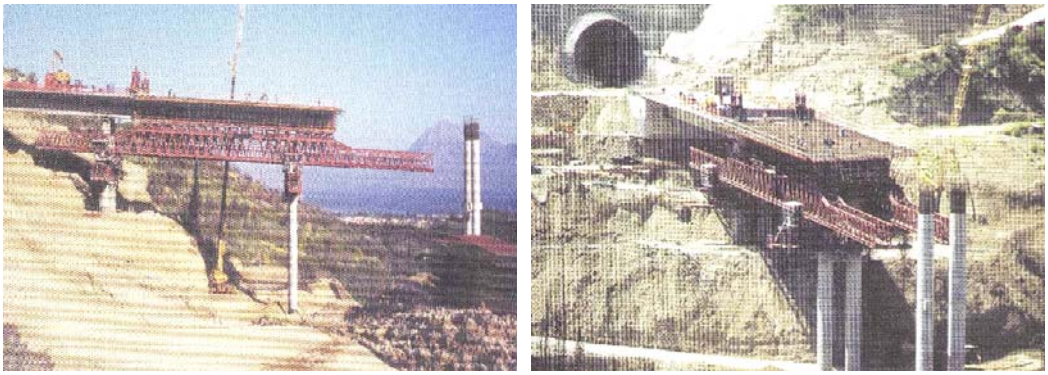


ภาพผนวกที่ ง1 Launcher สำหรับระบบหล่อเสร็จ ชนิดหล่อเสร็จดึงลวดภายหลัง (Pre-cast Segmental Concrete Box-Girder)

1.2 Launcher สำหรับระบบหล่อในที่ชนิดหล่อในที่ชนิดหล่อเสร็จดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Cast-in-Place Concrete Box-Girder) มีลักษณะการทำงานโดยใช้ Main Girder ที่วางพาดบนโครงสร้างส่วนบนระหว่างช่วงเสา ยกแบบหล่อคอนกรีต (Formwork) เรียงต่อกันเพื่อหล่อคอนกรีตในที่แล้ว จึงทำการดึงลวดอัดแรง (Post-Tension) ซึ่งแบ่งตามรูปแบบของการติดตั้ง 3 รูปแบบ คือ

1.2.1 Below Running Type

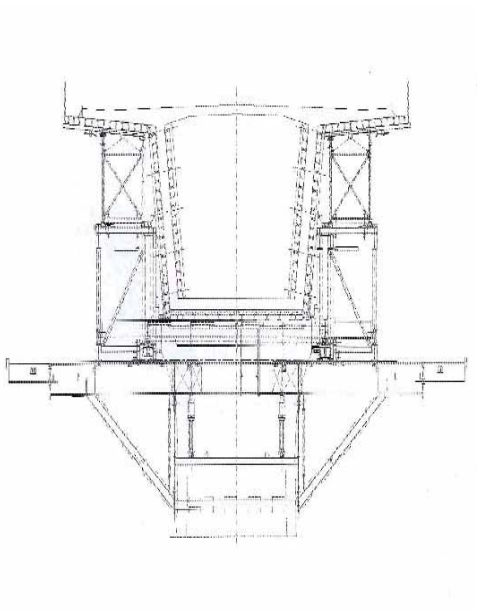
Launcher แบบ Below Running ตัว Main Girder จะรองรับอยู่ด้านล่าง Formwork โดยเมื่อจะทำการเลื่อน Launcher ตัว Formwork จะแยกตัวออกจากกันบนคานซึ่งอยู่บน Main Girder และตัว Main Girder เองยังสามารถเลื่อนตัวบนPier Brackets ได้อีกด้วย



ภาพผนวกที่ ง2 Launcher แบบ Below Running Type

1.2.2 Center Running Type

Formwork ของ Launcher แบบ Center Running จะอยู่ระหว่าง Main Girder ซึ่งจะเป็นตัวรองรับ Formwork แต่ละข้างเมื่อจะทำการเลื่อน Launcher ตัวFormworkและ Main Girder จะเลื่อนตัวออกพร้อมกันบน Support Beam วิธีการนี้จะเหมาะสำหรับงานโครงสร้างส่วนบนที่มีความสูงน้อยเกินกว่าจะใช้แบบ Below Running



ภาพผนวกที่ ง3 Launcher แบบ Center Running Type

1.2.3 Top Running Type

Launcher แบบ Top Running ตัว Main Girder จะวางอยู่บนโครงสร้างส่วนบนระหว่างช่วงเสาโดยจะมี Hanger Frame และ Hanger Rod เป็นตัวหิ้ว Formwork ที่อยู่ด้านล่าง เมื่อจะทำการเลื่อน Launcher ก็จะทำการเลื่อน Formwork ออกจากกันบนขาของ Hanger Frame วิธีนี้จะใช้กับโครงสร้างส่วนบนที่มีความสูงจำกัด อีกทั้งยังสามารถทำหลังคาคลุมป้องกันแดดและฝนได้อีกด้วย

ภาพผนวกที่ ง4 Launcher แบบ top Running Type

2. ส่วนประกอบหลักของ Launcher

เนื่องด้วยโครงการทางยกระดับคลองภาษีเจริญและส่วนต่อเนื่อง ตอนที่ 2 เลือกใช้ Launcher แบบ Top Running Type ดังนั้นจึงขอนำเสนอเฉพาะ Launcher ชนิดนี้

ภาพผนวกที่ ง5 Launcher แบบ Top Running Type ที่ใช้ในโครงการทางยกระดับคลองภาษีเจริญ และส่วนต่อเนื่อง ตอนที่ 2

ส่วนประกอบหลักของ Launcher ชนิด Top Running

1) Main Girder

Main Girder เป็นคานหลักที่พาดบนโครงสร้างส่วนบนระหว่างช่วงเสา เพื่อรองรับน้ำหรับการเทคอนกรีต, แบบหล่อและ Hanger Frame เพื่อถ่ายน้ำหนักลงบน Roller Support มีลักษณะเป็นโครง Truss ประกอบจากเหล็กรูปตัว H เป็นส่วนใหญ่ ขนาดกว้าง 3.00 เมตร สูง 3.75 เมตร ยาวรวม 86.35 เมตร

2) Hanger Frame

Hanger Frame จะประกอบด้วย Top Beam, Vertical Beam และ Bottom Beam ซึ่งจะเป็นตัวรับน้ำหนักจาก Formwork ขณะ Launcher เคลื่อนตัว นอกจากนี้ส่วนของ Top Beam ยังเป็นตัวรองรับ Hanger Rod ซึ่งหิ้ว Formwork ขณะเทคอนกรีตเพื่อถ่ายน้ำหนักลง Main Girder อีกด้วย ที่ Vertical Beam และ Bottom Beam จะมีลูกล้อรองรับสำหรับเลื่อน Formwork เข้า-ออกและรับ Formwork ขณะ Launcher เลื่อนตัว

3) Outer Formwork

Outer Formwork จะแบ่งออกเป็นช่วงๆ โดยมีความกว้าง 2.53 เมตร โดยแต่ละช่วงจะสามารถแยกออกจากกันได้บริเวณตรงกลาง Outer Formwork แต่ละช่วง เมื่อเรียงตัวในแนวตรงจะมีช่องว่างระหว่าง Outer Formwork 5 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นระยะสำหรับปรับรูปแบบการวางตัวของ Outer Formwork เมื่อจะทำการก่อสร้าง Box-Girder ในแนวโค้ง โดยช่องว่างนี้จะถูกปิดด้วยแถบแผ่นเหล็กหนา 4 มิลลิเมตร กว้าง 12 เซนติเมตร ซึ่งเรียกว่า Stripplate ที่บริเวณปีกของ Box-Girder ช่วงปลายสุดของ Outer Formwork จะเว้าเป็นช่องขนาดใหญ่ จะถูกปิดไว้ด้วยแบบเหล็กขนาดพอดีช่อง ซึ่งจะใช้เป็นตัวปรับเมื่อมีการก่อสร้างในช่วงที่มีความโค้งมากๆ โดยจะทำการปรับขนาดแบบเหล็กเล็กหรือใหญ่ตามกำหนด แบบเหล็กส่วนนี้เรียกว่า Recess Formwork

4) Working Platform

Working Platform มีลักษณะเป็นกระเช้าแขวนกับ Bottom Beam ของ Hanger Frame ใต้ Outer Formwork เพื่อใช้เป็นพื้นที่สำหรับทำงาน จุดแขวนมีลักษณะเป็นล้อสามารถเลื่อนเข้า-ออก ได้ เช่นเดียวกับ Outer Formwork

5) Roller Support

Roller Support เป็นอุปกรณ์สำคัญยิ่งในการเลื่อนตัว Launcher ฐานมีลักษณะเป็น Support Frame เหล็ก H-Beam ใช้ยึดบน Cross Head และรองรับชุดลูกล้อ ซึ่งสามารถเลื่อนตัวไปด้านข้าง ใช้ในกรณีปรับแนว Launcher สำหรับการก่อสร้าง Box-Girder ในแนวโค้ง ชุดลูกล้อจะประกอบด้วยลูกล้อเหล็กจำนวน 8 ตัวต่อหนึ่งชุด แต่ละล้อสามารถรับน้ำหนักได้ 50 ตัน ซึ่งจะเป็นตัวรองรับน้ำหนักจาก Launcher ในขณะเลื่อนตัว

6) อุปกรณ์รอกไฟฟ้า

รอกไฟฟ้า 1.5 Ton จะติดตั้งใต้ราง ซึ่งแขวนไว้กับ Top Beam ของ Hanger Frame ข้าง Main Girder ข้างละ 2 ตัว รอกไฟฟ้ามีประโยชน์อย่างยิ่งในการยกลำเลียงวัสดุ-อุปกรณ์ ที่ใช้ในการก่อสร้าง Box-Girder เช่น เหล็กเส้น, อุปกรณ์งาน Post-Tension, งานลำเลียงติดตั้งและรื้อถอน Inner Web Formwork และ Desk Slab Formwork งานยก Hydraulic Jack สำหรับงานดึงลวดอัดแรง เป็นต้น

3. อุปกรณ์สำหรับการเลื่อน Launcher

Launcher ที่ใช้ในโครงการถูกออกแบบให้ใช้ระบบ Hydraulic System ในการขับเคลื่อน และในขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ Hydraulic Jack และ Hydraulic Pump แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

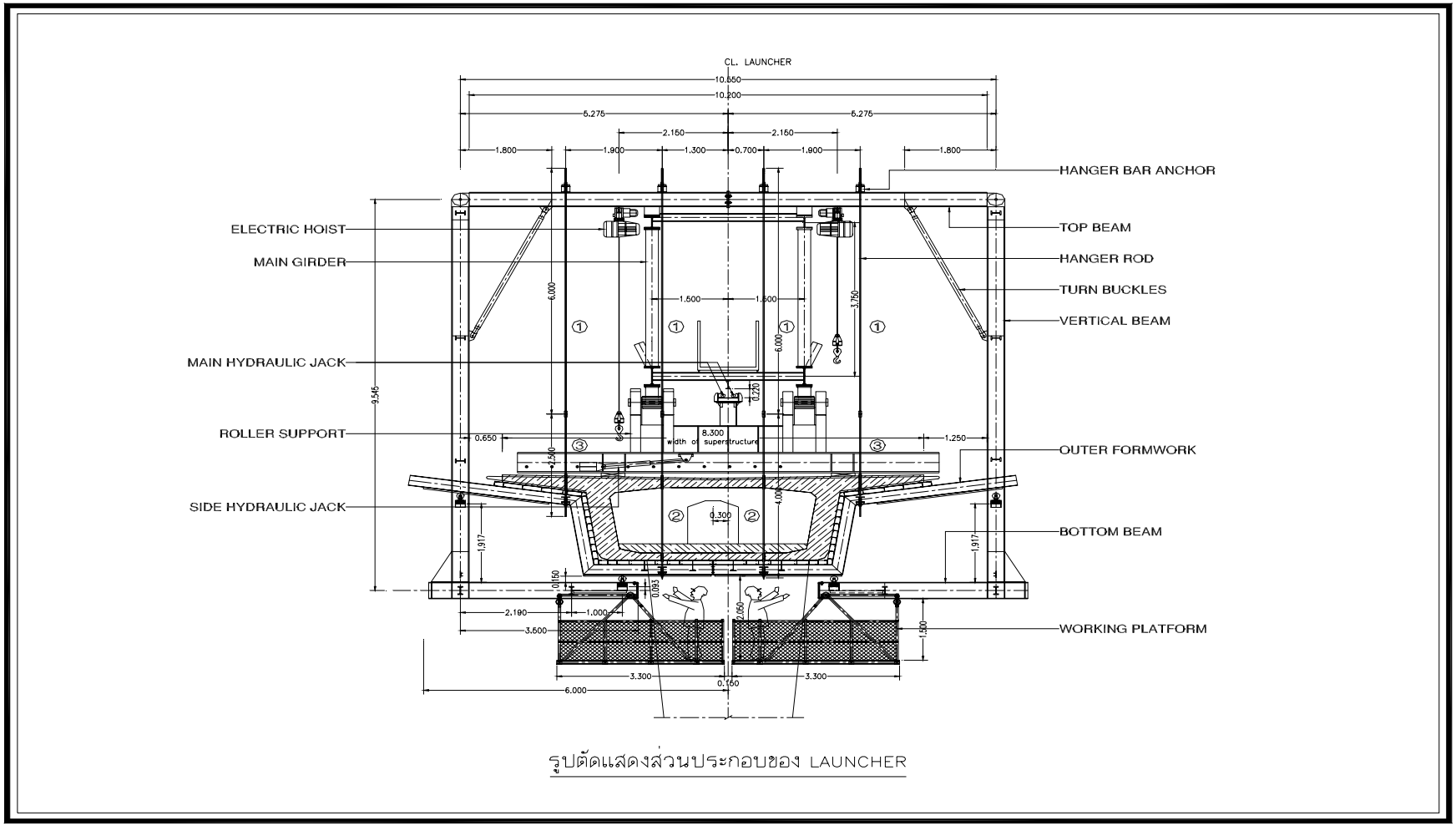
1) Supporting Hydraulic jack ขนาด 350 Ton ติดตั้งใน Roller Support ชุดละ 2 ตัว ทำหน้าที่ใช้ยกและ ลดระดับ Launcher

2) Main Hydraulic Jack (Longitudinal Jack) ขนาด 60 Ton จะติดตั้งบริเวณตรงกลางส่วนบนของ Roller Support กับ Main Girder ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อน Launcher ซึ่งจะยึดติดกับที่ที่โครงเหล็กบน Roller Support แล้วใช้ดันกับรางใต้ Main Girder ที่ละ Strock

3) Side Hydraulic Jack (Transverse Jack) ขนาด 30 Ton ติดตั้งกับที่บริเวณฐานส่วนล่างของ Roller Support เพื่อใช้เลื่อนชุดลูกล้อเหล็กส่วนบนของ Roller Support ไป-กลับ ทางด้านข้าง เพื่อใช้ปรับแนวของ Launcher ให้วางตัวในตำแหน่งตามแบบที่กำหนดโดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้สำหรับปรับแนว Launcher เพื่อทำการก่อสร้างทางยกระดับที่อยู่ในแนวโค้ง

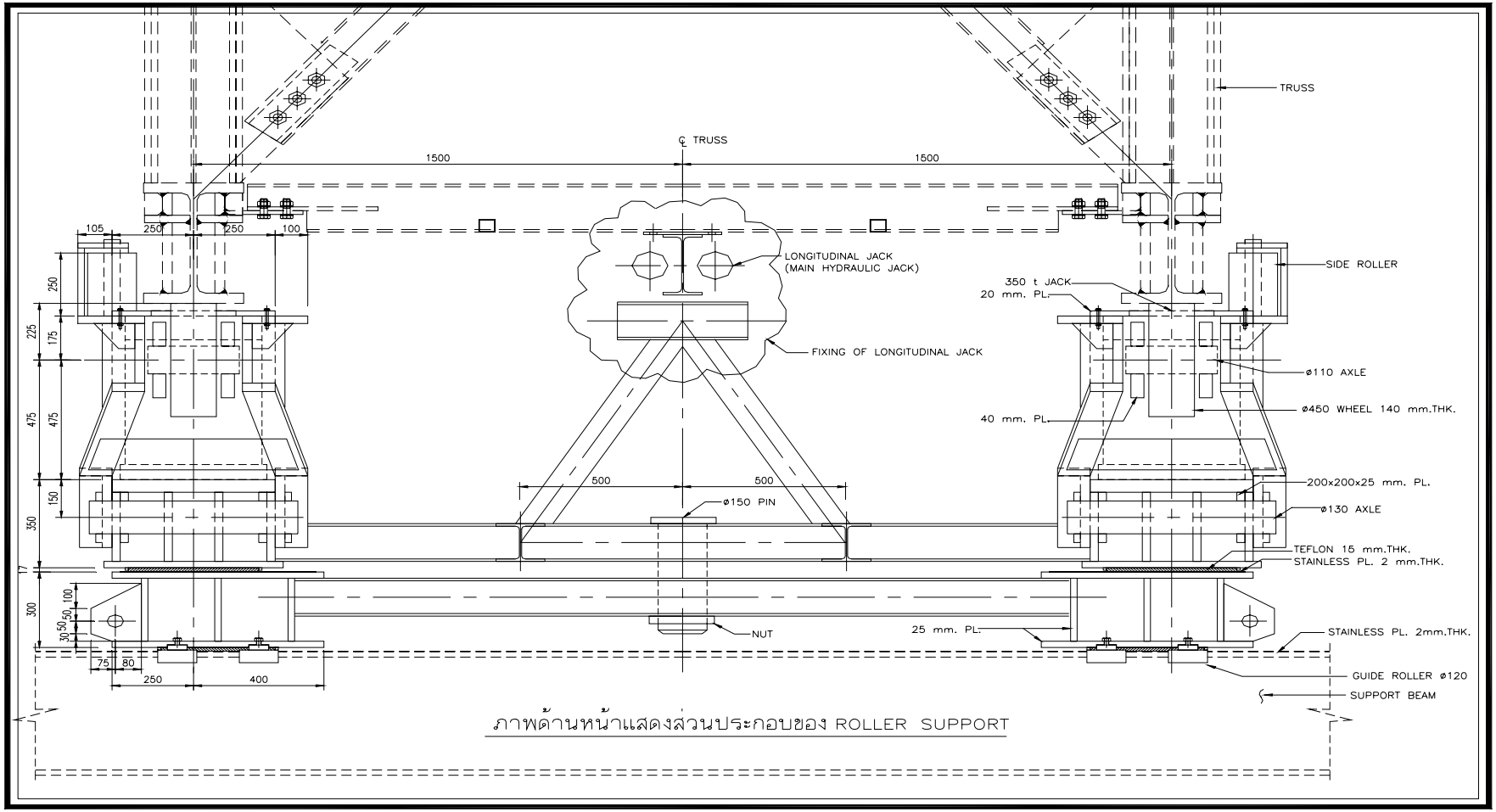
4) Breaking Hydraulic Jack เป็นอุปกรณ์พิเศษที่ใช้เพื่อความปลอดภัยสำหรับป้องกันการไหลตัวกลับของ Launcher กรณีการเลื่อนขึ้นเนิน (Up Slope) หรือ ลงเนิน (Down Slope) จะติดตั้งบริเวณเดียวกับ Main Hydraulic Jack แต่ในทิศทางตรงกันข้าม มีจังหวะการล็อคและปลดล็อค สลับกับ Main Hydraulic Jack ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

นอกจากการใช้ระบบเบรคตามข้างต้นแล้ว หน่วยงานยังได้คิดวิธีป้องกันการเลื่อนตัวกลับของ Launcher ป้องกันอีกชั้นหนึ่ง โดยการทำเป็นระบบค้ำยัน ยึดกับที่บนพื้นบนของ Box-Girder ที่หล่อแล้วเสร็จและส่วนบนทำเป็น รู Slot ใช้ยึดรั้งที่รางใต้ Main Girder

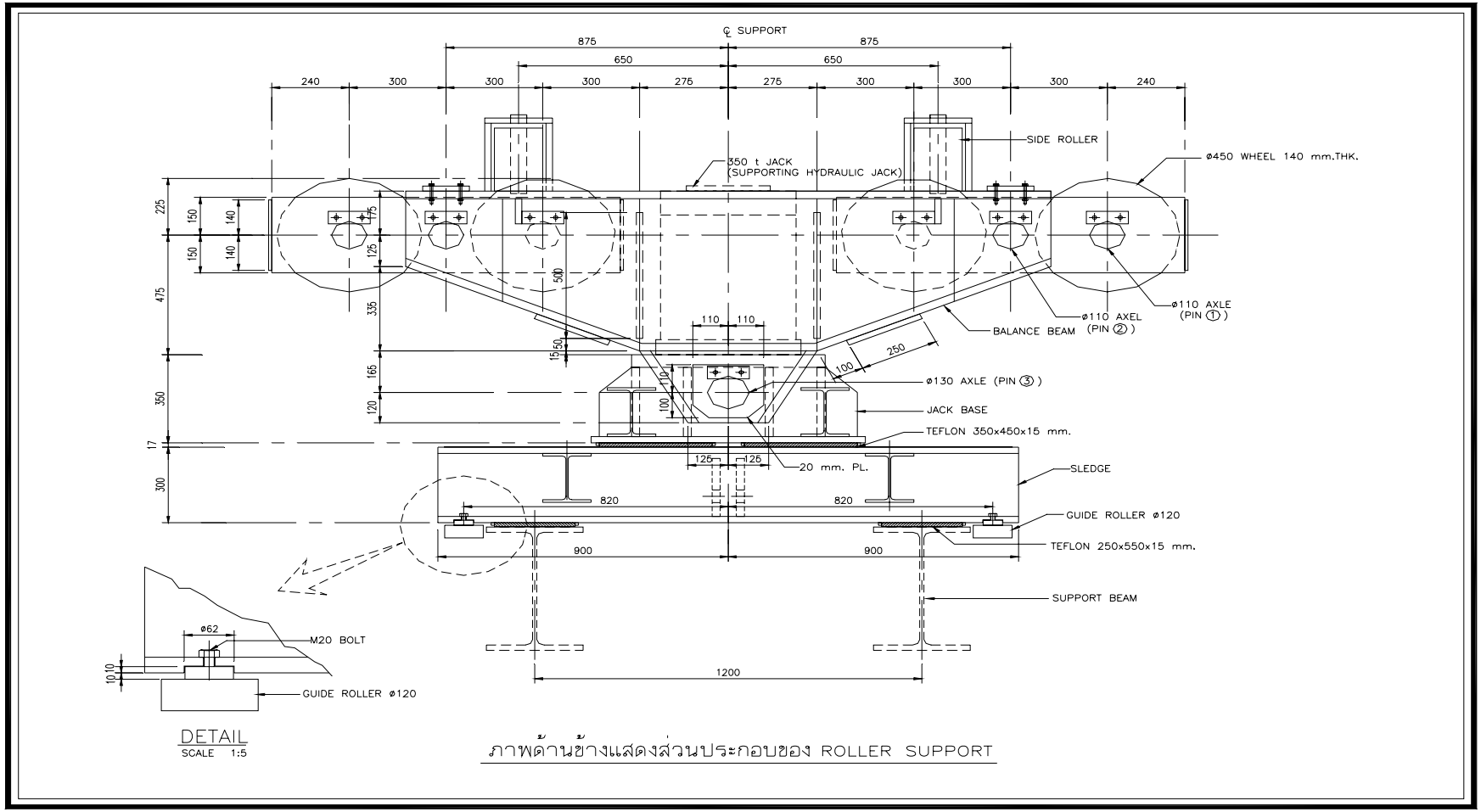


รูปตัดแสดงส่วนประกอบของ LAUNCHER

ภาพผนวกที่ ง6 รูปตัดแสดงส่วนประกอบของ LAUNCHER



ภาพผนวกที่ ง7 ภาพด้านหน้าแสดงส่วนประกอบของ ROLLER SUPPORT



ภาพด้านข้างแสดงส่วนประกอบของ ROLLER SUPPORT

ภาพผนวกที่ ง8 ภาพด้านข้างแสดงส่วนประกอบของ ROLLER SUPPORT

4. การติดตั้ง Launcher

ทำการติดตั้ง Launcher โดยทำการหล่อ Box-Girder ในที่ โดยการใช้ระบบนั่งร้านจำนวน 1 Span เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการก่อสร้าง Span ถัดไปทั้งสองด้านและใช้เป็นฐานรองรับการประกอบ Main Girder ซึ่งเมื่อเทคอนกรีตและดึงลวดอัดแรงแล้วเสร็จ จะทำการรื้อระบบนั่งร้านทั้งหมดออก แต่ตัว Formwork จะยึดติดกับ Box-Girder ที่ก่อสร้างเสร็จ เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งบน Hanger Frame ภายหลัง

ภาพผนวกที่ ง9 การติดตั้งแบบหล่อและติดตั้งเหล็กเสริม Bottom Slab Web ของการก่อสร้าง Box-Girder Span แรก โดยใช้ระบบนั่งร้าน

ภาพผนวกที่ ง10 การติดตั้ง Inner Web Formwork และเทคอนกรีต Bottom Slab และ Web

ภาพผนวกที่ ง11 การติดตั้งเหล็กเสริมและเทคอนกรีต Deck Slab

4.1 การติดตั้ง Main Girder

Main Girder จะประกอบเป็นท่อนๆ จากโรงงานรวมทั้งสิ้น 6 ท่อน คือ A, B&C, D&E, F, G และ H รายละเอียดตามแบบแนบ การประกอบส่วนแรกบน Box-Girder ที่ก่อสร้างไว้ 1 Span จะใช้ประกอบได้เฉพาะ 4 ท่อนกลาง (B&C, D&E, F และ G) เนื่องจากความยาวของ Box-Girder จำกัด โดยเริ่มจากการวาง Temporary Support จำนวน 5 ชุด ตรงตำแหน่งที่กำหนดเพื่อรองรับ Main Girder เพื่อประกอบ Bolt & Nut แล้วใช้ Mobile Crane 160 ตัน ทำการยก Main Girder แต่ละท่อนขึ้นวางบน Temporary Support ตามลำดับแล้วจึงประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมด ส่วน Nose และ Tail (A และ H) ซึ่งจะยื่นออกมานอก Box-Girder จะใช้ Mobile Crane 160 Ton ทำการยกแล้วประกอบเข้ากับ Main Girder ที่ประกอบบน Box-Girder ไว้แล้วจนแล้วเสร็จทั้ง 2 ด้าน และทำการติดตั้ง Roller Support เข้าตำแหน่งเพื่อรองรับ Main Girder แทน Temporary Support

ในการประกอบ Main Girder เข้าด้วยกันนั้นมีขั้นตอนการทำงานค่อนข้างละเอียด อาทิเช่น การประกอบแผ่นเหล็กประกับรูปตัวไอ (I) จะต้องแนบสนิทและเข้าล็อคพอดี ถ้ามีช่องว่างต้องทำการสอดแผ่นเหล็กให้เต็ม การขัน Bolt & Nut จะต้องได้ความแข็งแรงตามแบบกำหนด (Required Tightening Torgues) ความแข็งแรงของ Bolt & Nut นี้ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบอยู่เสมอ

ภาพผนวกที่ ง12 การติดตั้ง Temporary Support เพื่อรองรับส่วนของ Main Girder บน Box-Girder Span แรก

ภาพผนวกที่ ง13 การยกส่วนของ Main Girder ขึ้นวางบน Temporary Support เพื่อประกอบ

ภาพผนวกที่ ง14 การติดตั้ง Main Girder ท่อน Nose (A) ด้วย Mobile Crane

4.2 การติดตั้ง Hanger Frame

Hanger Frame เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ Launcher ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) Top Beam จะติดตั้งบน Main Girder โดยวางตำแหน่งที่กำหนดยึดประกอบด้วย Bolt & Nut ส่วนปลายของ Top Beam จะประกอบ Turn buckles ไว้เพื่อรอประกอบเข้ากับ Vertical Beam สำหรับปรับความดิ่งของ Vertical Beam ต่อไป

2) Vertical Beam จะติดตั้งบริเวณส่วนปลายสุดของ Top Beam แขวนลงมาเพื่อยึดกับ Bottom Beam ส่วนบนของ Vertical Beam จะยึดเข้ากับ Turn buckles ที่แขวนไว้กับ Top Beam บริเวณช่วงกลางของ Vertical Beam จะมีล้ออยู่ 2 ล้อ เพื่อใช้รองรับ Outer Fromwork และใช้เลื่อน Outer Formwork เข้า-ออก

3) Bottom-Beam จะติดตั้งบริเวณส่วนปลายของ Vertical Beam ในลักษณะตั้งฉากเพื่อรองรับ Outer Formwork และ Working Platform ส่วนด้านบนของ Bottom Beam จะมีลูกล้ออยู่ข้างละ 2 ล้อ เพื่อรองรับ Outer Formwork และใช้เลื่อนเข้า-ออก ลักษณะเดียวกับที่ Vertical Beam

4) Hanger Bar Anchor และ Hanger Rod / Hanger Bar Anchor จะพาดอยู่บน Top Beam จำนวน 4 แถว ต่อ Hanger Frame / Hanger Bar Anchor สามารถปรับแถวทางด้านข้างบน Top Beam เพื่อจัดแนว Outer Formwork ให้ได้ตามแบบก่อสร้าง Hanger Bar Anchor จะเป็นตัวแขวน Hanger Rod (High Tension Tread Bar)ซึ่งหิ้ว Formwork และรับน้ำหนักบรรทุกขณะเทคอนกรีต Box-Girder สามารถปรับระดับขึ้น-ลงได้โดยการขัน Spherical Nut & Washer (น็อตหัวกลม)

ขั้นตอนการติดตั้ง Hanger Frame

1) ทำการเลื่อน Main girder เพื่อให้ตำแหน่งของ Hanger Frame ตรงกับ Outer Formwork

2) ใช้ Mobile Crane 45 Ton ยก Top Beam ขึ้นติดตั้งบน Main Girder ตามตำแหน่งที่กำหนด ยึด Built & Nut แล้ว จึงประกอบ Turn buckles ที่ส่วนปลาย

3) ประกอบ Vertical Beam กับ Bottom Beam เข้าด้วยกัน แล้วใช้ Mobile Crane 45 Ton ยกขึ้นติดตั้งกับส่วนปลายสุดของ Top Beam ทั้งสองข้าง แล้วประกอบ Turn Buckles ที่ติดตั้งกับ Top Beam ไว้กับ Vertical Beam ปรับให้ได้แนวดิ่ง

4) ใช้ Mobile Crane 45 Ton ยก Hanger Bar Anchor วางพาดบน Top Beam พร้อมจัดแนวตามกำหนด แล้วติดตั้ง Hanger Rod ตำแหน่งตามแบบ

ภาพผนวกที่ ง15 การติดตั้ง Hanger Frame (Top Beam, Vertical Beam และ Bottom Beam)

ภาพผนวกที่ ง16 การติดตั้ง Hanger Bar Anchor และ Hanger Rod บน Top Beam ของ Hanger Frame

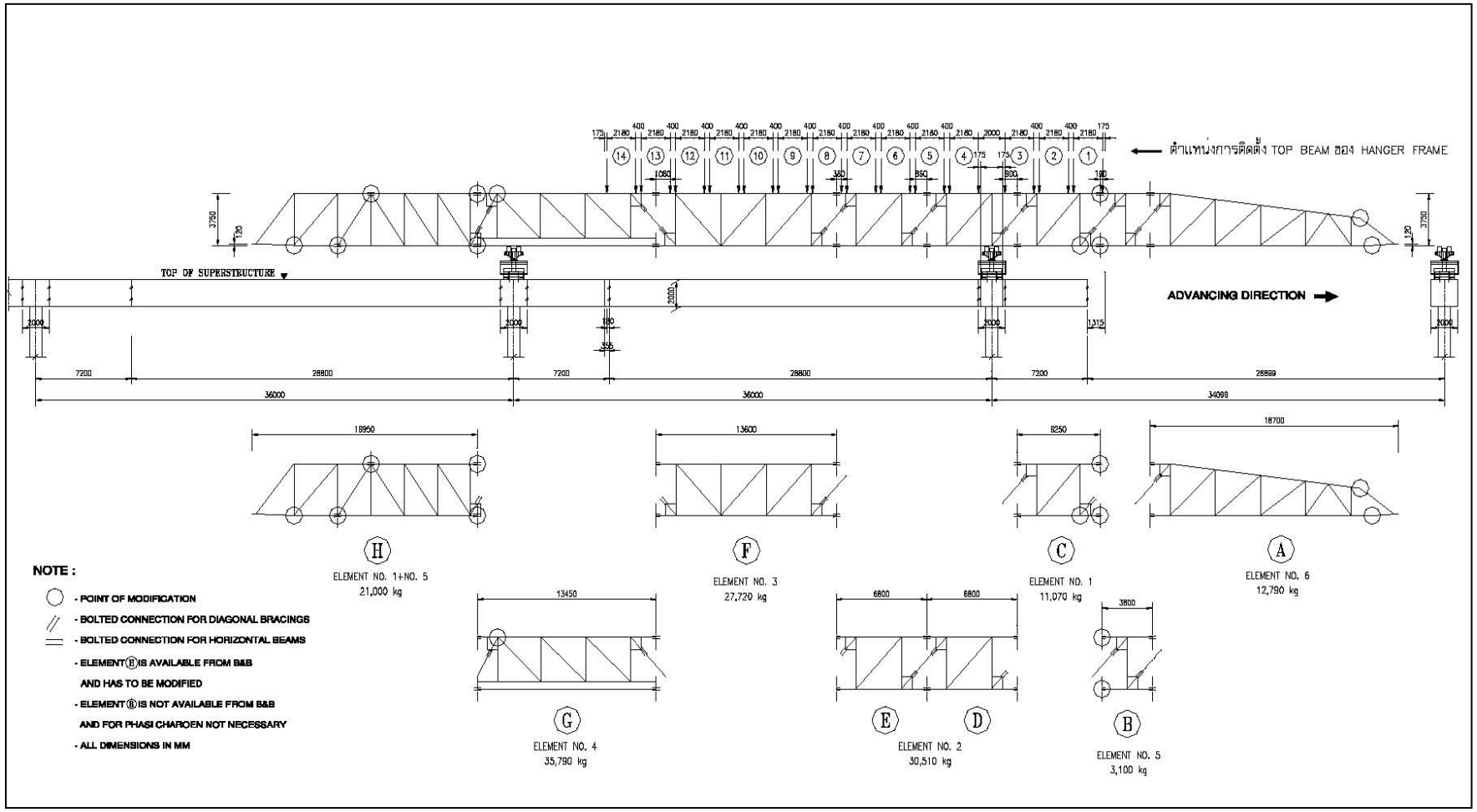
4.3 การติดตั้ง Outer Formwork

จากการที่ได้ยึด Outer Formwork ไว้กับ Box-Girder ที่เทไว้แล้วด้วย Thread Bar ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง Outer Formwork บน Hanger Frame ซึ่งเมื่อทำการติดตั้ง Hanger Frame แล้วเสร็จ ทำการปรับเลื่อนให้ ตรงตำแหน่ง Outer Formwork แล้วจึงลด Outer Formwork ลงวางบน Hanger Frame ใช้โซ่ล็อค ด้านหลัง Outer Formwork กับ Vertical Beam เพื่อป้องกัน Outer Formwork เลื่อนหลุดจาก Bottom Beam

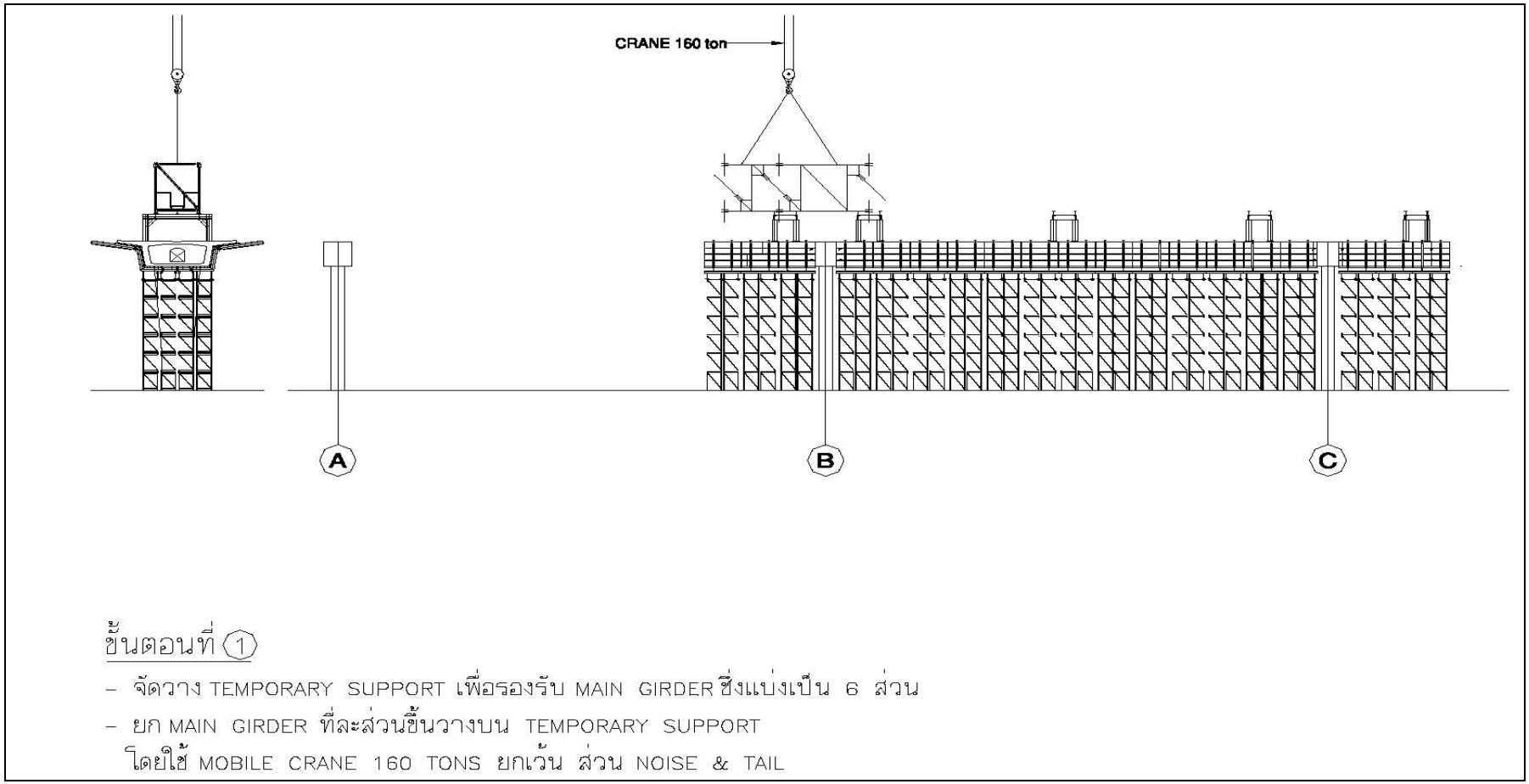
4.4 การติดตั้ง Working Platform

Working Platform มีลักษณะเป็นกระเช้า Support ด้านบนเป็นลูกล้อ ใช้แขวนยึดใต้ Bottom Beam ของ Hanger Frame ติดตั้งโดยการใช้รถบรรทุกติดเครน ยก Working Platform สอดแขวนกับ Bottom Beam ทีละข้าง พร้อมล็อครางไม่ให้เลื่อนหลุดออกมา

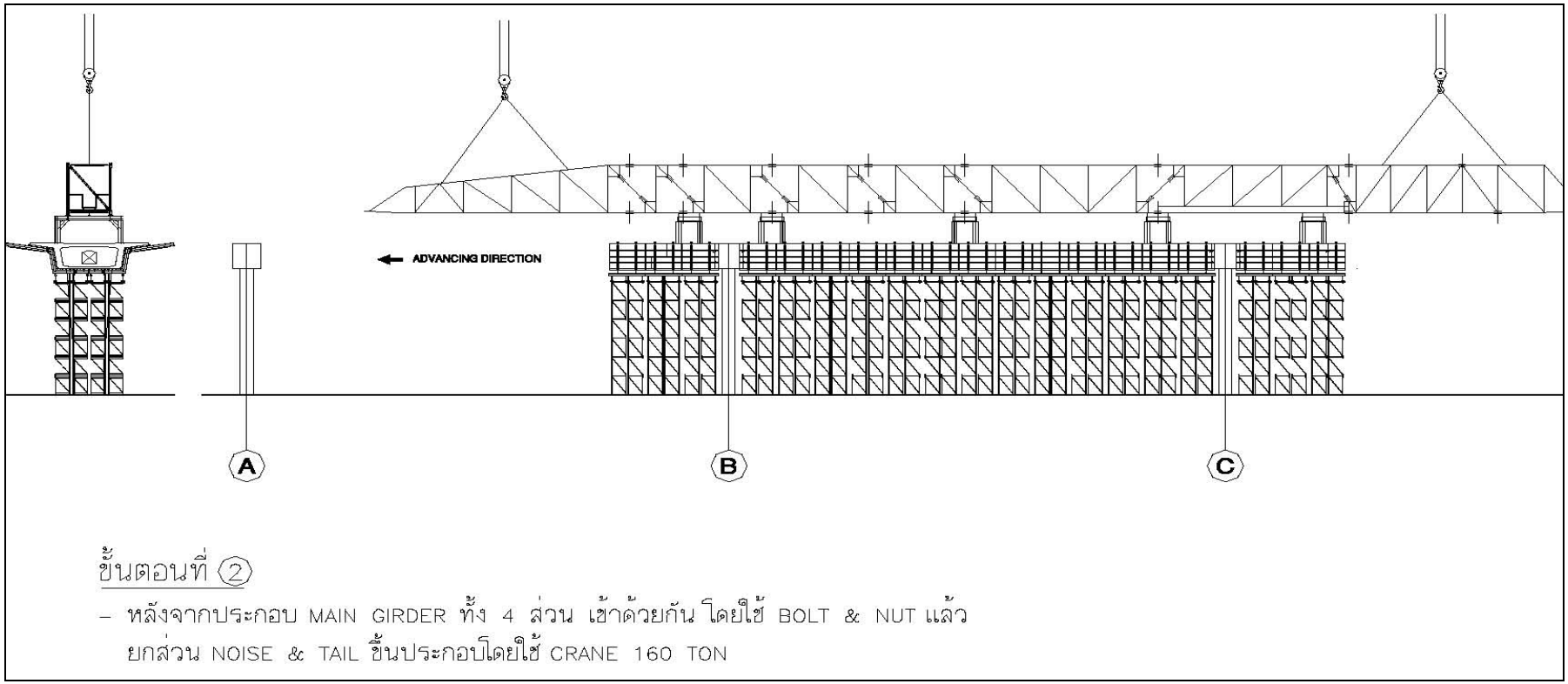
ภาพผนวกที่ ง17 การติดตั้ง Working Platform และการปลด Outer Formwork ลงวางบน Hanger Frame



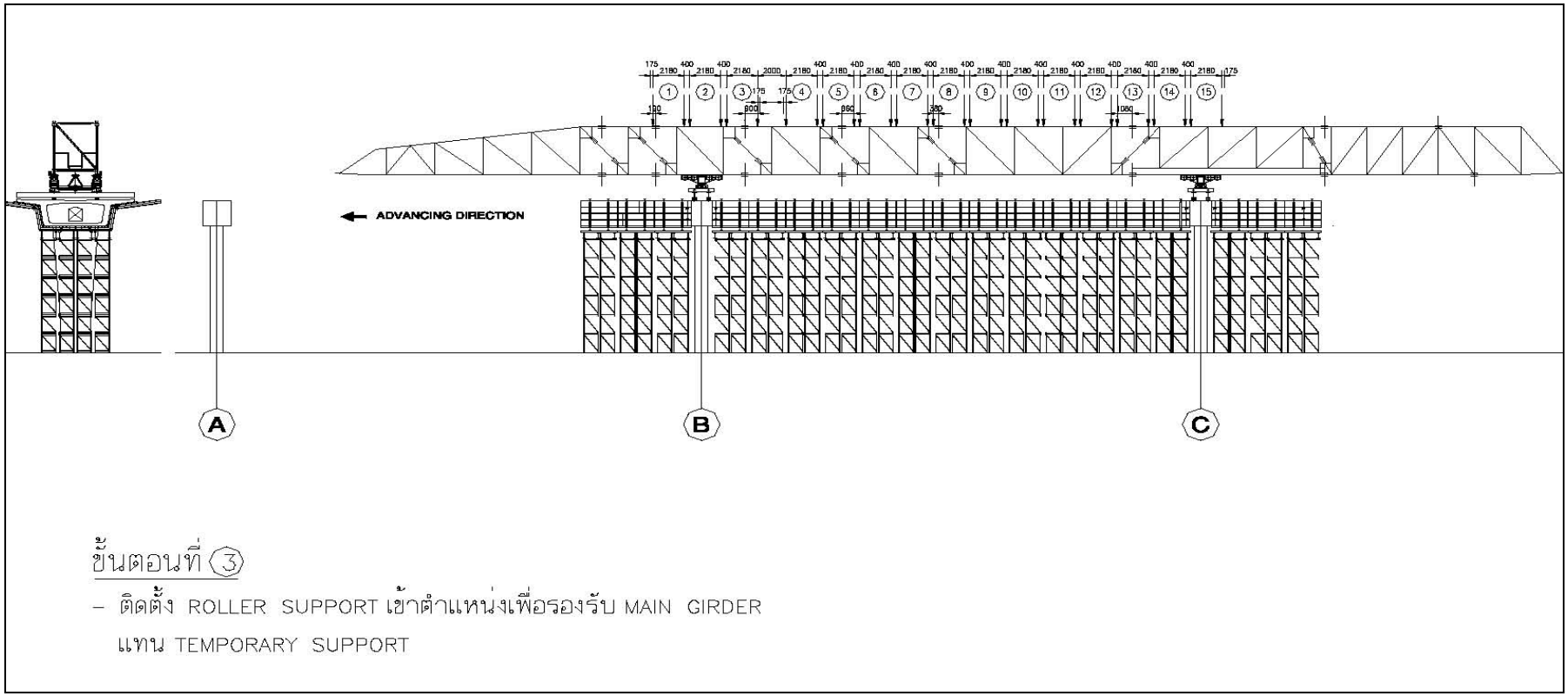
ภาพผนวกที่ ง18 แบบรายละเอียดแสดงชิ้นส่วน MAIN GIRDER เตรียมยกประกอบติดตั้ง



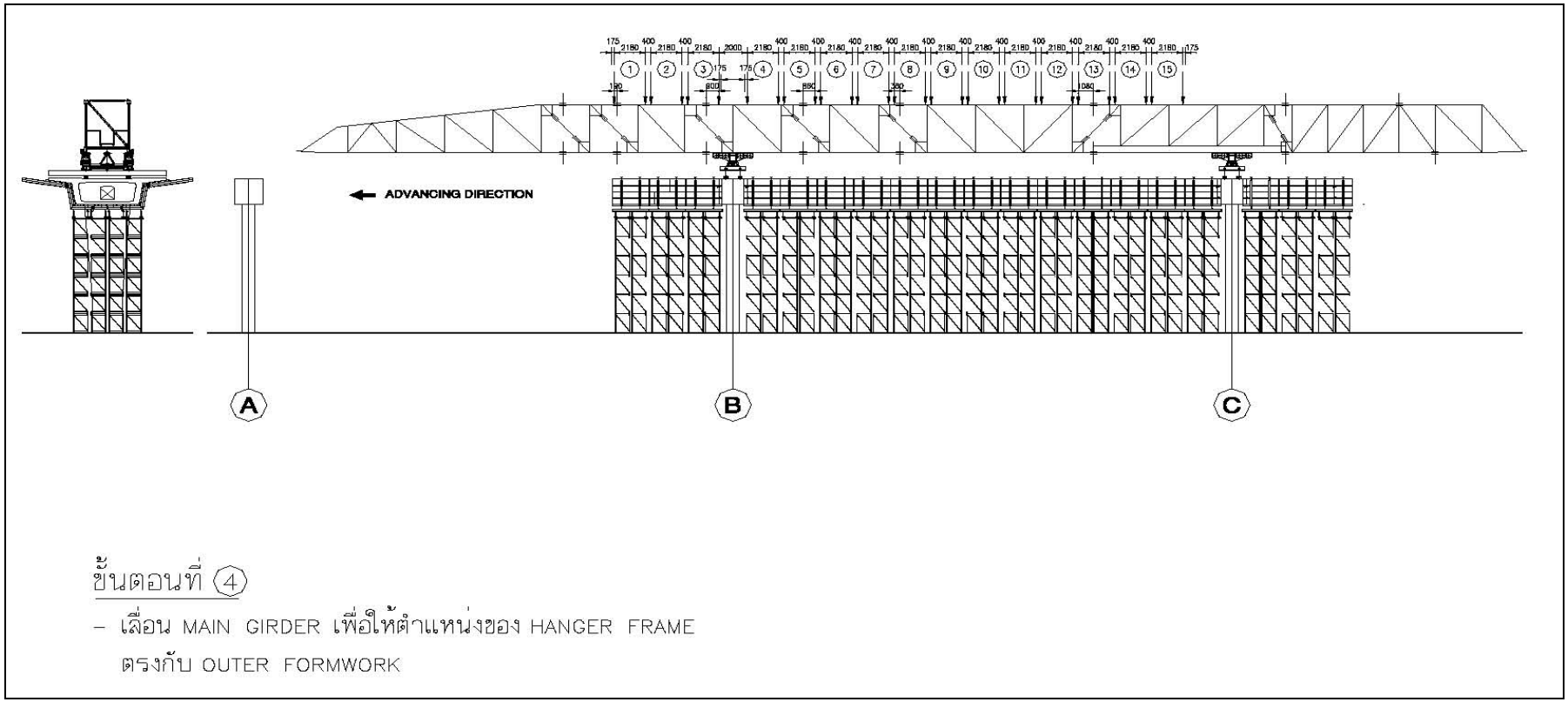
ภาพผนวกที่ ง19 ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-1



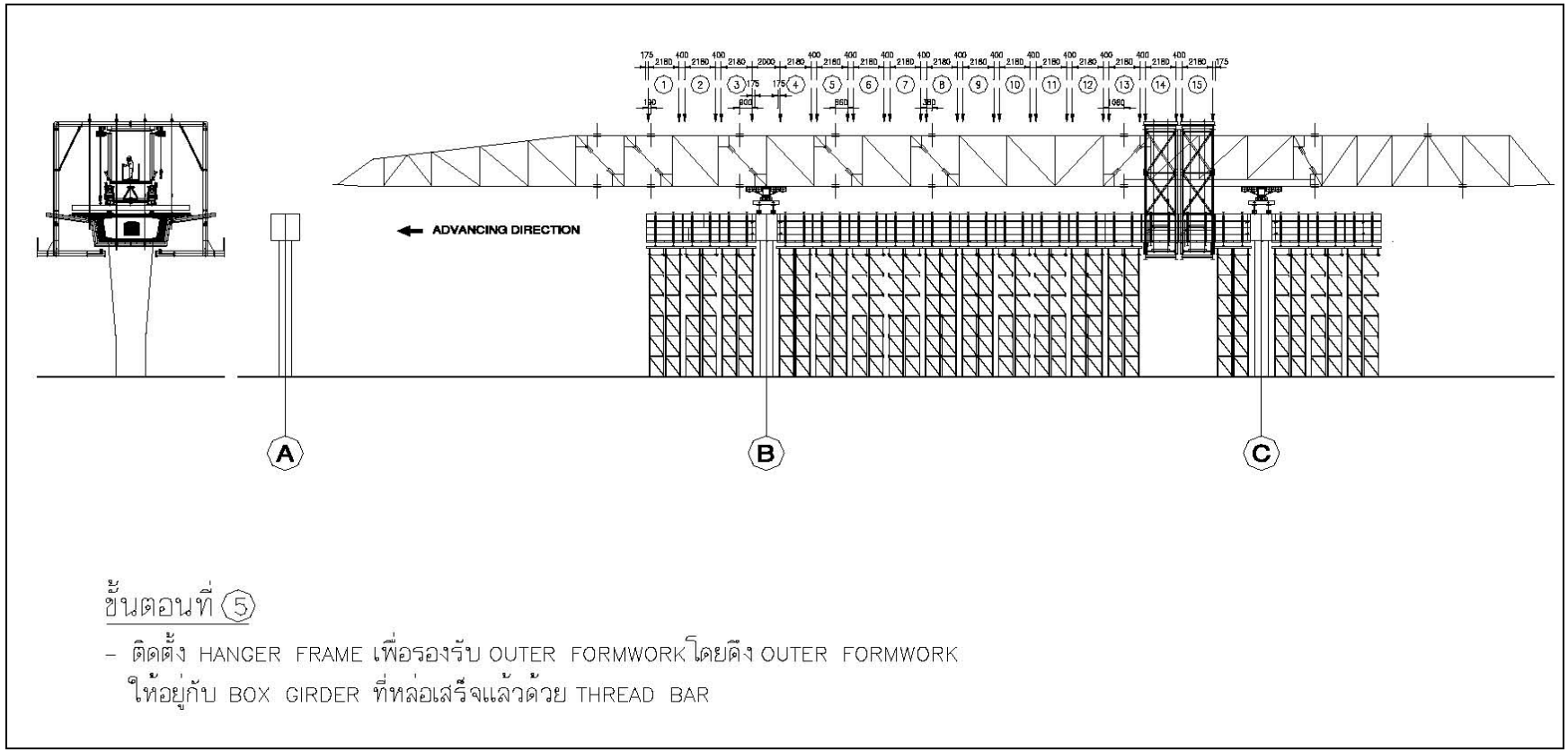
ภาพผนวกที่ ง20 ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-2



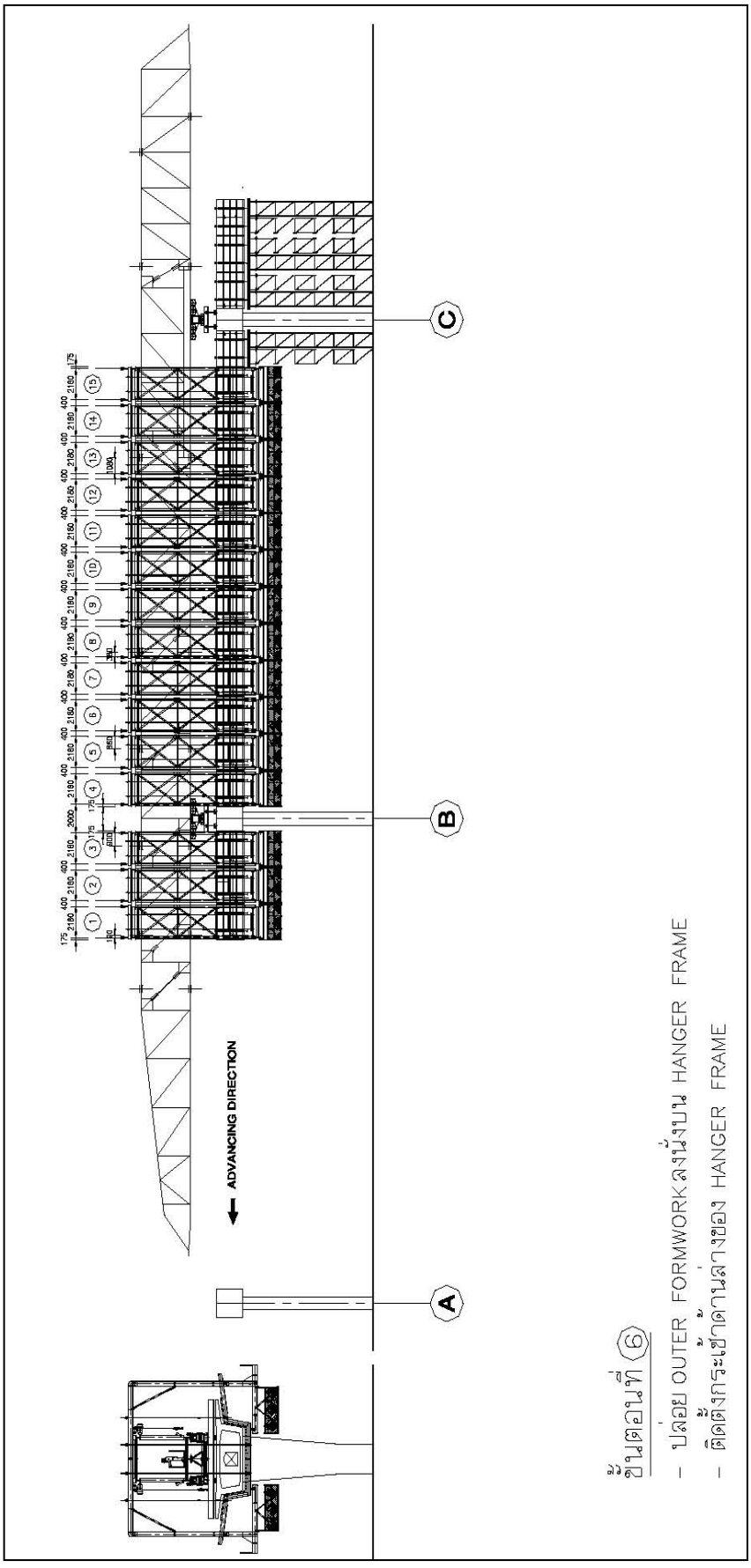
ภาพผนวกที่ ง21 ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-3



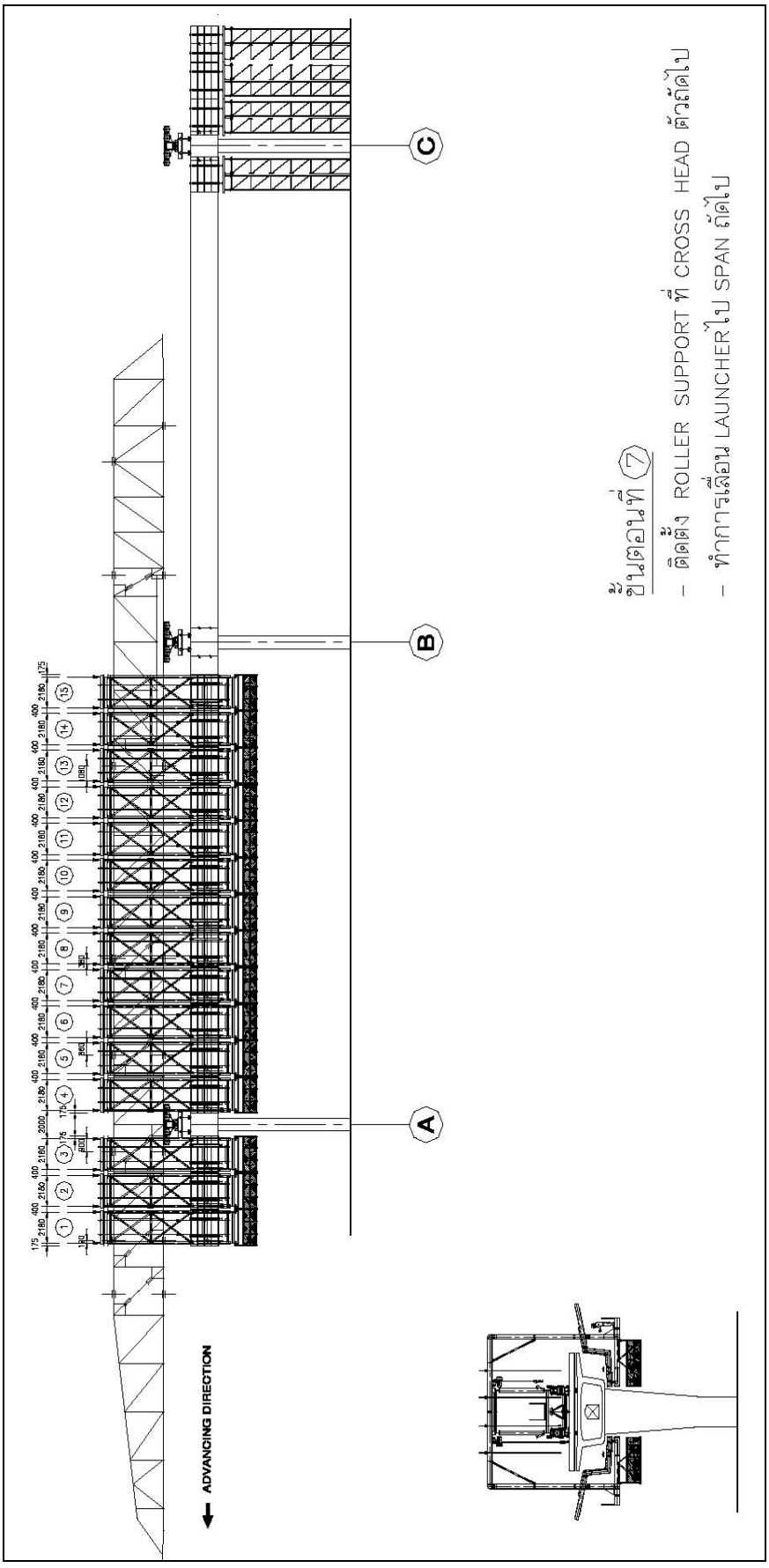
ภาพผนวกที่ ง22 ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-4



ภาพผนวกที่ ง23 ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-5



ภาพผนวกที่ 24 ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-6



ภาพผนวกที่ 325 ภาพแสดงการติดตั้ง MAIN GIRDER-7

5. ขั้นตอนการทำงานของ Launcher

5.1 ยก Roller Support ขึ้นติดตั้งบนคานหัวเสา (Cross Head) หรือ Advance Segment ที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ยึดฐานส่วนล่างของ Roller Support กับคานหัวเสา ต่อเชื่อมสายดิน ระหว่าง Roller Support กับเหล็กเสริมของคานหัวเสา ซึ่งมีลักษณะเป็นสายดินอยู่แล้ว เพื่อป้องกันไฟฟ้ารั่ว โดยบน Roller Support จะมี Supporting Hydraulic Jack ติดตั้งอยู่ตำแหน่งละ 2 ตัว เพื่อรองรับ Launcher ในขณะเทคอนกรีต ซึ่ง Hydraulic Jack แต่ละตัวสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 350 ตัน ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ภาพผนวกที่ ง26 การยก Roller Support ขึ้นไปติดตั้งบน Cross Head

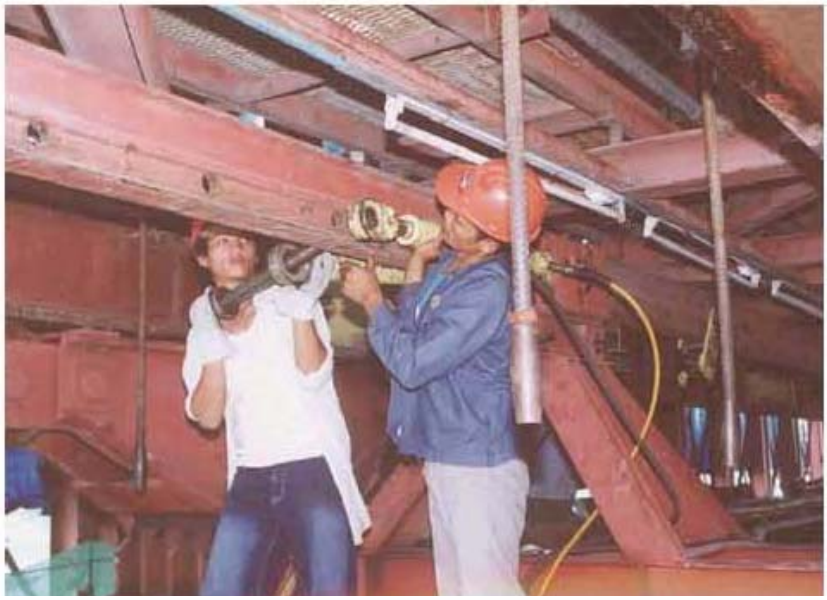
5.2 ทำการติดตั้ง PC. Stand จำนวน 8 เส้น แล้วทำการ Pre-stressing ที่ 50 Bar ต่อเส้น ยึดรั้งคานหัวเสาที่วาง Roller Support โดยให้มีค่าความเอียงของเสากลับมาด้าน Launcher ประมาณ 1.7 เมตร เพื่อป้องกันการหักของเสา อันเนื่องจากแรงดันขณะเลื่อน Launcher บน Roller Support

ภาพผนวกที่ ง27 การติดตั้ง PC Strand แล้ว Pre-Stressing ยึดรั้ง Cross Head

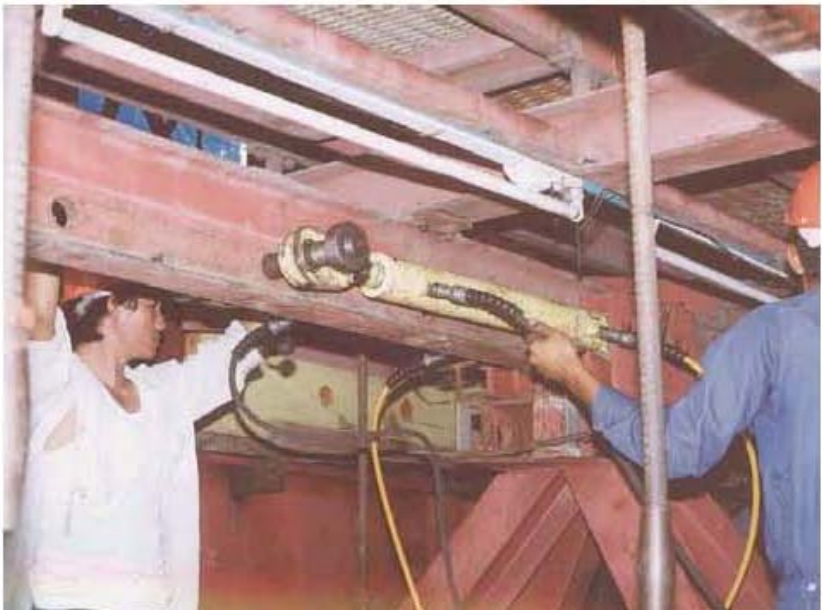
5.3. ทำการเลื่อน Launcher เพื่อทำการก่อสร้าง Box-Girder ในช่วงถัดมาบน Roller Support ที่เตรียมไว้ โดยใช้ Main Hydraulic Jack ที่ติดตั้งบน Roller Support ดันขับเคลื่อน launcher ที่รางใต้ Launcher ซึ่งมีลักษณะเป็นคานเหล็กรูปตัวไอ เจาะรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ทุกๆ 50 เซนติเมตร ใช้ Main Hydraulic Jack ขับดันเป็น Stroke Stroke ละ 50 เซนติเมตร ในลักษณะยึดตัวและหดกลับล็อคและปลดล็อค ด้วย Pin ที่รางใต้ Launcher เป็นระยะๆ ขณะทำการเลื่อน Launcher จะต้องทำการแยก Outer Formwork โดยใช้คนงานดึงรั้งกลับ แล้วยึดด้วยโซ่เหล็กกับ Vertical Beam และแยก Working platform ออกเพื่อให้สามารถผ่านเสาที่เทไว้แล้ว เมื่อถึงตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้าง ใช้ Supporting Hydraulic Jack ยก Launcher ขึ้นประมาณ 20 เซนติเมตร

ภาพผนวกที่ ง28 การแยก Outer Formwork และ Working Platform เตรียมเลื่อน Launcher

ภาพผนวกที่ ง29 การเลื่อน Launcher ไปยัง Span ถัดไป



ภาพผนวกที่ ง30 ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 1)



ภาพผนวกที่ ง31 ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 2)

ภาพผนวกที่ ง32 ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 3)

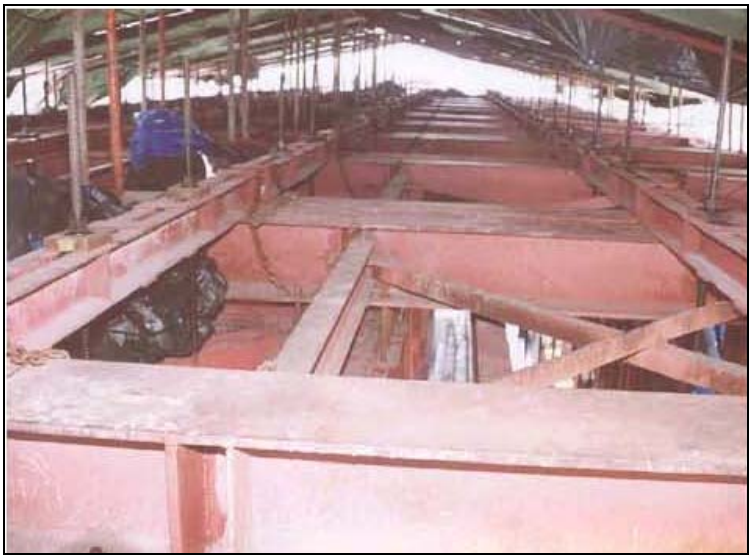
ภาพผนวกที่ ง33 ขั้นตอนการทำงานของ Main Hydraulic Jack ในการขับเคลื่อน Launcher (Step 4

5.4 เลื่อน Working Platform เข้ามาตรงกลางทั้งสองด้าน ปลดโซ่ล็อค แบบหล่อด้านนอก (Outer Formwork) เลื่อนเข้ามาประกบกันยึดด้วย Bolt & Nut พร้อมปรับแนวทิศทาง โดยการจัดระยะ Hanger Bar Anchor ยึดล็อคแนว โดยโซ่ด้านหลัง Outer Formwork กับ Vertical Beam ปรับระดับ โดยการขัน Spherical Nut & Washer ที่ Hanger Rod ทำการตรวจสอบ Outer Formwork ให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง แล้วจึงวางเหล็กเสริมคอนกรีต อุปกรณ์ลวดอัดแรง (Post-Tension) และระบบ Grounding ในส่วนของพื้นที่ด้านล่างและด้านข้าง (Bottom Slab & Webs) ทำการตรวจสอบความถูกต้อง แล้วจึงประกอบแบบ หล่อด้านใน (Inner Web Formwork

ภาพผนวกที่ ง34 ประกอบ outer Formwork เมื่อ Launcher ถึง ตำแหน่ง

ภาพผนวกที่ ง35 ลูกล้อรับ Outer Formwork ที่ Vertical Beam

ภาพผนวกที่ ง36 ลูกล้อรับ Outer Formwork ที่ Bottom Beam



ภาพผนวกที่ ง37 การติดตั้ง Hanger Rod บริเวณ Anchor บน Hanger Frame

ภาพผนวกที่ ง38 การยึด Hanger Rod ใต้ Outer Formwork

ภาพผนวกที่ ง39 ยกตัว Launcher ขึ้นด้วย Supporting Hydraulic Jack

ภาพผนวกที่ ง40 จัดแนว Outer Formwork ด้วยโซ่

ภาพผนวกที่ ง41 ตรวจสอบระดับ Outer Formwork

ภาพผนวกที่ ง42 การปรับระดับ Outer Formwork ด้วยการขัน Spherical Nut

ภาพผนวกที่ ง43 การลำเลียง วัสดุ-อุปกรณ์ขึ้น Box-Girder โดย Mobile Crane

5.5 ทำการติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีต,ท่อ Tendon,เทคอนกรีต,ดึงลวดอัดแรง (Post-Tension) ในส่วนของ Bottom Slab & Web และ Deck Slab ตามที่ได้กล่าวถึงมาแล้วในบทที่ 4

5.6 หลังจากดึงลวดอัดแรง (Post-Tension) ครบ 100 % แล้ว ทำการลด Supporting hydraulic jack ทั้ง 4 ตัวที่ Roller Support ลงจน Launcher เกือบวางบนลูกล้อของ Roller Support ซึ่งจะทำให้ Outer Formwork แยกตัวหลุดจากผิวคอนกรีต Box-Girder แล้วลดระดับ Outer Formwork จนกระทั่งวางอยู่บนล้อที่ Hanger Frame

5.7 ทำการถอด Hanger Rod ที่รั้ง Outer Formwork กับ Hanger Frame ออก พร้อมทั้งขยาย Outer Formwork ออกไปด้านข้าง ทำการล็อคแบบหล่อด้วยโซ่เหล็กกับ Vertical Beam ของ Hanger Frame เพื่อป้องกันการเลื่อนกลับ

5.8 ซ่อมผิวคอนกรีตบริเวณที่ใช้ Tie Rod, Strip Plate, รอยต่อคอนกรีตและเก็บความเรียบร้อยของผิวคอนกรีตทั้งหมดก่อนการเลื่อน Launcher

5.9 ลด Support Hydraulic Jack จนกระทั่ง Launcher นั่งอยู่บน Roller Support (จุดรองรับมีลักษณะส่วนบนเป็นลูกล้อเหล็กกลม สามารถหมุนได้รอบตัว Roller Support 1 ตัว จะมี 8 ล้อ รองรับ Launcher ข้างละ 4 ล้อ จำนวน 2 ชุด ด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่ง Launcher จะสัมผัสกับล้อเหล็กกลมทั้ง 16 ล้อ) เพื่อพร้อมที่จะถูกดันให้เดินไปข้างหน้าด้วยแรงผลักดันจาก Main Hydraulic Jack ที่ติดตั้งอยู่บน Roller Support ซึ่งแรงที่ใช้ผลักดันประมาณ 10% ของ Vertical Load (ประมาณ 54 ตัน) เท่านั้น

5.10 เมื่อ Launcher ถูกเลื่อนไปข้างหน้า 1 Span ซึ่งจะมี Roller Support พร้อม Supporting Hydraulic Jack รองรับอยู่บน Cross Head หรือ Advance Segment ถัดไป โดยขั้นตอนการก่อสร้างต่อไปจะเริ่มจากขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 9 ต่อเนื่องกัน จนกระทั่งถึงโครงการแล้วเสร็จ

สำหรับการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ในการก่อสร้างจะลำเลียงจากพื้นที่ด้านล่าง โดย Mobile Crane อาทิเช่น เหล็กเสริมคอนกรีต, วัสดุ-อุปกรณ์งาน Post-Tension, ถังน้ำ, ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ส่วนการเทคอนกรีตจะใช้รถ Pump Concrete ยิงคอนกรีตจากพื้นด้านล่างขึ้นไปที่ตำแหน่งที่ต้องการ

6. การเลื่อนตัวของ Launcher

ในการก่อสร้างทางยกระดับเป็นการก่อสร้างเส้นทางที่มีลักษณะต่างๆ กับทั้งแนวทางตรง, ทางขึ้นเนิน ทางลงเนินและทางในแนวโค้ง ดังนั้นการเลื่อนตัวของ Launcher จึงต้องมีวิธีการการทำงานในแต่ละรูปแบบดังนี้

6.1 การเลื่อนตัวในแนวระนาบ (Slope = 0) เป็นการเลื่อนตัวที่เป็นลักษณะทั่วๆไปของโครงการ จุดสำคัญ คือ การวาง Roller Support ให้ตรงตำแหน่ง Center Line ของแนวโครงการและควบคุมแนวการเลื่อนให้ตรง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1

6.2 การเลื่อนตัวในแนวเอียงขึ้น (Up Slope) วิธีการทำงานมีจุดสำคัญอยู่ที่การควบคุมระดับของ Roller Support เป็นตัวหน้า ตัวกลางและตัวหลัง ตัวหน้า หมายถึง Roller Support ที่ Launcher จะเลื่อนตัวไปนั่ง ซึ่งจะอยู่ที่ระดับสูงที่สุด ตัวกลาง หมายถึง Roller Support ที่รับน้ำหนัก Launcher ขณะเทคอนกรีต ก่อนถึง Construction joint ของการก่อสร้าง Box-Girder ช่วงถัดไป ตัวหลัง หมายถึง Roller Support ที่รองรับ launcher ขณะเทคอนกรีตบน Cross Head ที่เท Box-Girder ไว้แล้ว โดยมีขั้นตอน การเลื่อน Launcher ในแนวเอียงขึ้น ดังนี้

1) ทำการยกระดับ Roller Support ตัวกลางขึ้น โดยใช้ Pancake Hydraulic Jack ขนาด 100 ตัน จำนวน 4 ตัว หนุนใต้ฐานส่วนล่างของ Roller Support กับ พื้นคอนกรีตตรงตำแหน่งใกล้ Web มากที่สุด ยก Roller Support ขึ้น พร้อมกันเพื่อปรับระดับ Roller Support ทั้ง 3 ตัวให้อยู่ในระนาบเดียวกัน เพื่อให้ปลายของ Launcher สัมผัสกับ ลูกล้อเหล็กของ Roller Support ตัวหน้าพอดี

2) ติดตั้ง Main Hydraulic Jack และ Breaking Hydraulic Jack ที่ Roller Support กับรางใต้Launcher

3) ติดตั้งระบบเบรคแบบยึดติดกับพื้น Box-Girder เพื่อความปลอดภัยอีกชั้น

4) ลดระดับ Supporting Hydraulic Jack ให้ Launcher นั่งบนลูกล้อเหล็กของ Roller Support

5) ทำการเลื่อน Launcher โดยใช้แรงผลักจาก Main Hydraulic Jack ประกอบกับการป้องกันการเลื่อนถอยกลับโดยใช้ Breaking Hydraulic Jack และระบบ เบรคแบบยึดติดพื้นเป็นจังหวะสอดคล้องกัน

6) เมื่อส่วนปลายของ Launcher แตะกับลูกล้อ Roller Support ตัวหน้า หากปลายของ Launcher หนีจาก Center Line สามารถเลื่อนส่วนบนของ Roller Support ตัวหน้าไปรองรับก่อนโดยใช้ Side Hydraulic Jack

7) เลื่อน Launcher จนกระทั่งนั่งบน Roller Support ตัวกลางและตัวหน้า จึงทำการลดระดับ Roller Support ตัวกลางลงสู่ระดับปกติ ทำให้ Launcher อยู่ในลักษณะเอียงขึ้นพร้อมทำการก่อสร้าง Box-Girder ในแนวเอียงขึ้น

8) ปรับแนว Roller Support ตัวหน้าเข้าตำแหน่ง Center line หากมีการเลื่อนออกไปรับปลาย Launcher ที่ผิดแนว

9) เมื่อ Launcher ถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ปรับแนวให้ถูกต้อง พร้อมยก Launcher ขึ้นด้วย Supporting Hydraulic Jack เตรียมงานสำหรับการ ก่อสร้างต่อไป

6.3 การเลื่อนตัวในแนวเอียงลง (Down Slope) วิธีการทำงานอยู่ที่การควบคุมระดับของ Roller Support ตัวหน้า ตัวกลางและตัวหลัง เช่นเดียวกับการเลื่อนตัวในแนวเอียงขึ้น (Up Slope) แต่ขั้นตอนการทำงานต่างกันไปดังนี้

1) ทำการยกระดับ Roller Support ตัวหลัง ซึ่งโดยใช้ Pancake Hydraulic jack 100 ตัน จำนวน 4 ตัว หนุนใต้ฐานส่วนล่างของ Roller Support ยกขึ้นพร้อม กันเพื่อปรับระดับให้ Roller Support ทั้ง 3 ตัวเรียงอยู่ในระนาบเดียวกัน เพื่อให้ส่วนปลายของ Launcher สัมผัสกับลูกล้อเหล็ก Roller Support ตัวหน้าพอดี

2) ติดตั้ง Main Hydraulic Jack และ Breaking Hydraulic Jack ที่ Roller Support กับรางใต้ Launcher

3) ติดตั้งระบบเบรค แบบติดตั้งกับพื้น Box-Girder เพื่อความปลอดภัยอีกชั้น

4) ลดระดับ Supporting Hydraulic Jack ให้ Launcher นั่งบนลูกล้อเหล็กของ Roller Support

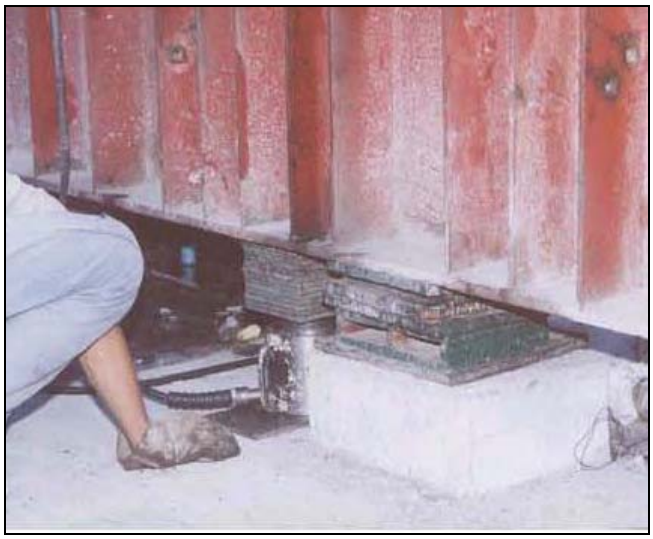
5) ทำการเลื่อน Launcher โดยใช้แรงผลักจาก Main Hydraulic Jack ประกอบการป้องกันการเลื่อนไปข้างหน้าโดยใช้ Breaking Hydraulic Jack และ ระบบเบรคแบบยึดติดพื้น ซึ่งจะค้ำยันในทิศตรงกันข้าม เป็นจังหวะสอดคล้อง กัน

6) เมื่อส่วนปลายของ Launcher แตะกับลูกล้อเหล็กของ Roller Support ตัวหน้า หากปลายของ Launcher หนี Center Line สามารถเลื่อนส่วนบนของ Roller Support ตัวหน้าไปรองรับก่อนโดยใช้ Side hydraulic Jack

7) เลื่อน Launcher จนกระทั่งนั่งบน Roller Support ตัวกลางและตัวหน้า ซึ่ง Launcher จะอยู่ในลักษณะเอียงลงพร้อมทำการก่อสร้าง Box-Girder ในแนวเอียงลง

8) ปรับแนว Roller Support ตัวหน้าเข้าตำแหน่ง Center Line หากมีการเลื่อนออกไปรับปลาย Launcher ที่ผิดแนว

9) เมื่อ Launcher ถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ ปรับแนวให้ถูกต้องพร้อมยก Launcher Supporting hydraulic Jack เตรียมงานสำกรับการก่อสร้างขั้นต่อไป



ภาพผนวกที่ ง44 การยก Roller Support โดยใช้ Pancake Hydraulic Jack และ Shim ด้วยแผ่นเหล็ก กรณีการเลื่อน Launcher ในแนวเอียงขึ้นและเอียงลง

ภาพผนวกที่ ง45 การใช้ Breaking Hydraulic Jack

ภาพผนวกที่ ง46 การใช้ Breaking Hydraulic Jack

ภาพผนวกที่ ง47 การใช้ระบบเบรคแบบยึดติดกับพื้น Deck Slab เพื่อความปลอดภัย (1)

ภาพผนวกที่ ง48 การใช้ระบบเบรคแบบยึดติดกับพื้น Deck Slab เพื่อความปลอดภัย (2)

6.4 การเลื่อนตัวในแนวโค้ง Launcher ที่ใช้ในโครงการทางยกระดับคลองภาษีเจริญ และส่วนต่อเนื่อง ตอนที่ 2 สามารถใช้ก่อสร้าง Box-Girder ที่มีรัศมีความโค้งไม่น้อยกว่า 350 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดของ Hanger Frame มีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1) ทำการเลื่อน Launcher บน Roller Support ตัวกลางและตัวหลัง กระทั่งส่วนปลายของ Launcherใกล้ถึง Roller Support ตัวหน้า

2) ใช้ Side Hydraulic Jack ปรับ Roller Support ส่วนบนของตัวกลางและตัวหลังในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อปรับให้ปลาย launcher เข้าวางบน Roller Support ตัวหน้า ทั้งนี้ อาจเลื่อนส่วนบนของ Roller Support ตัวหน้าเข้ามาช่วยรับปลายของ Launcher ได้ ในการเลื่อน Launcher ไปทางด้านข้างนั้น ควรระวังและตรวจสอบไม่ให้ Hanger Frame หรือ Outer Formwork ติดขอบ Box-Girder หรือเสาที่จะเลื่อนผ่าน และในการเลื่อนไปข้างหน้านั้น ไม่จำเป็นต้องเลื่อนให้ได้แนวในครั้งเดียว สามารถขยับย้ายทีละนิด ขณะเลื่อน Launcher ได้ เพื่อป้องกันการติดขอบ Box-Girder หรือเสาที่ก่อสร้างไว้แล้ว

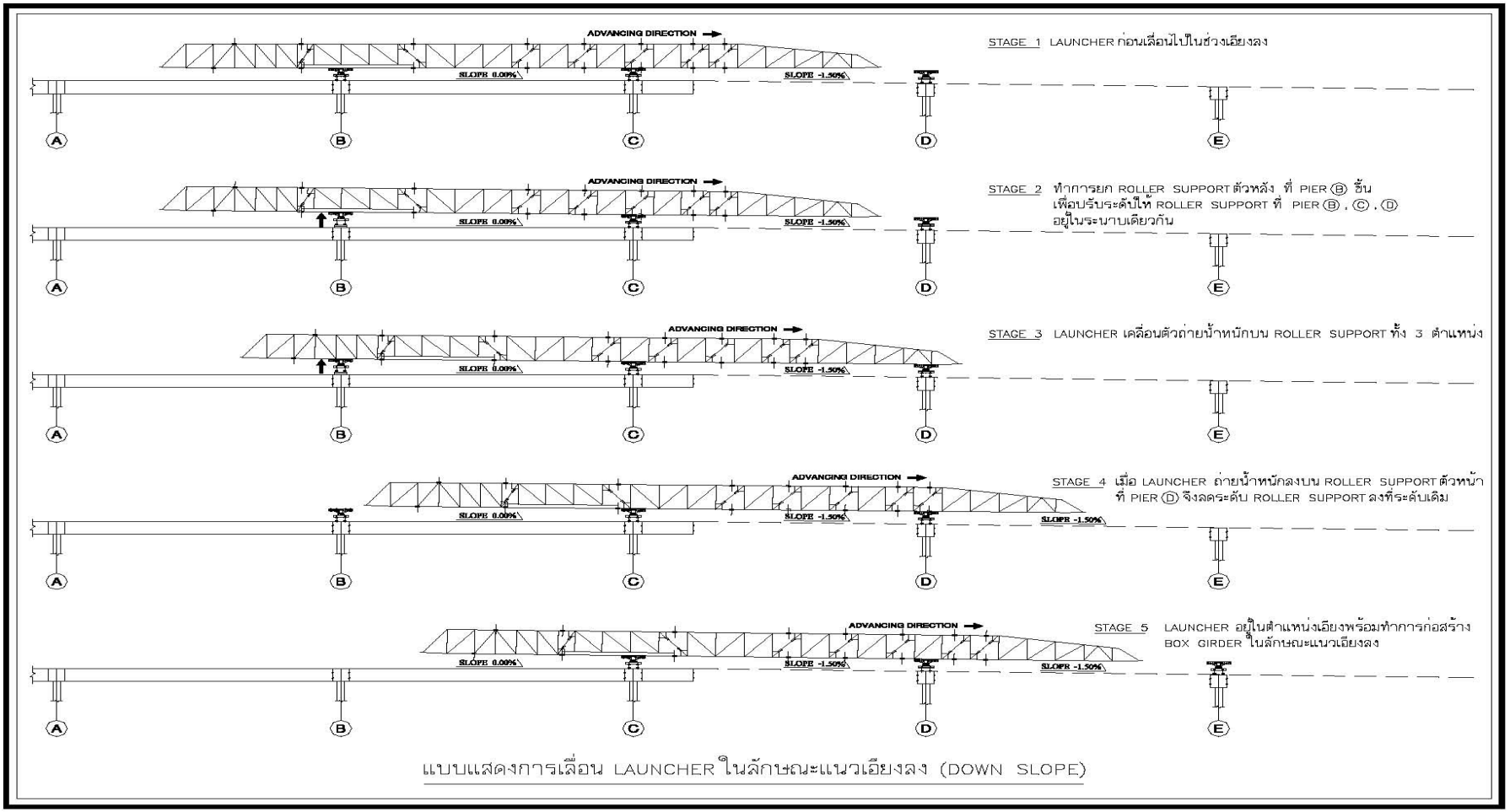
3) เมื่อ Launcher ถึงตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้าง Box-Girder จัดวางแนว Launcher ตามที่ได้กำหนดไว้ แล้วจึงจัดวางแนว Hanger Bar Anchor ในแนวโค้ง เพื่อให้ง่ายต่อการจัด Outer Formwork ต่อไป

ภาพผนวกที่ ง49 การใช้ Side Hydraulic Jack เพื่อดัน Roller Support กรณี Launcher เลื่อนตัวในแนวโค้ง (1)

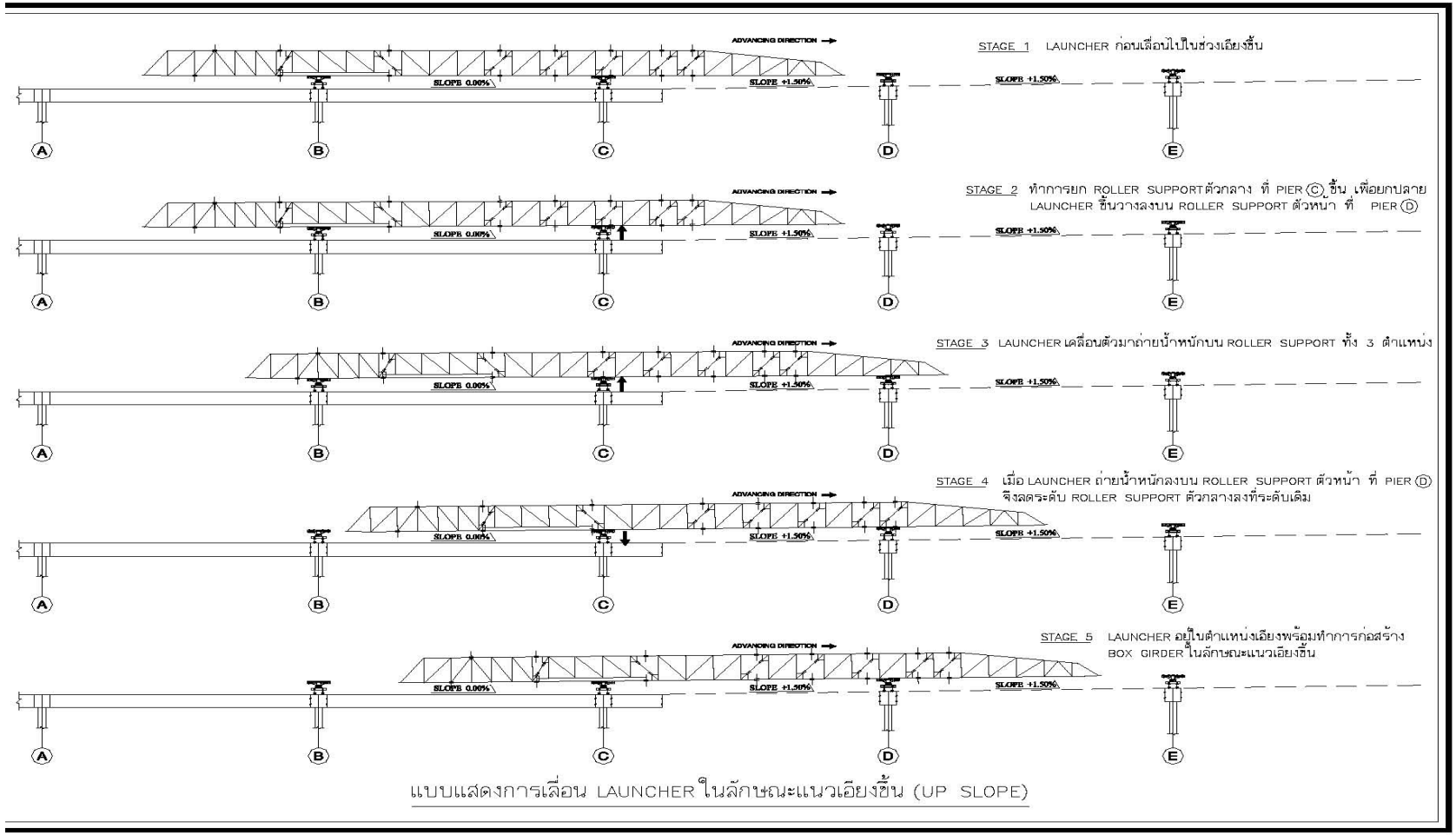
ภาพผนวกที่ ง50 การใช้ Side Hydraulic Jack เพื่อดัน Roller Support กรณี Launcher เลื่อนตัวในแนวโค้ง (2)

ภาพผนวกที่ ง51 การใช้ Recess Formwork (1)

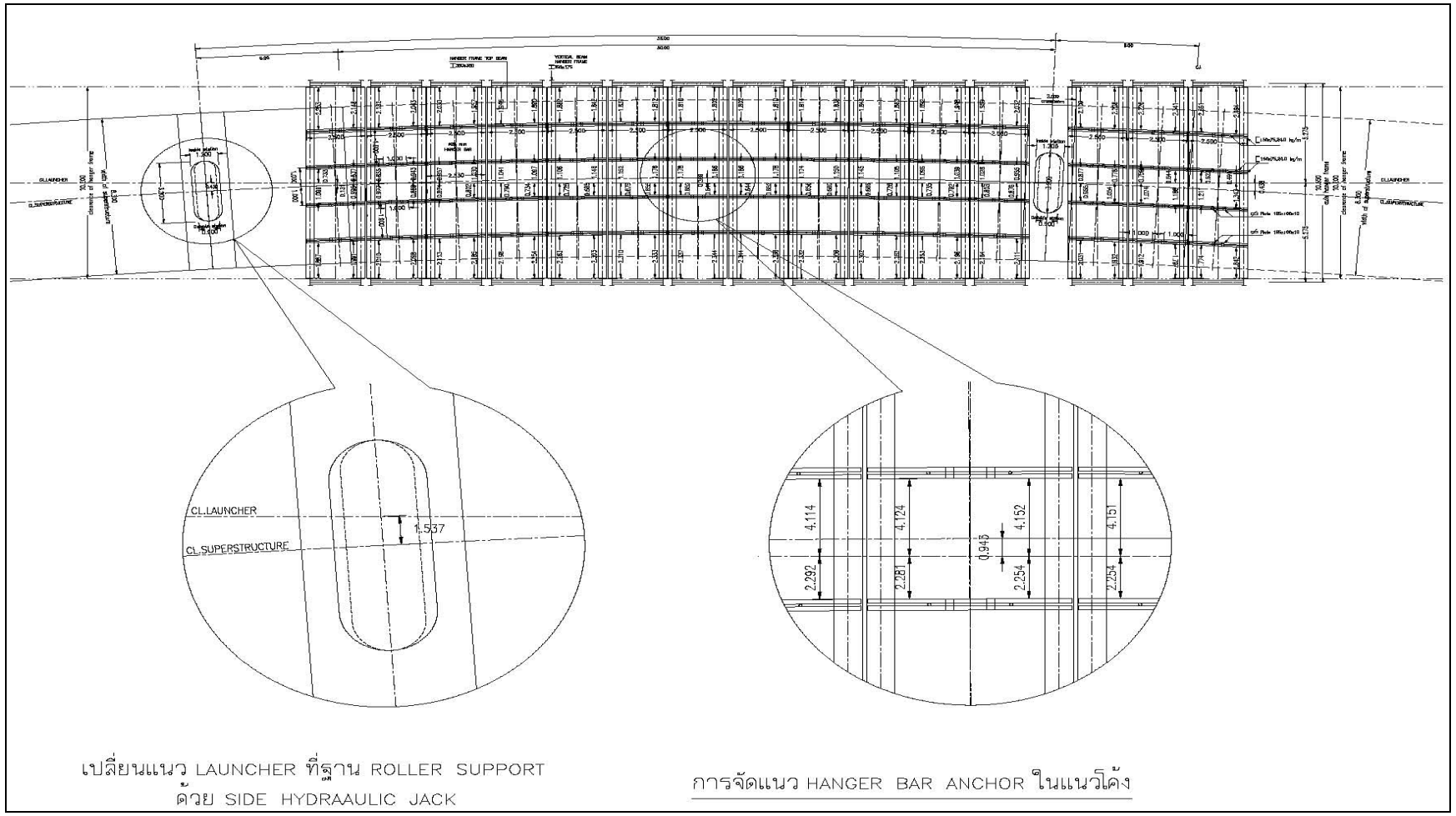
ภาพผนวกที่ ง52 การใช้ Recess Formwork (2)



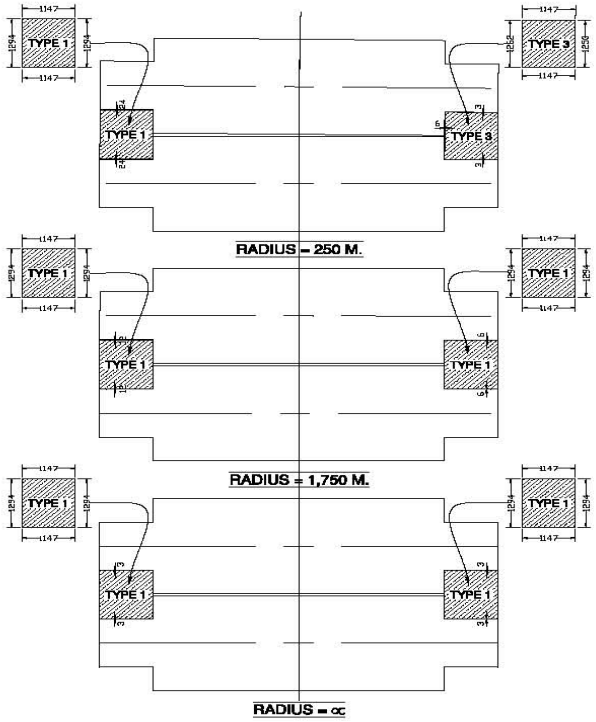
ภาพผนวกที่ ง53 แบบแสดงการเลื่อน LAUNCHER ในลักษณะแนวเอียงลง (DOWN SLOPE)



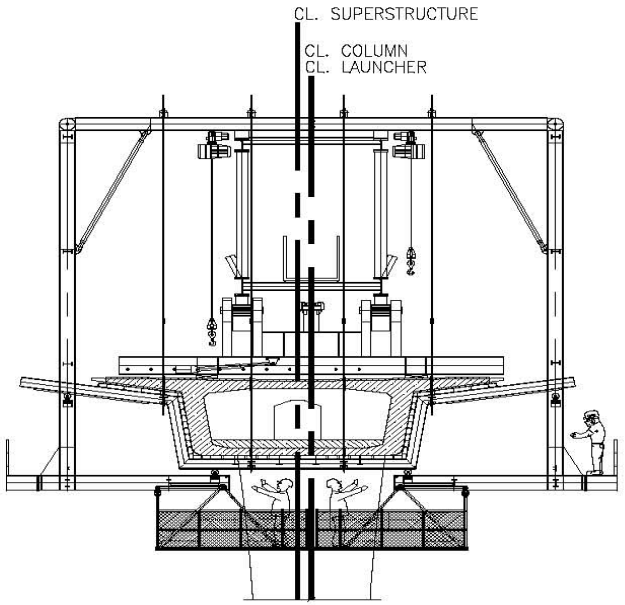
ภาพผนวกที่ ง54 แบบแสดงการเลื่อน LAUNCHER ในลักษณะแนวเอียงขึ้น (UP SLOPE)



ภาพผนวกที่ ง55 การจัดแนวและการเปลี่ยนแนว



แปลนแสดงรูปแบบการจัด OUTER FORMWORK
และ RECESS FORMWORK ในแนวโค้ง



รูปตัดตามยวางแสดงการจัด FORMWORK ในช่วงโค้ง

ภาพผนวกที่ ง56 แปลนแสดงรูปแบบการจัด OUTER FROMWORK และ RECESS FORMWORK ในแนวโค้ง

ระบบ Cast in-situ Segment Balance Cantilever

Cast in-situ Segment Balance Cantilever เป็นวิธีการก่อสร้างสะพานแบบหล่อในที่ โดยมีจุดเริ่มต้นจาก Box-Girder บน V-Pier ก่อสร้างเป็นส่วนๆ ทั้งสองข้างออกจากกัน โดยอาศัยสมดุลน้ำหนักของโครงสร้างหลักทั้งสองด้าน โดย Form Traveler เป็นโครงเฟรมขนาดใหญ่ จะทำหน้าที่รับน้ำหนักจากแบบหล่อ และโครงสร้างส่วนบนของสะพานทั้งหมดเป็นช่วงๆ ขณะทำการก่อสร้างและเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ จะสามารถเคลื่อนตัวไปก่อสร้างในช่วงถัดไปตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยไม่ต้องมีการรื้อแบบหล่อ และค้ำยันลงมาที่ระดับพื้นดิน เนื่องจากเป็นการก่อสร้างในช่วงสั้นๆ สามารถที่จะปรับความสูงและรูปแบบของโครงสร้างส่วนบนให้เป็นไปตามแบบก่อสร้างได้ โดยสะดวก เมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างวิธีอื่น เช่น

1. ส่วนประกอบหลักของ Form Traveler

ส่วนประกอบสำคัญของ Form Traveler มีรายละเอียดดังนี้

1.1 Main frame มีลักษณะเป็น Farm รูปสามเหลี่ยม สองเฟรมยึดติดกันด้วย Transverse girder และ Bracing เป็นโครงสร้างหลักในการถ่ายน้ำหนักและเทคอนกรีตของ Formwork และ คอนกรีตส่วนหน้าลง Support Hydraulic ช่วงกลาง และถ่ายน้ำหนักของตัว Form Traveler ลงลูกล้อที่ติดตั้งอยู่กลาง Main Frame ขณะเลื่อน Form Traveler

1.2 Upper transverse girder

Upper transverse girder มีสองส่วนคือ

1.2.1 Upper front transverse girder ติดตั้งบริเวณส่วนหน้าของ Main frame ทำหน้าที่ยึด Main girder และเป็นส่วนที่รับ Hanger Rod หิ้ว Front truss girder Beam รับ Outer Formwork และ Beam รับ Deck slab Formwork

1.2.2 Upper rear transverse girder ติดตั้งบริเวณส่วนกลางของ Main frame ทำหน้าที่ยึด Main girder และเป็นชิ้นส่วนที่รับ Hanger Rod หิ้ว Hanger Rod หิ้ว Rear truss girder

1.3 Main rear anchorage ติดตั้งอยู่ส่วนหลังสุดของ Main Frame เป็นตัวยึดรั้ง main Frame กับ Box-Girder ที่เทไว้แล้ว เพื่อเป็นส่วนกลางและด้านหน้าของ Main frame สามารถรับน้ำหนัก Formwork และเทคอนกรีตประกอบด้วย

1.3.1 Anchorage star อยู่ส่วนบนสุดของ Main rear anchorage มีลักษณะเป็นเหล็กแผ่นประกอบเป็น frame รูปดาวสี่แฉกมีรูสำหรับร้อย Hanger Rod เพื่อ ใช้ยึดรับ

1.3.2 Test hydraulic Jack 100 Tons. ติดตั้งอยู่ระหว่าง Anchorage star กับส่วนท้ายของ Main frame ใช้ทดสอบความแรงของ Anchorage star และ Hanger Rod ก่อนการเทคอนกรีต

1.3.3 Spindle เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของชุดทดสอบการรับน้ำหนักของ Main rear anchorage มีลักษณะเป็นท่อเหล็กทรงกระบอกสองส่วนมีเกลียวสามารถปรับความสูงต่ำได้

1.3.4 Test beam part และ Base ใช้รองรับ Spindle กับพื้น Box-Girder ใช้ในการทดสอบ ความแข็งแรงในการรับน้ำหนักของ Main rear anchorage

1.3.5 Rear carriage มีลักษณะเป็นลูกล้อแขวนกับส่วนท้ายของ Main frame ยึดรั้งกับรางขณะเลื่อน form Traveler

1.4 Traveled Rail วางบนพื้น Box-Girder ที่เทแล้วเสร็จสำหรับรองรับลูกล้อเพื่อเลื่อน Form Traveler และเป็น Support รับ Hydraulic Jack ที่ใช้ในการเลื่อน form Traveler

1.5 Bottom frame เป็น Frame ที่อยู่ด้านล่างรองรับ Outer Formwork, Bottom Formwork, และ Working Platform จะแขวนกับ Form Traveler และแขวนกับ Transverse Girder ทั้งสองตัวโดย Hanger Rod ขณะเลื่อน Form Traveler และแขวนกับ Upper front Transverse Girder และ Box-Girder ที่เทแล้วเสร็จขณะเทคอนกรีต

1.6 Formwork

ส่วนของ Formwork แบ่งเป็นสี่ส่วนดังนี้

1.6.1 Bottom Formwork ประกอจากตงไม้ Pier และแบบไม้อัดฟิโนลิกติดตั้งติดกับ Bottom Frame

1.6.2 Outer formwork ประกอบจากคานเหล็กรูปพรรณ ตงไม้ Pier และแบบไม้อัดฟิโนลิก แบบ formwork ด้านนอกของ Web และด้านล่างของปีก Box-Girder ที่ 3.2 เมตร ถึง 2.0 เมตร โดยการใช้การปรับระดับ Bottom Formwork ในการกำหนดความสูง

1.6.3 Inner Formwork เดิมผู้ออกแบบกำหนดให้ประกอบจาก คานรูปพรรณ ตงไม้ Pier แบบไม้อัดฟิโนลิกและบริเวณมุมของ Formwork ด้วยไม้เนื้อแข็ง ซึ่งประเมินค่าใช้จ่ายและน้ำหนักมากไม่สะดวกในการทำงานทางหน่วยงานจึงได้ปรับ แก้โดยใช้โครงสร้างเหล็กกลองปิดด้วยไม้อัดธรรมดาแทน ซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบาและสะดวกในการทำงานเพิ่มมากขึ้น

1.6.4 Drivedeck Formwork เป็นแบบหล่อ Deck slab ช่วงกลางของ Box-girder ตงเป็นเหล็กรูปตัวซีประกอบกันและแบบไม้อัดฟิโนลิกมีรางรองรับสามารถ เคลื่อนไปพร้อมกับการเลื่อน form Traveler

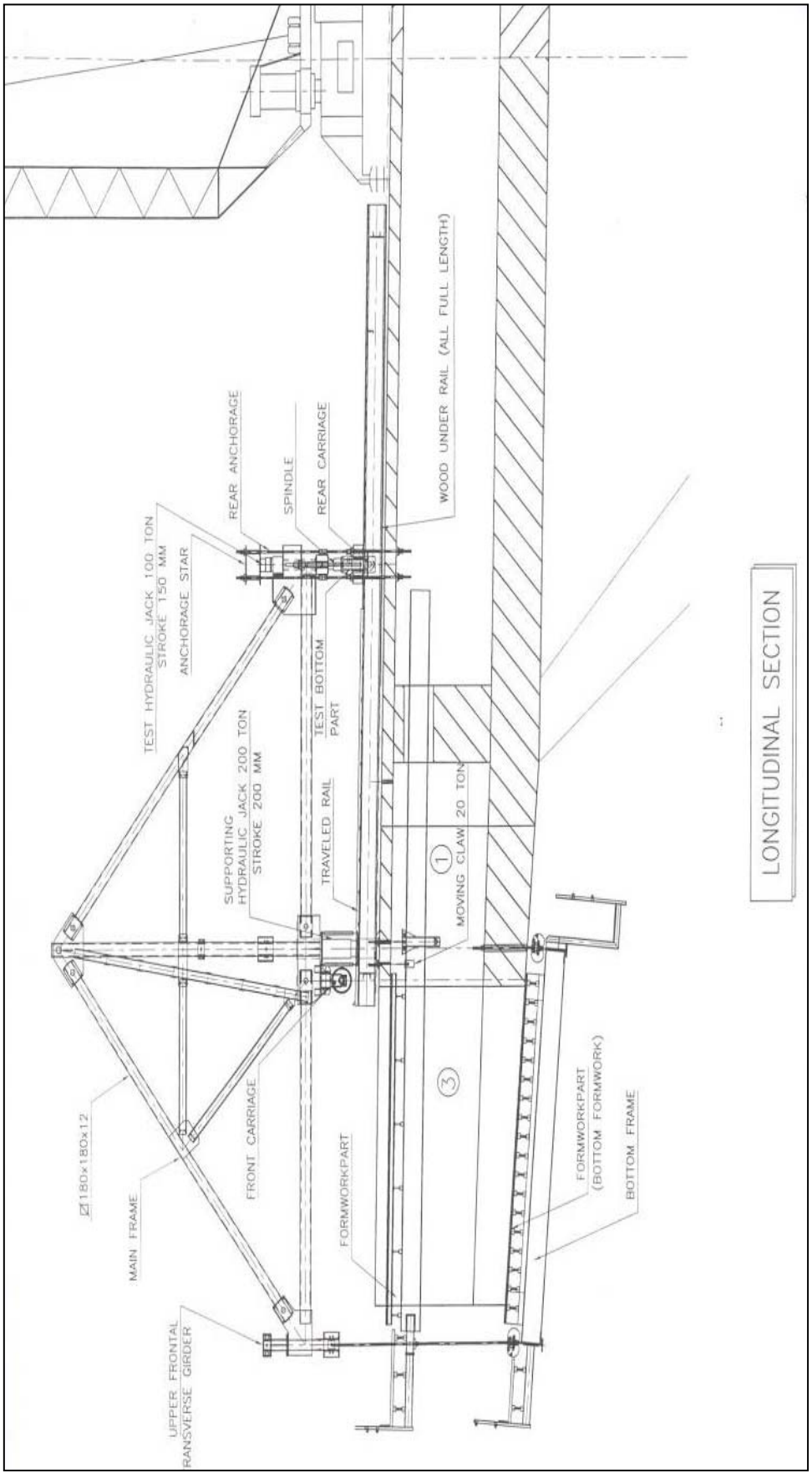
2. อุปกรณ์ Hydraulic System

Form Traveler จะติดตั้งอุปกรณ์ Hydraulic System 3 ตำแหน่งคือ

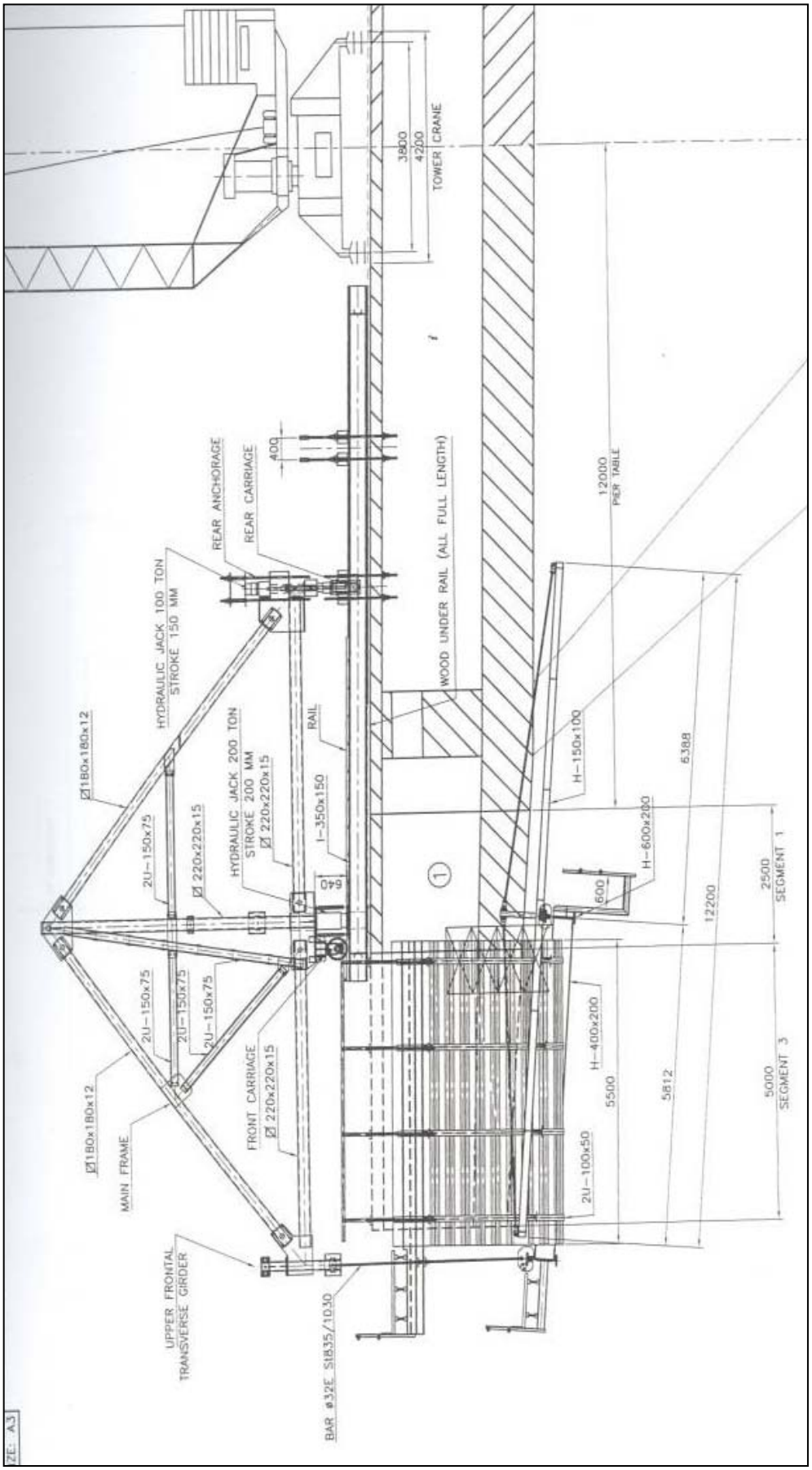
2.1 Traveled Hydraulic Jack เป็นอุปกรณ์ในการขับเคลื่อน Form traveled และ Traveled Rail เป็น Hydraulic Jack ขนาด 60 ตัน Stroke 50 เซนติเมตร Double acting ติดตั้งบริเวณส่วนกลาง ด้านล่าง Main Frame ทั้งสองข้างทำหน้าที่ลาก Traveled Rail โดยใช้คานเกี่ยว Fin ที่ Traveler Rail ลากทีละ Stroke จนถึงตำแหน่งที่กำหนดและทำหน้าที่ผลักดันเพื่อขับเคลื่อน Form Traveler โดยใช้คานดันกับ fin ที่ Traveled Rail และดันที่ละ stroke พร้อมๆ กันจน Form Traveler จนถึงตำแหน่งที่ต้องการ

2.2 Support Hydraulic Jack เป็น Hydraulic Jack Single acting ขนาด 350 ตัน ติดสปริง (Spring return) เพื่อดึง pistol ติดตั้งอยู่ใต้ Vertical Column ของ Main Frame ทำหน้าที่เป็น Support รับน้ำหนักของ Main Frame ขณะดำเนินการประกอบแบบหล่อ ติดตั้งเหล็กเสริม และเทคอนกรีต โดยจะยก Main Frame ขึ้นจนลูกล้อ Main Frame ลอยเหนือ Traveled Rail

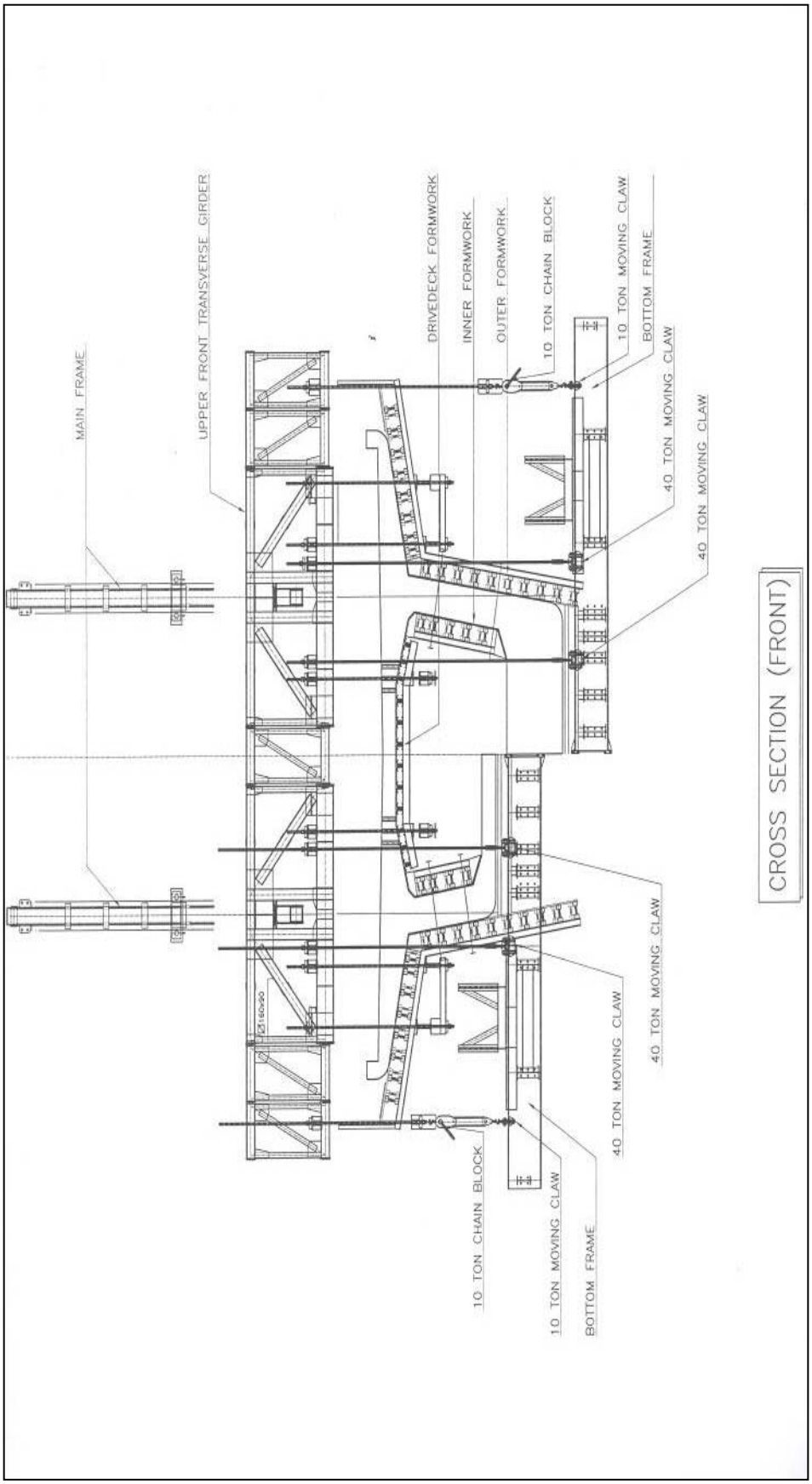
2.3 Test hydraulic Jack ขนาด 100 Tons ติดตั้งที่ ส่วนท้ายของ Main rear ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของ Main rear anchorage ตามที่ ได้กล่าวมาแล้ว



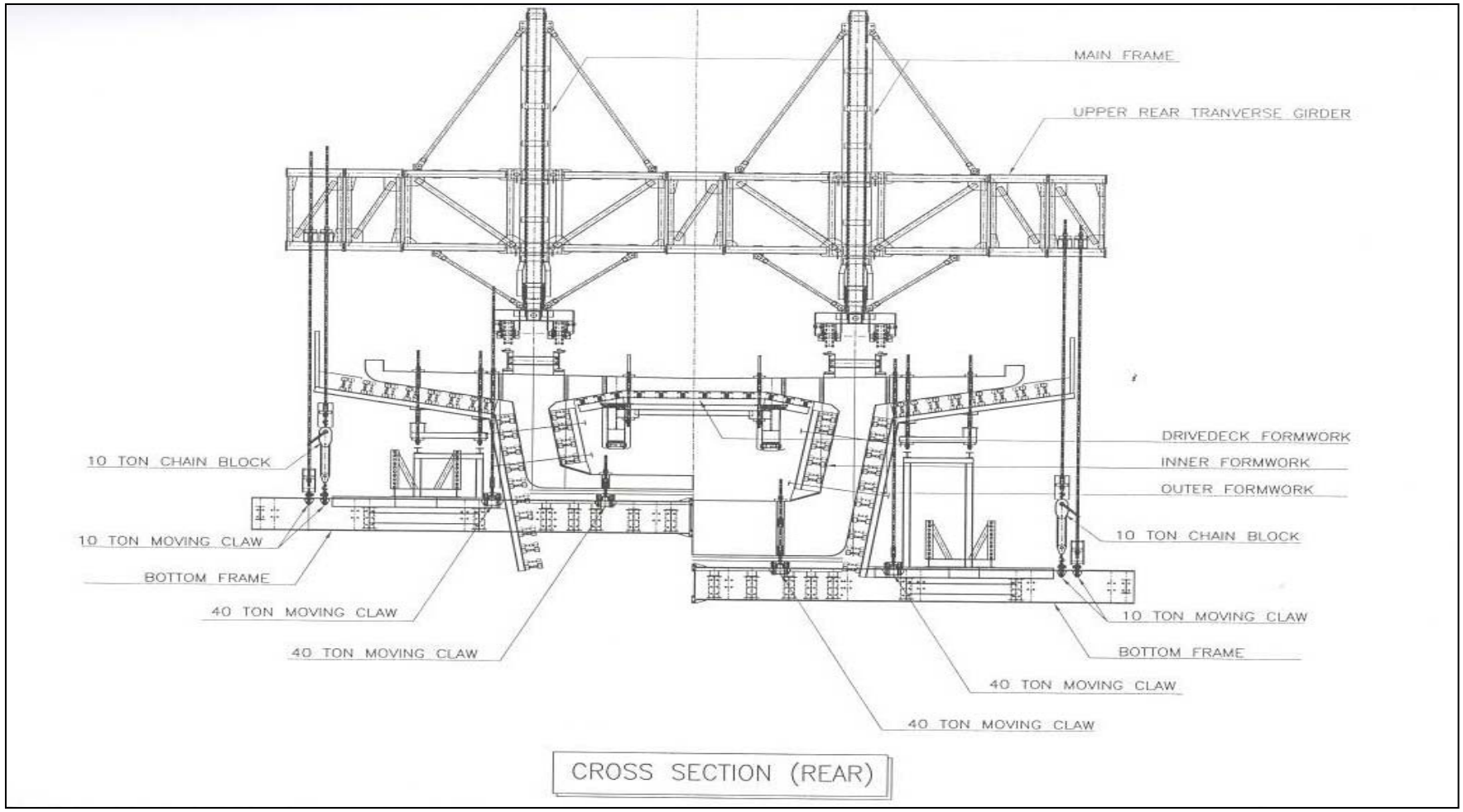
ภาพผนวกที่ 357 LONGTUDINAL SECTION



ภาพผนวกที่ 58 LONGITUDINAL SECTION



ภาพผนวกที่ 159 CROSS SECTION (FRONT)



ภาพผนวกที่ ง60 CROSS SECTION (REAR)

3. ขั้นตอนการติดตั้ง Form Traveler

3.1 วาง Traveler Rail บนพื้น Box-Girder ที่หล่อแล้วเสร็จจัดตำแหน่งให้ตรงตามแบบที่กำหนด ยึดล๊อคด้วย Thread Bar ที่ร้อยผ่าน Sleeve ที่เตรียมไว้พื้นที่ Deck Slab ที่ส่วนหน้าและหลังของราง

3.2 ติดตั้ง Front Carriage และ Support Hydraulic Jack กับ Main Frame แต่ละข้างแล้วยกขึ้นวางบน Traveler Rail ทีละข้าง เนื่องจากมีข้อจำกัดของความสามารถในการบกของ Tower Crane แล้วทำค้ำยันชั่วคราวประคองไว้

3.3 นำ Upper Transverse girder ปละ Bracing ติดตั้งกับ main Frame เพื่อยึดเป็น Frame ให้มั่นคง

3.4 นำชุด Main rear anchorage มาติดตั้งส่วนหลัง ซึ่งประกอบด้วย Anchorage Star, Test hydraulic Jack, Spindle, Test beam part และ Rear carriage ติดตั้งส่วนหลังของ Main Frame ยึดให้แน่น

3.5 วาง Support รับ Supporting Hydraulic Jack แล้วยก Main frame ขึ้นพร้อมกันทั้งสองข้างเพื่อให้น้ำหนกักถ่ายลงบน Box-Girder

3.6 ประกอบ Bottom Frame วางบน Pontoon ติดตั้งรอกไฟฟ้าขนาด 3 ตัน จำนวน 4 ตัว บริเวณส่วนปลายของ Upper Transverse girder ทั้งส่วนหน้าและส่วนหลัง ลากจูง Pontoon ให้ตำแหน่ง Bottom Frame ตรงกับบริเวณที่จะติดตั้งไว้ใช้รอกไฟฟ้ายก Bottom Frame ขึ้นพร้อมกันทั้ง 4 ตัว ข้อควรระวัง การยกควรให้ระดับ Bottom Frame ขนานกันตลอดเวลา เพื่อให้น้ำหนักถ่ายเฉลี่ยไปที่รอกไฟฟ้าทั้ง 4 ตัวเท่าๆ กัน และระวังไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งเกี่ยวติด Pontoon เนื่องจากอกไฟฟ้ามีความสามารถมนการยกพอดีกับนำหนักของ Bottom Frame หากมีการถ่ายน้ำหนักที่เกินความสามารถของรอกไฟฟ้าหยุดการทำงานก่อให้เกิดปัญหาในการทำงานได้

3.7 ติดตั้ง Tread bar, Chain block และ Moving claw ยึด Bottom frame ให้มั่นคง

3.8 ยก Outer Formwork ขึ้นติดตั้งบน Bottom Frame ยึดหิ้วด้วย Tread bar

3.9 ติดตั้ง Roller bracket กับพื้นบนของ Box-Girder แล้วสอดรางรับ Drivedeck Formwork บน Roll แล้วยึดหิ้วส่วนหน้าของรางด้วย Tread bar แขวนไว้กับ Upper front transverse girder

3.10 ประกอบ Driverdeck Formwork บนรางที่ติดตั้งแล้วเสร็จ

3.11 ติดตั้ง Inner Web Formwork โดยแขวนไว้กับ Driverdeck Formwork

3.12 ติดตั้งชุด Working Platform บริเวณส่วนหน้าและส่วนหลังของ Form Traveler ให้เรียบร้อย

เมื่อนำส่วนของ Form Traveler เข้าประกอบตรงตามตำแหน่งตามแบบแล้ว ปรับระดับและขนาดของ Formwork ให้ได้ขนาดตามแบบ ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของ Form Traveler โดยใช้ Test hydraulic Jack บริเวณหลัง main Frame เพื่อดำเนินการก่อสร้าง Box-Girder

4. ขั้นตอนการทำงานของ Form Traveler

4.1 เมื่อทำการเทคอนกรีตแล้วเสร็จบ่มให้ได้ความแข็งแรง (Strength) ตามที่ได้ออกแบบไว้ 20 Mpa. ประมาณ 204 kg/cm^2 (Cylender) ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงเสร็จแล้ว ดึงลวดอัดแรง (Post-Tension)

4.2 ปลดลวดยึดแบบหล่อ Wed โดยการถอด Tie Rod และค้ำยันแบบหล่อทั้งด้านนอกและด้านในออกพร้อมรื้อย้ายแบบหลช่อด้านในของ Web (Inner web formwork) ออก

ภาพผนวกที่ ง61 การถอน Tie Rod ที่ Inner Web Formwork

ภาพผนวกที่ ง62 การถอน Tie Rod ที่ Out Web Formwork

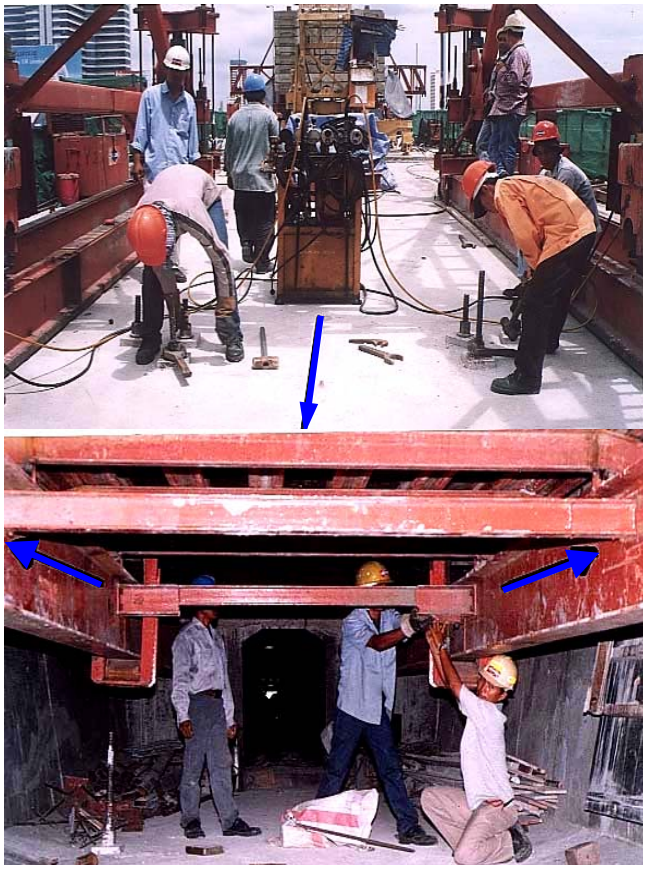
4.3 ปลด Thread bar ล๊อค Traveled Rail แล้วเลื่อนไปยังตำแหน่งที่กำหนดโดยใช้ Advancing Jacks พร้อมยึดด้านหลังของรางด้วย Thread bar 4 ตัวในแต่ละชุด

ภาพผนวกที่ ง63 ปลด Thread bar ล็อครางบริเวณ Rear Anchorage

ภาพผนวกที่ ง64 การเลื่อนรางด้วย Advancing Jack

ภาพผนวกที่ ง65 การล็อครางเมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนด

4.4 ปลด Thread bar ยึดแบบหล่อ Drivedeck ให้รางรับ Drivedeck วางบน Roller Bracket



ภาพผนวกที่ ง66 ปลด Thread Bar ยึดแบบหล่อ Drivedeck บน Deck Slab ภายใน Box-Girder ให้รางรองรับ Drivedeck Formwork วางบน Roller Bracket

4.5 ตรวจสอบนั่งร้านรองรับแบบหล่อด้านนอก (Outer formwork) บนคานรับแบบหล่อด้านล่าง (Bottom Frame) ปลด Thread Bar รับแบบหล่อด้านนอกจนกระทั่งคานรับแบบหล่อด้านหลังวางบนนั่งร้าน และวถิด Thread Bar ทั้งสองตัวในแต่ละข้างออก

ภาพผนวกที่ ง67 การติดตั้งนั่งร้านรองรับ Outer Formwork

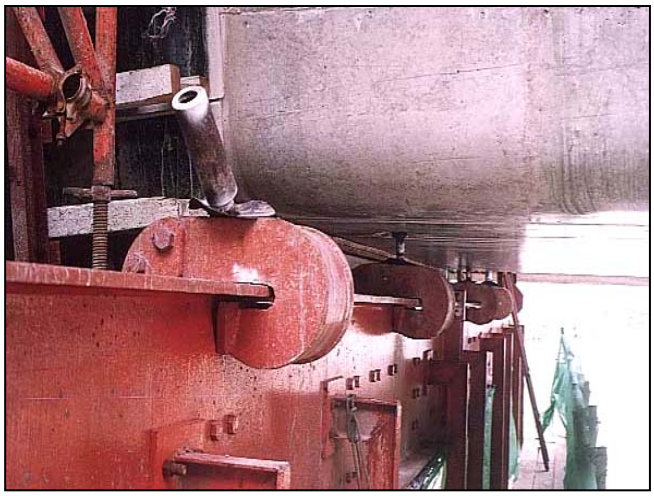
4.6 ขันยึด Advancing Thread Bar ที่ Upper Transverse girder กับ Bottom Frame

ภาพผนวกที่ ง68 การขันยึด Advancing Thread Bar และรอกโซ่บริเวณส่วนหลัง

4.7 ปลดและย้าย Thread Bar 2 ตัวที่ยึดแบบหล่อส่วนล่าง (Bottom Frame) กับด้านในส่วนล่างของ Box-Girder (Bottom slab) ออก แล้วปลดและย้าย Thread Bar ที่ยึด Bottom Frame ด้านนอกกับ Deck Slab ของ Box-Girder ออก นั้นทำให้น้ำหนักของ ส่วน Bottom Frame และ Outer rear advancing thread bar

ภาพผนวกที่ ง69 การปลด Thread Bar บริเวณ Deck Slab

ภาพผนวกที่ ง70 การปลด Thread Bar บริเวณ Bottom Slab



ภาพผนวกที่ ง71 การปลด Thread Bar ส่วนหลังแล้วเสร็จ

4.8 ตรวจสอบการยึด Traveled Rail กับคอนกรีต Deck Slab และขัน Bar ยึด Rear Carriage ให้ลูก ล้อสัมผัสกับปีก Traveled Rail ปลด Main Rear Anchorage จนน้ำหนักจะถูกถ่ายจาก Rear Carriages ไปสู่ราง

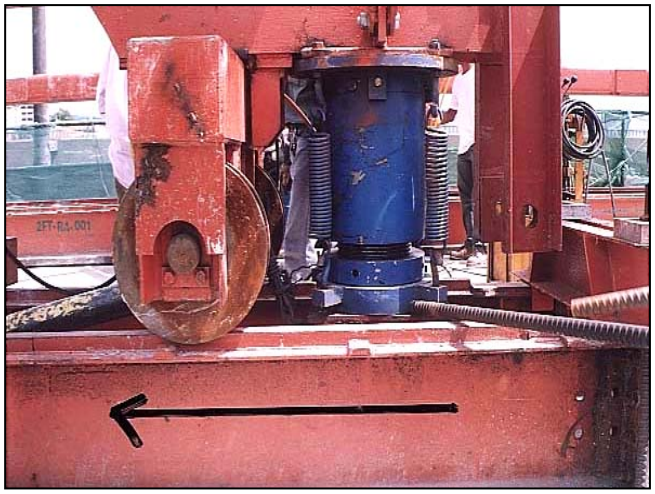
ภาพผนวกที่ ง72 ขันปรับระดับให้ลูกล้อ Rear Carriages สัมผัสปีกราง

4.9 ถอด Couple ส่วนบนที่ยึดระหว่างตัวยึดรางกับ Anchorage Star ตรวจสอบการยึด Rear Rail Anchorage ให้เรียบร้อย

ภาพผนวกที่ ง73 การปลด Thread Bar ล็อครางคู่หน้า

ภาพผนวกที่ ง74 การถอน Coupler บริเวณ Rear Anchorage

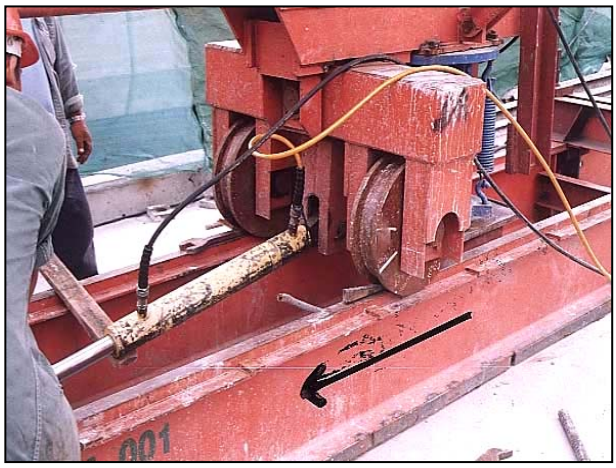
4.10 ลดระดับ Form Traveler ลงด้วย Supporting Hydraulic Jack ขนาด 350 ตัน จนกระทั่งล้อ Front Carriages วางบน Traveled Rail ซึ่ง Piston ของ Hydraulic Jack จะถูกดึงเข้าไปโดยสปริง (Spring return)



ภาพผนวกที่ ง75 ลดระดับ Hydraulic Jack จนลูกล้อสัมผัสราง

4.11 เลื่อน Form Traveler ไปยัง Segment ถัดไปโดยใช้ Traveled Hydraulic Jack ควบคุมการเลื่อนทั้งสองข้างให้เท่ากันในการเลื่อนช่วงโค้งลงจำเป็นต้องใช้ Tiefor 2 Tons จำนวน 4 ตัว รั้งหลัง เพื่อช่วยในการเบรค

ภาพผนวกที่ ง76 การเลื่อน Form Traveler ด้วย Traveled Jack และรั้งหลังด้วย Tiefor



ภาพผนวกที่ ง77 การเลื่อน Form Traveler ด้วย Traveled Jack

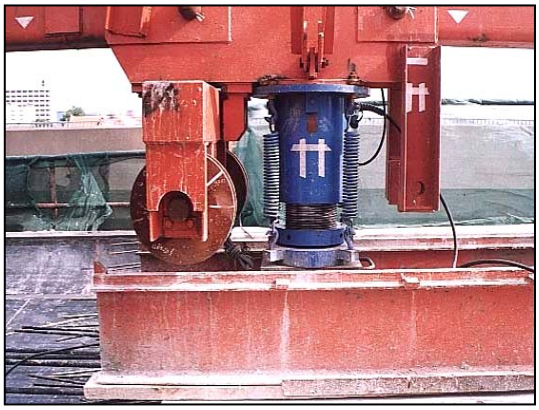
4.12 ติดตั้ง Thread ของ Main Rear Anchorage กับส่วนหลังของ Main Frame ทั้งสองตัว โดยการยึดกับเหล็กยึดราง (Rear Rail Fixing Beam) ในตำแหน่งใหม่

ภาพผนวกที่ ง78 ปลดย้าย Thread Bar ล็อครางคู่หลัง ไปยึดล็อครางที่ตำแหน่งใหม่

4.13 ปรับระดับ Main Frame โดยการขัน Thread Bar ยึด Main Rear Anchorage ซึ่งจะถ่ายแรงลงไปในที่ Deck Slab ของ Box-Girder

4.14 ใส่ Support ให้ Support hydraulic Jack และยก Form Traveler ให้ลูกล้อ Front Carriage สูงจากรางประมาณ 5-10 เซนติเมตร

ภาพผนวกที่ ง79 ยก From traveler ให้ล้อลอยเหนือรางประมาณ 10 ซม.

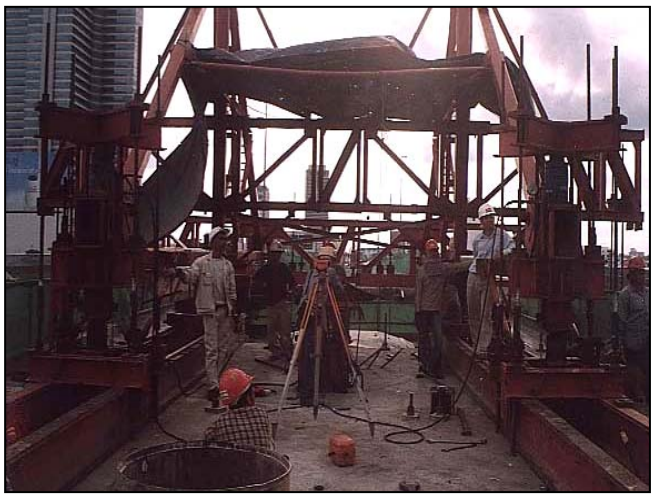


ภาพผนวกที่ ง80 การยก From traveler ด้วย Supporting Jack

4.15 ปรับระดับ form Traveler ทั้งด้านหน้าและด้านหลังโดยใช้ Hydraulic Jack ทั้ง 4 ตัว โดยอยู่ในแนวราบทั้งตามยาวและแนวขวาง และการตรวจสอบให้ล้อ ของ Rear Carriage ไม่ให้สัมผัสกับ Traveled Rail

4.16 เมื่อปรับระดับถูกต้องแล้วขันยึดติดกับ Lock Nut ของ Support Hydraulic Anchorage ไว้แล้วจึงลดแรงดัน Hydraulic ลง

4.17 ดันส่วนหลังของ Main Frame กับคอนกรีต Deck Slab ที่ Main Rear Anchorage โดยใช้ Test Hydraulic Jack ประมาณ 300 Bar ขันยึด Hydraulic Jack ของ Test Hydraulic Jack แล้วจึงลดแรงดัน Hydraulic ลง วิธีนี้ใช้ทดสอบว่า Main Rear Anchorage สามารถรับน้ำหนักคอนกรีตขณะเทคอนกรีต Segment ได้



ภาพผนวกที่ ง81 การทดสอบการรับน้ำหนักโดย Test Hydraulic Jack

ภาพผนวกที่ ง82 ตรวจสอบค่าความดันจาก Pressure Gauge

4.18 ใช้รอกโซ่ทั้ง 4 ตัวยกแบบหล่อ Bottom Frame ปรับระดับตามแบบ ซึ่งจะทำให้ Thread bar ของ Outer Rear ไม่ได้รับแรง ปรับความกว้างของ Outer Formwork ของแต่ละ Segment ตามแบบ

ภาพผนวกที่ ง83 ใช้รอกโซ่ยก Bottom Frame

4.19 ติดตั้ง Thread Bar ของ Rear Bottom Frame 2 ตัวใน Box-Girder ก่อนแล้วปรับความยาวของ Thread Bar เพื่อให้พื้นหนาตามแบบแล้วยึดไว้กับคอนกรีต Bottom Slab ของ Box-Girder

ภาพผนวกที่ ง84 ติดตั้ง Thread Bar ของ Rear Bottom Frame 2 ตัวใน Box-Girder

4.20 ติดตั้งและปรับระดับ Thread Bar ของ Outer Bottom Frame ทั้งสองตัวแล้งยึดไว้กับคอนกรีต Deck Slab

ภาพผนวกที่ ง85 เตรียมยึด Bottom Frame กับ Bottom Slab

ภาพผนวกที่ ง86 การยึด Bottom Frame กับ Deck Slab

4.21 ปลดหย่อนรอกโซ่ 10 ตันของ Advancing Thread Bar ที่ยึดด้านหลัง Bottom Frame ลงตรวจสอบไม่ให้ Advancing Thread Bar รับน้ำหนักจากการเทคอนกรีตใน Segment นั้นเป็นอันขาด

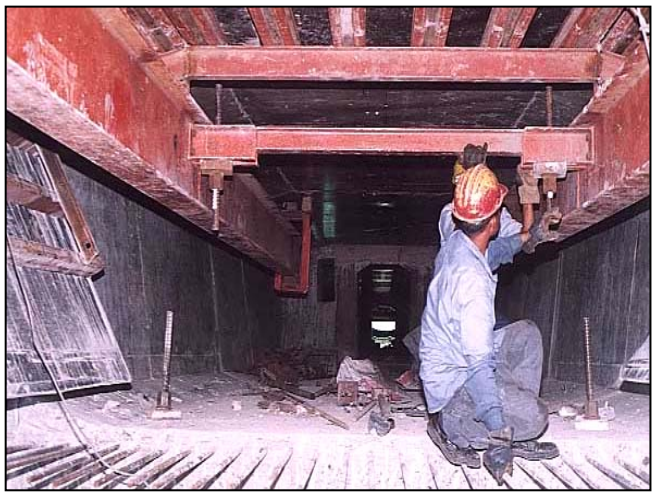
4.22 ปรับระดับด้านหน้าของ Bottom Frame ที่ Thread Bar ทั้ง 4 ตัว

4.23 ตรวจสอบและปรับค่าระดับโดยละเอียดอีกครั้ง โดยใช้ Thread Bar ที่แขวนบน Upper Front transverse girder เพื่อเตรียมระดับไว้สำหรับการเทคอนกรีต Segment ถัดไป

4.24 ปลดหย่อนโซ่ 10 ตันของ Advancing Thread Bar ที่ยึดด้านหน้า Bottom Frame ลงตรวจสอบไม่ให้ได้รับน้ำหนักขณะเทคอนกรีตเช่นเดียวกับ Advancing Thread Bar ที่ยึดด้านหลัง Bottom Frame

4.25 ติดตั้ง Thread bar สำหรับรองรับส่วนหลังของรางรองรับ Drive Deck Formwork โดยยึดกับคอนกรีต Deck Slab และติดตั้ง Thread Bar สำหรับส่วนหน้าของรางรับ Drive Deck Formwork กับ Upper Front girder ปรับระดับให้ได้ตามแบบ

ภาพผนวกที่ ง87 Thread Bar ยึด Drivedeck บน Deck Slab



ภาพผนวกที่ ง88 Thread Bar ยึด Drivedeck ใน Box-Girder

4.26 ย้าย Roller Bracket รับแบบหล่อ Drivedeck ใน Box-Girder ไปยังตำแหน่งใหม่ ยึดด้วย Thread Bar กับ Deck Slab ที่เทคอนกรีตแล้วเสร็จ

ภาพผนวกที่ ง89 การติดตั้ง Roller Bracket ใน Box-Girder

4.27 ทำความสะอาดแบบหล่ออีกครั้งพรอมตรวจสอบการยึด Outer Formwork ค่าระดับความถูกต้องของแบบและการยึดส่วนหลังกับ Segment ที่เทไว้เรียบร้อยแล้ว

ภาพผนวกที่ ง90 From Traveler สภาพพร้อมเทคอนกรีต

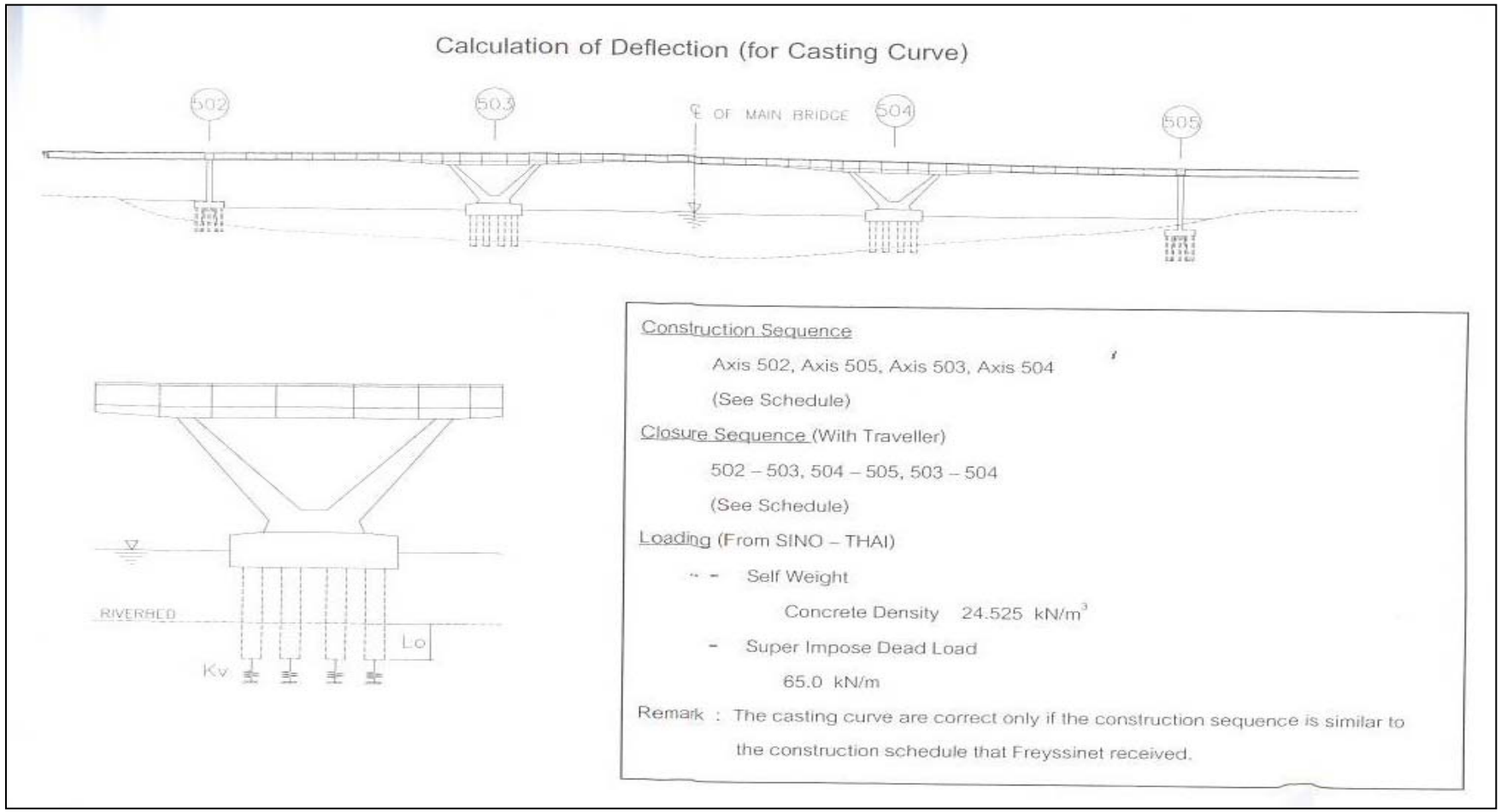
ภาพผนวกที่ ง91 การป้องกันการตกของวัสดุ-อุปกรณ์ของ From Traveler

4.28 ติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีต, อุปกรณ์ Post-Tension, อุปกรณ์งานระบบ และอื่นๆ พร้อมตรวจสอบความถูกต้องและปิดแบบหล่อด้านหน้าทำความสะอาดเตรียมเทคอนกรีตต่อไป

4.29 ดำเนินการเทคอนกรีตเริ่มตั้งแต่เท Bottom Slab Web และ Deck Slab จนแล้วเสร็จ ซึ่งในการเทคอนกรีต Segment ถัดไปจะเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 29 ต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งแล้วเสร็จ

5. Deflection และ Camber

การแอ่นตัวลงและขึ้น (Deflection และ Camber) มีความสำคัญอย่างยิ่งในการก่อสร้างระบบ Balance Cantilever เนื่องจากต้องควบคุมระดับให้บรรจบพอดีกับโครงสร้างที่ก่อสร้างไปแล้วโดยต้องคำนึงถึงพฤติกรรมการสปริงของตัวเสาเข็ม, ฐานราก, น้ำหนักของสะพานที่ถ่วงไปมาทั้งสองด้านของระบบก่อสร้างแบบ Balance Cantilever, การแอ่นลง (Deflection) ของการเทคอนกรีต และน้ำหนักของ Form Traveler อุณหภูมิและการแอ่นขึ้น (Camber) เมื่อดำเนินการดึงลวด Post-Tension ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณประเมินพฤติกรรมต่างๆ เหล่านี้ โดยหน่วยงานได้ว่าจ้าง Freyssinet (Thailand) Limited. เป็นผู้ประเมินค่าระดับต่างๆ ขณะทำการก่อสร้างต้องเตรียมการวางหมุดระดับอ้างอิง และวัดค่าระดับทีเปลี่ยนแปลงทุกวันในเวลาเดียวกัน จัดส่งให้กับผู้ประเมินทำการปรับค่าแก้ระดับให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด รายละเอียดตามเอกสารแนบ

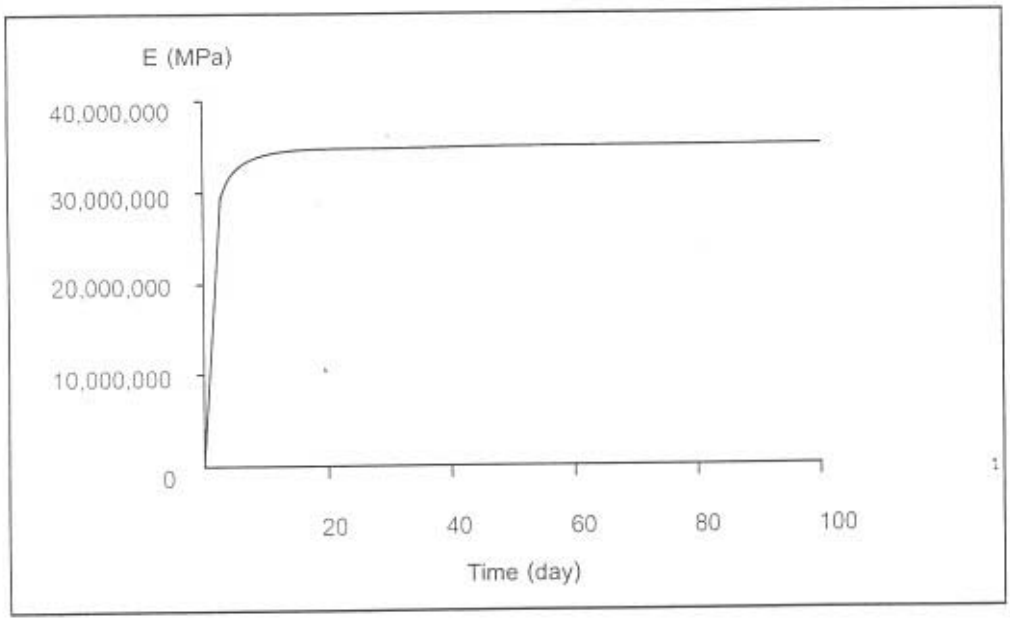


ภาพผนวกที่ ง92 Calculation of Deflection (for Casting Curve)

Concrete and Prestressing Steel

Concrete Properties	Density	24.525 kN/m^3	
Concrete Grade 50A	f'c	450	ksc
	f'ci	408	ksc

Modulus of Elasticity



Prestressing Steel

Modulus of Elasticity	195,000	Mpa	As per Tendon	1680	mm^2
Strength	1,860	Mpa			
Density	78.50	kN/m^3			

Friction Curvature Coefficient	0.20	/rad
Friction Wobble	0.0024	/m
Anchorage Loss	3	%
Draw – In	6	mm

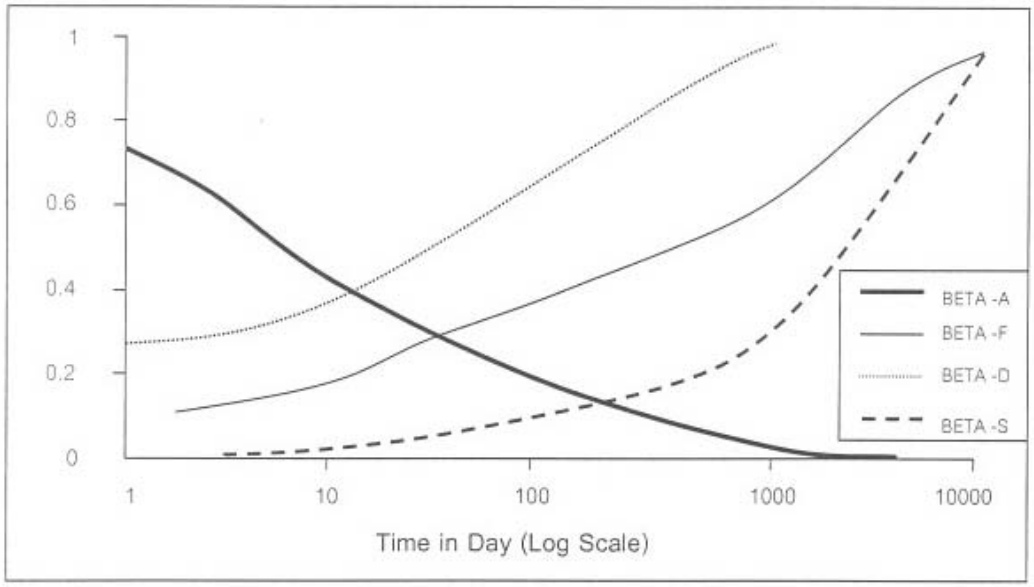
ภาพผนวกที่ ง93 Concrete and Prestressing Steel

Creep and Shrinkage Parameter (CEB – FIP)

Assume RH = 80%

λ	2.5	PHI-F	=	PHI-F1 x PHI-F2	= 1.5 x 1.16875 = 1.7531
Ho	1.5145 m	ε_{so}	=	$\varepsilon_{s1} \times \varepsilon_{s2}$	= -0.00024 x 0.7188 = -0.000172
		PHI – D	=	USE 0.40	

Beta Curve

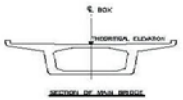


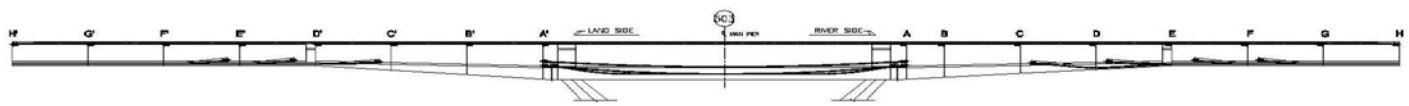
Pile Model

Long-Term Modulus of Elasticity			= 15.55	kN/mm^2
Kh			= 20000	kN/m^3
Vertical Stiffness (Kv)	Use ¼ inch under max working load			
Bored Pile Dia 1.5 m	Moment Inertia	$I = \pi/4 \times r^4$	= 0.248505	m^4/Pile
	B (Pile Width)		= 1.5	m
Lo (Equivalent Fixed Length)	$= [(4x\ EI) / (Kh \times B)]^{¼}$		= 4.7605	m
Kv	= 600 / (0.25 x 0.0254)		= 94,488.2	kN/m per Pile
Driven Pile 0.35 x 0.35 m	Moment Inertia	$I = BH^3/12$	= 0.00125	m^4/Pile
	B (Pile Width)		= 0.35	m
Lo (Equivalent Fixed Length)	$= [(4x\ EI) / (Kh \times B)]^{¼}$		= 1.8243	m
Kv	= 5000 / (0.25 x 0.0254)		= 787,401.57	kN/m per Pile

ภาพผนวกที่ ง94 Creep and Shrinkage Parameter (CEB-FIP)

JOINT	H'	G'	F'	E'	D'	C'	B'	A'	℄-6m	℄ PIER	℄+6m	A	B	C	D	E	F	G	H
THEORETICAL ELEVATION (m)	15.396	15.354	15.362	15.374	15.373	15.378	15.378	15.375	15.373	15.376	15.376	15.378	15.376	15.378	15.378	15.375	15.376	15.373	15.378
CASTING LEVEL (m)	15.381	15.453	15.429	15.424	15.400	15.393	15.398	15.380	15.367	15.387	15.389	15.380	15.373	15.378	15.378	15.372	15.370	15.356	15.349
PRECAMBER (mm)	91	91	66	49	30	20	11	10	12	12	10	5	0	1	1	-3	-5	-17	-26



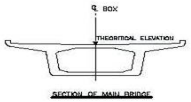


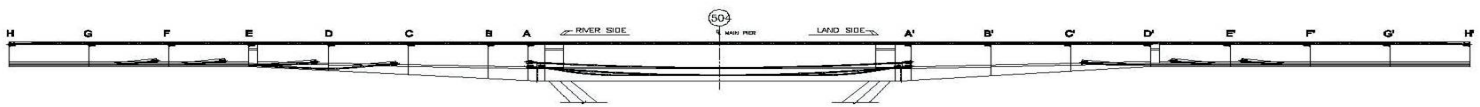
ACTIVITY \ JOINT	H'	G'	F'	E'	D'	C'	B'	A'	℄-6m	℄ PIER	℄+6m	A	B	C	D	E	F	G	H
CAST PIER SEGMENT								−3	−4	−4	−4	−3							
STRESS TENDONS P1, P2, P3, P4, K1								15.392	15.383	15.381	15.381	15.377							
ERECT FORM TRAVELLER (LAND AND RIVER)								−3	−4	−3	−4	−3							
								15.380	15.382	15.380	15.381	15.377							
CAST SEGMENT A								−1	−4	−3	−5	−5	−2						
STRESS TENDON K2								15.383	15.382	15.383	15.380	15.376	15.374						
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)								−1	−4	−5	−5	−5	−2						
								15.384	15.383	15.382	15.380	15.379	15.373						
CAST SEGMENT A'							−4	−4	−5	−6	−5	−2	2						
STRESS TENDON K3							15.382	15.380	15.381	15.381	15.381	15.378	15.372						
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)							−6	−5	−5	−6	−4	−1	3						
							15.381	15.380	16.381	15.381	15.381	15.378	15.328						
CAST SEGMENT B							1	−1	−5	−7	−6	−4	−1	−4					
STRESS TENDON K4, K5							15.387	15.383	15.381	15.380	15.379	15.376	15.373	15.371					
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)							2	−1	−5	−6	−7	−5	−1	−6					
							15.388	15.384	15.382	15.380	15.379	15.379	15.374	15.370					
CAST SEGMENT B'					−7		−3	−4	−7	−8	−7	−6	−1	3					
STRESS TENDON K6					15.368		15.383	15.380	15.380	15.380	15.380	15.380	15.379	15.377					
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)					−6		−4	−5	−7	−7	−6	−4	−1	3					
					15.386		15.382	15.380	15.380	15.380	15.380	15.380	15.378	15.375					
CAST SEGMENT C					0		−1	−5	−7	−7	−7	−5	−1	−4	−6				
STRESS TENDON K7					15.393		15.388	15.384	15.381	15.380	15.378	15.378	15.374	15.372	15.367				
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)					1		3	0	−3	−7	−8	−6	−2	−6	−12				
					15.398		15.389	15.384	15.381	15.380	15.378	15.379	15.372	15.370	15.364				
CAST SEGMENT D'						−12	−7	−5	−7	−7	−6	−1	3	3	−2				
STRESS TENDON K8					15.383	15.368	15.383	15.380	15.380	15.380	15.380	15.378	15.378	15.376	15.376				
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)					−15	−6	−5	−7	−7	−5	−5	−1	4	3	5				
					15.380	15.386	15.382	15.379	15.380	15.380	15.380	15.378	15.378	15.378	15.376				
CAST SEGMENT D					1	2	3	−1	−8	−7	−7	−5	−1	−4	−8	−11			
STRESS TENDON K9, K10					15.408	15.397	15.389	15.384	15.381	15.378	15.378	15.379	15.374	15.372	15.366	15.381			
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)					3	5	4	0	−5	−7	−8	−6	−2	−6	−11	−19			
					15.408	15.398	15.390	15.385	15.381	15.380	15.378	15.374	15.372	15.370	15.366	15.397			
CAST SEGMENT D'				−15	−8	−5	−3	−4	−7	−7	−6	−2	3	3	−1	−1			
STRESS TENDON K11				15.407	15.387	15.390	15.384	15.381	15.380	15.378	15.379	15.378	15.378	15.376	15.376	15.371			
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)				−21	−11	−7	−4	−5	−7	−7	−6	−1	4	3	1				
				15.402	15.394	15.387	15.383	15.380	15.378	15.380	15.380	15.379	15.378	15.378	15.377	15.373			
CAST SEGMENT E				−6	1	3	3	0	−5	−7	−7	−6	−2	−5	−11	−13	−20		
STRESS TENDON K12				15.417	15.406	15.397	15.390	15.385	15.381	15.380	15.378	15.378	15.373	15.370	15.366	15.398	15.369		
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)				−4	2	3	4	1	−5	−7	−8	−6	−3	−7	−14	−18	−27		
				15.419	15.407	15.398	15.391	15.385	15.382	15.380	15.378	15.374	15.373	15.365	15.354	15.343			
CAST SEGMENT E'			−27	−26	−13	−8	−3	−4	−7	−7	−6	−1	3	1	−3	−4	−8		
STRESS TENDON K13			15.401	15.406	15.382	15.397	15.393	15.389	15.380	15.380	15.380	15.378	15.378	15.377	15.374	15.368	15.360		
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)			−34	−29	−16	−10	−5	−5	−7	−7	−8	−1	4	2	−1	−2	−7		
			15.394	15.394	15.380	15.388	15.391	15.389	15.380	15.380	15.380	15.378	15.378	15.376	15.375	15.370	15.362		
CAST SEGMENT F			−8	−5	−4	0	2	4	0	−5	−7	−7	−8	−3	−7	−12	−17	−29	
STRESS TENDON K14, K15			13.420	13.413	15.405	15.397	15.390	15.390	15.380	15.382	15.380	13.378	15.374	15.373	15.369	15.363	15.395	15.364	15.335
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)			−6	−4	1	3	5	1	−5	−7	−7	−7	−4	−9	−16	−21	−33	−32	
			15.422	15.417	15.407	15.398	15.391	15.386	15.382	15.380	15.378	15.373	15.373	15.367	15.360	15.360	15.338	15.336	
CAST SEGMENT F'		−44	−37	−31	−17	−10	−5	−5	−6	−6	−5	−1	3	1	−5	−5	−13	−9	
STRESS TENDON K16		15.381	15.391	15.365	15.360	15.388	15.392	15.380	15.380	15.380	15.380	15.378	15.378	15.377	15.373	15.366	15.358	15.349	
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)		−53	−43	−35	−20	−13	−6	−5	−7	−8	−5	−1	4	2	−3	−6	−15	−7	
		15.372	15.380	15.368	15.363	15.383	15.391	15.379	15.380	15.380	15.381	15.380	15.378	15.374	15.368	15.359	15.351		
CAST SEGMENT G		−20	−24	−15	−8	−1	3	1	−4	−6	−7	−7	−4	−10	−22	−28	−43	−47	−52
STRESS TENDON K17		15.393	15.404	15.408	15.393	15.384	15.389	15.388	15.383	15.381	15.379	15.373	15.371	15.365	15.356	15.343	15.357	15.311	15.297
CAST SEGMENT G'	−55	−63	−66	−50	−28	−17	−8	−6	−5	−5	−4	0	4	0	−5	−12	−23	−24	−25
STRESS TENDON K18	15.314	15.343	15.363	15.373	15.375	15.378	15.378	15.379	15.381	15.381	15.381	15.380	15.378	15.376	15.370	15.360	15.347	15.334	15.334
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)	−60	−63	−72	−55	−32	−19	−9	−7	−5	−5	−4	0	5	1	−5	−10	−21	−22	−23
	15.301	15.353	15.358	15.369	15.373	15.378	15.377	15.378	15.380	15.383	15.383	15.381	15.380	15.377	15.371	15.362	15.349	15.336	15.336
CAST SEGMENT H' [SIDE CLOSURE]	−55	−58	−69	−50	−25	−17	−9	−7	−7	−6	−4	1	3	2	−4	−10	−21	−23	−25
STRESS TENDON S1 TO S7	15.295	15.329	15.359	15.374	15.377	15.378	15.377	15.378	15.380	15.381	15.382	15.381	15.380	15.378	15.372	15.362	15.349	15.335	15.334
CAST SEGMENT H [MIDDLE CLOSURE]	−78	−78	−95	−40	−24	−17	−10	−10	−10	−8	−4	8	11	15	19	27	31	43	51
STRESS TENDON M1 TO M10	15.303	15.348	15.373	15.363	15.381	15.378	15.378	15.375	15.377	15.379	15.381	15.385	15.387	15.381	15.384	15.389	15.401	15.401	15.400
AFTER ALL LONG TERM LOSSES	−81	−81	−99	−48	−30	−20	−11	−10	−12	−12	−10	−5	0	−1	−1	3	5	17	26
HAVE OCCURRED	15.296	15.354	15.362	15.374	15.373	15.378	15.378	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375

NOTE : BASED ON ONE SET OF FORM TRAVELLER, THE CONSTRUCTION OF BALANCE CANTILEVERS SHALL BE STARTED FROM PIER 503 TO PIER 504 . THEREFORE, THE CAMBER VALUES ARE CORRECT ONLY IF THE CONTRACTOR'S SCHEDULE AND CONSTRUCTION SEQUENCE ARE SIMILAR TO THE ASSUMPTION.

ภาพผนวกที่ ง95 CAMBER TABLE BALANCE CANTILEVER AXIS 503

JOINT	H	G	F	E	D	C	B	A	℄-5m	℄ PIER	℄+5m	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'
THEORITICAL ELEVATION (m)	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.370	15.360	15.335	15.289	15.204	15.133	14.984	14.868	14.733	14.598	14.463	14.328	14.193	14.058
CASTING LEVEL (m)	15.406	15.404	15.404	15.397	15.394	15.383	15.368	15.348	15.293	15.217	15.135	14.993	14.878	14.752	14.629	14.513	14.398	14.268	14.134
PRECAMBER (mm)	31	29	29	22	19	13	8	12	13	13	12	9	10	19	30	51	70	95	98





ACTIVITY \ JOINT	H	G	F	E	D	C	B	A	℄-5m	℄ PIER	℄+5m	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'
CAST PIER SEGMENT								−4	−5	−5	−5	−4							
STRESS TENDONS P1, P2, P3, P4, K1								15.342	15.278	15.213	15.131	14.989							
ERECT FORM TRAVELLER								−4	−3	−3	−3	−4							
(LAND AND RIVER)								15.342	15.278	15.212	15.130	14.989							
CAST SEGMENT A							−2	−6	−8	−6	−5	−2							
STRESS TENDON K2							15.366	15.341	15.276	15.211	15.130	14.991							
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)							−2	−8	−8	−8	−5	−2							
							15.358	15.340	15.276	15.211	15.131	14.991							
CAST SEGMENT A'							2	−3	−8	−8	−6	−5	−5						
STRESS TENDON K3							15.360	15.344	15.277	15.211	15.129	14.988	14.871						
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)							3	−2	−8	−8	−7	−8	−6						
							15.361	15.344	15.278	15.211	15.129	14.987	14.870						
CAST SEGMENT B						−5	−1	−5	−7	−7	−9	−2	1						
STRESS TENDON K4, K5						15.378	15.357	15.341	15.276	15.210	15.129	14.991	14.876						
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)						−6	−2	−8	−7	−7	−8	−1	2						
						15.377	15.360	15.340	15.275	15.210	15.130	14.992	14.877						
CAST SEGMENT B'						1	3	−2	−8	−7	−7	−5	−4	−7					
STRESS TENDON K6						15.384	15.361	15.344	15.277	15.210	15.128	14.988	14.872	14.745					
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)						2	4	−2	−8	−7	−7	−8	−5	−8					
						15.385	15.362	15.345	15.277	15.210	15.128	14.987	14.871	14.743					
CAST SEGMENT C					−10	−5	−1	−5	−8	−8	−5	−2	2	0					
STRESS TENDON K7					15.384	15.378	15.357	15.340	15.275	15.210	15.129	14.991	14.877	14.752					
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)					−12	−6	−2	−7	−8	−7	−9	−1	3	1					
					15.382	15.377	15.358	15.340	15.275	15.210	15.130	14.992	14.878	14.753					
CAST SEGMENT C'					−2	1	3	−2	−8	−8	−7	−5	−4	−7	−12				
STRESS TENDON K8					15.382	15.384	15.361	15.344	15.277	15.210	15.128	14.988	14.872	14.745	14.617				
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)					0	3	4	−2	−8	−7	−8	−6	−5	−10	−15				
					15.383	15.386	15.362	15.345	15.277	15.210	15.128	14.987	14.870	14.743	14.613				
CAST SEGMENT D				−11	−8	−3	−1	−8	−8	−8	−5	−1	1	2	1				
STRESS TENDON K9, K10				15.368	15.386	15.378	15.368	15.340	15.275	15.210	15.129	14.992	14.878	14.754	14.630				
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)				−15	−12	−6	−2	−7	−8	−8	−6	−1	4	3	3				
				15.362	15.362	15.377	15.365	15.339	15.274	15.210	15.129	14.993	14.879	14.755	14.631				
CAST SEGMENT D'				−1	−1	1	3	−3	−7	−8	−7	−5	−3	−6	−8	−17			
STRESS TENDON K11				15.386	15.383	15.384	15.361	15.344	15.276	15.210	15.128	14.988	14.873	14.747	14.620	14.488			
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)				1	1	3	4	−2	−6	−8	−9	−6	−4	−8	−12	−22			
				15.398	15.394	15.388	15.362	15.344	15.277	15.210	15.128	14.987	14.871	14.744	14.618	14.483			
CAST SEGMENT E			−21	−14	−11	−8	−2	−7	−8	−8	−9	−1	3	2	0	−7			
STRESS TENDON K12			15.384	15.383	15.382	15.377	15.358	15.340	15.275	15.210	15.129	14.992	14.878	14.754	14.629	14.508			
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)			−27	−19	−14	−8	−3	−8	−8	−8	−5	0	4	3	2	−5			
			15.378	15.378	15.379	15.375	15.355	15.339	15.275	15.210	15.130	14.993	14.880	14.755	14.630	14.510			
CAST SEGMENT E'			−10	−4	−3	1	3	−2	−8	−7	−7	−5	−4	−8	−14	−25	−25		
STRESS TENDON K13			15.395	15.392	15.391	15.384	15.361	15.344	15.277	15.210	15.128	14.988	14.871	14.743	14.618	14.490	14.370		
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)			−8	−3	−1	2	4	−2	−8	−7	−7	−6	−5	−11	−18	−32	−35		
			15.397	15.394	15.392	15.383	15.362	15.345	15.277	15.210	15.128	14.987	14.870	14.741	14.611	14.484	14.363		
CAST SEGMENT F		−29	−27	−19	−14	−8	−3	−7	−8	−7	−9	−1	3	1	−1	−9	−9		
STRESS TENDON K14, K15		15.378	15.378	15.378	15.380	15.373	15.355	15.339	15.275	15.210	15.130	14.993	14.879	14.753	14.627	14.505	14.389		
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)		−33	−33	−23	−17	−10	−4	−8	−8	−7	−5	0	4	3	0	−7	−7		
		15.371	15.371	15.374	15.377	15.373	15.364	15.338	15.275	15.210	15.130	14.993	14.880	14.755	14.629	14.507	14.381		
CAST SEGMENT F'		−10	−14	−7	−4	0	3	−2	−8	−7	−7	−6	−5	−12	−18	−33	−32	−45	
STRESS TENDON K16		15.394	15.391	15.380	15.380	15.383	15.361	15.344	15.277	15.210	15.128	14.987	14.870	14.740	14.609	14.481	14.359	14.243	
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)		−9	−12	−5	−3	1	4	−2	−8	−7	−7	−7	−7	−14	−22	−38	−46	−54	
		15.395	15.392	15.391	15.391	15.384	15.362	15.345	15.277	15.210	15.128	14.987	14.869	14.739	14.608	14.477	14.352	14.234	
CAST SEGMENT G	−52	−49	−45	−30	−21	−11	−4	−8	−8	−7	−5	0	2	1	0	−7	−25	−31	
STRESS TENDON K17	15.353	15.355	15.360	15.367	15.372	15.372	15.363	15.338	15.275	15.211	15.131	14.993	14.878	14.751	14.621	14.485	14.373	14.257	
LAUNCH FORM TRAVELLER (RIVER)	−63	−57	−50	−34	−23	−13	−5	−8	−8	−8	−4	0	3	0	−6	−18	−24	−28	
	15.343	15.347	15.355	15.363	15.370	15.370	15.363	15.338	15.275	15.211	15.131	14.994	14.879	14.752	14.623	14.486	14.374	14.259	
CAST SEGMENT G'	−38	−35	−31	−17	−10	−2	3	−2	−5	−6	−5	−7	−6	−17	−30	−52	−67	−63	−68
STRESS TENDON K18	15.368	15.369	15.374	15.380	15.384	15.381	15.361	15.344	15.278	15.211	15.129	14.987	14.867	14.735	14.599	14.463	14.331	14.205	14.085
LAUNCH FORM TRAVELLER (LAND)	−36	−33	−29	−16	−9	−1	4	−1	−4	−5	−7	−7	−5	−19	−33	−56	−74	−62	−81
	15.370	15.371	15.375	15.381	15.385	15.382	15.361	15.345	15.278	15.212	15.129	14.986	14.866	14.733	14.598	14.459	14.325	14.198	14.073
CAST SEGMENT H' (SIDE CLOSURE)	−33	−31	−27	−15	−8	0	4	−1	−5	−6	−7	−7	−9	−17	−29	−51	−71	−97	−97
STRESS TENDON S1 TO S7	15.373	15.373	15.377	15.382	15.386	15.383	15.362	15.345	15.278	15.211	15.128	14.986	14.867	14.735	14.599	14.463	14.327	14.181	14.057
CAST SEGMENT H (MIDDLE CLOSURE)	−6	−3	−4	2	3	4	6	−1	−8	−8	−5	−7	−8	−15	−25	−43	−60	−84	−85
STRESS TENDON M1 TO M10	15.400	15.401	15.400	15.399	15.396	15.387	15.363	15.345	15.277	15.210	15.127	14.985	14.867	14.735	14.604	14.471	14.336	14.204	14.069
AFTER ALL LONG TERM LOSSES	−31	−29	−29	−22	−19	−13	−8	−12	−13	−13	−12	−9	−10	−18	−30	−51	−70	−93	−95
HAVE OCCURRED	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.370	15.360	15.335	15.289	15.204	15.123	14.984	14.868	14.733	14.598	14.463	14.328	14.183	14.058

NOTE : BASED ON ONE SET OF FORM TRAVELLER, THE CONSTRUCTION OF BALANCE CANTILEVERS SHALL BE STARTED FROM PIER 503 TO PIER 504 . THEREFORE, THE CAMBER TABLES ARE CORRECT ONLY IF THE CONTRACTOR 'S SCHEDULE AND CONSTRUCTION SEQUENCE ARE SIMILAR TO THE ASSUMPTION.

ภาพผนวกที่ ง96 CAMBER TABLE BALANCE CANTILEVER AXIS 504

Advance Segment

เนื่องด้วย Launcher ที่ใช้งานอยู่ในโครงการ ออกแบบสำหรับงานก่อสร้าง Box-Girder ความยาวช่วงสูงสุด 40 เมตร เพื่อจะนำมาใช้สำหรับความยาวช่วง 45 เมตร จำเป็นต้องก่อสร้าง Box-Girder ส่วน Advance Segment เพื่อต่อส่วนที่ยาวเกิน 40 เมตร และ เป็นจุดรองรับ Roller Support สำหรับการเลื่อน Launcher

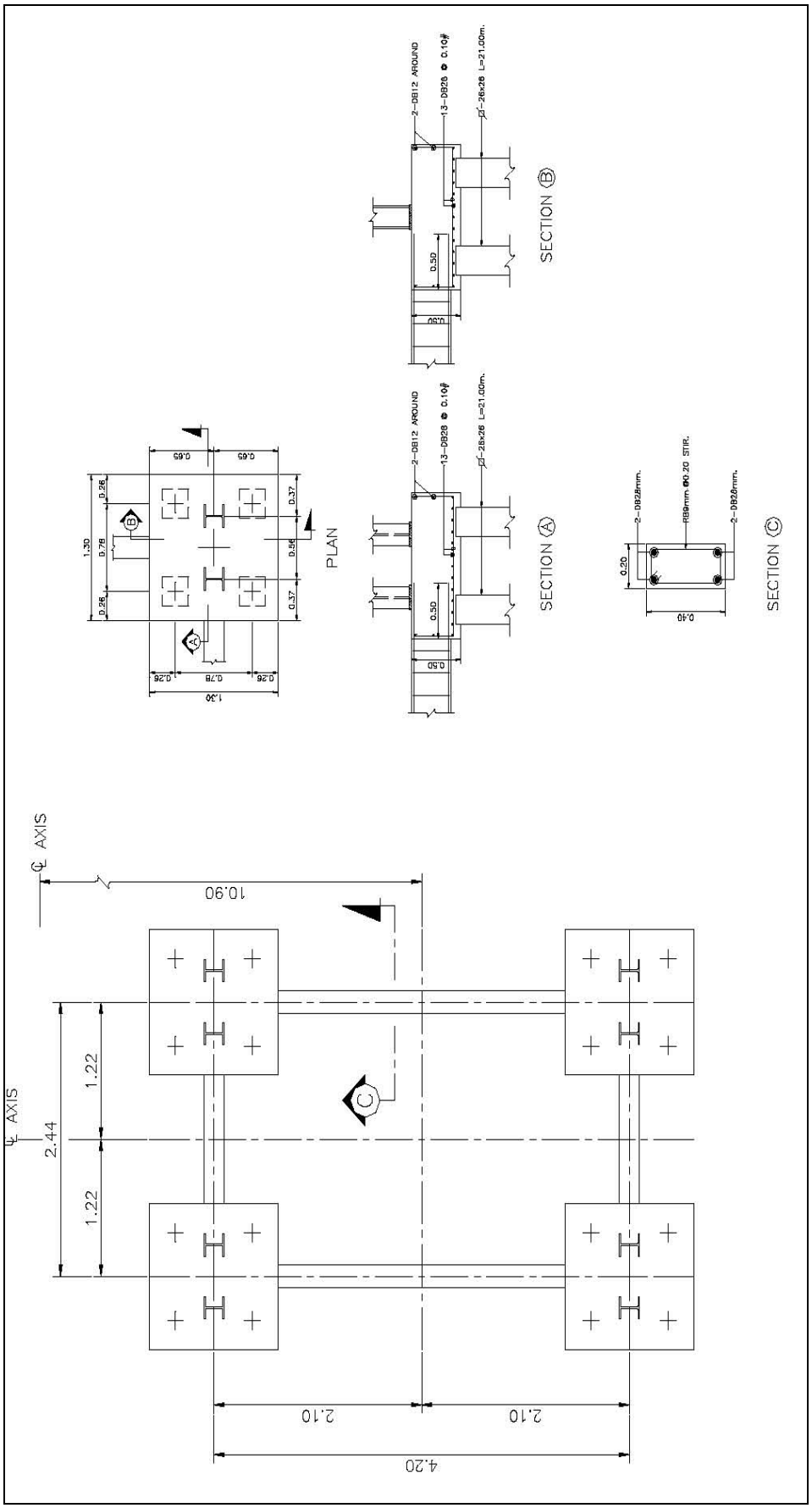
Advance Segment ที่จะดำเนินการ แบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะของโครงสร้าง คือ ส่วน Construction joint และ Expansion joint โดยมีรายละเอียดการก่อสร้างดังนี้

1. งานฐานรากและ Temporary Tower Support

1.1 ดำเนินการตอกเสาเข็ม Sq. 26 x 26 ยาว 21.00 เมตร จำนวน 16 ต้น โดยทำฐานรากเป็น 4 ฐาน ฐานละ 4 ต้น และทำคานคอนกรีตรัดโดยรอบ

1.2 ติดตั้ง Steel Support ความสูง 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร จำนวน 5-6 ชั้น ตามความสูงของ box-Girder ใช้รองรับแบบหล่อ Box-Girder และ Launcher

1.3 ติดตั้งคานเหล็กขนาดใหญ่ เพื่อรองรับแบบหล่อ และ hydraulic Jack ในขณะดำเนินการก่อสร้างโดย Launcher



ภาพผนวกที่ 97 แบบรายละเอียดแสดงฐานรากถาวร TEMPORARY TOWER SUPPORT PIER 497-501

2. งาน Box-Girder

2.1 ส่วน Construction Joint (P 498 & 500)

2.1.1 เมื่อดำเนินงานฐานรากและ Temporary Tower Support แล้วเสร็จ จึงดำเนินการก่อสร้าง Box-Girder ส่วน Advance Segment ความยาว 5.20 เมตร โดยดัดแปลงแบบหล่อ Cross Head จำนวน 3 ชุด เรียงต่อกันปิดช่องรอยต่อ โดย Strip Plate เปิดช่องขนาด 0.40 x 0.40 เมตร สำหรับติดตั้ง Screw jack ตัวใหญ่ จำนวน 4 ตัว

ภาพผนวกที่ ง98 ประกอบแบบหล่อ Advance Segment

2.1.2 ติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีต, ท่อ Tendon และ Anchorage สำหรับงาน Post-Tension ตรวจสอบและปิดแบบ Inner Web Formwork ในส่วนนี้จะดำเนินการงานคานขวาง (Diaphragm) รับ Roller Support ไปพร้อมกัน

2.1.3 ดำเนินการเทคอนกรีตช่วง Bottom Slab & Web

2.1.4 ดำเนินการส่วนงาน Deck Slab พร้อมเทคอนกรีต

2.1.5 ทำการรื้อถอนแบบหล่อ โดยการลดระดับ Screw Jack ตัวเล็กที่รองรับแบบหล่อลง พร้อมเคลื่อนแบบหล่อออกทางด้านข้าง ซึ่ง Box-Girder ส่วน Advance Segment จะถูกรองรับด้วย Screw Jack ตัวใหญ่จำนวน 4 ตัวแทน

ภาพผนวกที่ ง99 ทำการรื้อถอนแบบหล่อหลังเทคอนกรีตช่วง Bottom Slab & Web และ Deck Slab

2.16 ทำการเลื่อน Launcher ให้ outer Formwork ตัวปลายสุด ของ Launcher เข้าประกบ Advance Segment ที่เทไว้

ภาพผนวกที่ ง100 ทำการเลื่อน Launcher เข้าประกบ Advance Segment ที่เทไว้

2.1.7 นำ hydraulic Jack ขนาด 350 Tons จำนวน 2 ตัว เข้าสอดใต้ Advance Segment ด้านล่าง (ใต้ Diaphragm รับ Roller Support) ปรับระดับ Advance Segment ให้ได้ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งน้ำหนักของ Advance Segment จะดำเนินผ่าน Hydraulic Jack ลงบน Tower Support และพร้อมสำหรับการรับน้ำหนัก Launcher ในขั้นตอนต่อไป

2.1.8 ดำเนินการก่อสร้าง Box-Girder โดย Launcher ตามขั้นตอนปกติจนถึงขั้นตอนการวางท่อ Tendon จะทำการต่อท่อ Tendon จาก Advance Segment แล้วจึงร้อย PC.Strand ผ่านจากหัว Anchorange ที่ติดตั้งไว้แล้ใน Advance Segment

2.1.9 เมื่อดำเนินการก่อสร้าง Box-Girder แล้วเสร็จ เตรียมการเลื่อน Launcher โดยการติดตั้ง Roller Support 1 ชุด ที่ Advance Segment ตรงตำแหน่งของคานขวาง และอีก 1 ชุด ที่คานขวางหัวเสาถัดไป พร้อมที่จะทำการเลื่อนตัวไปทำการก่อสร้าง Box-Girder ในช่วงถัดไป

2.2 ส่วน Expansion Joint (P 497, 499 & 501)

2.2.1 แบบหล่อ Cross Head ที่ได้ดัดแปลงแล้วเหมือนกับการก่อสร้าง Advance Segment ช่วง Construction Joint

2.2.2 ติดตั้งท่อ Tendon งาน Post Tension ช่วง Box-Girder และ Diaphragm ความยาว 4.10 เมตร (1.50 + 2.60 เมตร) โดยทำการเทคอนกรีตเป็น 2 ขั้นตอน คือ Bottom Slab & Web และ Deck Slab

2.2.3 ทำการรื้อแบบหล่อออกโดยให้ Advance Segment ส่วนที่เทไว้วางอยู่บน Screw Jack ตัวใหญ่ จำนวน 4 ตัว

2.2.4 ยึดรั้ง Advance Segment กับโครงการส่วน End Elevation Bearing End โดยใช้ 2-[150 x 75 x 6.0 m. ยึดรั้งในช่อง Opening Service ที่ Diaphragm และผนัง End Elevation Bearing End ล็อคทั้ง 2 ด้าน ด้วย 2-[150 x 75 ยึดด้วย Bolt M20 x 55 mm. (ตามแบบ) เพื่อป้องกันการขยับตัวขณะเลื่อน Launcher

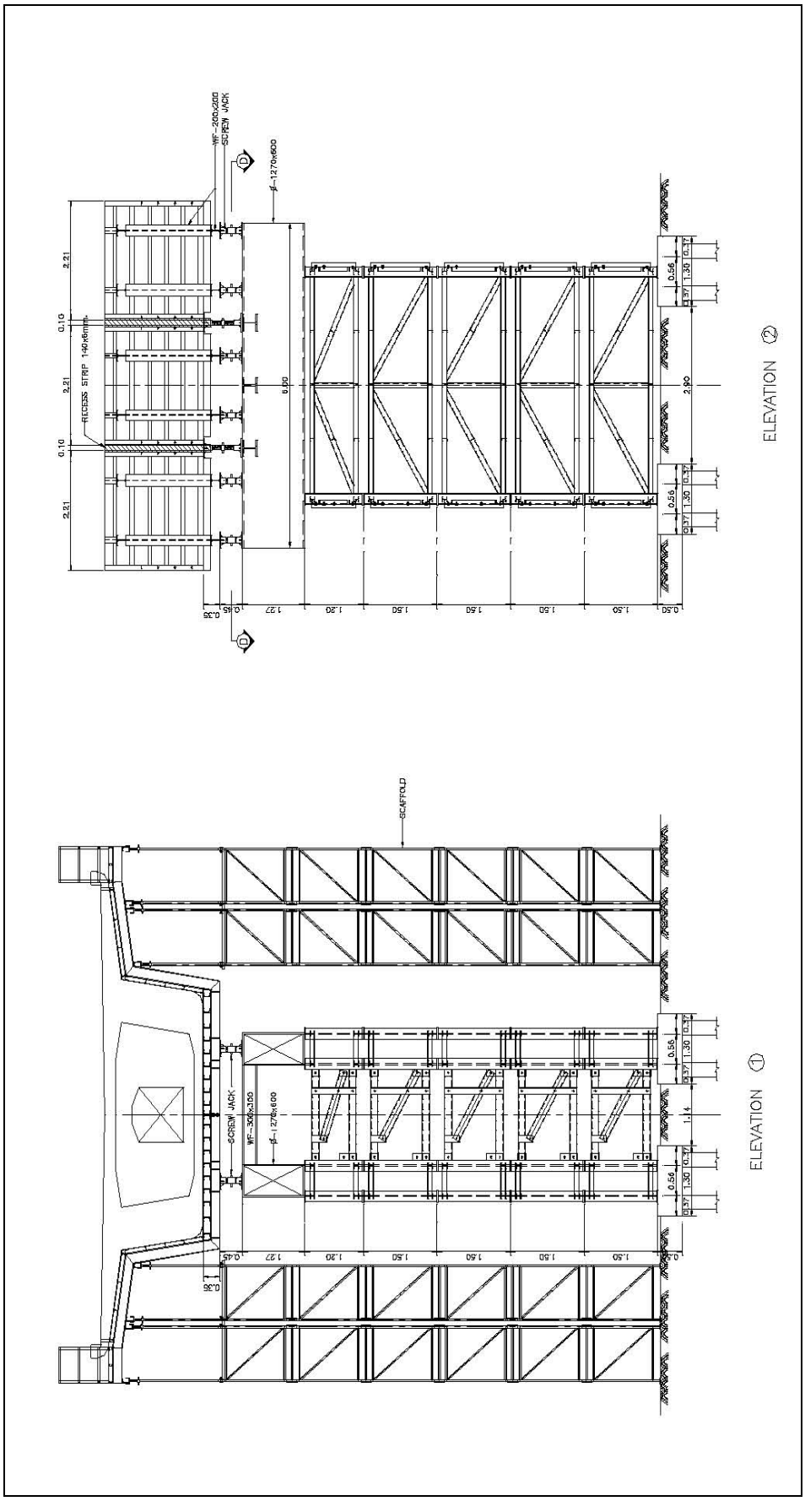
2.2.5 นำ Hydraulic Jack ขนาด 350 Tons จำนวน 2 ตัว สอดใต้ Advance Segment บริเวณ Diaphragm เพื่อใช้ประระดับ และถ่ายน้ำหนักลง Tower Support

2.2.6 ติดตั้ง Roller Support บน Advance Segment ที่เตรียมไว้ และบน Cross head บนหัวเสาถัดไป

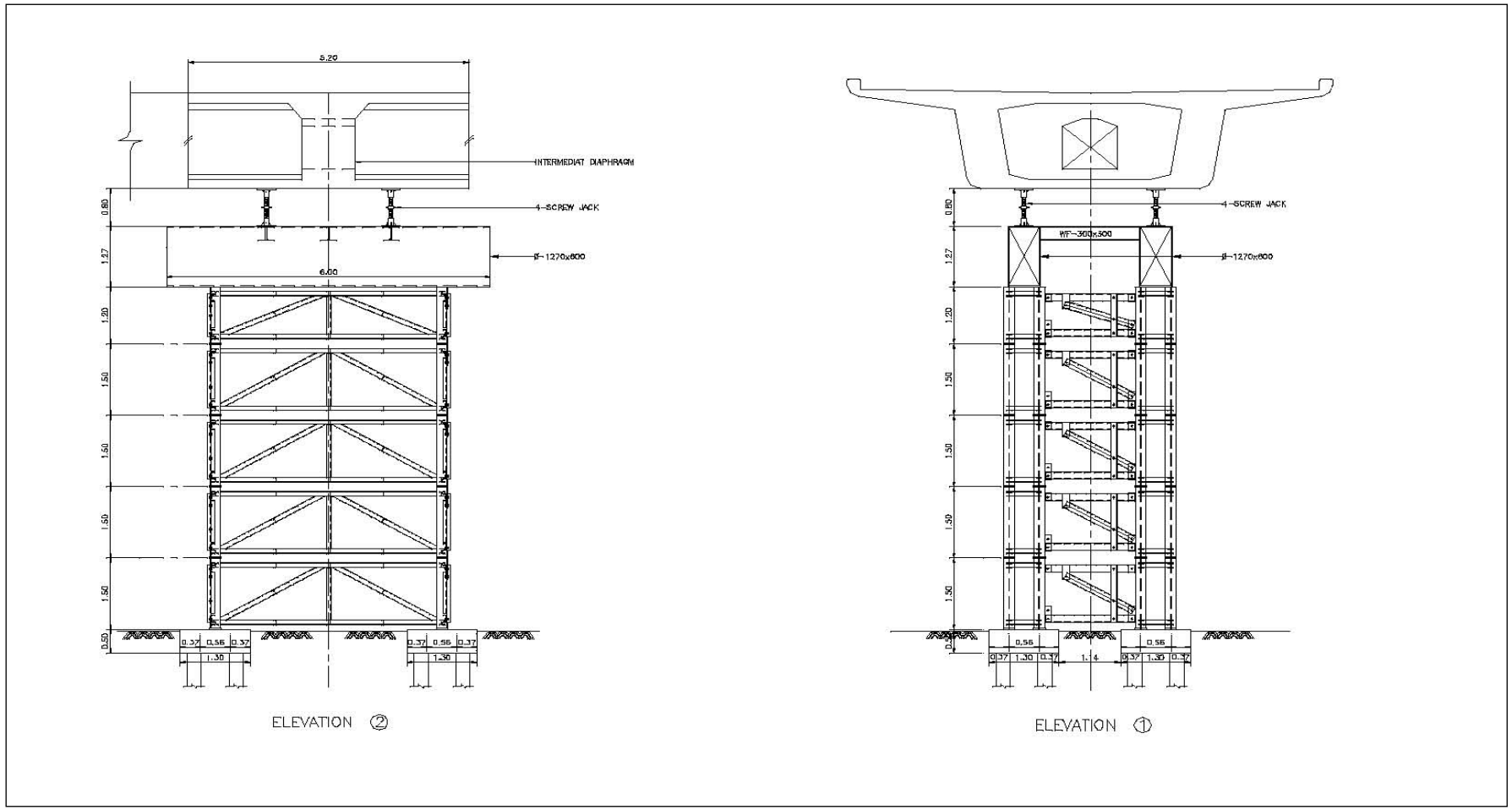
2.2.7 เลื่อน Launcher เพื่อทำการก่อสร้าง Box-Girder โดยให้ Outer Formwork ชุดสุดท้ายสอดประกบกับปลาย Advance Segment ที่หล่อเตรียมไว้

2.2.8 นำแบบ Cross Head ที่ได้ดัดแปลง ไว้ 1 ชุด ประกอบติดตั้งบนคาน และอีก 1 ชุดติดตั้งบนคานเหล็ก 1 ด้าน ส่วนอีกด้านใช้แขวนยึดไว้กับ Box-Girder ที่เทไปแล้ว เพื่อดำเนินการงานส่วน End Elevation Support End ส่วนที่เหลือ

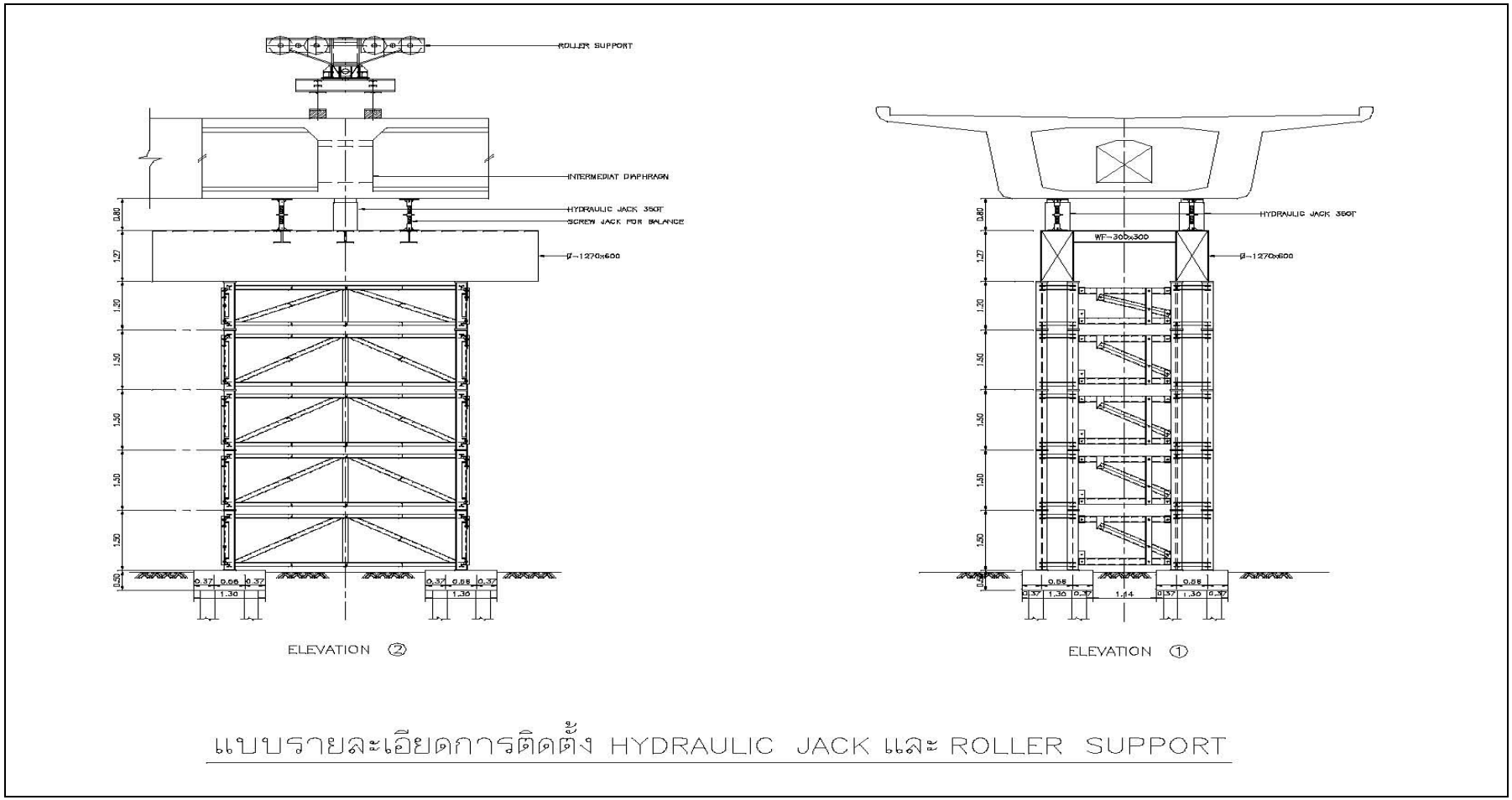
ดำเนินการก่อสร้าง Box-Girder ตามขั้นตอนปกติ



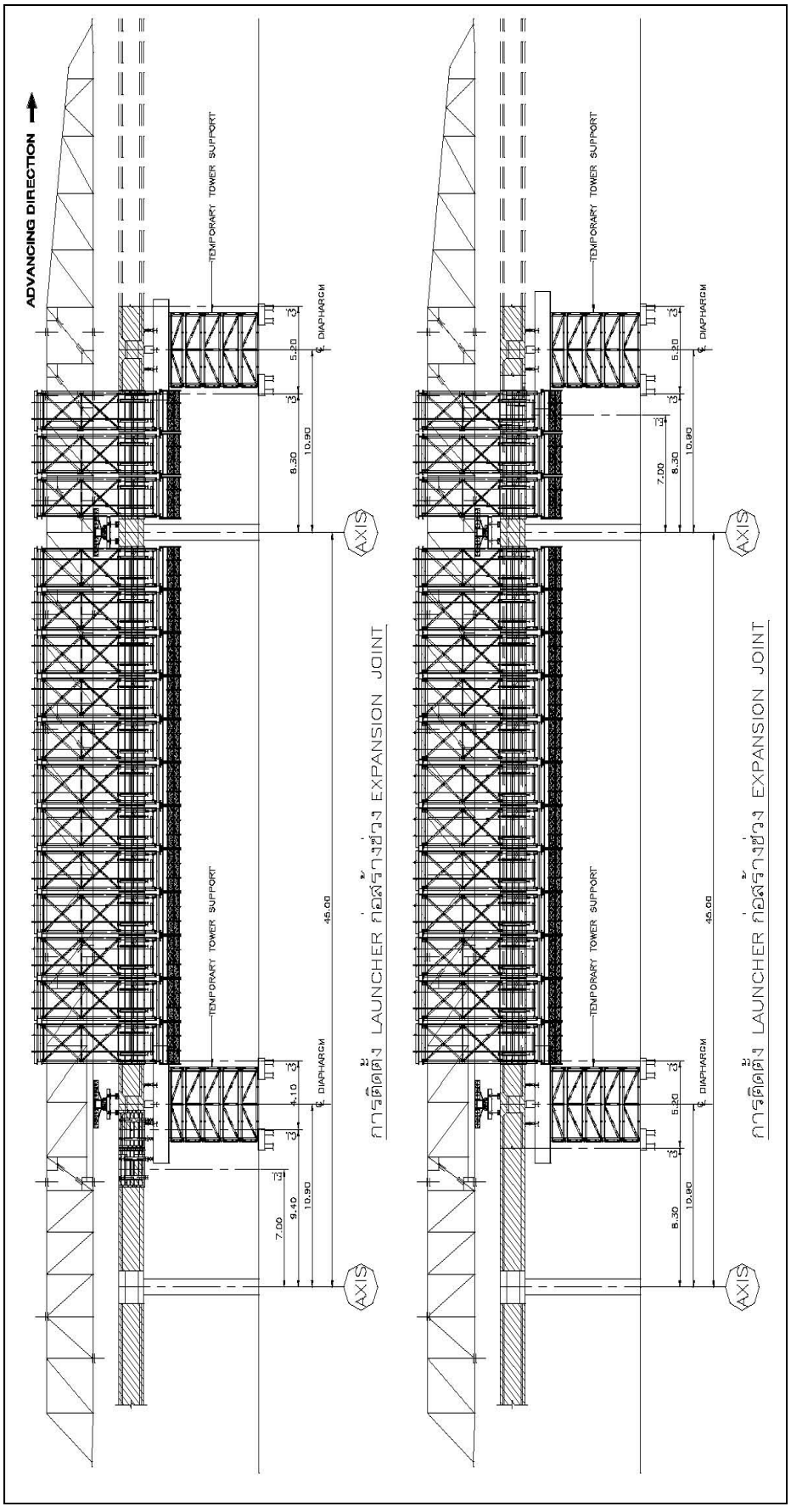
ภาพผนวกที่ จ101 แบบรายละเอียดการติดตั้ง TEMPORARY TOWER SUPPORT และ FORMWORK ด้าน ADVANCE SEGMENT



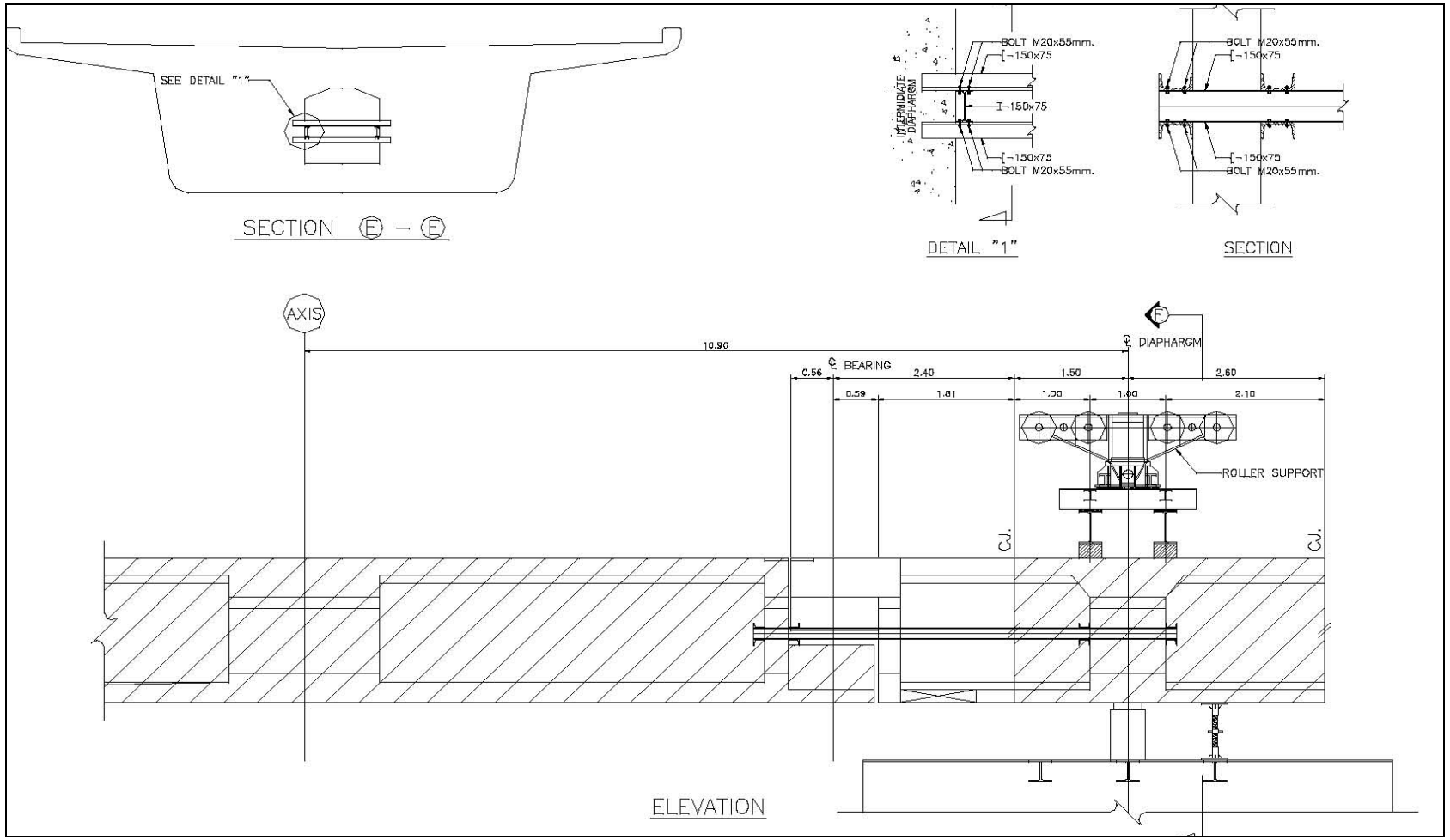
ภาพผนวกที่ ง102 แบบรายละเอียด ADVANCE SEGMENT หลังจากรื้อถอน FORMWORK



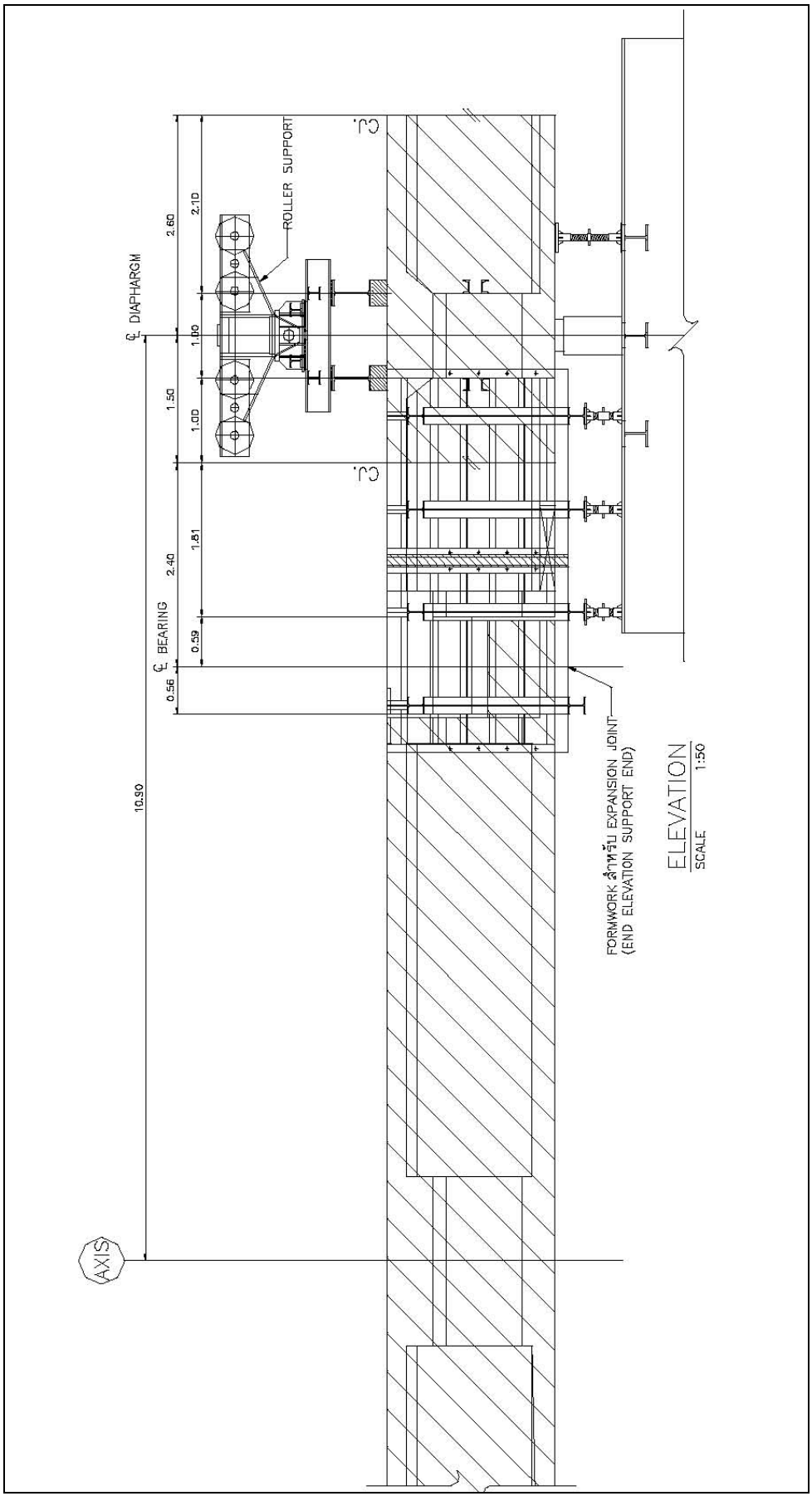
ภาพผนวกที่ ง103 แบบรายละเอียดการติดตั้ง HYDRAULIC JACK และ ROLLER SUPPORT



ภาพผนวกที่ จ104 การติดตั้ง LAUNCHER ก่อสร้างช่วง EXPANSION JOINT



ภาพผนวกที่ ง105 แบบรายละเอียดการยึดรั้ง ADVANCE SEGMENT



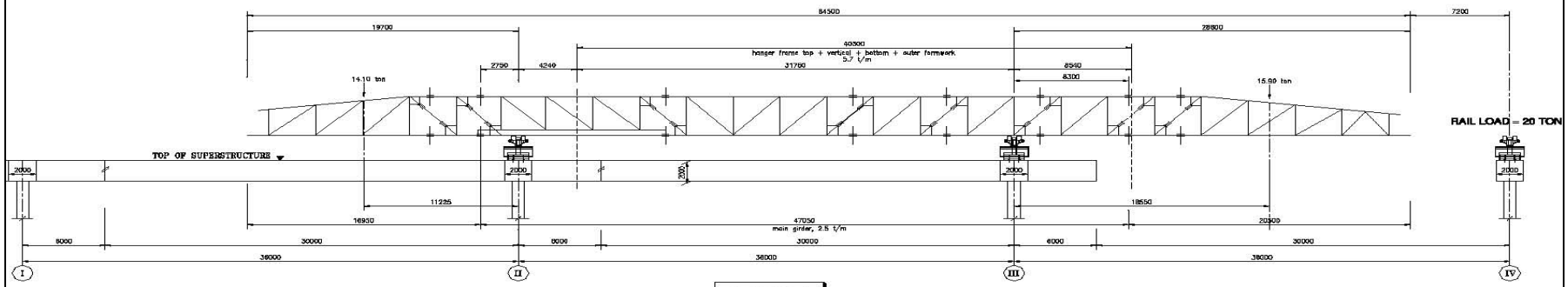
ภาพผนวกที่ จ106 แบบรายละเอียดการติดตั้ง FORMWORK ด้าน EXPANSION JOINT

2.3 การติดตั้ง Roller Support ที่ไม่ตรงกับโครงสร้างเสา

ในการดำเนินการก่อสร้าง Box-Girder ช่วง Span ไม่เกิน 36 เมตร โดยปกติตำแหน่งของ Roller Support จะอยู่บนโครงสร้างเสา หากใช้ Launcher ในการก่อสร้าง Box-Girder ช่วง Span เกิน 36 เมตร หรือการก่อสร้าง Span 45 เมตร โดยใช้ Advance Segment นั้น ตำแหน่งของ Roller Support จะไม่สามรถวางบนโครงสร้างเสาได้ จำเป็นต้องวางบนตำแหน่งปลายยื่น (Cantilever) ของ box-Girder ซึ่งการวางในตำแหน่งที่เปลี่ยนไปจะต้องได้รับการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้าง box-Girder จากผู้ออกแบบงานโครงสร้าง

2.4 Launcher Preliminary loadings

Load Reaction และ Moment ที่เกิดขึ้นกับ Launcher และโครงสร้าง Box-Girder ในแต่ละขั้นตอน สามารถตรวจสอบได้ดังนี้



STAGE 1

CONCRETING SPAN (II) - (III) (TWO STEP CASTING WITH PARTIAL PRESTRESSING 50 %) → 50 % OF ALL TENDONS UP TO 100 % FORCE

$M_{(II)-(III)^{max}}$ = +2411 tm

$M_{(III)}$ = -731 tm

$A_{(III)^{max}}$ = 435 t

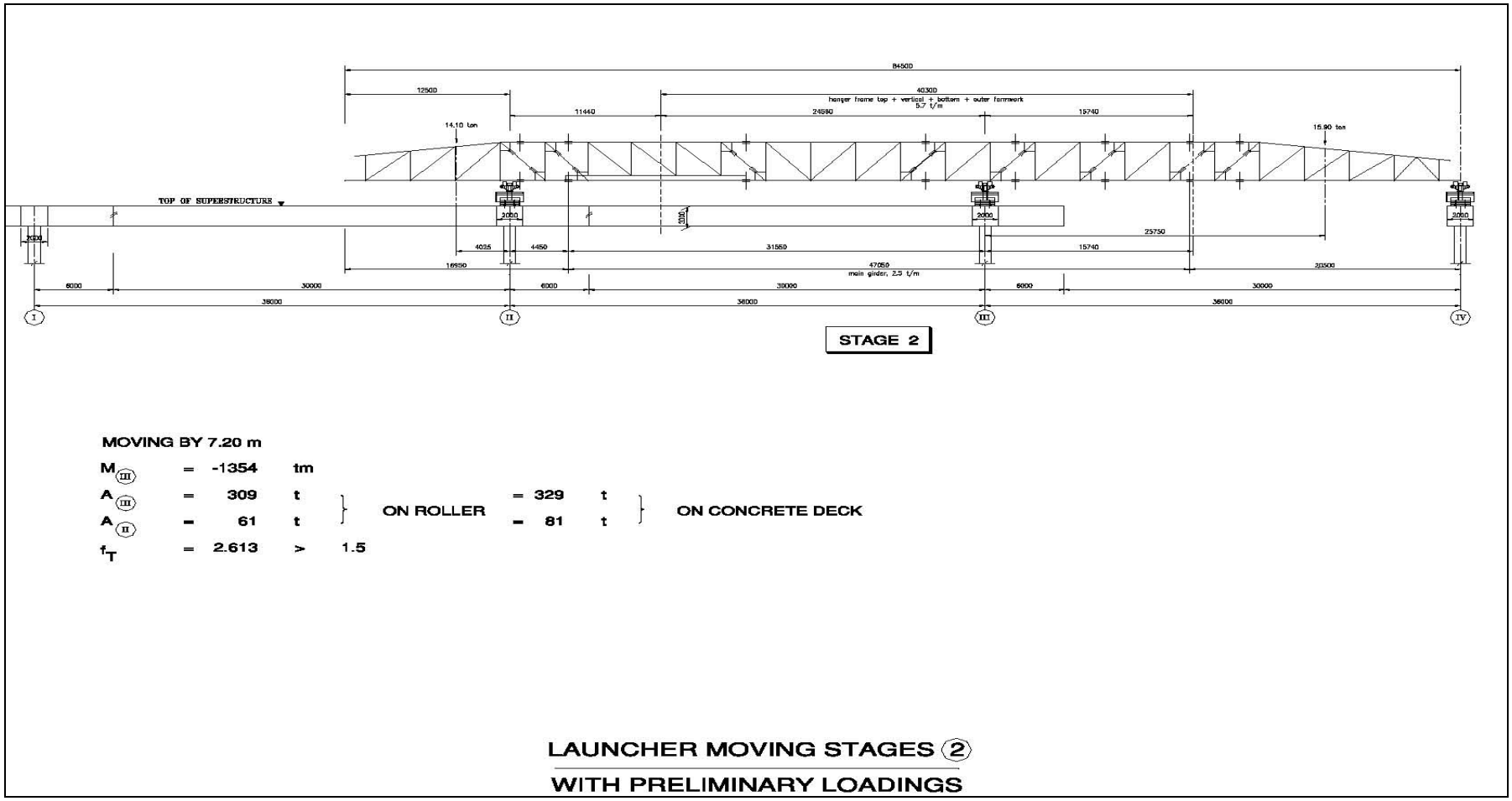
$A_{(II)}$ = 253 t

CONCRETE SPAN (II) - (III) + INNER FORMWORK = 8.17 t/m
MAINGIRDER + HANGER FRAME + OUTER FORMWORK + RAIL

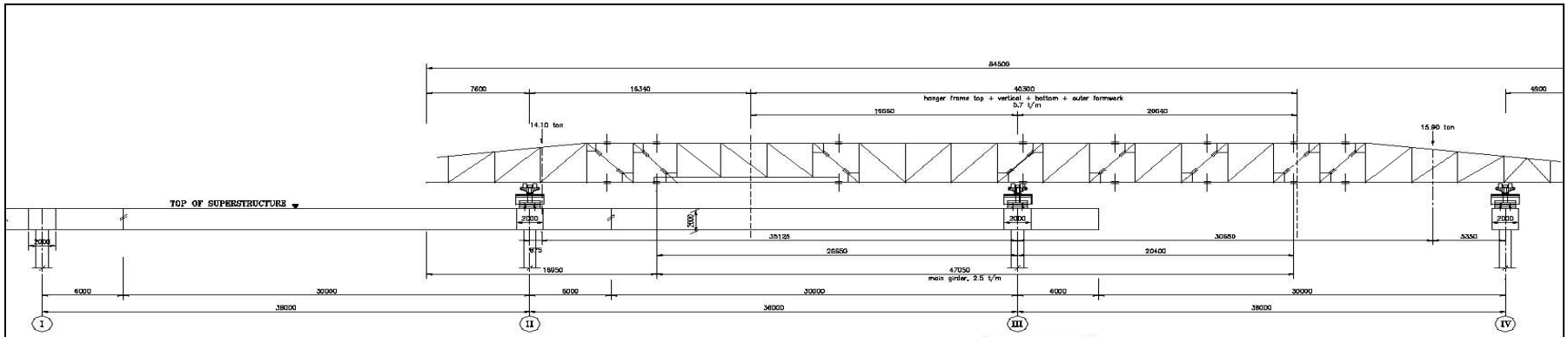
ON CONCRETE DECK

LAUNCHER MOVING STAGES (1)
WITH PRELIMINARY LOADINGS

ภาพผนวกที่ ง107 LAUNCHER MOVING STAGES 1 WITH PRELIMINARY LOADINGS



ภาพผนวกที่ ง108 LAUNCHER MOVING STAGES 2 WITH PRELIMINARY LOADINGS



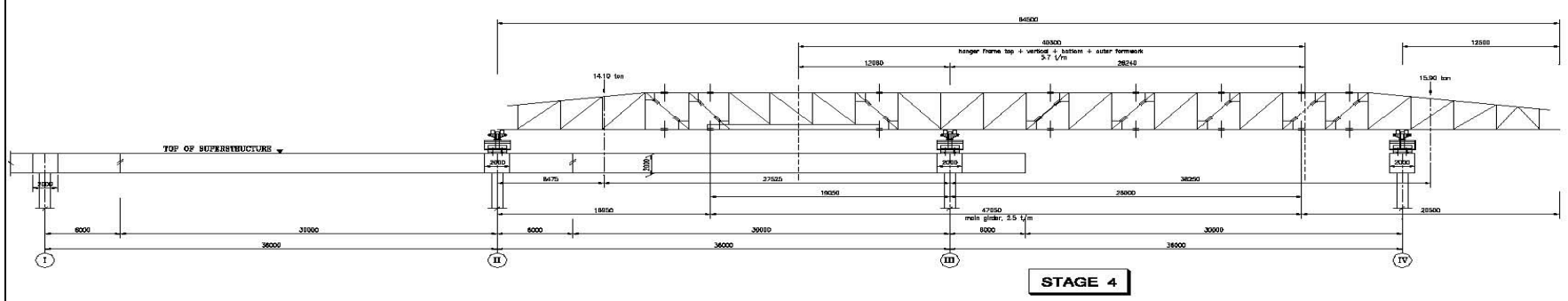
MOVING ANOTHER 6.55 m

$A_{(II)}$	=	40	t	ON ROLLER	=	60	t	ON CONCRETE DECK
$A_{(III)}$	=	295	t		=	315	t	
$A_{(IV)}$	=	35	t		=	55	t	

LAUNCHER MOVING STAGES (3)

WITH PRELIMINARY LOADINGS

ภาพผนวกที่ ง109 LAUNCHER MOVING STAGES 3 WITH PRELIMINARY LOADINGS



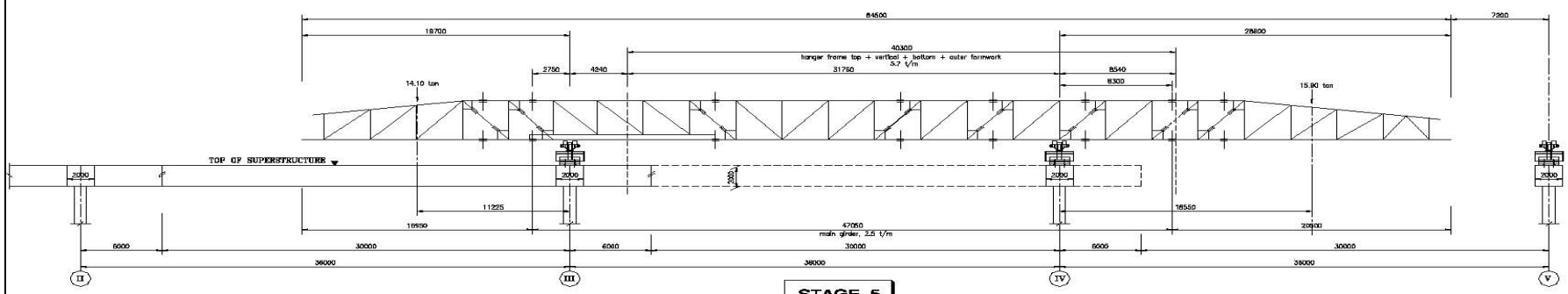
MOVING ANOTHER 5.95 m

$M_{(III)}^{min}$	=	-1258	tm					
$A_{(III)}^{max}$	=	302	t	}	ON ROLLER	= 322	t	} ON CONCRETE DECK
$A_{(IV)}$	=	68	t			= 88	t	
f_T	=	2.934	>	1.5				

LAUNCHER MOVING STAGES (4)

WITH PRELIMINARY LOADINGS

ภาพผนวกที่ ง110 LAUNCHER MOVING STAGES 4 WITH PRELIMINARY LOADINGS



STAGE 5

MOVING ANOTHER 16.3 m
AND REACH NEXT POSITION

$M_{(III)-(IV)}$	=	+1085	tm
$M_{(IV)}$	=	-588	tm
$A_{(IV)}$	=	239	t
$A_{(III)}$	=	131	t

MAINGIRDER + HANGER FRAME + OUTER FORMWORK + RAIL

ON ROLLER	=	259	t
	=	151	t

ON CONCRETE DECK

LAUNCHER MOVING STAGES (5)
WITH PRELIMINARY LOADINGS

ภาพผนวกที่ ง111 LAUNCHER MOVING STAGES 5 WITH PRELIMINARY LOADINGS

2.5 Deflection และ Camber

การแอ่นตัว (Deflection และ Camber) ของโครงสร้าง Box-Girder ผู้ออกแบบได้ทำการคำนวณการแอ่นตัวของโครงสร้างส่วนบนที่ทำการก่อสร้าง Span by Span โดยได้ทำการคำนวณค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างส่วนบน Typical Span 36.00 เมตร ที่ 30 วัน, 90 วัน, 1 ปี, 5 ปี, 10 ปีและที่ 10,000 วัน (27.4 ปี) โดยค่าการแอ่นตัวมีค่าดังต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ ง1 แสดงค่า Time-Dependent Deflection ของโครงสร้างส่วนบน Typical Span 36.00 เมตร

			Time after loading, days					
			30	**90**	**365**	**1825**	**3650**	**10000**
Estimated % of time-dependent prestress loss			20	30	60	85	90	100
F1 (t)	F1i =	9960 KN	9726	9609	9257	8964	8906	8789 KN
F2(t)	F2i =	9960 KN	9726	9609	9257	8964	8906	8789 KN
Ece (t)			26869	24148	19497	16440	15818	14991 N/mm2
Δ F1			1.06	1.16	1.38	1.58	1.63	1.70 cm
Δ F2			0.98	0.98	1.17	1.34	1.38	1.44 cm
Δ F1+F2			1.95	2.14	2.55	2.92	3.02	3.14 cm
Δ SDL			-0.46	-0.50	-0.60	-0.68	-0.71	-0.74 cm
Δ DL			-1.51	-1.61	-1.86	-2.10	-2.16	-2.24 cm
Total Δ			-0.02	0.03	0.10	0.14	0.15	0.16 cm

โดยค่าบวก (+) เป็นค่าการแอ่นตัวขึ้น (Camber) และค่าลบ (-) เป็นค่าการแอ่นตัวลง (Deflection) จากค่าในตารางจะเห็นได้ว่าการแอ่นตัวขึ้นเนื่องจากผลของการ Pre-stressing จะมีค่าประมาณ 3 ซม. และการแอ่นตัวลงเนื่องจาก Dead load และ Superimposed Dead load จะมีค่าประมาณ 3 ซม.เช่นเดียวกัน ซึ่งผลรวมของค่าการแอ่นตัวขึ้นและลงจะอยู่ในราว 0.15 ซม. (แอ่นขึ้น)

จะเห็นได้ว่าการแอ่นตัวมีความละเอียดและมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบน ซึ่งมีความจำเป็นต้องทำการ Pre-Camber Formwork ก่อนการเทคอนกรีตและ Pre-stressing เพื่อควบคุมให้ค่าระดับของ Box-Girder เป็นไปตามแบบกำหนดให้ได้มากที่สุดในการพิจารณาค่า Pre-Camber ประเมินได้จากค่าการแอ่นตัวขึ้นหรือลง Launching truss (Main Girder) อัน

เนื่องมาจากการเท Fresh Concrete และการแอ่นตัวขึ้นของโครงสร้างส่วนบนจากการ Pre-stressing ลวดอัดแรง (Post-Tension) โดยค่าการแอ่นตัวของ Launching Truss ได้จากการสอบถามผู้ออกแบบ Launcher และการเก็บข้อมูลหน้างานและค่าการแอ่นตัว อันเนื่องมาจากการ Pre Stressing ได้มาจากผู้ออกแบบโครงสร้างและการเก็บข้อมูลหน้างานเช่นเดียวกัน โดยมีรายละเอียดดังตาราง

ตารางผนวกที่ ง2 แสดงค่า Camber ของโครงสร้างส่วนบน Typical Span 36.00 เมตร

Stage	Description	Mid.Span	Cons.Joint	Remark
1	Launching Truss	-2.85	+1.00	+ = Upward
	(Load From fresh Concrete)			
2	Prestressing	+2.85	+3.00	- = Downward
	Summary	0.00	+4.00	

ที่มา: Camber Dimension is in Centimeter Unit

ตารางผนวกที่ ง3 แสดงค่า Camber ของโครงสร้างส่วนบน Span 40.00 เมตร (Frame 29.9+40+7เมตร)

STAGE	DESCRIPTION	@ Mid-Span 1	@ CJ	@ Mid-Span 2	@ EJ	Remark
		6	14	17	25	
1	DL of U-Section	-2.2748	1.2167			+ = upward
	Stressing T1-T3	1.9554	1.5361			- = Downward
	DL Top Slab	-2.0253	1.2030			
2	Stressing T4-T6	0.8166	0.0142			
3	DL of U-Section	0.5012	-0.9821	-2.2303	0.7637	
	Stressing T1-T3	0.3632	0.6671	1.7301	1.2999	
	DL of Top Slab	0.4281	-0.8428	-1.9316	0.7335	
4	Stressing T4-T6	-0.2583	0.5257	1.1847	-0.0328	
5	Launching Truss	-2.8500	1.0000	-2.8500	1.0000	
	SUMMARY	**-4.0703**	**4.3379**	**-4.0971**	**3.7643**	

ที่มา: Camber Dimensions is in Centimeter unit.

ตารางผนวกที่ ง4 แสดงค่า Camber ของโครงสร้างส่วนบน Span 45.00 เมตร (Frame 38 +45 +7 เมตร)

STAGE	DESCRIPTON	@ Mid-Span	@ CJ	@ Mid-Span2	@ EJ	Remark
1	DL of U-Section	-4.9070	2.0375			+ = Upward
	Stressing T1-T3	3.8259	4.7351			- = Downward
	DL of Top Slab	-4.2648	2.1657			
2	Stressing T4-T6	2.1146	-0.3967			
3	DL of U-Section	0.7744	-2.1133	-3.2946	1.1012	
	Stressing T1-T3	-0.6116	1.5617	2.2406	1.6205	
	DL of Top Slab	0.6618	-1.8151	-2.8427	1.0260	
4	Stressing T4-T6	-0.3258	0.9592	1.4643	0.0178	
5	Launching Truss	-2.8500	1.0000	-2.8500	1.0000	
	SUMMARY	**-5.5825**	**8.1341**	**-5.2824**	**4.7665**	

ที่มา: Camber dimensions is in centimeter unit

นอกจากการ Pre Camber แบบหล่อข้างต้นแล้ว ช่วงรอยต่อคอนกรีตเก่า-ใหม่ บริเวณ Construction joint มักจะเกิดปัญหารอยต่อไม่สนิท มีรอยขยักของเนื้อคอนกรีต และคอนกรีตพรุน สกปรก จึงควรระมัดระวังในการก่อสร้าง โดยมีข้อแนะนำ ดังนี้

1. สกัดบริเวณรอยต่อคอนกรีต พร้อมทำความสะอาดให้เรียบร้อย

2. ตรวจสอบความเรียบร้อย ทำความสะอาดผิวคอนกรีตด้านนอกของ Box-Girder เพื่อให้แบบหล่อเข้าประกับได้อย่างสนิท

3. นำแบบหล่อประกับเข้ากับ Box-Girder ขัน Hanger Rod ยึดแบบให้แน่น ตรวจสอบรอยต่อโดยรอบ หากมีช่องว่างไม่สนิทใช้แผ่นโฟมยางรองอัดให้แน่น แล้วใช้ซิลิโคนยาแนวรอยต่อให้เรียบร้อย

4. ก่อนเทคอนกรีต ทำความสะอาดรอยต่อ Construction Joint เป็นพิเศษ

5. เมื่อเทคอนกรีต พยายามจี้คอนกรีตให้สมบูรณ์ อาจเลือกใช้หัวจี้คอนกรีตที่มีขนาดเล็กกว่าปกติ เนื่องจากบริเวณ Construction จะมีเหล็กเสริมคอนกรีต และอุปกรณ์งาน post-Tension ค่อนข้างหนาแน่น

ระบบนั่งร้าน และแบบหล่อ (Scaffold & Formwork)

เป็นการก่อสร้างคานรูปกล่องช่วงต่อจากจุดสิ้นสุดรถไฟฟ้า BTS จนถึงจุดต่อสะพานข้ามแม่น้ำ เป็นการก่อสร้างคร่อมคลองสาทร จนถึงแม่น้ำเจ้าพระยา มีขั้นตอนการก่อสร้างดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ปัก King Post และทำ Bracing System เพื่อใช้เป็นฐานรองรับระบบค้ำยัน (Normal Shoring) บริเวณ คร่อมคลองสาทร ปัก Sheet Pile กั้นริมฝั่งกับแม่น้ำพร้อมดำเนินการก่อสร้างท่าเรือชั่วคราว (Temporary Jetty) แล้วจึงติดตั้งนั่งร้านบน Support ดังกล่าว

ภาพผนวกที่ ง112 ปัก King Post บริเวณคลองสาทรเพื่อใช้เป็นฐานรองรับระบบค้ำยัน

ภาพผนวกที่ ง113 ติดตั้งนั่งร้านบน Support เพื่อรองรับแบบหล่อ

ขั้นตอนที่ 2 ประกอบแบบหล่อสำหรับงานพื้นที่ด้านล่างกับกำแพงด้านข้าง (Bottom Slab & Webs Formwork)

ภาพผนวกที่ ง114 ประกอบแบบหล่อพื้นที่ด้านล่างกับกำแพงด้านข้าง (Bottom Slab & Webs Formwork)

ขั้นตอนที่ 3 ปรับระดับทศทางให้ได้ตามแบบก่อสร้างแล้วจึงวางเหล็กเสริมคอนกรีต (Bottom Slab & Webs Formwork) และ อุปกรณ์ลวดอัดแรง (Post Tension) ใน Webs รวมทั้งแบบด้านใน

ภาพผนวกที่ ง115 ติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีต (Bottom Slab & Webs Formwork)

ภาพผนวกที่ ง116 ติดตั้งอุปกรณ์ลวดอัดแรง (Post Tension) ใน Webs

ขั้นตอนที่ 4 เทคอนกรีต Bottom Slab & Webs

ภาพผนวกที่ ง117 ปิดแบบ Webs พร้อมเทคอนกรีต Bottom Slab & Webs

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากเทคอนกรีตแล้วบ่มให้ได้กำลังความแข็งแรง (Strength) ตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วจึงทำการกดึงลวดอัดแรง (Post Tension) 50 %

ขั้นตอนที่ 6 วางแบบหล่อสำหรับงานพื้นที่ด้านบน (Deck Slab) พร้อมทั้งวางเหล็กเสริมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 7 เทคอนกรีต Deck Slab แล้วให้ได้ความแข็งแรง (Strength) ตามที่ได้ออกแบบแล้วจึงทำการดึงลวดอัดแบบ (Post Tension) อีก 50% ที่เหลือ ซึ่งเมื่อดึงลวดอัดแรงเสร็จเรียบร้อยแล้ว ตัวคานด้านบน Superstructure จะสามารถรองรับน้ำหนักของตัวมันเองได้ทั้งหมด

ภาพผนวกที่ ง118 Deck Slab ที่ทำการเทคอนกรีตแล้ว

ขันตอนที่ 8 รื้อถอนแบบหล่อและระบบค้ำยันออก

ภาพผนวกที่ ง119 รื้อถอนแบบหล่อและระบบค้ำยันออก

ภาคผนวก จ

ตารางการพิจารณาใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตราย

ตารางผนวกที่ จ1 ตารางการพิจารณาใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตราย

	Check list	**What-If Analysis**	**HAZOP**	**Fault Tree Analysis**	**FMEA**	**Event Tree Analysis**
การวิจัยและพัฒนา		●				
การออกแบบ	●	●				
โรงงานต้นแบบ	●	●	●	●	●	●
ออกแบรายละเอียดทางวิศวกรรม	●	●	●	●	●	●
ก่อสร้างและเริ่มดำเนินการ	●	●				
การดำเนินการตามปกติ	●	●	●	●	●	●
ขยายหรือปรับปรุงโรงงาน	●	●	●	●	●	●
การสอบสวนอุบัติเหตุ		●	●	●	●	●

ภาคผนวก ฉ

ตารางระดับโอกาสเกิดเหตุการณ์อันตรายตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางระดับความรุนแรงของอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อบุคคลตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางระดับความเสี่ยงอันตรายตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางผนวกที่ ฉ1 ระดับโอกาสเกิดเหตุการณ์อันตรายตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ระดับ	รายละเอียด
1	มีโอกาสในการเกิดยาก เช่น ไม่ค่อยเกิดเลยในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป
2	มีโอกาสในการเกิดน้อย เช่น ความถี่ในการเกิด 1 ครั้ง ในช่วง 5-10 ปี
3	มีโอกาสในการเกิดปานกลาง เช่น ความถี่ในการเกิด 1 ครั้ง ในช่วง 1-5 ปี
4	มีโอกาสในการเกิดสูง เช่น ความถี่ในการเกิดมากกว่า 1 ครั้ง ใน 1 ปี

ตารางผนวกที่ ฉ2 ระดับความรุนแรงของอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อบุคคลตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	มีการบาดเจ็บเล็กน้อยในระดับปฐมพยาบาล
2	ปานกลาง	มีการบาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์
3	สูง	มีการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง
4	สูงมาก	ทุพลภาพหรือเสียชีวิต

ตารางผนวกที่ ฉ3 ระดับความเสี่ยงอันตรายตามระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ระดับความเสี่ยง	ผลลัพธ์	รายละเอียด
1	1-2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
2	3-6	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม
3	8-9	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง
4	12-16	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทุนที

ภาคผนวก ช

แบบประเมินความเสี่ยง

แผนงานการทำงานบนผิวจราจรประจำวัน

วันที่_____เวลา_____สถานที่_____

ประเภทของงาน_____

ใช้ผิวจราจร ☐ 1 ช่องทางจราจร ☐ 2 ช่องทางจราจร ☐ 3 ช่องทางจราจร ☐ อื่นๆ_____

ขั้นตอนในการทำงาน_____

_____

_____

_____

_____

_____

ผู้ควบคุมงาน_____

(_____)

รายการตรวจสอบ					
	มี	**ไม่มี**		**มี**	**ไม่มี**
1. มีป้ายเตือนเขตก่อสร้าง 200 เมตร			2. มีป้ายเตือนเขตก่อสร้าง 100 เมตร		
3. มีป้ายเตือนเขตก่อสร้าง 50 เมตร			4. มีป้ายเตือนเครื่องจักรกำลังทำงาน		
5. มีป้ายลูกศรทางเบี่ยงพร้อมไฟหมุน ระยะ 50 เมตร			6. มีกรวยจราจรติดตั้งระหว่างไฟหมุนและไฟนิออน 3 ลูกต่อ 1 ชุด		
7. มีธงขาว-แดงผูกตลอดแนว			8. มีพลาสติก Barrier ติดตั้งหลังป้ายลูกศร		
9. มีไฟหมุนและไฟนิออนทุกระยะ 50 เมตร			10. มีจราจรคอยโบกธงให้สัญญาณ		
11. มีเจ้าหน้าที่ตำรวจจราจรหรือไม่			12. มีผู้ควบคุมงานดูแลหรือไม่		
13. มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยหรือไม่					

ข้อเสนอแนะอื่นๆ_____

_____

_____

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย_____

(_____)

โครงการก่อสร้างงานยก

วันที่_____เวลา_____สถานที่_____

รายการงานยก_____

ผู้ควบคุมงานยก_____

ขั้นตอนในการทำงานยก_____

_____

_____

_____

_____

_____

ผู้ควบคุมงาน_____

(_____)

รายการตรวจสอบ

	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง		ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
1. มีหัวหน้างานควบคุมงานยก			2. พื้นที่การติดตั้งเครนแข็งแรงดี		
3. มีคนให้สัญญาณในการยก			4. การตั้งตีนข้างปลอดภัยดี		
5. สภาพอุปกรณ์งานยกใช้การได้ดี			6. บริเวณงานยกปลอดภัยดี		
7. เครนมีสภาพใช้งานได้ดี			8. การยกถูกต้องหรือไม่		
9. มีการปิดล้อมบริเวณในงานยก			10. ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล		

ข้อเสนอแนะอื่นๆ_____

_____

_____

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย_____

(_____)

แบบฟอร์มตรวจสอบก่อนการยก Bottom Formwork Form Traveller

(Inspection Check List Priov to Lifting of Bottom Formwork of form Traveller)

ลำดับ	รายละเอียด	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
		พร้อม	ไม่พร้อม	
1	ตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้าง Form Traveller			
	1.1 Soild Plate ส่วนล่าง และงาน Rear Anchorage			
	1.2 Coupler รอยต่อของ Thread Bar บริเวณ Rear Anchorage			
	1.3 Check Torque Wrench			
2	ตรวจสอบรอบรอกไฟฟ้า			
	2.1 แนวเชื่อมและ Thread Bar ของตัวตั้งรอกไฟฟ้า			
	2.2 ใส่สลักกันรอกตกหล่นขณะยก Bottom Form ของ			
	Safety Thread Bar			
3	ตรวจสอบการใช้โป๊ะขณะยกของ			
	3.1 ติดตั้งไฟกระพริบ 4 จุด บริเวณมุมของโป๊			
	3.2 ติดตั้งไม้ป้องกันการยึดติดของ Bottom Form กับเสาโป๊ะ			
	ก่อนทำการยก			
	3.3 ติดตั้งไม้อัดบริเวณช่องว่างใน Bottom Form กันสิ่งของ			
	ตกหล่น			
4	จัดเตรียม และติดตั้งตาข่ายกันของตกหล่น หลังจากยก			
	Bottom Form ขึ้นจากโป๊ะประมาณ 1 m			
5	ตรวจสอบระดับ Bottom Form ในขณะยกระดับต้องเท่ากัน			
	ทั้ง 4 จุด			
6	Cross Beam (Truss ตัวกลาง)			
	6.1 ประกอบชิ้นส่วนด้านข้าง (ซ้ายและขวา)			
	(Install life & right part)			
7	Front Tranvers Girder (Truss ตัวหน้า)			
	7.1 ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด (Install all members)			
8	ตรวจสอบการติดตั้ง Rear Anchorage & Carriage			
	(Check installstion of rear anchorage)			
9	ตรวจสอบการติดตั้ง Front Carriage & Hydraulic Jack 200T.			
	(Check installation of front carriage & Hydraulic Jack 200T)			

ลำดับ	รายละเอียด	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
		พร้อม	ไม่พร้อม	
10	ตรวจสอบการขันน๊อตทั้งหมดด้วย Torque Wrench			
	(Check torque of every bolt & nut)			
11	ประกอบ Chain Box 10T. (4 ตัว) และ Safety Thread Bar			
	(Install 10T. Chain box w/safety thread bars)			
12	ทดสอบ Chain Box (Test chain box workability)			
13	ประกอบรอกไฟฟ้า 3T. (4 ตัว) ด้วย Hiab และ Tower Crane			
	(Install electric 3T. hoist)			
14	ทดสอบรอกไฟฟ้า			
	(Test 3T. electric hoist)			
15	ยก Outer Formwork ด้วย Tower Crane วางบน Pier 504			
	(Remove and place outer formwork on Pier 504			
16	ยก Bottom Formwork ด้วย Chain Box ให้สูงกว่าพื้นโป๊ะ			
	อย่างน้อย 50 ซม. เพื่อป้องกัน Impact Load			
	(Lift bottom formwork w/chain box higher than barge by 50 cm.)			
17	ยก Bottom Formwork ด้วยรอกไฟฟ้า พร้อมขยับ			
	Thread Bar ตามไปด้วย			
18	ประกอบ Outer formwork (Install outer formwork)			
19	อุปกรณ์สื่อสารส่วนตัว			

ลงชื่อ _____

โฟร์แมนงานโลหะ

_____

วิศวกรโยธา

_____

วิศวกรโยธา

ขั้นตอนการตรวจสอบการย้าย-ติดตั้ง Bottom Formwork

ลำดับ	รายละเอียด	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
		พร้อม	ไม่พร้อม	
	การเตรียมการ			
1	เครื่องจักรและอุปกรณ์			
	1.1 ติดต่อเครน 25T.			
	1.2 เตรียมสลิงผ้าใบ 3” x 6 m. 2 เส้น			
	1.3 สเก็น 1” 2 ตัว			
	1.4 เตรียม T-Flow			
	1.5 เชือกมะลิลา 20 ม. 2 เส้น			
	1.6 โทรโข่ง 2 ชุด			
	1.7 วิทยุสื่อสารของผู้ควบคุมงาน			
2	งานจัดเตรียมพื้นที่การรื้อย้าย/ติดตั้ง			
	2.1 ไฟแสงสว่าง			
	2.2 House Keeping			
3	ประสานงานเจ้าหน้าที่ตำรวจ			
	3.1 สน.เจ้าของพื้นที่			
4	รถระหว่างการดำเนินการ			
	4.1 รถโดยสาร 6 ล้อ 1 คัน			
	4.2 รถกะบะ 1 คัน			

ลงชื่อ _____

โฟร์แมนงานโลหะ

_____

Supervisor

_____

วิศวกรโยธา

รายการตรวจสอบสภาพยานพาหนะ

VEHICLE CHECK LIST

เจ้าของ/Owner :_____ หมายเลขทะเบียน :_____

ชนิด/Type :_____ หมายเลขอุปกรณ์/Serial No. :_____

การตรวจสอบ Inspection :-

โปรดตรวจสอบและทำเครื่องหมายในช่องข้างล่างนี้ Please Check and Tick in the Boxes Below

เครื่องหมาย Mark (✓) ดี If Satisfactory

(✗) แก้ไข If Faulty/Unsatisfactory

ลำดับที่	วันที่ตรวจสอบ Inspection Date	เดือน [Month]……		เดือน [Month]……		เดือน [Month]……	
	รายการ	เครื่องหมาย (Mark)		เครื่องหมาย (Mark)		เครื่องหมาย (Mark)	
	Item	มี (Yes)	ไม่มี (No)	มี (Yes)	ไม่มี (No)	มี (Yes)	ไม่มี (No)
1	ใบอนุญาตขับขี่ Validity of Driving License						
2	สัญญาณไฟต่างๆ Lamps a) ไฟหน้า Head Light b) ไฟเบรค/ไฟสัญญาณซ้าย-ขวา Brake Light/Signal Light c) ไฟถอยหลัง/สัญญาณเตือน Reversing Light/Alarm						
3	สภาพยางหน้า/หลัง Tyres Condition (Front/Rear)						
4	ระบบเบรค Brake System						
5	แตร Horn						

ลำดับที่	วันที่ตรวจสอบ Inspection Date		เดือน [Month]……		เดือน [Month]……		เดือน [Month]……	
	รายการ		เครื่องหมาย (Mark)		เครื่องหมาย (Mark)		เครื่องหมาย (Mark)	
	Item		มี (Yes)	ไม่มี (No)	มี (Yes)	ไม่มี (No)	มี (Yes)	ไม่มี (No)
6	ที่ปัดน้ำฝน/กระจก Wipers/Wind Shield							
7	กระจกมองด้านข้าง/หลัง Side/Rear View Mirror							
8	ระบบการรั่วไหลของน้ำมันเครื่อง Engine of Oil Leakage							
9	ระบบท่อไอเสีย Exhaust System							
10	ถังดับเพลิง Fire Extinguisher							
ลายเซ็น Signature	ผู้ตรวจสอบ	Inspector						
	ผจก.ความปลอดภัย	Safety Manager						
	ผู้อนุมัติ	Approved By						
	วันหมดอายุ	Expiry Date						

แบบตรวจสอบสภาพยานพาหนะประจำวัน ชนิด : รถยนต์โดยสารทั่วไป, รถบรรทุก **เดือน**

Daily Vehicle Safety Check LIST Type : Vehicle General, Truck **Month :_____**

วันที่ [Date] / รายละเอียด [Description]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	28	29	30	31
1. สภาพทั่วไป [General Condition]																															
2. สภาพเครื่องยนต์ [Engine Condition]																															
3. ระบบไฟฟ้าต่างๆ [Light System]																															
- ไฟหน้า [Hand Light]																															
- ไฟเลี้ยว [Turn Light]																															
- ไฟเบรค [Brake Light]																															
- ไฟฉุกเฉิน [Emergency Light]																															
- ไฟถอย [Reversing Light]																															
- แตร [Horn]																															
- สัญญาณเสียงถอยหลัง [Revedrsing Alarm]																															
4. สภาพยาง [Tyres Condition]																															
5. ระบบเบรค/เบรคมือ [Brake System]																															
6. กระจกต่างๆ [Mirror System]																															
7. ฝาครอบแบตเตอรี่ [Battery cover]																															

วันที่ [Date] / รายละเอียด [Description]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	28	29	30	31
8. การร่วซึมของน้ำมันในระบบ [Oil Leakge in System]																															
9. ทัศนวิสัย (มองจากภายใน) [Visibility]																															
10. ระบบไฮดรอลิค [Hydraulic System]																															
11. ถังดับเพลิง [Fire Exlinguisher]																															
ชื่อพนักงานขับรถ [Driver Name's]																															
ลายเซ็น [Signature]																															
ผู้ควบคุมงาน [Superviser]																															

หมายเหตุ ✓ = ดี, ใช้ได้ If Good

✘ = ไม่ดี, แก้ไข, ชำรุด If Defective

หมายเลขทะเบียน/Registration:_____

รายการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

ELECTRICAL EQUIPMENT CHECK LIST

ผู้รับเหมา [Contractor] _____ หมายเลขอุปกรณ์ไฟฟ้า [Electrical Equipment No.]_____

สถานที่ [Location] _____ ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า [Type Of Equipment]_____

วันที่ตรวจสภาพ [Inspection Date]_____

Remark: เครื่องเชื่อม/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า/เครื่องเจียร/สว่านไฟฟ้า/เลื่อยแท่น/สว่านแท่น/ตู้ควบคุมกระแสไฟฟ้า
Welding Set/Generator/Grinder/Hand Saw/Cutter Bench Saw/Bench Drills/Control Panel Board
ตู้กระแสไฟฟ้า/สายไฟฟ้าปลั๊กพ่วง/ตู้สวิทซ์ไฟฟ้าหลัก/ปั๊มน้ำไฟฟ้า
Distribution Board/Extension Cable/Main Switch Board/Electric Water Pump

การตรวจสอบ/ตรวจเช็ค [Inspection/Check]:-

โปรดตรวจสอบและทำเครื่องหมายในช่องข้างล่างนี้ Please Check and Tick in the Boxes Below

เครื่องหมาย Mark (✓) ดี If Satisfactory

(✗) แก้ไข If Faulty/Unsatisfactory

ลำดับที่	วันที่ตรวจสอบ Inspection Date	เดือน [Month]……		เดือน [Month]……		เดือน [Month]……	
	รายการ	เครื่องหมาย (Mark)		เครื่องหมาย (Mark)		เครื่องหมาย (Mark)	
	Item	มี (Yes)	ไม่มี (No)	มี (Yes)	ไม่มี (No)	มี (Yes)	ไม่มี (No)
1	สายไฟฟ้า Lead Cables						
2	แผงปลั๊กไฟ Terminal/Power Plug/Socket Plug						
3	สายดิน Earthling/Grounding Wires						
4	เครื่องป้องกัน (ส่วนที่หมุนของเครื่องจักร) Guard (Rotating Parts)						
5	มาตรวัดกระแสไฟฟ้า Volt Meter						
6	การป้องกันกระแสไฟฟ้า Electrical Protection						
7	สายไฟเข้า Incoming Cables						
8	สายไฟออก Outgoing Cables						
9	ทดสอบระบบตัดกระแสไฟเมื่อมีไฟรั่ว Earth Leakage Circuit Breaker Test						
10	การทดสอบฉนวน Insulation Test						
11	ทดสอบความต้านทาน Earth Resistance Test						
ลายเซ็น Signature	ผู้ตรวจสอบ Inspector						
	ผจก.ความปลอดภัย Safety Manager						
	ผู้อนุมัติ Approved By						
	วันหมดอายุ Expiry Date						

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายราชัน ฉ้วนเจริญ
วันเดือนปีเกิด	13 เมษายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ตำแหน่งปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ซิโน-ไทย เอ็นจีเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) 32/59-60 อาคารซิโนไทยทาวเวอร์ ชั้น 27-30 ซอยอโศก-สุขุมวิท 21 ถนนอโศก แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา จังหวัดกรุงเทพฯ 10200 โทร. 087-094-9920