สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T148628

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การแก้ไขปัญหาการเจาะดันท่อผ่านสิ่งกีดขวาง

Solving the Problem of Penetration Pipe Jacking through the Obstruction

นายสุรารักษ์ จิตตเศรษฐกุล
นายอรรถวุฒิ กุณะ

b.12891849
i.
เลขหมู่
เลขทะเบียน T148628
วัน.เดือน.ปี 6 พ.ย. 2560

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การแก้ไขปัญหาการเจาะดันท่อผ่านสิ่งกีดขวาง

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายสุรารักษ์ จิตตเศรษฐกุล และ นายอรรถวุฒิ กุณะ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมโยธา

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายกฤษณพงษ์ คุยหกาญจน์

สถานประกอบการ บริษัท เนาวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

การเจาะดันท่อในโครงการก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินสำหรับสถานีย่อยโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ บริเวณภายในสภากาชาดไทย ถนนอังรีดูนังต์และถนนราชดำริ กรุงเทพมหานคร จากบ่อพัก MH.3 ไปยังบ่อพัก MH.7 มีสิ่งกีดขวางคือเสาเข็มของเสาส่งไฟฟ้าที่เรียงตัวขนานไปกับแนวเจาะดันท่อดังกล่าว จึงได้ศึกษาปัญหาและแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยออกแบบแนวเจาะดันท่อใหม่ซึ่งผสมกันทั้งการเจาะดันท่อในแนวตรงและแนวโค้ง ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการดำเนินการก่อสร้าง ตลอดจนลดผลกระทบต่ออาคารและสถานที่ข้างเคียงด้วย

คำสำคัญ : การเจาะดันท่อ ,การก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Solving the Problem of Penetration Pipe Jacking through the Obstruction

Student Intern Name: Surarak Jittasattakul and Atthawut Kuna

Facalty: Engineering **Department:** Civil Engineering

Advisor Name:

Mentor Name:

Company: Nawarat Patanakarn Public Company Limited

ABSTRACT

Pipe Jacking for Construction Shaft and Pipe Jacking in Henri Durant Road Project from MH.3 shaft to MH.7 shaft has obstruction as pile foundation. Provider is study and solve a problem by design a new pipe jacking line which compound circular line and straight line. New pipe jacking line can reduce money, environment effect and construction period.

Keywords : Pipe jacking ,Construction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์นิเทศประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นายวุฒิศักดิ์ โคตรเนตร วิศวกรโครงการ นายกฤษณพงษ์ คุยหกาญจน์ วิศวกรสนาม บริษัท เนาวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน) และเจ้าหน้าที่โครงการก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินสำหรับสถานีย่อยโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ บริเวณภายในสภากาชาดไทย ถนนอังรีดูนังต์และถนนราชดำริ กรุงเทพมหานคร ที่ให้โอกาสนักศึกษา ได้ศึกษาและเรียนรู้ในกระบวนการก่อสร้างและกระบวนการทำงาน ในทุกๆ ขั้นตอน ซึ่งจะเป็นประโยชน์และเป็นประสบการณ์ที่ดีต่อนักศึกษาในภายภาคหน้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 1

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา 1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 3

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 โค้งวงกลม (Circular Curve) 3

2.2 ทฤษฎีการคำนวณแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในการดันหัวเจาะอุโมงค์ 4

2.3 งานดันท่อ (Pipe Jacking Work) 5

2.4 การดันท่อ (Jacking) 10

บทที่ 3 16

วิธีดำเนินการศึกษา 16

3.1 ทำการสำรวจโดยวิธีของการเจาะลากท่อ (HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING (HDD)) 16

3.2 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการเจาะสำรวจ โดยวิธีของการเจาะลากท่อ 18

3.3 วิเคราะห์หาวิธีแก้ไขอุปสรรคในการดันท่อ 18

3.4 วางแนวการดันท่อ 18

3.5 ทำการดันท่อ 18

บทที่ 4 19

ผลการศึกษา 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 แนวเจาะดันท่อเดิม.....19
4.2 ผลการเจาะสำรวจแนวราบโดยวิธีเจาะลากท่อ.....20
4.3 การวิเคราะห์และออกแบบแนวเจาะดันท่อใหม่.....37
บทที่ 5.....40
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....40
บรรณานุกรม.....41
ภาคผนวก ก.....42
Vermeer Model D24x40a Equipment Specifications.....42
ภาคผนวก ข.....44
การก่อสร้างบ่อพักท่อร้อยสายไฟฟ้า.....44
ข.1 การก่อสร้างกำแพงกันดินชั่วคราว.....44
ข.2 การก่อสร้างผนังบ่อพักท่อร้อยสายไฟฟ้า.....45
ข.3 การก่อสร้างพื้นบ่อพักท่อร้อยสายไฟฟ้า.....47
ภาคผนวก ค.....49
การร้อยท่อร้อยสายไฟฟ้า RTRC.....49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร 4
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 1 20
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 2 21
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 3 27
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 4 32
ตารางที่ ก.1 Vermeer Model D24x40a Equipment Specifications 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของโค้งวงกลม....3
ภาพที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของงานดันท่อ....5
ภาพที่ 2.3 การนำ Guide Collar สำเร็จรูปมาติดตั้งที่หน้างานเพื่อป้องกันไม่ให้บ่อเอียง....6
ภาพที่ 2.4 การเจาะ Soft Eye เพื่อให้หัวเจาะเจาะออกจากบ่อดันได้....6
ภาพที่ 2.5 EPB-Screw Conveyor Shield....8
ภาพที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของหัวเจาะแบบ EPB-Slurry Shield....8
ภาพที่ 2.7 หัวเจาะยี่ห้อ RASA รุ่น DH-1500....8
ภาพที่ 2.8 ลักษณะของหัวเจาะที่เหมาะสมต่อดินชนิดต่างๆ....9
ภาพที่ 2.9 ท่อดันประเภทท่อคอนกรีต....9
ภาพที่ 2.10 Hydraulic Jacks....10
ภาพที่ 2.11 การติดตั้งแม่แรงเสริมในการดันท่อ....11
ภาพที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 1....11
ภาพที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 2....12
ภาพที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 3....12
ภาพที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 4....12
ภาพที่ 2.16 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 5....13
ภาพที่ 2.17 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 6....13
ภาพที่ 2.18 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 7....13
ภาพที่ 2.19 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 8....14
ภาพที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 9....14
ภาพที่ 2.21 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 10....15
ภาพที่ 3.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการเจาะลากท่อ....16
ภาพที่ 3.2 ตัวรับสัญญาณแบบมือถือ (DIGITRAX MARK V REMOTE SYSTEM)....17
ภาพที่ 3.3 ค่าต่างๆ จากการเจาะสำรวจจะปรากฏบนจอของตัวรับสัญญาณ....18
ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างระยะห่างระหว่างแนวเจาะดันท่อเดิมกับเสาไฟฟ้า (หน่วยเป็นเมตร)....19
ภาพที่ 4.2 รูปตัดบริเวณแนวเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV....19
ภาพที่ 4.3 แสดงลำดับแนวการเจาะสำรวจแนวราบ....20
ภาพที่ 4.4 แสดงภาพรวมของแนวเจาะดันท่อเดิมและใหม่....37
ภาพที่ 4.5 แสดงจุดเริ่มต้นแนวเจาะดันท่อใหม่....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.6 แสดงระยะห่างระหว่างแนวเจาะเดิมกับแนวเจาะใหม่ และระยะห่างระหว่างแนวเจาะใหม่กับเสาส่งไฟฟ้า 69 kV 38
ภาพที่ 4.7 แสดงจุดสิ้นสุดแนวเจาะดันท่อใหม่ 39
ภาพที่ 4.8 ตารางแสดงการคำนวณแนวเจาะดันท่อใหม่ 39
ภาพที่ ก.1 Vermeer D24x40a 42
ภาพที่ ข.1 การขุดหลุมและปรับระดับเพื่อวางกำแพงกันดินชั่วคราว และหลุมที่ขุดเสร็จแล้ว 44
ภาพที่ ข.2 การวางกำแพงกันดินชั่วคราว 44
ภาพที่ ข.3 สภาพพื้นที่ก่อสร้างก่อนทำการขุดดินเพื่อวางชิ้นส่วนผนังบ่อพัก 45
ภาพที่ ข.4 แสดงหน้าตัดของชิ้นส่วนชิ้นล่างสุด 45
ภาพที่ ข.5 การใช้เครื่องจักรกดชิ้นส่วนลงไปในดินให้ได้ระดับ 46
ภาพที่ ข.6 การใส่เหล็ก Tie Rod เพื่อเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนชั้นบน 46
ภาพที่ ข.7 การใส่ยาง Ribbon Sealer ที่รอยต่อด้านบนและด้านข้าง 47
ภาพที่ ข.8 การเสริมเหล็กพื้น 47
ภาพที่ ข.9 การจี้คอนกรีตขณะเทพื้นบ่อพัก 48
ภาพที่ ค.1 การเสียบเหล็กเพื่อยึดหวี 49
ภาพที่ ค.2 การติดหวีเหล็ก 49
ภาพที่ ค.3 การร้อยท่อร้อยสายไฟฟ้า 50
ภาพที่ ค.4 ท่อร้อยสายไฟฟ้าที่ร้อยเชือกเพื่อใช้ลากลูกดัมมี่แล้ว 50
ภาพที่ ค.5 การใส่ท่อยิงปูน 51
ภาพที่ ค.6 การเข้าแบบ 51
ภาพที่ ค.7 Concrete Pump 52
ภาพที่ ค.8 ท่อสำหรับตรวจสอบคอนกรีตว่าเต็มหน้าตัดท่อหรือไม่ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เป็นเวลามากกว่าหนึ่งศตวรรษที่มนุษย์รู้จักวิธีการดันท่อ (Pipe Jacking) นี้ โดยเริ่มมีการใช้ครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา จากนั้น จึงมีการพัฒนากันอย่างกว้างขวางในยุโรปและญี่ปุ่น เมื่อประมาณ 50 ปีที่ผ่านมา สำหรับในประเทศไทย ได้มีการนำมาใช้ครั้งแรกในงานวางท่อประปาของการประปานครหลวงเมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว

เนื่องจากงานดันท่อเป็นงานมีผลกระทบต่อการจารจรและสิ่งแวดล้อมค่อนข้างน้อย หลายหน่วยงานจึงนิยมนำไปประยุกต์ใช้กับงานของตน เช่น งานวางระบบท่อส่งน้ำประปาของการประปานครหลวง งานวางระบบเครือข่ายโทรศัพท์ของบริษัท TOT งานวางท่อระบายน้ำ (น้ำฝน) และน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร งานวางระบบสายไฟฟ้าใต้ดินของการไฟฟ้านครหลวง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการแก้ปัญหาการเจาะวางท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน ที่มีสิ่งกีดขวางตลอดแนวการวางท่อ

2. เพื่อศึกษารูปแบบการแก้ปัญหาการเจาะวางท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน ที่มีสิ่งกีดขวางตลอดแนวการวางท่อ ที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อโครงการ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการแก้ปัญหาการเจาะวางท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน ที่มีสิ่งกีดขวางตลอดแนวการวางท่อ

2. เป็นการศึกษาภายในโครงการก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน สำหรับสถานีย่อยโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ บริเวณภายในสภากาชาดไทย ถนนอังรีดูนังต์และถนนราชดำริ กรุงเทพมหานคร

3. ในการเจาะวางท่อ จะใช้หัวเจาะยี่ห้อ RASA รุ่น DH-1500-RCM

4. ศึกษาการเจาะสำรวจแนวราบ จากบ่อพัก MH.7 ถึงบ่อพัก MH.3 จำนวน 4 แนวสำรวจ โดยใช้เครื่องเจาะยี่ห้อ Vermeer รุ่น D24x40a

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

1. สำรวจสภาพพื้นที่ที่จะทำการเจาะดันท่อโดใช้เครื่องเจาะลากท่อแนวราบ (Horizontal Directional Drilling)

2. วิเคราะห์ผลการสำรวจเพื่อออกแบบและพิจารณารูปแบบการเจาะดันท่อที่มีความเหมาะสม

3. นำเสนอรูปแบบการเจาะดันท่อที่เหมาะสมที่สุดต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงกระบวนการและวิธีการดันท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน

2. รู้จักวิธีการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าและวิเคราะห์หาวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละสถานการณ์

3. สามารถต่อยอดองค์ความรู้ทางวิศวกรรมโยธาและความรู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาการก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจและสังคมต่อไป

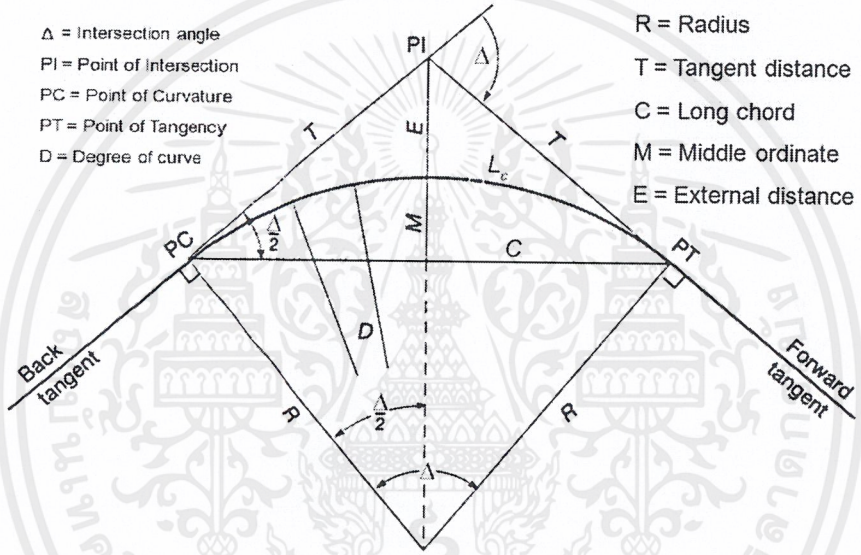
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โค้งวงกลม (Circular Curve)

โค้งวงกลม (Circular Curve) หรือโค้งเดี่ยว (Simple Curve) คือโค้งที่มีจุดศูนย์กลางโค้งเพียงหนึ่งจุดเท่านั้น ในการออกแบบและก่อสร้างถนน สะพาน ท่อ จำเป็นต้องใส่โค้งวงกลมเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขา หรือสิ่งก่อสร้างเดิม โดยการออกแบบจะต้องถูกต้องตามเรขาคณิต ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกและปลอดภัยต่อยานพาหนะหรือวัสดุที่จะต้องเคลื่อนที่ภายในท่อ

2.1.1 ส่วนประกอบของโค้งวงกลม



ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของโค้งวงกลม

Δ คือ มุมเห มุมสกัด หรือมุมบ่ายเบน

T คือ เส้นสัมผัสส่วนโค้ง

E คือ ระยะจากจุดสกัดถึงจุดกึ่งกลางของโค้งวงกลม

M คือ ระยะจากกึ่งกลางของเส้นคอร์ดถึงจุดกึ่งกลางของโค้งวงกลม

L_c คือ ความยาวโค้ง

C คือ ความยาวของเส้นคอร์ด

R คือ รัศมีโค้ง

PI คือ จุดตัดของเส้นสัมผัส หรือจุดสกัด

PC คือ จุดเริ่มต้นของโค้ง

PT คือ จุดสุดท้ายของโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สมการสำหรับโค้งวงกลม

เมื่อกำหนดรัศมีโค้ง R และมุมสกัด Δ จะสามารถหาความยาวของคอร์ด C ได้จากสมการ

$$C = 2R\sin\frac{\Delta}{2}$$

หาความยาวเส้นสัมผัสส่วนโค้ง T ได้จากสมการ

$$T = R\tan\frac{\Delta}{2}$$

หาความยาวส่วนโค้ง L_c ได้จากสมการ

$$L_c = R\Delta\left(\frac{\pi}{180}\right)$$ เมื่อ Δ มีหน่วยเป็นองศา

2.2 ทฤษฎีการคำนวณแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในการดันหัวเจาะอุโมงค์

2.2.1 แรงดันดินหน้าหัวเจาะ

การคำนวณแรงดันดินหน้าหัวเจาะ (Tunnel Face Pressure) นั้นสมาคมงานดันท่อใต้ดิน (Pipe Jacking Association) ได้กำหนดวิธีการคำนวณแรงดันดินหน้าหัวเจาะ โดยใช้ค่าเท่ากับความเค้นในแนวขนานกับแนวพื้นดิน ซึ่งมีค่าประมาณ 80-100 kPa กระทำกับพื้นที่หน้าตัดของหัวเจาะ

แรงดันดินหน้าหัวเจาะที่ 80 kPa = 212.72 kN = 21.68 t

แรงดันดินหน้าหัวเจาะที่ 100 kPa = 265.90 kN = 27.10 t

2.2.2 แรงเสียดทานเนื่องจากน้ำหนักของท่อคอนกรีตบนชั้นดิน

แรงต้านทานเนื่องจากน้ำหนักของท่อคอนกรีตที่เกิดขึ้น ในขณะดันท่อให้เคลื่อนที่จากแนวเบี่ยงเบน 0.17 องศา ของท่อคอนกรีต มีค่าเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 15 % (ความเร็วในการเคลื่อนที่ ของท่อคอนกรีตเป็นแบบสม่ำเสมอ)

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร

ชั้นดิน กรุงเทพมหานคร	$\emptyset$ (deg)	γ (t/m^3)	δ (deg)
ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)	17.500	1.64	15.23

Concept Design for Jacking Concrete Pipe DN1500

Design Caculation for Skin Friction Force = 0.30 t/m^2

Max. Jacking Force = 315 ton@180 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

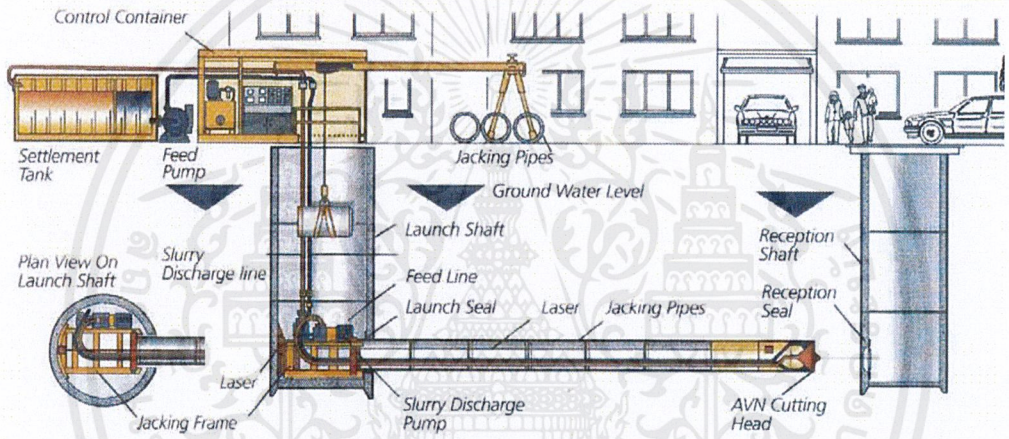
2.3 งานดันท่อ (Pipe Jacking Work)

งานดันท่อเป็นการก่อสร้างที่ไม่มีการขุดเปิดแนว (Trenchless Technology) โดยในบางครั้งมีการเรียกเทคนิคการก่อสร้างนี้ว่า การเจาะอุโมงค์ขนาดเล็ก (Micro Tunneling) โดยเฉพาะอุโมงค์หรือท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 เมตร ที่คนไม่สามารถลงไปปฏิบัติงานข้างในได้ จึงจำเป็นต้องใช้ระบบควบคุมระยะไกล (Remote Control) ที่ติดตั้งอยู่บนผิวดิน

งานดันท่อโดยทั่วไปจะเป็นการดันท่อลอดถนน รางรถไฟ และคลอง โดยส่วนใหญ่ขนาดของท่อจะไม่เกิน 2 เมตร ความยาวของท่อหรืออุโมงค์แต่ละช่วงไม่เกิน 200 เมตร โดยการดันท่อในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่เป็นการดันท่อในชั้นดินอ่อน (Soft Clay) เป็นส่วนมาก

2.3.1 องค์ประกอบของงานดันท่อ

งานดันท่อมีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของงานดันท่อ

2.3.1.1 บ่อดัน (Driving Pit or Launch Shaft) และบ่อรับ (Receiving Pit or Reception Shaft)

บ่อดันและบ่อรับโดยส่วนใหญ่ จะมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่อาจมีรูปร่างอื่นได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่ เช่น รูปสี่เหลี่ยมคางหมู รูปวงกลม เป็นต้น ซึ่งบ่อดันและบ่อรับนั้นสามารถก่อสร้างได้หลายวิธี เช่น Sink Shaft, Sheet Pile หรือ Diaphram Wall (Secant Pile Wall) เป็นต้น แต่วิธี Sink Shaft เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อต้องการให้บ่อดังกล่าวเป็นอาคารถาวรในอนาคต เนื่องจากประหยัดและรวดเร็ว โดยในการก่อสร้างจะหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากโรงงานผลิตแล้วนำมาประกอบที่บริเวณก่อสร้าง ซึ่งจะดีกว่าการหล่อแบบในที่หรือ In-situ Casted ทั้งนี้ เพื่อเป็นการป้องกันบ่อไม่ให้เอียง บริเวณปากบ่อควรก่อสร้าง Guide Collar ไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.3 การนำ Guide Collar สำเร็จรูปมาติดตั้งที่หน้างานเพื่อป้องกันไม่ให้บ่อเอียง

บริเวณของบ่อดันหรือบ่อรับที่เป็นจุดซึ่งหัวเจาะจะต้องเจาะผ่านออกจากบ่อดัน หรือเจาะเข้าไปในบ่อรับจะต้องทำเป็น Soft Eye กล่าวคือความหนาของคอนกรีตบริเวณนี้จะต้องบาง และ/หรือไม่ต้องใส่เหล็กเสริม (Steel Reinforced Bar) หรือใช้ไฟเบอร์เสริม (Fiber Reinforced Bar) แทน ทั้งนี้เพื่อให้หัวเจาะสามารถเจาะผ่านผนังของบ่อดันหรือบ่อรับได้โดยง่าย

ภาพที่ 2.4 การเจาะ Soft Eye เพื่อให้หัวเจาะเจาะออกจากบ่อดันได้

บ่อดันและบ่อรับโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 2 x 3 เมตร โดยบ่อดันจะมีขนาดใหญ่กว่าทั้งนี้เนื่องจากจะต้องมีการก่อสร้างกำแพงรับแรงดัน (Thrust Wall หรือ Reaction Bock) สำหรับการติดตั้งแม่แรงไฮดรอลิค (Hydraulic Jacks) เพื่อใช้ดันหัวเจาะออกจากบ่อดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 หัวเจาะ (Cutting Head or Shield)

หัวเจาะที่ใช้สำหรับงานดันท่อนั้น มีหลากหลายลักษณะซึ่งสามารถเลือกใช้ให้ตรงตามความเหมาะสมกับสภาพธรณีวิทยาของชั้นดิน และงบประมาณที่มีอยู่ โดยที่นิยมใช้ในประเทศไทย มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ

1) Open-Faced Shield

เป็นหัวเจาะแบบเปิดหน้า เหมาะสำหรับชั้นดินที่แข็งและแห้ง มีความมั่นคงสูง ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำใต้ดิน การขุดอาจจะขุดด้วยแรงคนหรือเครื่องจักร (Hydraulic Backhoe or Roadheader) ราคาของหัวเจาะประเภทนี้ไม่สูงมากนัก

2) Blind Shield

เป็นหัวเจาะที่เหมาะสำหรับงานดันท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า 1.50 เมตร เพราะจำเป็นต้องใช้คนลงไปปฏิบัติงานข้างล่างในท่อ ที่ด้านหน้าของหัวเจาะจะมีช่องหน้าต่างสำหรับให้ดินไหลเข้ามาเวลาหัวเจาะถูกดันไปข้างหน้า จึงเหมาะสำหรับการดันท่อในชั้นดินอ่อน ราคาของหัวเจาะชนิดนี้ราคาค่อนข้างถูก เมื่อเทียบกับชนิดอื่นๆ เพราะกลไกไม่ยุ่งยากซับซ้อน

3) Earth Pressure Balance (EPB) Shield

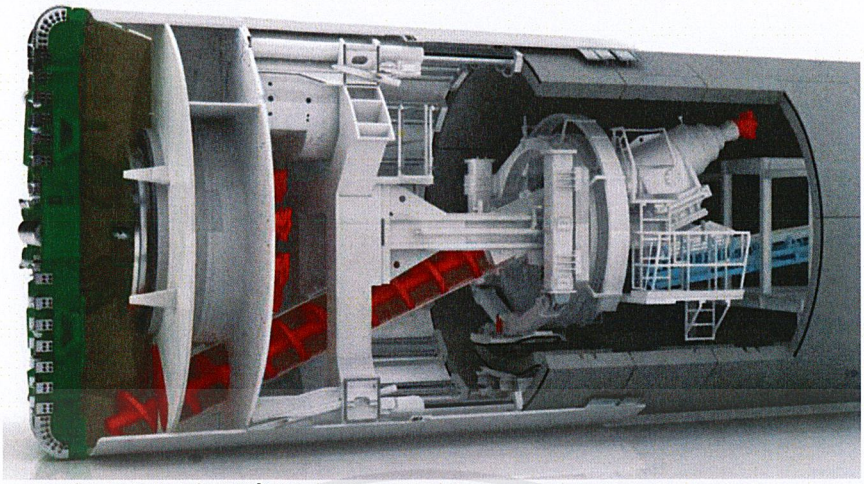
เป็นหัวเจาะที่ได้รับความนิยมค่อนข้างสูงในปัจจุบัน เหมาะสำหรับงานดันท่อหรืองานเจาะอุโมงค์ขนาดใหญ่ที่ต้องการความปลอดภัยสูงและมีผลกระทบน้อย จึงทำให้หัวเจาะประเภทนี้มีราคาสูง อยู่ที่ประมาณหลายสิบล้านบาทจนถึงประมาณหนึ่งร้อยล้านบาท ตามขนาดของหัวเจาะ EPB Shield ที่ใช้ในประเทศไทยสามารถแบ่งได้เป็น

- EPB-Screw Conveyor ใช้ Screw Conveyor ดึงดินจากการขุดขึ้นมา แล้วปล่อยลงบนสายพานลำเลียง (conveyor belt) ก่อนที่จะถ่ายลงสู่รถลำเลียง (muck or skip car) ต่อไป

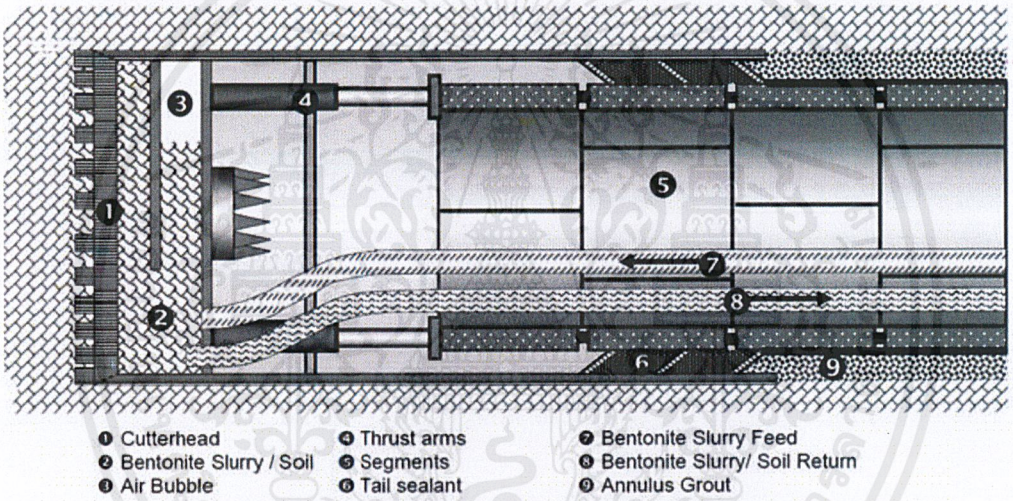
- EPB-Pump เป็นชนิดที่มีระบบฉีดน้ำที่บริเวณหัวเจาะ กล่าวคือสามารถฉีดน้ำออกไปผสมกับดินที่ถูกหัวเจาะกัดออกมาจนกลายเป็นน้ำโคลน ก่อนจะถูกปั๊มออกไปตามท่อลงสู่บ่อพักบนผิวดินใกล้ๆ กับปากบ่อดันเพื่อรอการลำเลียงไปทิ้งต่อไป

- EPB-Slurry จะมีลักษณะคล้ายกับ EPB-Pump แต่จะใช้น้ำโคลนที่ควบคุมคุณภาพและความดัน ฉีดออกไปผสมกับดินที่ถูกหัวเจาะกัดออกมาก่อนจะถูกปั๊มออกไปตามท่อลงสู่บ่อพักแล้วมีการหมุนเวียนน้ำโคลนกลับมาใช้ใหม่ หัวเจาะชนิดนี้เป็นที่นิยมมากและสามารถแก้ปัญหาการเจาะผ่านชั้นกรวดทรายได้เป็นอย่างดี

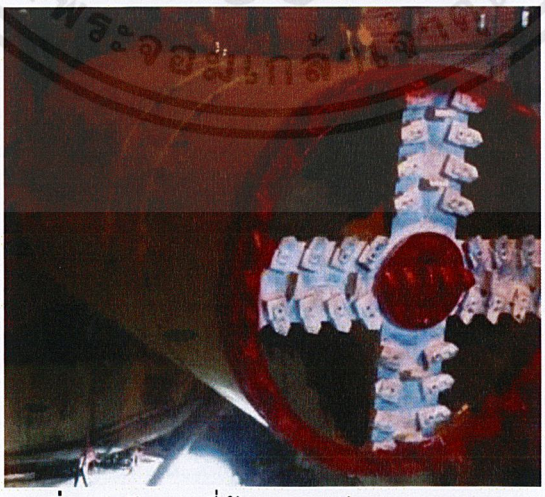
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 EPB-Screw Conveyor Shield

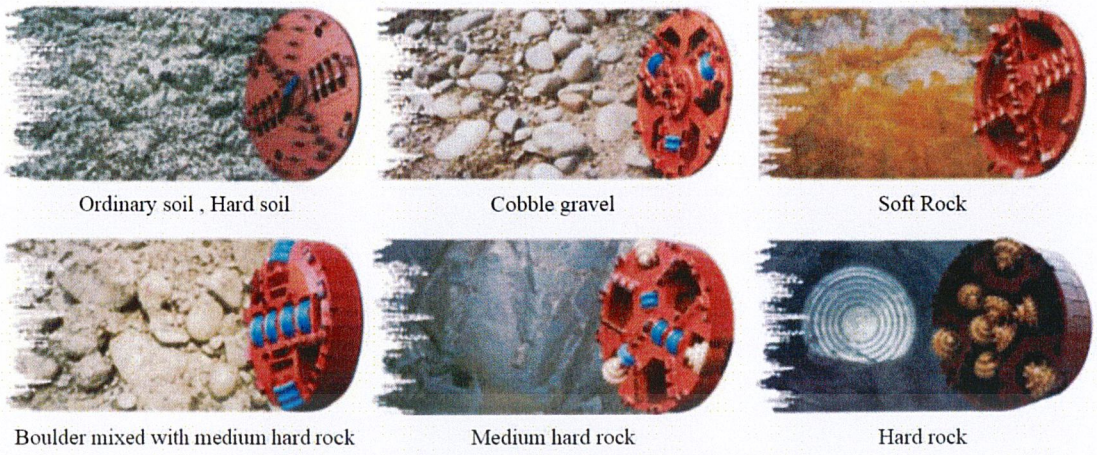


ภาพที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของหัวเจาะแบบ EPB-Slurry Shield



ภาพที่ 2.7 หัวเจาะยี่ห้อ RASA รุ่น DH-1500-RCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของหัวเจาะที่เหมาะสมต่อดินชนิดต่างๆ

2.3.1.3 ท่อดัน (Jacking Pipes)

ท่อที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นท่อเหล็กหรือท่อคอนกรีต ซึ่งบางครั้งผิวด้านในท่อจะบุหรือเคลือบด้วยสารป้องกันการกัดกร่อนโดยเฉพาะท่อดันที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย การออกแบบท่อดันจะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงดันต่างๆ ได้ ทั้งน้ำหนักกดกระทำด้านบน แรงดันดินรอบนอก แรงดันน้ำใต้ดิน และที่สำคัญที่สุดคือแรงดันจากแม่แรงไฮดรอลิค (Hydraulic Jacks) ที่ต้องใช้ดันท่อ ซึ่งอาจจะทำให้ท่อแตกร้าวเสียหายได้หากท่อมีสภาพไม่แข็งแรงเพียงพอ โดยทั่วไปท่อดันแต่ละท่อจะมีความยาวประมาณ 2-3 เมตร

ภาพที่ 2.9 ท่อดันประเภทท่อคอนกรีต

2.3.1.4 แม่แรงไฮดรอลิค (Hydraulic Jacks)

แม่แรงไฮดรอลิคจะถูกติดตั้งไว้ที่บ่อดัน ดังนั้นในการออกแบบบ่อดันจะต้องออกแบบให้มีขนาดเพียงพอกับระยะความยาวของหัวเจาะและระยะช่วงการดัน (Stroke) ของแม่แรง แต่ในบางกรณี ระยะช่วงการดันของแม่แรงสั้นเกินไปจึงจำเป็นจะต้องใช้ตัวช่วยที่เรียกว่า Spacer ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งท่อ โครงเหล็ก หรือคอนกรีต และมีความยาวตามความเหมาะสม ซึ่งส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่จะมีความยาวท่อนละ 0.5-1.0 เมตร โดยทั่วไปแม่แรงจะมีขนาด 100-200 ตันต่อตัวและพิจารณาใช้งานดังนี้

- สำหรับงานดันท่อขนาดน้อยกว่า 1200 มม. จะใช้แม่แรง 2 ตัว
- สำหรับงานดันท่อขนาดใหญ่กว่า 1200 มม. จะใช้แม่แรง 4 ตัว

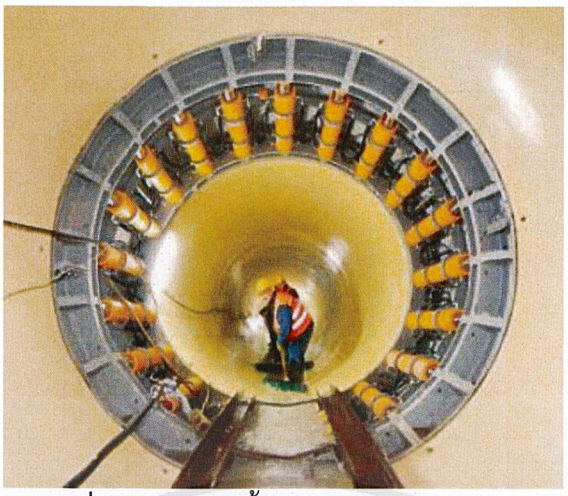
ภาพที่ 2.10 Hydraulic Jacks

2.4 การดันท่อ (Jacking)

ก่อนเริ่มงานดันท่อ จะต้องทราบถึงสภาพธรณีวิทยาของชั้นดินหรือชั้นหินว่าตลอดแนวของท่อว่ามีสภาพเป็นอย่างไร มีปัญหาเรื่องน้ำใต้ดินหรือไม่ ทั้งนี้เพื่อช่วยในการวางแผนการใช้เครื่องจักรเครื่องมือให้เหมาะสมมากที่สุด เช่น ชนิดของหัวเจาะ หรือขนาดของแม่แรง เป็นต้น กล่าวคือ โดยทั่วไปในกรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่เป็นการดันท่อในชั้นดินอ่อน (Soft Clay) ในระดับลึกไม่เกิน 15 เมตร ถ้าลึกกว่านี้แต่ไม่เกินประมาณ 30 เมตร จะเป็นการดันท่อในชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) ซึ่งมีเป็นส่วนน้อย แต่ถ้าในต่างจังหวัดจะเป็นการดันในชั้นของดินทรายบ้าง ดินเหนียวบ้าง หรือในบางครั้งอาจจะต้องกระทำในชั้นหินแข็ง

ในสมัยก่อนนั้น แนวของการดันท่อส่วนใหญ่จะต้องเป็นแนวตรงและดันระยะสั้นๆ แต่ปัจจุบันสามารถดันท่อเป็นแนวโค้งได้ และระยะทางยาวได้มากขึ้นถึงประมาณ 1,000 เมตร ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการติดตั้งแม่แรงเสริม (Intermediate Jacks) เป็นระยะๆ และมีระบบหล่อลื่นช่วย โดยใช้น้ำ เบนโทไนต์ หรือสารโพลิเมอร์ เป็นต้น หรือเอาชนะแรงเสียดทานที่ผิวท่อ (Skin Friction) และแรงต้าน (End Bearing) ที่ปลายหัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



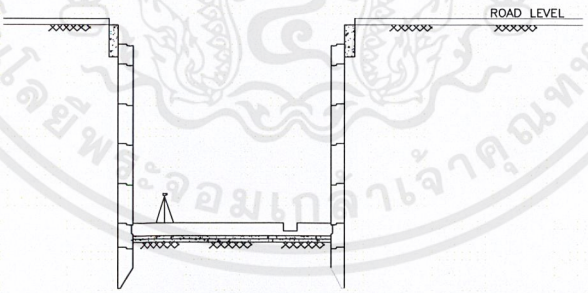
ภาพที่ 2.11 การติดตั้งแม่แรงเสริมในการดันท่อ

สำหรับการตรวจสอบหรือทิศทางของหัวเจาะหรือแนวดันท่อ สามารถทำได้โดยใช้ระบบควบคุมทิศทาง (Guidance System) ซึ่งประกอบด้วยกล้องสำรวจ ระบบเลเซอร์กับเป้าที่ติดตั้งไว้ที่ท้ายหัวเจาะเช่น ELS Laser หรือ VMT ชนิด SLS-RV เป็นต้น ส่วนการปรับทิศทางของหัวเจาะหรือแนวดันท่อ สามารถกระทำได้โดยการปรับแม่แรง (Articulate or Ring Jacks) ที่บริเวณหัวเจาะ

2.4.1 ขั้นตอนการเจาะดันท่อ

การเจาะดันท่อในแต่ละโครงการอาจมีรายละเอียดปลีกย่อยที่แตกต่างกันไป แต่โดยสรุปแล้วจะมีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 10 ขั้นตอน ดังนี้

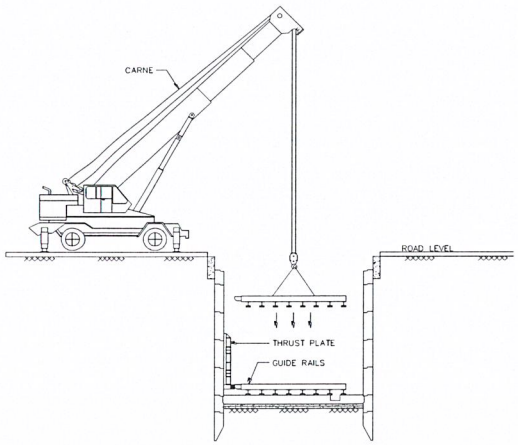
ขั้นตอนที่ 1 Set up Leveling



ภาพที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 1

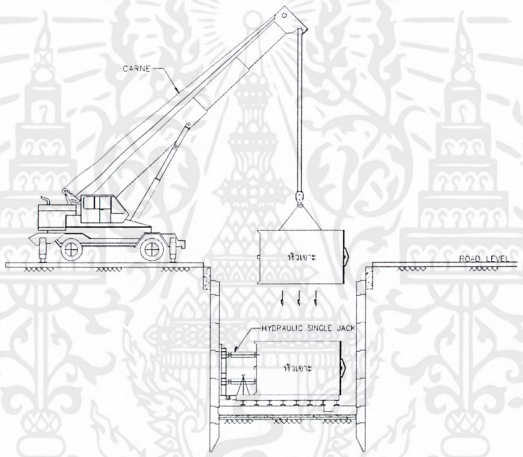
ขั้นตอนที่ 2 Lowering Main Frame and Fix Trust Wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



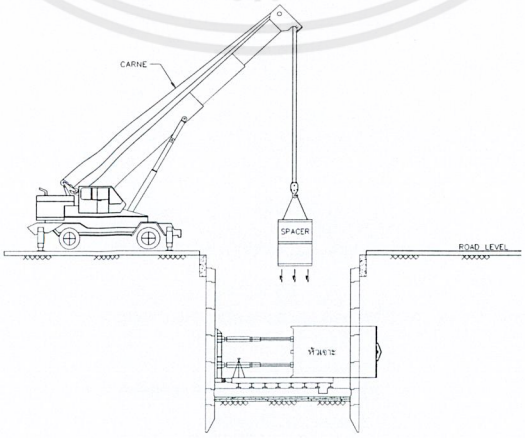
ภาพที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 Lowering 1st EPB Machine



ภาพที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 3

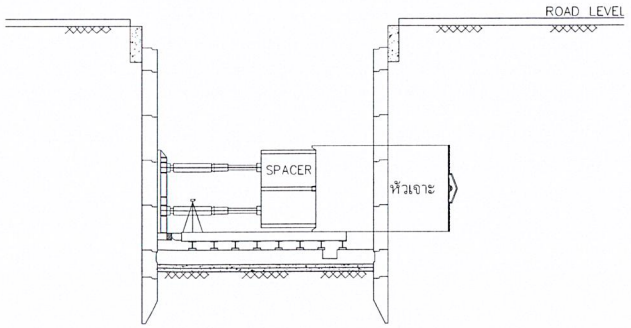
ขั้นตอนที่ 4 Pushing 1st EPB Machine



ภาพที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 4

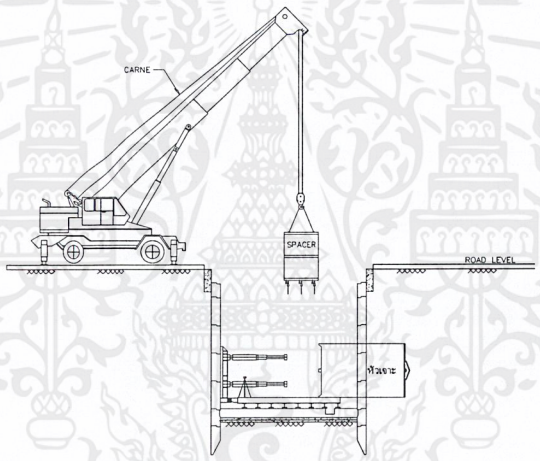
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 Lowering and Start Pushing Spacer



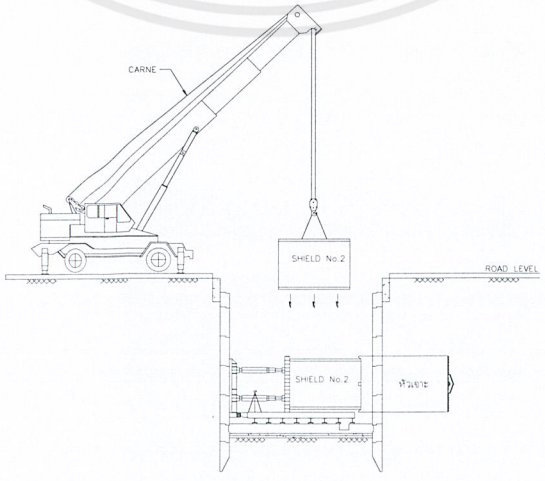
ภาพที่ 2.16 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 6 Disconnected Control Cable and up Spacer



ภาพที่ 2.17 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 6

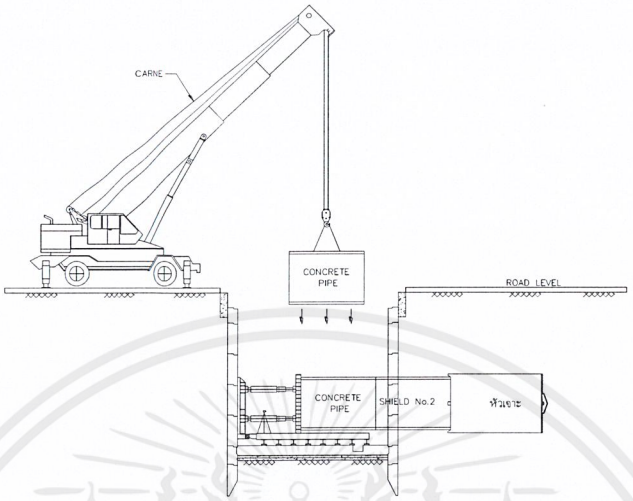
ขั้นตอนที่ 7 Lowering 2nd Shield



ภาพที่ 2.18 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 7

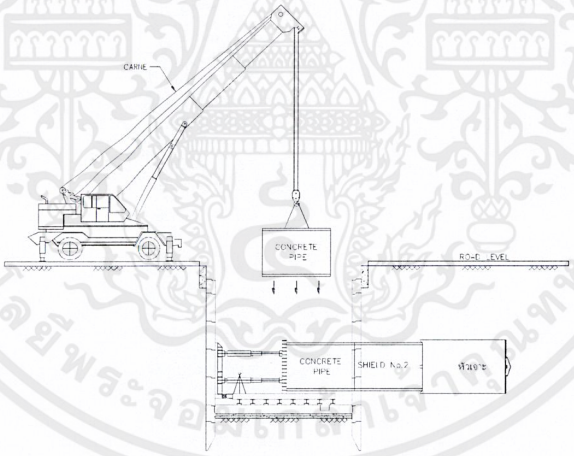
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 8 Lowering Concrete Pipe and Start Jacking



ภาพที่ 2.19 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 8

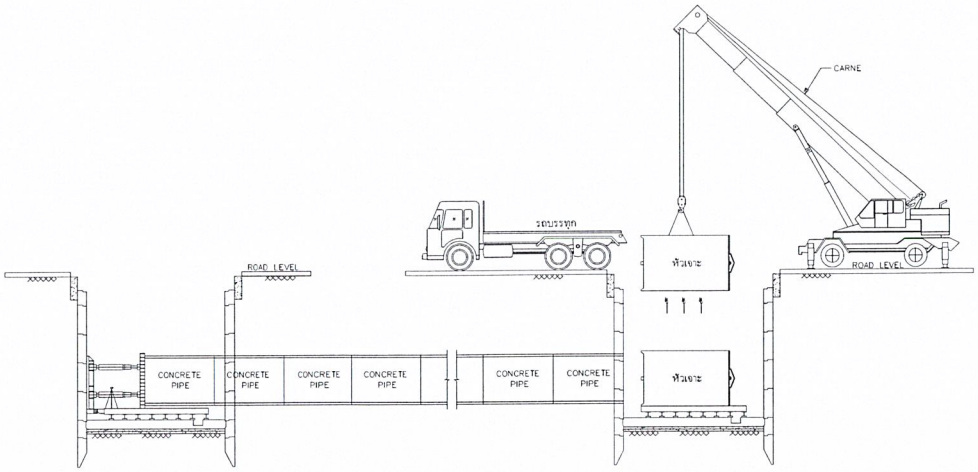
ขั้นตอนที่ 9 Jacking Concrete Pipe



ภาพที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 9

ขั้นตอนที่ 10 End pipe jacking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.21 แสดงขั้นตอนการดันท่อ ขั้นตอนที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 ทำการสำรวจโดยวิธีของการเจาะลากท่อ (HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING (HDD))

ในการศึกษาในครั้งนี้ จะทำการสำรวจโดยวิธีของการเจาะลากท่อ (HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING (HDD)) จากบ่อพัก MH.7 ไปยังบ่อพัก MH.3 ซึ่งมีระยะทาง 470 เมตร เป็นจำนวน 4 แนวการสำรวจ ขนานไปกับแนวการดันท่อ ซึ่งจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.1 การสำรวจพื้นที่ในการเจาะ

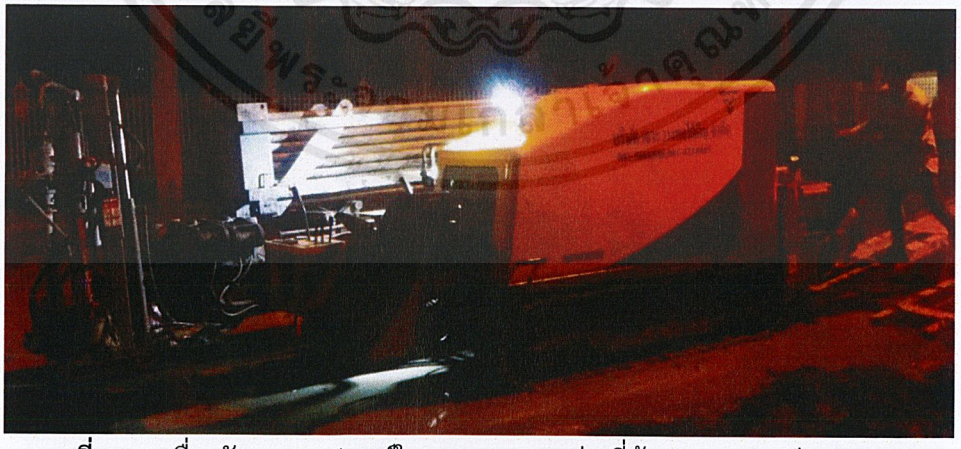
คือการตรวจหาอุปสรรคใต้ดิน เช่น ตำแหน่งสาธารณูปโภคต่างๆ ก่อนการทำงาน โดยหาข้อมูลจากแบบก่อสร้างของหน่วยงานต่างๆ หรือทำการตรวจสอบและขุดสำรวจในจุดที่ไม่แน่ใจ

3.1.2 กำหนดพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องจักร

โดยปกติ เครื่องจักรที่ทำการเจาะลากท่อโดยวิธี HDD นี้ ต้องการพื้นที่ในการวางเครื่องจักรประมาณ 7 เมตร และตำแหน่งที่ทำการเจาะ จะห่างจากบ่อดันประมาณ 10-15 เมตร โดยประมาณ ขึ้นอยู่กับความลึกของบ่อดัน

3.1.3 การเตรียมการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์

โดยจะต้องกำหนดจุดบ่อรับ บ่อดัน และตำแหน่งสิ่งก่อสร้างที่มีผลต่อการเจาะสำรวจ ลงในแผนการเจาะ หลังจากนั้น จึงจะนำเครื่องมือมาทำการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ กำหนดจุดและความลึกของการเจาะสำรวจที่หน้างาน



ภาพที่ 3.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการเจาะลากท่อ ยี่ห้อ Vermeer รุ่น D24x40a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

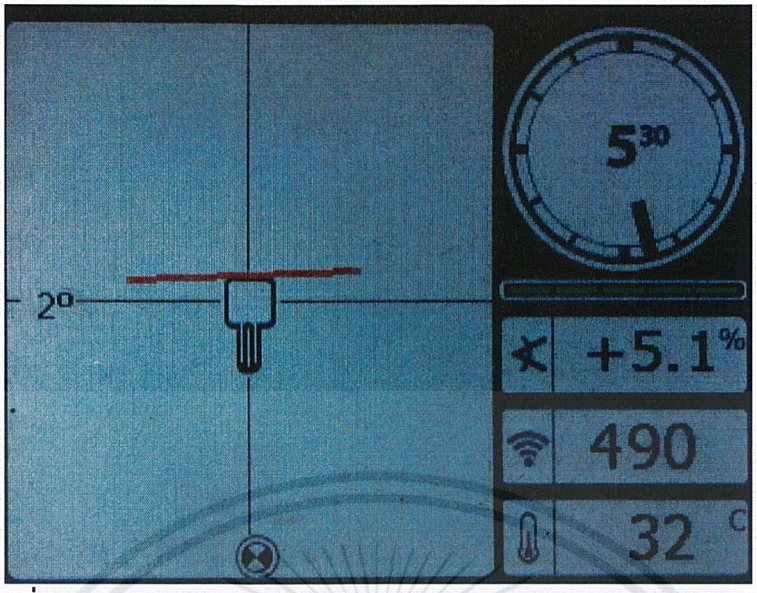
3.1.4 เจาะสำรวจ

เป็นการเจาะโดยใช้หัวเจาะติดไว้ที่ปลายท่อเจาะโดยเหล็ก (ROD) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ความยาวท่อนละประมาณ 3 เมตร ดันและหมุนด้วยระบบไฮโดรลิก ภายในหัวเจาะบรรจุตัวส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไว้ด้วยตัวรับสัญญาณแบบมือถือ โดยจะส่งสัญญาณไปยังผู้อ่านค่า และเครื่องจักรสามารถแปลสัญญาณบอกตำแหน่ง ความลึก การหมุนหัวเจาะ อุณหภูมิหัวเจาะ หรือแม้แต่กำลังแบตเตอรี่ ของหัวสัญญาณข้อมูลเหล่านี้ทำให้เราสามารถควบคุมทิศทาง และความลึกของหัวเจาะได้

ภาพที่ 3.2 DigiTrak F5 Locating System

ภาพที่ 3.3 ตัวรับสัญญาณแบบมือถือ

148628
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ค่าต่างๆ จากการเจาะสำรวจจะปรากฏบนจอของตัวรับสัญญาณ

3.2 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการเจาะสำรวจ โดยวิธีของการเจาะลากท่อ

เมื่อทำการเจาะสำรวจและบันทึกข้อมูลจนครบทุกแนวสำรวจแล้ว จะรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ มาเพื่อวิเคราะห์หาอุปสรรคในการวางแนวการดันท่อ และออกแบบวิธีแก้ไขที่เหมาะสมที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงอุปสรรคนั้น

3.3 วิเคราะห์หาวิธีแก้ไขอุปสรรคในการดันท่อ

เมื่อวิเคราะห์แนวสำรวจตามแนวการดันท่อเดิมที่วางไว้เป็นแนวเส้นตรงนั้น พบว่ามีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางในแนวการดันท่อนั้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถดันท่อตามแนวการดันท่อเดิมได้ จะต้องวิเคราะห์หาวิธีแก้ไขที่เหมาะสมที่สุด สำหรับแก้ไขปัญหาดังกล่าว เช่น การวางแนวการดันท่อเป็นแนวโค้งเพื่อหลบสิ่งกีดขวาง เป็นต้น

3.4 วางแนวการดันท่อ

เมื่อได้วิธีการดันท่อที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จึงทำการวางแนวการดันท่อใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว

3.5 ทำการดันท่อ

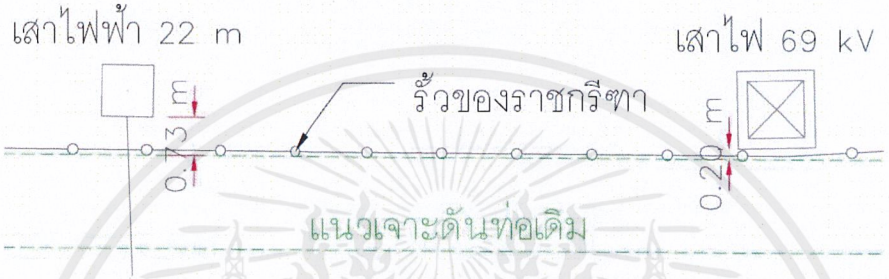
เมื่อวางแนวการดันท่อเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงทำการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับการดันท่อ ตรวจสอบความเรียบร้อยที่บริเวณหน้างาน จากนั้นจึงเริ่มดันท่อจากบ่อพัก MH.3 ไปยังบ่อพัก MH.7 ตามแนวการดันท่อที่ได้วางไว้ใหม่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษา

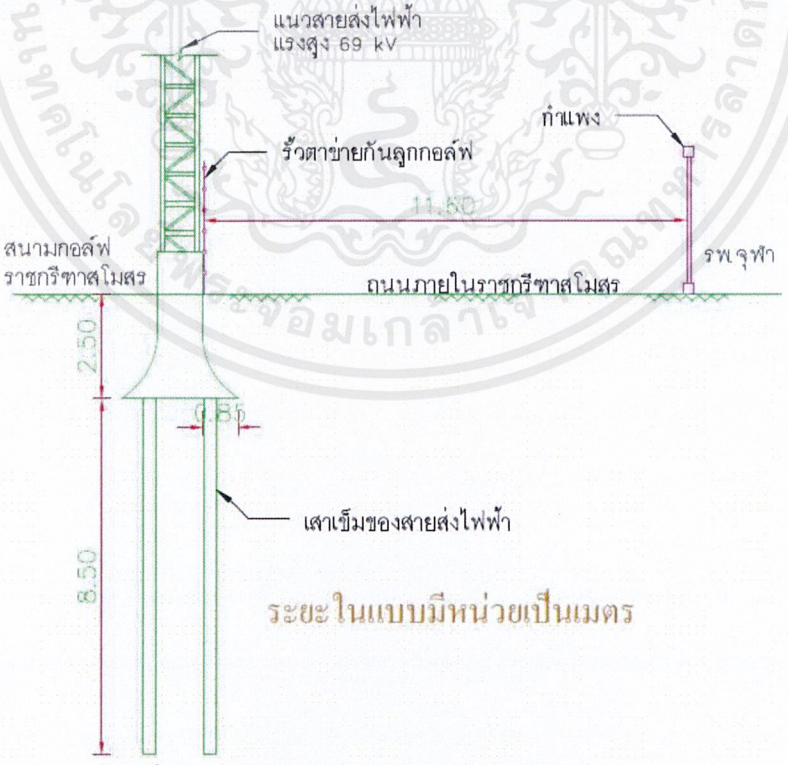
4.1 แนวเจาะดันท่อเดิม

เมื่อพิจารณาแนวเจาะดันท่อเดิมจากแบบก่อสร้าง พบว่า แนวการดันท่อเดิมจะอยู่ใกล้กับแนวเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV จำนวน 4 ต้น และเสาไฟฟ้าแรงสูง ขนาด 22 เมตร จำนวน 3 ต้น ซึ่งมีระยะห่างระหว่างขอบนอกของแนวเจาะดันท่อกับฐานเสาไฟฟ้าดังกล่าวไม่เกิน 1 เมตร



ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างระยะห่างระหว่างแนวเจาะดันท่อเดิมกับเสาไฟฟ้า (หน่วยเป็นเมตร)

เมื่อพิจารณาจากรูปตัดบริเวณแนวเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV ตามภาพที่ 4.2 พบว่า ฐานรากของเสาส่งไฟฟ้านั้นอยู่เลยออกมาจากฐานเสาส่งไฟฟ้าด้านนอกด้านละ 0.85 เมตร



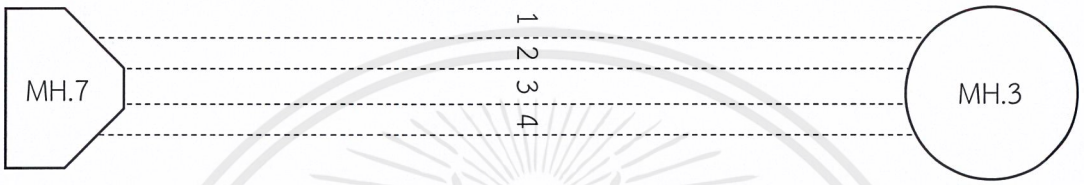
ภาพที่ 4.2 รูปตัดบริเวณแนวเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการเจาะสำรวจแนวราบโดยวิธีเจาะลากท่อ

จากการวิเคราะห์แนวเจาะดันท่อเดิมโดยพิจารณาจากแบบก่อสร้าง พบว่า แนวการเจาะดันท่อดังกล่าวอาจสุ่มเสี่ยงต่อการพบสิ่งกีดขวางในการเจาะ เช่น เสาเข็มของเสาส่งไฟฟ้า เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการสำรวจสิ่งกีดขวางและอุปสรรคต่างๆ ต่อการเจาะดันท่อ โดยอาศัยวิธีการเจาะลากท่อ (Horizontal Directional Drilling) หรือ HDD มาใช้ในการสำรวจดังกล่าว

ในการเจาะสำรวจด้วยวิธีดังกล่าว จะเจาะสำรวจทั้งหมด 4 แนว ขนานไปกับแนวเจาะดันท่อเดิม โดยแต่ละแนวเจาะสำรวจจะมีระยะห่างประมาณ 0.60 เมตร และควบคุมระดับเจาะสำรวจให้ใกล้เคียงหรือสูงกว่าระดับหลังท่อเล็กน้อย



ภาพที่ 4.3 แสดงลำดับแนวการเจาะสำรวจแนวราบ

โดยค่าระดับเจาะสำรวจและผลการตรวจสอบในแต่ละแนว ได้รวบรวมไว้ตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 1

ระยะทาง (เมตร)	ระดับหลังท่อดัน (เมตร)	ระดับเจาะสำรวจ (เมตร)	ผลการเจาะสำรวจ		หมายเหตุ
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	
0.000	-6.000	0.000	√		MH.7
3.000	-6.047	-0.900	√		
6.000	-6.094	-1.800	√		
9.000	-6.142	-4.300	√		
12.000	-6.189	-4.800	√		
15.000	-6.236	-4.230	√		
18.000	-6.283	-5.300	√		
21.000	-6.331	-6.130	√		
24.000	-6.378	-6.050	√		
27.000	-6.425	-6.250	√		
30.000	-6.472	-6.150	√		
33.000	-6.520	-6.340	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36.000	-6.567	-6.390	√		
39.000	-6.614	-6.420	√		
42.000	-6.661	-6.490	√		
45.000	-6.709	-6.530	√		
48.000	-6.756	-6.570	√		
51.000	-6.803	-6.640	√		
54.000	-6.850	-6.690	√		
57.000	-6.897	-6.740	√		
60.000	-6.945	-6.810	√		
63.000	-6.992	-6.780	√		
66.000	-7.039	-6.830	√		
69.000	-7.086	-6.890	√		
72.000	-7.134	-6.940	√		
75.000	-7.181	-6.940	√		
78.000	-7.228	-6.980	√		
81.000	-7.275	-7.030	√		
84.000	-7.323	-7.100	√		
87.000	-7.370	-7.170	√		
90.000	-7.417	-7.220	√		
93.000	-7.464	-7.260	√		
96.000	-7.511	-7.390		√	ชนเสาเข็ม Riser Pole 69 kV

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 2

ระยะทาง (เมตร)	ระดับหลังท่อดัน (เมตร)	ระดับเจาะสำรวจ (เมตร)	ผลการเจาะสำรวจ		หมายเหตุ
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	
0.000	-6.000	0.000	√		MH.7
3.000	-6.047	-0.900	√		
6.000	-6.094	-1.800	√		
9.000	-6.142	-4.300	√		
12.000	-6.189	-4.800	√		
15.000	-6.236	-5.300	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18.000	-6.283	-6.130	√		
21.000	-6.331	-6.050	√		
24.000	-6.378	-6.120	√		
27.000	-6.425	-6.050	√		
30.000	-6.472	-6.210	√		
33.000	-6.520	-6.300	√		
36.000	-6.567	-6.340	√		
39.000	-6.614	-6.420	√		
42.000	-6.661	-6.440	√		
45.000	-6.709	-6.510	√		
48.000	-6.756	-6.590	√		
51.000	-6.803	-6.620	√		
54.000	-6.850	-6.670	√		
57.000	-6.897	-6.780	√		
60.000	-6.945	-6.790	√		
63.000	-6.992	-6.830	√		
66.000	-7.039	-6.870	√		
69.000	-7.086	-6.910	√		
72.000	-7.134	-6.970	√		
75.000	-7.181	-7.090	√		
78.000	-7.228	-7.120	√		
81.000	-7.275	-7.260	√		
84.000	-7.323	-7.290	√		
87.000	-7.370	-7.240	√		
90.000	-7.417	-7.340	√		
93.000	-7.464	-7.360	√		
96.000	-7.511	-7.390	√		
99.000	-7.559	-7.410	√		
102.000	-7.606	-7.410	√		
105.000	-7.653	-7.460	√		
108.000	-7.700	-7.490	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

111.000	-7.748	-7.520	√		
114.000	-7.795	-7.550	√		
117.000	-7.842	-7.620	√		
120.000	-7.889	-7.680	√		
123.000	-7.937	-7.730	√		
126.000	-7.984	-7.760	√		
129.000	-8.031	-7.840	√		
132.000	-8.078	-7.890	√		
135.000	-8.126	-7.920	√		
138.000	-8.173	-7.950	√		
141.000	-8.220	-7.990	√		
144.000	-8.267	-8.070	√		
147.000	-8.314	-8.080	√		
150.000	-8.362	-8.140	√		
153.000	-8.409	-8.190	√		
156.000	-8.456	-8.240	√		
159.000	-8.503	-8.290	√		
162.000	-8.551	-8.350	√		
165.000	-8.598	-8.410	√		
168.000	-8.645	-8.410	√		
171.000	-8.692	-8.490	√		
174.000	-8.740	-8.560	√		
177.000	-8.787	-8.540	√		
180.000	-8.834	-8.620	√		
183.000	-8.881	-8.670	√		
186.000	-8.929	-8.710	√		
189.000	-8.976	-8.770	√		
192.000	-9.023	-8.840	√		
195.000	-9.070	-8.900	√		
198.000	-9.117	-8.960	√		
201.000	-9.165	-9.080	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

204.000	-9.212	-9.070	√		
207.000	-9.259	-9.120	√		
210.000	-9.306	-9.190	√		
213.000	-9.354	-9.220	√		
216.000	-9.401	-9.260	√		
219.000	-9.448	-9.340	√		
222.000	-9.495	-9.330	√		
225.000	-9.543	-9.370	√		
228.000	-9.590	-9.430	√		
231.000	-9.637	-9.480	√		
234.000	-9.684	-9.490	√		
237.000	-9.731	-9.520	√		
240.000	-9.779	-9.550	√		
243.000	-9.826	-9.640	√		
246.000	-9.873	-9.680	√		
249.000	-9.920	-9.730	√		
252.000	-9.968	-9.770	√		
255.000	-10.015	-9.840	√		
258.000	-10.062	-9.870	√		
261.000	-10.109	-9.920	√		
264.000	-10.157	-9.970	√		
267.000	-10.204	-9.980	√		
270.000	-10.251	-10.030	√		
273.000	-10.298	-10.130	√		
276.000	-10.346	-10.210	√		
279.000	-10.393	-10.220	√		
282.000	-10.440	-10.350	√		
285.000	-10.487	-10.330	√		
288.000	-10.534	-10.240	√		
291.000	-10.582	-10.360	√		
294.000	-10.629	-10.440	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

297.000	-10.676	-10.510	√		
300.000	-10.723	-10.490	√		
303.000	-10.771	-10.590	√		
306.000	-10.818	-10.630	√		
309.000	-10.865	-10.720	√		
312.000	-10.912	-10.760	√		
315.000	-10.960	-10.810	√		
318.000	-11.007	-10.880	√		
321.000	-11.054	-10.910	√		
324.000	-11.101	-10.980	√		
327.000	-11.149	-11.020	√		
330.000	-11.196	-11.090	√		
333.000	-11.243	-11.160	√		
336.000	-11.290	-11.240	√		
339.000	-11.337	-11.290	√		
342.000	-11.385	-11.360	√		
345.000	-11.432	-11.390	√		
348.000	-11.479	-11.370	√		
351.000	-11.526	-11.420	√		
354.000	-11.574	-11.490	√		
357.000	-11.621	-11.530	√		
360.000	-11.668	-11.550	√		
363.000	-11.715	-11.590	√		
366.000	-11.763	-11.690	√		
369.000	-11.810	-11.710	√		
372.000	-11.857	-11.790	√		
375.000	-11.904	-11.860	√		
378.000	-11.951	-11.870	√		
381.000	-11.999	-11.840	√		
384.000	-12.046	-11.940	√		
387.000	-12.093	-12.030	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

390.000	-12.140	-12.060	√		
393.000	-12.188	-12.110	√		
396.000	-12.235	-12.130	√		
399.000	-12.282	-12.250	√		
402.000	-12.329	-12.270	√		
405.000	-12.377	-12.210	√		
408.000	-12.424	-12.340	√		
411.000	-12.471	-12.380	√		
414.000	-12.518	-12.290	√		
417.000	-12.566	-12.360	√		
420.000	-12.613	-12.410	√		
423.000	-12.660	-12.480	√		
426.000	-12.707	-12.530	√		
429.000	-12.754	-12.590	√		
432.000	-12.802	-12.640	√		
435.000	-12.849	-12.710	√		
438.000	-12.896	-12.780	√		
441.000	-12.943	-12.840	√		
444.000	-12.991	-12.880	√		
447.000	-13.038	-12.940	√		
450.000	-13.085	-12.970	√		
453.000	-13.132	-13.080	√		
456.000	-13.180	-13.110	√		
459.000	-13.227	-13.160	√		
462.000	-13.274	-13.200	√		
465.000	-13.321	-13.200	√		
468.000	-13.369	-13.180	√		
470.000	-13.400	-13.300	√		MH.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 3

ระยะทาง (เมตร)	ระดับหลังท่อดัน (เมตร)	ระดับเจาะสำรวจ (เมตร)	ผลการเจาะสำรวจ		หมายเหตุ
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	
0.000	-6.000	0.000	√		MH.7
3.000	-6.047	-0.880	√		
6.000	-6.094	-2.020	√		
9.000	-6.142	-4.120	√		
12.000	-6.189	-4.930	√		
15.000	-6.236	-5.530	√		
18.000	-6.283	-5.320	√		
21.000	-6.331	-5.120	√		
24.000	-6.378	-5.940	√		
27.000	-6.425	-6.300	√		
30.000	-6.472	-6.390	√		
33.000	-6.520	-6.450	√		
36.000	-6.567	-6.490	√		
39.000	-6.614	-6.490	√		
42.000	-6.661	-6.530	√		
45.000	-6.709	-6.540	√		
48.000	-6.756	-6.580	√		
51.000	-6.803	-6.620	√		
54.000	-6.850	-6.670	√		
57.000	-6.897	-6.680	√		
60.000	-6.945	-6.750	√		
63.000	-6.992	-6.780	√		
66.000	-7.039	-6.830	√		
69.000	-7.086	-6.860	√		
72.000	-7.134	-6.880	√		
75.000	-7.181	-6.910	√		
78.000	-7.228	-6.960	√		
81.000	-7.275	-9.990	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

84.000	-7.323	-7.040	√		
87.000	-7.370	-7.070	√		
90.000	-7.417	-7.120	√		
93.000	-7.464	-7.180	√		
96.000	-7.511	-7.250	√		
99.000	-7.559	-7.290	√		
102.000	-7.606	-7.340	√		
105.000	-7.653	-7.360	√		
108.000	-7.700	-7.410	√		
111.000	-7.748	-7.460	√		
114.000	-7.795	-7.530	√		
117.000	-7.842	-7.590	√		
120.000	-7.889	-7.640	√		
123.000	-7.937	-7.680	√		
126.000	-7.984	-7.750	√		
129.000	-8.031	-7.770	√		
132.000	-8.078	-7.820	√		
135.000	-8.126	-7.880	√		
138.000	-8.173	-7.940	√		
141.000	-8.220	-7.980	√		
144.000	-8.267	-8.200	√		
147.000	-8.314	-8.240	√		
150.000	-8.362	-8.300	√		
153.000	-8.409	-8.330	√		
156.000	-8.456	-8.370	√		
159.000	-8.503	-8.500	√		
162.000	-8.551	-8.500	√		
165.000	-8.598	-8.450	√		
168.000	-8.645	-8.490	√		
171.000	-8.692	-8.430	√		
174.000	-8.740	-8.410	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

177.000	-8.787	-8.410	√		
180.000	-8.834	-8.570	√		
183.000	-8.881	-8.590	√		
186.000	-8.929	-8.640	√		
189.000	-8.976	-8.670	√		
192.000	-9.023	-8.690	√		
195.000	-9.070	-8.770	√		
198.000	-9.117	-8.790	√		
201.000	-9.165	-8.840	√		
204.000	-9.212	-8.880	√		
207.000	-9.259	-8.940	√		
210.000	-9.306	-8.970	√		
213.000	-9.354	-9.070	√		
216.000	-9.401	-9.080	√		
219.000	-9.448	-9.180	√		
222.000	-9.495	-9.220	√		
225.000	-9.543	-9.270	√		
228.000	-9.590	-9.330	√		
231.000	-9.637	-9.360	√		
234.000	-9.684	-9.370	√		
237.000	-9.731	-9.440	√		
240.000	-9.779	-9.480	√		
243.000	-9.826	-9.530	√		
246.000	-9.873	-9.570	√		
249.000	-9.920	-9.630	√		
252.000	-9.968	-9.680	√		
255.000	-10.015	-9.720	√		
258.000	-10.062	-9.770	√		
261.000	-10.109	-9.840	√		
264.000	-10.157	-9.890	√		
267.000	-10.204	-9.930	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

270.000	-10.251	-9.970	√		
273.000	-10.298	-10.020	√		
276.000	-10.346	-10.080	√		
279.000	-10.393	-10.160	√		
282.000	-10.440	-10.190	√		
285.000	-10.487	-10.240	√		
288.000	-10.534	-10.280	√		
291.000	-10.582	-10.350	√		
294.000	-10.629	-10.380	√		
297.000	-10.676	-10.390	√		
300.000	-10.723	-10.460	√		
303.000	-10.771	-10.490	√		
306.000	-10.818	-10.530	√		
309.000	-10.865	-10.570	√		
312.000	-10.912	-10.650	√		
315.000	-10.960	-10.710	√		
318.000	-11.007	-10.770	√		
321.000	-11.054	-10.840	√		
324.000	-11.101	-10.880	√		
327.000	-11.149	-10.960	√		
330.000	-11.196	-11.010	√		
333.000	-11.243	-11.080	√		
336.000	-11.290	-11.120	√		
339.000	-11.337	-11.180	√		
342.000	-11.385	-11.210	√		
345.000	-11.432	-11.260	√		
348.000	-11.479	-11.290	√		
351.000	-11.526	-11.360	√		
354.000	-11.574	-11.340	√		
357.000	-11.621	-11.390	√		
360.000	-11.668	-11.440	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

363.000	-11.715	-11.490	√		
366.000	-11.763	-11.530	√		
369.000	-11.810	-11.620	√		
372.000	-11.857	-11.750	√		
375.000	-11.904	-11.860	√		
378.000	-11.951	-11.870	√		
381.000	-11.999	-11.840	√		
384.000	-12.046	-11.940	√		
387.000	-12.093	-12.030	√		
390.000	-12.140	-12.060	√		
393.000	-12.188	-12.110	√		
396.000	-12.235	-12.110	√		
399.000	-12.282	-12.160	√		
402.000	-12.329	-12.190	√		
405.000	-12.377	-12.240	√		
408.000	-12.424	-12.290	√		
411.000	-12.471	-12.350	√		
414.000	-12.518	-12.390	√		
417.000	-12.566	-12.430	√		
420.000	-12.613	-12.460	√		
423.000	-12.660	-12.500	√		
426.000	-12.707	-12.540	√		
429.000	-12.754	-12.590	√		
432.000	-12.802	-12.640	√		
435.000	-12.849	-12.670	√		
438.000	-12.896	-12.750	√		
441.000	-12.943	-12.790	√		
444.000	-12.991	-12.840	√		
447.000	-13.038	-12.860	√		
450.000	-13.085	-12.880	√		
453.000	-13.132	-12.960	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

456.000	-13.180	-12.960	√		
459.000	-13.227	-13.020	√		
462.000	-13.274	-13.070	√		
465.000	-13.321	-13.110	√		
468.000	-13.369	-13.180	√		
470.000	-13.400	-13.230	√		MH.3

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการเจาะสำรวจแนวราบ แนวที่ 4

ระยะทาง (เมตร)	ระดับหลังท่อดัน (เมตร)	ระดับเจาะสำรวจ (เมตร)	ผลการเจาะสำรวจ		หมายเหตุ
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	
0.000	-6.000	0.000	√		MH.7
3.000	-6.047	-1.000	√		
6.000	-6.094	-1.810	√		
9.000	-6.142	-3.800	√		
12.000	-6.189	-4.250	√		
15.000	-6.236	-4.790	√		
18.000	-6.283	-4.790	√		
21.000	-6.331	-6.210	√		
24.000	-6.378	-6.350	√		
27.000	-6.425	-6.350	√		
30.000	-6.472	-6.390	√		
33.000	-6.520	-6.410	√		
36.000	-6.567	-6.390	√		
39.000	-6.614	-6.420	√		
42.000	-6.661	-6.490	√		
45.000	-6.709	-6.530	√		
48.000	-6.756	-6.570	√		
51.000	-6.803	-6.640	√		
54.000	-6.850	-6.690	√		
57.000	-6.897	-6.740	√		
60.000	-6.945	-6.770	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

63.000	-6.992	-6.810	√		
66.000	-7.039	-6.870	√		
69.000	-7.086	-6.920	√		
72.000	-7.134	-6.970	√		
75.000	-7.181	-7.040	√		
78.000	-7.228	-7.080	√		
81.000	-7.275	-7.120	√		
84.000	-7.323	-7.150	√		
87.000	-7.370	-7.200	√		
90.000	-7.417	-7.260	√		
93.000	-7.464	-7.310	√		
96.000	-7.511	-7.390	√		
99.000	-7.559	-7.410	√		
102.000	-7.606	-7.410	√		
105.000	-7.653	-7.460	√		
108.000	-7.700	-7.490	√		
111.000	-7.748	-7.520	√		
114.000	-7.795	-7.550	√		
117.000	-7.842	-7.620	√		
120.000	-7.889	-7.680	√		
123.000	-7.937	-7.730	√		
126.000	-7.984	-7.760	√		
129.000	-8.031	-7.840	√		
132.000	-8.078	-7.890	√		
135.000	-8.126	-7.000	√		
138.000	-8.173	-7.940	√		
141.000	-8.220	-7.980	√		
144.000	-8.267	-8.010	√		
147.000	-8.314	-8.060	√		
150.000	-8.362	-8.110	√		
153.000	-8.409	-8.160	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

156.000	-8.456	-8.190	√		
159.000	-8.503	-8.240	√		
162.000	-8.551	-8.270	√		
165.000	-8.598	-8.340	√		
168.000	-8.645	-8.360	√		
171.000	-8.692	-8.420	√		
174.000	-8.740	-8.470	√		
177.000	-8.787	-8.560	√		
180.000	-8.834	-5.640	√		
183.000	-8.881	-8.690	√		
186.000	-8.929	-8.700	√		
189.000	-8.976	-8.720	√		
192.000	-9.023	-8.830	√		
195.000	-9.070	-8.870	√		
198.000	-9.117	-8.940	√		
201.000	-9.165	-8.960	√		
204.000	-9.212	-8.990	√		
207.000	-9.259	-9.030	√		
210.000	-9.306	-9.080	√		
213.000	-9.354	-9.130	√		
216.000	-9.401	-9.190	√		
219.000	-9.448	-9.240	√		
222.000	-9.495	-9.280	√		
225.000	-9.543	-9.340	√		
228.000	-9.590	-9.370	√		
231.000	-9.637	-9.450	√		
234.000	-9.684	-9.490	√		
237.000	-9.731	-9.520	√		
240.000	-9.779	-9.550	√		
243.000	-9.826	-9.640	√		
246.000	-9.873	-9.690	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

249.000	-9.920	-9.730	√		
252.000	-9.968	-9.770	√		
255.000	-10.015	-9.820	√		
258.000	-10.062	-9.820	√		
261.000	-10.109	-9.840	√		
264.000	-10.157	-9.890	√		
267.000	-10.204	-9.930	√		
270.000	-10.251	-9.970	√		
273.000	-10.298	-10.020	√		
276.000	-10.346	-10.080	√		
279.000	-10.393	-10.160	√		
282.000	-10.440	-10.220	√		
285.000	-10.487	-10.300	√		
288.000	-10.534	-10.340	√		
291.000	-10.582	-10.380	√		
294.000	-10.629	-10.440	√		
297.000	-10.676	-10.490	√		
300.000	-10.723	-10.580	√		
303.000	-10.771	-10.600	√		
306.000	-10.818	-10.630	√		
309.000	-10.865	-10.720	√		
312.000	-10.912	-10.760	√		
315.000	-10.960	-10.810	√		
318.000	-11.007	-10.880	√		
321.000	-11.054	-10.910	√		
324.000	-11.101	-10.980	√		
327.000	-11.149	-11.020	√		
330.000	-11.196	-11.090	√		
333.000	-11.243	-11.160	√		
336.000	-11.290	-11.240	√		
339.000	-11.337	-11.290	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

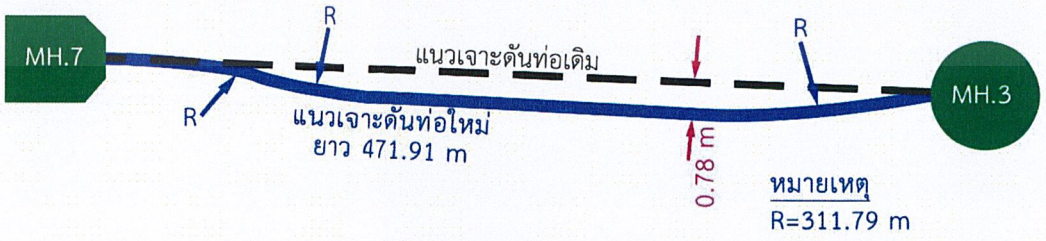
342.000	-11.385	-11.360	√		
345.000	-11.432	-11.390	√		
348.000	-11.479	-11.420	√		
351.000	-11.526	-11.480	√		
354.000	-11.574	-11.520	√		
357.000	-11.621	-11.550	√		
360.000	-11.668	-11.590	√		
363.000	-11.715	-11.630	√		
366.000	-11.763	-11.690	√		
369.000	-11.810	-11.710	√		
372.000	-11.857	-11.790	√		
375.000	-11.904	-11.860	√		
378.000	-11.951	-11.870	√		
381.000	-11.999	-11.840	√		
384.000	-12.046	-11.940	√		
387.000	-12.093	-12.030	√		
390.000	-12.140	-12.070	√		
393.000	-12.188	-12.160	√		
396.000	-12.235	-12.160	√		
399.000	-12.282	-12.150	√		
402.000	-12.329	-12.160	√		
405.000	-12.377	-12.210	√		
408.000	-12.424	-12.340	√		
411.000	-12.471	-12.380	√		
414.000	-12.518	-12.290	√		
417.000	-12.566	-12.360	√		
420.000	-12.613	-12.410	√		
423.000	-12.660	-12.480	√		
426.000	-12.707	-12.530	√		
429.000	-12.754	-12.580	√		
432.000	-12.802	-12.640	√		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

435.000	-12.849	-12.670	√		
438.000	-12.896	-12.750	√		
441.000	-12.943	-12.790	√		
444.000	-12.991	-12.840	√		
447.000	-13.038	-12.860	√		
450.000	-13.085	-12.880	√		
453.000	-13.132	-12.960	√		
456.000	-13.180	-12.960	√		
459.000	-13.227	-13.020	√		
462.000	-13.274	-13.070	√		
465.000	-13.321	-13.130	√		
468.000	-13.369	-13.180	√		
470.000	-13.400	-13.250	√		MH.3

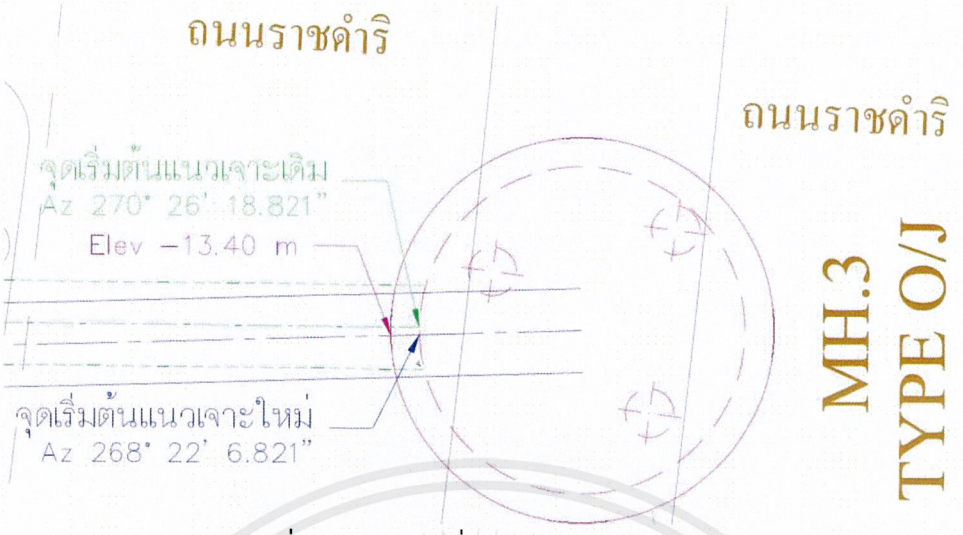
4.3 การวิเคราะห์และออกแบบแนวเจาะดันท่อใหม่

จากผลการเจาะสำรวจแนวราบ พบว่า แนวเจาะสำรวจที่ 1 มีสิ่งกีดขวางคือเสาเข็มของเสาส่งไฟฟ้า 69 kV ที่เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเจาะดันท่อในแนวเดิม ซึ่งสอดคล้องกับแบบก่อสร้างที่มีแนวเสาส่งไฟฟ้า 69 kV และเสาไฟฟ้าขนาด 22 เมตร ขนานไปกับแนวเจาะดันท่อเดิม ทำให้การเจาะดันท่อในแนวดังกล่าวดำเนินการได้อย่างลำบาก เนื่องจากอาจเกิดการเจาะดันท่อโดนเสาเข็มซึ่งยากต่อการตรวจสอบ ส่งผลให้ต้องใช้ทรัพยากรอย่างเปล่าประโยชน์ เช่น ใช้บุคลากรมากเกินความจำเป็น ใช้ระยะเวลาก่อสร้างนานกว่าปกติ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นดังกล่าว โดยในที่นี้จะทำการออกแบบแนวการเจาะดันท่อใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงแนวเสาเข็มของเสาส่งไฟฟ้า 69 kV



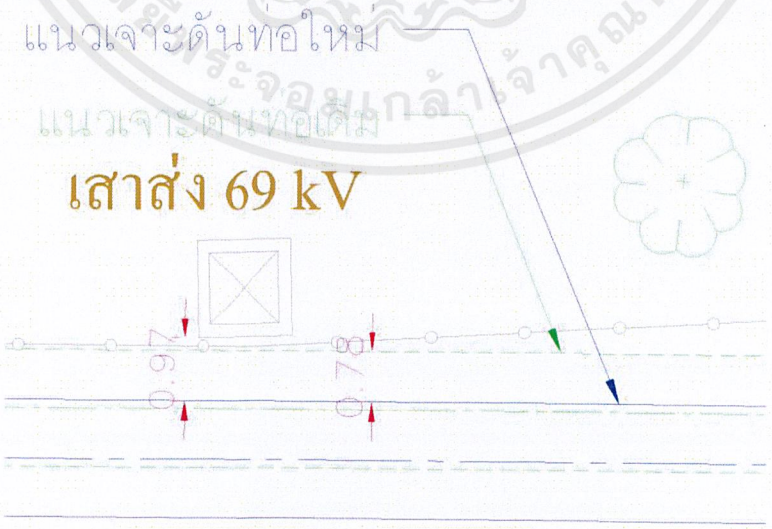
ภาพที่ 4.4 แสดงภาพรวมของแนวเจาะดันท่อเดิมและใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



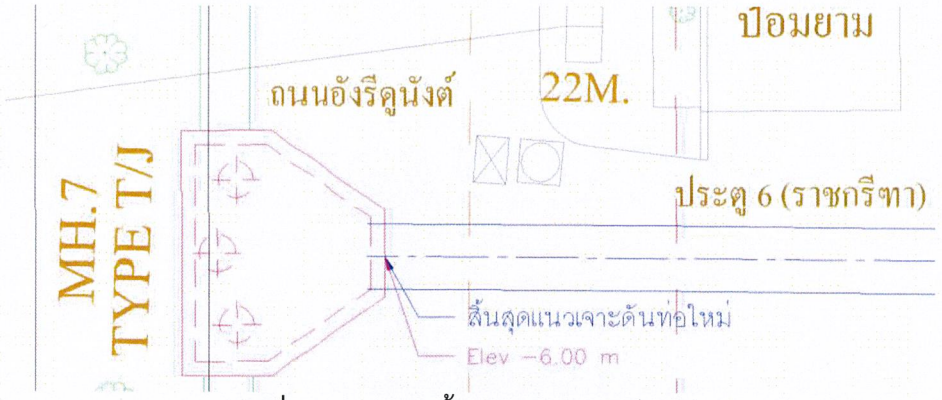
ภาพที่ 4.5 แสดงจุดเริ่มต้นแนวเจาะดันท่อใหม่

สำหรับแนวเจาะดันท่อใหม่นั้น จะเจาะออกจากบ่อพัก MH.3 ซึ่งมีลักษณะเป็นบ่อกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เมตร ความหนาของผนังบ่อ 0.62 เมตร โดยทำมุมอะซิมุท 268° 22’ 6.821” จากทิศเหนือ และมีค่าระดับที่หลังท่อ -13.40 เมตร จากนั้นจะเบี่ยงขวาเป็นแนวโค้งรัศมี 311.39 เมตร เพื่อเบี่ยงให้แนวเจาะดันท่อใหม่ขนานไปกับแนวเจาะดันท่อเดิมซึ่งเป็นแนวที่มีการเจาะสำรวจแนวราบไว้แล้ว ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจซ้ำ โดยที่ศูนย์กลางของทั้งสองแนวจะอยู่ห่างกัน 0.78 เมตร แล้วแนวเจาะดันท่อใหม่จะเบี่ยงกลับมาสู่แนวเจาะดันท่อเดิมเมื่อเจาะดันท่อไปได้ 452 เมตร แล้วแนวเจาะดันท่อจะสิ้นสุดที่บ่อพัก MH.7 ซึ่งทำมุมอะซิมุท 270° 26’ 18.821” จากทิศเหนือ โดยมีค่าระดับที่หลังท่อ -6.00 เมตร ทั้งนี้แนวเจาะดันท่อใหม่นี้จะมีความยาวทั้งหมด 471.91 เมตร เมื่อวัดจากขอบในของบ่อพัก MH.3 ไปยังขอบในของบ่อพัก MH.7 และมีค่าความชัน +1.57%



ภาพที่ 4.6 แสดงระยะห่างระหว่างแนวเจาะเดิมกับแนวเจาะใหม่ และระยะห่างระหว่างแนวเจาะใหม่กับเสาส่งไฟฟ้า 69 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แสดงจุดสิ้นสุดแนวเจาะดันท่อใหม่

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Pipe No.	L	Deflection Angle (จากแนวหลัก)					Coordinate		Az				ΣL
2		(m)	o	'	"	L/R	deg	N	E	o	'	"	deg	(m)
3	Center	MH3	→					1000.0000	1000.0000	268	22	6.8210	268.3686	0.00
4	รัศมีในบ่อ	3.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.9004	996.5014	268	22	6.8210	268.3686	0.00
5	189	2.00	0	0	0.0000	R	0.0000	999.8434	994.5022	268	22	6.8210	268.3686	2.00
6	188	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.7722	992.0032	268	22	6.8210	268.3686	4.50
7	187	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.7011	989.5043	268	22	6.8210	268.3686	7.00
8	186	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.6399	987.0050	268	35	54.8210	268.5986	9.50
9	185	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.5888	984.5055	268	49	42.8210	268.8286	12.00
10	184	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.5477	982.0059	269	3	30.8210	269.0586	14.50
11	183	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.5167	979.5061	269	17	18.8210	269.2886	17.00
12	182	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.4957	977.0061	269	31	6.8210	269.5186	19.50
13	181	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.4847	974.5062	269	44	54.8210	269.7486	22.00
14	180	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.4838	972.0062	269	58	42.8210	269.9786	24.50
15	179	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.4929	969.5062	270	12	30.8210	270.2086	27.00
16	178	2.50	0	13	48.0000	R	0.2300	999.5120	967.0063	270	26	18.8210	270.4386	29.50
17	177	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.5312	964.5063	270	26	18.8210	270.4386	32.00
18	176	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.5503	962.0064	270	26	18.8210	270.4386	34.50
19	175	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.5694	959.5065	270	26	18.8210	270.4386	37.00
20	174	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.5886	957.0066	270	26	18.8210	270.4386	39.50
21	173	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.6077	954.5066	270	26	18.8210	270.4386	42.00
22	172	2.50	0	0	0.0000	R	0.0000	999.6268	952.0067	270	26	18.8210	270.4386	44.50

ภาพที่ 4.8 ตารางแสดงการคำนวณแนวเจาะดันท่อใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงงาน การแก้ไขปัญหาการเจาะดันท่อผ่านสิ่งกีดขวาง ได้ศึกษาแนวการเจาะดันท่อจากบ่อพัก MH.3 ไปยังบ่อพัก MH.7 ในโครงการก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินสำหรับสถานีย่อยโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ บริเวณภายในสภากาชาดไทย ถนนอังรีดูนังต์และถนนราชดำริ กรุงเทพมหานคร พบว่ามีอุปสรรคในการที่จะก่อสร้างตามแนวดังกล่าว คือเสาเข็มของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV และเสาไฟฟ้าขนาด 22 เมตร จึงแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการออกแบบแนวการเจาะดันท่อใหม่ เพื่อหลีกเลี่ยงอุปสรรคดังกล่าว ซึ่งในการออกแบบได้ใช้ความรู้ทางวิศวกรรมโยธาและใช้โปรแกรมจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้างในลักษณะ 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

HDD BROKER. (2016). *Equipment Specifications Library*. Retrieved October 18, 2016, from HDD BROKER: https://www.hddbroker.com/en/resources/equipmentlibrary/viewmodel.php?id=8

RASA INDUSTRIES, LTD. (2013). *PIPE JACKING MACHINE*. Retrieved November 19, 2016, from RASA INDUSTRIES, LTD.: http://www.rasa.co.jp/sD_DH_S_E.htm

Sarunyu Kuntong. (2557). *โค้งวงกลม : Circular Curve*. เรียกใช้เมื่อ 26 ตุลาคม 2559 จาก http://route-surveying-party6.blogspot.com/2014/10/circular-curve.html

กฤษณพงษ์ คุยหกาญจน์. (25 กันยายน 2559). วิธีการดันท่อลอด. กรุงเทพฯ.

นพดล เพียรเวช. (2544). *ความเป็นมาและพื้นฐานของวิธีการก่อสร้างแบบ Pipe Jacking.* กรุงเทพฯ.

บริษัท เจาะวางท่อใต้ดิน จำกัด. (2552). *งานเจาะวางท่อใต้ดิน*. เรียกใช้เมื่อ 17 ตุลาคม 2559 จาก http://jwtunderground.tarad.com/article.php?lang=th

บริษัท ระบายน้ำเสียนครโฮจิมินห์ จำกัด. (2558). *งานดันท่อใต้ดิน*. เรียกใช้เมื่อ 17 ตุลาคม 2559 จาก http://udc.com.vn/th/dich-vu/khoan-kich-ong

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Vermeer Model D24x40a Equipment Specifications

ภาพที่ ก.1 Vermeer D24x40a

ตารางที่ ก.1 Vermeer Model D24x40a Equipment Specifications

Entry Angle	18 degrees
Fuel Tank Capacity	132.5 L
Fuel Type	Diesel
Ground Drive Speed	1.6 km/h
Height	216 cm
Hydraulic Tank Capacity	151.4 L
Length of Rod	3.0 m
Length	516 cm
Make and Model	Cummins 4BTA3.9
Manufacturer's Gross HP Rating	93.2 kw
Max Carriage Speed	18.3 m/min
Max Flow	143.9 LPM
Max Pressure	172.4 bar
Max Spindle Speed	262 RPM
Max Spindle Torque	5423.3 Nm
Min Bend Radius	33.0 m
Min Bore Diameter	8.9 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pipe Diameter	6.0 m
Pullback	10795.5 kg
Rated Engine RPM	2200 RPM
Rod Carrying Capacity	152.4m
Rod Loader	Yes
Thrust	8119.3 kg
Torque	5415 Nm
Type	FIRESTICK 1
Weight of Rod	34 kg
Weight	7801.8 kg
Width	188 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การก่อสร้างบ่อพักท่อร้อยสายไฟฟ้า

บ่อพักท่อร้อยสายไฟฟ้าที่ใช้สำหรับโครงการนี้ จะใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete) สำหรับก่อสร้างกำแพงบ่อพัก และทำการหล่อคอนกรีตในที่ สำหรับก่อสร้างพื้นบ่อพัก โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ข.1 การก่อสร้างกำแพงกันดินชั่วคราว

ขั้นตอนที่ 1 เปิดฝาชั่วคราวสำหรับปิดปากบ่อพัก แล้วขุดดินให้เป็นร่องยาว ลึกเท่ากับความสูงของกำแพงกันดินชั่วคราว ปรับระดับหลุมที่ขุดให้เสมอกัน

ภาพที่ ข.1 การขุดหลุมและปรับระดับเพื่อวางกำแพงกันดินชั่วคราว และหลุมที่ขุดเสร็จแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 วางชิ้นส่วนกำแพงกันดินชั่วคราวลงบนหลุมที่ขุดไว้แล้ว ให้ได้ตำแหน่งและระดับตามที่ระบุในแบบก่อสร้าง

ภาพที่ ข.2 การวางกำแพงกันดินชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 การก่อสร้างผนังบ่อพักท่อร้อยสายไฟฟ้า

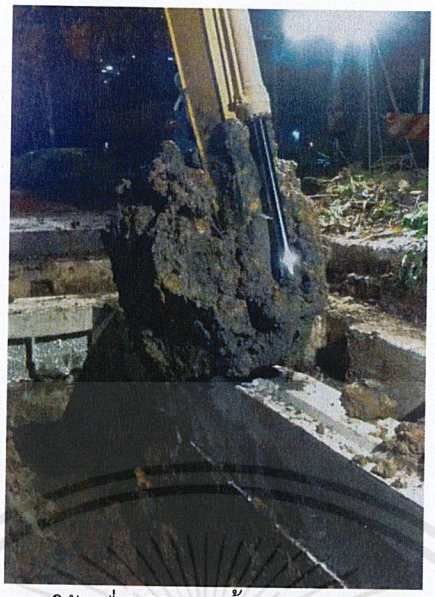
เมื่อวางกำแพงกันดินชั่วคราวแล้ว จึงติดตั้งชิ้นส่วนผนังบ่อพักสำเร็จรูปจากโรงงานผลิต ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำชิ้นส่วนชิ้นล่างสุดซึ่งจะมีปลายด้านล่างแหลมกว่าชิ้นอื่นเพื่อสะดวกต่อการใช้เครื่องจักรกดชิ้นส่วนลงไปในชั้นดิน นำมาวางในบริเวณที่จะก่อสร้างบ่อพัก ทั้งนี้จะต้องขุดดินออกบางส่วนเพื่อให้วางชิ้นส่วนได้ง่ายขึ้น ใช้เครื่องจักรกดชิ้นส่วนให้จมลงไปในดินให้ได้ระดับ

ภาพที่ ข.3 สภาพพื้นที่ก่อสร้างก่อนทำการขุดดินเพื่อวางชิ้นส่วนผนังบ่อพัก

ภาพที่ ข.4 แสดงหน้าตัดของชิ้นส่วนชิ้นล่างสุด

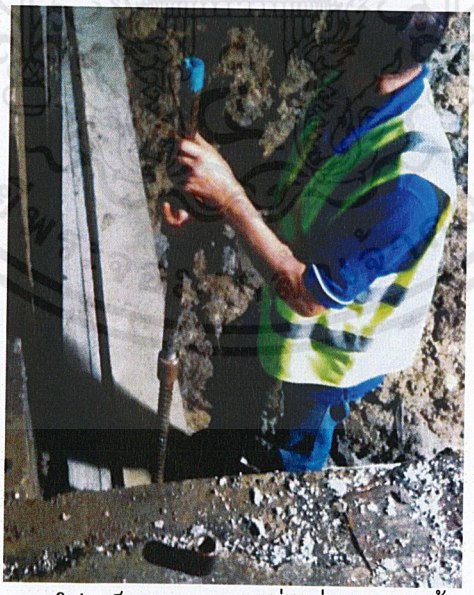
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.5 การใช้เครื่องจักรกดชิ้นส่วนลงไปในดินให้ได้ระดับ

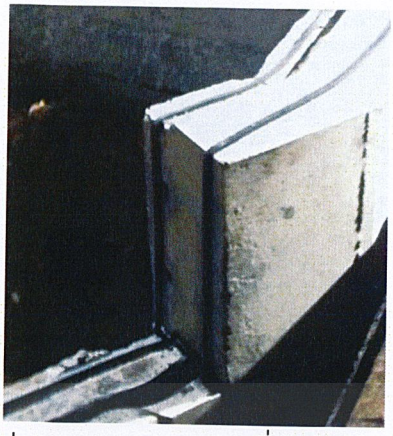
ขั้นตอนที่ 2 ใส่เหล็ก Tie Rod ที่ทำจากเหล็กเส้นข้ออ้อย SD50T และข้อต่อ (Couple) ลงในรูของชิ้นส่วนที่กำหนดไว้ เพื่อเชื่อมกับชิ้นส่วนชิ้นต่อๆ ไป และใส่ยาง Ribbon Sealer บริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน เพื่อกันน้ำใต้ดินรั่วซึมมาตามรอยต่อ

กรณีที่ชิ้นล่างสุดมี 2 ชิ้น จะต้องใส่เหล็ก Tie Rod และยาง Ribbon Sealer ที่รอยต่อระหว่างชิ้นส่วน 2 ชิ้นนั้นด้วย



ภาพที่ ข.6 การใส่เหล็ก Tie Rod เพื่อเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนชั้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.7 การใส่ยาง Ribbon Sealer ที่รอยต่อด้านบนและด้านข้าง

ขั้นตอนที่ 3 นำชิ้นส่วนผนังบ่อพักชิ้นต่อๆ มา มาวางต่อจากชิ้นล่างสุด ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไปข้างต้น จนกระทั่งวางชิ้นบนสุดเรียบร้อยและได้ระดับตามแบบก่อสร้าง จึงถือว่าเสร็จเรียบร้อย

ข.3 การก่อสร้างพื้นบ่อพักท่อร้อยสายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 1 ขุดดินที่อยู่ในบ่อพักให้ได้ระดับที่เหมาะสม ใช้ทรายหยาบปรับระดับพื้นให้เสมอกัน ตามด้วยคอนกรีตหยาบ เพื่อให้สะดวกต่อการก่อสร้างพื้นบ่อพัก

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อคอนกรีตหยาบแห้งแล้ว จึงเสริมเหล็กพื้นตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นเทคอนกรีตผสมเสร็จให้ได้ความหนาตามที่กำหนด ใช้เกรียงหรือบรรทัดฉาบปูนปาดผิวให้เรียบ ได้ระดับตามแบบ

ภาพที่ ข.8 การเสริมเหล็กพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

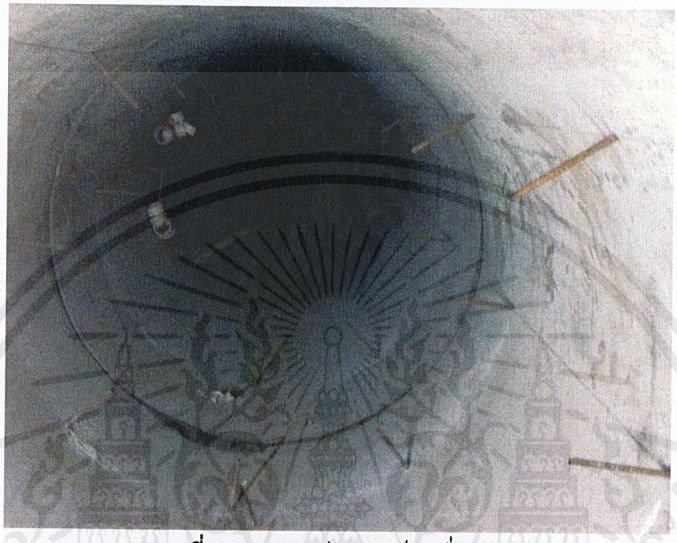
ภาพที่ ข.9 การจี้คอนกรีตขณะเทพื้นบ่อพัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การร้อยท่อร้อยสายไฟฟ้า RTRC

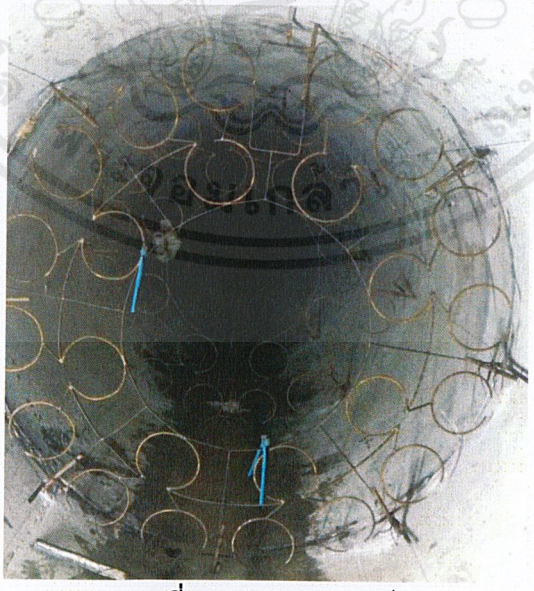
ในการร้อยท่อร้อยสายไฟฟ้า RTRC นั้น จะประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเจาะรูที่ผนังภายในท่อ เสียบเหล็กเส้นสำหรับใช้ในการยึดหวี



ภาพที่ ค.1 การเสียบเหล็กเพื่อยึดหวี

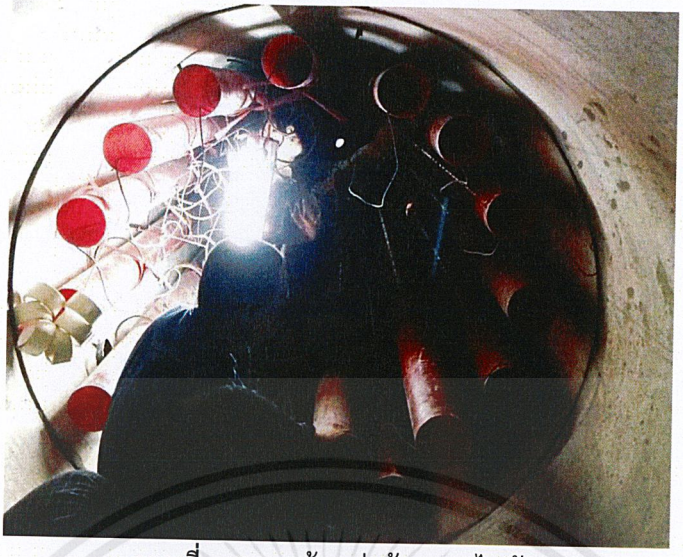
ขั้นตอนที่ 2 ติดหวีที่ทำจากเหล็ก เพื่อใช้ร้อยท่อร้อยสายไฟฟ้าให้มีตำแหน่งและระยะห่างตามที่กำหนด



ภาพที่ ค.2 การติดหวีเหล็ก

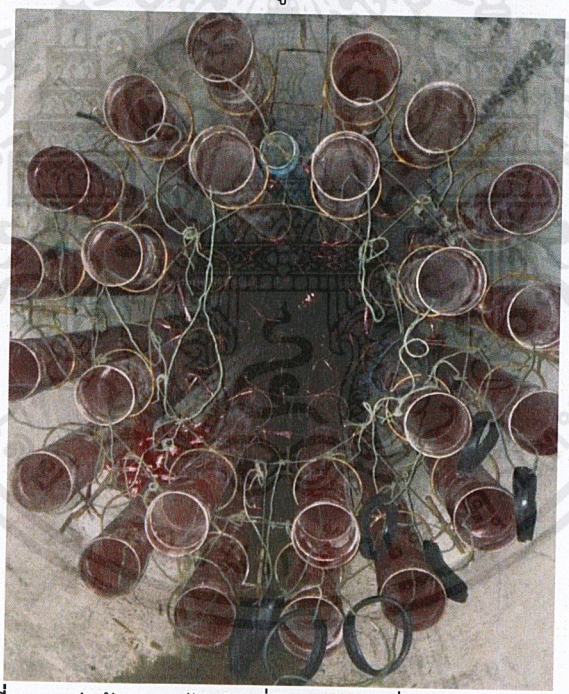
ขั้นตอนที่ 3 ร้อยท่อร้อยสายไฟฟ้าให้ครบตามรูหวีที่วางไว้ก่อนหน้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.3 การร้อยท่อร้อยสายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 4 ร้อยเชือกตามท่อเพื่อใช้ลากลูกดัมมี่



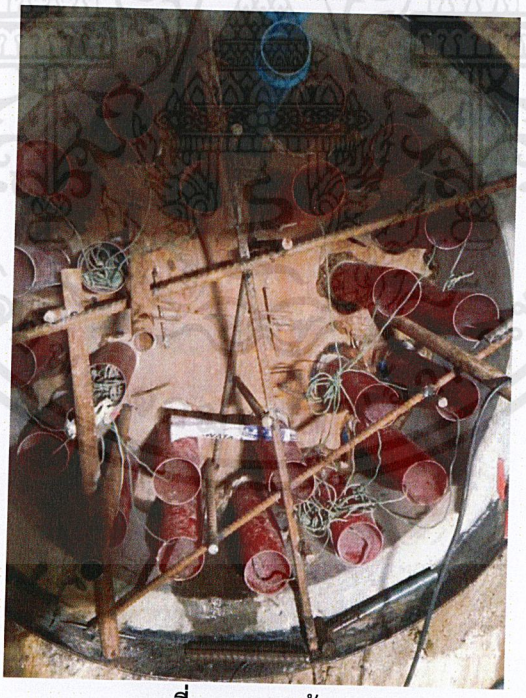
ภาพที่ ค.4 ท่อร้อยสายไฟฟ้าที่ร้อยเชือกเพื่อใช้ลากลูกดัมมี่แล้ว

ขั้นตอนที่ 5 ใส่ท่อยิงปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.5 การใส่ท่อยิงปูน

ขั้นตอนที่ 6 เข้าแบบ ค้ำยันแบบ



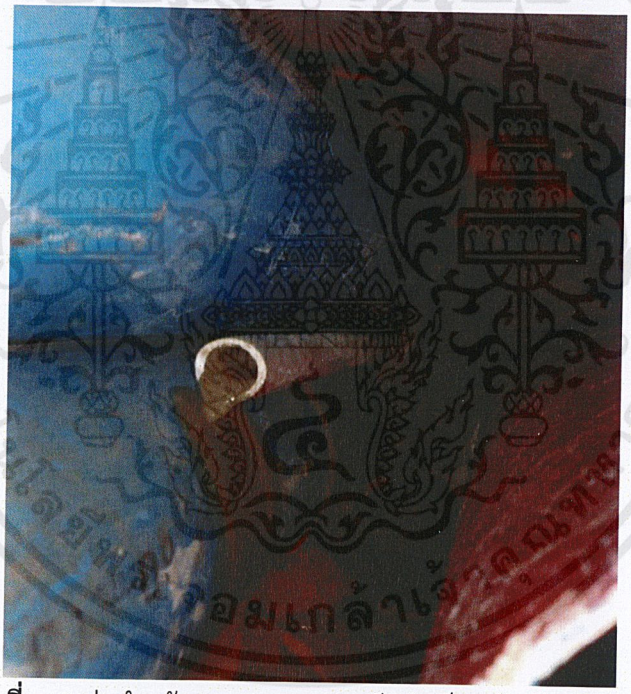
ภาพที่ ค.6 การเข้าแบบ

ขั้นตอนที่ 7 เสียบท่อตรวจสอบว่า ปูนที่ยิงเข้าไปนั้น ได้ยิงเข้าไปเต็มหน้าตัดท่อหรือไม่

ขั้นตอนที่ 8 ยิงปูนด้วยเครื่องยิงปูน (Concrete Pump) จนกระทั่งเต็มช่องว่างภายในท่อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.7 Concrete Pump



ภาพที่ ค.8 ท่อสำหรับตรวจสอบคอนกรีตว่าเต็มหน้าตัดท่อหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้