การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด ของการประปาส่วนภูมิภาค

A COMPARATIVE STUDY OF PIPE JACKING TECHNIQUES OF THE PROVINCIAL WATERWORKS AUTHORITY

ศราวุฒิ ก๋องใจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด ของการประปาส่วนภูมิภาค

ศราวุฒิ ก๋องใจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดของการประปาส่วนภูมิภาค
ชื่อ – นามสกุล	นายศราวุฒิ ก๋องใจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถาวร ธีรเวชญาณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

เนื่องมาจากปัญหาการจราจรในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นในเขตตัวเมืองของจังหวัด ส่งผลให้การประปาส่วนภูมิภาคและผู้รับจ้าง นำโครงการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดมาปรับใช้เพื่อลดปัญหาการจราจรในบริเวณพื้นที่ที่มีการก่อสร้าง

เทคนิคงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดที่ใช้ได้แก่ รูปแบบที่ 1 การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาที่จะวาง รูปแบบที่ 2 การดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น และ รูปแบบที่ 3 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน โดยรูปแบบที่ 1 เป็นเทคนิคที่มีการนำมาใช้อยู่แล้ว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบเทคนิคงานวางท่อลอดของรูปแบบที่ 2 และ รูปแบบที่ 3 ซึ่งได้สรุปขั้นตอนการก่อสร้างแต่ละรูปแบบ รายการเครื่องมือเครื่องจักร การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงาน และอัตราการทำงานของแต่ละรูปแบบการดันท่อ

จากผลการศึกษาพบว่า รูปแบบที่ 3 ไม่ต้องเสียเวลาจากการเชื่อมรอยต่อของท่อขณะที่มีการดันท่ออยู่ จึงใช้เวลาในการดันท่อได้รวดเร็ว ในด้านของต้นทุนการก่อสร้าง รูปแบบที่ 2 ใช้ต้นทุนน้อยที่สุด เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานน้อย อย่างไรก็ตาม รูปแบบที่ 3 มีความยืดหยุ่นในการดันท่อสามารถปรับแนวการดันท่อในแนวโค้งได้ดีกว่ารูปแบบอื่น ผลการศึกษานี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการประปาส่วนภูมิภาค ผู้รับเหมาวางท่อ ในการพิจารณาเลือกรูปแบบที่เหมาะสมกับงานดันท่อลอดต่อไป

คำสำคัญ: วิธีดันท่อลอด ท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ท่อเหล็กเหนียวสองชั้น

Thesis Title	A Comparative Study of Pipe Jacking Techniques of The Provincial Water Works Authority
Name - Surname	Mr. Sarawut Kongjai
Program	Civil Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr.Thaworn Thirawetchayan
Thesis Co - advisor	Dr.Kongkoon Tochaiwat
Academic Year	2011

ABSTRACT

Due to the traffic problem in highly populated downtown area of the cities, pipe jacking methods in waterwork construction projects were employed and adapted by the Provincial Waterworks Authority (PWA) in order to reduce the traffic congestion caused by the piping work projects.

There are three types of pipe jacking techniques known as Type 1 Steel Pipe with Concrete Sleeve, Type 2 Steel Concentric Double Cylinder Pipe (SCP) and Type 3 Reinforced Concrete Pressure Pipe. Type 1 was the old technique commonly used while this research focused on comparing the later two techniques. Details from two pipe jacking projects on construction methods, major equipments, resource lists, assigned crew, and the production rate in the jacking activities were summarized.

The results of the research showed that Type 3 technique consumed less connection welding time as the result of time efficiency. The construction cost of Type 2 technique was minimal due to fewer steps of working process. However, type 3 techniques was more flexible, easier to adjust to the target path, therefore suitable for curve path. Finally, this research will be useful for PWA and piping work contractors in selecting the right jacking technique for a workshop.

Keywords: pipe jacking, reinforced concrete pressure pipe, steel concentric double cylinder pipe

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถาวร ธีรเวชญาณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติศานต์ กร้ำมาตร ประธานกรรมการหลักสูตร ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐวุฒิ รู้แทนคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิด คำแนะนำที่มีประโยชน์ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของการทำการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ขอขอบคุณบุคลากร สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษา และทำการวิจัยทำให้ผู้วิจัยฝ่าฟันจนประสบความสำเร็จได้

เหนือสิ่งอื่นใดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและพี่สาวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยให้กำลังใจอันยิ่งใหญ่ด้วยดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ศราวุฒิ ก๋องใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…….. ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…….. ง

กิตติกรรมประกาศ…….. จ

สารบัญ……... ฉ

สารบัญตาราง…….. ซ

สารบัญภาพ……..... ฌ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ…… ฎ

บทที่

1 บทนำ……... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา…….. 1

1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา…… 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย…….. 3

1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย…….. 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……. 4

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 5

2.1 การดันท่อลอด…… 5

2.2 ราคาโดยประมาณ……... 19

2.3 ขั้นตอนการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด……. 20

2.4 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลอัตราการทำงาน…… 36

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 37

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย……... 42

3.1 สิ่งที่จะทำการศึกษา……. 42

3.2 การดำเนินงานวิจัย…….. 43

3.3 วิธีการศึกษาวิจัย…….. 44

3.4 สรุปภาพรวมข้อมูลที่จะเก็บและวิธีการที่ใช้ในการเก็บ

ข้อมูลแต่ละชนิด…….. 45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล……..... 47

4.1 กรณีศึกษาที่ 1 การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2)……... 47

4.2 กรณีศึกษาที่ 2 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)……... 58

4.3 กรณีศึกษาที่ 3 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)……... 69

4.4 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ ต้นทุนและระยะทางในการดัน ของรูปแบบต่างๆ……... 79

4.5 ข้อเปรียบเทียบประเภทบ่อดัน บ่อรับสำหรับงานดันท่อลอด (Pipe Jacking)…… 81

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ…….. 83

5.1 รูปแบบและวิธีการดันท่อลอด…… 83

5.2 เวลาที่ใช้ในการดันท่อลอด…… 84

5.3 ต้นทุนการดันท่อลอด……. 84

5.4 ปัญหาและอุปสรรค…… 85

5.5 แนวทางในการเลือกรูปแบบการดันท่อลอด…….. 86

5.6 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป…….. 87

รายการอ้างอิง……. 88

ภาคผนวก…… 89

… 90

ก การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2)……... 107

ข การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)……..…….. 126

ค การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)…….. 144

ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่……...……. 155

ประวัติผู้เขียน……..

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ขนาดบ่อดันและบ่อรับแบบใช้ Sheet Pile…….. 11

2.2 ขนาดบ่อดันและบ่อรับคอนกรีต…… 13

2.3 รายการที่ต้องแจ้งแสดงหลักฐานการมีกรรมสิทธิ์ เช่า หรือเช่าซื้อ……. 17

2.4 รายการที่ไม่ต้องแจ้งแสดงหลักฐานการมีกรรมสิทธิ์ เช่า หรือเช่าซื้อ…… 18

2.5 ราคาโดยประมาณในการก่อสร้างบ่อดันและบ่อรับ…….. 19

2.6 ราคาโดยประมาณค่าก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันลอดแต่ละแบบ……. 20

2.7 ตัวอย่างแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลอัตราการทำงาน (Production Rate) …….. 37

2.8 เกณฑ์กำหนดการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการเพื่อให้แน่ใจในความ
ปลอดภัยของโครงสร้าง…… 39

3.1 ข้อมูลที่จะเก็บและวิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแต่ละชนิด…… 45

3.2 รายละเอียดของงานดันท่อแต่ละรูปแบบและการรวบรวมข้อมูล…… 46

4.1 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ก2…….. 49

4.2 ค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) การดันท่อรูปแบบ ก2…… 55

4.3 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้
จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) การดันท่อรูปแบบ ก2……. 56

4.4 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข1……... 60

4.5 ค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) การดันท่อรูปแบบ ข1 ……. 66

4.6 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้
จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) การดันท่อรูปแบบ ข1…….. 67

4.7 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข2……... 71

4.8 ค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) การดันท่อรูปแบบ ข2…… 76

4.9 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้
จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) การดันท่อรูปแบบ ข2…….. 77

4.10 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ ต้นทุนและระยะทางในการดัน ของรูปแบบต่างๆ…… 80

4.11 ข้อเปรียบเทียบประเภทบ่อดัน บ่อรับสำหรับงานดันท่อลอด (Pipe Jacking)…… 81

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 การดันท่อลอด (Pipe Jacking) 5

2.2 หัวเจาะแบบเปิดหน้าบางส่วน (Blind Shield) 6

2.3 หัวเจาะ Closed Face Shield ชนิด Earth Pressure Balance (EPB) 7

2.4 หัวเจาะ Slurry Shield..... 7

2.5 การควบคุมทิศทางการเจาะแบบ Remote Control โดยใช้แสงเลเซอร์..... 8

2.6 การลำเลียงดินออกมาทิ้งโดยใช้ Skip Car จากหัวเจาะแบบ Blind Shield..... 8

2.7 การลำเลียงดินออกมาทิ้งโดยใช้การปั๊มออกทางท่อจากหัวเจาะแบบ Closed Face Shield..... 9

2.8 การดันท่อโดยใช้แม่แรงดันท่อที่มีระยะช่วงชักยาวเป็นพิเศษ..... 9

2.9 บ่อดันและบ่อรับแบบใช้ Sheet Pile..... 10

2.10 บ่อดันและบ่อรับคอนกรีต..... 12

2.11 ท่อเหล็กเหนียวแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก1)..... 14

2.12 ท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) 15

2.13 ท่อประปาเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) 16

2.14 ท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) 16

2.15 ตัวอย่างป้ายประชาสัมพันธ์และป้ายก่อสร้าง..... 22

2.16 ตัวอย่างการทำแนวและระดับ (Line & Grade) ก่อนเริ่มวางท่อประปา..... 23

2.17 การติดตั้งระบบป้องกันการผุกร่อน แบบถุงอะ โนด (Anode) และแบบ Zinc Ribbon..... 24

2.18 การตรวจสอบสภาพแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติของปตท. และแนวเคเบิลของ กสท. 27

2.19 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลแนวและระดับ (Line & Grade) ที่เสาไฟฟ้า..... 28

2.20 ตัวอย่างการติดตั้ง ป้ายจราจร ไฟสัญญาณ และกรวยกั้นบริเวณก่อสร้าง..... 28

2.21 การกำหนดตำแหน่งบ่อด้วยกล้องสำรวจ..... 29

2.22 การตัดผิวจราจรด้วยเครื่องตัด..... 29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.23 การติดตั้งกำแพงยันหลัง (Back Thrust Wall) ……. 30

2.24 การติดตั้งราง (Guide Rail) และ Entrance Ring…….. 30

2.25 ชุดแม่แรงกระบอกไฮดรอลิกและระบบควบคุมแนวพร้อมกล้องเลเซอร์ (Laser) ……. 31

2.26 การทดสอบรอยเชื่อมแบบ Radiographic Test และ Liquid Penetrant Test…… 31

2.27 การปิดผิวจราจรด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Plate) และแผ่นคอนกรีต (Concrete Deck)……. 32

2.28 การทดสอบท่อด้วยความดัน 8 ksc. ใช้เวลาทดสอบไม่น้อยกว่า 2 ชม. …….. 33

2.29 การจัดซ่อมทางเดินเท้าเพื่อคืนสภาพเดิม……. 35

2.30 การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยนักวิทยาศาสตร์ก่อนเปิดจ่ายน้ำจากเส้นท่อ……... 35

2.31 การดันท่อ Ø150 มม. PVC และ Production Rate ถึงระดับกิจกรรมโดย Nishida, et al. ……. 38

2.32 วิธีการดันท่อลอด (Pipe Jacking) แบบ Horizontal Directional Drill (HDD)……. 40

3.1 ผังการดำเนินงานวิจัย……. 43

4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งโครงการ……... 47

4.2 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ก2……... 54

4.3 แผนที่แสดงตำแหน่งโครงการ……... 59

4.4 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ข1……... 65

4.5 แผนที่แสดงตำแหน่งโครงการ……... 69

4.6 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ข2…….. 75

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กปน.	การประปานครหลวง
กปภ.	การประปาส่วนภูมิภาค
กฟน.	การไฟฟ้านครหลวง
กสท.	การสื่อสารแห่งประเทศไทย
ทศท.	องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
ปตท.	การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
รฟท.	การรถไฟแห่งประเทศไทย
รูปแบบ ก1	การดันท่อปลอกเหล็กเหนียวแล้วร้อยด้วยท่อประปา
รูปแบบ ก2	การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา
รูปแบบ ข1	การดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น
รูปแบบ ข2	การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน
อบต.	องค์การบริหารส่วนตำบล
BOQ	Bill of Quantities
CP	Cathodic Protection
CPM	Critical Path Method
EPB	Earth Pressure Balance
HDD	Horizontal Directional Drill
HDPE	High Density Polyethylene
SCP	Steel Concentric Double Cylinder Pipe

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) มีโครงการก่อสร้างวางท่อประธานในแต่ละเขตจังหวัดที่มีการขยายตัวของประชากรอย่างรวดเร็ว ในโครงการปรับปรุงกิจการประปาแผนยุทธศาตร์ ฉบับที่ 1 (2550-2554) และโครงการปรับปรุงระบบประปาเพื่อลดน้ำสูญเสีย [1] ซึ่งจะต้องทำการก่อสร้างวางท่อประปาในบริเวณพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ที่ผ่านมาโครงการดังกล่าวมักจะประสบปัญหาการขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ ซึ่งส่วนมากจะแจ้งการตอบอนุญาตให้การประปาส่วนภูมิภาคเปลี่ยนแปลงวิธีการก่อสร้างงานวางท่อประปาจากวิธีการขุดวาง เป็นวิธีการดันท่อลอด (Pipe Jacking) แทน เพื่อลดปัญหาการร้องเรียนจากผู้สัญจรผ่านบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง และลดปัญหาการจราจรให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้มติ คณะรัฐมนตรี เรื่องการแก้ไขปัญหาการก่อสร้างถนนและระบบสาธารณูปโภคภายในเขตตัวเมืองของกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และตัวเมืองจังหวัด ที่บังคับใช้เมื่อ 1 ตุลาคม 2545 กำหนดให้งานก่อสร้างสาธารณูปโภคที่มีการดำเนินงานในผิวจราจร ปกติจะต้องกำหนดระยะเวลาการดำเนินการไม่เกิน 1 ปี [1] ก่อให้เกิดผลกระทบต่องานก่อสร้างวางท่อประธาน ซึ่งปกติจะมีแนววางท่ออยู่ในบริเวณผิวจราจรเป็นส่วนใหญ่

การก่อสร้างวางท่อประปาโดยโดยวิธีขุดวางในถนน โดยเฉพาะพื้นที่ในใจกลางเมือง ซึ่งเป็นย่านธุรกิจการค้าและสถานที่สำคัญ ๆ นับวันจะกระทำได้ยากลำบากขึ้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมจราจรที่หนาแน่น การขุดเปิดร่องดินเพื่อวางท่อประปาทำให้พื้นที่ผิวการจราจรลดลง จึงเป็นการเพิ่มปัญหาให้กับการจราจร หน่วยงานเจ้าของพื้นที่ และหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจราจร จึงมักจะมีมาตรการต่าง ๆ ออกมาควบคุมบังคับ เช่น อนุญาตให้ทำการก่อสร้างวางท่อได้เฉพาะช่วงระยะเวลากลางคืนตั้งแต่ 22.00 น. ถึง 05.00 น. หลังจากนั้นร่องดินจะต้องอยู่ในสภาพที่ถูกกลบเรียบร้อย และจะต้องจัดทำผิวจราจรชั่วคราวแทนการปูทับร่องดินด้วยแผ่นเหล็กเป็นต้น [2] จนถึงไม่อนุญาตให้การประปาส่วนภูมิภาคขุดวางท่อในถนนที่มีการจราจรหนาแน่นมาก เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว การประปาส่วนภูมิภาค จำเป็นต้องหาวิธีใหม่ๆ มาใช้โดยการวางท่อโดยก่อให้เกิดผลกระทบต่อการจราจรน้อยที่สุด วิธีที่ได้ยอมรับกันอย่างกว้างขวางทั่วโลกขณะนี้ก็คือการใช้เทคโนโลยีวางท่อโดยไม่ต้องขุดเปิดร่องดิน (Trenchless Technology) ซึ่งงานก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) ก็นับว่าเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่เป็นเทคโนโลยีวางท่อโดยไม่ต้องขุดเปิดร่องดิน ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก สามารถแก้ปัญหาการก่อสร้างวางท่อในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นในตัวเมืองได้

การก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) ที่การประปาส่วนภูมิภาคใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 3 รูปแบบหลัก คือ การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) การดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น (รูปแบบ ข1) และการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) วิธีการดันท่อทั้ง 3 รูปแบบหลักนี้ ทั้งในด้านการดำเนินการและชนิดท่อที่ใช้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการยื่นขออนุมัติการก่อสร้าง จากผู้รับจ้างภายหลังที่ได้รับการว่าจ้างให้เป็นผู้รับจ้างสัญญาใดๆนั้นแล้วเพื่อให้การก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีการดันท่อลอดเหมาะสมสำหรับสภาพการจราจรและพื้นที่การก่อสร้างแต่ละแห่งนั้น ควรจะต้องกำหนดชนิดหัวเจาะ ชนิดท่อปลอก ลักษณะการทำงานและกำหนดวิธีการก่อสร้างไว้ในเอกสารประกวดราคาตั้งแต่แรกเริ่ม จะทำให้เกิดความเป็นธรรมต่อผู้รับจ้างงานก่อสร้างและทำให้เกิดการแข่งขันอย่างเป็นธรรม อีกทั้งจะเป็นวิธีการแก้ปัญหาการก่อสร้างวางท่อประธานในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น เพื่อบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชนในบริเวณพื้นที่การก่อสร้าง และสอดคล้องกับแนวทางการตอบอนุญาตจากการประสานงานเบื้องต้นกับเจ้าของพื้นที่ เป็นการสมควรที่จะมีการศึกษา รวบรวมข้อมูลการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีการดันท่อลอดทั้ง 2 วิธี เพื่อเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ลักษณะการทำงาน และแนะนำวิธีการดันท่อลอดที่เหมาะสมให้กับการประปา เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการประปา และการนำไปประยุกต์ใช้ขององค์กรต่างๆในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย

1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบและขั้นตอนของการดันท่อลอดทั้ง 3 รูปแบบ คือ การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) การดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น (รูปแบบ ข1) และการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

1.2.2 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน ของการดันท่อลอดทั้ง 3 รูปแบบ

1.2.3 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนที่เกิดขึ้นในงานในการดันท่อลอดทั้ง 3 รูปแบบ

1.2.4 เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคที่มีผลกระทบต่อต้นทุนขณะทำการก่อสร้างดันท่อลอดทั้ง 3 รูปแบบ

1.2.5 เพื่อเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ลักษณะการบริหารจัดการ เสนอแนะแนวทางและวิธีดันท่อลอดที่เหมาะสม ให้กับการประปาส่วนภูมิภาค

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษารายละเอียดของวิธีการดันท่อ ชนิดท่อ บ่อดัน บ่อรับ ที่ใช้ในงานดันท่อลอดของการประปาส่วนภูมิภาคเท่านั้น จะทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของงานวางท่อประธานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 - 1,500 มม. ซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ รูปแบบ ก2 การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา รูปแบบ ข1 การดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น และรูปแบบ ข2 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ในส่วนงานดันท่อจ่ายน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1,000 มม. ซึ่งใช้รูปแบบ ก1 การดันท่อปลอกเหล็กเหนียวแล้วร้อยด้วยท่อประปา ผู้วิจัยมิได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

1.3.1 โครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดปทุมธานี ซึ่งจะมีงานดันท่อลอดแบบวิธีการดันท่อปลอกแล้วร้อยด้วยท่อประปาที่จะวาง

1.3.2 โครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดชลบุรี ซึ่งจะมีการดันท่อเป็นท่อประปาโดยตรง

1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

1.4.1 ส่วนของการรวบรวมและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1. ศึกษางานวิจัย บทความและเอกสารทางวิชาการทั้งในและต่างประเทศ
2. ศึกษารูปแบบและขั้นตอนของการดันท่อลอด ที่การประปาส่วนภูมิภาคใช้อยู่ในปัจจุบันโดยทำการศึกษาจากหลายๆ โครงการก่อสร้างดันท่อลอดของ การประปาส่วนภูมิภาค
3. ศึกษาเกี่ยวกับรายการเครื่องจักรและทรัพยากรที่ต้องใช้ต่อกลุ่มงาน

1.4.2 ส่วนของการศึกษาโครงการก่อสร้างจริง

1. เลือกโครงการที่กำลังก่อสร้างจริง
2. เก็บข้อมูลการก่อสร้าง โดย การสังเกตุ การสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการ ผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ ทั้ง 2 โครงการจำนวน 4 คนและการถ่ายภาพ
3. พิจารณาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นกับต้นทุนที่เปลี่ยนไป
4. เปรียบเทียบปัญหา ข้อดี ข้อเสีย สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะวิธีการดันท่อลอดที่เหมาะสม ให้กับการประปาส่วนภูมิภาค

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เผยแพร่เทคนิคงานก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด ทั้ง 3 รูปแบบให้กับการประปาส่วนภูมิภาค ผู้ว่าจ้าง ผู้รับจ้าง

1.5.2 การประปาส่วนภูมิภาค ผู้ว่าจ้าง ผู้รับจ้างสามารถวิเคราะห์ถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นก่อนการดำเนินการก่อสร้าง

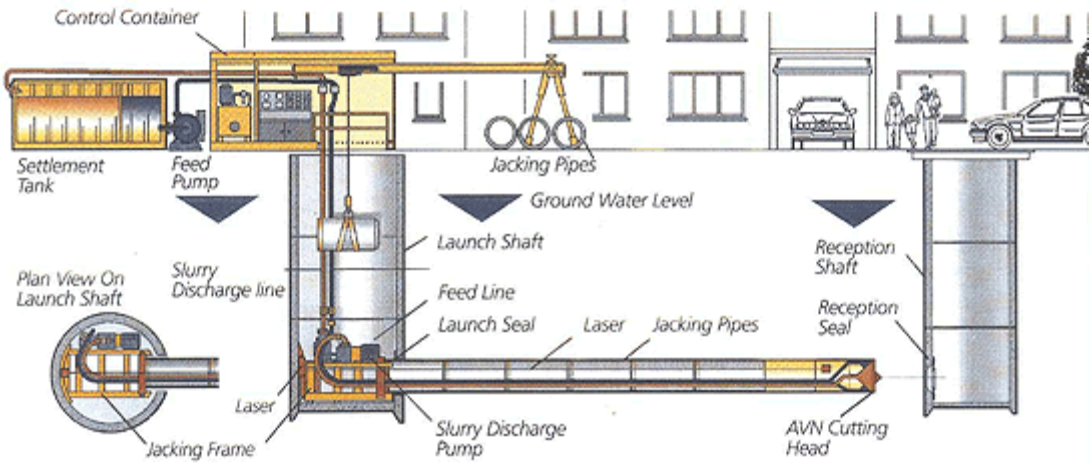
1.5.3 การประปาส่วนภูมิภาค ผู้ว่าจ้าง ผู้รับจ้างสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการเลือกวิธีการก่อสร้างวางท่อประปาได้อย่างเหมาะสม

1.5.4 การประปาส่วนภูมิภาค ผู้ว่าจ้าง ผู้รับจ้างสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้พัฒนาประสิทธิภาพ ของการก่อสร้างโครงการของการประปาส่วนภูมิภาคในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดันท่อลอด (Pipe Jacking)

เป็นการวางท่อโดยใช้แม่แรงซึ่งติดตั้งในบ่อดัน (Driving Pit) ยันท่อกับผนังบ่อให้ท่อทั้งเส้นเคลื่อนไปตามแนวที่ต้องการเพื่อไปโผล่ยังบ่อรับ (Receiving Pit) ที่อยู่ถัดไปข้างหน้า โดยทั่วไปสำหรับท่อที่มีขนาดใหญ่จะใช้หัวเจาะดิน (Shield) เพื่อลดแรงต้านของดินบริเวณหน้าท่อ และเพื่อป้องกันดินไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวในบริเวณกว้าง จนเกิดความเสียหายต่อบริเวณข้างเคียง และยังเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมทิศทางการดันให้ได้ตามแนวและระดับที่ต้องการ การดันท่อลอดนั้นจะอาศัยแม่แรงซึ่งติดตั้งอยู่ระหว่างปลายหน้าของท่อและท้ายของหัวเจาะ เป็นตัวปรับทิศทางการเคลื่อนตัวของหัวเจาะสำหรับการดันท่อที่มีขนาดเล็กเกินกว่าที่คนจะเข้าไปได้ โดยใช้หัวเจาะดินที่สามารถบังคับทิศทางได้ในระยะไกล และใช้แสงเลเซอร์ (Laser) ในการควบคุมแนวอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Microtunneling [3]



ภาพที่ 2.1 การดันท่อลอด (Pipe Jacking)

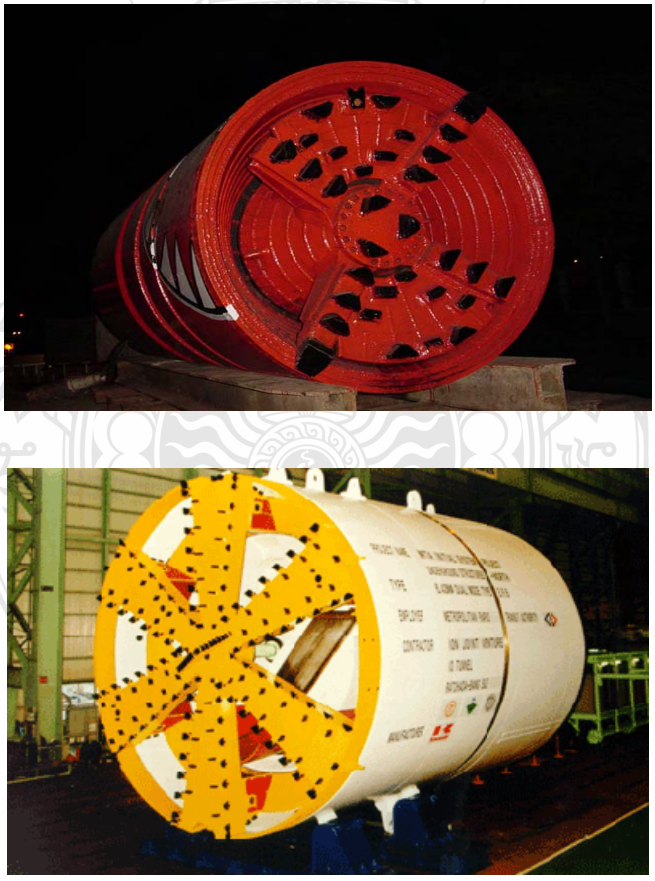
2.1.1 หัวเจาะ (Shield)

ชนิดของหัวเจาะที่เหมาะสมในการทำงานขึ้นอยู่กับสภาพดิน ระดับน้ำใต้ดินบริเวณที่จะดันท่อผ่านและขนาดท่อที่จะดัน ปัจจุบันที่การประปาส่วนภูมิภาคใช้อยู่ในการวางท่อประธานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1. แบบเปิดหน้าทั้งหมด ในกรณีเป็นการเจาะในดินแข็งและแน่น ไม่มีน้ำใต้ดิน

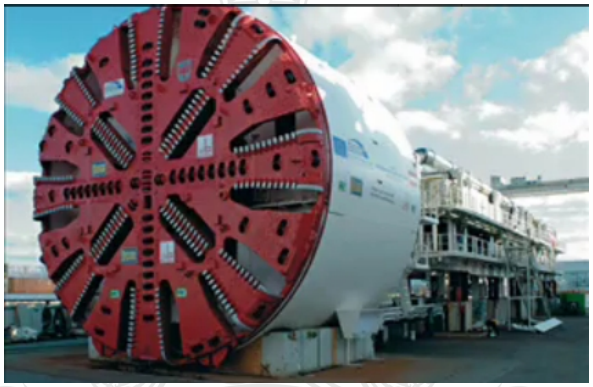
2. แบบเปิดหน้าบางส่วน (Blind Shield) หรือแบบปิดหน้า (Closed Face Shield) ชนิด Earth Pressure Balance (EPB) ในกรณีเป็นการเจาะในดินเหนียวอ่อน

3. แบบปิดหน้าชนิด Slurry Shield ในกรณีเป็นการเจาะในดินทรายที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน หรือเป็นดินเหนียวอ่อนเป็นการดันท่อที่มีขนาดไม่ใหญ่มากและมีระยะทางยาว Slurry Shield จะใช้วิธีปั๊มดินออกทางท่อขนดินออกจากท้ายหัวเจาะจึงสะดวกกว่าหัวเจาะ EPB ซึ่งใช้วิธี Skip Car หรือ Cable Winch



ภาพที่ 2.2 หัวเจาะแบบเปิดหน้าบางส่วน (Blind Shield)

ภาพที่ 2.3 หัวเจาะ Closed Face Shield ชนิด Earth Pressure Balance (EPB)

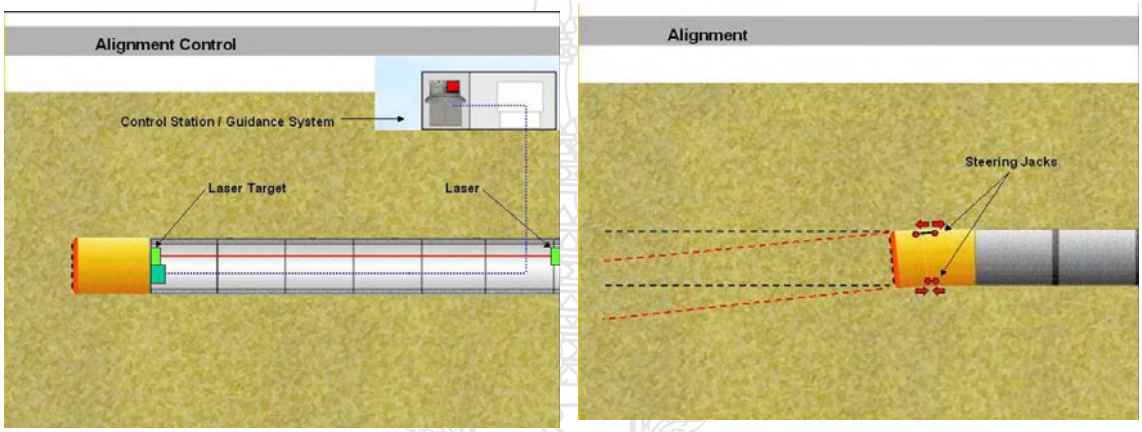


ภาพที่ 2.4 หัวเจาะ Slurry Shield

อย่างไรก็ตามด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างมากในปัจจุบัน หัวเจาะสมัยใหม่แทบทั้งหมดจะเป็นแบบปิดหน้าชนิด EPB หรือ Slurry Shield เนื่องจากสามารถรักษาเสถียรภาพของดินข้างหน้าหัวเจาะได้ดีกว่าทำให้ความเสี่ยงในการเกิดการพังทลายของดินหน้าหัวเจาะลดลง รวมทั้งอัตราการขุดเจาะดินสามารถทำได้เร็วขึ้นด้วย โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 2-3 ซม./นาที และอาจจะได้ถึง 15 ซม./นาที ในดินเหนียวอ่อน ข้อจำกัดของหัวเจาะสมัยใหม่คือราคาค่อนข้างสูงมาก หัวเจาะ EPB เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 ม. ราคาอยู่ที่ประมาณ 50-60 ล้านบาท แต่เนื่องจากโครงการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของ กทม. และต่างจังหวัดที่ผ่านมาได้มีการนำหัวเจาะสมัยใหม่เข้ามาใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งขณะนี้โครงการส่วนใหญ่ได้ดำเนินการแล้วเสร็จ ดังนั้นหากมีการนำหัวเจาะดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ต่อจะช่วยให้ค่าก่อสร้างมีค่างานถูกลงกว่าจะใช้หัวเจาะใหม่

การควบคุมหัวเจาะส่วนใหญ่ทำแบบควบคุมระยะไกล (Remote Control) จะมีห้องควบคุมอยู่บนดินที่ปากบ่อดัน สำหรับวิธีการลำเลียงดินออกทิ้งจากท้ายหัวเจาะมีหลายวิธี อาจเป็นแบบกว้าน

(Cable Winch) ใช้รถลำเลียงดิน (Skip Car) หรือการปั๊มออกทางท่อ การควบคุมหัวเจาะนอกจากจะต้องควบคุมอัตราการเจาะและลำเลียงดินออกมาทิ้งแล้ว จะต้องทำการควบคุมทิศทางการเจาะให้ถูกต้องมิฉะนั้นอาจมีปัญหาการใช้งานของท่อในภายหลัง เช่น กรณีใช้ท่อส่งน้ำหรือน้ำเสียโดยใช้ระบบการส่งตามแรงโน้มถ่วงโลก (Gravity Flow) ท่อจะวางเบี่ยงเบนจากแนวลาดชันตามแบบมากไม่ได้



ภาพที่ 2.5 การควบคุมทิศทางการเจาะแบบ Remote Control โดยใช้แสงเลเซอร์

ภาพที่ 2.6 การลำเลียงดินออกมาทิ้งโดยใช้ Skip Car จากหัวเจาะแบบ Blind Shield

ภาพที่ 2.7 การลำเลียงดินออกมาทิ้งโดยใช้การปั๊มออกทางท่อจากหัวเจาะแบบ Closed Face Shield

2.1.2 แม่แรงดันท่อ (Hydraulic Jack)

การเลือกใช้แม่แรงในการดันท่อถือเป็นส่วนที่สำคัญ แม่แรงที่ใช้มีทั้งประเภทติดตั้งในบ่อดันและติดตั้งในช่วงกลางท่อ (Intermediate Jack) ซึ่งจะติดตั้งใน Ring แบบพิเศษที่สามารถยืดหดได้ตามการดันท่อ ปัจจุบันมีการออกแบบให้แม่แรงดันท่อมีระยะช่วงชักเพียงพอโดยไม่ต้องใช้ Spacer ต่อระหว่างช่วงชักของแม่แรงกับช่วงของท่อดัน [3]

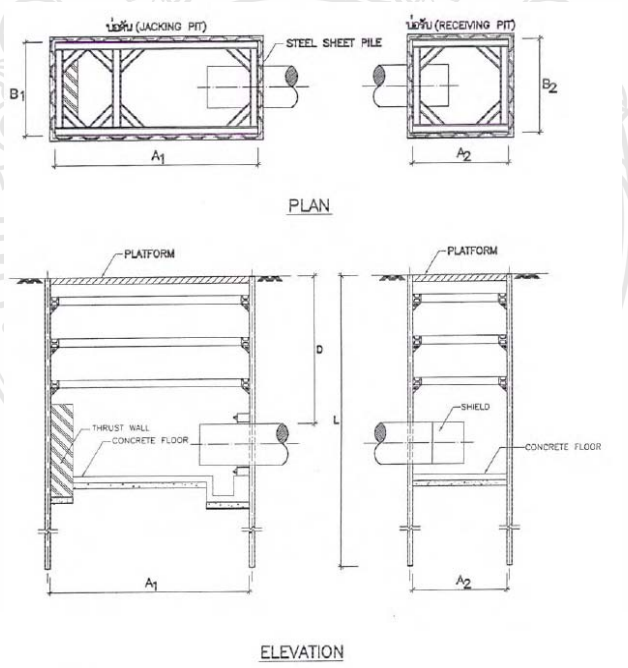
ภาพที่ 2.8 การดันท่อโดยใช้แม่แรงดันท่อที่มีระยะช่วงชักยาวเป็นพิเศษ

2.1.3 บ่อดันและบ่อรับ

สำหรับงานดันท่อลอดอาจเป็นบ่อชั่วคราวที่ใช้ Sheet Pile เหล็กตอกกันดินหรือเป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กนี้สามารถก่อสร้างได้ 2 แบบ คือ แบบจมบ่อ (Sunken Shaft) หรือ Caisson และแบบ Diaphragm Wall ซึ่งจะตัดปัญหาการควบคุมระดับและการเอียงของบ่อที่มักจะเกิดขึ้นหากใช้วิธีการก่อสร้างแบบจมบ่อ (Sunken Shaft)

การก่อสร้างบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Sunken Shaft นั้น สามารถทำได้โดยการหล่อผนังบ่อทีละช่วงในที่หรือหล่อสำเร็จรูปมาจากโรงงาน (Precast Segment) แล้วนำมาประกอบในที่ก่อสร้าง รูปร่างของบ่อดัน บ่อรับส่วนใหญ่จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมแต่อาจจะเป็นรูปวงกลมหรือรูปร่างอื่นใดก็ได้ตามความเหมาะสม [2]

บ่อดันคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นบ่อถาวรและจะใช้แบบจมบ่อ (Sunken Shaft) โดยหล่อผนังบ่อทีละช่วงในที่หรือหล่อสำเร็จรูปเป็นชิ้นส่วนจากโรงงาน (Precast Segment) แล้วนำมาประกอบเป็นบ่อดัน บ่อรับ บ่อคอนกรีตประเภทนี้จะช่วยแก้ปัญหาผิวจราจรคอนกรีตรอบบ่อ หากใช้บ่อแบบ Sheet Pile แล้วมีการรื้อถอน Sheet Pile ผิวจราจรคอนกรีตมักจะแตกร้าวและทรุดตัวตามไปด้วย ทำให้ต้องมาซ่อมผิวจราจรคอนกรีตทีหลังและจะเกิดปัญหาจราจรตามมาอีก บ่อคอนกรีตเสริมเหล็กจะนำมาใช้ประโยชน์ เป็นบ่อสำหรับใช้ในการบำรุงรักษาระบบท่อต่อไปในอนาคต



ภาพที่ 2.9 บ่อดันและบ่อรับแบบใช้ Sheet Pile

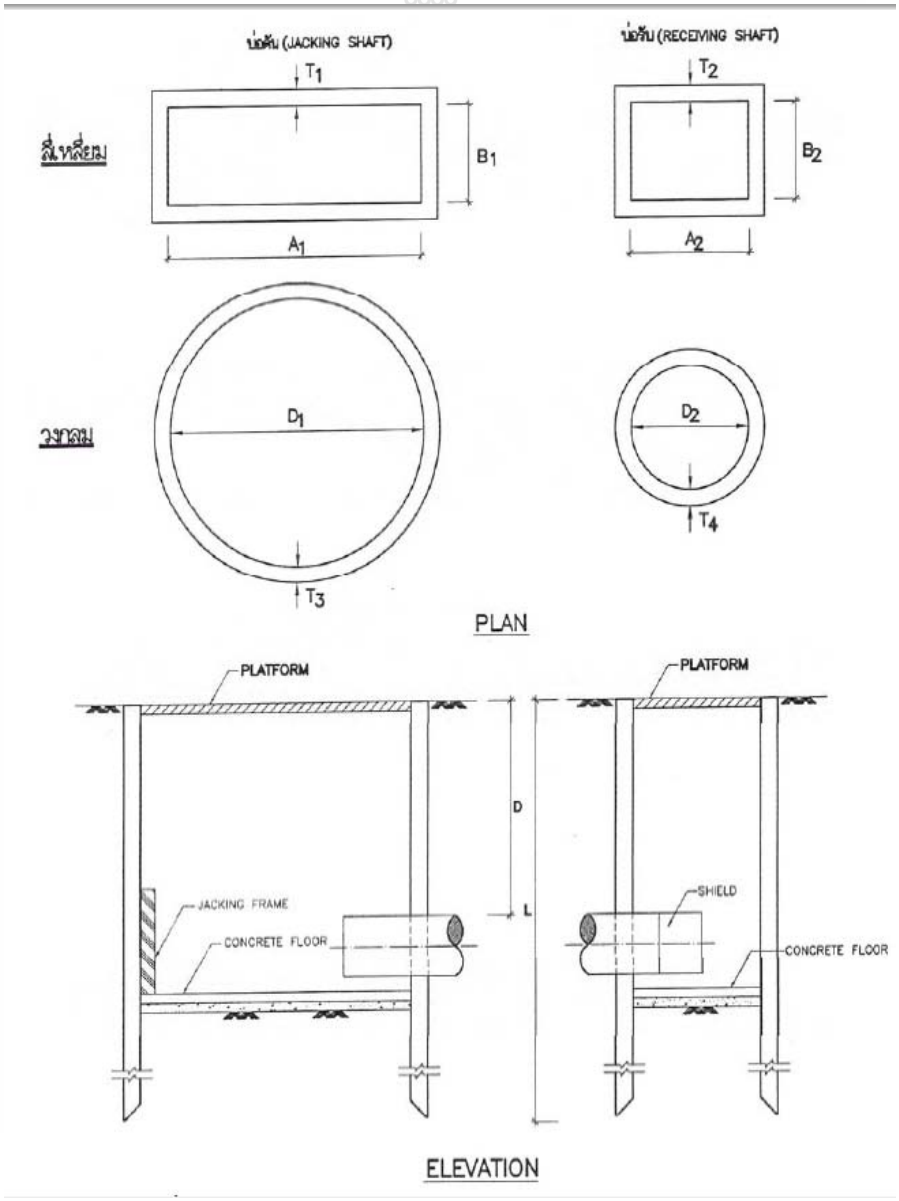
ตารางที่ 2.1 ขนาดบ่อดันและบ่อรับแบบใช้ Sheet Pile [2]

ขนาดท่อดัน (มม.)	ขนาดบ่อดัน เมตร		ขนาดบ่อรับ เมตร		ความลึกหลังท่อดัน D เมตร	ความยาว Sheet Pile L เมตร
	A1	B1	A1	B1		
900	8.00	3.00	4.00	3.00	4.0-6.0	8-12
1,000	8.00	3.00	4.00	3.00	4.0-6.0	8-12
1,200	8.00	3.50	4.00	3.20	4.0-5.5	10-12
1,300	8.00	3.50	4.00	3.30	4.0-5.5	10-12
1,500	8.00	3.50	4.00	3.50	4.0-5.0	10-12
1,800	8.00	3.50	4.00	3.50	4.0-5.0	10-12

จากการศึกษาและเรียบเรียงจากเอกสารของชนะ พงษ์โพธากุล และคณะ พ.ศ. 2546 และการประปาส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2547 สามารถกล่าวได้ว่าขนาดของบ่อดันจะขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเจาะขนาดท่อดันและเครื่องมือที่ใช้ในการดันท่อ ส่วนขนาดของบ่อรับจะขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเจาะเพียงอย่างเดียวนอกจากนี้บ่อดันจะต้องมีความแข็งแรงและมีพื้นที่ผนังกว้างเพียงพอที่จะรับแรงที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการดันท่อ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่บ่อในระหว่างการดัน บ่อคอนกรีตมีข้อดีกว่าบ่อที่ใช้ Sheet Pile คือไม่ต้องมีค้ำยันภายในบ่อให้เสียพื้นที่และเกะกะการทำงานในระหว่างการดัน จึงใช้พื้นที่การสร้างบ่อน้อยกว่าและสามารถป้องกันการเคลื่อนตัวของดินภายนอกบ่อได้ดีกว่าบ่อที่ใช้ Sheet Pile เนื่องจากผนังบ่อมีความแข็งแรง (Stiffness) สูงกว่า โอกาสที่ถนนจะเกิดการทรุดตัวเสียหายและเป็นปัญหาในการซ่อมแซมในภายหลังจึงมีน้อยลงหรือหมดไป แต่มีข้อเสีย คือ มีราคาแพงเนื่องจากไม่สามารถรื้อถอนและนำไปใช้ใหม่ได้เหมือนบ่อที่ใช้ Sheet Pile และใช้เวลาก่อสร้างบ่อมาก ดังนั้นการใช้บ่อคอนกรีตจึงควรจะออกแบบให้ใช้ประโยชน์อย่างอื่นนอกเหนือจากที่ใช้เป็นบ่อดัน บ่อรับด้วย เช่น เป็นบ่อสำหรับติดตั้งประตูน้ำหรืออุปกรณ์อื่นๆ หรือเป็นบ่อสำหรับการบำรุงรักษาเส้นท่อในอนาคตเป็นต้น [2]

สำหรับระยะทางในการดันท่อแต่ละช่วงนั้น จะถูกจำกัดในเรื่องกำลังของแม่แรงที่ใช้ในการดันท่อแรงต้านของบ่อดินบริเวณหลังบ่อดัน การขนเดินออกจากท้ายหัวเจาะและในเรื่องการควบคุมแนวและระดับของท่อ โดยทั่วไปความยาวของการดันท่อแต่ละช่วงจะอยู่ที่ประมาณ 200 เมตร

ถึง 300 เมตร สำหรับการดันท่อที่มีช่วงการดันยาวมาก ๆ สามารถทำได้โดยใช้ Intermediate Jack ดันท่อช่วงหน้าส่วนหนึ่งให้เคลื่อนที่ไปก่อนแล้วค่อยดันช่วงท้ายจากบ่อดันตามไปหรืออาจจะใช้สารหล่อลื่นเช่น Bentonite Slurry หรือ Polymer เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับดินร่วมด้วย อย่างไรก็ดี ความแม่นยำในการดันท่อจะลดลง เมื่อช่วงการดันท่อยาวมากขึ้น ในปัจจุบันระบบการควบคุมแนวซึ่งใช้หัวเจาะสมัยใหม่ ความแม่นยำในการดันท่อจะอยู่ที่ประมาณ 1 ซม. ต่อระยะทาง 50 เมตร



ภาพที่ 2.10 บ่อดันและบ่อรับคอนกรีต

ตารางที่ 2.2 ขนาดบ่อดันและบ่อรับคอนกรีต [2]

ขนาดท่อดัน (มม.)	ขนาดบ่อดัน(เมตร)					ขนาดบ่อรับ(เมตร)					ความลึกหลังท่อดัน D (เมตร)	ความลึกบ่อ L (เมตร)
	สี่เหลี่ยม			วงกลม		สี่เหลี่ยม			วงกลม			
	A1	B1	T1	D1	T3	A2	B2	T2	D2	T4		
900	8.00	2.50	0.5-0.8	8.00	0.4-0.6	4.00	2.50	0.3-0.4	4.00	0.3-0.4	4.0-6.0	8-12
1000	8.00	2.50	0.5-0.8	8.00	0.4-0.6	4.00	2.50	0.3-0.4	4.00	0.3-0.4	4.0-6.0	8-12
1200	8.00	3.00	0.6-0.8	8.00	0.5-0.6	4.00	3.00	0.3-0.4	4.00	0.3-0.4	4.0-5.5	10-12
1300	8.00	3.00	0.6-0.8	8.00	0.5-0.6	4.00	3.00	0.3-0.4	4.00	0.3-0.4	4.0-5.5	10-12
1500	8.00	3.00	0.6-0.8	8.00	0.5-0.6	4.00	3.00	0.3-0.4	4.00	0.3-0.4	4.0-5.0	10-12
1800	8.00	3.00	0.6-0.8	8.00	0.5-0.6	4.00	3.00	0.3-0.4	4.00	0.3-0.4	4.0-5.0	10-12

หมายเหตุ - ใช้ท่อดันยาวท่อนละ 6 เมตร

2.1.4 รูปแบบการดันท่อลอดในงานวางท่อประปา การดันท่อลอดในงานวางท่อประปาแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

1. การดันท่อปลอกเหล็กเหนียวแล้วร้อยด้วยท่อประปาที่จะวาง(รูปแบบ ก1) เป็นรูปแบบงานดันท่อที่ใช้กันมากในสมัยแรก ๆ เนื่องจากคุณสมบัติของเหล็กเหนียวที่สามารถรับแรงได้สูงและท่อปลอกเหล็กเหนียวที่จะนำมาใช้ สามารถผลิตได้จากกระบวนการผลิตท่อประปาการใช้ท่อปลอกเหล็กเหนียวมีข้อดี คือ มีผนังท่อบางสามารถทำการดันท่อในดินแข็งได้โดยไม่ต้องใช้หัวเจาะดิน เนื่องจากผนังท่อปลอกที่บาง จึงช่วยลดแรงต้านของดินด้านหน้าท่อปลอกลง ทำให้เจาะผ่านดินได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องอาศัยหัวเจาะ ข้อเสียการวางท่อรูปแบบนี้ คือ ต้องใช้แผ่นเสริมหน้าแปลน (Spacer) ชนิดพิเศษจำนวนมากเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อหลัก สัมผัสกับท่อปลอกในกรณีที่ท่อประปามีระบบป้องกันสนิมแบบ Cathodic Protection (CP) มิฉะนั้นระบบ CP จะป้องกันการผุกร่อนของท่อปลอกแทนที่จะป้องกันการผุกร่อนจากสนิมของท่อหลัก จึงทำให้ค่างานวางท่อสูงโดยเฉพาะท่อที่มีขนาดใหญ่และต้องออกแบบท่อหลักให้รับแรงดันจากภายนอกท่อ โดยการออกแบบจะพิจารณาท่อปลอกเหล็กเหนียวเป็นเพียงโครงสร้างชั่วคราวเท่านั้น เนื่องจากไม่ต้องการให้ผนังท่อปลอกมีความหนามากเกินไปและไม่มีการตรวจสอบรอยเชื่อมของท่อปลอก ทำให้ต้องใช้ท่อหลักที่มีผนังหนากว่าผนังท่อใต้ดินปกติตามมาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาค และจะต้องอุดช่องว่างระหว่างท่อหลักและท่อปลอกให้เต็มด้วยทรายเพื่อลดปริมาณการยุบตัวเหนือแนวท่อในกรณีที่ท่อปลอกเกิดการชำรุดเสียหาย

นอกจากนี้อัตราการดันท่อจะทำได้โดยไม่เร็วนัก เนื่องจากต้องรอการเชื่อมท่อปลอกแต่ละท่อนและการที่ท่อปลอกแต่ละท่อนทำด้วยวิธีการเชื่อมนี้เองทำให้การปรับแนวท่อทำได้ยากและไม่สามารถดันท่อในแนวโค้งได้ [4]

ภาพที่ 2.11 ท่อเหล็กเหนียวแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก1)

2. การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาที่จะวาง มีข้อดีคือท่อปลอกมีความแข็งแรงถาวร จึงไม่ต้องออกแบบท่อหลักให้รับแรงดันจากภายนอกท่อ และสามารถใช้ท่อหลักที่มีความหนาผนังท่อตามปกติของท่อใต้ดินได้ตลอดทุกความลึกของท่อใต้ดินและตลอดทุกความลึกของการดัน ท่อหลักสามารถสัมผัสกับท่อปลอกได้โดยไม่มีผลต่อระบบการป้องกันการผุกร่อน (CP) จึงสามารถประหยัดค่าแผ่นเสริมหน้าแปลน (Spacer) ไปได้ การดันท่อทำได้รวดเร็วมากกว่า 3 เมตร/ชม. โดยใช้หัวเจาะสมัยใหม่และท่อปลอกสามารถปรับมุมที่ข้อต่อได้ทำให้การปรับแนวท่อทำได้ง่ายและสามารถดันท่อในแนวโค้งได้ แต่มีข้อจำกัด คือ รัศมีความโค้งจะต้องไม่น้อยกว่า 1,000 ถึง1,200 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อหลักที่เป็นท่อเอชดีพีอี (High Density Polyethylene ; HDPE) ข้อเสียของการวางท่อรูปแบบนี้ คือ จะต้องใช้หัวเจาะดินเพื่อลดแรงต้านของดินด้านหน้าหัวเจาะโดยเฉพาะในดินแข็งถึงแม้จะไม่มีปัญหาน้ำใต้ดินก็ตาม เนื่องจากผนังท่อปลอกที่หนาจึงทำให้เกิดแรงต้านของดินด้านหน้าท่อปลอกในปริมาณสูงจึงทำให้ค่างานก่อสร้างสูงขึ้น

ภาพที่ 2.12 ท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2)

2.1.5 การดันท่อประปาโดยตรง ซึ่งแบ่งออกเป็นการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น และการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน

1. การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe ; SCP) ใช้สำหรับงานดันท่อที่มีขนาดใหญ่พอที่คนจะเข้าไปได้ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1,000 มม.หรือ 1,200 มม. ขึ้นไป) เพื่อทำการซ่อมท่อวงใน ของท่อที่เสียหายในระหว่างการก่อสร้าง ข้อดีของท่อชนิดนี้คือ Coating ของท่อหลักไม่เสียหายเนื่องจากการดันท่อและไม่มีผลกระทบต่อระบบ CP แต่มีข้อเสียคือ ท่อแต่ละท่อนจะต้องต่อกันด้วยการเชื่อม ทำให้การปรับแนวท่อทำได้ยากและไม่สามารถดันท่อในแนวโค้งได้นอกจากนี้อัตราการดันท่อจะช้ามาก (น้อยกว่า 3 เมตรต่อวัน ตามสถิติที่ผ่านมาของ กปภ.) เนื่องจากต้องเสียเวลาไปกับการเชื่อมท่อและการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธี X - Ray ก่อนที่จะดันท่อแต่ละท่อนทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการใช้หัวเจาะของดินสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพและราคาสูง ด้วยเหตุที่ต้องเสียเวลาไปกับการรอในขณะเชื่อมท่อและทดสอบรอยเชื่อม

ภาพที่ 2.13 ท่อประปาเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)

2. การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ใช้สำหรับงานดันท่อที่มีขนาดใหญ่พอที่คนจะเข้าไปได้ เพื่อทำการเชื่อมเข้าไปในท่อแต่ละท่อนภายหลังจากที่งานดันท่อในแต่ละช่วงแล้วเสร็จและเพื่อซ่อม Lining ของท่อที่เสียหายในระหว่างงานก่อสร้าง การดันท่อทำได้รวดเร็วและงานปรับแนวท่อทำได้ง่ายเนื่องจากท่อแต่ละท่อนไม่ได้เชื่อมติดกันในระหว่างดัน ยอมให้มีการปรับมุมที่ข้อต่อท่อแต่ละท่อนได้ประมาณ 0.5 องศา สามารถทำให้ดันท่อในแนวโค้งได้ ข้อเสียคือไม่สามารถตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีฉายรังสีเอ็กซ์ (X – Ray) ได้

ภาพที่ 2.14 ท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

ทั้งนี้ การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน มีแนวโน้มที่จะมีค่างานถูกกว่าการดันท่อรูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากสามารถลดขั้นตอนที่ต้องทำงาน ดังภาพที่ 2.14 ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับระบบป้องกันการผุกร่อนได้มาก

2.1.6 รายการเครื่องมือ เครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ

การประปาส่วนภูมิภาคกำหนดให้ผู้เสนอราคาจัดทำรายการเครื่องมือ เครื่องจักรที่สำคัญต่อการดำเนินงานตามสัญญาให้แล้วเสร็จ โดยแต่ละชนิดจะต้องระบุจำนวนและมูลค่าที่จะนำมาใช้ในการทำงาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ตารางที่ 2.3 รายการที่ต้องแจ้งแสดงหลักฐานการมีกรรมสิทธิ์ เช่า หรือเช่าซื้อ

ลำดับที่	รายการ	จำนวนที่จะนำมาใช้	มูลค่าของเครื่องมือและอุปกรณ์	กรรมสิทธ์ของผู้เสนอ	
				เป็นเจ้าของ/เช่าซื้อ	เช่า
1 2 3	รถบรรทุกดิน 6 ล้อ (เทท้าย) รถขุดตักดิน รถทุบ/เจาะคอนกรีต				

ตารางที่ 2.4 รายการที่ไม่ต้องแจ้งแสดงหลักฐานการมีกรรมสิทธิ์ เช่า หรือเช่าซื้อ

ลำดับที่	รายการ	จำนวนที่จะนำมาใช้	มูลค่าของเครื่องมือและอุปกรณ์
1	เครื่องสูบน้ำ		
2	เครื่องบดอัดดินสั่นสะเทือน		
3	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอุปกรณ์แสงสว่าง		
4	เครื่องเชื่อมสนาม		
5	เครื่องตัดแนวคอนกรีต		
6	เครื่องทดสอบแรงดันน้ำ		
7	เครื่องตัดท่อ		
8	เครื่องอัดลม (Air Compressor)		
9	เครื่องเจาะท่อเข้าบ้าน		
10	Sheet Pile		
11	แผ่นเหล็ก		
12	รถบดถนน		

ทั้งนี้ ตามรายการที่แสดงเป็นเพียงรายการเครื่องมือเครื่องจักรที่สำคัญเบื้องต้นที่ควรมี การจัดหาเพิ่มเติมหรือรายการเครื่องมือเครื่องจักรที่มิได้ระบุถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เสนอราคาทั้งสิ้นต่อการดำเนินงานให้แล้วเสร็จตามสัญญา

บุคลากรที่สำคัญต่อการทำงาน การประปาส่วนภูมิภาคได้แบ่งระดับบุคลากรของผู้รับจ้างที่ทำงานก่อสร้างวางท่อประปาออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้ ระดับวิศวกรและผู้บริหาร ระดับหัวหน้างาน ระดับช่างประกอบท่อ และระดับช่างเชื่อมท่อ

โดยกำหนดให้บุคลากรทุกระดับที่กล่าวมาข้างต้น ต้องผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรการพัฒนามาตรฐานการก่อสร้างวางท่อประปาตามระดับการทำงาน และได้รับใบประกอบวิชาชีพก่อสร้างวางท่อประปาบริษัทจึงจะสามารถเข้าประมูลงานก่อสร้างวางท่อประปาของการประปาส่วนภูมิภาคได้ ทั้งนี้เนื่องจาก งานก่อสร้างวางท่อประปาขนาดใหญ่เป็นงานก่อสร้างเฉพาะทาง ซึ่งแทบจะไม่มีสถานศึกษาใดภายในประเทศที่มีการเรียนการสอนศาสตร์ทางด้านนี้โดยตรง มักจะเป็นการการเรียนเกี่ยวกับการไหลในเส้นท่อหรือการไหลในทางน้ำเปิด ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสามารถในการ

สื่อสารกันได้ระหว่างบุคลากรของผู้รับจ้างกับผู้ควบคุมงานของการประปาส่วนภูมิภาค จึงกำหนดให้มีการฝึกอบรมดังกล่าวขึ้น การก่อสร้างวางท่อประปาโดยเฉพาะในส่วนงานวางท่อประธานมักจะมีแนววางท่ออยู่ในผิวจราจร จากการอนุญาตของหน่วยงานเจ้าของพื้นที่เช่น กรุงเทพมหานคร กรมทางหลวง เป็นต้น จึงทำให้เกิดความเดือดร้อนต่อประชาชนที่สัญจรผ่านบริเวณดังกล่าว

แม้ว่าปัจจุบัน การประปาส่วนภูมิภาคจะหันมาใช้วิธีการวางท่อประปาที่ไม่ต้องมีการขุดแนวร่องเป็นแนวยาว คือใช้การดันท่อ (Pipe Jacking) แต่พื้นที่ในส่วนที่เป็นฝาบ่อดัน บ่อรับ ซึ่งมีการเปิดทำงานเฉพาะเวลากลางคืนแล้วทำการคืนผิวจราจรชั่วคราวในตอนกลางวันยังคงก่อให้เกิดปัญหาความเดือดร้อนต่อประชาชนอยู่บ้าง ดังนั้น จำเป็นต้องมีการวางแผนการทำงานให้มีการทำงานที่รวดเร็วและก่อความเดือดร้อนให้น้อยที่สุดจะต้องมีการวางแผนการจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่ม งานให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการทำงาน มีการกำหนดหน้าที่อย่างชัดเจนรวมไปถึงมีการสื่อสารกระบวนการทำงานในทุกขั้นตอนให้ทุกคนปฏิบัติตามแผนที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง แผนการจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานจะทำการศึกษาและแสดงไว้ใน บทที่ 4

2.2 ราคาโดยประมาณ

จากข้อมูลของกองประมาณราคา ฝ่ายสำรวจออกแบบการประปาส่วนภูมิภาค ราคาโดยประมาณของค่าก่อสร้างบ่อดัน บ่อรับ และค่าก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันลอดแต่ละแบบ แสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 ราคาโดยประมาณในการก่อสร้างบ่อดันและบ่อรับ [2]

ขนาดท่อ (มม.)	ราคาบ่อโดยประมาณ (บาท/บ่อ)			
	บ่อดัน/บ่อรับแบบใช้ Sheet Pile		บ่อดัน/บ่อรับแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก	
	บ่อดัน	บ่อรับ	บ่อดัน	บ่อรับ
300	290,100	134,200	-	-
400	300,000	136,700	-	-
800	501,200	238,800	1,539,800	499,300
1,000	527,800	246,500	1,663,200	545,200
1,200	559,000	264,700	1,804,200	597,200
1,500	617,700	287,600	2,013,100	674,900
1,800	710,800	312,600	2,227,200	754,800

ตารางที่ 2.6 ราคาโดยประมาณค่าก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันลอดแต่ละแบบ [2]

	ราคาต่อหน่วยโดยประมาณ (บาท/เมตร)								
ขนาดท่อ	วิธี A (ไม่ใช้หัวเจาะ)	วิธี B (หัวเจาะชนิดเปิดหน้าบางส่วน)				วิธี C (หัวเจาะชนิดปิดหน้า)			
(มม.)	รูปแบบ ก1	รูปแบบ ก1	รูปแบบ ก2	รูปแบบ ข1	รูปแบบ ข2	รูปแบบ ก1	รูปแบบ ก2	รูปแบบ ข1	รูปแบบ ข2
300	7,800	-	-	-	-	-	-	-	-
400	9,400	-	-	-	-	-	-	-	-
800	-	24,100	18,700	-	-	30,000	26,700	-	-
1,000	-	30,100	21,500	22,600	18,500	38,400	31,700	35,200	26,600
1,200	-	37,600	27,200	27,900	20,200	48,000	38,900	43,800	30,400
1,500	-	53,500	36,200	39,800	28,400	70,700	51,900	64,900	39,600
1,800	-	75,700	54,700	54,600	39,300	99,000	70,500	95,300	54,700

หมายเหตุ เป็นราคาโดยประมาณของการประปานครหลวง (กปน.)

รูปแบบ ก1 เป็นการดันท่อปลอกเหล็กเหนียวแล้วร้อยด้วยท่อประปาเหล็กเหนียวที่จะวาง

รูปแบบ ก2 เป็นการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาเหล็กเหนียวที่จะวาง

รูปแบบ ข1 เป็นการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น

รูปแบบ ข2 เป็นการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็ก เป็นท่อวงใน

2.3 ขั้นตอนการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking)

ในส่วนนี้จะแสดงถึงขั้นตอนการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) ของการประปาส่วนภูมิภาค เฉพาะในส่วนของงานวางท่อประธานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มม. ถึง 1,500 มม. โดยจะทำการอธิบายถึงภาพรวมของกระบวนการทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในส่วนรายละเอียดเชิงลึกของการก่อสร้าง จะทำการศึกษาวิเคราะห์และแสดงขั้นตอนการทำงานถึงระดับกิจกรรมของแต่ละรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบ ก2 ข1 และ ข2 รายละเอียดจากการศึกษาวิจัยเหล่านี้จะแสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

ขั้นตอนการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) ของการประปาส่วนภูมิภาคสามารถแบ่งสถานะของงานออกได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่ การดำเนินงานก่อนเริ่มงานก่อสร้าง การดำเนินงานระหว่างการก่อสร้าง และการดำเนินงานภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยแต่ละช่วงมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 การดำเนินงานก่อนเริ่มงานก่อสร้าง

1. ติดตามหนังสืออนุญาตให้วางท่อประปาจากเอกชน เจ้าของที่ดินหรือหน่วยงานผู้ดูแลรับผิดชอบ เช่น กรุงเทพมหานคร กรมทางหลวง รวมทั้งตรวจสอบเงื่อนไขของการอนุญาต เช่น ระยะเวลาที่อนุญาตให้ทำงานได้ เนื่องจากปัญหาการจราจรในปัจจุบันเจ้าของพื้นที่มักจะอนุญาตให้ทำงานได้ในช่วง 22.00 น.ถึง 05.00 น.ของวันรุ่งขึ้น ในเวลากลางวันจะต้องปิดฝาบ่อดัน/รับซึ่งอาจจะกำหนดให้ใช้ฝาบ่อคอนกรีต (Steel Deck) ที่มีความเรียบและไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเมื่อยวดยานวิ่งผ่านและไม่เสี่ยงต่อการลื่นไถล บางกรณี เช่นในถนนรองที่มีปริมาณยวดยานไม่มากนักอาจจะอนุญาตให้ใช้แผ่นเหล็ก (Steel Plate) ปูปิดบ่อดัน บ่อรับได้ โดยจะต้องเชื่อมแผ่นเหล็กให้ติดเป็นชิ้นเดียวกันทั้งหมดและซีล (Seal) ขอบแผ่นเหล็กให้ยึดติดกับผิวจราจรด้วยแอสฟัลท์ ดังนั้นโครงการจะต้องปรับเปลี่ยนวิธีการและขั้นตอนการก่อสร้างให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของการอนุญาตพร้อมไปกับให้สามารถทำงานได้ภายใต้เวลา (Time) และงบประมาณ (Cost) ที่กำหนด

2. แต่งตั้ง แจ้งรายชื่อคณะกรรมการตรวจการจ้าง และผู้ควบคุมงานของ กปภ.ให้ผู้รับจ้างทราบ ผู้รับจ้างจะต้องแจ้งรายชื่อบุคลากรผู้รับจ้างมาให้ กปภ. อนุมัติก่อนเริ่มงานก่อสร้างซึ่งบุคลากรเหล่านี้ต้องผ่านการฝึกอบรมจาก กปภ. เสียก่อน บุคลากรเหล่านี้ประกอบด้วย วิศวกรโครงการ ผู้แทนผู้รับจ้าง เป็นผู้แทนมีอำนาจเต็มในการดำเนินงานตามสัญญา ผู้จัดการสนาม หัวหน้างาน ช่างประกอบท่อและช่างเชื่อม

3. จัดเตรียมการประชาสัมพันธ์ ก่อนเริ่มงานก่อสร้างผู้รับจ้างจะต้องติดตั้งป้ายประกาศต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยป้ายประชาสัมพันธ์ (Information Sign) ป้ายก่อสร้าง (Construction Sign) และป้ายจราจร (Traffic Sign) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเป็นระเบียบและความปลอดภัยต่อผู้สัญจร ไปมา และเป็นการประชาสัมพันธ์งานก่อสร้างด้วย โดยผู้รับจ้างจะต้องแจ้งชนิด จำนวนและตำแหน่ง การติดตั้งป้ายให้พิจารณาเห็นชอบก่อนดำเนินการติดตั้งจริง ชนิดและรูปแบบการติดตั้งจะต้อง เป็นไปตามเงื่อนไขตามเอกสารสัญญา และจะต้องเร่งรัดให้ผู้รับจ้างติดตั้งป้ายประกาศที่เกี่ยวข้องเป็น การล่วงหน้า 15 วันก่อนลงมือทำงานในเส้นทางแรก สำหรับสัญญางานก่อสร้างที่มีวงเงินตั้งแต่ 50 ล้านบาท จะต้องมีข้อความเพื่อชี้ชวนประชาชนสังเกตการณ์การก่อสร้างพร้อมแจ้งหมายเลขโทรศัพท์ของ กปภ. และสำนักงานตรวจเงินแผ่นดินในป้ายประจำโครงการด้วย

ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างป้ายประชาสัมพันธ์และป้ายก่อสร้าง

4. จัดเตรียมแบบฟอร์มการรายงานต่าง ๆ เช่น แบบฟอร์มการรายงานผลงานประจำวันหรือรายงานผลงานประจำเดือน รวมถึงปัญหาอุปสรรคที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขที่เสนอขอปฏิบัติ รายงานการทดสอบท่อและฆ่าเชื้อโรค รายงานการทดสอบรอยเชื่อม และอื่นๆตามที่กำหนดไว้ในเอกสารสัญญา

5. แจ้งขออนุมัติแผนงานก่อสร้างประกอบไปด้วยแผนงานก่อสร้างหลัก (Construction Schedule)และแผนงานก่อสร้างย่อย (Breakdown Construction Schedule) ในส่วนแรกตามเงื่อนไขสัญญาโดยทั่วไปจะกำหนดให้ผู้รับจ้างจัดทำในรูปแบบ Bar Chart เพื่อขออนุมัติจากผู้อำนวยการโครงการแผนงานที่จัดทำ จะต้องมีการจัดลำดับเส้นทางการก่อสร้างและระยะเวลาให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในเอกสารประกวดราคาโดยเสนอผ่านนายช่างโครงการ เมื่อแผนงานก่อสร้างได้รับอนุมัติจากผู้อำนวยการโครงการแล้ว จะถือเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาจ้าง ส่วนแผนงานก่อสร้างย่อย (Breakdown Construction Schedule) ก่อนที่จะเริ่มงานก่อสร้างในแต่ละเส้นทาง ผู้รับจ้างจะต้องมีหนังสือแจ้งเริ่มงานล่วงหน้าประมาณ 15 วัน พร้อมเสนอแผนงานก่อสร้างย่อยในเส้นทางนั้นๆ มาให้นายช่างที่ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติ โดยจัดทำในรูปแบบของ Bar Chart หรือ Critical Path Method (CPM) ก็ได้ โดยแสดงขั้นตอนที่สำคัญของงานก่อสร้างและลำดับการทำงานก่อนหลังพร้อมเวลาที่ใช้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาจากการใช้ช่างฝีมือประเภทต่างๆ เช่น คนงาน เครื่องมือ เครื่องจักรกล ระยะเวลาการสั่งซื้อและขนวัสดุอุปกรณ์ การจัดทำและเสนอ Shop Drawing และเวลาต่างๆ ที่จะต้องใช้ในการดำเนินงาน แผนงานย่อยที่เสนอขออนุมัติควรจะต้องมีรายงานการคำนวณแสดงที่มาของระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ โดยมีรายละเอียดอย่างเพียงพอตามแบบฟอร์มและตัวอย่างการจัดทำแผนงานก่อสร้างย่อยที่นายช่างโครงการกำหนดให้

6. เสนอรายการท่อและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง ท่อและอุปกรณ์ท่อต่างๆ ที่ผู้รับจ้างจัดหามาใช้ในงานวางท่อและงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องตามที่กำหนดไว้ในแบบแปลนจะต้องเป็นไปตามรายละเอียดท่อและอุปกรณ์ท่อของ กปภ. ตามที่เอกสารสัญญากำหนดไว้ ดังนั้น ก่อนเริ่มงานก่อสร้างผู้รับจ้างควรเสนอรายการท่อและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง พร้อมรายชื่อผู้ผลิตและกำหนดใช้งานเพื่อให้นายช่างโครงการตรวจสอบในเบื้องต้นและส่งให้กองมาตรฐานวิศวกรรม (กมว.) ของกปภ. จัดเจ้าหน้าที่ไปควบคุมการผลิตและออกใบรับรองคุณภาพให้ ผู้รับจ้างจะต้องจัดส่งใบรับรองคุณภาพท่อและอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานผ่านการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่ กปภ.แล้วว่าคุณภาพได้มาตรฐานตามที่ระบุไว้ในแบบแปลนรายการละเอียดของสัญญาให้นายช่างโครงการตรวจสอบก่อนนำไปใช้งาน

7. ขออนุมัติแนวและระดับท่อที่จะวางในเส้นทางต่างๆ (Line & Grade) ผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบในการสำรวจเส้นทางต่างๆ เพื่อกำหนดตำแหน่งท่อที่จะวางตามแบบแปลนงานก่อสร้างแต่ละเส้นทางโดยทำแนวและระดับอ้างอิง ระดับที่ถูกกำหนดขึ้นจะต้องสอดคล้องกับความลึกหลังท่อที่กำหนดไว้ในแบบแปลน จุดและตำแหน่งอ้างอิงสำหรับแนวและระดับจะต้องแสดงไว้อย่างชัดเจนบนโครงสร้างถาวรตามที่นายช่างโครงการจะเห็นชอบ เช่น ที่บริเวณด้านหน้าเสาไฟฟ้าหรือบริเวณหลังตอม่อสะพาน โดยผู้รับจ้างต้องส่งข้อมูลในการทำแนวและระดับให้นายช่างโครงการเห็นชอบและตรวจสอบก่อนเริ่มงานก่อสร้าง และผู้รับจ้างจะต้องรักษาแนวและระดับนี้ไว้ในสถานที่ที่ก่อสร้างให้ตรวจสอบได้ตลอดเวลา

ภาพที่ 2.16 ตัวอย่างการทำแนวและระดับ (Line & Grade) ก่อนเริ่มการก่อสร้างวางท่อประปา

8. ขออนุมัติรายละเอียดด้านเทคนิค ผู้รับจ้างจะต้องเสนอเอกสารแสดงประสบการณ์ในการออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อลอด (Pipe Jacking) วิธีการใช้หัวเจาะ รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการดันท่อ รูปแบบการดันท่อลอดพร้อมรายการคำนวณ ขออนุมัติแบบก่อสร้างบ่อดัน/บ่อรับพร้อมรายการคำนวณ นำเสนอรายละเอียดเหล่านี้ผ่านนายช่างโครงการก่อนที่จะเริ่มการก่อสร้าง

9. ขออนุมัติแผนการจัดการจราจร เนื่องจากการก่อสร้างดันท่อลอดมักดำเนินการในบริเวณถนนสายหลัก ดังนั้น ถึงแม้จะไม่ได้เปิดแนวร่องเป็นแนวยาว เช่น วิธีการเดิมๆแต่ในกระบวนการทำงานไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายเครื่องจักร การขนส่งท่อดัน มักจะก่อให้เกิดการรบกวนกระแสยวดยานที่สัญจรผ่านบริเวณดังกล่าว ผู้รับจ้างจะต้องเสนอแผนการจัดการจราจรให้แก่สำนักงานตำรวจแห่งชาติหรือ สำนักงานตำรวจท้องที่ เพื่อให้แน่ใจว่าระหว่างการก่อสร้างจะมีการจัดระบบการจราจรที่เหมาะสมและก่อให้เกิดความเดือดร้อนน้อยที่สุด

10. ขออนุมัติระบบป้องกันการผุกร่อน (Cathodic Protection System) สาเหตุเนื่องจากการก่อสร้างดันท่อลอดมักจะใช้ท่อเหล็กเหนียว (ST) หรือมีในบางส่วนของระบบหรือมีการบรรจบกับระบบท่อเดิม ซึ่งเป็นท่อเหล็กชนิดต่างๆ ดังนั้น จะต้องมีการจัดทำระบบป้องกันท่อผุกร่อน ปัจจุบันที่ กปน.ใช้อยู่ มี 2 ประเภทใหญ่ๆคือแบบถุงอะโนด (Anode) ซึ่งมีส่วนผสมของสังกะสีหรือแมกนีเซียมเชื่อมติดกับผิวนอกของท่อที่ดันฝังไว้ตามช่วงที่ออกแบบ อีกแบบหนึ่งคือแบบ Zinc Ribbon มีลักษณะคล้ายริบบินพันรอบท่อดันและเดินวางแนบตามแนวยาวของท่อดัน

ภาพที่ 2.17 การติดตั้งระบบป้องกันการผุกร่อน แบบถุงอะโนด (Anode) และแบบ Zinc Ribbon

2.3.2 ตรวจสอบสถานที่ก่อสร้าง

ก่อนเริ่มงานก่อสร้างจะต้องตรวจสอบสภาพสนาม โดยมีวัตถุประสงค์หลักที่จะเตรียมการแก้ไขปัญหางานที่จะเกิดขึ้นเป็นการล่วงหน้าและวางแผนการก่อสร้างให้สามารถดำเนินการไปได้อย่างต่อเนื่องแล้วเสร็จทันตามอายุสัญญาในการตรวจสอบสถานที่ก่อสร้างจะมีเป้าหมายในการตรวจสอบดังนี้

1. ตรวจสอบดูแลการเปลี่ยนแปลงของสภาพสนาม ว่าแตกต่างไปจากแบบแปลนหรือไม่ หากสภาพสนามมีการเปลี่ยนแปลง จะต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบงานก่อสร้างไปตามมากน้อยเพียงใด สรุปปริมาณงาน และค่างานที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพของข้อเท็จจริงในสนาม ทั้งสัญญาที่จะขออนุมัติเปลี่ยนแปลงงานไว้เป็นการล่วงหน้า ในส่วนของผู้รับจ้างจะได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงงานที่อาจจะเกิดขึ้นและจะใช้เป็นข้อมูลในการจัดเตรียมแรงงาน เครื่องจักรและอุปกรณ์ท่อไว้ใช้งานต่อไป

2. ตรวจสอบและสังเกตพื้นที่ ดูปัญหา อุปสรรคที่กีดขวางแนววางท่อประปา ที่สามารถสังเกตเห็น ทั้งนี้เพื่อที่จะได้ร่วมหารือกับผู้รับจ้างกำหนดวิธีการ และรูปแบบในการแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นเป็นการล่วงหน้าเพื่อให้งานก่อสร้างสามารถดำเนินการไปได้อย่างต่อเนื่องเมื่อเริ่มงานไปแล้ว

3. ตรวจสอบดูว่ามีปัญหาที่อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมบริเวณสถานที่ก่อสร้างหรือไม่ เช่น ปัญหาด้านการจราจร ปัญหาสิ่งก่อสร้างเอกชนหรือสิ่งก่อสร้างชั่วคราวรุกล้ำในแนวที่จะวางท่อและปัญหาแนวเขตที่ดินไม่แน่นอนหรือไม่ชัดเจนเป็นต้น ปัญหาที่ได้ตรวจพบดังกล่าวจะเป็นข้อมูลในการแก้ปัญหาและวางแผนดำเนินการก่อสร้างให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องต่อไป

2.3.3 จัดประชุมก่อนเริ่มงานก่อสร้าง

ในงานก่อสร้างสัญญาต่าง ๆ โดยทั่วไปก่อนเริ่มงานก่อสร้าง นายช่างโครงการควรจัดให้มีการประชุมเพื่อแนะนำตัวผู้ที่เกี่ยวข้องในงานสัญญานั้น ๆ และซักซ้อมวิธีปฏิบัติงานในขั้นตอนต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้งานก่อสร้างเป็นไปด้วยความเรียบร้อยถูกต้องทั้งทางด้านเทคนิค และด้านเงื่อนไขสัญญาจ้างและเพื่อให้เกิดประสานงานที่ดีในขณะก่อสร้างการประชุมก่อนเริ่มงานก่อสร้าง(Pre-Construction Conference) ควรมีการประชุม 2 ระดับ คือ

1. การประชุมระดับผู้บริหาร เป็นการประชุมร่วมกันระหว่างคณะกรรมการ ตรวจการจ้าง ผู้ควบคุมงาน (ผู้จัดการโครงการ นายช่างโครงการ) และผู้รับจ้าง (ผู้แทนผู้มีอำนาจเต็ม วิศวกร และผู้จัดการสนาม) โดยมีวัตถุประสงค์ในการประชุมเพื่อแนะนำผู้ควบคุมงาน กรรมการตรวจการจ้างให้รู้จักผู้รับจ้าง เพื่อชี้แจงสาระสำคัญในเอกสารสัญญาให้ทุกฝ่ายทราบ เพื่อคณะกรรมการตรวจการจ้างมอบนโยบายในการดำเนินการก่อสร้างให้ผู้รับจ้างปฏิบัติ และเพื่อกำหนดรายละเอียดการจัดทำและส่งรายงานต่าง ๆ

2. การประชุมระดับผู้ปฏิบัติงาน นอกจากการประชุมก่อนเริ่มงานระดับผู้บริหารแล้ว การจัดประชุมระดับผู้ปฏิบัติงานก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ซึ่งผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วย ผู้ควบคุมงาน (นายช่างโครงการและทีมผู้ควบคุมงาน) และบุคลากรระดับผู้ปฏิบัติงานของผู้รับจ้าง ได้แก่ วิศวกร ผู้จัดการสนาม หัวหน้างาน ช่างประกอบท่อและช่างเชื่อมควรเข้าร่วมประชุม เพื่อซักซ้อมวิธีการประสานงานก่อสร้างในขั้นตอนต่างๆ และหลักเกณฑ์การปฏิบัติงานในขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้งานก่อสร้างดำเนินการไปด้วยความถูกต้องเป็นไปตามเงื่อนไขสัญญาจ้างและไม่ให้มีปัญหาเรื่องร้องเรียนเกิดขึ้น [4]

2.3.4 การประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

แจ้งกำหนดเริ่มงานและประสานงาน หน่วยงานภายนอก กปภ. และเอกชน สำหรับพื้นที่ในเขต กทม. และปริมณฑลจะต้องประสานงาน กับ กทม. ตามคู่มือก่อสร้างสาธารณูปโภค จะต้องดำเนินการให้ถูกต้องและเป็นไปตามเงื่อนไขการ ตอบอนุญาตของหน่วยงานนั้นๆ และประสานงานกับหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่นๆ ที่เป็นเจ้าของสิ่งสาธารณูปโภคที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน หรือบริเวณใกล้เคียงกับแนววางท่อประปา เช่น ทศท. กสท. และกฟน. เป็นต้น หน่วยงานภายนอกที่ต้องประสานงาน ได้แก่

1. กรุงเทพมหานครเมื่อได้รับอนุญาตแล้ว ก่อนลงมือก่อสร้างในสัญญาที่รับผิดชอบจะต้องติดต่อกองแผนงานและประสานสาธารณูปโภค สำนักการโยธา (กรณีเป็นเส้นทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของสำนักการโยธา) กองระบบท่อระบายน้ำ สำนักการระบายน้ำ (กรณีมีงานผ่านคูคลองที่อยู่ในความรับผิดชอบ) กองสวนสาธารณะ สำนักงานสวัสดิการสังคม (กรณีมีการรื้อย้ายต้นไม้) และฝ่ายโยธาของสำนักงานเขตท้องที่ เพื่อนำเจ้าหน้าที่ไปตรวจสอบสถานที่ร่วมกันล่วงหน้า 15 วันและจะต้องติดต่อหน่วยงานเหล่านี้อีกครั้งรวมทั้งสำนักการจราจรและขนส่ง (กรณีงานก่อสร้างอยู่ในผิวจราจรที่มีผลกระทบต่อระบบจราจร) เพื่อแจ้งกำหนดวันขุดที่แน่นอน

2. สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ในกรณีที่งานก่อสร้างอยู่ในผิวจราจรที่มีผลด้านการจราจรตามวิธีประสานงานที่กำหนดในคู่มือก่อสร้างสาธารณูปโภค กปน. จะต้องส่งหนังสือขออนุญาตพร้อมรายละเอียดแผนและมาตรการ การทำงานให้กองบัญชาการตำรวจนครบาล และให้เจ้าหน้าที่มาชี้แจงภายใน 7 วันทำการนับจากวันที่ส่งหนังสือเพื่อขอความเห็นชอบในด้านการจราจร และเพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาในขณะก่อสร้าง และภายใน 45 วัน กองบัญชาการตำรวจนครบาลจะต้องตอบให้ทราบผลการพิจารณาหรือมิฉะนั้นหากพ้นกำหนด 45 วันดังกล่าวแล้ว ให้ถือว่ากองบัญชาการตำรวจนครบาลอนุญาตให้ดำเนินการก่อสร้างในถนน ตรอก ซอย ตามมาตรการที่ได้กำหนดไว้แล้ว และก่อนเริ่มลงมือดำเนินการก่อสร้าง นายช่างโครงการจะต้องแจ้งกองบัญชาการตำรวจนครบาลและ

สถานที่ตำรวจนครบาลท้องที่อีกครั้งเพื่อประสานงานขณะก่อสร้าง ในกรณีที่งานก่อสร้างอยู่ในพื้นที่นอกเขต กทม. และมีผลกระทบต่อการจราจรในพื้นที่บริเวณก่อสร้างก่อนเริ่มงานก่อสร้าง นายช่างโครงการจะต้องติดต่อประสานงานกับสถานีตำรวจภูธรท้องที่ สถานีตำรวจทางหลวงท้องที่ (กรณีงานก่อสร้างอยู่ในเขตทางหลวง) โดยมีหนังสือแจ้งกำหนดการดำเนินงานและรายละเอียดการจัดเส้นทางการจราจรพร้อมการติดตั้งป้ายประกาศ ควรแจ้งล่วงหน้าไม่น้อยกว่า 7 วันทำการ

3. หน่วยราชการอื่นที่เกี่ยวข้อง ในกรณีงานก่อสร้างวางท่อประปาในพื้นที่รับผิดชอบของหน่วยงานราชการอื่น ๆ (กรมทางหลวง โยธาธิการจังหวัด กรมชลประทาน เทศบาล อบต. ฯลฯ) ก่อนเริ่มงานก่อสร้างจะต้องมีหนังสือแจ้งให้หน่วยราชการเจ้าของพื้นที่ทราบกำหนดการดำเนินงานและจะต้องดำเนินงานตามเงื่อนไขที่หน่วยงานเจ้าของพื้นที่ได้ระบุไว้ในหนังสือการตอบอนุญาต

4. หน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (รฟท. ทศท. กฟน. ปตท. ฯลฯ) เมื่อตรวจสภาพสนามก่อนเริ่มงานพบว่า แนวท่อประปาที่จะวางใหม่อยู่ในแนวเดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับสิ่งสาธารณูปโภคของหน่วยงานอื่น ๆ (เคเบิ้ลโทรศัพท์ของ ทศท. หรือเคเบิ้ลไฟฟ้าแรงสูงของ กฟน. ฯลฯ) ซึ่งในการก่อสร้างวางท่อประปาอาจเกิดผลกระทบทำให้สิ่งสาธารณูปโภคนั้น ๆ เกิดความเสียหายได้ ควรมีหนังสือติดต่อประสานงานกับหน่วยงานสาธารณูปโภคนั้นเพื่อให้จัดส่งเจ้าหน้าที่มาร่วมตรวจสอบและชี้แนวสิ่งสาธารณูปโภคในสถานที่ก่อสร้างจริงเพื่อรับทราบข้อมูลและหาทางป้องกันมิให้เกิดความเสียหายขึ้นในขณะก่อสร้าง

5. เอกชนเจ้าของที่ดิน ก่อนเริ่มงานก่อสร้างจะต้องมีหนังสือแจ้งเจ้าของที่ดิน เช่น หมู่บ้านจัดสรร ฯลฯ ให้ทราบกำหนดแผนงานก่อสร้างวางท่อประปา

ภาพที่ 2.18 การตรวจสอบสภาพแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติของ ปตท. และแนวเคเบิลของ กสท.

2.3.5 ขั้นตอนการดันท่อลอด (Pipe Jacking)

1. จัดทำแนวและระดับ (Line Grade) ของท่อที่จะวางโดยทำเครื่องหมายไว้ที่เสาไฟฟ้าหรือตำแหน่งที่มั่นคงเพื่อเป็นจุดอ้างอิง ดังภาพที่ 2.19

ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลแนวและระดับ (Line & Grade) ที่เสาไฟฟ้า

2. ติดตั้งป้ายประกาศ ป้ายจราจร ไฟสัญญาณ ม้าลาย หรือกรวยกั้นบริเวณก่อสร้างตามที่กำหนดในเงื่อนไขสัญญาหรือตามที่ผู้ควบคุมงานสั่งการ

ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างการติดตั้ง ป้ายจราจร ไฟสัญญาณ และกรวยกั้นบริเวณก่อสร้าง

3. กำหนดตำแหน่งบ่อด้วยกล้องสำรวจ หากเกิดความผิดพลาดเรื่องแนวการดันท่อขึ้น การแก้ไขจะทำได้ยาก ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงมีความสำคัญมาก และต้องคอยตรวจเช็คอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะเป็นงานดันท่อที่ไม่มีระบบควบคุมแนวการดันท่อโดยใช้แสงเลเซอร์

ภาพที่ 2.21 การกำหนดตำแหน่งบ่อด้วยกล้องสำรวจ

4. หากตำแหน่งบ่ออยู่ในถนนคอนกรีตต้องตัดแนวร่องที่จะขุดด้วยเครื่องตัดคอนกรีตให้เป็นแนวตรงและถ้าเป็นผิวแอสฟัลต์ให้ตัดแนวร่องด้วยเครื่องตัดแบบลิ่ม เพื่อมิให้แนวร่องเกิดความเสียหายกว้างออกไป

ภาพที่ 2.22 การตัดผิวจราจรด้วยเครื่องตัด

5. ทำการก่อสร้างบ่อ ตามแบบก่อสร้างที่ขออนุมัติ

6. เมื่อขุดถึงระดับก้นบ่อ ทำการเทคอนกรีตหยาบเพื่อเป็นพื้นที่จะรองรับ Jacking System

7. ทำการติดตั้งกำแพงยันหลัง (Back Thrust Wall) เพื่อรับแรงเหยียดจากแม่แรง (Jacking) ให้กระจายไปยังบริเวณด้านหลังบ่อ

ภาพที่ 2.23 การติดตั้งกำแพงยันหลัง (Back Thrust Wall)

8. ทำการติดตั้งราง (Guide Rail) เพื่อรักษาแนวการดันท่อส่งออกไปจากบ่อผ่าน Entrance Ringหรือ Soft Eye ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ดินบริเวณหน้าบ่อไหลเข้าสู่บ่อขณะดันท่อ

ภาพที่ 2.24 การติดตั้งราง (Guide Rail) และ Entrance Ring

9. เตรียมระบบการดัน (Jacking System) ประกอบด้วยชุดแม่แรงซึ่งเป็นกระบอกไฮดรอลิค งานติดตั้งกล้องเลเซอร์ (Laser) เพื่อใช้ในการควบคุมแนวท่อที่ดันผ่านจอมอนิเตอร์ที่ตู้ควบคุมที่ตั้งอยู่บนระดับผิวดินบริเวณปากบ่อและงานติดตั้งระบบการลำเลียงดินออกจากท่อดันซึ่งอาจลำเลียงโดยการปั๊มดินที่ผสมสารละลายผ่านท่อที่เดินไว้ภายในท่อดันออกไปทิ้งที่ Muck Tank หรือลำเลียงโดยใช้ Skip Car ที่จะรับดินโดยตรงจากด้านหลังหัวเจาะแล้วลากออกมาเพื่อนำดินไปทิ้ง

ภาพที่ 2.25 ชุดแม่แรงกระบอกไฮดรอลิกและระบบควบคุมแนวพร้อมกล้องเลเซอร์ (Laser)

10. ทำการเชื่อมท่อแล้วทดสอบรอยเชื่อมตามมาตรฐานการทดสอบรอยเชื่อมที่กำหนดและดันท่อออกไปเป็นท่อนๆ จนกระทั่งครบตามความยาวที่ต้องการ ทั้งนี้หากการเชื่อมท่อก่อให้เกิดความเสียหายต่อแนวของท่อทั้งภายในและภายนอก จะต้องทำการซ่อมแซมกลับคืนให้ดีกว่าหรือเทียบเท่าโดยใช้วัสดุตามมาตรฐานของผู้ผลิตท่อและจะต้องทำความสะอาดภายในท่อให้สะอาดอยู่เสมอโดยการล้างแล้วเช็ดโดยใช้แรงคน

ภาพที่ 2.26 การทดสอบรอยเชื่อมแบบ Radiographic Test และ Liquid Penetrant Test

11. หลังการดันท่อในแต่ละวันให้ตรวจสอบการเก็บความเรียบร้อยของจุดงาน และปิดฝาบ่อด้วยแผ่นคอนกรีต (Concrete Deck) หรือ แผ่นเหล็ก (Steel Plate) เพื่อให้ยวดยานต์ สามารถวิ่งผ่านจุดงานได้ในขณะที่ไม่มีการทำงานซึ่งมักจะเป็นในช่วงกลางวัน 05.00 น. – 22.00 น.

ภาพที่ 2.27 การปิดผิวจราจรด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Plate) และแผ่นคอนกรีต (Concrete Deck)

2.3.6 การทดสอบท่อ

เมื่อทำการดันท่อครบตามความยาวที่ต้องการ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบความดันน้ำ (Hydrostatic Test) ในเส้นท่อโดยทำการปิดปากท่อทั้งสองข้างแล้วอัดน้ำสะอาดเข้าไปเพื่อทดสอบแรงดันใช้งาน ทำการทดสอบด้วยความดัน 8 กก./ตร.ซม.(ksc)ใช้ระยะเวลาทดสอบไม่น้อยกว่า 2 ชม. ยินยอมให้ค่าความดันเปลี่ยนแปลงได้ตามค่าที่กำหนดตามมาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาค [4]

ภาพที่ 2.28 การทดสอบท่อด้วยความดัน 8 ksc. ใช้เวลาทดสอบไม่น้อยกว่า 2 ชม.

2.3.7 งานจัดซ่อมผิวจราจร ทางเท้าและไหล่ทาง

เมื่อผ่านการทดสอบท่อแล้วจะทำการรื้อถอนบ่อดัน/บ่อรับแล้วทำการจัดซ่อมผิวจราจร ทางเท้า คันหิน รางวี ไหล่ทาง ต้นไม้ และต้นหญ้าที่ชำรุดเสียหายเนื่องจากการวางท่อ ซึ่งจะต้องได้รับการจัดซ่อมอย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในรายละเอียดประกอบแบบ หรือตามมาตรฐานของเจ้าของพื้นที่จนมีสภาพดีดังเดิม ในทางปฏิบัติควรมีการถ่ายภาพ เก็บรวบรวมรายละเอียดของเดิมเอาไว้ก่อนเพื่อเปรียบเทียบ

1. การเตรียมการและการตรวจสอบ ศึกษารายละเอียดว่าจุดที่จะทำการจัดซ่อมอยู่ในพื้นที่ความรับผิดชอบของหน่วยงานใด และมีข้อกำหนดในการจัดซ่อมอย่างไรบ้าง การใช้วัสดุและการบดอัด ตลอดจนความหนาของชั้นรองพื้นฐานและชั้นพื้นฐานให้เป็นไปตามข้อกำหนดของหน่วยงานเจ้าของถนนนั้นๆ ทำการติดตั้งป้ายประกาศและสัญญาณจราจรต่างๆ ให้ถูกต้องครบถ้วนเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและเตรียมการอำนวยความสะดวกในจุดที่จำเป็น เช่น ทางร่วม ทางแยก บริเวณเข้าบ้านพักต่างๆ เพื่อมิให้เกิดความเดือดร้อนเกินความจำเป็น

2. การซ่อมผิวจราจรแอสฟัลต์ ชั้นพื้นฐานจะต้องบดอัดแน่นให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดและมีหนังสือรับรองผลการทดสอบความแน่นของดิน (Field Density) ก่อนจะจัดซ่อมต้องราดยางน้ำ

ทิ้งไว้ล่วงหน้าไม่น้อยกว่า 24 ชม. การปูและบดอัดแอสฟัลต์ผสมร้อนให้ปูเป็นชั้นๆ หนาชั้นละ 5 ซม. ขอบผิวจราจรที่จัดซ่อมต้องเป็นเส้นตรง และคลุมขอบแนวร่องไม่น้อยกว่า 20 ซม. ทั้ง 2 ข้าง ในกรณีที่ผิวจราจรที่จะจัดซ่อมกว้างตั้งแต่ 2 ม.ขึ้นไป และมีพื้นที่มากกว่า 200 ตร.ม ต้องใช้เครื่องปูหรือเครื่องดาดแอสฟัลต์

3. การซ่อมผิวจราจรคอนกรีต ความกว้างแนวร่อง ความแน่นและระดับพื้นฐานต้องถูกต้องและได้รับการตรวจสอบจากผู้ควบคุมงานก่อนการจัดซ่อม เหล็กเสริม การทาบต่อเหล็ก การหนุนเหล็กตะแกรง ต้องถูกต้องครบถ้วนตามที่กำหนด เหล็ก Dowel Bar และ Tie Bar ของเดิมต้องคงไว้เพื่อให้เชื่อมต่อกับแผงเดิมได้ พื้นที่จัดซ่อมต้องสะอาดและราดน้ำให้ชุ่มแต่ไม่มากเกินไปจนท่วมขัง คอนกรีตที่เทเสริมใหม่ต้องระวังไม่ให้ถูกน้ำจนกว่าจะมีการก่อตัว และไม่ให้ดินหรือโคลนร่วงหล่นลงบนผิวหน้าคอนกรีตขณะมีการแต่งหน้าคอนกรีต ไม่ควรแต่งหน้าคอนกรีตนานเกินไปเพราะน้ำและส่วนผสมที่ละเอียดจะลอยตัวขึ้นทำให้ผิวหน้าไม่ทนทาน ไม่ควรสาดซีเมนต์แห้งบนผิวหน้าคอนกรีตเพื่อเร่งให้ผิวหน้าแห้งเพราะจะร่อนหลุดออกภายหลัง ทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตตามขนาดที่ผู้ควบคุมงานกำหนด โดยทำแบบมาตรฐานเอาไว้เพื่อความสะดวก และนำไปทดสอบเมื่ออายุครบตามกำหนด เมื่อคอนกรีตก่อตัวแล้วต้องทำการบ่มอย่างต่อเนื่องโดยใช้น้ำขังหรือคลุมด้วยกระสอบราดน้ำชุ่มจนครบระยะเวลาตามที่กำหนด และในระหว่างนี้จะต้องป้องกันมิให้คอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ ทำการยาแนวร่องรอยต่อคอนกรีตด้วยวัสดุยาแนว Joint Sealer

4. ทางเท้า ไหล่ทาง ต้นไม้ และต้นหญ้า ต้องตัดแนวร่องที่จะทำการจัดซ่อมให้เป็นแนวตรง เหล็กเสริมเดิมต้องคงไว้ เหล็กเสริมใหม่ให้ถูกต้องตามที่กำหนดในรายการละเอียดประกอบแบบการปูกระเบื้องหรือเทคอนกรีตต้องเรียบและลาดเอียงไปตามคันหิน อย่าให้เกิดร่องหรือแอ่งขังน้ำได้หากทางเท้าเดิมมีการชักร่องตกแต่งไว้จะต้องตกแต่งให้กลมกลืนกับสภาพเดิมให้มากที่สุด วัสดุที่ใช้ในการจัดซ่อมทางเท้าหรือไหล่ทางแต่ละชนิดต้องสอดคล้องกับรายละเอียดประกอบแบบ หรือมาตรฐานของหน่วยงานที่เป็นเจ้าของ โดยพื้นผิวบนสุดต้องจัดซ่อมให้อยู่ในสภาพเดิมหรือดีกว่า ต้นไม้ต้นหญ้าที่ชำรุดเสียหายหรือทำการเคลื่อนย้ายชั่วคราวเนื่องจากการวางท่อต้องทำการจัดซ่อมให้คืนสู่สภาพเดิม [4]

ภาพที่ 2.29 การจัดซ่อมทางเดินเท้าเพื่อคืนสภาพเดิม

2.3.8 การดำเนินงานในช่วงงานแล้วเสร็จ

1. การตรวจสอบคุณภาพน้ำ เมื่อผู้รับจ้างดันท่อแล้วเสร็จพร้อมที่จะจ่ายน้ำในเส้นท่อที่วางใหม่ได้แล้ว นายช่างโครงการจะต้องแจ้งให้กองควบคุมคุณภาพน้ำประปา มาเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มก่อนที่จะเปิดจ่ายน้ำผ่านเส้นท่อที่วางใหม่

ภาพที่ 2.30 การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยนักวิทยาศาสตร์ก่อนเปิดจ่ายน้ำจากเส้นท่อ

2. การจัดทำและจัดส่งแบบก่อสร้าง (As-Built Drawing) เมื่อผู้รับจ้างดำเนินงานก่อสร้างแล้วเสร็จก่อนการเบิกจ่ายเงินงวดสุดท้ายผู้รับจ้างจะต้องจัดทำแบบก่อสร้าง (As-Built Drawing) ให้การประปาส่วนภูมิภาคตามเงื่อนไขสัญญา

3. การส่งคืนท่อและอุปกรณ์เหลือใช้และคืนอุปกรณ์ท่อเดิมที่รื้อขึ้น กรณีที่เงื่อนไขระบุให้การประปาส่วนภูมิภาค เป็นผู้จัดท่อและอุปกรณ์ท่อให้ผู้รับจ้างใช้งานก่อสร้าง ในระหว่างการดำเนินงานก่อสร้างผู้รับจ้างควรแจ้งรายการท่อ และอุปกรณ์ท่อที่ใช้งานจริงเมื่องานแล้วเสร็จในแต่ละเส้นทาง เพื่อให้นายช่างโครงการตรวจสอบและสรุปยอดการใช้จริงเบิกจริงทั้งสัญญา พร้อมกับสรุปยอดของที่จะต้องส่งคืน กปภ. ทั้งสัญญาเพื่อให้นายช่างโครงการตรวจสอบและจัดทำใบคืนพัสดุเพื่อส่งคืนคลังพัสดุของ กปภ. ต่อไป

4. การแจ้งหน่วยงานภายนอกตรวจรับสภาพพื้นผิวการจัดซ่อม เมื่อผู้รับจ้างดำเนินการก่อสร้างในเส้นทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงานราชการภายนอก (กทม. กรมทางหลวง เทศบาล ฯลฯ) จัดซ่อมผิว และเก็บความเรียบร้อยบริเวณสถานที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ผู้รับจ้างจะต้องจัดส่งหลักฐานการทดสอบวัสดุที่เกี่ยวข้อง (ความหนาแน่นของชั้นดินพื้นฐาน ความแข็งแรงของแท่งคอนกรีตทดสอบ ฯลฯ) ให้นายช่างโครงการ และนายช่างโครงการจะต้องแจ้งหน่วยงานภายนอกเจ้าของพื้นที่ให้มาทำการตรวจรับสภาพการจัดซ่อม ซึ่งหน่วยงานภายนอกบางหน่วยงานจะกำหนดเงื่อนไขการตอบอนุญาตให้มีการรับสภาพการจัดซ่อมให้เรียบร้อยก่อนจึงจะให้การประปาส่วนภูมิภาคจ่ายค่างานก่อสร้างให้ผู้รับจ้างได้ ในกรณีที่การตรวจรับสภาพการซ่อมพื้นผิวที่ทำการวางท่อประปาของหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องล่าช้ากว่ากำหนดไว้ในเงื่อนไขข้อตกลง หรือในคู่มือก่อสร้างงานสาธารณูปโภคโดยไม่มีข้อชี้แจงให้ดำเนินการแก้ไข การประปาส่วนภูมิภาคจะพิจารณาออกหนังสือรับรองงานแล้วเสร็จสมบูรณ์ให้ผู้รับจ้างโดยไม่ต้องมีใบรับรองการตรวจรับสภาพการซ่อมพื้นผิวที่ทำการวางท่อประปาจากหน่วยงานนั้นๆ

5. การจัดทำประวัติงานก่อสร้าง เมื่องานก่อสร้างแล้วเสร็จทั้งสัญญา และได้มีการปิดสัญญาโดยได้มีการจัดทำประเมินผลงานและเบิกจ่ายเงินงวดสุดท้ายไปแล้ว นายช่างโครงการจะต้องจัดทำประวัติงานก่อสร้างเพื่อรวบรวมไว้เป็นข้อมูลงานก่อสร้างต่อไป [4]

2.4 ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลอัตราการทำงาน

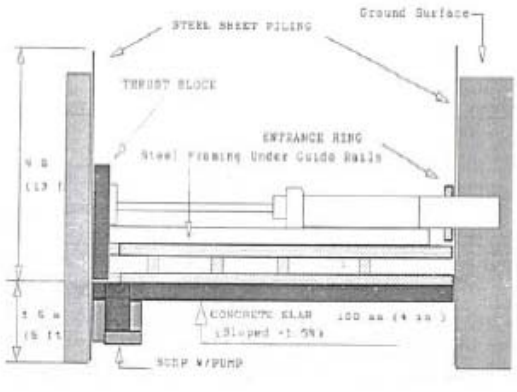
ในการศึกษาวิจัยโครงการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด ของการประปาส่วนภูมิภาค จะมีแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลอัตราการทำงาน ของงานก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลอัตราการทำงาน (Production Rate)

กิจกรรม	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)	สาเหตุที่มักทำให้เกิดปัญหา / อุปสรรค / ความล่าช้า
ติดตั้งสัญญาณไฟจราจรและเปิดบ่อ		
ตรวจเลเซอร์ Alignment และยกท่อลง		
1. ดันท่อท่อนแรก		
2. ถอยแม่แรง		
3. ผูกมัดท่อส่งน้ำ / ดูดดิน และหย่อน Spacer (2.6 ม.)		
4. ดันท่อท่อนที่ 2		
5. ถอยแม่แรง ปิดวาล์ว ถอยท่อส่งน้ำ / ดิน สายไฮดรอลิก และยก Spacer ออกหย่อน วางท่อ 2 ท่อนต่อไปลงบนรางดันและต่อท่อ / ระบบทั้งหมด		

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nishida, et al. [5] ทำการศึกษาและทดสอบการดันท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. PVC โดยการปิดหน้าท่อด้วย Steel Plate และปกคลุมข้างท่อด้วย Rubber Tube ได้มาซึ่ง Production Rate ในระดับกิจกรรมดังแสดงในรูปที่ 2.31 และสูตรคำนวณที่เกี่ยวข้อง โดยสรุปข้อดีของวิธีนี้คือ ลดแรงที่ใช้ดันท่อ ลดการค้ำยันผนังด้านหลัง การดันท่อช่วงยาวใช้แรงดันน้อยลงได้มาซึ่ง Cost Effectiveness



Summary of Production Rates

Type of Work	Time Required
Opening the gates and installation of all microtunneling equipment	3 days
Checking the microtunneling equipment	1 day
Average hoisting time	2 min.
Average time for installation of casing inside PVC pipe	8.8 min.
Average time for installation of PVC pipe (with casing) on the guide rails (including connection of slurry pipes, hoses and cables)	45 min.
Average time for setting up of laser transit	10 min.
Average time for pushing the pipe: Clay Silt Sand Clayey Gravel	33 mm/min., (1.3 in./min.) 101.6 mm/min., (4.0 in./min.) 134.6 mm/min., (5.3 in./min.) 43.2 mm/min., (1.7 in./min.)
Average time for retraction of jacks (including dismantling of slurry hoses and cables and taking off laser transit)	11.6 min.
Average cycle time for installation of an 8-ft section of PVC pipe in: Clay Silt Sand Clayey gravel	2 hr. 49 min. 1 hr. 37 min. 1 hr. 31 min. 2 hr. 10 min.
Average time for pulling back of one casing and dismantling of all slurry pipes, hoses and cables for each PVC pipe section	20 min. (10 min. to retract the jacks)
Dismantling, washing and crating of equipment	2 days
Loading equipment	1 day

ภาพที่ 2.31 การดันท่อ Ø150 มม. PVC และ Production Rate ถึงระดับกิจกรรมโดย Nishida, et al.

Phien-wej (2002) [6] กล่าวถึงประสบการณ์งานเจาะอุโมงค์ของประเทศไทย โดยการรวบรวมข้อมูลโครงการในอดีตเท่าที่สามารถหาได้ตลอดจนทำการศึกษาวิเคราะห์งานบางโครงการในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา งานเจาะอุโมงค์ที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็นงานเจาะอุโมงค์ในหินและเจาะในชั้นดิน งานเจาะอุโมงค์ในชั้นดินส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกรุงเทพฯ โดยนิยมใช้หัวเจาะแบบ EPB ที่มีสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพและปลอดภัย นอกจากนี้ยังมีการก่อสร้างอุโมงค์ขนาดเล็กด้วยวิธีดันท่อเกิดขึ้นอย่างมากมายด้วย สำหรับงานเจาะอุโมงค์ในชั้นหิน วิธีการขุดเจาะที่ใช้คือ การเจาะด้วยระเบิดและติดตั้งค้ำยันโดยออกแบบตามวิธี NATM โครงการขนาดใหญ่ที่มีงานเจาะอุโมงค์ในหินและสำเร็จลุล่วงด้วยดี คือ โครงการโรงไฟฟ้าใต้ดินลำตะคอง

Phien-wej (2002) [6] นำเสนอประสบการณ์เกี่ยวกับการวัดการเคลื่อนตัวของดินในงานเจาะอุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 ม. ลอดใต้โครงสร้างที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ ทำการตรวจและวิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนตัวของดินทั้งก่อนหน้า และระหว่างการขุดเจาะในค่าปริมาตรของดินที่เคลื่อนเข้าอุโมงค์เท่ากับ 1-2 % จากการวิเคราะห์โดยละเอียดถึงปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน นำไปสู่ระบบการตรวจวัดพฤติกรรมการขุดเจาะทั้งก่อนหน้าและระหว่างการที่จะเจาะลอด การตั้งเกณฑ์กำหนดการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการ เพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัยของโครงสร้าง

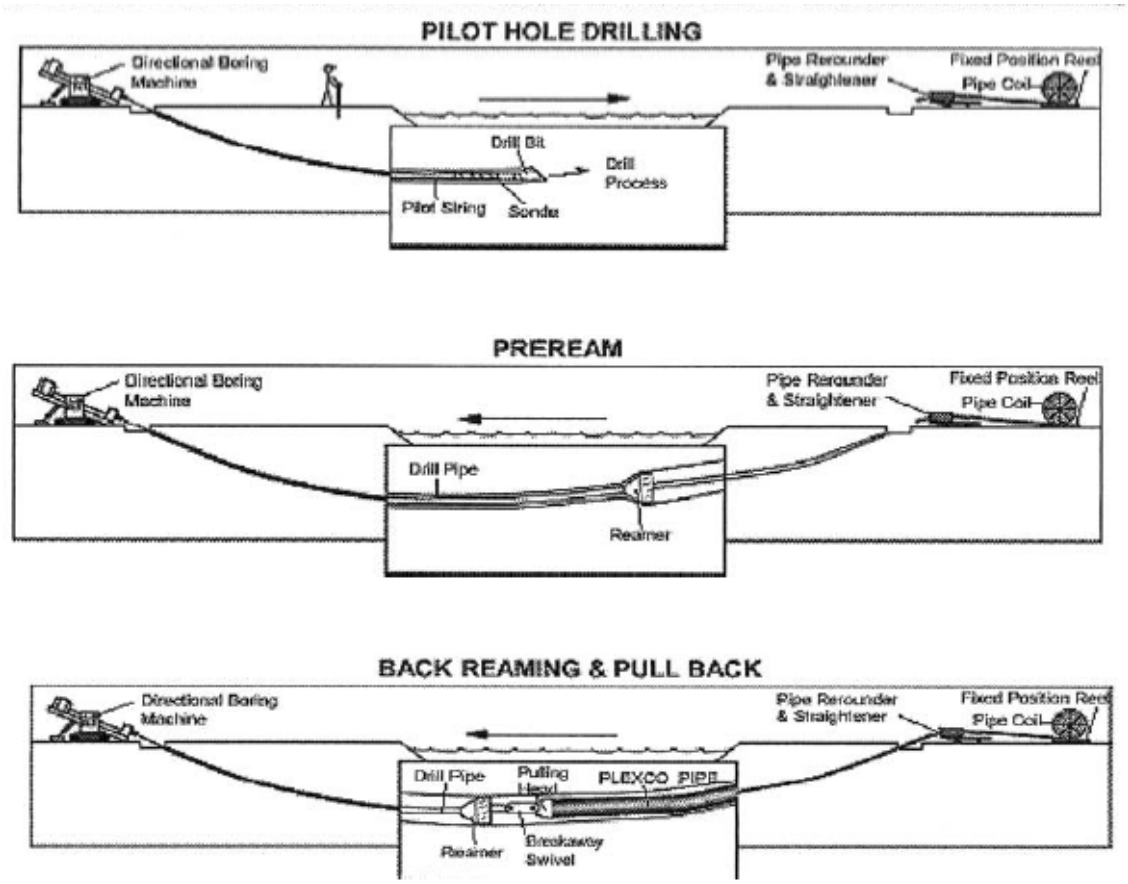
บุญเทพ นาเนกรังสรรค์ (2539) [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าในประเทศไทย และได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้า คือ จะเกิดการเคลื่อนตัวของดินทุกครั้งที่มีการเจาะอุโมงค์ จึงได้สรุปเป็นเกณฑ์กำหนดการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการเพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัยของโครงสร้าง ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.8 เกณฑ์กำหนดการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการเพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัยของโครงสร้าง

ค่าการเคลื่อนตัวของดิน	มาตรการป้องกัน
ไม่เกิน 6 มม.	ปลอดภัย ยังไม่ต้องดำเนินการใด ๆ
มากกว่า 6 มม. แต่ไม่เกิน 12 มม.	เพิ่มความถี่บ่อยในการตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวของดินและเพิ่มระดับการเฝ้าระวังในกระบวนการขุดของหัวเจาะและในกระบวนการฉีดสารละลายเพื่อรักษาเสถียรภาพของดิน
มากกว่า 12 มม.	เสริมความแข็งแรงของโครงสร้างโดยติดตั้งค้ำยันเพิ่มเติมที่เสาหรือค้ำยันด้านข้างให้แก่โครงสร้างอื่น ๆ และปรับปรุงกระบวนการขุดของหัวเจาะและกระบวนการดัน

Chalermkiat (2002) [8] กล่าวถึงเทคโนโลยีวางท่อโดยไม่ต้องเปิดแนวร่อง (Trenchless Technology) ที่เข้ามามีบทบาทต่อหลายโครงการก่อสร้าง โดยเฉพาะพื้นที่ในกรุงเทพฯด้วยสภาพความแออัดและการจราจรติดขัด จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเร่งพัฒนาใช้พื้นที่ใต้ดิน เพื่อประโยชน์ในการขยายโครงข่ายเส้นทางการจราจร สาธารณูปโภคและสาธารณูปการต่างๆอธิบายการก่อสร้างแบบ Pipe Jacking โดยแบ่งแยกรูปแบบตามวิธีการก่อสร้างบ่อดัน บ่อรับ 3 ประเภท คือ บ่อที่ใช้ Sheet Pile บ่อที่ใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก และบ่อที่ใช้แผ่นเหล็กหนารูปทรงกลม

Tennyson M.M. and Daniel J.D.(2004) [9] ได้อธิบายวิธีการดันท่อลอด (Pipe Jacking) แบบ Horizontal Directional Drill (HDD) เป็นการดันลอด โดยใช้เครื่องเจาะนำที่สามารถควบคุมทิศทาง และสามารถรู้ตำแหน่งที่แน่นอนของหัวเจาะได้ ทำการเจาะนำโดยลอดผ่านอุปสรรค สิ่งกีดขวางจนกระทั่งถึงอีกฝั่งหนึ่ง ในขากลับจะทำการขยายรูเจาะโดยติดตั้งชุดขยายรูเจาะ (Reamer) ที่มีลักษณะกรวยครึ่งทรงกลมพร้อมทั้งทำการลากท่อที่จะทำการวางใหม่กลับมาพร้อมกันจนชุดขยายรูเจาะ (Reamer) กลับมาถึงฝั่งของเครื่องขุดเจาะ โดยส่วนมากจะใช้กับการก่อสร้างดันท่อลอดชนิดท่อ HDPE เป็นหลัก



ภาพที่ 2.32 วิธีการดันท่อลอด (Pipe Jacking) แบบ Horizontal Directional Drill (HDD)

วันชัย และ กิตติศักดิ์ (2545) [10] ได้ทำการศึกษาแรงเสียดทาน และการเคลื่อนตัวของดินจากการดันท่อในชั้นดินกรุงเทพฯ นำเสนอผลการวัด และการวิเคราะห์แรงเสียดทานระหว่างดินกับท่อในขณะทำการดันท่อในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ร้อยสายไฟฟ้าแรงสูง และอุโมงค์บำบัดน้ำเสีย พร้อมทั้งเสนอการประมาณการเคลื่อนตัวของดินจากการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบดันท่อ (Pipe Jacking System) ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ (Finite Element Method) และวิธี Empirical พบว่าวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ สามารถประมาณได้ครอบคลุมการทรุดตัวจริงเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดในสนาม

Tennyson, et al. (2004) [9] กล่าวถึงประสบการณ์การก่อสร้างดันท่อลอดที่มีช่วงยาวมาก (224 เมตร) ในนคร Boston ซึ่งต้องเผชิญกับอุปสรรคต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาความเดือดร้อนของผู้สัญจร ปัญหาด้านการจัดการจราจร และสาธารณูปโภคข้างเคียงอื่นๆที่ต้องควบคุมไม่ให้ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้าง อธิบายขั้นตอนการก่อสร้างด้วยภาพถ่ายเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายอีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการวางแผนงานหรือเตรียมแผนรับมือกับความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่องานโครงการในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปจากงานวิจัยที่อ้างถึง วิศวกรไทยจะต้องเพิ่มการทำวิจัย และการเรียนรู้เทคโนโลยีใหม่นี้เพื่อรับกับแนวโน้มงานก่อสร้างที่จะเกิดขึ้น ทำการเผยแพร่ข่าวสารและนำเสนอข้อมูลที่ถูกต้องเป็นการถ่ายทอดความรู้เพื่อมิให้งานเหล่านี้กลายเป็นฝีมือของวิศวกรต่างชาติผู้วิจัยเห็นว่า ปัจจุบันในประเทศไทยมีการก่อสร้างงานดันท่อลอด (Pipe Jacking) งานก่อสร้างอุโมงค์(Tunneling) หลายโครงการ แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่มุ่งไปในเชิง Construction Engineering ซึ่งจะมีประโยชน์มากต่อการก่อสร้างที่จะเกิดขึ้น จึงเป็นที่มาของการจัดทำงานวิจัยนี้โดยผู้วิจัยมุ่งหวังที่จะทำให้งานวิจัยนี้ เป็นแนวทางในการพิจารณาชนิดหัวเจาะ ชนิดท่อดัน ลักษณะการทำงานและกำหนดวิธีการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) รวมไปถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับการประปาส่วนภูมิภาคต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยเริ่มจากการสรุปสิ่งที่จะทำการศึกษา ซึ่งสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย การดำเนินงานวิจัยจะแสดงกระบวนการงานทั้งหมดที่จะเกิดขึ้น วิธีการศึกษาวิจัยจะกล่าวถึงวิธีการทั้งหมดที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ว่าจะดำเนินการรวบรวมข้อมูลอะไรบ้าง และรวบรวมอย่างไร รายละเอียดโครงสร้างงานวิจัยทำการแบ่งงานออกเป็นหมวดย่อยๆเพื่อให้เห็นถึงงานดันท่อลอดทั้งหมดในภาพรวม และสามารถควบคุมจัดการและติดตามผลได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3.1 สิ่งที่จะทำการศึกษา

ทำการสำรวจเบื้องต้นพบว่า รูปแบบการดันท่อลอดในงานวางท่อประปาแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลักและ 4 รูปแบบย่อย ดังนี้

3.1.1 การดันท่อปลอกแล้วร้อยด้วยท่อประปาที่จะวาง

1. การดันท่อปลอกเหล็กเหนียวแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก1) การประปาส่วนภูมิภาคได้ยกเลิกรูปแบบนี้แล้ว

2. การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) ผู้วิจัยเลือก วิจัยโครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี เป็นครั้งแรกที่ กปภ.นำรูปแบบการดันท่อนี้มาใช้

3.1.2 การดันท่อประปาโดยตรง

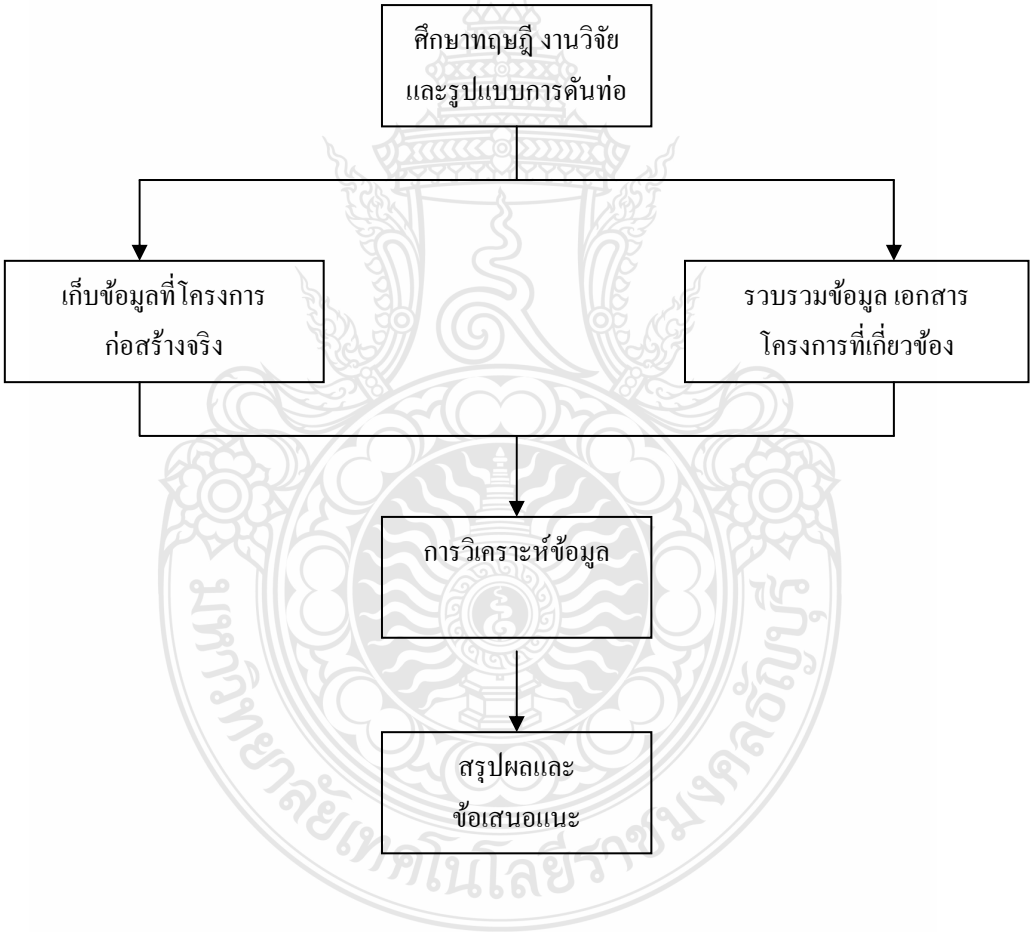
1. การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) เลือกโครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีการดันท่อทั้ง รูปแบบ ข1 และรูปแบบ ข2

2. การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) เลือกโครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำ อ.เมือง จังหวัดปทุมธานี นับเป็นครั้งแรกที่ กปภ. นำการดันท่อลอดในรูปแบบนี้มาใช้

ดังนั้นจะทำการเก็บข้อมูลจาก 2 โครงการดังกล่าว และสอดคล้องกับ รูปแบบ ก2 รูปแบบ ข1 และรูปแบบ ข2 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม.ขึ้นไป ในส่วนรูปแบบ ก1 ซึ่งปัจจุบันการประปาส่วนภูมิภาคได้ยกเลิกรูปแบบนี้แล้ว จึงไม่ได้ทำการศึกษาวิจัย

3.2 การดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย หลังจากได้ทำการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมทั้งศึกษารูปแบบการดันท่อลอดเฉพาะในส่วนของงานวางท่อประธานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 ถึง 1,500 มม.ทั้งหมดที่ การประปาส่วนภูมิภาคใช้อยู่ในปัจจุบัน การดำเนินงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการเก็บข้อมูลที่โครงการก่อสร้างที่กำลังดำเนินการอยู่ และอีกส่วนหนึ่งจะต้องทำการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องของแต่ละโครงการเมื่อทำการเก็บ และรวบรวมข้อมูลครบถ้วนแล้วจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อที่แสดงผลการวิจัยแล้วทำการสรุปผลและเสนอข้อเสนอแนะต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ผังการดำเนินงานวิจัย

3.3 วิธีการศึกษาวิจัย

ในงานวิจัยจะใช้วิธีการศึกษาวิจัยเพื่อทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 5 วิธีประกอบด้วย

3.3.1 รวบรวมเอกสารโครงการที่เกี่ยวข้อง ทำการรวบรวมเอกสารสัญญา เอกสารด้านเทคนิค และเอกสารอื่นๆที่เกี่ยวข้องของแต่ละโครงการตามรูปแบบของการดันท่อลอด

3.3.2 การสังเกต ทำการสังเกตที่หน้างานขณะทำการก่อสร้างเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยจะทำการสังเกต 2 โครงการได้แก่ โครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำ จังหวัดปทุมธานี และโครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำ จังหวัดชลบุรี เนื่องจาก 2 โครงการนี้เป็นโครงการที่เกิดขึ้นตรงกับช่วงที่ผู้วิจัยจะทำการศึกษาวิจัย และมีการใช้รูปแบบการดันท่อลอดแบบใหม่มาใช้เป็นครั้งแรก ในแต่ละโครงการจะเก็บรวบรวมข้อมูลเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเตรียมงาน เริ่มดันท่อ ช่วงระยะกลางของงานดันท่อ และช่วงดันท่อสุดท้าย ในแต่ละช่วงจะทำการรวบรวมข้อมูล 2 วัน

3.3.3 การถ่ายภาพ เนื่องจากการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดมักจะดำเนินการในช่วงกลางคืนเป็นส่วนใหญ่ข้อมูลบางส่วนโดยเฉพาะส่วนที่จะนำเสนอขั้นตอนการก่อสร้างถึงระดับกิจกรรม จึงมีความจำเป็นต้องใช้การถ่ายภาพนิ่งมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.4 การสัมภาษณ์ จะทำการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการ ผู้ช่วยผู้จัดการโครงการโครงการทั้ง 2 โครงการและวิศวกรโครงการ จำนวน 4 คน โดยเน้นการสอบถามไปที่ภาพรวมของการก่อสร้างรวมทั้งปัญหา อุปสรรค และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงในการทำงาน ส่วนการสัมภาษณ์วิศวกร โครงการจะเน้นการสอบถามไปที่ขั้นตอนการทำงานถึงระดับกิจกรรมที่ปฏิบัติ และปัญหา อุปสรรค แล้วบันทึกลงในแบบฟอร์มการสัมภาษณ์

3.3.5 วิเคราะห์การทำงานจากแบบฟอร์มบันทึกอัตราการทำงาน (Production Rate) ที่ได้ในแต่ละรูปแบบการดันท่อลอด รวมทั้งปัญหา อุปสรรค และความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรม เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลเหล่านี้นำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการวิจัยเสนอแนะวิธีการดันท่อลอดที่เหมาะสม ให้กับการประปาส่วนภูมิภาคต่อไป

3.4 สรุปภาพรวมข้อมูลที่จะเก็บและวิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแต่ละชนิด

จากการดำเนินงานวิจัยในหัวข้อ 3.3 สามารถนำมาจัดสรุปโครงสร้างของงานวิจัย เพื่อแบ่งแยกงานออกเป็นหมวดย่อย และนำมาใช้ในการควบคุมการจัดการดำเนินงานวิจัย รายละเอียดโดยสรุปว่าจะทำการรวบรวมข้อมูลอะไรบ้าง และรวบรวมอย่างไร ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่จะเก็บและวิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแต่ละชนิด

รายการ	รวบรวมเอกสาร	การสังเกต	การถ่ายภาพ	การสัมภาษณ์	แบบฟอร์มบันทึกการทำงาน
ขั้นตอนการก่อสร้างแต่ละรูปแบบ	/	/	/	/	
รายการเครื่องจักรและทรัพยากรที่ต้องใช้ต่อ 1 กลุ่มงาน		/	/	/	
การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงาน		/	/	/	
อัตราการทำ งานที่ได้ในแต่ละรูปแบบ				/	/
ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของการดันท่อต่อเมตร	/			/	
ปัญหา อุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างทำการก่อสร้าง		/	/	/	/

สำหรับรายละเอียดของงานดันท่อแต่ละรูปแบบและการรวบรวมข้อมูล ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของงานดันท่อแต่ละรูปแบบและการรวบรวมข้อมูล

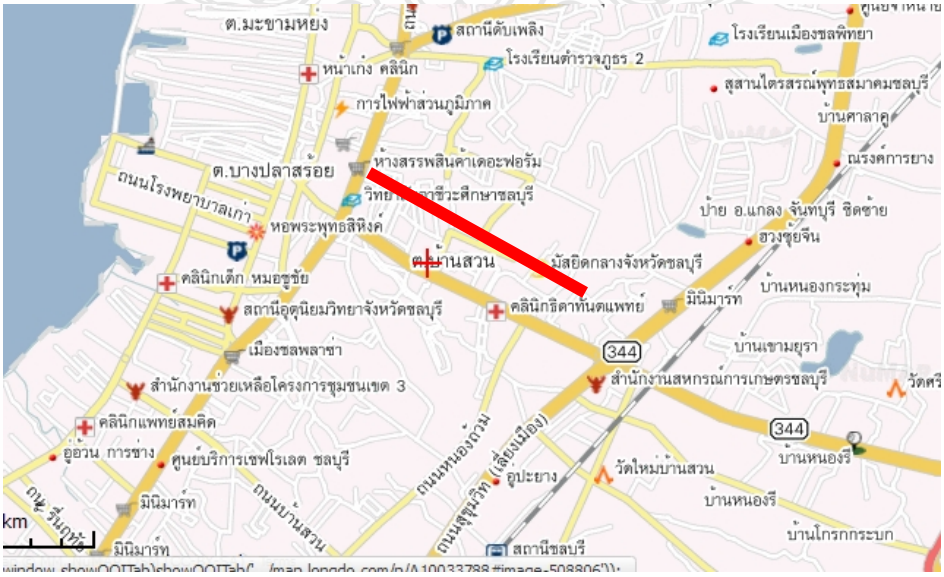
รายการ	รูปแบบ ก 1 ดันท่อปลอกเหล็กเหนียว ร้อยท่อประปา	รูปแบบ ก 2 ดันท่อปลอกคอนกรีต ร้อยท่อประปา	รูปแบบ ข 1 ดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้นเป็นท่อประปา	รูปแบบ ข 2 ดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน
โครงการขยายปรับปรุงท่อจ่ายน้ำ จังหวัดปทุมธานี			ท่อเหล็ก 2 ชั้นขนาด 1,200 มม.ยาวท่อนละ 6 ม.ระยะดันลอดทั้งหมด 1,130 ม.	ท่อขนาด 1,200 มม. ยาวท่อนละ 3 ม. ระยะดันลอดทั้งหมด 220 ม.
โครงการขยายปรับปรุงท่อจ่ายน้ำ จังหวัดชลบุรี		ท่อขนาด 1,000 มม. ยาวท่อนละ 9.00 ม. ระยะดันลอดทั้งหมด 1,340 ม.		
การรวบรวมข้อมูล		ศึกษาหน้างานจริง จำนวน 3 ช่วงๆละ 2 วัน	ศึกษาหน้างานจริง จำนวน 3 ช่วงๆละ 2 วัน	ศึกษาหน้างานจริง จำนวน 3 ช่วงๆละ 1 วัน

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะแสดงผลการศึกษา โดยจะแยกหัวข้อตามโครงการที่นำมาเป็นกรณีศึกษา ซึ่งจะประกอบด้วย 2 โครงการที่เป็นกรณีศึกษาโดยจะสอดคล้องตามรูปแบบของการดันท่อลอดตามรูปแบบ ก2 ข1 และ ข2 ตามลำดับ รายละเอียดดังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ส่วนท้ายเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากกรณีศึกษาทั้งหมดที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางที่ใช้ในการพิจารณาการเลือกรูปแบบการดันท่อลอด โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมของแต่ละวิธี

4.1 กรณีศึกษาที่ 1 การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2)

4.1.1 รายละเอียดของโครงการ การดันท่อปลอกคอนกรีตร้อยไส้ท่อเหล็กปากระฆัง มีรายละเอียดงานวางท่อประธาน ดังนี้ โครงการขยายปรับปรุงท่อจ่ายน้ำ จังหวัดชลบุรี ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม. ยาวท่อนละ 9.00 ม. ระยะดันลอดทั้งหมด 1,340 ม. เริ่มต้นโครงการจากสี่แยกถนนสุขุมวิทบริเวณหอสมุดแห่งชาติ ไปจนถึงสี่แยกตัดถนนเลี่ยงเมืองชลบุรี หมายเลข 344 หน้าสำนักงานสหกรณ์การเกษตรชลบุรี



ภาพที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งโครงการ

4.1.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง โครงการนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานดันท่อปลอกคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,200 มม. ร้อยไส้ท่อเหล็กปากระฆังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มม. โดยมีความลึกหลังท่อประมาณ 3.00 เมตร ทำการเปิดบ่อดัน และบ่อรับเป็นช่วงๆ ระยะห่างระหว่างบ่อประมาณ 250 ม. โดยใช้หัวดันแบบ Slurry Earth Pressure Balance ซึ่งมีการฉีดสาร Bentonite ด้านหน้าหัวดันเพื่อรักษาสภาพดิน ความยาวของบ่อดันจะมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) เนื่องจากความยาวของท่อเหล็กปากระฆังมีความยาวท่อนละ 9.00 เมตร ส่วนท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (SCP) มีความยาวเพียงท่อนละ 6 เมตรหรือสั้นกว่านี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการดันท่อ และการผลิตท่อของโรงงาน

ในการทำงานจะเริ่มดันท่อปลอกคอนกรีตจากบ่อดันไปยังบ่อรับจนเสร็จสิ้นก่อน แล้วจึงดันท่อเหล็กเหนียวร้อยไส้ตาม ซึ่งในขั้นตอนการดันท่อนั้น จะต้องควบคุมแนวการดันท่อให้เยื้องศูนย์ไม่เกิน 5 ซม. เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อปลอกคอนกรีต จะมีขนาดมากกว่าส่วนปากระฆังของท่อเหล็กเหนียวด้านละ 5 ซม.จากการดำเนินงานจริงสามารถควบคุมแนวการดันท่อให้เยื้องศูนย์ได้ไม่เกิน 1 เซนติเมตร

สรุปขั้นตอนงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อเหล็กเหนียวที่จะวาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม. ทางผู้วิจัยได้แสดงขั้นตอนการก่อสร้างโดยแสดงเป็นผังงาน (Flow Chart) ดังตารางที่ 4.1 และรูปถ่ายการดำเนินการก่อสร้างของรูปแบบ ก2 เพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก ก

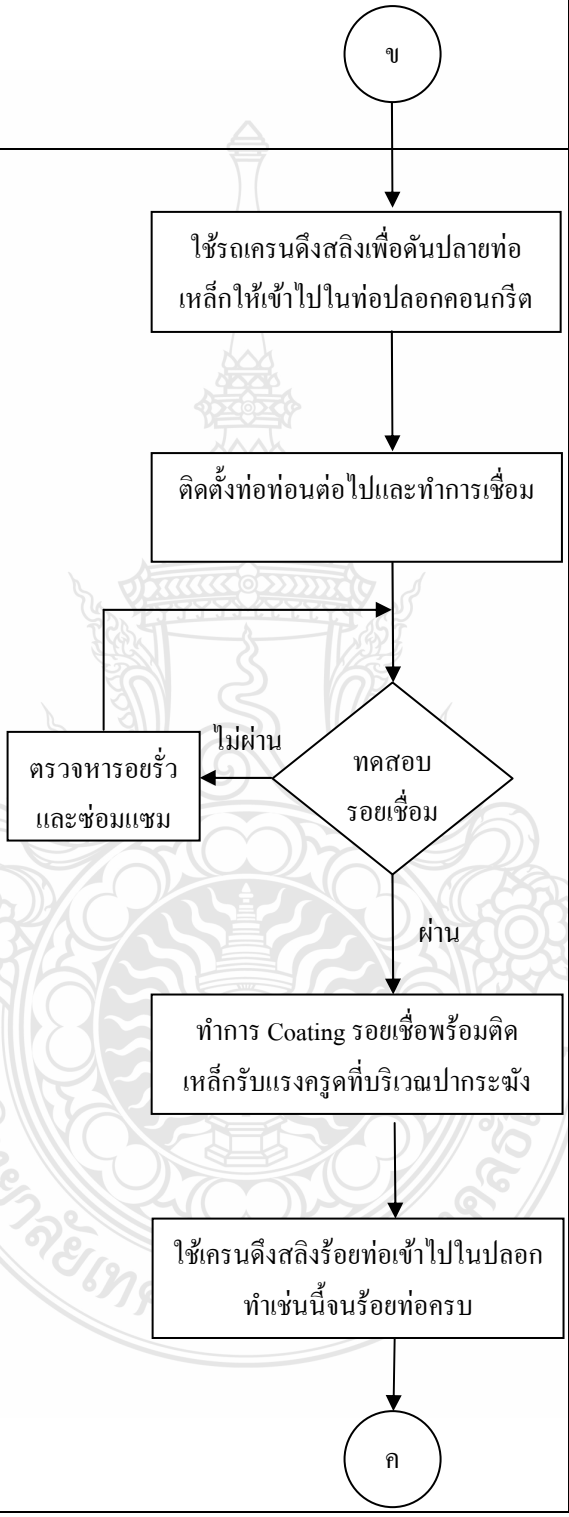
ตารางที่ 4.1 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ก2

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 ภาคผนวก ก อธิบายด้วยภาพที่
	เริ่มต้น	
1.การก่อสร้างบ่อดัน บ่อรับ	กำหนดตำแหน่งบ่อและจัดทำแนวของท่อดัน ตัดผิวจราจรและขุดเจาะเปิดผิวจราจร กด Sheet Pile และทำการ Bracing ตามระดับความลึกที่ออกแบบ เท Base Slab พร้อมติดตั้งรางดันท่อ	1 - 8
2. ติดตั้งชุด Jacking System	ติดตั้ง Back Thrust Wall และชุดแม่แรงไฮดรอลิค ติดตั้งชุดหัวเจาะและชุดเลเซอร์ควบคุมทิศทาง ก	9 -22

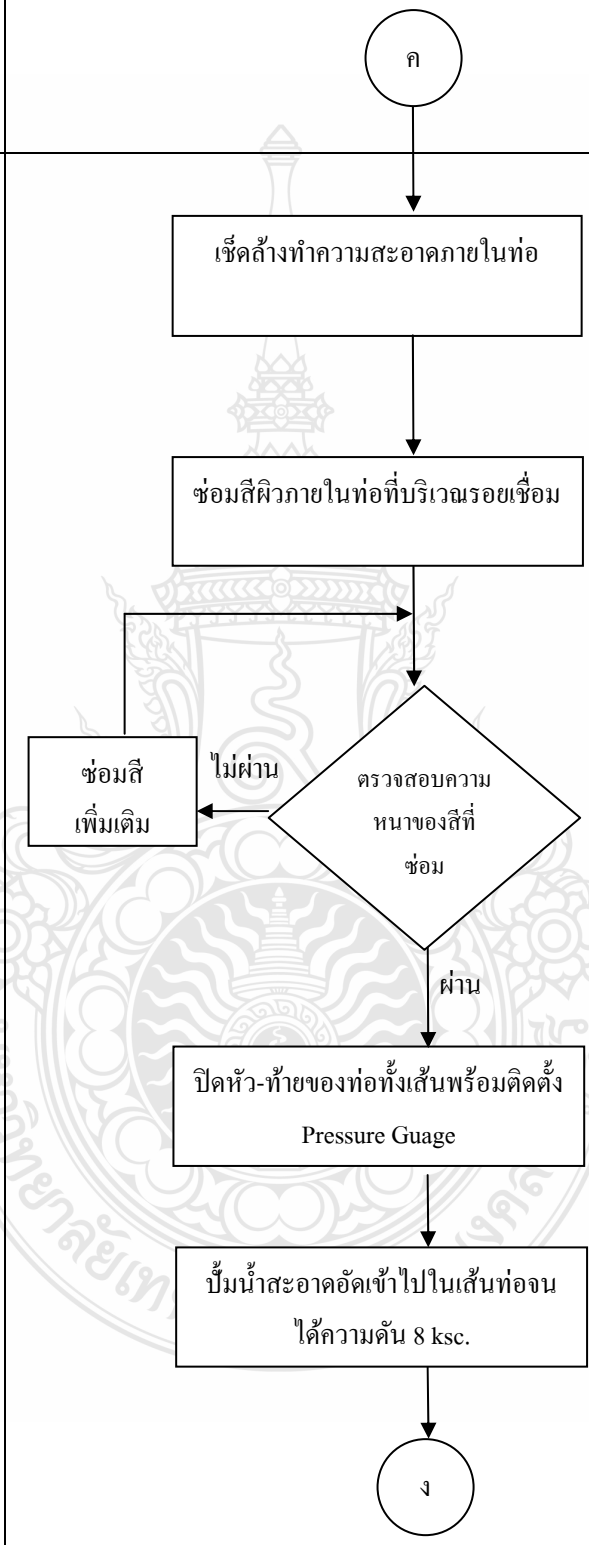
ตารางที่ 4.1 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 ภาคผนวก ก อธิบายด้วยภาพที่
3. การดันท่อ	ก ↓ ติดตั้งท่อปลอกคอนกรีตท่อนแรกและระบบท่อลำเลียงดิน ↓ ติดตั้ง Steel Ring แล้วดันท่อเพื่อส่งหัวเจาะและท่อพ้นบ่อดันออกไป ↓ ติดตั้งท่อท่อนที่สองแล้วทำการดันท่อ ↓ ติดตั้งท่อท่อนต่อๆ ไปแล้วทำการดันท่อจนครบความยาวที่ต้องการ	24 - 30
4. การร้อยไส้ท่อเหล็กปาก ระฆัง	↓ ติดตั้งรอกพร้อมสลิงสำหรับร้อยท่อ ↓ ผูกสลิงกับตัวท่อแล้วใช้สลิงหย่อนท่อลงที่จุดที่จะร้อยไส้ ↓ ข	23 - 45

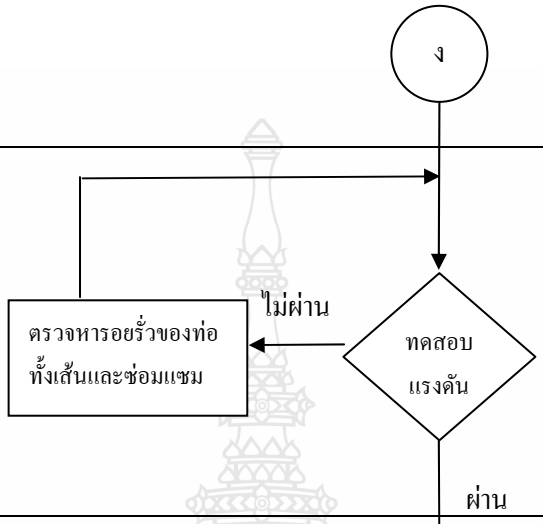
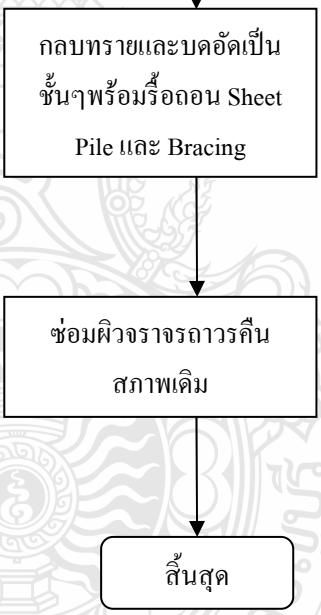
ตารางที่ 4.1 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 ภาคผนวก ก อธิบายด้วยภาพที่
		

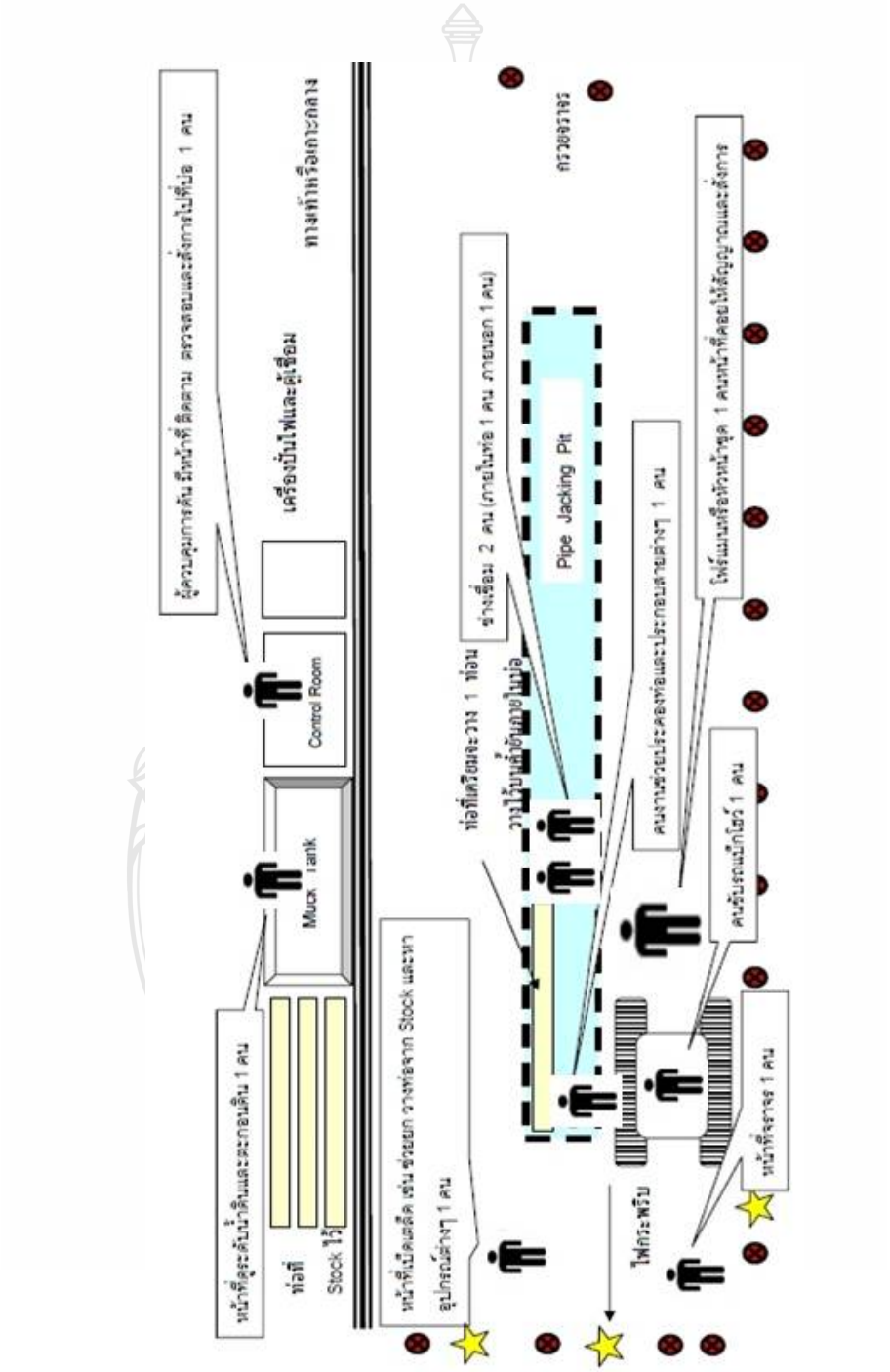
ตารางที่ 4.1 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 ภาคผนวก ก อธิบายด้วยภาพที่
5.การทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic Pressure Test)		46 - 53

ตารางที่ 4.1 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ก2 ภาคผนวก ก อธิบายด้วยภาพที่
		
6. รื้อถอนบ่อและซ่อมผิวจราจรคืนสภาพเดิม		54 - 57

4.1.3 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานดันท่อ จากการสังเกตและการสอบถามผู้ควบคุมงาน รวมทั้งหัวหน้าชุดงานขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูลพบว่า การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงาน และการระบุหน้าที่ความรับผิดชอบ การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) ได้จัดอัตรากำลังคน ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานดันท่อ รูปแบบ ก2

4.1.4 อัตราการทำงานใน 1 รอบของการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) จากการเก็บข้อมูลโดยใช้ Time Sheet ขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูล พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรมใน 1 รอบ (Cycle) การดันท่อปลอกคอนกรีตพบปัญหา อุปสรรค และความล่าช้าของการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) การดันท่อรูปแบบ ก2

กิจกรรม	**ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)**	**สาเหตุที่มักทำให้เกิดปัญหา / อุปสรรค / ความล่าช้า**
ติดตั้งสัญญาณไฟจราจรและเปิดบ่อ	8	การจราจรหนาแน่น การเปิดฝาบ่อ
ตรวจเลเซอร์ Alignment และยกท่อลง	9	เสียเวลาสูบน้ำและประกอบท่อ ขั้วสายไฟหลุด การเช็คสายต่อสาย การเช็คแนว
ดันท่อท่อนแรก	19	การตรวจเช็คแม่แรงและปั๊ม เครื่องปั่นไฟหรือปั๊มขัดข้อง มีเศษไม้เข้ามาอุดในรูท่อดูดน้ำดินออก มีสิ่งกีดขวางที่หน้าหัวเจาะ เช่น เสาเข็มไม้
ถอยแม่แรง	3	-
ผูกมัดท่อส่งน้ำ ดูดดินและหย่อน Spacer (2.6 ม.)	3	-
ดันท่อท่อนที่ 2	20	เลเซอร์ควบคุมทิศทางขัดข้อง เสียเวลาในการประกอบท่อ
ถอยแม่แรง ปิดวาล์ว ถอยท่อส่งน้ำดิน สายไฮดรอลิก และยก Spacer ออกหย่อนวางท่อ 2 ท่อนต่อไปลงบนรางดันและต่อท่อ ระบบทั้งหมด	43	เสียเวลาตรวจเช็คสายไฟและเลเซอร์ การรอรถมาส่งท่อ การยกท่อลงติดตั้ง การตักดินทิ้งและเปลี่ยนน้ำผสมเบนโตไนท์ใหม่

นอกเหนือไปจากข้อมูลที่ได้โดยการเก็บข้อมูลของผู้วิจัย ทางโครงการก่อสร้างเองก็ได้มีการเก็บข้อมูลสถิติการทำงาน โดยค่าเฉลี่ยในกิจกรรมอื่นๆนอกเหนือจากที่ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างบ่อดัน	18	วัน
2. ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างบ่อรับ	5	วัน
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ดันท่อปลอกคอนกรีต	7	วัน
4. ระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ร้อยไส้ท่อเหล็ก	2	วัน
5. ดันท่อปลอกคอนกรีต (ท่อนละ 2.50 เมตร)	16	วัน
6. ร้อยไส้ท่อเหล็กปากระฆัง (ท่อนละ 9.00 เมตร)	9	วัน
7. เฉลี่ยอัตราการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา Ø 1,000 มม.	8	เมตร/วัน

4.1.5 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ของการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง สามารถทราบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณ เทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) การดันท่อรูปแบบ ก2

รายการ	**ราคาจาก BOQ**	**ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณ**
ค่าก่อสร้างบ่อดัน (บาท)	350,000	392,000
ค่าก่อสร้างบ่อรับ (บาท)	150,000	125,000
ค่าก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันลอด (บาท / เมตร)	22,400	19,200

เนื่องจากรายละเอียดการคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง ผู้รับจ้างไม่ยินดีที่จะเปิดเผยเนื่องจากต้นทุนหลายรายการเป็นความลับของบริษัท ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการประมาณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเองโดยการสอบถามข้อมูลการคิดราคาบางรายการจากผู้รับจ้างโดยตรง และอีกบางส่วนจากกองประมาณราคา ฝ่ายสำรวจออกแบบ การประปาส่วนภูมิภาค ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง

และใช้เทียบเคียงกับข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง โดยประมาณที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการ โครงการ มีรายการคำนวณค่าใช้จ่ายซึ่งจะกล่าวใน ภาคผนวก ก

4.1.6 ผลการศึกษาข้อมูลการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2)

1. ค่าก่อสร้างบ่อดันที่เกิดขึ้นจริงสูงกว่าค่างานที่เบิกเงินได้จากบัญชีปริมาณงาน (BOQ) สาเหตุเนื่องมาจากความยาวท่อเหล็กปากระฆังที่จะต้องร้อยไส้ยาวท่อนละ 9 เมตร ทำให้ต้องก่อสร้างบ่อดันที่มีขนาดใหญ่โดยมีความยาวของบ่อดัน 14.30 เมตรเพื่อที่จะสามารถลำเลียงท่อเหล็กปากระฆังเต็มท่อนลงไปทำการร้อยไส้ได้

2. บ่อดันที่มีขนาดใหญ่นี้ทำให้ต้องเสริมความแข็งแรงให้กับบ่อ โดยเพิ่มการยึดโยงและค้ำยันให้กับโครงสร้างเพิ่มเติม จึงทำให้มีค่าใช่จ่ายเพิ่มขึ้น และสูงกว่าจำนวนเงินที่ผู้รับจ้างจะสามารถเบิกเงินได้ตามบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (Bill of Quantities ; BOQ)

3. ในส่วนค่าก่อสร้างบ่อรับ ที่เกิดขึ้นจริงต่ำกว่าค่างานที่เบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) สอดคล้องกับราคาประมาณการโดยผู้วิจัย เนื่องจากบ่อรับไม่จำเป็นต้องก่อสร้างให้บ่อมีความยาวมากนัก เพียงแต่ยาวเพียงพอที่จะยกชุดหัวเจาะขึ้นมาได้ก็เพียงพอแล้ว

4. ในส่วนค่างานก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันท่อลอด (บาท/เมตร) พบว่าได้ค่าที่ใกล้เคียงกันกับส่วนประมาณการโดยผู้วิจัยซึ่งกล่าวไว้ในภาคผนวก ก รายการคำนวณค่าใช้จ่ายนี้ตั้งสมมติฐานอัตราการดันท่อที่ 8 เมตรต่อวัน ในการทำงานจริงจะทำการดันท่อปลอกคอนกรีตจนครบความยาวที่ต้องการ จึงจะทำการร้อยไส้ด้วยท่อเหล็กปากระฆังได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานจากค่าอัตราการดันท่อที่ได้ข้อมูลจากผู้รับจ้าง โดยปรับให้เป็นค่าอัตราการดันท่อให้เกิดการดันท่อปลอก และร้อยด้วยท่อไส้ไปพร้อมๆกัน จึงทำให้ประมาณการค่าใช้จ่ายการดันท่อต่อเมตรได้ค่าออกมาใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าสมมติฐานนี้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงที่เกิดขึ้น

4.1.7 ปัญหา อุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างทำการก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2)

1. เกิดค่าใช้จ่ายจริงสูงเกินกว่าราคาใน BOQ เนื่องจากในการประมาณราคามิได้คำนึงว่าบ่อดันที่มีขนาดใหญ่ จะต้องมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาบ่อในระหว่างที่ทำการก่อสร้างด้วย การสัญจรของยวดยานจราจร ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน จนทำให้ต้องมีการเสริมความแข็งแรงของบ่อโดยการเพิ่มเติมค้ำยัน และซ่อมแซมรอยเชื่อมหรือชิ้นส่วนที่เกิดการเสียรูปอยู่เป็นประจำทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่อยู่เหนือการคาดการณ์ขึ้น

2. ต้องควบคุมแนวและระดับอย่างใกล้ชิด เนื่องจากสามารถยอมให้เยื้องศูนย์ได้ไม่เกิน 2 ซม. เพื่อให้สามารถดันท่อเหล็กปากระฆังได้โดยไม่ติดท่อปลอกคอนกรีต

3. พบอุปสรรคบางอย่างขวางแนวการวางท่อ เช่น ท่อนไม้ขนาดเล็ก หินดินดาน ซึ่งดันทะลุผ่านได้ยาก ต้องทำการสลับท่อฉีดสารละลายเบนโทไนท์กับท่อดูดน้ำดิน เนื่องจากท่อดูดน้ำดินอุดตัน

4. การดันท่อต้องทำอย่างต่อเนื่องเพื่อไม่ให้ดินรอบ ๆ ท่อปลอกคอนกรีตแห้งตัว ป้องกันมิให้เกิดแรงเสียดทานต้านการดันท่อมาก

5. ระหว่างการร้อยไส้ท่อเหล็ก บริเวณปากระฆังจะเกิดการครูดกับท่อปลอกคอนกรีต ทำให้พลาสติกพันท่อ (Monotape) ที่พันท่ออยู่เกิดความเสียหาย

6. บ่อดันที่ใช้มีขนาดใหญ่เนื่องจากความยาวของท่อเหล็กปากระฆังท่อนละ 9.00 เมตร ในกรณีที่เส้นทางในการดันท่อมีทางโค้งมากต้องทำการขยายบ่อเพื่อปรับแนวท่อให้รับมุมกับแนวบ่อ

7. สภาพดินหน้างานไม่แน่นอน ทำให้บางช่วงต้องใช้แรงดันมากกว่าปกติ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นคอนกรีตยันหลัง และสภาพดินด้านหลังบ่อดัน จึงต้องทำการเปิดดินด้านหน้าหัวดันเพื่อขุดวางท่อเหล็กเหนียวต่อไปในส่วนที่เหลือ

8. จะต้องทำความสะอาดถังตะกอนดินอยู่เสมอ เนื่องจากตะกอนดินที่มีมาก จึงต้องขนถ่ายตะกอนดินทุกวันที่มีการทำงาน ทำให้เสียเวลาเวลาในการทำงานไปด้วย

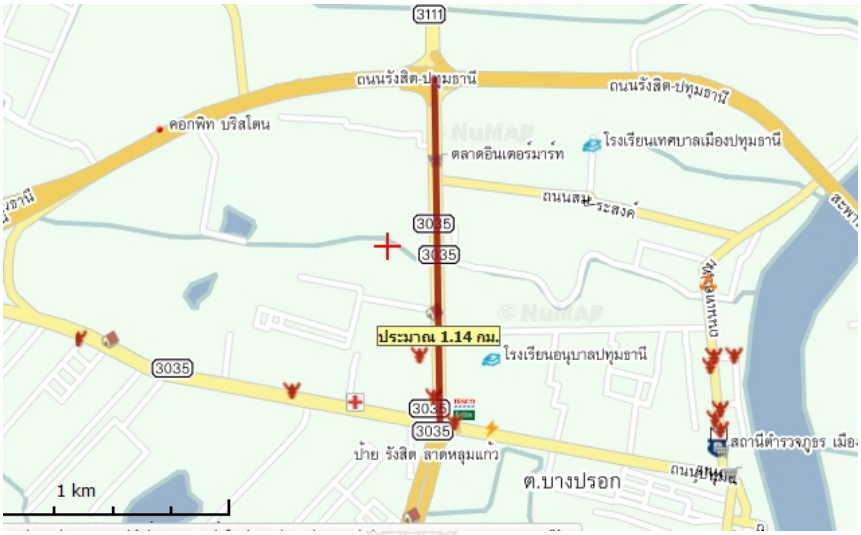
9. การดันท่อปลอกคอนกรีตจะต้องดันให้ได้แนว เพื่อไม่ให้ท่อบิดตัวมาก ทำให้น้ำยางกั้นน้ำบริเวณรอยต่อรั่วซึม โดยจุดที่มีการรั่วซึมจะต้องอุดด้วยซิลิโคนแข็งเพื่อป้องกันน้ำรั่ว และให้สามารถรับแรงดันท่อได้

10. ระหว่างการดันท่อลอดพบว่า ถนนเกิดการทรุดตัวมากในบางช่วงของงานต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม

11. ในระหว่างการดันท่อ หากบ่ออยู่ใกล้กับแนวท่อระบายน้ำ จะมีน้ำไหลเข้าบ่อตลอดเวลา ซึ่งหากดินรอบๆบ่อเป็นดินทรายจะทำให้ถนนทรุดตัวมาก จะต้องทำการกดเข็มพืด (Sheet Pile) แบบเกี่ยวบังใบ เพื่อกันดินทรุดตัว ทำให้เสียเวลาในการก่อสร้างบ่อมากขึ้น

4.2 กรณีศึกษาที่ 2 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)

4.2.1 รายละเอียดของโครงการ การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) ประกอบด้วยงานวางท่อประธาน จำนวน 1 เส้นทาง เป็นงานดันท่อเหล็ก 2 ชั้น งานดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน และงานขุดวางท่อเหล็กเหนียว สถานที่ก่อสร้างอยู่ช่วง ถนนรังสิต-ปทุมธานี (ช่วงจากสี่แยกสันติสุขถึงสี่แยกปทุมวิไล) ดันท่อเหล็ก 2 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม. ความยาว 1,130 ม.



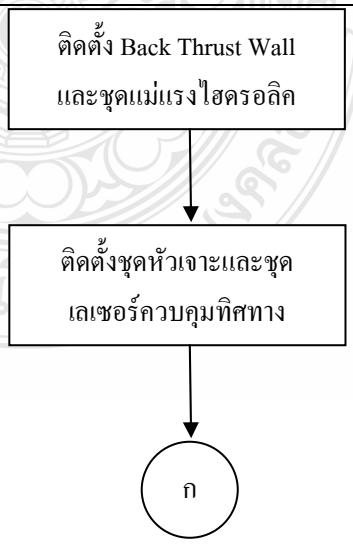
ภาพที่ 4.3 แผนที่แสดงตำแหน่งโครงการ

4.2.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง โครงการนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานดันท่อเหล็ก 2 ชั้น ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม. โดยทำการดันท่อลอดปริเวณถนนรังสิต-ปทุมธานี (ช่วงจากสี่แยกสันติสุขถึงสี่แยกปทุมวิไล) โดยมีความลึกหลังท่อประมาณ 3.50 ม. ทำการเปิดบ่อดัน และบ่อรับเป็นช่วง ๆ ระยะห่างระหว่างบ่อประมาณ 200 ม. โดยใช้หัวดันแบบ Slurry Earth Pressure Balance ซึ่งมีการฉีดสารละลายโพลิเมอร์ด้านหน้าหัวเจาะ ท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น มีความยาวท่อนละ 6 เมตรหรือบางช่วงอาจใช้ท่อนสั้นกว่านี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ดันท่อขณะนั้น

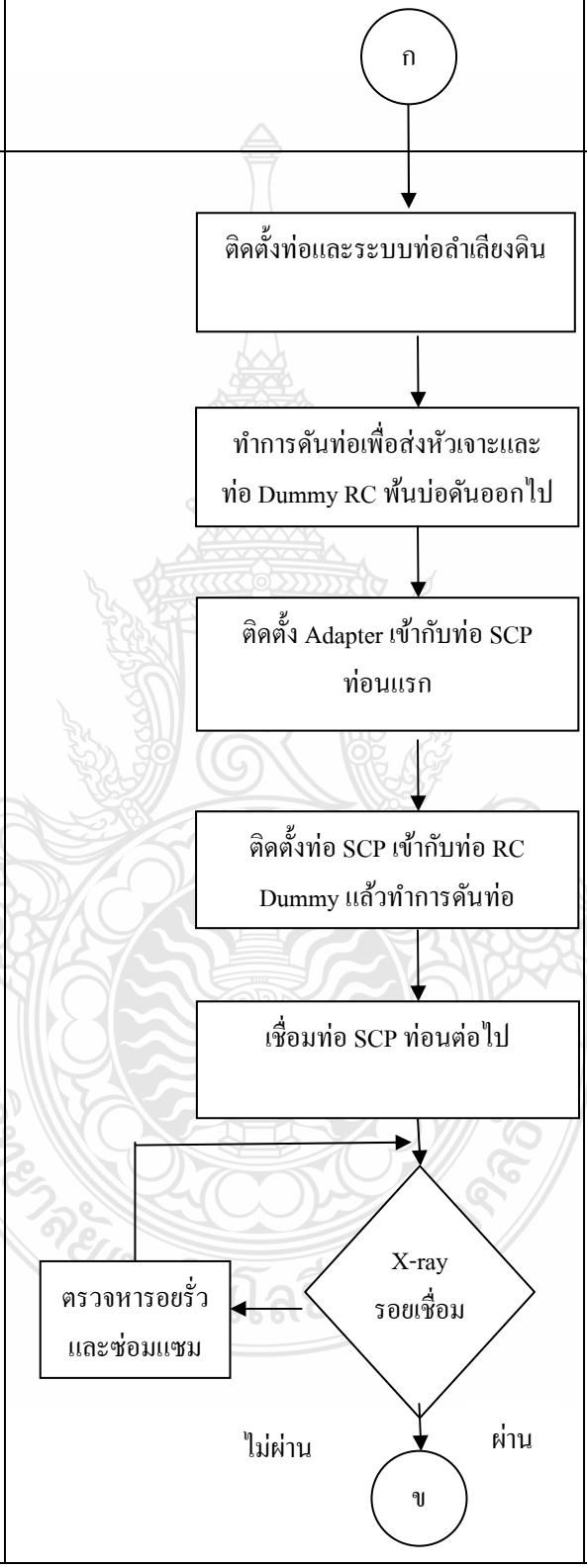
ในการทำงานจะเริ่มทำการก่อสร้างบ่อดัน และบ่อรับแล้วจึงดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้นจากบ่อดันไปยังบ่อรับจนครบความยาวท่อที่ต้องการ ซึ่งในขั้นตอนการดันจะต้องควบคุมแนวการดันท่อไม่ให้เยื้องศูนย์มาก จนกระทบต่อตำแหน่งของบ่อรับที่หัวเจาะจะทะลุ จากการดำเนินงานจริง พบว่ามีบางช่วงการดันที่เกิดความคลาดเคลื่อนของแนวท่อที่ดัน จนต้องทำการขยายบ่อรับเพื่อไปรับกับท่อที่ดันมา โดยรายละเอียดในส่วนนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

สรุปขั้นตอนงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม. ทางผู้วิจัยได้แสดงขั้นตอนการก่อสร้างโดยแสดงเป็นผังงาน (Flow Chart) ดังตารางที่ 4.4 และรูปถ่ายการดำเนินการก่อสร้างของการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) เพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.4 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข1

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 ภาคผนวก ข อธิบายด้วยภาพที่
1. การก่อสร้างบ่อดัน บ่อรับ		1 - 22
2. ติดตั้งชุด Jacking System		23 -32

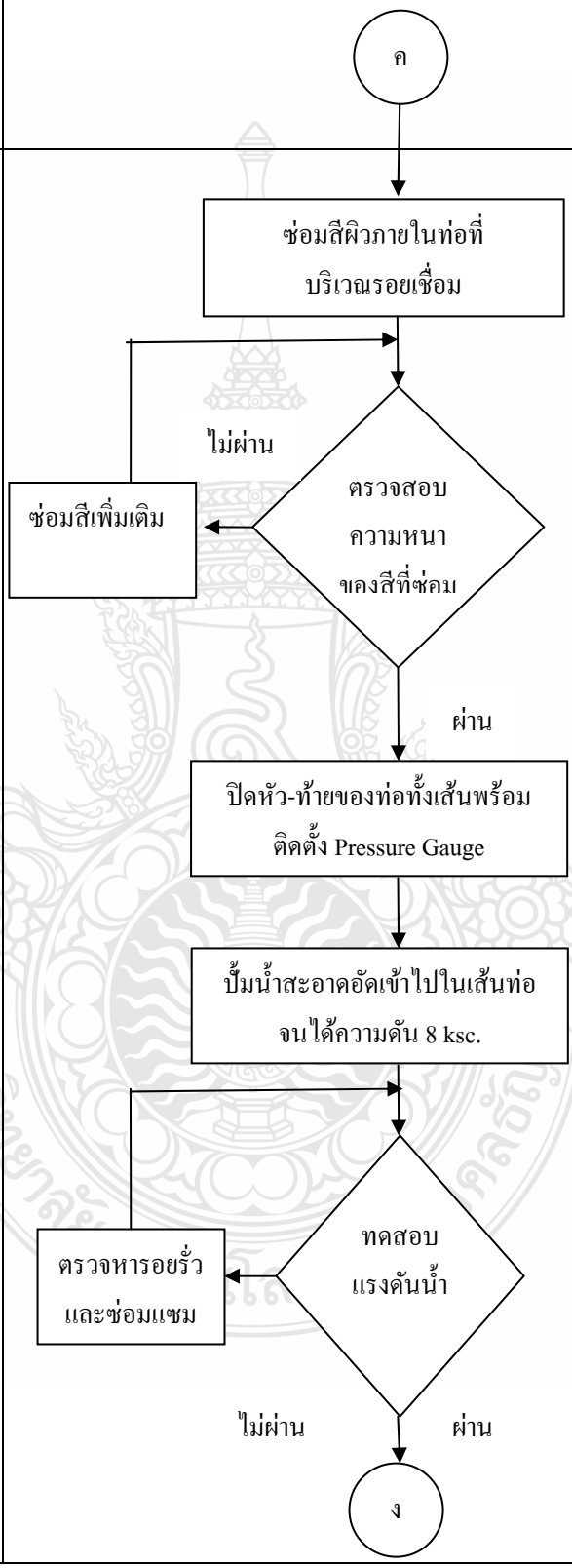
ตารางที่ 4.4 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 ภาคผนวก ข อธิบายด้วยภาพที่
3. การดันท่อ		32 - 62

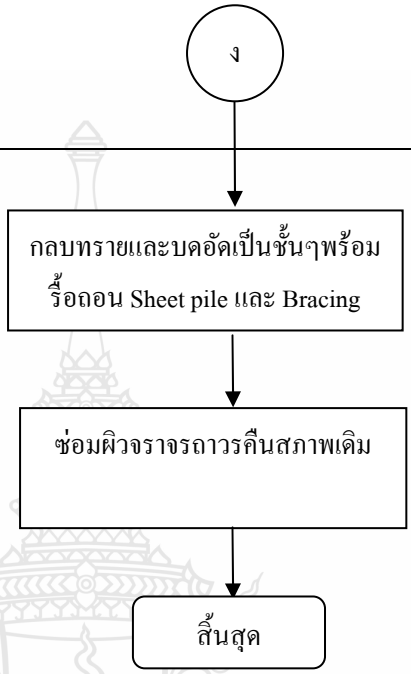
ตารางที่ 4.4 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข1(ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน	ข	จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 ภาคผนวก ข อธิบายด้วยภาพที่
	ทำการ Coating รอยเชื่อมโดยทา Primer แล้วพันด้วย Monotape ↓ เชื่อมปิดช่วงรอยเชื่อมด้วย Steel Encasing ↓ ทำการดันท่อโดยติดตั้ง Spacer เพื่อเพิ่มระยะช่วงชักของแม่แรง ↓ เชื่อมท่อ ทดสอบรอยเชื่อมท่อ SCP แล้วดัน ทำเช่นนี้จนดันท่อได้ครบ	
4. การทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic Pressure Test)	เช็ดล้างทำความสะอาดภายในท่อ ↓ ค	63 - 68

ตารางที่ 4.4 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 (ต่อ)

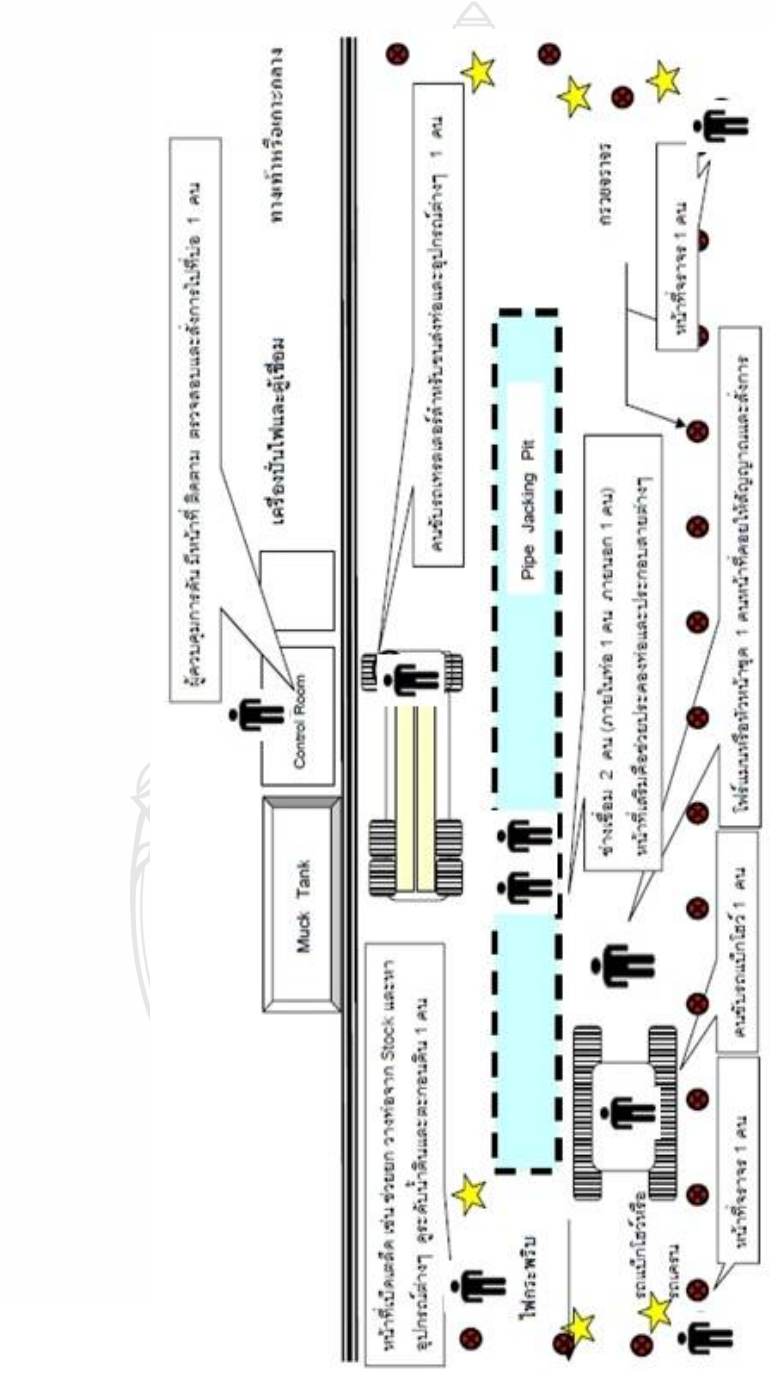
ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 ภาคผนวก ข อธิบายด้วยภาพที่
		

ตารางที่ 4.4 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข1 ภาคผนวก ข อธิบายด้วยภาพที่
5. รื้อถอนบ่อและซ่อมผิวจราจรคืนสภาพเดิม		69 - 70

4.2.3 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานดันท่อ

จากการสังเกตและการสอบถามผู้ควบคุมงานรวมทั้งหัวหน้าชุดงานขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูล พบว่าการจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่ม และการระบุหน้าที่ความรับผิดชอบในการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) ได้จัดอัตรากำลังคน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานการดันท่อรูปแบบ ข1

4.2.4 อัตราการทำงานใน 1 รอบของการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)

จากการเก็บข้อมูลโดยใช้ Time Sheet ขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูล พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) การดันท่อ พบปัญหา อุปสรรคและความล่าช้าของงานดันท่อรูปแบบ ข1 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) การดันท่อรูปแบบ ข1

กิจกรรม	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)	สาเหตุที่มักทำให้เกิดปัญหา อุปสรรค ความล่าช้า
ติดตั้งสัญญาณไฟจราจรและเปิดบ่อ	34	การจราจรหนาแน่น การยก การวางฝาบ่อคอนกรีต
ตรวจเลเซอร์ Alignment และยกท่อลงพร้อมติดตั้ง Spacer	26	เสียเวลาสูบน้ำและประกอบท่อ ขั้วสายไฟหลุด การเช็คสายต่อสาย การเช็คแนว
ทำการเชื่อมและทดสอบรอยเชื่อม	151	รอผลการทดสอบ การซ่อมแซมรอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์
พัน Monotape แล้วเชื่อมปิดช่วงรอยเชื่อมด้วย Steel Encasing	48	อุปกรณ์มีไม่ครบ ใช้คนงานที่ไม่ชำนาญพันไม่เรียบร้อยต้องแก้ไขใหม่
ทำการดันท่อจนสุดความยาว (ท่อนยาว 6 ม.) และรื้อ Spacer	164	เครื่องปั่นไฟหรือปั๊มขัดข้อง มีเศษไม้เข้ามาอุดในรูท่อดูดน้ำดินออก มีสิ่งกีดขวางที่หน้าหัวเจาะ เช่น เสาเข็มไม้

นอกเหนือไปจากข้อมูลที่ได้ของผู้วิจัยเอง โครงการก่อสร้างเองก็ได้มีการเก็บข้อมูลสถิติการทำงานโดยค่าเฉลี่ยในกิจกรรมอื่นๆนอกเหนือจากที่ผู้วิจัยศึกษา ข้อมูลดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

1. เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างบ่อดันแบบกด Sheet Pile 15 วัน
2. เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างบ่อรับแบบกด Sheet Pile 10 วัน
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ดันท่อ 10 วัน
4. อัตราการดันท่อเหล็ก 2 ชั้น (ท่อนละ 6.00 เมตร) เฉลี่ย 6 เมตร/วัน

4.2.5 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง สามารถทราบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่างานที่สามารถเบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (Bill of Quantities ; BOQ) ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) การดันท่อรูปแบบ ข1

รายการ	**ราคาจาก BOQ**	**ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณ**
ค่าก่อสร้างบ่อดัน (บาท)	350,000	367,500
ค่าก่อสร้างบ่อรับ (บาท)	150,000	136,800
ค่าก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันลอด (บาท / เมตร)	32,000	30,000

เนื่องจากรายละเอียดการคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง ผู้รับจ้างไม่ยินดีที่จะเปิดเผย ซึ่งต้นทุนหลายรายการเป็นความลับของบริษัท ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการประมาณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเองโดยการสอบถามข้อมูลการคิดราคาบางรายการจากผู้รับจ้างโดยตรง และอีกบางส่วนจากกองประมาณราคาฝ่ายสำรวจออกแบบ การประปาส่วนภูมิภาค ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง และใช้เทียบเคียงกับข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการ มีรายการคำนวณค่าใช้จ่ายซึ่งจะกล่าวในภาคผนวก ข

4.2.6 ผลการศึกษาข้อมูลของการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)

1. ค่าก่อสร้างบ่อดันที่เกิดขึ้นจริงสูงกว่าค่างานที่เบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) สาเหตุเนื่องมาจากความยาวท่อท่อนละ 6 เมตร ทำให้ต้องใช้แรงในการดันท่อสูงมาก ส่งผลให้กำแพงยันหลัง (Back Thrust Wall) ของบ่อดันเสียหาย จะต้องทำการซ่อมแซมพร้อมเสริมความแข็งแรงให้กับบ่อโดยเพิ่มการยึดโยงและค้ำยันในส่วนของโครงสร้างเพิ่มเติม

2. ในส่วนค่าก่อสร้างของบ่อรับ ผู้วิจัยประมาณการค่าใช้จ่ายได้ต่ำกว่าข้อมูลที่ได้ จากการสัมภาษณ์ทั้งนี้เนื่องมาจากวัสดุ และอุปกรณ์รวมทั้งเครื่องมือเครื่องจักร สามารถใช้ในระยะเวลาก่อสร้างเดียวกันกับการก่อสร้างบ่อดัน ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายบางส่วนได้

3. ในส่วนค่างานก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันท่อลอด (บาท/เมตร) พบว่า ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ในส่วนประมาณการโดยผู้วิจัยเองรายการคำนวณค่าใช้จ่ายนี้ตั้งสมมติฐานอัตราการดันท่อ 2 วัน ต่อท่อน ในกรณีที่การทำงานใช้เวลามากกว่า 2 วัน ค่าใช้จ่ายต่อท่อนที่เกิดขึ้นจะสูงกว่านี้ การที่ได้ค่าออกมาใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่า สมมติฐานนี้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงที่เกิดขึ้น

4.2.7 ปัญหา อุปสรรคระหว่างการก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)

จากการสังเกต และการสอบถามผู้ควบคุมงานรวมทั้งวิศวกรโครงการขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูลสามารถสรุปปัญหา อุปสรรคของการดันท่อรูปแบบ ข1 ได้ดังนี้

1. เกิดค่าใช้จ่ายจริงสูงเกินกว่าราคาใน BOQ เนื่องจากในการประมาณราคา มิได้คำนึงน้ำหนักของท่อ 2 ชั้น และมีความยาวถึงท่อนละ 6 เมตร ทำให้ต้องใช้แรงในการดันท่อสูงจึงส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อกำแพงยันหลังรวมถึงผนังบ่อด้านหลัง ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและทำการยึดโยงเพิ่มเติมในระหว่างทำการก่อสร้าง

2. ในการดันท่อเหล็ก 2 ชั้น ต้องควบคุมแนว และระดับไม่ให้เยื้องศูนย์มาก ซึ่งทำให้ต้องขยายบ่อรับเพื่อปรับให้แนวของการดันท่อให้กลับเข้าสู่แนวตามที่กำหนดไว้ ทำให้ต้องเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

3. พบอุปสรรคบางอย่างขวางแนวการวางท่อ เช่น ท่อนไม้ขนาดเล็ก ก้อนคอนกรีต ซึ่งดันทะลุผ่านได้ยาก และวัสดุดังกล่าวมักอุดตันท่อดูดดินกลับ ทำให้เสียเวลาไปเปิดแก้ไขที่หน้าหัวดันหรือต้องทำการสลับสายท่อสูบน้ำเข้ากับท่อดูดน้ำดินออก เพื่อพ่นสิ่งที่ติดค้างภายในท่อ

4. การดันท่อต้องทำอย่างต่อเนื่องเพื่อไม่ให้ดินรอบๆท่อแห้งตัว และป้องกันมิให้เกิดแรงเสียดทานต้านการดันท่อมาก

5. อุปกรณ์ของระบบท่อในท่อดัน มักทำให้ผนังท่อภายในเสียหายรวมถึง เกิดความสกปรก จนต้องเสียเวลาในการทำความสะอาด และซ่อมแซมสีภายในท่อ พบว่าที่ความยาวท่อประมาณ 150 เมตร ต้องใช้เวลาทำความสะอาดและการซ่อมสีภายในท่อถึง 1 เดือน

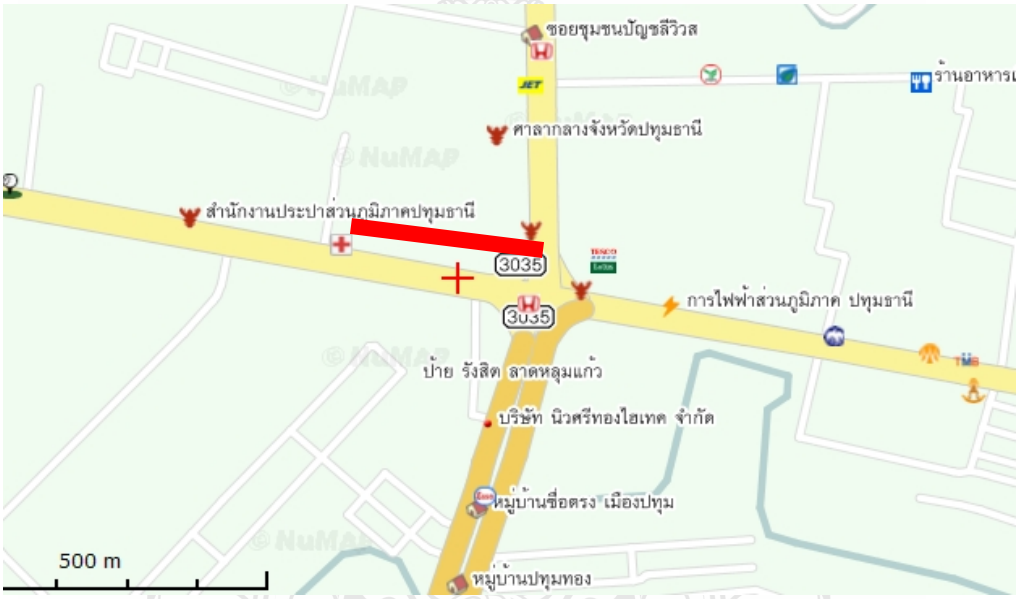
6. เสียเวลาในการรอผลการทดสอบรอยเชื่อมโดยวิธีฉายรังสีเอกซ์ (X-ray) ค่อนข้างมาก โดยในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ไม่สามารถที่จะทำงานอย่างอื่นต่อได้เลย จึงถือเป็นจุดวิกฤตหากเครื่องทดสอบเสีย หรือการทดสอบไม่สมบูรณ์ต้องทดสอบซ้ำอีกครั้ง เนื่องจากท่อดันแต่ละท่อนเชื่อมต่อกันด้วยการเชื่อม ดังนั้น การบิดแนวในแต่ละจุดจึงทำได้น้อยมาก ซึ่งหากก่อสร้างวางท่อในแนวถนนที่มีทางโค้งมากๆ จะต้องมีการเตรียมการให้เหมาะสม หรือบางครั้งอาจต้องมีการเปิดบ่อพิเศษระหว่างบ่อดันกับบ่อรับเพื่อการปรับแนวท่อเพิ่มขึ้นอีก

4.3 กรณีศึกษาที่ 3 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

4.3.1 รายละเอียดของโครงการ

การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) เป็นงานส่วนหนึ่งของโครงการก่อสร้างปรับปรุงระบบท่อจ่ายน้ำ เช่นเดียวกันกับการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น ในกรณีศึกษาที่ 2 หัวข้อ 4.2 โดยขอบเขต และรายละเอียดของโครงการก่อสร้างประกอบด้วย งานวางท่อประธานจำนวน 1 เส้นทาง ดังนี้

ทางหลวงจังหวัดหมายเลข 3035 (ช่วงหน้าสำนักงานประปาถึงสี่แยกปทุมวิไล) ดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม. ความยาว 220 ม.



ภาพที่ 4.5 แผนที่แสดงตำแหน่งโครงการ

4.3.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม. เริ่มต้นที่ ทางหลวงจังหวัดหมายเลข 3035 (ช่วงหน้าสำนักงานประปาถึงสี่แยกปทุมวิไล) โดยมีความลึกหลังท่อประมาณ 3.50 ม. ทำการเปิดบ่อดันและบ่อรับเป็นระยะห่างระหว่างบ่อประมาณ 200 ม. โดยใช้หัวดันแบบ Slurry Earth Pressure Balance ซึ่งมีการฉีดสารละลายโพลิเมอร์ด้านหน้าหัวเจาะ ท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในมีความยาวท่อนละ 3 ม.

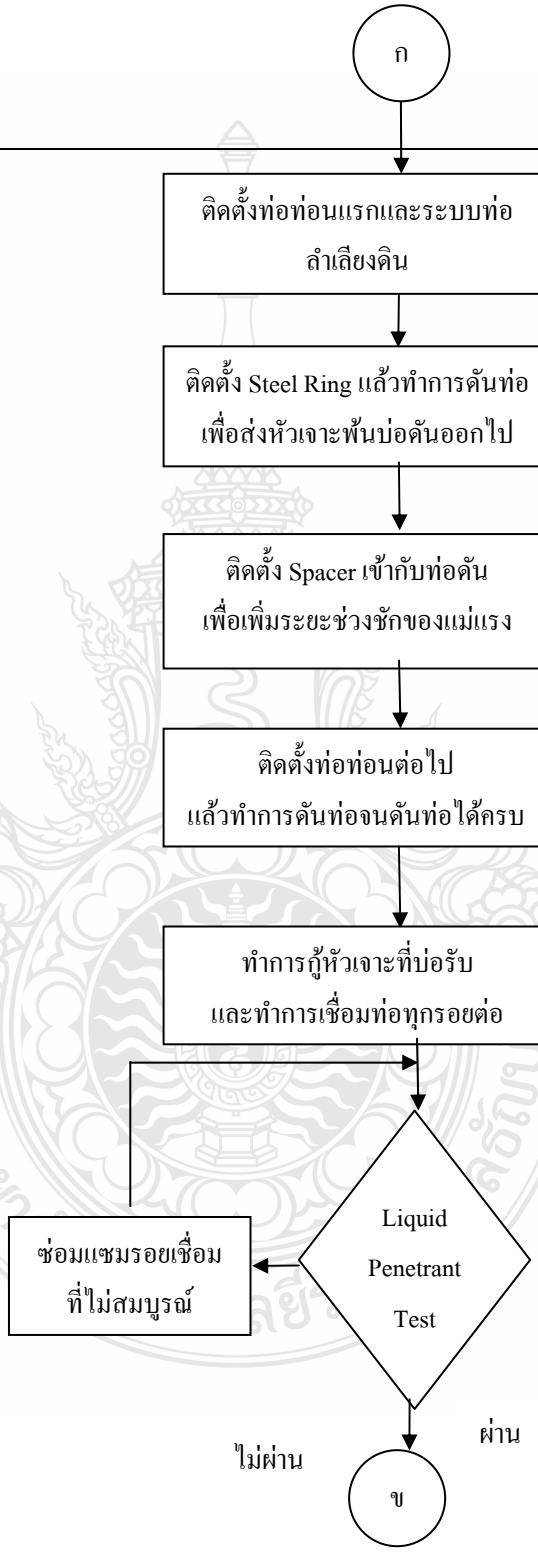
ในการทำงานจะเริ่มทำการก่อสร้างบ่อดันและบ่อรับแล้วจึงดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน จากบ่อดันไปยังบ่อรับจนครบความยาวท่อที่ต้องการ ซึ่งในขั้นตอนการดันจะต้องควบคุมแนวการดันท่อให้ไม่ให้เยื้องศูนย์มากเกินไป จนกระทบต่อตำแหน่งของบ่อรับที่หัวเจาะจะทะลุผ่าน ในการดำเนินงานจริง พบว่ามีความสะดวกในการปรับแนวท่อเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากท่อดันแต่ละท่อนเชื่อมต่อกันในลักษณะ Push-on คือ ที่ขอบของท่อปลอกจะถูกบากเป็นร่องบ่าอยู่ ส่วนอีกด้านของท่อปลอกก็จะถูกบากเช่นกัน เพื่อให้ปากท่อปลอกเสียบต่อกันได้พอดี เมื่อตรวจสอบแนวท่อจนแน่ใจแล้วจึงจะทำการเชื่อมท่อเหล็กเหนียวงในที่เป็นท่อวงใน ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้บริเวณจุดต่อของท่อสามารถมีค่ามุมเบี่ยงเบนที่ยอมให้ได้มากขึ้น

สรุปขั้นตอนงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม. ทางผู้วิจัยได้แสดงเป็นขั้นตอนการก่อสร้างโดยได้แสดงเป็นผังงาน (Flow Chart) ดังตารางที่ 4.7 และรูปถ่ายการดำเนินการก่อสร้างของการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) เพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก ค

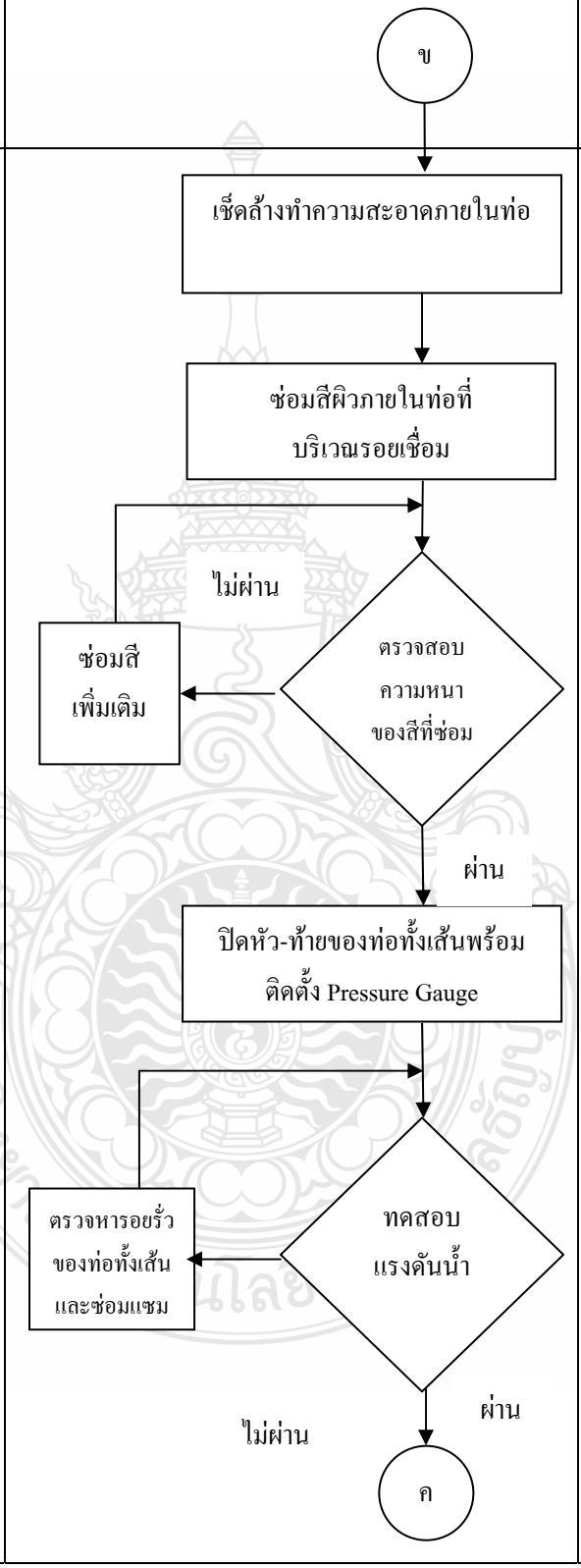
ตารางที่ 4.7 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข2

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข2 ภาคผนวก ค อธิบายด้วยภาพที่
1.การก่อสร้างบ่อดัน บ่อรับ	เริ่มต้น ↓ กำหนดตำแหน่งบ่อและจัดทำ Line & Grade ↓ ตัดผิวจราจรและขุดเจาะเปิดผิวจราจร ↓ กด Sheet Pile และทำการ Bracing ตามระดับความลึกที่ออกแบบ ↓ เท Base Slab พร้อมติดตั้งรางดันท่อและ Soft Eye	1 - 16
2. ติดตั้งชุด Jacking System	↓ ติดตั้ง Back Thrust Wall และชุดแม่แรงไฮดรอลิค ↓ ติดตั้งชุดหัวเจาะและชุดเลเซอร์ควบคุมทิศทาง ↓ ก	14 -23

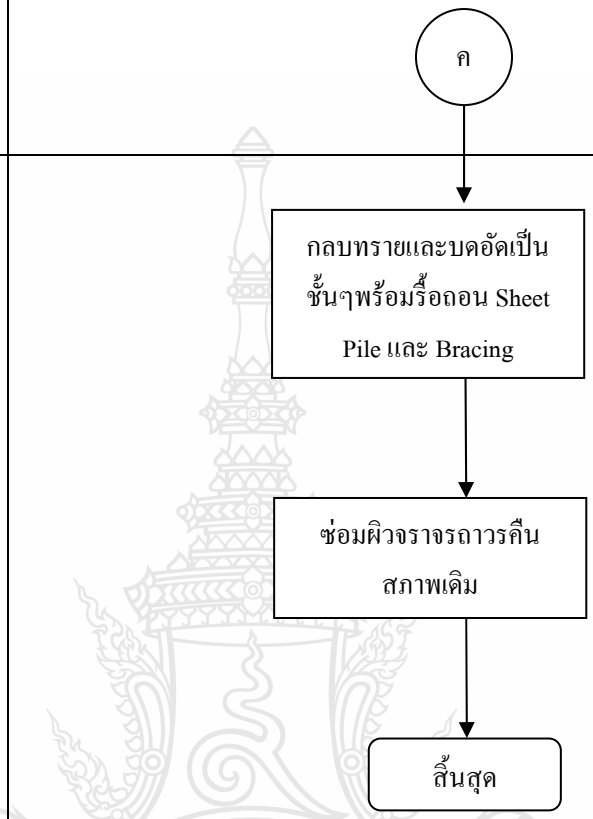
ตารางที่ 4.7 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข2 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข2 ภาคผนวก ค อธิบายด้วยภาพที่
3. การดันท่อ		24 - 56

ตารางที่ 4.7 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข2 (ต่อ)

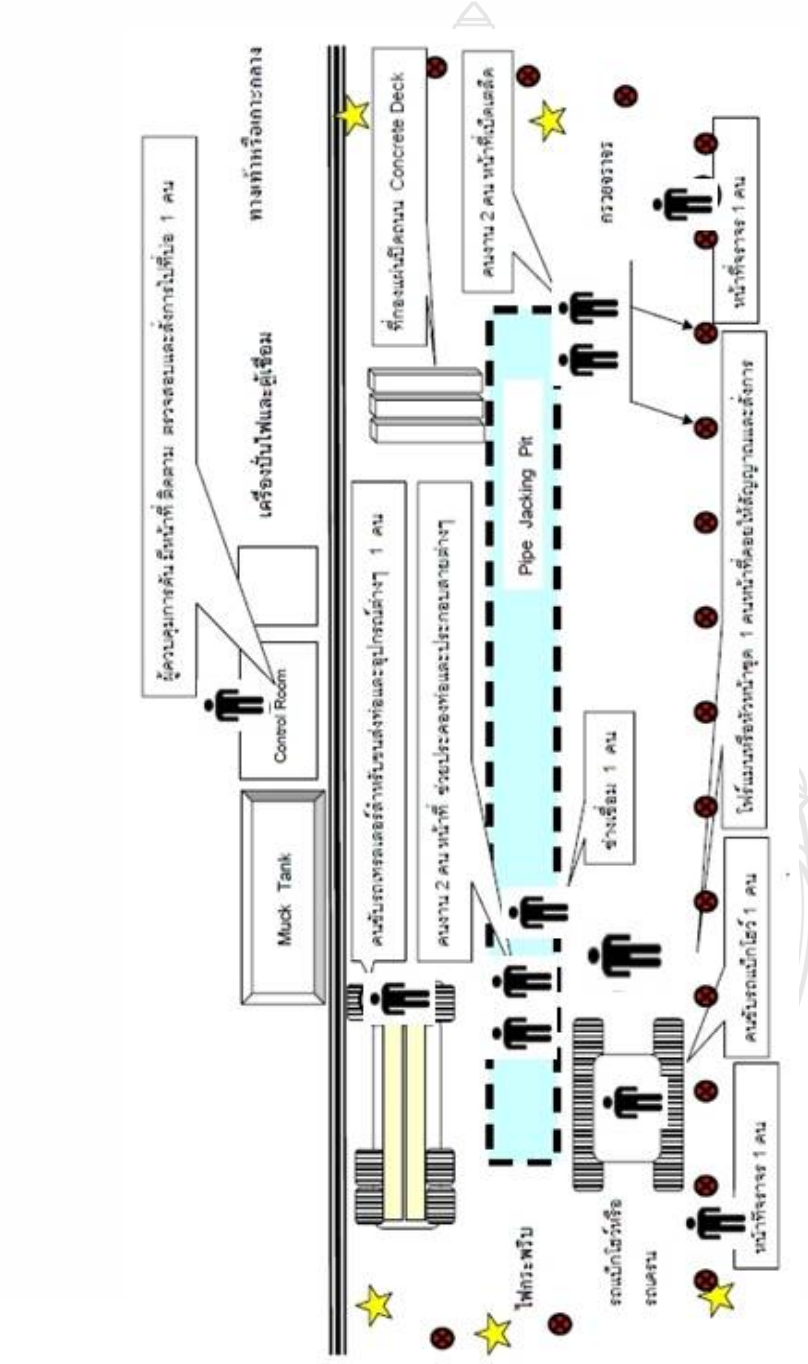
ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข2 ภาคผนวก ค อธิบายด้วยภาพที่
4. การทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic Pressure Test)		41 - 42 , 57 - 59

ตารางที่ 4.7 แผนผังกระบวนการทำงานการดันท่อลอดรูปแบบ ข2 (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน		จากรูปถ่ายการดันท่อลอดรูปแบบ ข2 ภาคผนวก ค อธิบายด้วยภาพที่
5. รื้อถอนบ่อและซ่อมผิวจราจรคืนสภาพเดิม		60 - 62

4.3.3 การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่มงานดันท่อ

จากการสังเกตและการสอบถามผู้ควบคุมงานรวมทั้งหัวหน้าชุดงานขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูลพบว่า การจัดอัตรากำลังคนต่อกลุ่ม และการระบุหน้าที่ความรับผิดชอบงานดันท่อรูปแบบ ข2 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ได้มีการจัดอัตรากำลังคน ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 การจัดอัตรากำลังคนของการดันท่อรูปแบบ ข2

4.3.4 อัตราการทำงานใน 1 รอบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

จากการเก็บข้อมูลโดยใช้ Time Sheet ขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูล พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) พร้อมปัญหา อุปสรรคและความล่าช้าของงานดันท่อรูปแบบ ข2 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม 1 รอบ (Cycle) การดันท่อรูปแบบ ข2

กิจกรรม	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)	สาเหตุที่มักทำให้เกิดปัญหา / อุปสรรค / ความล่าช้า
ติดตั้งสัญญาณไฟจราจรและเปิดบ่อ	8	คนขับรถเครนมาสาย มีฝนตกทัศนะวิสัยการมองเห็นไม่ชัดเจน การยกวางฝาบ่อคอนกรีต
ตรวจเลเซอร์ Alignment และยกท่อลง	15	รอการขนส่งท่อมาส่ง การเช็คสายต่อสายต่าง ๆ
ดันท่อท่อนแรก	22	สายอัดฉีดสารโพลิเมอร์แตกรั่ว ไอร้อนขึ้นบดบังแสงเลเซอร์ทำให้ไม่มีข้อมูลที่จอมอนิเตอร์ เดินเครื่องไล่อากาศออก ท่อลมหลุด ฝนตกทำให้ต้องสูบน้ำออกจากบ่อ สัญญาณจากตู้ควบคุมเกิดขัดข้อง มีสิ่งกีดขวางที่หน้าหัวเจาะ เช่น เสาเข็มไม้
ถอยแม่แรง	4	-
ผูกมัดท่อส่งน้ำดูดดินและหย่อน Spacer (2.6 ม.)	4	-
ดันท่อท่อนที่ 2	25	รอการเปลี่ยนถ่ายน้ำในถัง Muck Tank รอการตักตะกอนดินออกจาก Muck Tank มีเศษไม้เข้ามาอุดในรูท่อดูดน้ำดินออก ฝนตกทำให้ต้องหยุดเดินเครื่องจ่ายไฟ
ถอยแม่แรง ปิดวาล์วถอยท่อส่งน้ำดิน สายไฮดรอลิกและยก Spacerออก หย่อนวางท่อ 2ท่อนต่อไปลงบนรางดันและต่อท่อ ระบบทั้งหมด	40	เสียเวลาเปลี่ยนท่อที่มีรอยร้าว เสียเวลาตรวจเช็คสายไฟและเลเซอร์ การรอรถมาส่งท่อ การตักดินทิ้งและเปลี่ยนน้ำผสมโพลิเมอร์ใหม่

นอกเหนือไปจากข้อมูลของผู้วิจัย โครงการก่อสร้างเองก็ได้มีการเก็บข้อมูลสถิติการทำงานโดยค่าเฉลี่ยในกิจกรรมอื่นๆนอกเหนือจากที่ผู้วิจัยศึกษา ข้อมูลดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

1. เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างบ่อดันแบบกด Sheet Pile 15 วัน
2. เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างบ่อรับแบบกด Sheet Pile 10 วัน
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ดันท่อ 7 วัน
4. ระยะเวลาที่ใช้ในการรื้ออุปกรณ์ดันท่อ 10 วัน
5. อัตราการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน(ท่อนละ3.00 เมตร)เฉลี่ย 9 เมตร/วัน

4.3.5 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ของการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง สามารถทราบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (Bill of Quantities ; BOQ) ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณเทียบกับมูลค่าที่สามารถเบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) การดันท่อรูปแบบ ข2

รายการ	ราคาจาก BOQ	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณ
ค่าก่อสร้างบ่อดัน (บาท)	350,000	394,700
ค่าก่อสร้างบ่อรับ (บาท)	250,000	230,000
ค่าก่อสร้างวางท่อโดยวิธีดันลอด (บาท/เมตร)	39,200	41,000

เนื่องจากรายละเอียดการคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง ผู้รับจ้างไม่ยินดีที่จะเปิดเผย ซึ่งต้นทุนหลายรายการเป็นความลับของบริษัท ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการประมาณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเองโดยการสอบถามข้อมูลการคิดราคาบางรายการจากผู้รับจ้างโดยตรง และอีกบางส่วนจากกองประมาณราคาฝ่ายสำรวจออกแบบ การประปาส่วนภูมิภาค ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและใช้เทียบเคียงกับข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงโดยประมาณที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการ ซึ่งมีรายการคำนวณค่าใช้จ่ายซึ่งจะกล่าวใน ภาคผนวก ค

4.3.6 ผลการศึกษาข้อมูลของการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

1. ค่าก่อสร้างบ่อดันที่เกิดขึ้นจริงสูงกว่าค่างานที่เบิกเงินได้ จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) สาเหตุเนื่องมาจากระดับความลึกของการดันท่อในจุดนี้ ถูกกำหนดโดยกรมทางหลวงที่ต้องการให้ระดับท่อที่ผ่านบริเวณจุดงานนี้ กำหนดให้ระดับหลังท่ออยู่ที่ประมาณ 6 เมตร เพื่อกันพื้นที่ไว้ให้การขยายระบบการระบายน้ำของอุโมงค์ลอดทางแยกที่บริเวณดังกล่าว ทำให้ต้องก่อสร้างบ่อดันที่มีความลึกมากถึง 8 เมตร ต้องเสริมความแข็งแรงให้กับบ่อโดยเพิ่มการยึดโยงและค้ำยันโครงสร้างถึง 4 ชั้น ซึ่งหากเปรียบเทียบกับบ่อดันของการดันท่อลอดรูปแบบอื่นๆ จะค้ำยันโครงสร้างเพียง 3 ชั้นเท่านั้น ทำให้ในส่วนนี้ต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น อีกทั้งบ่อดันที่ลึกก็จะต้องเพิ่มปริมาณทรายถมและค่าขนส่งมากขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประมาณการค่าใช้จ่ายโดยผู้วิจัยเองมีความสอดคล้องดังที่ได้กล่าวสรุป

2. ในส่วนค่าก่อสร้างบ่อรับ ที่เกิดขึ้นจริงต่ำกว่าค่างานที่เบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) สอดคล้องกับประมาณการโดยผู้วิจัย เนื่องจากบ่อรับไม่จำเป็นต้องก่อสร้างให้บ่อมีความยาวมากนัก เพียงแต่ยาวเพียงพอที่จะยกชุดหัวเจาะขึ้นมาได้ก็เพียงพอแล้ว

3. ในส่วนค่างานก่อสร้างงานวางท่อโดยวิธีดันท่อลอด (บาท/เมตร) พบว่าได้ค่าที่แตกต่างกันไม่มากโดยประมาณการ โดยผู้วิจัยเองประมาณได้ค่าที่ต่ำกว่าค่างานที่เบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) แต่ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ ได้ค่าที่สูงกว่าค่างานที่เบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ) จึงได้สอบถามผู้รับจ้าง ได้รับการชี้แจงว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการขาดทุนในค่างานก่อสร้างดันท่อเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ

- ในระหว่างการดันมีอุปสรรคที่ไม่สามารถดันท่อเคลื่อนไปข้างหน้าได้ หัวเจาะได้ติดอยู่กับวัตถุที่ไม่ทราบว่าเป็นอะไร แต่เนื่องจากการที่ไม่ต้องการให้หลุมเจาะเกิดการแห้งตัว จึงต้องเดินเครื่องหัวเจาะไปเรื่อยๆ พร้อมทำการฉีดสารละลายเลี้ยงอยู่ประมาณ 1 เดือนจนตัดสินใจที่จะต้องทำการขุดเปิดดินเพื่อกู้ชุดหัวเจาะจึงได้ทราบว่าหัวเจาะได้ติดอยู่กับหัวเสาเข็มคอนกรีตที่ตัดทิ้งไว้ คาดว่าจะเป็นของโครงการก่อสร้างอื่น

- อีกสาเหตุหนึ่ง ท่อดันชนิดนี้ถูกออกแบบให้สามารถทำการดันท่อให้แล้วเสร็จไปช่วงหนึ่งแล้ว จึงทำการเชื่อมท่อในภายหลังได้ ในการก่อสร้างพบว่าเมื่อดันท่อไปช่วงหนึ่งแล้ว ความกว้างของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้น กว้างเกินกว่ามาตรฐานความกว้างของรอยเชื่อมที่ 3 มม. จึงต้องมีการเสนอรายละเอียดด้านเทคนิคการเชื่อม เพื่อขออนุมัติและจัดหาผู้เชี่ยวชาญเซ็นต์รับรองรอยเชื่อมท่อ

ดังกล่าว สาเหตุ 2 ประการนี้เป็นส่วนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงเกินกว่าค่างานที่เบิกเงินได้จากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ)

4.3.7 ปัญหา อุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างทำการก่อสร้างของการดันท่อรูปแบบ ข2

จากการสังเกตและการสอบถามผู้ควบคุมงานรวมทั้งวิศวกรโครงการขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูลสามารถสรุปปัญหา อุปสรรคของการดันท่อรูปแบบ ข2 ได้ดังนี้

1. ลักษณะรูปแบบรอยต่อประสานของท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ไม่รองรับต่อการดันท่อแล้วเชื่อมในภายหลัง เพราะเมื่อดันท่อแล้วพบว่าระยะห่างระหว่างท่อบริเวณร่องที่จะเชื่อมกว้างเกินกว่า 3 มม. เป็นบางครั้ง ซึ่งที่ขนาดความกว้างนี้ไม่เหมาะสมที่จะเชื่อมโดยวิธีเชื่อมชน (Butt Weld) ทำให้ต้องมีการแก้ไขกันไปเฉพาะจุด โดยทำการเชื่อมพอกให้เต็มโดยรอบ และต้องมีผู้เชี่ยวชาญเซ็นต์รับรองคุณภาพของการเชื่อม อีกทั้งจะต้องนำชิ้นส่วนตัวอย่างไปทดสอบก่อน

2. เกิดค่าใช้จ่ายจริงสูงเกินกว่าราคาใน BOQ เนื่องจากปัญหาของความกว้างรอยเชื่อมดังที่กล่าวในปัญหา อุปสรรค ข้อ 1. ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้เชี่ยวชาญมาออกแบบการเชื่อมและรับรองผล อีกทั้งมีช่วงหนึ่งที่หัวเจาะติดอยู่กับหัวเสาเข็มคอนกรีตที่ถูกตัดทิ้งไว้ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องหัวเจาะ พร้อมฉีดสารละลายด้านหน้าหัวเจาะและด้านข้างท่อเพื่อเลี้ยงหลุมเจาะไม่ให้เกิดการแห้งตัว ช่วงระยะเวลาที่เกิดปัญหานี้กว่า 2 สัปดาห์ จึงสามารถทำลายหัวเสาเข็มที่กีดขวางออกได้

3. พบอุปสรรคบางอย่างขวางแนวการวางท่อ เช่น ท่อนไม้ขนาดเล็ก ก้อนคอนกรีต ซึ่งดันทะลุผ่านได้ยาก และวัสดุดังกล่าวมักอุดตันท่อดูดดินกลับทำให้เสียเวลาไปเปิดแก้ไขที่หน้าหัวดันหรือต้องทำการสลับสายท่อสูบน้ำเข้ากับท่อดูดน้ำดินออก เพื่อพ่นสิ่งที่ติดค้างภายในท่อ

4. อุปกรณ์ของระบบท่อที่อยู่ในท่อดันมักทำให้ผนังท่อภายใน ซึ่งเป็นซีเมนต์เคลือบท่อวงใน (Cement Lining) เสียหาย รวมถึงเกิดความสกปรกจะต้องเสียเวลาในการทำความสะอาดค่อนข้างมาก

4.4 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ ต้นทุนและระยะทางในการดัน ของรูปแบบต่างๆ

จากการศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษาดังที่ได้นำเสนอข้อมูลจากการศึกษาหน้างาน และจากการสัมภาษณ์ ผู้จัดการโครงการ ผู่ช่วยผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ ผู้วิจัยสามารถสรุปการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ ต้นทุนและระยะทางในการดัน ของรูปแบบต่างๆ ดังตารางที่ 4.10

เนื่องจากการที่จะหาโครงการก่อสร้างงานวางท่อประปาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันทุกโครงการ และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันนั้น ถือเป็นอุปสรรคหลักของการวิจัยในครั้งนี้ โครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดชลบุรี มีการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดรูปแบบการดันท่อคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม. จึงไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับโครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดปทุมธานีที่มีก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดรูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้นและรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ซึ่งใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม.ได้

ดังนั้นจึงสรุปผลการเปรียบเทียบการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดได้เพียง 2 รูปแบบ คือรูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) และรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ ต้นทุน และระยะทางในการดัน ของรูปแบบต่างๆ

รายการ	**รูปแบบการดันท่อคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด 1,000 มม.**	**รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น ขนาด 1,200 มม.**	**รูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด 1,200 มม.**
เฉลี่ยอัตราการดันท่อลอด (เมตร/วัน)	8	6	9
ความยาวในการดันต่อช่วง (เมตร)	200-300	น้อยกว่า 200	200-300
ค่างานดันท่อ (บาท/เมตร)	30,200	32,000	39,200
รวมต้นทุนการดันท่อใน 1 รอบ	6,540,000	6,900,000	8,340,000

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าต้นทุนการดันท่อใน 1 รอบนั้นต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากราคาของท่อแต่ละชนิดต่างกัน โดยรูปแบบที่ 1 การดันท่อคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา มีราคาค่าท่อโดยประมาณเท่ากับ 15,461 บาทต่อเมตร รูปแบบที่ 2 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น มีราคาค่าท่อโดยประมาณเท่ากับ 23,795 บาทต่อเมตร และรูปแบบที่ 3 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน มีราคาค่าท่อโดยประมาณเท่ากับ 25,825 บาทต่อเมตร ส่วนค่างานดันท่อที่ได้ของแต่ละรูปแบบนั้นมาจากการประมาณการของการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) ที่มีข้อมูลเบื้องต้นมาจาก ตารางที่ 2.6 ซึ่งเป็นราคาค่างานดันท่อโดยประมาณของการประปานครหลวง (กปน.) ปี 2546 ซึ่งในปัจจุบันไม่สามารถนำมาใช้เป็นราคาจริงได้ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงราคาค่างานดันท่ออยู่ทุกปี

ผู้วิจัยคาดหวังว่ารายละเอียดที่ปรากฏในบทที่ 2 ที่กล่าวถึงขั้นตอนโดยรวมของการก่อสร้างวางท่อประปาตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการ และจากบทที่ 4 ในแต่ละกรณีศึกษา ประสบการณ์และความรู้ต่าง ๆ เหล่านี้ จะสามารถเป็นคู่มือสำหรับการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) ให้แก่ผู้ที่ต้องการจะศึกษา รวมทั้งเป็นคู่มือในการฝึกอบรมของ กปภ.ให้แก่พนักงานใหม่และหน่วยงานภายในทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง นอกเหนือจากนี้ยังรวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างขยายเขตบริการ หรือการปรับปรุงของหน่วยงานสาธารณูปโภค ซึ่งในปัจจุบันถือเป็นวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่หนาแน่นในพื้นที่ตัวเมืองของจังหวัด

4.5 ข้อเปรียบเทียบประเภทบ่อดัน บ่อรับสำหรับงานดันท่อลอด (Pipe Jacking)

จากการศึกษาวิจัยและสอบถามจากผู้ควบคุมงานและผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปประเด็นข้อเปรียบเทียบประเภทบ่อดัน บ่อรับสำหรับงานดันท่อลอด ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ข้อเปรียบเทียบประเภทบ่อดัน บ่อรับสำหรับงานดันท่อลอด (Pipe Jacking)

ข้อเปรียบเทียบ	บ่อดัน บ่อรับ แบบใช้ Sheet Pile	บ่อดัน บ่อรับ แบบคอนกรีตเสริมเหล็ก	บ่อเหล็กรูปวงกลม (Steel Circular Shaft)	หมายเหตุ
ราคา	ถูก	สูงกว่า	ถูก	1. บ่อดัน บ่อรับแบบใช้ Sheet Pile เป็นบ่อชั่วคราว
การก่อสร้าง	ง่าย	ยาก	ง่าย	
การเคลื่อนตัวของดินภายนอกบ่อ	ปานกลาง-มาก	น้อยมาก	น้อย-น้อยมาก	
สถานที่ที่เหมาะสมในการใช้งาน	ถนนแอสฟัลท์และไหล่ทาง	ถนนคอนกรีต	ทุกสถานที่	2. บ่อดัน บ่อรับแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นบ่อใช้งานถาวร

4.5.1 บ่อดันและบ่อรับแบบใช้ Sheet Pile เป็นการก่อสร้างโดยการกด Sheet Pile แล้วทำการขุดดินออกจนถึงระดับที่ต้องค้ำยันโครงสร้าง ในแต่ละชั้นของการขุดจนกระทั่งถึงระดับก้นบ่อที่จะทำการติดตั้งระบบการดัน (Jacking System) ไว้ที่บ่อดัน ดังนั้นบ่อดันและบ่อรับจึงมีขนาดที่ไม่เท่ากัน โดยบ่อดันจะมีขนาดใหญ่กว่า และลึกกว่า ทั้งนี้เนื่องจากจะต้องมีการก่อสร้างกำแพงรับแรงดัน (Thrust Wall หรือ Reaction Bock) สำหรับการติดตั้งแม่แรงไฮดรอลิค (Hydraulic Jacks) เพื่อใช้ดัน

หัวเจาะออกจากบ่อดัน ดังนั้นขนาดของ Sheet Pile ที่ใช้ในบ่อดันจึงมีขนาดต่างกันกับขนาดของ Sheet Pile ที่ใช้ในบ่อรับด้วย

4.5.2 บ่อดันและบ่อรับแบบคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้เป็นแบบ Sinking Caisson (In-situ Casting) โดยหล่อผนังบ่อทีละช่วงในที่ หรือหล่อสำเร็จรูปเป็นชิ้นส่วนจากโรงงาน (Precast Segment) แล้วนำมาประกอบเป็นบ่อดันและบ่อรับ บ่อคอนกรีตนี้จะช่วยแก้ปัญหาผิวจราจรคอนกรีตรอบบ่อ หากใช้บ่อแบบ Sheet Pile แล้วมีการรื้อถอน Sheet Pile ผิวจราจรคอนกรีตมักจะแตกร้าวและทรุดตัวตามไปด้วย ทำให้ต้องมาซ่อมผิวจราจรคอนกรีต จะเกิดปัญหาจราจรตามมาอีก ไม่สามารถแก้ไขปัญหาการจราจรได้ ในระหว่างการดัน บ่อคอนกรีตมีข้อดีกว่าบ่อที่ใช้ Sheet Pile คือไม่ต้องมีค้ำยันภายในบ่อให้เสียพื้นที่ และเกะกะการทำงานในระหว่างการดัน จึงใช้พื้นที่การสร้างบ่อน้อยกว่า และสามารถป้องกันการเคลื่อนตัวของดินภายนอกบ่อได้ดีกว่าบ่อที่ใช้ Sheet Pile เนื่องจากผนังบ่อมีความแข็งแรงมากกว่า โอกาสที่ถนนจะเกิดการทรุดตัวเสียหาย และเป็นปัญหาในการซ่อมแซมในภายหลังจึงมีน้อยลงหรือหมดไป แต่มีข้อเสียคือ มีราคาแพงเนื่องจากไม่สามารถรื้อถอนและนำไปใช้ใหม่ได้ไม่เหมือนบ่อที่ใช้ Sheet Pile ใช้เวลาในการก่อสร้างบ่อมาก ดังนั้นการใช้บ่อคอนกรีตจึงควรจะออกแบบให้ใช้ประโยชน์อย่างอื่นนอกเหนือจากที่ใช้เป็นบ่อดัน บ่อรับด้วย เช่นเป็นบ่อสำหรับติดตั้งประตูน้ำหรืออุปกรณ์อื่นๆ หรือเป็นบ่อสำหรับการบำรุงรักษาเส้นท่อในอนาคตเป็นต้น

4.5.3 บ่อเหล็กรูปวงกลม (Steel Circular Shaft) ถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างวางท่อประปาโดยการดันท่อลอดใต้ผิวจราจรคอนกรีตเป็นครั้งแรก โดยทำเป็นบ่อรับ (Receiving Shaft) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.70 ม. ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 3 มม. ประกอบขึ้นเป็นบ่อรูปวงกลมสูงชิ้นละ 2.00 ม. ภายในค้ำยันเพิ่มเติมด้วย H-Beam และแผ่นเหล็กเพื่อเพิ่มความแข็งแรง บ่อชนิดนี้จะมีข้อดีกว่าบ่อที่ใช้ Sheet Pile เนื่องจากมีผนังที่ท่อโดยเรียบไม่เว้าไปเว้ามา ทำให้ตอนรื้อถอนบ่อมีดินติดขึ้นมาน้อยกว่า ดังนั้น บ่อเหล็กรูปวงกลม (Steel Circular Shaft) จึงช่วยลดการเคลื่อนตัวของดินด้านข้างบ่อได้ดี ทำให้ผิวจราจรข้างบ่อไม่เสียหาย และสามารถนำไปเป็นบ่อรับได้หลายครั้ง ค่าก่อสร้างของบ่อเหล็กรูปวงกลม (Steel Circular Shaft) จะถูกกว่าหรือเท่ากับบ่อที่ใช้ Sheet Pile เพราะว่าสามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้งกว่า ดังนั้น แนวโน้มของการทำงานจึงสมควรที่จะเริ่มเปลี่ยนมาใช้บ่อเหล็กรูปวงกลม (Steel Circular Shaft) เนื่องจากประโยชน์ในด้านความประหยัด วัสดุที่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง ถึงแม้จะมีข้อจำกัดในเรื่องของเทคโนโลยีในการก่อสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น แต่หากพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะได้รับนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุนให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี การค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงข้อมูลโครงการก่อสร้าง การเก็บข้อมูลในสถานที่ก่อสร้าง และการสอบถามผู้ควบคุมงาน สามารถสรุปวิธีการก่อสร้าง ข้อดี ข้อเสีย ปัญหา อุปสรรค ของแต่ละรูปแบบการก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัย และได้เสนอแนะข้อคิดเห็นเพิ่มเติม โดยแยกเป็นหัวข้อสำคัญตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังต่อไปนี้

5.1 รูปแบบและวิธีการดันท่อลอด

5.1.1 การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2)

เป็นรูปแบบที่พัฒนาขึ้นมาอีกระดับหนึ่ง ความเร็วในการดันท่อจะค่อนข้างเร็วมาก เนื่องจากท่อปลอกคอนกรีตเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อแบบบ่ารับ มีแหวนยางที่ข้อต่อสามารถดันสวมได้อย่างสะดวก จึงสามารถประหยัดเวลาได้มาก อีกทั้งสามารถที่จะมีระยะทางการดันต่อช่วงที่ยาว เนื่องจากข้อต่อไม่มีลักษณะแข็งเกร็ง จึงสามารถที่จะปรับแนวการดันได้ง่าย การดันในแนวโค้งสามารถทำได้ที่ท่อปลอกคอนกรีต แต่จะถูกจำกัดที่ท่อไส้ซึ่งเป็นการเชื่อมท่อเหล็ก จึงยอมให้ดันโค้งได้บ้างแต่ต้องคำนึงถึงช่องว่างระหว่างปลอกคอนกรีตกับท่อเหล็กด้วย มิฉะนั้นจะร้อยท่อไส้ไม่ผ่าน จึงควรหลีกเลี่ยงแนวการดันที่โค้งมากๆ ดังนั้น รูปแบบ ก2 จึงสามารถทำได้ในถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เพราะมีระยะต่อช่วงการดันที่ค่อนข้างยาว จึงไม่ต้องมีจุดที่ต้องเปิดบ่อดัน บ่อรับมาก และความเร็วในการดันที่ค่อนข้างเร็วมาก จึงทำให้การทำงานในแต่ละจุดแล้วเสร็จตามกำหนด

5.1.2 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)

เป็นรูปแบบการดันท่อลอดที่พัฒนามาเพื่อปรับลดขั้นตอนการทำงานเป็นหลัก จะเห็นว่ารูปแบบ ก2 จะต้องทำงานหลายขั้นตอน เริ่มจากการดันท่อปลอกก่อนจึงจะร้อยท่อไส้ตาม จุดนี้ได้รับการพัฒนามาเป็นรูปแบบ ข1 โดยเปลี่ยนแปลงชนิดของท่อให้เป็นท่อเหล็ก 2 ชั้น โดยท่อเหล็กเปลือกนอกจะทำหน้าที่เป็นปลอกเหล็ก เป็นโครงสร้างถาวรรับแรงที่มากระทำต่อตัวท่อไส้ ส่วนท่อเหล็กเปลือกในจะเป็นท่อไส้รับแรงดันใช้งาน ดังนั้นจึงลดขั้นตอนการทำงาน โดยทำการดันท่อปลอกพร้อมท่อไส้ไปในขณะเดียวกัน

5.1.3 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

ใช้สำหรับงานดันท่อที่มีขนาดใหญ่พอที่คนจะเข้าไปภายในท่อได้ เพื่อทำการเชื่อมท่อภายหลังจากที่ทำการดันท่อในแต่ละช่วงแล้วเสร็จ และทำการซ่อมแซมท่อวงในที่เสียหายในระหว่างการก่อสร้าง การดันท่อทำได้รวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาเชื่อมในขณะที่ทำการดันท่อ ดังนั้น รูปแบบ ข2 จึงสามารถทำได้ในถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เพราะมีระยะต่อช่วงการดันที่ค่อนข้างยาว จึงไม่ต้องมีจุดที่ต้องเปิดบ่อดัน บ่อรับมาก และความเร็วในการดันที่ค่อนข้างเร็วมากจึงทำให้การทำงานในแต่ละจุดแล้วเสร็จตามกำหนด การปรับแนวท่อทำได้ง่าย เนื่องจากท่อแต่ละท่อนไม่ได้เชื่อมติดกันในระหว่างการดัน และยอมให้มีการปรับมุมที่ข้อต่อของท่อแต่ละท่อน ได้ประมาณ 0.5 องศา ทำให้สามารถดันท่อในแนวโค้งได้

5.2 เวลาที่ใช้ในการดันท่อลอด

เฉลี่ยอัตราการดันท่อลอดเมตรต่อวัน ของทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) มีค่าเฉลี่ยอัตราการดันท่อลอดเมตรต่อวันมากที่สุด คือเท่ากับ 9 เมตรต่อวัน เนื่องจากมีระยะต่อช่วงการดันที่ค่อนข้างยาว จึงไม่ต้องมีจุดที่ต้องเปิดบ่อดัน บ่อรับมาก รองลงมา คือ การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) มีค่าเฉลี่ยอัตราการดันท่อลอดเมตรต่อวันเท่ากับ 8 เมตรต่อวัน และการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)มีค่าเฉลี่ยอัตราการดันท่อลอดเมตรต่อวันเท่ากับ 6 เมตรต่อวันตามลำดับ

5.3 ต้นทุนการดันท่อลอด

ในส่วนของต้นทุนการดันท่อ เนื่องจากรูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) ได้ใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม.ซึ่งเป็นท่อที่มีขนาดต่างกัน ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับอีก 2 รูปแบบ ที่ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม.ได้ ดังนั้นเมื่อขนาดท่อเล็กลง ราคาค่าท่อก็จะถูกลงตามไปด้วย จึงทำให้ผลรวมของต้นทุนการดันท่อมีราคาต่ำสุด

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) กับการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) ใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม.เท่ากัน รูปแบบ ข2 จะมีราคาต้นทุนการดันท่อที่สูงกว่ารูปแบบ ข1 เนื่องจากรูปแบบ ข2 เป็นท่อที่มีวัสดุสองชนิดประกบกัน ราคาค่าท่อชนิดนี้จึงมีราคาที่สูงกว่าราคาท่อของรูปแบบ ข1 ประกอบกับเป็นท่อที่สามารถดันในแนวโค้งได้ ซึ่งรูปแบบ ข1 ไม่สามารถดันในแนวโค้งได้ ความสามารถในการดันที่แตกต่างกันนี้ มีผลทำให้ท่อมีราคาสูง ต้นทุนการดันท่อจึงสูงตามไปด้วย

5.4 ปัญหาและอุปสรรค

ข้อจำกัดของดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา (รูปแบบ ก2) คือ น้ำหนักท่อปลอกคอนกรีตที่มาก และผนังของท่อที่หนาทำให้ต้องใช้แรงในการดันท่อสูง ซึ่งบ่อยครั้งที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อกำแพงยันหลังที่ต้องรับแรงดีดจากแม่แรง หรือบางครั้งเกิดความเสียหายที่ตัวท่อปลอกคอนกรีต เนื่องจากแรงกดในจุดเดียว (Point Load) จากแม่แรง ทำให้ท่อปลอกคอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ การดันท่อต้องทำในลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลา แม้แต่ในขณะที่ติดอุปสรรคที่หน้าหัวเจาะ จะต้องคอยฉีดสารละลายด้านข้างตัวท่อ และหัวเจาะเพื่อไม่ให้ท่อปลอกคอนกรีตดูดน้ำรอบหลุมเจาะจนเกิดการแห้งตัว ทำให้เมื่อจะเริ่มดันท่อต่อจะต้องใช้แรงดันสูงมาก อีกทั้งในระหว่างการร้อยท่อไส้มักจะเกิดความเสียหายต่อสารเคลือบท่อของท่อเหล็กเหนียวที่ร้อยไส้ ถึงแม้จะมีแผ่นเหล็กติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อรับแรงครูดก็ตาม

ข้อจำกัดของการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1) คือ ความเร็วในการดันที่ค่อนข้างช้ามาก เนื่องจากต้องเสียเวลาไปกับการเชื่อมท่อและการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยการฉายรังสีเอกซ์ (X-Ray) ก่อนที่จะสามารถดันท่อท่อนต่อไปได้ ทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการนำหัวเจาะสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพราคาสูงมาเสียเวลากับการรอเชื่อมท่อและการทดสอบรอยเชื่อม การดันท่อในรูปแบบนี้จึงไม่เหมาะสมกับการทำงานในถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เนื่องจากจะต้องใช้เวลาในการก่อสร้างค่อนข้างมาก ระยะทางในการดันต่อช่วงจะค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับรูปแบบ ก2 การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา และรูปแบบ ข2 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในเนื่องจากผนังท่อที่หนา ซึ่งรวมท่อเหล็กสองส่วนไว้ด้วยกัน ทำให้น้ำหนักของท่อต่อเมตรมีน้ำหนักมาก ดังนั้นจึงต้องใช้แรงในการดันท่อค่อนข้างสูง และเนื่องจากท่อแต่ละท่อนเชื่อมต่อกันด้วยการเชื่อมทำให้การปรับแนวทำได้ยากและไม่สามารถดันในแนวโค้งได้

ข้อจำกัดของการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2) คือ ไม่สามารถตรวจสอบรอยเชื่อมโดยการฉายรังสีเอกซ์ (X-Ray) ได้ จึงใช้วิธี ฉีดสี (Liquid Penetrant Test) แทน และอีกส่วนหนึ่งคือ ท่อจะมีความหนามาก ทำให้น้ำหนักตัวท่อมากตาม การดันท่อต้องใช้แรงในการดันสูง ซึ่งบ่อยครั้งที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อกำแพงยันหลังที่ต้องรับแรงดีดจากแม่แรง หรือบางครั้งเกิดความเสียหายที่ตัวท่อคอนกรีต เนื่องจากแรงกดในลักษณะ Point Load จากแม่แรง ทำให้ท่อปลอกคอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

5.5 แนวทางในการเลือกรูปแบบการดันท่อลอด

5.5.1 หากความเร็วในการดันท่อไม่เป็นประเด็นสำคัญ แต่ต้องการรูปแบบการดันท่อลอดที่มีขั้นตอนการทำงานน้อย ไม่ซับซ้อนมาก และมีต้นทุนในการดันท่อที่ต่ำ สามารถพิจารณาเลือกได้ คือ รูปแบบ ข1 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น ส่วนรูปแบบ ข2 พบว่าระยะห่างระหว่างท่อนบริเวณร่องที่จะเชื่อมกว้างเกินกว่า 3 มม. เป็นบางครั้ง ซึ่งที่ขนาดความกว้างนี้ไม่เหมาะสมที่จะเชื่อมโดยวิธีเชื่อมชน (Butt Weld) ทำให้ต้องมีการแก้ไขกันไปเฉพาะจุด จึงมีขั้นตอนการทำงานที่เยอะกว่า

5.5.2 หากต้องการความเร็วในการดันท่อ สามารถพิจารณาเลือกได้ คือ รูปแบบ ข2 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน เนื่องจากรูปแบบ ข2 สามารถดันท่อได้เร็ว สามารถทำการเชื่อมรอยต่อท่อไปพร้อมกับการดันท่อได้ มีระยะต่อช่วงการดันที่ค่อนข้างยาว จึงไม่ต้องมีจุดที่ต้องเปิดบ่อดัน บ่อรับมาก ทำให้การทำงานในแต่ละจุดเป็นไปค่อนข้างเร็ว แต่รูปแบบ ข2 นี้จะมีต้นทุนการดันท่อต่อเมตรสูงกว่ารูปแบบอื่น

5.5.3 หากเป็นการก่อสร้างในถนนสายหลักที่มีการจราจรไม่หนาแน่นมาก หรือหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ที่วางท่ออนุญาตให้สามารถเปิดบ่อต่อช่วงสั้นกว่า 200 เมตรได้ สามารถพิจารณาเลือกได้ คือ รูปแบบ ข1 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น เหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในข้อ 1

5.5.4 หากเป็นการก่อสร้างในถนนสายหลักที่มีการจราจรที่หนาแน่นมาก หรือหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ที่วางท่อไม่อนุญาตให้เปิดบ่อต่อช่วงสั้นกว่า 200 เมตร สามารถพิจารณาเลือกได้ คือ รูปแบบ ข2 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน เหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในข้อ 2

5.5.5 ในการพิจารณาเลือกรูปแบบการดันท่อลอดนั้น ผู้รับเหมางานวางท่อควรศึกษาข้อมูลหลายๆด้านประกอบการตัดสินใจด้วย เช่น สภาพธรณีวิทยาของชั้นดิน ชั้นหิน น้ำใต้ดิน และงบประมาณที่มีอยู่ ทั้งนี้เพื่อช่วยในการวางแผนการใช้เครื่องจักร เครื่องมือให้เหมาะสมมากที่สุด เช่น ชนิดของหัวเจาะหรือขนาดของแม่แรง เป็นต้น

5.5.6 ก่อนการยื่นเอกสารประกวดราคานั้น ผู้รับจ้างควรศึกษารูปแบบการดันท่อลอดแต่ละรูปแบบที่การประปาส่วนภูมิภาคมีใช้อยู่ในปัจจุบันให้ครบทุกรูปแบบ รวมทั้งศึกษาเอกสารงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อเตรียมการป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ และเพื่อให้การก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดมีประสิทธิภาพการทำงานที่ได้มาตรฐาน

5.6 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.6.1 เนื่องจากงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด รูปแบบ ก2 การดันท่อคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา ซึ่งใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม. จึงไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบ ข1 การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้นและรูปแบบ ข2 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ซึ่งใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 มม.ได้ หากผู้ที่ต้องการจะศึกษารูปแบบ ก2 การดันท่อคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาเพิ่มเติม สามารถนำผลการศึกษาของรูปแบบ ก2 นี้ไปใช้ประกอบการศึกษางานดันท่อลอดที่ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม.ได้

5.6.2 การก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีการดันท่อลอดมักจะต้องทำงานในช่วงเวลากลางคืนเป็นหลัก และอัตราการทำงานคาดการณ์ได้ยากเนื่องจากเป็นการทำงานในมหานครที่มีการจราจรหนาแน่น จึงมักมีปัญหาให้งานต้องหยุดชะงักบ่อยครั้ง ดังนั้นการเดินทางไปเก็บข้อมูลโดยผู้วิจัยเองมักจะไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ทำงานในขณะนั้น ควรจะออกแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลให้หัวหน้างานทำงานลงข้อมูลให้ โดยแบบฟอร์มจะต้องมีความง่ายในการกรอกข้อมูล และควรสื่อสารกับผู้กรอกข้อมูล ให้เข้าใจถึงข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ให้เข้าใจตรงกัน และให้ผู้กรอกข้อมูลมีส่วนร่วมในการออกแบบแบบฟอร์ม เพื่อให้ได้แบบฟอร์มที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5.6.3 อัตราการดันท่อที่ได้ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะ 1 รอบ (Cycle) ของการดันท่อ ซึ่งยังไม่ครอบคลุมกระบวนการทำงานทั้งหมด เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของการที่ผู้วิจัยมิได้เป็นผู้ควบคุมงานโดยตรงจากทั้ง 2 โครงการและในแต่ละโครงการมีที่ตั้งที่มีระยะทางห่างกันมาก ดังนั้นหากผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมงานนั้นโดยตรงจะสามารถเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

5.6.4 การวิจัยในเชิงต้นทุน (Cost) เป็นแนวทางที่จะมีประโยชน์ต่อการตัดสินใจในหลายๆ ด้าน รวมถึงการพัฒนาและการปรับปรุงมาตรฐานงานวางท่อประปา แต่จากการวิจัยพบว่า บริษัทของผู้รับจ้างยังมีทัศนคติด้านลบต่อการเผยแพร่ข้อมูลให้แก่อุตสาหกรรมก่อสร้างโดยรวม นับเป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการพัฒนาการก่อสร้างโดยวิธีดันท่อลอด และงานก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งนับวันจะเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญ และในท้ายที่สุดหากการพัฒนาล่าช้าหรือไม่เกิดขึ้น งานก่อสร้างเหล่านี้จะตกเป็นฝีมือของชาวต่างชาติที่จะเข้ามามีบทบาทเหนือวิศวกรไทยต่อๆ ไป

5.6.5 จากปัญหาต่างๆที่ทำให้งานก่อสร้างวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด ต้องหยุดชะงักบ่อยครั้ง การวิจัยเพื่อพัฒนาแผนบริหารจัดการความเสี่ยงของโครงการ (Risk Management Plan) เพื่อรับมือกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นน่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมอีกทางหนึ่ง

รายการอ้างอิง

[1] การประปานครหลวง, 2547, **เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การพัฒนามาตรฐานงานก่อสร้างวางท่อประปา**, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-40.

[2] ชนะ พงษ์โพธากุล, สุนัย สุนทราภา และ อภิชาติ ธารธรรมวงศ์, 2546, **เทคโนโลยีในงานประปาที่ไม่ต้องขุดร่องดิน**, การประปานครหลวง, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-16.

[3] นภดล เพียรเวช, 2539, "การก่อสร้างแบบ Pipe Jacking", **โยธาสาร**, เมษายน 2539, หน้า 32-37.

[4] การประปาส่วนภูมิภาค, 2548, **เอกสารประกอบการบรรยาย มาตรฐานงานก่อสร้างวางท่อประปา**, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-53.

[5] Najafi, M., Iseley, D.T., Pumphrey, N.D. and Nishida, Jr.H., 1993, **LLB',an Innovative Microtunneling Propulsion System**, Structural Performance of Pipes, Sargard, Mitchell, pp. 107-124.

[6] Phien-wej, N., 2002, "Experiences From EPB Shield Tunneling Underneath Existing Structures in Bangkok Soils (Invited Paper)", **National Convention of Civil Engineering (NCCE-8)**, 23-25

[7] บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539, "การพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าในประเทศไทย", **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 2**, 22-24 ตุลาคม 2539, เชียงใหม่, หน้า GTE 213-235.

[8] Chalermkiat, W., 2002, "Trenchless Technology: Environmentally Friendly Techniques",

[9] Tennyson, M.M. and Daniel, J.D., 2004, **Pipe Jacking in a Complex Urban Environment-Boston Massachusetts** [Online], Available : http ://www.ascelibrary.org [2005, Febuary 9].

[10] วันชัย เทพรักษ์ และ กิตติศักดิ์ เกิดสม, 2545, "แรงเสียดทานและการเคลื่อนตัวของดินจากการดันท่อในชั้นดินกรุงเทพฯ", **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8**, 23-25 ตุลาคม 2545,ขอนแก่น, หน้า GTE 357-362

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา

(รูปแบบ ก2)

ภาพที่ 1 ใช้ไฟเบอร์ตัดพื้นคอนกรีต ก่อนทำการขุดเปิด

ภาพที่ 2 ทำการขุดเปิดผิวจราจร

ภาพที่ 3 ทำการกด Sheet Pile เพื่อเป็นการป้องกันดินรอบข้างทรุดตัว

ภาพที่ 4 ติดตั้ง Bracing และขุดเปิดดินให้ได้ระดับที่ความลึกตามแบบบ่อที่ขอ

ภาพที่ 5 เท Base Slab เพื่อเป็นฐานรองรับแท่นเครื่องและระบบการดันท่อ

ภาพที่ 6 ติดตั้ง Sofe Eye เป็นการช่วยป้องกันไม่ให้ดินบริเวณหน้าบ่อไหลเข้าสู่บ่อ

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2)

ภาพที่ 7 ติดตั้ง Back Thrust Wall เพื่อให้การถ่ายแรงแผ่กระจายไปยังด้านหลังเป็นพื้นที่รับแรงดีดของแม่แรง

ภาพที่ 8 ติดตั้งรางดันท่อเพื่อเป็นการควบคุมแนวของท่อที่จะดันพ้นบ่อออกไป

ภาพที่ 9 ติดตั้ง กระบอกไฮโดรลิกส์และชุด Laser เพื่อควบคุมทิศทางการดัน

ภาพที่ 10 การก่อสร้างบ่อรับแบบทรงกระบอกกลมเริ่มจากการขุดดิน

ภาพที่ 11 ติดตั้ง Segment ของบ่อรับชิ้นส่วนแรก

ภาพที่ 12 ทำการเทคอนกรีตยึดแนวจมบ่อรับให้อยู่ในแนวดิ่ง

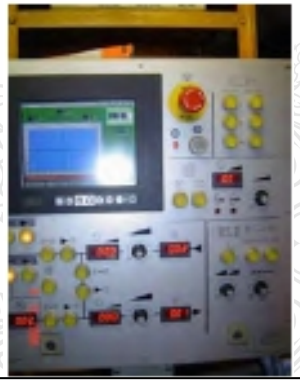
ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 13 นำ Segment ท่อนต่อไปมาเชื่อมติดกับท่อนเดิม

ภาพที่ 14 นำ Load ซึ่งเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตมากดทับเพื่อจมบ่อเหล็กลงไป

ภาพที่ 15 ติดตั้ง Bracing ให้ได้ระดับพร้อมเตรียมการเทคอนกรีต Base Slab

ภาพที่ 16 ตู้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวดันซึ่งจะติดตั้งไว้ใกล้กับบ่อดันเพื่อความสะดวกในการสื่อสารระหว่างบ่อดันกับ



ภาพที่ 17 ภายในตู้ควบคุมจะติดตั้งเครื่องควบคุมการทำงานของหัวดัน ซึ่งจะมีจอมอนิเตอร์แสดงค่าต่าง ๆ ระหว่างการ

ภาพที่ 18 Muck Tank ที่ใช้เก็บตะกอนดินแบบภายในบ่อจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนส่วนที่เก็บตะกอนดิน และส่วนรีไซเคิลน้ำ

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 19 Muck Tank ต้องมีการทำความสะอาด Tank อยู่เสมอเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมตะกอนดิน

ภาพที่ 20 การติดตั้งชุดหัวเจาะ ภาพที่ 21 การติดตั้งท่อปลอกคอนกรีตท่อนที่ 1 และ 2 เพื่อเตรียมดันพ้นบ่อออกไปพร้อมกับชุดหัวเจาะ

ภาพที่ 21 การติดตั้งท่อปลอกคอนกรีตท่อนที่ 1 และ 2 เพื่อเตรียมดันพ้นบ่อออกไปพร้อมกับชุดหัวเจาะ

ภาพที่ 22 ลักษณะหัวเจาด้านหน้ามีฟันที่สามารถหมุน กัดดินได้พร้อม ฉีดสารละลายในขณะเคลื่อนที่

ภาพที่ 23 การเคลื่อนย้ายท่อปลอกคอนกรีตสามารถใช้ขอเกี่ยวที่ขอเหล็กของตัวท่อคอนกรีตได้

ภาพที่ 24 การยกท่อปลอกคอนกรีต

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 25 ติดตั้ง Steel Ring เพื่อกระจายแรงกดที่กระทำต่อท่อ

ภาพที่ 26 ดันท่อ จนกระทั่งครบตามความยาวท่อที่ต้องการ

ภาพที่ 27 ติดตั้งระบบท่อลำเลียงดิน เพื่อปั๊มน้ำดินออกมาทิ้ง

ภาพที่ 28 ทำการติดตั้งสายฉีดน้ำเบนโทไนท์

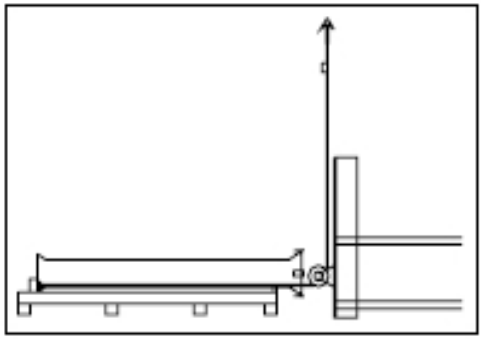
ภาพที่ 29 ท่อคอนกรีตที่ฉีดน้ำเบนโตไนท์จะมี 3 รู รอบท่อคอนกรีต

ภาพที่ 30 เมื่อดันท่อจนหัวเจาะไปโผล่ยังบ่อรับ

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 31 เปลี่ยนความกว้างของรางดันให้แคบลง และหนุนให้สูงขึ้น เพื่อไม่ให้การร้อยท่อเหล็กเหนียวติดท่อปลอกคอนกรีต

ภาพที่ 32 ปากท่อปากระฆังท่อนแรกจะต้องทำการติดตั้งปากระฆังตัวเมียเพื่อใช้เป็นส่วนรับการครูดตัว



ภาพที่ 33 แสดงการอธิบายกระบวนการร้อยไส้ท่อเหล็กเหนียวเข้าไปในท่อปลอก

ภาพที่ 34 ลักษณะรอกที่เป็นตัวเปลี่ยนแนวดึงท่อจากแนวราบเป็นแนวดิ่ง

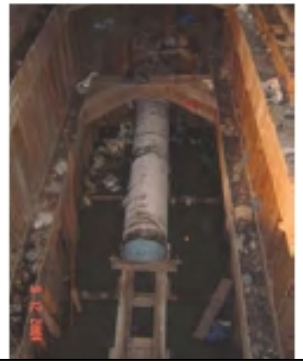
ภาพที่ 35 งานติดตั้ง Zinc Ribbon เพื่อเป็นระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อเหล็กเหนียว

ภาพที่ 36 ทำการติดตั้ง Zinc Ribbon

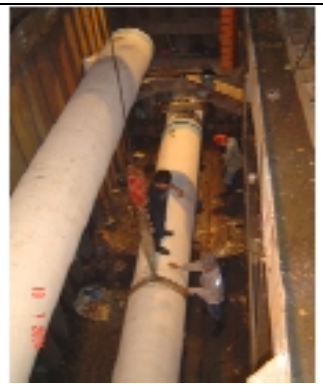
ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 37 ใช้สลิงหย่อนท่อเหล็กเหนียว
เพื่อเตรียมการร้อยเข้าไปในท่อปลอก

ภาพที่ 38 ใช้รถเครนดึงสลิงเพื่อดันปลาย
ท่อเข้าไปยังท่อปลอกคอนกรีต



ภาพที่ 39 สลิงจะยึดติดกับท่อนเหล็ก
ด้านหลังท่อเหล็กปากระฆัง ซึ่งจะคล้องและ
ดันให้ท่อเหล็กปากระฆังร้อยเข้าไป



ภาพที่ 40 ภายในบ่ออาจมีการ Stockท่อเหล็กไว้
เพื่อประหยัดเวลาในการขนส่งท่อ

ภาพที่ 41 ทำการติดตั้งท่อเหล็กปากระฆังท่อน
ต่อไปและทำการเชื่อมทั้งภายใน และภายนอก

ภาพที่ 42 ทำการทดสอบรอยเชื่อม โดยอัด
ลมที่ 2.80 ksc. ค้างไว้เป็นเวลา 2 นาที

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 43 ป้องกันรอยเชื่อมโดยทา Primer และพัน Monotape บริเวณปากระฆัง

ภาพที่ 44 ด้านล่างของปากระฆังจะติดตั้งแผ่นเหล็กโค้งหนาประมาณ 1 ซม. และทา Primer พร้อมติด Monotape ทับ

ภาพที่ 45 แผ่นเหล็กที่ติดตั้งจะเป็นส่วนรับแรงครูดขณะร้อยท่อ

ภาพที่ 46 ภายในท่อเหล็กเหนียวจะเกิดความสกปรก จะต้องมีการเช็ดทำความสะอาด

ภาพที่ 47 ตรวจสอบความสะอาดของท่อรวมถึงการซ่อมสีภายในท่อบริเวณรอยเชื่อม

ภาพที่ 48 ตรวจความหนาของสีในท่อ Ultrasonic Thickness Measurement

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 49 คืนผิวจราจรชั่วคราวโดยการปิดด้วยแผ่นคอนกรีต

ภาพที่ 50 แสดงการปิดบ่อด้วยแผ่นเหล็กพร้อมซีลขอบแผ่นเหล็กด้วยแอสฟัลท์

ภาพที่ 51 ทำการ Grout ปิดช่องว่างระหว่างท่อปลอกคอนกรีตกับท่อเหล็กเหนียว

ภาพที่ 52 ทดสอบการใช้งานที่ 8 ksc ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงความดันไม่ลดลงเกินกว่า 0.35 ksc

ภาพที่ 53 ความดันน้ำ ที่ Pressure Guage เมื่อผ่านการทดสอบ ถือว่าระบบท่อพร้อมใช้งาน

ภาพที่ 54 รื้อถอนบ่อและบดอัดทรายปันชั้นๆตามไปด้วย เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

ภาพที่ 55 หากเป็นการถอนบ่อรับรูปวงกลม จะต้องใช้แม่แรงดีด Segment ขึ้นแล้วทำ การหนุนแล้วจึงถอดออกทีละชิ้นส่วน

ภาพที่ 56 ขณะรื้อถอนบ่อรับรูปวงกลมจะต้องบดอัดทรายเป็นชั้นๆพร้อมๆกับการรื้อถอนบ่อ

ภาพที่ 57 เตรียมการซ่อมผิวจราจรถาวรคืนสภาพเดิมตามมาตรฐานของหน่วยงาน เจ้าของพื้นที่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาพที่ ก.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. แล้วร้อยด้วยท่อประปา ขนาด Ø 1,000 ม (รูปแบบ ก2) (ต่อ)

รายการเครื่องมือ เครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ

จากการสังเกตและการสอบถามผู้ควบคุมงานรวมทั้งหัวหน้าชุดงานขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูลสามารถระบุรายการเครื่องมือ เครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ ดังนี้

ตารางที่ ก.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ก2

รายการ	จำนวน	หน่วย
<u>อุปกรณ์สำหรับการจราจร</u>		
ไฟหมุนสีเหลือง	5	ดวง
กรวยกั้นจราจร	12	อัน
ไฟฉายยาว	4	กระบอก
กระบองไฟ	2	อัน
เสื้อจราจรมีแถบสะท้อนแสง	5	ตัว
สัญญาณไฟเบี่ยงรูปลูกศร	1	ตัว
สัญญาณเบี่ยงสามเหลี่ยมรูปลูกศรแยก 2 ทาง	1	ตัว
<u>เครื่องจักรประเภทรถ</u>		
รถ Dump สิบล้อ	2	คัน
รถ Backhoe บูมยาว	1	คัน
รถ 6 ล้อ	1	คัน
รถปิ๊คอัพตอนเดียว	1	คัน
รถทุบถนน	1	คัน
<u>อุปกรณ์ในการทำงาน</u>		
เครื่องตัดคอนกรีต	1	เครื่อง
เครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
สายอ่อนใช้กับเครื่องสูบน้ำ	2	สาย
สายส่งใช้กับเครื่องสูบน้ำ	2	สาย
เครื่องปั่นไฟ	1	เครื่อง
ตู้เชื่อม	1	ตู้
สายเชื่อม	3	สาย
หัวเชื่อม	3	หัว

ตารางที่ ก.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ รูปแบบ ก2 (ต่อ)

รายการ	จำนวน	หน่วย
สปอร์ตไลท์ 1500 W	3	ดวง
สลิง ขนาด 6 หุน ยาว 6 เมตร	2	เส้น
สลิง ขนาด 5 หุน ยาว 5 เมตร	2	เส้น
สเก็น 6 หุน	4	อัน
เทปวัดระยะ 25 เมตร	1	อัน
ตลับเมตร	2	อัน
ระดับน้ำ	1	อัน
ขวาน	1	เล่ม
ค้อน 8 ปอนด์	1	อัน
ค้อน 2 ปอนด์	1	อัน
จอบพร้อมด้าม	4	อัน
อิเตอร์พร้อมด้าม	2	อัน
พลั่วตักดิน	4	อัน
พลั่วแทงดินพร้อมด้าม	4	อัน
ไม้กวาดแข็ง	4	อัน
เชือกฟาง	1	ม้วน
กระติกน้ำแข็ง	1	ใบ
แกลลอน 20 ลิตร	2	ใบ
ฉาก	1	อัน
<u>วัสดุสิ้นเปลือง</u>		
ลวดเชื่อม	N.A.	ลัง

ประมาณการค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อดันแบบกด Sheet Pile 3.25 x 14.30 x 5.10 เมตร

ความยาว Sheet Pile 8 เมตร จำนวน Sheet Pile กดแบบเข้าเขี้ยวคิดความกว้าง 40 ซม./แผ่น

ดังนั้นใช้ = 3.25 x 14.30 x 2) / 0.40 = 233 แผ่น

(1) ค่าแรงปักั Sheet Pile แผ่นละ 60 บาท	13,980	บาท
(2) ค่าขนขึ้น-ลงพร้อมทำความสะอาด 8 เที่ยว ๆ ละ 8,000 บาท	64,000	บาท
(3) ค่า H-Beam 300 x 300 Bracing 3 ชั้น 106 เมตรใช้ 18 ท่อน หนัก	564	กก./ท่อน
26 บาท/กก. = 564 x 18 x 26 = 263,952 ใช้ได้ 3 เที่ยว	87,984	บาท
(4) ค่าเช่ารถ Back Hoe 18 วัน ๆ ละ 3,500 บาท	63,000	บาท
(5) ค่าคอนกรีตรองก้นหลุม 3.25x14.30x0.25x1,800	20,914	บาท
(6) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 18 วันๆละ 1,500 บาท	27,000	บาท
(7) ค่าลวดเชื่อมและอุปกรณ์สิ้นเปลืองต่าง ๆ	5,000	บาท
(8) ค่าทรายถม 3.25x14.30x5.10x1.3x260	61,626	บาท
(9) ค่ารถดั๊มพ์ 7 วัน ๆ ละ 800 บาท	5,600	บาท
รวม 9 รายการ	349,104	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	2,366	บาท
รวมเป็นเงิน	401,470	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	28,103	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อดันทั้งสิ้น	429,573	บาท

ประมาณการค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับแบบกด Sheet Pile 2.00 x 3.70 x 5.10 เมตร

ความยาว Sheet Pile 8 เมตร จำนวน Sheet Pile กดแบบเข้าเขี้ยวคิดความกว้าง 40 ซม./แผ่น

ดังนั้นใช้ = (2.00 x 3.70 x 2) / 0.40 = 37 แผ่น

(1) ค่าแรงปักั Sheet Pile แผ่นละ 60 บาท	2,220	บาท
(2) ค่าขนขึ้น-ลงพร้อมทำความสะอาด 2 เที่ยว ๆ ละ 8000 บาท	16,000	บาท
(3) ค่า H-beam 300 x 300 Bracing 3 ชั้น 35 เมตรใช้ 6 ท่อน หนัก	564	กก./ท่อน
26 บาท/กก. = 564 x 6 x 26 = 87,984 บาท ใช้ได้ 3 เที่ยว	29,328	บาท
(4) ค่าเช่ารถ Back Hoe 7 วัน ๆ ละ 3,500 บาท	24,500	บาท
(5) ค่าคอนกรีตรองก้นหลุม 2.0x3.7x0.25x1800	3,330	บาท
(6) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 7 วัน ๆ ละ 1,500 บาท	10,500	บาท
(7) ค่าลวดเชื่อมและอุปกรณ์สิ้นเปลืองต่าง ๆ	3,000	บาท
(8) ค่าทรายถม 2.0x3.7x5.1x1.3x260	12,757	บาท
(9) ค่ารถดั๊มพ์ 5 วัน ๆ ละ 800 บาท	4,000	บาท
รวม 9 รายการ	105,635	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	15,846	บาท
รวมเป็นเงิน	121,481	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	8,504	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับทั้งสิ้น	129,985	บาท

ประมาณการค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับแบบจม Segment ทรงกระบอกกลมขนาด Ø 3.70 x 5.10 เมตร

ใช้ Segment ขนาด φ 3.70 x 2.00 เมตร จำนวน 3 ชิ้น กดด้วยการถ่วงโดย Concrete Deck

(1) ค่าแรงกด Segment ชิ้นละ 3,000 บาท	9,000	บาท
(2) ค่าขน Segment ขึ้น-ลง	3,000	บาท
(3) ค่าเช่ารถ Back hoe 5 วัน ๆ ละ 3,500 บาท	17,500	บาท
(4) ค่าคอนกรีตรองก้นหลุม πx3.7x0.25x1800	5,229	บาท
(5) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 5 วันๆละ 1,500 บาท	7,500	บาท
(6) ค่าลวดเชื่อมและอุปกรณ์สิ้นเปลืองต่าง ๆ	3,000	บาท
(7) ค่าทรายถม πx3.7x5.1x1.3x260	20,028	บาท
(8) ค่ารถดั๊มพ์ 5 วัน ๆ ละ 800 บาท	4,000	บาท
(9) ค่ารื้อถอนบ่อโดยใช้แม่แรง	10,000	บาท
รวม 9 รายการ	79,257	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	11,889	บาท
รวมเป็นเงิน	91,146	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	6,381	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับทั้งสิ้น	97,527	บาท

ประมาณการค่าใช้จ่ายการดันท่อปลอกคอนกรีตขนาด Ø 1,200 มม. ความยาวท่อนละ 2.50 เมตรร้อยไส้ท่อเหล็กปากระฆังขนาด Ø 1,000 มม. ความยาวท่อนละ 9.00 เมตร

โดยตั้งสมมติฐานว่าอัตราการดันท่อปลอกคอนกรีตร้อยไส้ท่อเหล็กปากระฆังเท่ากับ 9 เมตรต่อวัน

(1) ค่าแรงงาน คนงาน 4 คน	200	บาท/วัน/คน
ผู้ควบคุมการดันที่ตู้ควบคุม 1 คน	600	บาท/วัน/คน
หัวหน้างาน 1 คน	800	บาท/
วัน/คน		
รวมเป็นเงินต่อวัน	2,200	บาท
(2) ค่าเชื่อมท่อ 1 หัว คิดเหมารวมค่าแรงช่างเชื่อม	2,000	บาท
(3) ค่าทดสอบรอยเชื่อม (Holiday Test) และ Coating	2,000	บาท
(4) ค่าลวดเชื่อมต่อ 1 หัว	700	บาท
(5) ค่าสีทาท่อ	300	บาท
(6) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมันวันละ 1,500 บาท	1,500	บาท
(7) ค่าเช่าเครื่องดันท่อวันละ 2,000 บาท	2,000	บาท
(8) ค่าเช่ารถ Back Hoe วันละ 3,500 บาท	3,500	บาท
(9) ค่ารถเฮี้ยบขนท่อวันละ 800 บาท	800	บาท
(10) ค่ารถดั๊มพ์วันละ 800 บาท	800	บาท
รวม 10 รายการ	15,800	บาท
เฉลี่ยต่อเมตร 15,800 / 9 = 1,755.55 คิด	1,756	บาท/เมตร
ค่าท่อปลอกคอนกรีต เมตรละ 3,830 บาท ค่าท่อเหล็กปากระฆัง		
เมตรละ 9,875 บาท รวมเป็นค่าใช้จ่ายต่อเมตร	15,461	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	2,320	บาท
รวมเป็นเงิน	17,781	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	1,245	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการดันท่อต่อเมตรทั้งสิ้น	19,026	บาท

ภาคผนวก ข

การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (รูปแบบ ข1)

ีโครงการ

ปฏิบัติงาน

อด้วยกล้อง

อสร้างบ่อ

นกรีต

รีตและ

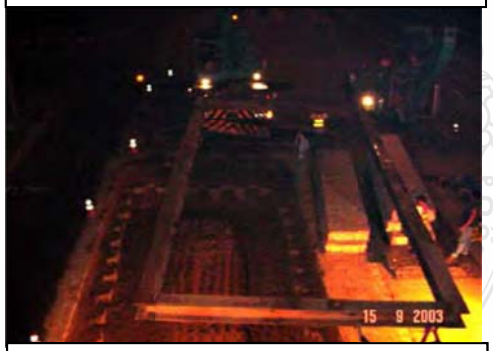
ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1)

ัดเจนเพื่อ
heet Pile

Pile

Pile ให้

ก่อนติดตั้ง



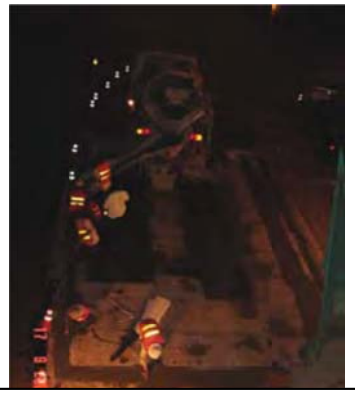
รับฝาบ่อ

อเพื่อจัด

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

ครอบฝาบ่อ

อบฝาบ่อ



ะทำการเท
อ

แชั้นแรก

ดับเพื่อ

ชั้นที่สอง

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

บเพื่อติดตั้ง

งชั้นที่สาม

คท้ายเพื่อ

่อ

้นบ่อ

เพงยันหลัง

งกำแพงยัน

ll)

ภาพที่ ข.1 สรุปรูปถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

สำหรับดัน
าหรับเป็น
ออกไป

งจะมีฟัน
ไปทิ้ง

าะซึ่งจะ
ะดินและชุด
น

แม่แรง

หัวเจาะลง
ไ

ร์เพื่อการ
ะดิน

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

เคุมและสั่ง
จ้วดินได้

สดง

ำและท่อ

ละลายโพลิ

งดันน้ำ

หัวเจาะ
นข้ามฝาย
ปใช้ใหม่

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

วยเพิ่มระยะ

ny RC Pipe
ดันท่อ SCP

เขึ้นมาจาก

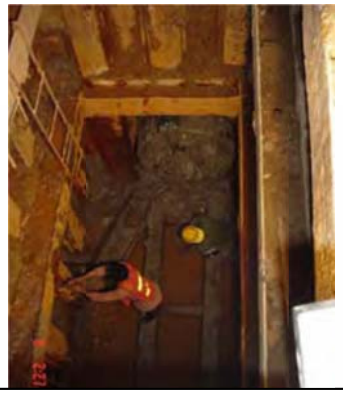
งรองรับไป

ี่จัดเตรียมไว้

นำดินไปทิ้ง

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

บริเวณ



นดไว้ใน

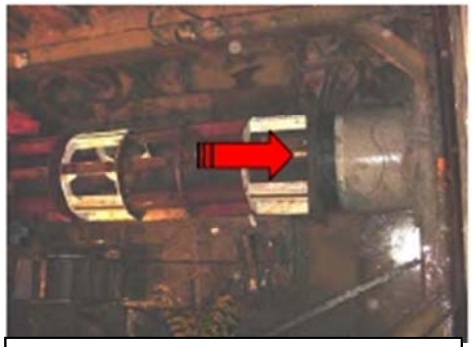
งาะและ

เพื่อให้
CP สู่ ท่อ
ได้

กับ ท่อ
Adapter

ท่อนแรก

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)



ช่วยเพิ่ม
รดันท่อ

y RC Pipe

SCP

อมทั้ง

เพื่อกำหนด
aphic Test)

มโดยรอบ

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

·Ray

.ay เพื่อ

Primer และ

ารเกิดสนิม

ียมเพื่อ

ง Steel

ดช่วงรอย

ากการดันเข้า

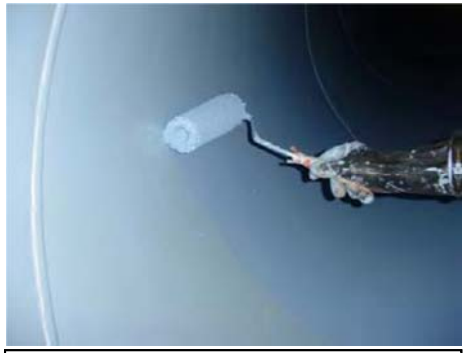
งท่อ

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

ง่แรงโดย
จันท่อ

ตั้ง ทำการ
ที่ต้องการ

ายในท่อ



เหายทั้ง
อม

่อมให้มี
าว่า

ปิดบ่อด้วย

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

ำที่ 8 ksc
ได้ 0.35

บแรงดัน
ใช้งานได้

รียมการ
เดิม

สภาพเดิม

ภาพที่ ข.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (Steel Concentric Double Cylinder Pipe : SCP) ขนาด Ø 1200 มม. (รูปแบบ ข1) (ต่อ)

รายการเครื่องมือ เครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ

จากการสังเกตและการสอบถามผู้ควบคุมงานรวมทั้งหัวหน้าชุดงานขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูลสามารถระบุรายการเครื่องมือ เครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อดังนี้

ตารางที่ ข.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ข1

รายการ	จำนวน	หน่วย
<u>อุปกรณ์สำหรับการจราจร</u>		
ไฟหมุนสีเหลือง	6	ดวง
กรวยกั้นจราจร	40	อัน
ไฟฉายยาว	4	กระบอก
ธงราว	6	ม้วน
กระบอกไฟ	2	อัน
เสื้อจราจรมีแถบสะท้อนแสง	12	ตัว
<u>เครื่องจักรประเภทรถ</u>		
รถ Dump สิบล้อ	2	คัน
รถ Backhoe บูมยาว	1	คัน
รถบรรทุก 6 ล้อ ไม่มีดั๊ม	1	คัน
รถปิ๊คอัพตอนเดียว	2	คัน
รถทุบถนน	1	คัน
รถเทรลเลอร์ติดเครน	1	คัน
รถเทรลเลอร์หางยาว	2	คัน
รถบดดินชนิดเดินตาม 1.5 ตัน	1	คัน
เครื่องตบทราย Compact Jump	2	เครื่อง
<u>อุปกรณ์ในการทำงาน</u>		
เครื่องตัดคอนกรีต	1	เครื่อง
เครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
สายอ่อนใช้กับเครื่องสูบน้ำ	2	สาย
สายส่งใช้กับเครื่องสูบน้ำ	2	สาย

ตารางที่ ข.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ รูปแบบ ข1 (ต่อ)

รายการ	จำนวน	หน่วย
เครื่องปั่นไฟ ขนาด 65 KVA	2	เครื่อง
ตู้เชื่อม 300 A	6	ตู้
สายเชื่อม	6	สาย
หัวเชื่อม	6	หัว
สปอร์ตไลท์ 1500 W	3	ดวง
สลิงขนาด 6 หุน ยาว 6 เมตร	2	เส้น
สลิงขนาด 5 หุน ยาว 5 เมตร	2	เส้น
สเก็น	6	หุน
เทปวัดระยะ 25 เมตร	2	อัน
ตลับเมตร 5 เมตร	2	อัน
ระดับน้ำ	1	อัน
ขวาน	1	เล่ม
ค้อน 8 ปอนด์	1	อัน
ค้อน 2 ปอนด์	1	อัน
จอบพร้อมด้าม	4	อัน
อิเตอร์พร้อมด้าม	2	อัน
พลั่วตักดิน	4	อัน
พลั่วแทงดินพร้อมด้าม	4	อัน
ไม้กวาดแข็ง	4	อัน
เชือกฟาง	1	ม้วน
กระติกน้ำแข็ง	1	ใบ
แกลลอน 20 ลิตร	2	ใบ
ฉาก	1	อัน
<u>วัสดุสิ้นเปลือง</u>		
ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มม. ยี่ห้อ YAWATA	10	ลัง
ลวดเชื่อมขนาด 4 มม. ยี่ห้อ YAWATA	10	ลัง
ลวดเชื่อม LB 52 ยี่ห้อ KOBE (3.2 X 350)	10	ลัง

ตารางที่ ข.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ รูปแบบ ข1 (ต่อ)

รายการ	จำนวน	หน่วย
ลวดเชื่อม LB 52 ยี่ห้อ KOBE (4 X 400)	10	ลัง
ลวดเชื่อม LB 52U ยี่ห้อ KOBE (3.2 X 400)	10	ลัง
แบตเตอรี่	6	ลูก
เทปพันท่อ (Monotape)	50	ม้วน
สีทาท่อ (Epoxy) ถังละ 10 ลิตร	5	ถัง
ทินเนอร์	5	แกลลอน
ถังลม	6	ถัง
ถังแก๊ส	4	ถัง

ประมาณการค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อดันแบบกด Sheet Pile 3.50 x 8.20 x 6.00 เมตร

ความยาว Sheet Pile 9 เมตร จำนวน Sheet Pile กดแบบเข้าเขี้ยวคิดความกว้าง 40 ซม./แผ่น

ดังนั้นใช้ = (3.50 x 8.20 x 2) / 0.40 = 144 แผ่น

(1) ค่าแรงปักั Sheet Pile แผ่นละ 60 บาท	8,640	บาท
(2) ค่าขนขึ้น-ลงพร้อมทำความสะอาด 5 เที่ยว ๆ ละ 8,000 บาท	40,000	บาท
(3) ค่า H-Beam 300 x 300 Bracing 3 ชั้น 70 เมตรใช้ 12 ท่อนหนัก	564	กก./ท่อน
26 บาท/กก. = 564 x 12 x 26 = 175,968 ใช้ได้ 3 เที่ยว	58,656	บาท
(4) ค่าเช่ารถ Back hoe 15 วันๆละ 3,500 บาท	52,500	บาท
(5) ค่าคอนกรีตรองก้นหลุม 3.5x8.2x0.25x1,800	12,915	บาท
(6) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 15 วันๆละ 1,500 บาท	22,500	บาท
(7) ค่าลวดเชื่อมและอุปกรณ์สิ้นเปลืองต่าง ๆ	5,000	บาท
(8) ค่าทรายถม 3.5x8.2x6x1.3x260	58,204	บาท
(9) ค่ารถดั๊มพ์ 7 วัน ๆ ละ 800 บาท	5,600	บาท
รวม 9 รายการ	264,015	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	39,603	บาท
รวมเป็นเงิน	303,618	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	21,254	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อดันทั้งสิ้น	324,872	บาท

ประมาณการค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับแบบกด Sheet Pile 2.30 x 4.30 x 6.00 เมตร

ความยาว Sheet Pile 9 เมตร จำนวน Sheet Pile กดแบบเข้าเขี้ยวคิดความกว้าง 40 ซม./แผ่น

ดังนั้นใช้ = (2.30 x 4.30 x 2) / 0.40 = 50 แผ่น

(1) ค่าแรงปักั Sheet Pile แผ่นละ 60 บาท	3,000	บาท
(2) ค่าขนขึ้น-ลงพร้อมทำความสะอาด 2 เที่ยว ๆ ละ 8000 บาท	16,000	บาท
(3) ค่า H-Beam 300 x 300 Bracing 3 ชั้น 40 เมตรใช้ 7 ท่อน หนัก	564	กก./ท่อน
26 บาท/กก. = 564 x 7 x 26 = 102,648 บาท ใช้ได้ 3 เที่ยว	34,216	บาท
(4) ค่าเช่ารถ Back Hoe 7 วันๆละ 3,500 บาท	24,500	บาท
(5) ค่าคอนกรีตรองก้นหลุม 2.3x4.3x0.25x1800	4,450	บาท
(6) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 7 วันๆละ 1500 บาท	10,500	บาท
(7) ค่าลวดเชื่อมและอุปกรณ์สิ้นเปลืองต่าง ๆ	3,000	บาท
(8) ค่าทรายถม 2.3x4.3x6x1.3x260	20,057	บาท
(9) ค่ารถดั๊มพ์ 5 วันๆละ 800 บาท	4,000	บาท
รวม 9 รายการ	119,723	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	17,959	บาท
รวมเป็นเงิน	137,682	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	9,638	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับทั้งสิ้น	147,320	บาท

ประมาณการค่าใช้จ่ายการดันท่อเหล็ก 2 ชั้น Ø 1,200 มม. ความยาวท่อนละ 6 เมตร

โดยตั้งสมมติฐานว่าอัตราการดันท่อเท่ากับ 2 วันต่อท่อน

(1) ค่าแรงงาน คนงาน 4 คน 200 บาท/วัน/คน		
ผู้ควบคุมการดันที่ตู้ควบคุม 1 คน	600	บาท/วัน/คน
หัวหน้างาน 1 คน	800	บาท/วัน/คน
รวมเป็นเงิน 2 วันๆละ 2,200 บาท	4,400	บาท
(2) ค่าเชื่อมท่อ 1 หัว คิดเหมารวมค่าแรงช่างเชื่อม	4,000	บาท
(3) ค่า X-Ray รอยเชื่อม	4,000	บาท
(4) ค่าลวดเชื่อมต่อ 1 หัว	700	บาท
(5) ค่าสีทาท่อ	300	บาท
(6) ค่าปูนทราย	200	บาท
(7) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 2 วัน ๆ ละ 1500 บาท	3,000	บาท
(8) ค่าเช่าเครื่องดันท่อ 2 วัน ๆ ละ 2000 บาท	4,000	บาท
(9) ค่าเช่ารถ Back Hoe 2 วัน ๆ ละ 3500 บาท	7,000	บาท
(10) ค่ารถเสี้ยบขนท่อ 2 วัน ๆ ละ 800 บาท	1,600	บาท
(11) ค่ารถดั๊มพ์ 2 วันๆละ 800 บาท	1,600	บาท
รวม 11 รายการ	30,800	บาท
เฉลี่ยต่อเมตร 30,800 / 6 = 5133.33 คิด	5,135	บาท/เมตร
ค่าท่อและ Segment 18,660 บาท/เมตร รวมเป็นค่าใช้จ่ายต่อเมตร	23,795	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	3,570	บาท
รวมเป็นเงิน	27,365	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	1,915	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการดันท่อต่อเมตรทั้งสิ้น	29,280	บาท

ภาคผนวก ค

การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (รูปแบบ ข2)

ภาพที่ ก ป้ายประชาสัมพันธ์โครงการก่อสร้าง

ภาพที่ ข กำหนดตำแหน่งบ่อด้วยกล้องสำรวจ

ภาพที่ ค ทำการตัดผิวจราจรคอนกรีตด้วยเครื่องตัด

ภาพที่ ง ทำการเจาะผิวจราจรคอนกรีต

ภาพที่ จ ขุดเตรียมขอบบ่อเพื่อเตรียมการกด Sheet Pile

ภาพที่ ฉ ทำการกด Sheet Pile ตามที่ออกแบบ

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2)

ภาพที่ ง. ติดตั้งคานรองรับขอบบ่อเพื่อปรับระดับสำหรับการติดตั้งคานรองรับขอบบ่อ

ภาพที่ จ. ยกคานรองรับขอบบ่อที่เตรียมไว้ลงติดตั้ง

ภาพที่ ฉ. ทำการเทคอนกรีตช่องว่างระหว่างคานรองรับขอบบ่อกับผิวขราจรคอนกรีตเดิมเพื่อทำการยึดขอบของบ่อ

ภาพที่ ช. เชื่อมคานรองรับขอบบ่อกับ Steel Pile เพื่อเสริมความแข็งแรง

ภาพที่ ซ. ทำการขุดดินและค้ำยันตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้

ภาพที่ ฌ. ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ (Blower) ไว้ภายในบ่อเพื่อลดมลพิษโดยเฉพาะฝุ่นควันที่เกิดจากการเชื่อม

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ... เทคอนกรีตหยาบพื้นบ่อเพื่อรองรับระบบการดันท่อ (Jacking System)

ภาพที่ ... เตรียมการติดตั้งกำแพงยันหลัง (Back Thrust Wall)

ภาพที่ ... ทำการติดตั้งกำแพงยันหลัง

ภาพที่ ... ติดตั้งรางสำหรับดันท่อ

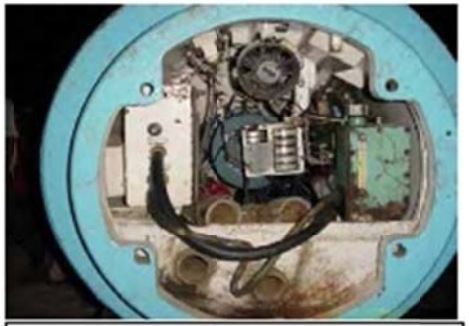
ภาพที่ ... ทำการเข้าแบบเพื่อเตรียมการหล่อ ... Ring สำหรับเป็นช่องทางดันให้หัวเจาะพร้อมท่อดันพ้นบ่อออกไปและเป็นการป้องกันดินนอกบ่อไหลเข้ามาในบ่อ

ภาพที่ ... เทคอนกรีตแบบหล่อ ... Ring

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ๑๙ ทำการติดตั้งชุดแม่แรงไฮดรอลิค

ภาพที่ ๒๐ รูปด้านหน้าหัวเจาะซึ่งจะมีฟันสำหรับกัดดิน แล้วดูดดินที่ผสมกับสารละลายเพื่อนำไปทิ้ง



ภาพที่ ๒๑ รูปด้านหลังหัวเจาะซึ่งจะประกอบด้วยชุดควบคุมการเจาะดินและชุดควบคุมทิศทางการดัน

ภาพที่ ๒๒ ทำการยกชุดหัวเจาะเพื่อนำลงติดตั้งภายในบ่อ

ภาพที่ ๒๒ ทำการยกชุดหัวเจาะเพื่อนำลงติดตั้งภายในบ่อ

ภาพที่ ๒๔ ทำการยกท่อดันท่อนแรกลงประกอบกับชุดหัวเจาะ

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ๒๑ เตรียมการยก Spacer ลงติดตั้ง
เพื่อกระจายแรงกดจากแม่แรงที่กระทำต่อท่อ

ภาพที่ ๒๒ ติดตั้ง Spacer กั้นระหว่างท่อดัน
กับชุดแม่แรงแล้วจึงเริ่มการดันท่อท่อนแรก

ภาพที่ ๒๓ ยกท่อท่อนต่อไปลงติดตั้งเพื่อ
ทำการดันต่อไป

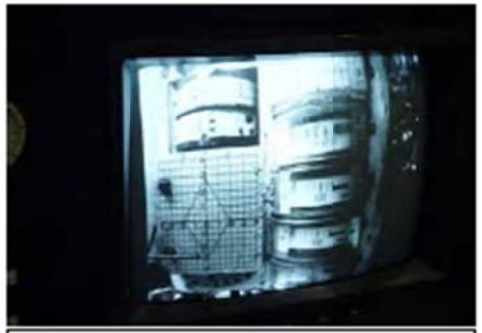
ภาพที่ ๒๔ ตรวจสอบแนวและระดับของท่อ
ดันที่ฝังบ่อออกไป

ภาพที่ ๒๕ ทำการติดตั้งระบบท่อน้ำเข้าเพื่อฉีด
สารละลายโพลิเมอร์และระบบท่อนำน้ำดิน
ออกมาจากหน้าหัวเจาะ

ภาพที่ ๒๖ ยก Spacer ลงติดตั้งเพื่อเพิ่ม
ระยะช่วงชักของแม่แรง

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ๓๑ ทำการติดตั้ง [illegible] ระหว่างชุดแม่แรงและท่อที่กำลังทำการดัน



ภาพที่ ๓๒ แสดงการควบคุมการดันผ่านจอมอนิเตอร์ที่ห้องควบคุม

ภาพที่ ๓๓ แสดงห้องควบคุมซึ่งอยู่บนระดับผิวดิน สามารถสั่งการไปยังหัวเจาะ

ภาพที่ ๓๔ ทำการดันท่ออย่างต่อเนื่องเพื่อมิให้เกิดแรงเสียดทานที่มากขึ้น

ภาพที่ ๓๕ แสดงท่อ [illegible] ที่ติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปในการดันเพื่อทำการฉีดสารละลายโพลิเมอร์ โดยจะมีท่อลักษณะนี้ทุกๆระยะประมาณ [illegible] เมตร

ภาพที่ ๓๖ แสดงเครื่องผสมสารละลายโพลิเมอร์ เพื่อการรักษาเสถียรภาพของดินในหลุมเจาะและลดแรงเสียดทานด้านข้าง

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ๗ แสดงปั๊มควบคุมระบบท่อน้ำเข้า
และท่อนำน้ำดินออก

ภาพที่ ๘ ลักษณะน้ำดินที่สูบออกมาจากหน้า
หัวดันแล้วนำไปทิ้ง

ภาพที่ ๙ [illegible] สำหรับรับน้ำดิน
เมื่อสูบขึ้นมาจากหัวเจาะก่อนขนไปทิ้ง

ภาพที่ ๑๐ แสดงตำแหน่งการตั้ง [illegible]
สารละลายโพลิเมอร์จะไหลล้นข้ามฝายไปยัง
อีกบ่อหนึ่งเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่

ภาพที่ ๑๑ ท่อชนิดนี้จะสามารถเชื่อมได้
เฉพาะด้านในท่อเท่านั้น ดังนั้นจะต้องคอย
ตรวจสอบคุณภาพของการเชื่อม

ภาพที่ ๑๒ ทำการตรวจสอบขนาดของ
รอยเชื่อมด้วยเวอร์เนียร์โดยจะต้องเชื่อม
พอกให้ได้ขนาดรอยเชื่อมตามมาตรฐาน

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ๗ ทำการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมโดยวิธี Liquid Penetrant Test

ภาพที่ ๘ หลังจากทิ้งไว้ช่วงหนึ่งจึงทำการเช็ดสารทดสอบเพื่อตรวจสอบผล

ภาพที่ ๙ หากจุดใดของรอยเชื่อมมีจุดที่เป็นสีแดงลักษณะที่เรียกว่าตามดจะต้องแก้ไขแล้วทำการทดสอบซ้ำ

ภาพที่ ๑๐ แสดงการกองเก็บท่อภายในสำนักงานโครงการเพื่อรอการนำออกไปใช้งาน

ภาพที่ ๑๑ ทำการขนท่อจากสำนักงานโครงการไปยังจุดงานโดยรถทรัลเลอร์

ภาพที่ ๑๒ ทำการต่อท่อเป็นคู่ดังที่แสดงเพื่อเตรียมการยกลงไปที่จุดฝัน

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ๖๖ ทำการยกท่อดันท่อนแรกขึ้นจากบ่อรับ

ภาพที่ ๖๗ ทำการรื้อชุดระบบท่อน้ำเข้าและท่อน้ำดินออก

ภาพที่ ๖๘ ทดสอบแรงดันที่ ๐.๕ ksc ค้างไว้ 2 ชม.จะต้องไม่ลดลงเกินกว่า 0.35 ksc

ภาพที่ ๖๙ แสดงการติดตั้ง Pressure Gauge เพื่อตรวจสอบแรงดันที่ทดสอบ

ภาพที่ ๗๐ ภายหลังการทดสอบจะทำการปล่อยน้ำสะอาดที่ใช้ในการทดสอบออกจากเส้นท่อ

ภาพที่ ๗๑ เตรียมการรื้อถอนบ่อ โดยเริ่มจากการถอน Sheet Pile และค้ำยัน

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

ภาพที่ ๘.๑ จะต้องทำการบดอัดทรายเป็นชั้นๆด้วยความแน่นตามมาตรฐานในขณะที่ถอนSheet Pile และค้ำยัน

ภาพที่ ๘.๒ แสดงการบดอัดทรายเป็นชั้นๆเพื่อการรื้อถอนบ่อและทำการซ่อมผิวจราจรถาวรคืนตามสภาพเดิมต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาพที่ ค.1 สรุปภาพถ่ายงานก่อสร้างการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. (รูปแบบ ข2) (ต่อ)

รายการเครื่องมือ เครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อ

จากการสังเกตและการสอบถามผู้ควบคุมงานรวมทั้งหัวหน้าชุดงานขณะเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูลสามารถระบุรายการเครื่องมือ เครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อดังนี้

ตารางที่ ค.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ข2

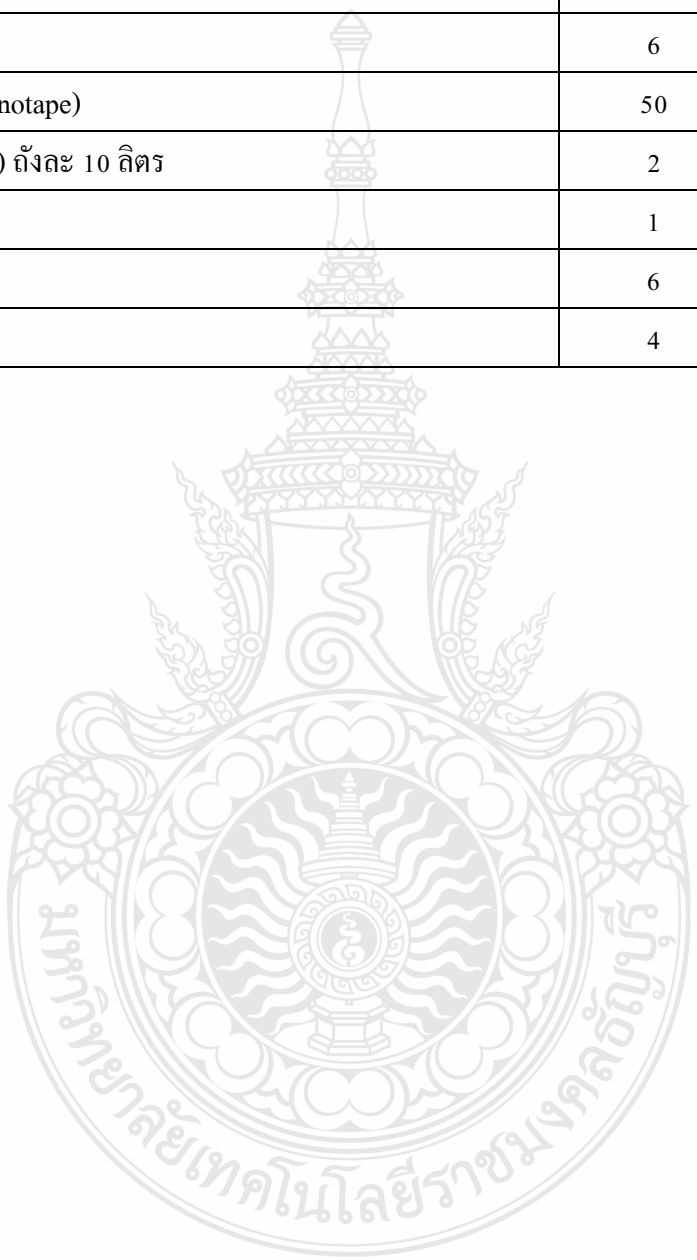
รายการ	จำนวน	หน่วย
<u>อุปกรณ์สำหรับการจราจร</u>		
ไฟหมุนสีเหลือง	12	ดวง
กรวยกั้นจราจร	36	อัน
ไฟฉายยาว	4	กระบอก
ธงราว	4	ม้วน
กระบองไฟ	2	อัน
เสื้อจราจรมีแถบสะท้อนแสง	5	ตัว
<u>เครื่องจักรประเภทรถ</u>		
รถ Dump สิบล้อ	2	คัน
รถ Backhoe PC200	1	คัน
รถ Backhoe บูมยาว	1	คัน
รถบรรทุก 6 ล้อ ไม่มีดั๊ม	1	คัน
รถปิ๊คอัพตอนเดียว	2	คัน
รถทุบถนน	1	คัน
รถเทรลเลอร์ติดเครน	1	คัน
รถเทรลเลอร์หางยาว	2	คัน
รถบดดินชนิดเดินตาม 1.5 ตัน	1	คัน
เครื่องตบทราย Compact Jump	2	เครื่อง
<u>อุปกรณ์ในการทำงาน</u>		
เครื่องตัดคอนกรีต	1	เครื่อง
เครื่องสูบน้ำ	2	เครื่อง
สายอ่อนใช้กับเครื่องสูบน้ำ	2	สาย

ตารางที่ ค.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ข2 (ต่อ)

รายการ	จำนวน	หน่วย
สายส่งใช้กับเครื่องสูบน้ำ	2	สาย
เครื่องปั่นไฟ ขนาด 65 KVA	1	เครื่อง
สายเชื่อม	1	สาย
หัวเชื่อม	1	หัว
สปอร์ตไลท์ 1500 W	3	ดวง
สลิงขนาด 6 หุน ยาว 6 เมตร	2	เส้น
สลิงขนาด 5 หุน ยาว 5 เมตร	2	เส้น
สเก็น 6 หุน	4	อัน
เทปวัดระยะ 25 เมตร	1	อัน
ตลับเมตร 5 เมตร	2	อัน
ระดับน้ำ	1	อัน
ขวาน	1	เล่ม
ค้อน 8 ปอนด์	1	อัน
ค้อน 2 ปอนด์	1	อัน
จอบพร้อมด้าม	4	อัน
อิเตอร์พร้อมด้าม	2	อัน
พลั่วตักดิน	4	อัน
พลั่วแทงดินพร้อมด้าม	4	อัน
ไม้กวาดแข็ง	4	อัน
เชือกฟาง	1	ม้วน
กระติกน้ำแข็ง	1	ใบ
แกลลอน 20 ลิตร	2	ใบ
ฉาก	1	อัน
วัสดุสิ้นเปลือง		
ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มม. ยี่ห้อ YAWATA	1	ลัง
ลวดเชื่อมขนาด 4 มม. ยี่ห้อ YAWATA	1	ลัง
ลวดเชื่อม LB 52 ยี่ห้อ KOBE (3.2 X 350)	1	ลัง

ตารางที่ ค.1 รายการเครื่องมือเครื่องจักรและทรัพยากรที่จำเป็นต่อกลุ่มงานดันท่อรูปแบบ ข2 (ต่อ)

รายการ	จำนวน	หน่วย
ลวดเชื่อม LB 52 ยี่ห้อ KOBE (4 X 400)	1	ลัง
ลวดเชื่อม LB 52U ยี่ห้อ KOBE (3.2 X 400)	1	ลัง
แบตเตอรี่	6	ลูก
เทปพันท่อ (Monotape)	50	ม้วน
สีทาท่อ (Epoxy) ถังละ 10 ลิตร	2	ถัง
ทินเนอร์	1	ปีป
ถังลม	6	ถัง
ถังแก๊ส	4	ถัง



ประมาณการค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อดันแบบกด Sheet Pile 3.00 x 10.00 x 8.00 เมตร

ความยาว Sheet Pile 14 เมตร จำนวน Sheet Pile กดแบบเข้าเขี้ยวคิดความกว้าง 40 ซม./แผ่น

ดังนั้นใช้ = (3.00 x 10.00 x 2) / 0.40 = 150 แผ่น

(1) ค่าแรงปักั Sheet Pile แผ่นละ 60 บาท	9,000	บาท
(2) ค่าขนขึ้น-ลงพร้อมทำความสะอาด 5 เที่ยว ๆ ละ 8000 บาท	40,000	บาท
(3) ค่า H-Beam 300 x 300 Bracing 4 ชั้น 104 เมตรใช้ 18 ท่อน หนัก	564	กก./ท่อน
26 บาท/กก. = 564 x 18 x 26 = 263,952 ใช้ได้ 3 เที่ยว	87,984	บาท
(4) ค่าเช่ารถ Back Hoe 15 วัน ๆ ละ 3500 บาท	52,500	บาท
(5) ค่าคอนกรีตรองก้นหลุม 3.0x10.0x0.25x1800	13,500	บาท
(6) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 15 วัน ๆ ละ 1500 บาท	22,500	บาท
(7) ค่าลวดเชื่อมและอุปกรณ์สิ้นเปลืองต่าง ๆ	5,000	บาท
(8) ค่าทรายถม 3.0x10.0x8x1.3x260	81,120	บาท
(9) ค่ารถดั๊มพ์ 7 วัน ๆ ละ 800 บาท	5,600	บาท
รวม 9 รายการ	317,204	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	47,581	บาท
รวมเป็นเงิน	364,785	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	25,535	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อดันทั้งสิ้น	390,320	บาท

ประมาณการค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับแบบกด Sheet Pile 3.00 x 5.00 x 8.00 เมตร

ความยาว Sheet Pile 14 เมตร จำนวน Sheet Pile กดแบบเข้าเขี้ยวคิดความกว้าง 40 ซม./แผ่น

ดังนั้นใช้ = (3.00 x 5.00 x 2) / 0.40 = 75 แผ่น

(1) ค่าแรงปักั Sheet Pile แผ่นละ 60 บาท	4,500	บาท
(2) ค่าขนขึ้น-ลงพร้อมทำความสะอาด 3 เที่ยว ๆ ละ 8000 บาท	24,000	บาท
(3) ค่า H-Beam 300 x 300 Bracing 4 ชั้น 64 เมตรใช้ 11 ท่อน		
หนัก 564 กก./ท่อน 26 บาท/กก. = 564 x 11 x 26 = 161,304 บาท		
ใช้ได้ 3 เที่ยว	53,768	บาท
(4) ค่าเช่ารถ Back Hoe 10 วันๆละ 3,500 บาท	35,000	บาท
(5) ค่าคอนกรีตรองก้นหลุม 3.0x5.0x0.25x1800	6,750	บาท
(6) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมัน 10 วันๆละ 1500 บาท	15,000	บาท
(7) ค่าลวดเชื่อมและอุปกรณ์สิ้นเปลืองต่างๆ	3,000	บาท
(8) ค่าทรายถม 3.0x5.0x8x1.3x260	40,560	บาท
(9) ค่ารถดั๊มพ์ 7 วันๆละ 800 บาท 5,600 บาท		
รวม 9 รายการ	188,178	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	28,227	บาท
รวมเป็นเงิน	216,405	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	15,149	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการก่อสร้างบ่อรับทั้งสิ้น	231,554	บาท

ประมาณการค่าใช้จ่ายการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด Ø 1,200 มม. ความยาวท่อนละ 3 เมตร

ตั้งสมมติฐานว่าอัตราการดันท่อเท่ากับ 3 ท่อนต่อวัน

(1) ค่าแรงงาน คนงาน 6 คน	200	บาท/วัน/คน
ผู้ควบคุมการดันที่ตู้ควบคุม 1 คน	600	บาท/วัน/คน
หัวหน้างาน 1 คน 800 บาท/วัน/คน		
รวมเป็นเงินต่อวัน	2,600	บาท
(2) ค่าทดสอบรอยเชื่อม Liquid Penetrant Test 3 หัว	6,000	บาท
(3) ค่าลวดเชื่อม 3 หัว	3,000	บาท
(4) ค่าสีทาท่อ	900	บาท
(5) ค่าเครื่องปั่นไฟและน้ำมันวันละ 1,500 บาท	1,500	บาท
(6) ค่าเช่าเครื่องดันท่อวันละ 2,000 บาท	2,000	บาท
(7) ค่าเช่ารถ Back Hoe วันละ 3,500 บาท	3,500	บาท
(8) ค่ารถเสี้ยบขนท่อวันละ 800 บาท	800	บาท
(9) ค่ารถดั๊มพ์วันละ 800 บาท	800	บาท
รวม 9 รายการ	21,100	บาท
เฉลี่ยต่อเมตร 21,100 / 9 = 2,344.44 คิด	2,345	บาท/เมตร
ค่าท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน เมตรละ	23,480	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายต่อเมตร	25,825	บาท
ค่าดำเนินการ 15 %	3,874	บาท
รวมเป็นเงิน	29,699	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	2,079	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายการดันท่อต่อเมตรทั้งสิ้น	31,778	บาท

ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี

ที่ วร 19 / 2555

24 พฤษภาคม 2555

เรื่อง ตอบรับตีพิมพ์บทความลงในวารสาร

เรียน นายศราวุฒิ ก้องใจ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง "การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดของการประปาส่วนภูมิภาค" เพื่อขอตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ทางกองบรรณาธิการ ได้พิจารณาแล้วเห็นควรให้ตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม) 2555 ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชวลิต แสงสวัสดิ์)
หัวหน้ากองบรรณาธิการ
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: 0 2549 3493 โทรสาร: 0 2549 3479 e-mail: varasan_rmutt@hotmail.com

การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดของการประปาส่วนภูมิภาค

A Comparative Study of Pipe Jacking Techniques of the Provincial Waterworks Authority

ศราวุฒิ ก๋องใจ [1] ถาวร ธีรเวชญาณ [2] กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์ [3]

บทคัดย่อ

เนื่องมาจากปัญหาการจราจรหนาแน่น และสภาพพื้นที่ที่จำกัดในตัวเมืองของบางจังหวัด การประปาส่วนภูมิภาคจึงได้นำการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) มาใช้เพื่อบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชนในพื้นที่ที่มีการก่อสร้าง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) การดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา 2) การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น และ 3) การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัญหา อุปสรรคขณะทำการก่อสร้างที่มีผลกระทบต่อต้นทุน และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดทั้ง 3 รูปแบบ

จากผลการศึกษาพบว่า ด้านระยะเวลาในการก่อสร้างรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ใช้เวลาในการดันท่อเร็วที่สุด เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการเชื่อมรอยต่อ เพราะท่อปลอกคอนกรีตเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อแบบบ่ารับ ด้านต้นทุนการก่อสร้าง รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้นใช้ต้นทุนน้อยที่สุด เนื่องจาก มีขั้นตอนการทำงานน้อย ด้านประสิทธิภาพการก่อสร้างรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในมีความแม่นยำในการดันท่อสูง สามารถปรับแนวได้ง่าย ทำให้ดันท่อในแนวโค้งได้ดีกว่ารูปแบบอื่น การศึกษานี้เป็นประโยชน์ในการพิจารณาเลือกรูปแบบการก่อสร้างงานวางท่อประปาของการประปาส่วนภูมิภาคต่อไป

คำสำคัญ: วิธีดันท่อลอด, ท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน, ข้อต่อแบบบ่ารับ

Abstract

Because of the traffic problem and physical conditions of the high population zones in some provinces, pipe jacking techniques are adopted by the Provincial Waterworks Authority (PWA) in order to mitigate the problems caused by the waterwork projects in the congested areas. This research studied and compared three types of pipe jacking construction projects, i.e. 1) steel pipe with concrete sleeve pipe 2) Steel Concentric Double Cylinder Pipe, and 3) reinforced concrete pressure pipe. Data of the pipe jacking construction time, cost, and the problems in the jacking activities of each technique are summarized.

The result of the research showed that reinforced concrete pressure pipe could be installed with the shortest construction time because of its non-welding connections. The inner connections of concrete sleeves were done by the push-on connectors. The cost of construction of the Steel Concentric Double Cylinder Pipe (SCP) is minimal because there are fewer construction steps. Concerning on the efficiency of installation, reinforced concrete pressure pipe is the best one, because it could be installed accurately and is suitable to install in a curve path. This research is very useful for PWA in selecting the right jacking technique for a job.

Keywords: pipe Jacking, reinforced concrete pressure pipe**,** push-on

[1]นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[3]อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิชานวัตกรรมการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

1. บทนำ

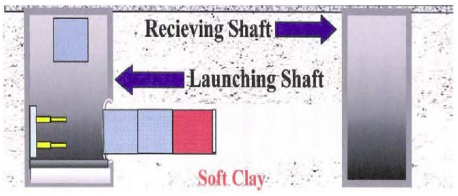
การประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) มีโครงการก่อสร้างวางท่อประธานในแต่ละเขตจังหวัดที่มีการขยายตัวของประชากรอย่างรวดเร็ว ในโครงการปรับปรุงกิจการประปาแผนยุทธศาตร์ ฉบับที่ 1)พ.ศ.2550-2554(ซึ่งจะต้องทำการก่อสร้างวางท่อประปาในบริเวณพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ที่ผ่านมาโครงการดังกล่าวมักจะประสบปัญหาการขออนุญาตจากหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ ซึ่งส่วนมากจะแจ้งให้การประปาส่วนภูมิภาคเปลี่ยนแปลงวิธีการก่อสร้างงานวางท่อประปาจากวิธีการขุดวางเป็นวิธีการดันท่อลอด (Pipe Jacking) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีวางท่อโดยไม่ต้องขุดเปิดร่องดิน เป็นวิธีที่สะดวก สามารถแก้ปัญหาการก่อสร้างวางท่อในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นในตัวเมืองได้ [3]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคขณะทำการก่อสร้างที่มีผลกระทบต่อต้นทุน และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด (Pipe Jacking) ใน 3 รูปแบบ เพื่อเป็นแนวทางการพิจารณาเลือกรูปแบบการก่อสร้างงานวางท่อประปา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดันท่อลอด (Pipe Jacking)

เป็นการวางท่อโดยใช้แม่แรงซึ่งติดตั้งในบ่อดัน (Launching Shaft) ยันท่อกับผนังบ่อให้ท่อทั้งเส้นเคลื่อนไปตามแนวที่ต้องการเพื่อไปโผล่ยังบ่อรับ (Receiving Shaft) ที่อยู่ถัดไปข้างหน้า ซึ่งจะนับเป็น 1 รอบของการดันท่อ ดังภาพที่ 1 [1]



ภาพที่ 1 การดันท่อลอดจากบ่อดัน (Launching Shaft) ไปยังบ่อรับ (Receiving Shaft) [1]

2.2 รูปแบบการดันท่อลอด

ในการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดของการประปาส่วนภูมิภาค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อตั้งแต่ 1,000 มม.ขึ้นไปนั้น มี 3 รูปแบบ คือ

1. รูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา ท่อปลอกที่หุ้มอยู่ภายนอกจะมีความแข็งแรง จึงไม่ต้องออกแบบท่อประปา ให้รับแรงดันจากภายนอกท่อ ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 รูปตัดของท่อรูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา

2. รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น ใช้สำหรับงานดันท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 1,000 มม. ขึ้นไป ซึ่งคนสามารถเข้าไปทำการเชื่อมรอยต่อของท่อแต่ละท่อนและซ่อมแซมท่อวงในที่เสียหายในระหว่างการก่อสร้างได้ และจะต้องมีการทดสอบรอยเชื่อมโดยวิธีใช้รังสีทุกครั้งก่อนเริ่มการดันท่อท่อนต่อไป ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ภาพตัดของท่อรูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น

3. รูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ใช้สำหรับงานดันท่อที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ Ø 1,000 มม. ขึ้นไป ซึ่งคนสามารถเข้าไปทำการเชื่อมรอยต่อของท่อแต่ละท่อนได้ ดังภาพที่ 4 ในการเชื่อมรอยต่อท่อนั้นสามารถปรับมุมที่ข้อต่อท่อแต่ละท่อนได้ประมาณ 0.5 องศา จึงทำให้รูปแบบนี้สามารถดันท่อในแนวโค้งได้

ภาพที่ 4 รูปตัดของท่อรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน

2.3 หัวเจาะ (Shield)

หัวเจาะในปัจจุบันที่การประปาส่วนภูมิภาคใช้เป็นแบบปิดหน้า (Slurry Shield) ดังภาพที่ 5 ซึ่งใช้ในการเจาะดินทรายที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินหรือดินเหนียวอ่อนได้ดี ใช้กับการดันท่อที่มีขนาด Ø 1,000 มม. ขึ้นไป และสามารถดันท่อได้ในระยะทางที่ยาว การลำเลียงดินออกจากท่อนั้นใช้วิธีปั๊มดินออกทางท่อขนดิน ซึ่งอยู่ท้ายของหัวเจาะ [4]

ภาพที่ 5 หัวเจาะแบบปิดหน้า Slurry Shield [4]

2.4 บ่อดันและบ่อรับ

ในการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดต้องมีการก่อสร้างบ่อดันเพื่อทำการติดตั้งแม่แรงดันท่อ และบ่อรับเพื่อเชื่อมต่อท่อและป้องกันไม่ให้แนวท่อที่ดันเกิดการคลาดเคลื่อนมากเกินไป

การประปาส่วนภูมิภาคได้กำหนดรูปแบบการก่อสร้างบ่อดันและบ่อรับไว้ 3 รูปแบบ ดังนี้

1. บ่อดันและบ่อรับ แบบใช้เข็มพืด (Sheet Pile) เป็นบ่อชั่วคราว สามารถรื้อถอนได้หลังจากการดันท่อเสร็จแล้ว ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 บ่อดันและบ่อรับแบบใช้เข็มพืด (Sheet Pile)

2. บ่อดันและบ่อรับแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) รูปร่างของบ่อดันและบ่อรับส่วนใหญ่จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมแต่อาจจะเป็นรูปวงกลมหรือรูปร่างอื่นก็ได้ตามความเหมาะสมดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7 บ่อดันและบ่อรับแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

3. บ่อดันและบ่อรับแบบบ่อเหล็กรูปวงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.70 เมตร ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 3 มม. ประกอบขึ้นเป็นบ่อรูปวงกลม สูงชิ้นละ 2.00 เมตร ภายในค้ำยันด้วยคานเหล็ก H-Beam และแผ่นเหล็กเพื่อเพิ่มความแข็งแรงดังภาพที่ 8 [3]

ภาพที่ 8 บ่อดันและบ่อรับแบบบ่อเหล็กรูปวงกลม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Phien-wej (ค.ศ.2002) กล่าวถึงประสบการณ์งานเจาะอุโมงค์ของประเทศไทย โดยการรวบรวมข้อมูลตลอดจนทำการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา งานเจาะอุโมงค์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ งานเจาะอุโมงค์ในหิน วิธีการขุดเจาะที่ใช้คือ การเจาะด้วยระเบิดและติดตั้งค้ำยัน โครงการที่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คือโครงการโรงไฟฟ้าใต้ดินลำตะคอง และงานเจาะอุโมงค์ในชั้นดินซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกรุงเทพฯ โดยนิยมใช้หัวเจาะที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย [5]

ชนะ พงษ์โพธากุล (พ.ศ.2546) กล่าวว่า ขนาดของบ่อดันขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเจาะ ท่อดัน และเครื่องมือที่ใช้ในการดันท่อ ส่วนขนาดของบ่อรับขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเจาะเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้บ่อดันจะต้องมีความแข็งแรงและมีพื้นที่ผนังกว้างเพียงพอที่จะรับแรงดันที่เกิดขึ้นจากการดันท่อโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่บ่อดัน บ่อดันแบบคอนกรีตเสริมเหล็กมีข้อดีกว่าบ่อดันแบบเข็มพืด (Sheet Pile) คือไม่ต้องมีการค้ำยันภายในบ่อให้เสียพื้นที่และกีดขวางการทำงาน จึงใช้พื้นที่การสร้างบ่อน้อยกว่า และสามารถป้องกันการเคลื่อนตัวของดินภายนอกบ่อได้ดี ผนังบ่อมีความแข็งแรง โอกาสที่ถนนจะทรุดตัวเสียหายและเกิดปัญหาในการซ่อมแซมภายหลังจึงมีน้อยลงหรือหมดไป แต่มีข้อเสีย คือ มีราคาแพงเพราะไม่สามารถรื้อถอนและนำไปใช้ใหม่ได้ และใช้เวลาการก่อสร้างนาน ดังนั้นการใช้บ่อดันแบบคอนกรีตเสริมเหล็กจึงควรออกแบบให้เกิดประโยชน์อย่างอื่น เช่น เป็นบ่อสำหรับติดตั้งประตูน้ำหรืออุปกรณ์อื่นๆ หรือเป็นบ่อสำหรับการบำรุงรักษาเส้นท่อในอนาคตเป็นต้น [2]

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษารายละเอียดของวิธีการดันท่อ ชนิดท่อ บ่อดัน บ่อรับ ที่ใช้ในการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีการดันท่อลอดของการประปาส่วนภูมิภาคโดยทำการศึกษางานวางท่อประธานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 – 1,500 มม. ซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ 1) รูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา 2)รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น และ 3) รูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน

3.1 กรณีศึกษา

โครงการที่ถูกคัดเลือกมาใช้ในการศึกษา คือ

1) โครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดชลบุรี ซึ่งมีการดันท่อลอดในรูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000มม .ยาวท่อนละ 9.00 ม .ระยะดันลอดทั้งหมด 1,340ม.

2) โครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดปทุมธานี ซึ่งจะมีงานดันท่อลอดในรูปแบบดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้นเป็นท่อประปา โดยใช้ท่อเหล็กสองชั้นขนาด Ø 1,200มม. ยาวท่อนละ 6ม. ระยะดันลอดทั้งหมด 1,130ม. และรูปแบบดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน โดยใช้ท่อขนาด Ø 1,200 มม .ยาวท่อนละ 3ม .ระยะดันท่อลอดทั้งหมด 220ม.

เนื่องจากโครงการของการประปาส่วนภูมิภาคซึ่งดำเนินการอยู่ในขณะที่ทำการวิจัยไม่มีการดันท่อลอดในรูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา ซึ่งใช้ท่อขนาด Ø 1,200 มม. ผู้วิจัยจึงไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลจากงานที่ใช้ท่อขนาดเดียวกันได้ทั้งสามวิธี

3.2 วิธีการศึกษาวิจัย

1) รวบรวมเอกสารโครงการที่เกี่ยวข้อง เอกสารสัญญา เอกสารด้านเทคนิคและเอกสารอื่นๆของแต่ละโครงการตามรูปแบบของการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด

2) ทำการสังเกตหน้างานขณะก่อสร้างเพื่อรวบรวมข้อมูล รายละเอียดของวิธีการดันท่อ ชนิดท่อ บ่อดันและบ่อรับ ปัญหาและอุปสรรค

3) ทำการถ่ายภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว เพื่อนำมาประกอบการศึกษาวิจัย

4) ทำการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการ ผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ และวิศวกรโครงการ สอบถามเกี่ยวกับภาพรวมของการก่อสร้าง ขั้นตอนการทำงาน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นรวมถึงค่าจ่ายในการก่อสร้าง

5) พิจารณาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ต้นทุนในการก่อสร้าง เปรียบเทียบปัญหา ข้อดี ข้อเสีย พร้อมทั้งสรุปผลการวิจัยและเสนอแนะการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีการดันท่อลอดที่เหมาะสม ให้กับการประปาส่วนภูมิภาค

4. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยรูปแบบการดันท่อลอดของการประปาส่วนภูมิภาคทั้ง 3 รูปแบบ ได้ผลการวิจัย ดังนี้

4.1 รูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีต แล้วร้อยด้วยท่อประปา

ข้อมูลอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรมใน 1 รอบการดันท่อ ข้อมูลต้นทุน แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 ระยะเวลาในการทำงานใน 1 รอบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาขนาด Ø 1,000 มม.

กิจกรรม	ระยะเวลา
1. ก่อสร้างบ่อดัน	18 วัน
2. ก่อสร้างบ่อรับ	5 วัน
3. ติดตั้งอุปกรณ์ดันท่อ	7 วัน
4. ติดตั้งอุปกรณ์ร้อยไส้ท่อเหล็ก	2 วัน
5. ดันท่อปลอกคอนกรีต(ท่อนละ2.50 ม.)	16 วัน
6. การร้อยท่อประปา (ท่อนละ 9.00 ม.)	9 วัน
7. อัตราเฉลี่ยการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา Ø 1,000 มม.	8 เมตร/วัน

ตารางที่ 2 ต้นทุนรูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาขนาด Ø 1,000 มม.

รายการ	ต้นทุนที่เบิกได้จาก BOQ* (บาท)
ค่าก่อสร้างบ่อดัน (บาท)	350,000
ค่าก่อสร้างบ่อรับ (บาท)	150,000
ค่าก่อสร้างดันท่อลอด (บาท/เมตร)	30,200
รวมต้นทุนดันท่อใน 1 รอบ (บาท)	6,540,000

*บัญชีแสดงปริมาณงานและราคา (Bill of Quality;BOQ)

ภาพที่ 9 การร้อยท่อประปาเข้าไปในท่อปลอกคอนกรีต

4.2 รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น

ข้อมูลอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรมใน 1 รอบการดันท่อ และข้อมูลต้นทุน แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4 ดังนี้

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการทำงานใน 1 รอบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง1, 2 00มม.

กิจกรรม	ระยะเวลา
1. ก่อสร้างบ่อดัน	15 วัน
2. ก่อสร้างบ่อรับ	10 วัน
3. ติดตั้งอุปกรณ์ดันท่อ	10 วัน
4. อัตราเฉลี่ยการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น (ท่อนละ 6.00 เมตร)	6 เมตร/วัน

ตารางที่ 4 ต้นทุนรูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,2 00มม.

รายการ	ต้นทุนที่เบิกได้จาก BOQ* (บาท)
ค่าก่อสร้างบ่อดัน (บาท)	350,000
ค่าก่อสร้างบ่อรับ (บาท)	150,000
ค่าก่อสร้างดันท่อลอด (บาท/เมตร)	32,000
รวมต้นทุนดันท่อใน 1 รอบ (บาท)	6,900,000

*บัญชีแสดงปริมาณงานและราคา (Bill of Quality;BOQ)

ภาพที่ 10 การดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น

4.3 รูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน

ข้อมูลอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรมใน 1 รอบการดันท่อ และข้อมูลต้นทุน แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 ดังนี้

ตารางที่ 5 ระยะเวลาในการทำงานใน 1 รอบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในขนาด1, 2 00มม.

กิจกรรม	ระยะเวลา
1. ก่อสร้างบ่อดัน	15 วัน
2. ก่อสร้างบ่อรับ	10 วัน
3. ติดตั้งอุปกรณ์ดันท่อ	7 วัน
4. เฉลี่ยอัตราการดันคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน (ท่อนละ3.00 เมตร)	9 เมตร/วัน

ตารางที่ 6 ต้นทุนรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง1, 2 00มม.

รายการ	ต้นทุนที่เบิกได้จาก BOQ* (บาท)
ค่าก่อสร้างบ่อดัน (บาท)	350,000
ค่าก่อสร้างบ่อรับ (บาท)	250,000
ค่าก่อสร้างดันท่อลอด (บาท/เมตร)	39,200
รวมต้นทุนดันท่อใน 1 รอบ (บาท)	8,340,000

*บัญชีแสดงปริมาณงานและราคา (Bill of Quality;BOQ)

ภาพที่ 11 การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน

เนื่องจากโครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดชลบุรี มีการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดรูปแบบการดันท่อคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาใช้ท่อขนาด 1,000 มม. จึงไม่สามารถนำไป เปรียบเทียบกับโครงการปรับปรุงขยายท่อจ่ายน้ำจังหวัดปทุมธานีที่มีก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดรูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้นและรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ซึ่งใช้ท่อขนาด 1,200 มม.ได้

ดังนั้นจึงสรุปผลการเปรียบเทียบการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดได้เพียง 2 รูปแบบคือ รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้นและรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดันท่อลอด ต้นทุนการดำเนินการและความยาวในการดันท่อ

รายการ	รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น ขนาด1, 2 00มม.	รูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ขนาด 1,2 00มม.
เฉลี่ยอัตราการดันท่อลอด (เมตร / วัน(	6	9
ความยาวในการดันต่อช่วง)เมตร(	น้อยกว่า 200	200-300
ค่างานดันท่อ)บาท/เมตร(	32,000	39,200
รวมต้นทุนการดันท่อใน 1 รอบ	6,900,000	8,340,000

จากผลการศึกษาพบว่า ด้านระยะเวลาในการก่อสร้างรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ใช้เวลาในการดันท่อเร็วที่สุด เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการเชื่อมรอยต่อ ดังนั้นรูปแบบ ข2 จึงสามารถทำได้ในถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เพราะมีระยะต่อช่วงการดันที่ค่อนข้างยาว จึงไม่ต้องมีจุดที่ต้องเปิดบ่อดัน-บ่อรับมาก และความเร็วในการดันที่ค่อนข้างเร็วมากจึงทำให้การทำงานในแต่ละจุดแล้วเสร็จตามกำหนด การปรับแนวท่อทำได้ง่าย

ด้านต้นทุนการก่อสร้าง เปรียบเทียบในระยะการดันท่อ 200 เมตรเท่ากัน รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้นใช้ต้นทุนน้อยที่สุด เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานน้อย โดยท่อเหล็กเปลือกนอกจะทำหน้าที่เป็นปลอกเหล็ก เป็นโครงสร้างถาวรรับแรงที่มากระทำต่อตัวท่อไส้ ส่วนท่อเหล็กเปลือกในจะเป็นท่อไส้รับแรงดันใช้งาน ดังนั้นจึงลดขั้นตอนการทำงาน โดยทำการดันท่อปลอกพร้อมท่อไส้ไปในขณะเดียวกัน มีผลทำให้ต้นทุนน้อยกว่ารูปแบบอื่น

ตัวอย่างการคิดคำนวณผลรวมต้นทุนการดันท่อใน 1 รอบการดัน รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้นจะคิดคำนวณได้ดังนี้

ค่างานก่อสร้างบ่อดัน 350,000 บาท
ค่างานก่อสร้างบ่อรับ 150,000 บาท
ค่างานดันท่อ 200 x 32,000 = 6,400,000 บาท
รวมต้นทุนการดันท่อ 6,900,000 บาท

1 รอบการดัน คือ เริ่มกระบวนการก่อสร้างบ่อดัน และบ่อรับ ในหนึ่งช่วงของบ่อทั้งสองจะห่างกันประมาณ 200 เมตร จากนั้นทำการดันท่อจากบ่อดันไปจนถึงบ่อรับ และเสร็จสิ้นกระบวนการที่การกลบคืนสภาพผิวเดิม

จากการศึกษาการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอดทั้ง 3 รูปแบบ ได้พบปัญหา อุปสรรค ข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกันไป ดังสรุป ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของการก่อสร้างงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด

รูปแบบการดันท่อลอด	ข้อดี	ข้อเสีย
การดันท่อคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา	1. ระยะเวลาในการดันท่อค่อนข้างเร็ว เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาเชื่อมในขณะที่ทำการดันท่อ 2. มีระยะทางการดันท่อต่อช่วงยาว 3. มีความแข็งแรงเนื่องจากท่อปลอกคอนกรีตทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักที่มากระทำต่อระบบท่อ 4. สามารถสร้างในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นได้	1. ผนังท่อปลอกคอนกรีตหนาและมีน้ำหนัก มาก ทำให้ต้องใช้แรงในการดันท่อสูง 2. แรงดันในลักษณะแบบกระทำเป็นจุด (Point Load) จากแม่แรง ทำให้ท่อปลอกคอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ 3. การดันท่อต้องทำในลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อไม่ให้ท่อปลอกคอนกรีตดูดน้ำรอบหลุม เจาะ จนเกิดการแห้งตัวทำให้เกิดความฝืดขึ้น
การดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น	1. ลดขั้นตอนการทำงานเนื่องจากท่อปลอกกับ ท่อไส้เป็นชิ้นเดียวกัน 2. ตัวท่อมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง เนื่องจากเป็นท่อเหล็กเหนียวซ้อนกัน 2 ชั้น	1. ระยะเวลาในการดันท่อค่อนข้างนาน เนื่องจากต้องเสียเวลาในการเชื่อมท่อและตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยการใช้รังสีเอกซ์ (X – Ray) ก่อนที่จะดันท่อท่อนต่อไป จึงไม่เหมาะสมกับการทำงานในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น 2. การปรับแนวจะทำได้ยาก เนื่องจากรอยต่อของท่อเป็นการเชื่อมทั้งหมด
การดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน	1. การดันท่อค่อนข้างเร็วเนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาเชื่อมท่อในขณะดันท่อ 2. มีระยะการดันต่อช่วงยาว จึงไม่ต้องมีจุด ขุดเปิดบ่อดันและบ่อรับมาก 3. ปรับแนวการดันในแนวโค้งได้ง่าย เนื่องจากข้อต่อไม่มีลักษณะแข็งเกร็ง (Rigid) 4. สามารถสร้างในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นได้	1. ไม่สามารถตรวจสอบรอยเชื่อมโดยการใช้รังสีเอกซ์ (X-Ray) ได้ จึงใช้วิธีฉีดสี (Liquid Penetrant Test)ในการตรวจสอบแทน 2. ท่อปลอกคอนกรีตมีน้ำหนักมากและผนังท่อมีความหนา ทำให้ต้องใช้แรงในการดันท่อสูง 3. แรงดันในลักษณะแบบกระทำเป็นจุด (Point Load) จากแม่แรง ทำให้ท่อปลอกคอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

5. สรุปผลการวิจัย

รูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปา ระยะเวลาในการดันท่อค่อนข้างเร็ว ระยะทางการดันท่อต่อช่วงยาว เนื่องจากข้อต่อไม่มีลักษณะแข็งเกร็ง)Rigid) สามารถปรับแนวการดันได้ง่าย และระยะทางการดันท่อต่อช่วงยาวได้นั้นทำให้ไม่ต้องก่อสร้างบ่อดันและบ่อรับหลายจุด ดังนั้นรูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตแล้วร้อยด้วยท่อประปาสามารถทำได้ในถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เพราะระยะเวลาในการก่อสร้างไม่นาน

รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้น เป็นรูปแบบที่พัฒนามาเพื่อลดขั้นตอนการทำงานเป็นหลัก จะเห็นว่า รูปแบบการดันท่อปลอกคอนกรีตต้องทำงานหลายขั้นตอน เริ่มจากการดันท่อปลอกก่อนจึงจะร้อยท่อไส้ตาม แต่รูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียวสองชั้นได้เปลี่ยนชนิดของท่อเป็นท่อเหล็กสองชั้น วิธีการดันท่อจะดันท่อปลอกและท่อไส้ไปพร้อมกัน โดยท่อเหล็กเปลือกนอกซึ่งเป็นท่อปลอกทำหน้าที่เป็นโครงสร้างถาวรรับแรงที่มากระทบกับท่อไส้ ส่วนท่อเหล็กเปลือกในซึ่งเป็นท่อไส้ทำหน้าที่รับแรงดัน แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของรูปแบบนี้ คือ ระยะเวลาในการดันท่อแต่ละท่อนค่อนข้างนาน เนื่องจากต้องเสียเวลาในการเชื่อมท่อและการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยการใช้รังสีเอกซ์ (X – Ray) ก่อนที่จะดันท่อท่อนต่อไป ทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการนำหัวเจาะสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพและราคาสูงมาเสียเวลากับการรอการเชื่อมท่อและรอผลการทดสอบรอยเชื่อม การดันท่อในรูปแบบนี้จึงไม่เหมาะสมกับการทำงานในถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เพราะระยะเวลาในการก่อสร้างนาน

รูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงใน ระยะเวลาในการดันท่อค่อนข้างเร็วมาก ใช้สำหรับงานดันท่อที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งคนสามารถเข้าไปทำการเชื่อมท่อ และซ่อมแซมท่อวงในที่เสียหายจากการก่อสร้างได้ แต่การเชื่อมท่อและซ่อมแซมท่อนั้นจะทำหลังจากดันท่อเสร็จ รูปแบบนี้จึงดันท่อได้เร็วกว่ารูปแบบการดันท่อเหล็กเหนียว 2 ชั้น อีกทั้งรูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในสามารถปรับแนวท่อได้ง่าย เนื่องจากท่อแต่ละท่อนไม่ได้เชื่อมติดกัน สามารถดันท่อในแนวโค้งได้โดยการปรับมุมที่ข้อต่อของท่อแต่ละท่อนประมาณ 0.5 องศา แต่อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของรูปแบบนี้คือ ไม่สามารถตรวจสอบรอยเชื่อมโดยการใช้รังสีเอกซ์ (X-Ray) จึงใช้วิธีฉีดสี (Liquid Penetrant Test) แทน อีกทั้งท่อคอนกรีตมีความหนาและมีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องใช้แรงในการดันท่อสูง ซึ่งแรงดันในลักษณะแบบกระทำเป็นจุด (Point Load) จากแม่แรง ทำให้กำแพงยันหลังหรือท่อคอนกรีต เกิดความเสียหายแตกร้าวได้ ในส่วนของประสิทธิภาพการก่อสร้าง รูปแบบการดันท่อคอนกรีตที่มีท่อเหล็กเป็นท่อวงในมีความแม่นยำในการดันท่อสูง สามารถปรับแนวได้ง่าย ทำให้ดันท่อในแนวโค้งได้ดีกว่ารูปแบบอื่น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] การประปานครหลวง, 2547, **เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การพัฒนามาตรฐานงานก่อสร้างวางท่อประปา**, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-40.

[2] ชนะ พงษ์โพธากุล, สุนัย สุนทราภา และ อภิชาติ ธารธรรมวงศ์, 2546, **เทคโนโลยีในงานประปาที่ไม่ต้องขุดร่องดิน**, การประปานครหลวง, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-16.

[3] การประปาส่วนภูมิภาค, 2553, **เอกสารประกอบการบรรยายมาตรฐานงานก่อสร้างวางท่อประปา**, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-53.

[4] นภดล เพียรเวช, 2539, “การก่อสร้างแบบ Pipe Jacking”, **โยธาสาร**, เมษายน 2539, หน้า 32-37.

[5] Phien-wej, N.,2002, “Experiences From EPB Shield Tunneling Underneath Existing Structures in Bangkok Soils (Invited Paper)”, **National Convention of Civil Engineering (NCCE-8)**, 23-25

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายศราวุฒิ ก๋องใจ
วัน เดือน ปีเกิด	15 เมษายน 2524
ที่อยู่	236 หมู่ 12 ตำบลป่างิ้ว อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย 57170
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2548
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2548 - ปัจจุบัน วิศวกรชำนาญการ บริษัท ไทยมิเตอร์ จำกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี