

การศึกษามลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์
ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

ปริญญาานิพนธ์
ของ
ประภฤษฎี วงศ์สุคนธ์ชาติ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2548
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๒๕๔. ๑๙๓

๗๑๘๒๗

๘๖

การศึกษามูลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์
ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

ของ

ประภฤษฎี วงศ์คุณธ์ชาติ

๑๓ ก.ค. ๒๕๔๘

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน ๒๕๔๘

๒ ๒๙๕๗๑๐

ประภฤกษ์ วงศ์สุนทรชาติ. (2548). การศึกษาผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์ ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร.
ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.ศิริพรรณ ธงชัย, อาจารย์ ดร.พิชัย อักษรมงคล.

ในยุคที่พลังงานมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการประกอบการเพิ่มขึ้นอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นถ้าสามารถลดการใช้พลังงานลงก็จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงานของประเทศ และขององค์กรนั้น ๆ และถ้าสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ก็จะเป็นการชะลอการดึงพลังงานสำรองของประเทศมาใช้อีกด้วย การเจาะอุโมงค์ใต้ดิน พารามิเตอร์ที่สำคัญในส่วนของพลังงานที่ใช้คือแรงเสียดทาน ถ้าสามารถลดแรงเสียดทานในการเจาะอุโมงค์หรือแรงเสียดทานในการดันท่อคอนกรีตได้ ก็จะสามารถลดพลังงานที่ใช้ได้เช่นกัน การศึกษาเรื่องผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์ ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานครนี้ เป็นการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์ กับ น้ำ เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อคอนกรีตกับชั้นดินจาก 5.0 kN/m^2 เมื่อใช้เบนโทไนท์กับน้ำ เหลือแรงเสียดทานเฉลี่ย 1.0 kN/m^2 เมื่อใช้ของผสมอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์กับน้ำที่ระยะทาง 500 m. อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เป็น 180 g ต่อ ปริมาณน้ำ 100 L จึงประหยัด การใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ยต่อเดือน 10.37 MWh. และ สามารถออกแบบแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตขนาด DN.2,500 หรือ DN.2,550 mm.ตามมาตรฐาน BS 5911 Part 120 ความหนาลดลงเป็น 220 mm. เช่นเดียวกับมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 ในระยะทางเฉลี่ย 500 m.โดยใช้ แรงขนาด 6,000 kN

โดยแนวทางการประหยัดพลังงานจากการใช้ของผสมระหว่างอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์ กับ น้ำ เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อคอนกรีตกับชั้นดิน ยังมีองค์ประกอบของการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบน 0.17° ทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 9.52 % ซึ่งถ้าสามารถควบคุมทิศทางในการดันท่อให้เป็นแนวตรงก็จะเป็นการลดต้นทุนพลังงานในการดันท่อ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อต้นทุนในด้านราคางานก่อสร้างอุโมงค์และจะเป็นประโยชน์ในการคำนวณราคาของโครงการในลักษณะเดียวกันของกรุงเทพมหานครต่อไป.

A STUDY OF SKIN FRICTION BY MIXING ACRYLAMIND POLYMER
CONCERN THE ENERGY COST IN UNDER GROUND PIPE JACKING
OF BANGKOK CLAY.

AN ABSTRACT

BY

PRAKRISH VONGSUKONCHAT

Present in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Engineer degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University

April 2005

Prakrish Vongsukonchat. (2005). *A study of skin friction by mixing acrylamind polymer concern .the energy cost in under ground pipe jacking of Bangkok clay.*

M.Eng. (Mechanical Engineering).Bangkok: Graduate School,

Srinakharinwirot University. Advisor Committee :

Dr.Siripun Thongchai, Dr.Pichai Asadamongkol

At present, increases of oil price resulted in increase in energy cost and consequently affect the manufacturing cost. As a result, manufacturers are more concerned with energy conservation. A company dealing with tunnel work for subway transportation spends a large proportion of operating cost on energy. This is due to friction when they have to jack a pipe through soil. Pipe jacking force is a direct proportion to the friction. Therefore, reduction of the friction will result in less force needed to jack the pipe. Consequently, it will reduce the energy used in the process. In this study, acrylamind polymer mixing with water was used as a lubricator to reduce the soil skin friction. The result shows that soil friction reduce from 5.0 kN/m² to 1.0 kN /m² at Length 500 m. The optimize mixing ratio is 180 g per water 100 L and total cost of electrical power can be saved up to 10.37 MWh./month.

Which can be design the jacking force only 6,000 kN for pushing concrete pipe DN.2,500 or DN.2,550 mm. of BS 5911 Part 120 in the jacking length as mentioned can design same thickness 220 mm. of JSWAS-A2-1991 standard.

The friction in case of misalignment 0.17 ° in the concrete pipe is impact to the energy cost approx. 9.52%

These study for improve the cost of pipe jacking construction work in the future projects of tunnel in Bangkok.

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์
ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

ของ

นายประภษฎ์ วงศ์สุคนธ์ชาติ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

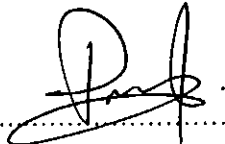


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ จิระเดชากุล)

วันที่ 25.....เดือน.....พ.ศ. 2548

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



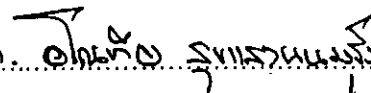
.....ประธาน

(อาจารย์ ดร.พิชัย อิชฎิมงคล)

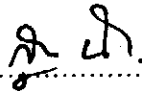


.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริพรรณ ธงชัย)

.....

กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ่ง)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร.สุกิจ นิตินัย)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.พิชัย อัมภมมงคล อาจารย์ ดร.ศิริพรรณ ธงชัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชิต บัวแก้ว เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำรวมทั้งการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาทางวิชาการ และกองวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้ที่สนใจ ในงานเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Pipe Jacking และ บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน) ที่ผู้วิจัยเริ่มเข้าทำงาน ตั้งแต่ พ.ศ.2530 ซึ่งได้สนับสนุนเครื่องมือ วัสดุ และ อุปกรณ์ ในงานวิจัยนี้.

ประภทษฎี วงศ์สุนันท์ชาติ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	8
	ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	8
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
	การคำนวณแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในการดันหัวเจาะอุโมงค์.....	9
	แรงสูงสุดที่ใช้ในการดันท่อคอนกรีต.....	20
	การสำรวจสภาพชั้นดิน.....	30
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
3	วิธีการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต.....	43
	อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต.....	43
	การทำงานของระบบนำร่องหัวเจาะ (ELS Guidance System / Data Logger).....	61
	การทำงานของระบบลดแรงเสียดทานในขณะก่อสร้างอุโมงค์.....	64
	การทำงานของอุปกรณ์เสริมแรงดัน.....	65
4	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	67
	ขั้นตอนการเจาะสำรวจดิน	67
	การคำนวณหาแรงเสียดทานจากการใช้เบนโทไนท์เป็นสารหล่อลื่น.....	73
	การคำนวณหาแรงเสียดทานจากการใช้อะครีลาไมด์โพสิเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น.....	73
	ข้อมูลแรงดันที่ใช้ในการดันท่อคอนกรีตที่มีมุมเบี่ยงเบนน้อยกว่า 0.5 °.....	73
	วิธีการเก็บข้อมูล.....	74

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 ผลการวิจัย.....	78
การวิเคราะห์ข้อมูลโมดูลสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้านครหลวง.....	78
การวิเคราะห์ข้อมูลโมดูลบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร.....	84
สรุปผลของแรงเสียดทานต่อการใช้พลังงานในการดันท่อคอนกรีต.....	87
6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	94
สรุปผลการวิจัย.....	94
ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต.....	96
บรรณานุกรม	97
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก. ข้อมูลโมดูลท่อร้อยสายไฟแรงสูง 230 kV.....	101
ภาคผนวก ข. ข้อมูลโมดูลบำบัดน้ำเสียระยะที่ 4.....	154
ภาคผนวก ค. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับจำนวนท่อคอนกรีต.....	174
ภาคผนวก ง. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดันกับจำนวนท่อคอนกรีต.....	180
ภาคผนวก จ. ผลการเจาะสำรวจและทดสอบชั้นดินโมดูลท่อร้อยสายไฟฟ้า.....	186
ภาคผนวก ฉ. ผลการเจาะสำรวจและทดสอบชั้นดินโมดูลบำบัดน้ำเสีย.....	201
ภาคผนวก ช. ข้อมูลการหาค่าพิกัดของความลาดชัน.....	206
ภาคผนวก ซ. กราฟแสดงค่าการเบี่ยงเบนในแนวตั้ง.....	210
ภาคผนวก ฅ. มาตรฐาน JSWAS A-2-1991.....	212
ภาคผนวก ฎ. คำอธิบายสัญลักษณ์.....	214
ประวัติย่อผู้วิจัย	217

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ขนาดระบุท่อคอนกรีต.....	7
2	ข้อแตกต่างระหว่างมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 และ BS 5911Part 120.....	7
3	ข้อมูลจำเพาะของชั้นดินเหนียวกรุงเทพมหานคร.....	11
4	ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินในชั้นดินเหนียวกรุงเทพมหานคร.....	12
5	ระยะสัมผัสระหว่างดินและท่อคอนกรีต.....	13
6	ความเค้นในแนวตั้งและในแนวระนาบ.....	17
7	แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อ กับชั้นดิน กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น.....	20
8	ความหนาท่อคอนกรีตมาตรฐาน JSWAS-A2-1991.....	23
9	ความหนาท่อคอนกรีตมาตรฐาน BS 5911 Part 120.....	23
10	แรงดันท่อคอนกรีตที่มุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°	27
11	คุณสมบัติของชั้นดินกรุงเทพมหานคร.....	36
12	อัตราส่วนวอยด์ของเบนโทไนท์ และ ค่าสัมประสิทธิ์ α จากการทดสอบแรงอัด.....	40
13	ตัวอย่างค่าแรงดันดินหน้าหัวเจาะที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์.....	49
14	ผลการเจาะสำรวจชั้นดินและผลการทดสอบดิน.....	68
15	ข้อมูลท่อคอนกรีต JSWAS-A2-1991 โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูง ใต้ดิน 230 kV. ระหว่างสถานีต้นทางวิภาวดีกับสถานีปลายทางลาดพร้าว.....	74
16	ข้อมูลท่อคอนกรีต BS 5911 Part 120 โครงการบำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร.....	75
17	การคำนวณหาค่าแรงเสียดทาน.....	76
18	แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อ กับชั้นดิน กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น.....	79
19	แรงระหว่างผนังท่อ กับชั้นดินที่ระยะทาง 500 m. กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น.....	79
20	แรงเฉื่อยระหว่างผนังท่อ กับชั้นดิน กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น.....	79
21	แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อ กับชั้นดิน กรณีใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น(อุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้านครหลวง).....	80
22	แรงระหว่างผนังท่อ กับชั้นดินที่ระยะทาง 500 m กรณีใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น.....	81

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
23	ความดันระหว่างผนังท่อกับชั้นดินต่อการใช้สารหล่อลื่น (อุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้านครหลวง).....	81
24	กำลังงานที่ใช้ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m. (อุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้านครหลวง).....	82
25	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m. (อุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้านครหลวง).....	82
26	แรงดันต่อคอนกรีตแนวตรง - มุมเบี่ยงเบน 0.17°	83
27	ความดันของระบบต่อการดันท่อแนวตรง - มุมเบี่ยงเบน 0.17°	83
28	กำลังงานของระบบต่อการดันท่อแนวตรง - มุมเบี่ยงเบน 0.17°	84
29	แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น (อุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร).....	85
30	แรงระหว่างผนังท่อกับชั้นดินที่ระยะทาง 500 m. กรณีใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ (อุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร).....	85
31	ความดันไฮดรอลิกระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน ต่อการใช้สารหล่อลื่น (อุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร).....	86
32	กำลังงานที่ใช้ ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m. (อุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร).....	86
33	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m. (อุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร).....	86
34	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า(Mwh) ต่อเดือน.....	95
35	ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการดันท่อคอนกรีตต่อเดือน/ความยาว 500 m.....	95
36	ราคามาตรฐานงานก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต.....	95

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 หัวเจาะแบบธรรมดาใช้คนขุดเจาะ หรือ หัวเจาะแบบเปิด (Open Shield).....	2
2 หัวเจาะสมดุลแรงดันดินโดยใช้สกรูล้ำเลียงดิน (Earth Pressure Balance).....	2
3 แผนที่ก่อสร้างอุโมงค์ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV.....	4
4 แผนที่ก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร.....	5
5 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กมาตรฐาน JSWAS-A2-1991.....	5
6 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กมาตรฐาน BS 5911 Part 120.....	6
7 ผิวนอกของท่อคอนกรีตมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 และ ท่อคอนกรีตมาตรฐาน BS 5911 Part 120.....	6
8 ภาพจำลองโมเดลของแรงดันดินตามทฤษฎีของ Tezaghi.....	11
9 แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 °	24
10 พื้นที่หน้าตัดท่อคอนกรีตในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 °.....	24
11 กราฟความสัมพันธ์ $[Max. \sigma_1 / (\sigma_{p0})] / (Z/\gamma)$ กับ $Max. \sigma_1 / (\sigma_{p0})$ และ γ' / γ	28
12 มาร์ชพันแนลวิสโกซิดี.....	41
13 ดัชนีมาร์ชพันแนลวิสโกซิดีของโพลีเมอร์ที่ใช้ในการหล่อลื่น.....	42
14 ลักษณะของอะครีลาไมด์โพลีเมอร์ที่ใช้ในการหล่อลื่น.....	42
15 หัวเจาะอุโมงค์ระบบสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance).....	43
16 ระบบสกรูล้ำเลียงดินของหัวเจาะอุโมงค์.....	45
17 อุปกรณ์วัดแรงดันดินของสกรูล้ำเลียงดิน.....	46
18 ปัมส่งดินแรงดันสูง (Clay Pump).....	47
19 ระบบนำร่องหัวเจาะอุโมงค์ เฟส 1.....	62
20 ระบบนำร่องหัวเจาะอุโมงค์เฟส 2.....	63
21 ระบบนำร่องหัวเจาะอุโมงค์ เฟส 3.....	64
22 อุปกรณ์ลดแรงเสียดทานแบบอัตโนมัติ(Automatic Lubrication System).....	65
23 อุปกรณ์เสริมแรงดันในการดันท่อคอนกรีต (Intermediate Jacking Station).....	66
24 การติดตั้งอุปกรณ์เสริมแรงดันในการดันท่อคอนกรีต.....	66

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25 การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน Standard Penetration Test, SPT).....	67
26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับจำนวนตอกคอนกรีต โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง 230 kV.....	88
27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับจำนวนตอกคอนกรีต โครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4.....	89
28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดันตอกคอนกรีตกับจำนวนตอกคอนกรีต โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง 230 kV.....	91
29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดันตอกคอนกรีตกับจำนวนตอกคอนกรีต โครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4.....	92

บทที่ 1

บทนำ

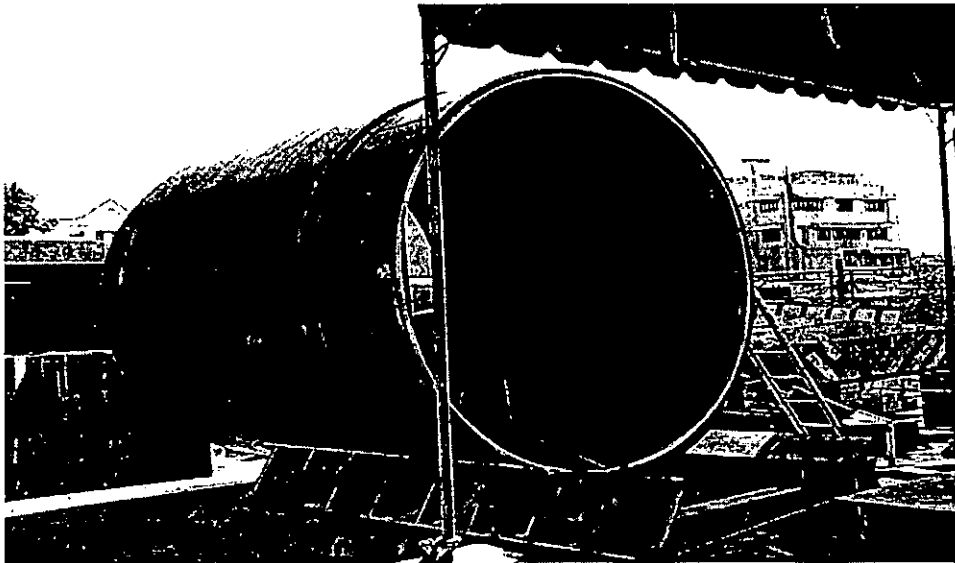
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานก่อสร้างอุโมงค์สายไฟแรงสูงในประเทศไทยเริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตความเป็นอยู่ของชาวกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี 2538 ในโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน ถนนศรีนครินทร์ มูลค่างาน 248,200,000 บาท โดยการไฟฟ้านครหลวงได้ว่าจ้าง บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวลอปเมนต์ จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ก่อสร้างพร้อมออกแบบ (Turn Key Project) โดยใช้วิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking Method) ซึ่งเป็นโครงการแรกในประเทศไทยทางบริษัท จำเป็นต้องใช้ผู้ชำนาญงานและเครื่องเจาะจากประเทศสวีเดน เพื่อมิให้เกิดผลกระทบกับสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากแนวท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินจะอยู่ใต้พื้นถนน การก่อสร้างโดยวิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking) จะไม่มีการขุดเปิดถนน ยกเว้นเฉพาะงานก่อสร้างบ่อต้นท่อและบ่อรับเท่านั้น

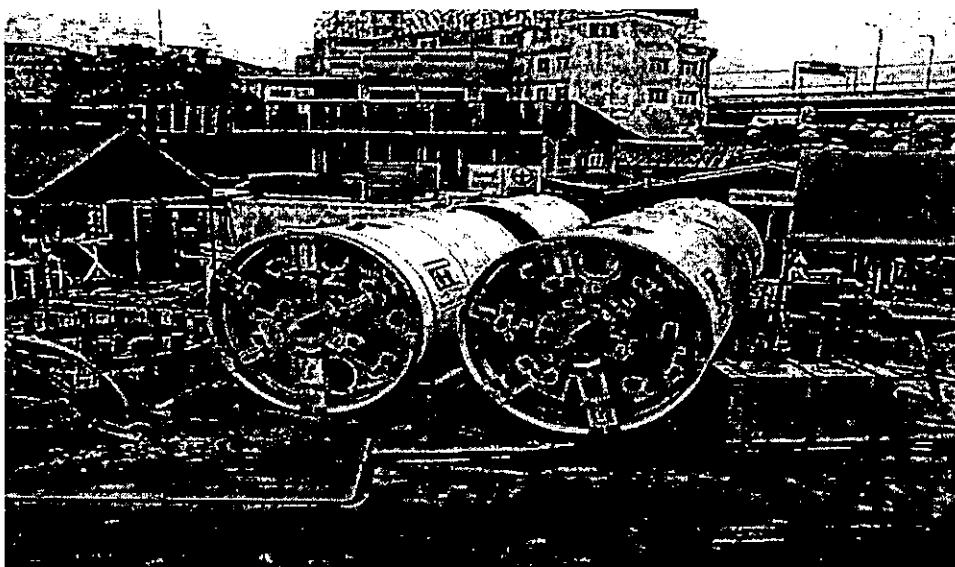
ลักษณะงานก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าโดยวิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking) งานก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าโดยวิธีดันท่อคอนกรีต จะมีขนาดหัวเจาะ ตั้งแต่ 2-12 ft (600 – 3,600 mm.) ถ้าขนาดใหญ่กว่านี้จะมีอุปสรรคในการขนส่งท่อคอนกรีต เนื่องจากขนาดของท่อคอนกรีตโตเกินกว่าจะใช้รถเทลเลอร์ขนย้าย ต้องเปลี่ยนมาใช้อุโมงค์แบบผนังคอนกรีตเป็นชิ้นประกอบกัน (Segment) แทนท่อคอนกรีต เช่น โครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ การประปานครหลวง และยังมีโครงการต่างๆที่เริ่มหันมาก่อสร้างด้วยวิธีการ ขุดเจาะอุโมงค์ เช่น โครงการก่อสร้างท่อรวบรวมน้ำเสียระยะที่ 1-4 โครงการก่อสร้างอุโมงค์รดไฟฟ้ามหานคร โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองเปรมประชากร โครงการก่อสร้างท่อสาธารณูปโภครวมของกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ระหว่างศึกษาและวางแผนที่จะนำเอาระบบสาธารณูปโภค ไฟฟ้า ประปา โทรศัพท์ และเคเบิลสื่อสารของหน่วยราชการ รัฐวิสาหกิจต่างๆ ติดตั้งในอุโมงค์เดียวกัน เพื่อลดปัญหาการก่อสร้างซ้ำซ้อนและช่วยทำให้เกิดการประหยัดพลังงานและงบประมาณในการก่อสร้าง

ชนิดของหัวเจาะที่นำเข้ามาใช้ในประเทศไทย

- 1) แบบธรรมดาใช้คนขุดเจาะ หรือ หัวเจาะแบบเปิด (Open Shield)
- 2) หัวเจาะสมดุลแรงดันดินโดยใช้ของผสม (Slurry Shield)
- 3) หัวเจาะสมดุลแรงดันดินโดยใช้สกรูล้ำเลียงดิน (Earth Pressure Balance)
- 4) หัวเจาะขนาดใหญ่ (Tunnel Boring Machine)
- 5) หัวเจาะแบบใช้ก้านเจาะนำร่อง (Pilot Boring Machine)



ภาพประกอบ 1 หัวเจาะแบบธรรมดาใช้คนชุดเจาะ หรือ หัวเจาะแบบเปิด (Open Shield)



ภาพประกอบ 2 หัวเจาะสมดุลแรงดันดินโดยใช้สกรูล้ำเลียงดิน (Earth Pressure Balance)

อุตสาหกรรมการก่อสร้างอุโมงค์ในอนาคต จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา 29 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2519) โดยที่ประเทศไทยยังขาดบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญในการก่อสร้างอุโมงค์และการใช้หัวเจาะอุโมงค์จากต่างประเทศก็มีราคาสูง ซึ่งวิศวกรไทยปัจจุบันนี้ได้เริ่มพัฒนาออกแบบและสร้าง หัวเจาะขนาดเล็กขึ้นใช้ในโครงการบำบัดน้ำเสียของจังหวัดสมุทรปราการบ้างแล้ว แต่ยังไม่สามารถศึกษาในด้านการประหยัดพลังงานของหัวเจาะอุโมงค์ เนื่องจากการสร้างหัวเจาะอุโมงค์ ยังคงรูปแบบการติดตั้งและเลือกใช้อุปกรณ์เหมือนของต่างประเทศ

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยเพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงาน โดยหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่าง อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ กับ น้ำ แทนการใช้เบนโทไนท์ ซึ่งสามารถลดแรงสูงสุดในการออกแบบหัวเจาะ สำหรับ ก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

1.2 ลักษณะของโครงการที่ทำการวิจัย การก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้วิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking)

การศึกษาเรื่องผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสม อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานครนี้ แบ่งการศึกษาเป็น 2 โครงการ

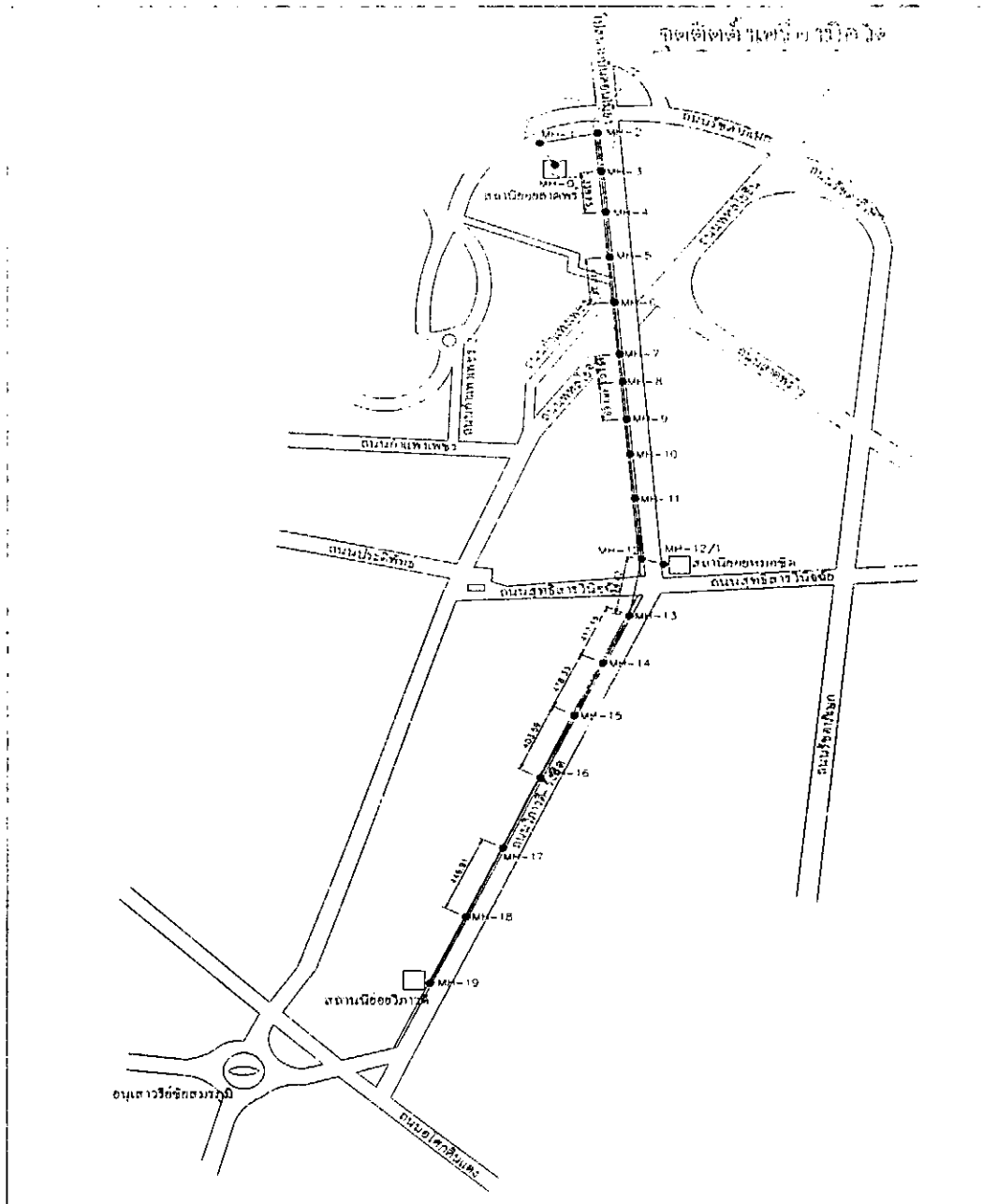
การศึกษาโครงการก่อสร้างอุโมงค์ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV.

ระหว่างสถานีต้นทางลาดพร้าวกับสถานีปลายทางวิภาวดี (Project of Construction For 230 kV. Underground Power Line Between Ladprao and Vibhavadi Substation) ดังแสดงในภาพประกอบ 3 ความยาวอุโมงค์รวมทั้งสิ้น 7,599 m.โดยแบ่งเป็น 20 ช่วงๆละประมาณ 500 m. ซึ่งโครงสร้างอุโมงค์เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2,600 mm.และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,040 mm.ความหนา 220 mm.และค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน เท่ากับ 500 KSC.ผลิตตามมาตรฐาน.JSWAS-A2-1991.เป็นการหล่อแบบแห้ง และ หมุนเหวี่ยงในแนวนอน (Dry Process and Centrifugal Spinning Method) ดังแสดงในภาพประกอบ 5 ซึ่งมีผิวของท่อคอนกรีตเรียกว่าท่อที่หล่อแบบแห้งและหมุนเหวี่ยงในแนวตั้ง (Dry Process and Vertical Casting Method)

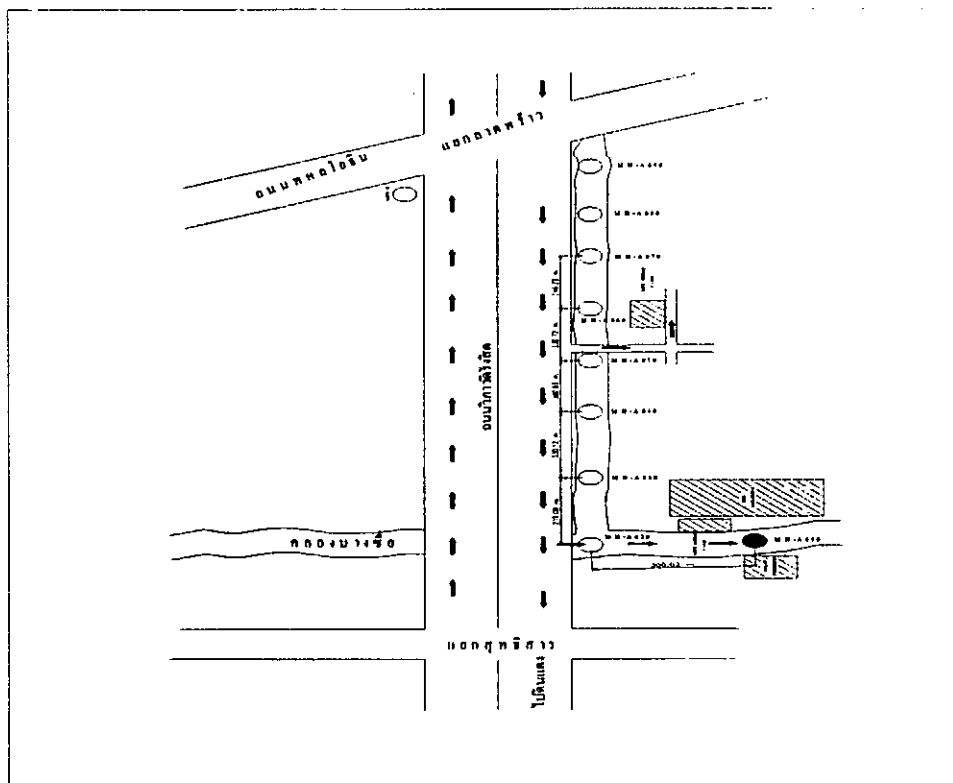
การศึกษาโครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร

ดังแสดงในภาพประกอบ 4 ซึ่งโครงสร้างอุโมงค์เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2,500 mm.และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,000 mm.ความหนา 250 mm.ความยาวอุโมงค์รวมทั้งสิ้น 1,705 m.โดยแบ่งเป็น 6 ช่วงๆละประมาณ 250 m.และค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน เท่ากับ 700 KSC.ผลิตตามมาตรฐาน BS 5911 Part 120.เป็นการหล่อแบบแห้งและ

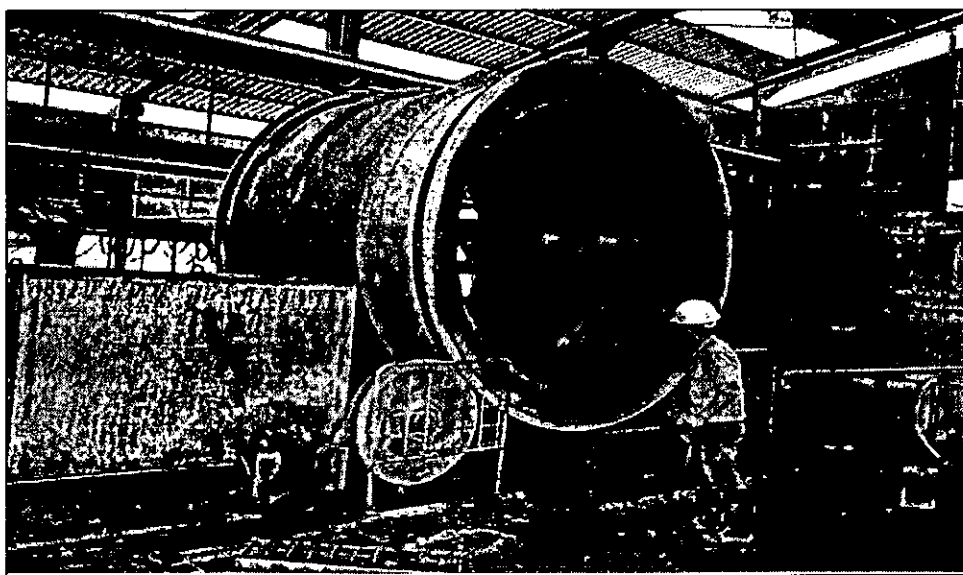
หมุนเหวียงในแนวตั้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 6 ซึ่งผิวของท่อคอนกรีตจะมีความหยาบมากกว่าท่อที่หล่อแบบแห้งและหมุนเหวียงในแนวนอน ดังแสดงในภาพประกอบ 7



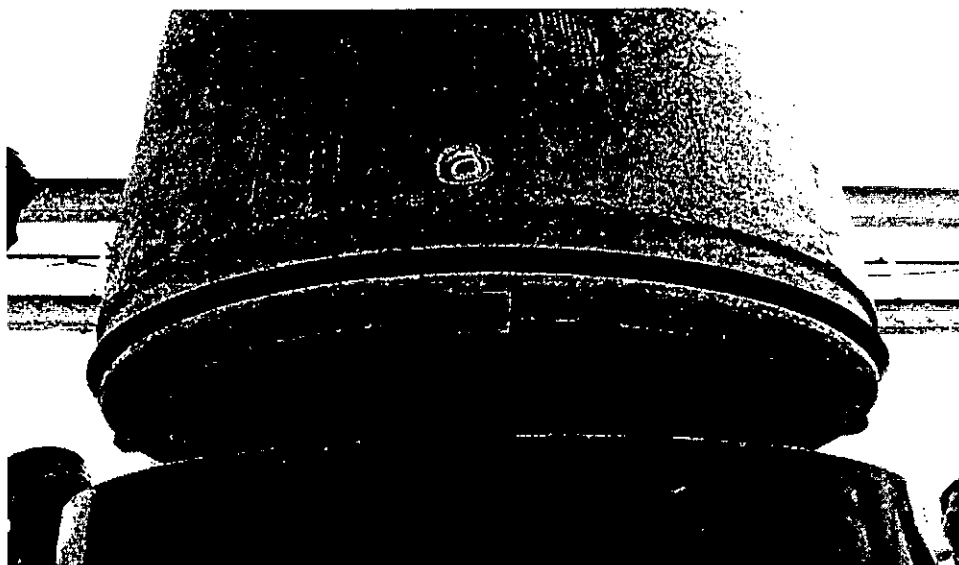
ภาพประกอบ 3 แผนที่ก่อสร้างอุโมงค์ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV.
ระหว่างสถานีต้นทางลาดพร้าวกับสถานีปลายทางวิภาวดี



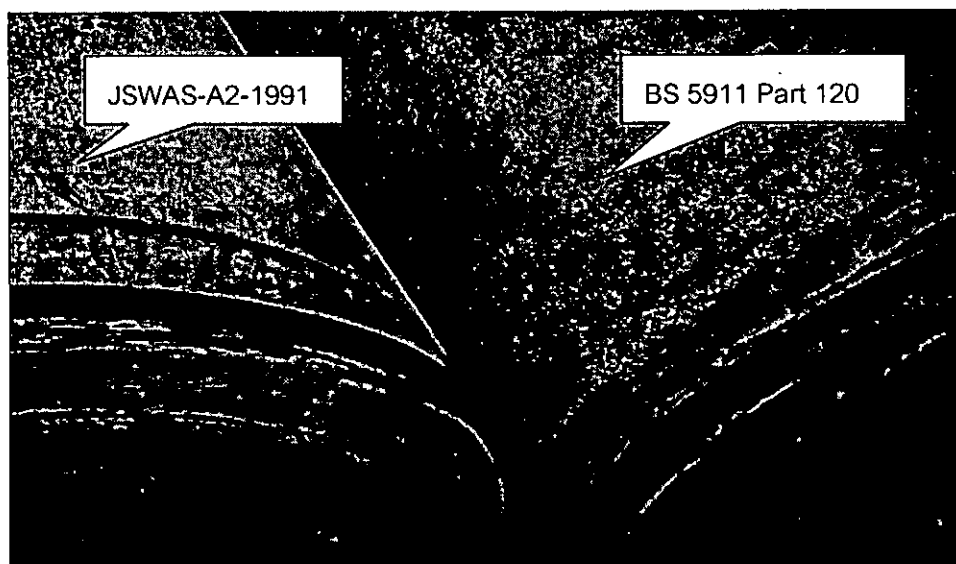
ภาพประกอบ 4 แผนที่ก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร



ภาพประกอบ 5 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กมาตรฐาน JSWAS-A2-1991



ภาพประกอบ 6 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กมาตรฐาน BS 5911 Part 120



ภาพประกอบ 7 ผิวของท่อคอนกรีตมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 และ
ท่อคอนกรีตมาตรฐาน BS 5911 Part 120

ตาราง 1 ขนาดระบุท่อคอนกรีต (Nominal Concrete Pipe Size)

มาตรฐาน BS 5911Part 120	มาตรฐาน JSWAS-A2-1991
DN 1650	DN 1350
DN 1800	DN 1500
DN 1950	DN 1650
DN 2100	DN 1800
DN 2250	DN 2000
DN 2400	DN 2200
DN 2550	DN 2400

ท่อคอนกรีต BS 5911 PART 120 ขนาด DN.2,550 mm. มีการปรับเข้า EU Standard เป็น DN.2,500 mm. และ เป็นท่อคอนกรีตที่ใช้ในโครงการอุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร.

ตาราง 2 ข้อแตกต่างระหว่างมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 และ มาตรฐานBS 5911Part 120

รายละเอียดที่แตกต่าง	มาตรฐาน JSWAS-A2-1991	มาตรฐาน BS 5911Part 120
ความยาวของท่อคอนกรีต	2,430 mm.	2,500 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	3,040 mm.	3,000 mm.
ทดสอบแรงกดท่อคอนกรีต/m.	163 kN/m	330 kN/m
น้ำหนักของท่อคอนกรีต	11,366 kg.	12,959 kg.
ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำซีล	ยางชนิดบวมน้ำ	ยางธรรมชาติ
วัสดุที่ใช้ทำไม้ปิดหน้าท่อคอนกรีต	ไม้อัดพิเศษ MDF.	ไม้อัดพิเศษ MDF.
จำนวนรูฉีดยาสารหล่อลื่น	3 รู	2 รู
ตำแหน่งองศาการฉีดยาสารหล่อลื่น	120 °	ไม่กำหนด
ค่าออกแบบความเค้นแรงกดท่อ	500 kg/cm ²	700 kg/cm ²

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสม ระหว่างอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ (Acrylamide Polymer) กับน้ำเพื่อลดแรงเสียดทานของผนังท่อคอนกรีตกับชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

1.3.2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ระหว่างการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5° กับการดันท่อแนวตรงเมื่อใช้สารผสม อะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่นในการดันท่อ

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1. หาขนาดความหนา ของ ท่อคอนกรีต โดย ใช้ระเบียบวิธี ออสเตรเลีย (Australian Method) ในการคำนวณค่าทางทฤษฎี เพื่อหาแรงสูงสุดในการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°

1.4.2 ใช้ท่อคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 5911 Part 120 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2,500 mm. ความหนา 250 mm. และ มาตรฐาน JSWAS-A2-1991 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2,600 mm. ความหนา 220 mm.

1.4.3 ใช้ข้อมูลการเจาะสำหรับชั้นดินของกรุงเทพมหานครที่ระดับความลึก 8 – 15 m.

1.4.4 ความเร็วในการเคลื่อนที่ ของท่อคอนกรีตเป็นแบบสม่ำเสมอ

1.4.5 ใช้อะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ (Acrylamide Polymer) ที่มีชื่อการค้า ลาวีโอพอล ซิน พี (Laviopol Sint P) เพื่อลดแรงเสียดทานให้เหลือแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีต (Jacking Force) เฉลี่ย 6,000 kN ตามข้อกำหนดเพิ่มของบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาเพื่อลดปัญหาท่อคอนกรีตแตกร้าว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า ต่อระยะทางในการดันท่อคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ในลักษณะเดียวกัน

1.5.2 เป็นข้อมูลหนึ่ง ที่จะนำไปใช้ เลือกขนาดหัวเจาะอุโมงค์ใต้ดิน โดยวิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking) ให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบท่อคอนกรีตที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5° ตาม BS.5911 Part 120 และ JSWAS-A2-1991

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในการดันหัวเจาะอุโมงค์

2.1.1 แรงดันดินหน้าหัวเจาะ (Marshall Robinson Roe, 1995)

การคำนวณแรงดันดินหน้าหัวเจาะ (Tunnel Face Pressure) นั้น สมาคมงานดันท่อใต้ดิน (Pipe Jacking Association) ได้กำหนดวิธีการคำนวณแรงดันดินหน้าหัวเจาะ โดยใช้ค่าเท่ากับความเค้นในแนวขนานกับแนวพื้นดิน ซึ่งมีค่าประมาณ 80 – 100 kPa. กระทำกับพื้นที่หน้าตัดของหัวเจาะ 3.05^2 m^2 ที่ใช้ในการศึกษา

$$\begin{aligned} \text{แรงดันดินหน้าหัวเจาะที่ } 80 \text{ kPa.} &= 584.49 \text{ kN.} \\ &= 59.58 \text{ t.} \\ \text{แรงดันดินหน้าหัวเจาะที่ } 100 \text{ kPa.} &= 730.61 \text{ kN.} \\ &= 74.47 \text{ t.} \end{aligned}$$

2.1.2 แรงเนื่องจากน้ำหนักของท่อคอนกรีตบนชั้นดิน (Haslem, 1986)

แรงต้านทานเนื่องจากน้ำหนักของท่อคอนกรีตที่เกิดขึ้นในขณะที่ดันท่อให้เคลื่อนที่จากแนวเบี่ยงเบนของท่อคอนกรีตมีค่า เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

$$F = 1.25 W \tan \delta \quad (2.1)$$

$$F = \text{แรงที่ใช้ในการดันท่อคอนกรีต}$$

$$\delta = \text{สัมประสิทธิ์ของมุมเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีต}$$

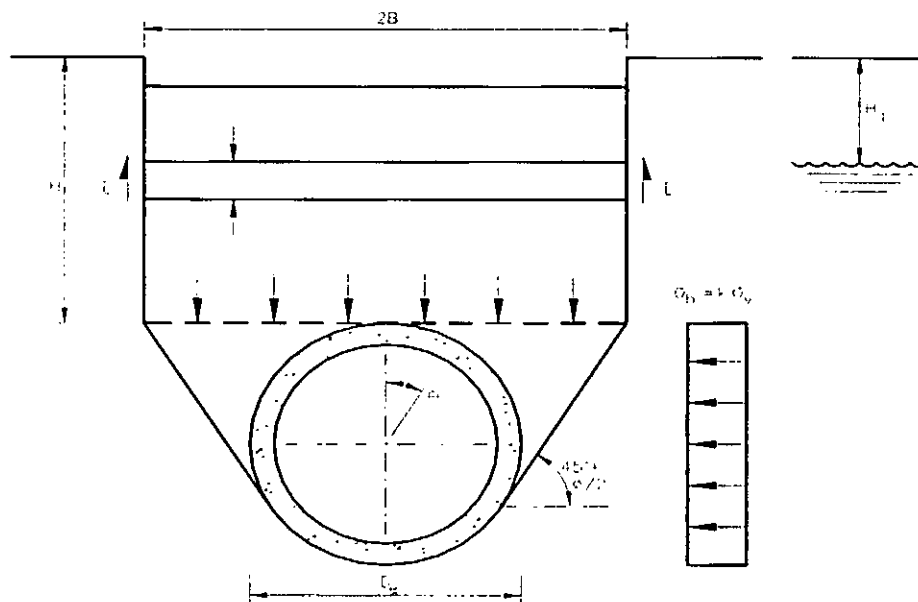
$$W = \text{น้ำหนักของท่อคอนกรีต}$$

2.1.3 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่ (Tezaghi, 1943)

เป็นการคำนวณแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่ โดยรวมแรงเสียดทานที่เกิดจากแรงดันดินด้านหน้าหัวเจาะ กับ ท่อคอนกรีต ที่ใช้ช่วยป้องกันปัญหา การทรุดตัว ของ แนวอุโมงค์ 2ท่อ แต่ไม่มีรูฉีดยาสารหล่อลื่น (Rocker Concrete Pipe) และใช้ค่าความลึกจากผิวดินถึงกึ่งกลางของท่อคอนกรีต ลบด้วยครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ เป็นค่าความลึกของท่อคอนกรีตจากผิวดิน (H) ดังแสดงในภาพประกอบ 8

$$F_f = \pi D_o / 2 (\sigma'_v + \sigma'_h) \tan \delta \quad (2.2)$$

F_f	=	แรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตกับชั้นดิน (Skin Friction Force)
D_o	=	เส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ (Excavation Diameter)
σ'_{v1}	=	แรงด้านทานรวม (Total Vertical Stress)
σ'_v	=	ความเค้นในแนวตั้ง (Effective Vertical Stress)
σ'_h	=	ความเค้นในแนวระนาบ (Effective Horizontal Stress)
δ	=	มุมของแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตและชั้นดิน (Angle of Friction Between Concrete Pipe & Soil)
ϕ	=	มุมเสียดทานของดิน (Friction Angle of Soil)
γ_s	=	น้ำหนักของดินในภาวะอิ่มตัว (Saturated Weight of soil)
γ	=	น้ำหนักจำเพาะของดิน (Above Water Table)
γ'	=	น้ำหนักจำเพาะของดิน (Below Water Table)
γ'	=	$\gamma - \gamma_w \cdot \gamma_s - \gamma_w$
k	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของดินที่กระทำทางด้านข้าง (Lateral Pressure Coefficient)
$2B$	=	แรงกระทำบนท่อคอนกรีต (Ground Loading)
H_1	=	ความสูงของระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Table)
H	=	ความลึกของท่อคอนกรีตจากผิวดิน (Depth of Tunnel)



ภาพประกอบ 8 ภาพจำลองโมเดลของแรงดันดินตามทฤษฎีของ Tezaghi

ตาราง 3 ข้อมูลจำเพาะของชั้นดินเหนียวกรุงเทพมหานคร

ชั้นดิน กรุงเทพมหานคร	ϕ (deg)	γ (t/m^3)	δ (deg)
ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)	17.50	1.64	15.23
ดินเหนียวปานกลาง (Medium Clay)	23.60	1.58	20.53
ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay)	30.00	1.83	26.10

จากข้อมูลสำรวจชั้นดิน (Soil Boring Log) ที่ระดับ ชั้นดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวปานกลาง ดินเหนียวแข็ง ของกรุงเทพมหานครได้ข้อมูลของดินดังแสดงในตาราง 3 และ 4

2.1.3.1 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างผนังท่อ(Lateral Pressure Coefficient,k)

$$k = \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} \quad (2.3)$$

ตาราง 4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินในชั้นดินเหนียวกรุงเทพมหานคร

ชั้นดิน กรุงเทพมหานคร	k	c
ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)	0.53	1.38
ดินเหนียวปานกลาง (Medium Clay)	0.42	2.91
ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay)	0.33	12.00

กรณีหาค่าแรงเสียดทานจากข้อมูลเจาะสำรวจดิน สามารถใช้ค่าแรงเชื่อมแน่นของดิน (Cohesion factor, c) ดังแสดงในภาคผนวก จ

2.1.3.2 แรงกระทำบนท่อคอนกรีต (Ground Loading)

$$2B = D_g \cdot \tan(45^\circ - \phi/2) + \frac{D_g}{\sin(45^\circ + \phi/2)} \quad (2.4)$$

ตาราง 5 ระยะของโหนดระหว่างดินและท่อนคอนกรีต

ระยะของโหนดระหว่างดิน และท่อนคอนกรีต	2B (m)	B (m)
ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)	5.99	2.99
ดินเหนียวปานกลาง (Medium Clay)	5.62	2.81
ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay)	5.26	2.63

2.1.3.3 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง (Effective Vertical Stress)

$$\sigma'_{v1} = \frac{\gamma \cdot B (1 - e^{-k \cdot \tan \phi \cdot H1/B})}{k \cdot \tan \phi} \quad (2.5)$$

$$\sigma'_v = \sigma'_{v1} \cdot e^{-k \cdot \tan \phi \cdot H/B} + \frac{\gamma' \cdot B (1 - e^{-k \cdot \tan \phi \cdot (H-H1)/B})}{k \cdot \tan \phi} \quad (2.6)$$

2.1.3.4 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวระนาบ (Effective Horizontal Stress)

$$\sigma'_h = k (\sigma'_v + 0.5 \cdot \gamma' \cdot D_s) \quad (2.7)$$

ตัวอย่างการคำนวณแรงเสียดทาน ที่เกิดในชั้นดินเหนียวอ่อน ชั้นดินเหนียวปานกลาง และ ชั้นดินเหนียวแข็ง ได้มาจากคู่มือสมาคมงานดินท่อนคอนกรีตโดยใช้รูปแบบโมเดลของภาพประกอบ 8 หาค่าความเค้นในแนวตั้งและในแนวระนาบ ดังแสดงในตาราง 6

2.1.4 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์แรงเสียดทาน (Tezaghi, 1943)

2.1.4.1 ความเค้นในแนวตั้งและแนวระนาบที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวอ่อน

$$\phi = 17.5^\circ$$

$$k = 0.5376$$

$$\gamma = 1.64 \quad \text{t/m}^3$$

$$\gamma' = 0.64 \quad \text{t/m}^3$$

$$2B = \frac{(3.04 \text{ m}) \cdot \tan(45^\circ - 17.5^\circ/2) + (3.04 \text{ m.})}{\sin(45^\circ + 17.5^\circ/2)}$$

$$B = 2.9993 \text{ m.}$$

$$\frac{k \cdot \tan \phi}{B} = 0.0565$$

$$\sigma'_{v1} = \frac{(1.64 \text{ t/m}^3) [1 - e^{-(0.0565)(9 \text{ m})}]}{(0.0565)}$$

$$\sigma'_{v1} = 11.5693 \text{ t/m}^2 \text{ (113.4948 kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma'_v = \sigma'_{v1} \cdot e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)} + \frac{\gamma' \cdot B}{k \tan \phi} [1 - e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)}]$$

$$\sigma'_v = (11.5693 \text{ t/m}^2) [e^{(-0.0565)(9-0 \text{ m})}] + \frac{(0.64 \text{ t/m}^3) [1 - e^{(-0.0565)(9-0 \text{ m})}]}{0.0565}$$

$$\sigma'_v = 11.4716 \text{ t/m}^2 \text{ (112.5363 kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma'_h = k (\sigma'_v + 0.5 \cdot \gamma' \cdot D_0)$$

$$\sigma'_h = 0.5376 [(11.4716 \text{ t/m}^2) + (0.5) (0.64 \text{ t/m}^3) (3.04 \text{ m.})]$$

$$\sigma'_h = 6.6901 \text{ t/m}^2 \text{ (65.6298 kN/m}^2\text{)}$$

2.1.4.2 ความเค้นในแนวตั้งและแนวระนาบที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวปานกลาง

$$\phi = 23.60^\circ$$

$$k = 0.4282$$

$$\gamma = 1.58 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0.58 \text{ t/m}^3$$

$$2B = (3.04 \text{ m}) \cdot \tan(45^\circ - 23.60^\circ/2) + \frac{(3.04 \text{ m.})}{\sin(45^\circ + 23.60^\circ/2)}$$

$$B = 2.8111 \text{ m.}$$

$$\frac{k \cdot \tan \phi}{B} = 0.0665$$

$$\sigma'_{v1} = \frac{(1.58 \text{ t/m}^3) [1 - e^{(-0.0665)(12 \text{ m})}]}{(0.0665)}$$

$$\sigma'_{v1} = 13.0589 \text{ t/m}^2 (128.1078 \text{ kN/m}^2)$$

$$\sigma'_v = \sigma'_{v1} \cdot e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)} + \frac{\gamma' \cdot B}{k \tan \phi} [1 - e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)}]$$

$$\sigma'_v = (13.0589 \text{ t/m}^2) [e^{(-0.0665)(12-0 \text{ m})}] + \frac{(0.58 \text{ t/m}^3) [1 - e^{(-0.0665)(12-0 \text{ m})}]}{0.0665}$$

$$\sigma'_v = 10.6698 \text{ t/m}^2 (104.6707 \text{ kN/m}^2)$$

$$\sigma'_h = k \sigma'_v + 0.5 \cdot \gamma' \cdot D_0$$

$$\sigma'_h = 0.4282 [(10.6698 \text{ t/m}^2) + (0.5) (0.58 \text{ t/m}^3) (3.04 \text{ m.})]$$

$$\sigma'_h = 4.9463 \text{ t/m}^2 (48.5232 \text{ kN/m}^2)$$

2.1.4.3 ความเค้นในแนวตั้งและแนวระนาบที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวแข็ง

$$\phi = 30^\circ$$

$$k = 0.3333$$

$$\gamma = 1.83 \quad \text{t/m}^3$$

$$\gamma' = 0.83 \quad \text{t/m}^3$$

$$2B = (3.04 \text{ m}) \cdot \tan (45^\circ - 30^\circ/2) + \frac{(3.04 \text{ m.})}{\sin (45^\circ + 30^\circ/2)}$$

$$B = 2.6327 \text{ m.}$$

$$\frac{k \cdot \tan \phi}{B} = 0.0730$$

$$\sigma'_{v1} = \frac{(1.83 \text{ t/m}^3) [1 - e^{(-0.0730)(16 \text{ m})}]}{(0.0730)}$$

$$\sigma'_{v1} = 17.2621 \text{ t/m}^2 \quad (169.3412 \text{ kN/m}^2)$$

$$\sigma'_v = \sigma'_{v1} \cdot e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)} + \frac{\gamma' \cdot B}{k \tan \phi} [1 - e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)}]$$

$$\sigma'_v = (17.2621 \text{ t/m}^2) [e^{(-0.0730)(16-0 \text{ m})}] + \frac{(0.83 \text{ t/m}^3) [1 - e^{(-0.0730)(16-0 \text{ m})}]}{0.0730}$$

$$\sigma'_v = 13.1897 \text{ t/m}^2 \quad (129.3909 \text{ kN/m}^2)$$

$$\sigma'_h = k (\sigma'_v + 0.5 \cdot \gamma' \cdot D_0)$$

$$\sigma'_h = 0.3333 [(13.1897 \text{ t/m}^2) + (0.5) (0.83 \text{ t/m}^3) (3.04 \text{ m.})]$$

$$\sigma'_h = 4.8166 \text{ t/m}^2 \quad (47.2508 \text{ kN/m}^2)$$

ตาราง 6 ความเค้นในแนวตั้ง และ ในแนวระนาบ

ชั้นดิน ของกรุงเทพมหานคร	kN/m ²		
	σ'_{v1}	σ'_v	σ'_h
ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)	113.4948	112.5363	65.6298
ดินเหนียวปานกลาง (Medium Clay)	128.1078	104.6707	48.5232
ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay)	169.3412	129.3909	47.2508

ค่า σ'_{v1} ของดินเหนียวแข็งมีค่าสูงสุด แต่ค่า σ'_v ของดินเหนียวอ่อนสูงกว่าดินเหนียวปานกลาง และค่า σ'_h ของดินเหนียวอ่อนมีค่ามากที่สุด

2.1.5 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่
กรณีไม่ใช่สารหล่อลื่น

จากสมการที่ (2.2) $F_f = \pi D_o/2 (\sigma'_{v1} + \sigma'_h) \tan \phi$ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่ (Tezaghi, 1943) ค่าแรงเสียดทานทางทฤษฎีใช้เป็นข้อมูลสำหรับออกแบบท่อคอนกรีตเบื้องต้นโดยโรงงานผลิต และ เป็นข้อมูลการสร้างหัวเจาะอุโมงค์ โดยใช้ ค่าความเค้นในแนวตั้ง และ ความเค้นแนวระนาบในตาราง 6 เพื่อคำนวณหาค่าแรงเสียดทานทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับ ค่าที่ได้ทางปฏิบัติ จากการดันในระยะทางเริ่มต้น 1 – 10 m. ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวปานกลาง และ ดินเหนียวแข็ง ในตาราง 7

2.1.5.1 แรงเสียดทานทางทฤษฎีระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน
ที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวอ่อน

$$D_0 = 3.04 \text{ m.}$$

$$\sigma'_v = \sigma'_{v1} \cdot e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)} + \frac{\gamma' \cdot B [1 - e^{(-k \cdot \tan \phi) / B (H-H1)}]}{k \tan \phi}$$

$$\sigma'_v = 12.3630 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma'_h = k (\sigma'_v + 0.5 \cdot \gamma' \cdot D_0)$$

$$\sigma'_h = 7.1693 \text{ t/m}^2$$

$$\delta = 0.87 \phi$$

$$F = \pi D_0 / 2 (\sigma'_v + \sigma'_h) \tan \delta$$

$$F = \frac{(\pi \times 3.04 \text{ m.}) (12.36 + 7.16 \text{ t/m}^2) [\tan(0.87 \times 17.5^\circ)]}{2}$$

$$F = 25.3848 \text{ t/m}$$

$$F = 61.6852 \text{ t} \quad (\text{ความยาวท่อ } 2.43 \text{ m.})$$

$$F = 2.6579 \text{ t/m}^2$$

$$F = 2.6579 \text{ t/m}^2 \times (\pi \times 3.04 \text{ m.} \times 2.43 \text{ m.})$$

$$F = 61.6852 \text{ t} \quad (\text{ความยาวท่อ } 2.43 \text{ m.})$$

ดังนั้นแรงเสียดทาน

$$\begin{aligned} 25.3848 \text{ t/m} &= 2.6579 \text{ t/m}^2 \\ &= 2.6579 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2.1.5.2 แรงเสียดทานทางทฤษฎีระหว่างผนังท่อ กับชั้นดิน
ที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวปานกลาง

$$\begin{aligned}
 D_e &= 3.04 \text{ m.} \\
 \sigma'_v &= 10.6698 \text{ t/m}^2 \\
 \sigma'_h &= 4.9463 \text{ t/m}^2 \\
 \delta &= 0.87 \phi \\
 F &= (\pi D_e / 2) (\sigma'_v + \sigma'_h) \tan \delta \\
 F &= \frac{(\pi \times 3.04 \text{ m.}) (10.66 + 4.94 \text{ t/m}^2) [\tan(0.87 \times 23.60^\circ)]}{2} \\
 F &= 27.9281 \text{ t/m} \\
 F &= 2.9242 \text{ t/m}^2 \\
 F &= 28.6864 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

2.1.5.3 แรงเสียดทานทางทฤษฎีระหว่างผนังท่อ กับชั้นดิน
ที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวแข็ง

$$\begin{aligned}
 D_e &= 3.04 \text{ m.} \\
 \sigma'_v &= 13.1897 \text{ t/m}^2 \\
 \sigma'_h &= 4.8166 \text{ t/m}^2 \\
 \delta &= 0.87 \phi \\
 F &= (\pi D_e / 2) (\sigma'_v + \sigma'_h) \tan \delta \\
 F &= \frac{(\pi \times 3.04 \text{ m.}) (13.1897 + 4.8166 \text{ t/m}^2) [\tan(0.87 \times 30^\circ)]}{2} \\
 F &= 42.1231 \text{ t/m} \\
 F &= 4.4105 \text{ t/m}^2 \\
 F &= 43.2670 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

ตาราง 7 แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น

ชั้นดิน	คำนวณทางทฤษฎี (kN/m ²)	ค่าที่ได้ทางปฏิบัติ (kN/m ²)
กรุงเทพมหานคร		
ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)	26.0739	30.5865
ดินเหนียวปานกลาง (Medium Clay)	28.6864	36.1361
ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay)	43.2670	39.8021

การคำนวณแรงเสียดทานทางทฤษฎีระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่นในชั้นดินเหนียวแข็งมีค่ามากที่สุด

2.1.4 ความเบี่ยงเบนจากการดันท่อเยื้องศูนย์กลาง

จากคู่มืองานดันท่อใต้ดิน(Pipe Jacking) และบทความวิทยานิพนธ์ของมหาวิทยาลัย Oxford ได้กล่าวถึงค่าแฟคเตอร์จากความเบี่ยงเบนในการดันท่อเยื้องศูนย์กลางมีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำค่าประมาณไปใช้ออกแบบท่อคอนกรีต เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองในขณะที่ดันท่อใต้ดิน

2.1.5.ความล่าช้าเนื่องจากอุปสรรคใต้ดิน

หากมีความล่าช้า 1 ชั่วโมง จะทำให้แรงต้านทานการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ และ 75 เปอร์เซ็นต์ หากล่าช้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นการดันท่อคอนกรีตใต้ดินจึงต้องมีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อควบคุมแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างท่อคอนกรีตกับชั้นดิน

2.2 แรงสูงสุดที่ใช้ในการดันท่อคอนกรีต

2.2.1 แรงสูงสุดในแนวแกน (Axial Force)

มาตรฐาน BS 5911 Part 120 ค่าความเค้นของคอนกรีตที่บ่มเป็นเวลา 28 วัน จะต้องไม่น้อยกว่า 700 ksc. ทำให้เกิดแรงสูงสุดในแนวแกนสำหรับท่อคอนกรีตขนาด DN.2,500 mm.ความหนา 250 mm. เท่ากับ 148,316 kN และ มาตรฐาน JSWAS-A2-1999 ค่าความเค้นของคอนกรีต 500 ksc. ขนาดท่อคอนกรีต DN.2,600 mm.ความหนา 220 mm. เท่ากับ 121,722 kN

2.2.2 แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 °

เป็นข้อกำหนดในสมาคมดันท่อคอนกรีต(Pipe Jacking Associate) โดยคำนวณ เพื่อ ออกแบบท่อคอนกรีตให้สามารถรับแรงที่เกิดจากแนวท่อคอนกรีตเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 ° เช่นในกรณี การดันท่อคอนกรีตเพื่อหลบอุปสรรคใต้ดินเป็นแนวโค้ง (Curve Pipe jacking)

กรณี $h < r$ ในภาพประกอบ 9 และ 10

$$\text{Permissible Load} = \frac{\sigma'_c \{ 2/3 [R^2 - h^2]^{3/2} - (r^2 - h^2)^{3/2} \} - h [\pi/180 R^2 \cdot \text{COS}^{-1} h/R - \pi/180 \cdot r^2 \text{COS}^{-1} h/r] + h^2 [(R^2 - h^2)^{1/2} - (r^2 - h^2)^{1/2}]}{R - h} \quad (2.8)$$

แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 ° สำหรับท่อคอนกรีตขนาด DN.2,600 mm.ความหนา 220 mm. เท่ากับ 10,667 kN และ ท่อคอนกรีตขนาด DN.2,500 mm.ความหนา 250 mm. เท่ากับ 13,150 kN

2.2.2.1 แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.50 ° ใช้ระเบียบวิธีของสมาคม ดันท่อคอนกรีต กรณี $h < r$

$$E_i = \frac{(12 \text{ mm}) (220 \text{ mm}) (150 \text{ N/mm}^2) (40,000 \text{ N/mm}^2)}{(12 \text{ mm}) (220 \text{ mm}) (40,000 \text{ N/mm}^2) + (220 \text{ mm}) (150 \text{ N/mm}^2) (2430 \text{ mm})}$$

$$E_i = \frac{1.584 \times 10^{10} \text{ N/mm}^2}{18,579 \times 10^4}$$

$$E_i = 85.25754885 \text{ N/mm}^2$$

$$Z = 645.1504773 \text{ mm.}$$

$$h = 1,496.50 \text{ mm.} - 645.15 \text{ mm.}$$

$$h = 851.34 \text{ mm.}$$

$$\gamma = 1,315 \text{ mm.}$$

h 175790 7.3

$$\begin{aligned}
\text{Permissible Load} &= \frac{\sigma'_i}{R-h} \{ 2/3 [R^2 - h^2]^{3/2} - (r^2 - h^2)^{3/2} \} - h [\pi/180 R^2 \cdot \text{COS}^{-1} h/R - \\
&\quad \pi/180 \cdot r^2 \text{COS}^{-1} h/r] + h^2 [(R^2 - h^2)^{1/2} - (r^2 - h^2)^{1/2}] \\
&= 40 \{ 2/3 [(1,496.5^2 - 851.30^2)^{3/2} - (1,315^2 - 851.30^2)^{3/2}] - 851.30 [\pi/180 \\
&\quad \times 1,496.50^2 \times \text{COS}^{-1} 851.30/1,496.50 - \pi/180 \times 1,315^2 \text{COS}^{-1} 851.3 \\
&\quad /1,315] + 851.3^2 [(1,496.5^2 - 851.3^2)^{1/2} - (1,315^2 - 851.3^2)^{1/2}] \} \\
&= 10,667,810.20 \text{ N} \\
&= 1,087.4424 \text{ t} \\
&= 10,667.8099 \text{ kN}
\end{aligned}$$

2.2.2.2 แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.50 ° ใช้ระเบียบวิธีของ

สมาคมตันต่อคอนกรีต กรณี $h > r$

$$\begin{aligned}
E_c &= 85,2575 \quad \text{N/mm}^2 \\
Z &= 645.1504 \text{ mm} \\
R &= 1,961 \text{ mm} \\
\gamma &= 1,315 \text{ mm} \\
h &= R - Z \\
h &= 1,961 - 645.1504 \text{ mm} \\
h &= 1,315.85 \text{ mm}
\end{aligned}$$

กรณี $h > r$ ในภาพประกอบ 9 และ 10

$$\text{Permissible Load} = \frac{\sigma'_i}{R-h} \{ 2/3 [(R^2 - h^2)^{3/2}] - h [\pi/180 \cdot R^2 \cdot \text{cos}^{-1} h/R] + h^2 [(R^2 - h^2)^{1/2}] \} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned}
\text{Permissible load} &= 2,151.1323 \text{ t} \\
&= 21,102.6078 \text{ kN}
\end{aligned}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อคอนกรีตอย่างน้อยเท่ากับ 3,922 mm. จึงทำให้ค่า $h > r$ โดยความหนาของท่อคอนกรีตเพิ่มจาก 220 mm. เป็น 646 mm. ดังนั้นท่อคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ในงาน ดันท่อใต้ดิน จะใช้กรณี $h < r$ ในตาราง 8 และ 9 แสดงความหนาของท่อคอนกรีต

ตาราง 8 ความหนาท่อคอนกรีตมาตรฐาน JSWAS-A2-1991

Nominal size mm.	ID. mm.	Thickness mm.
1650	DN.1650 $\begin{smallmatrix} +8 \\ -8 \end{smallmatrix}$	150 $\begin{smallmatrix} +8 \\ -4 \end{smallmatrix}$
1800	DN.1800 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -10 \end{smallmatrix}$	160 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$
2000	DN.2000 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -10 \end{smallmatrix}$	175 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$
2200	DN.2200 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -10 \end{smallmatrix}$	190 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$
2400	DN.2400 $\begin{smallmatrix} +12 \\ -12 \end{smallmatrix}$	205 $\begin{smallmatrix} +12 \\ -6 \end{smallmatrix}$
2600	DN.2600 $\begin{smallmatrix} +12 \\ -12 \end{smallmatrix}$	220 $\begin{smallmatrix} +12 \\ -6 \end{smallmatrix}$

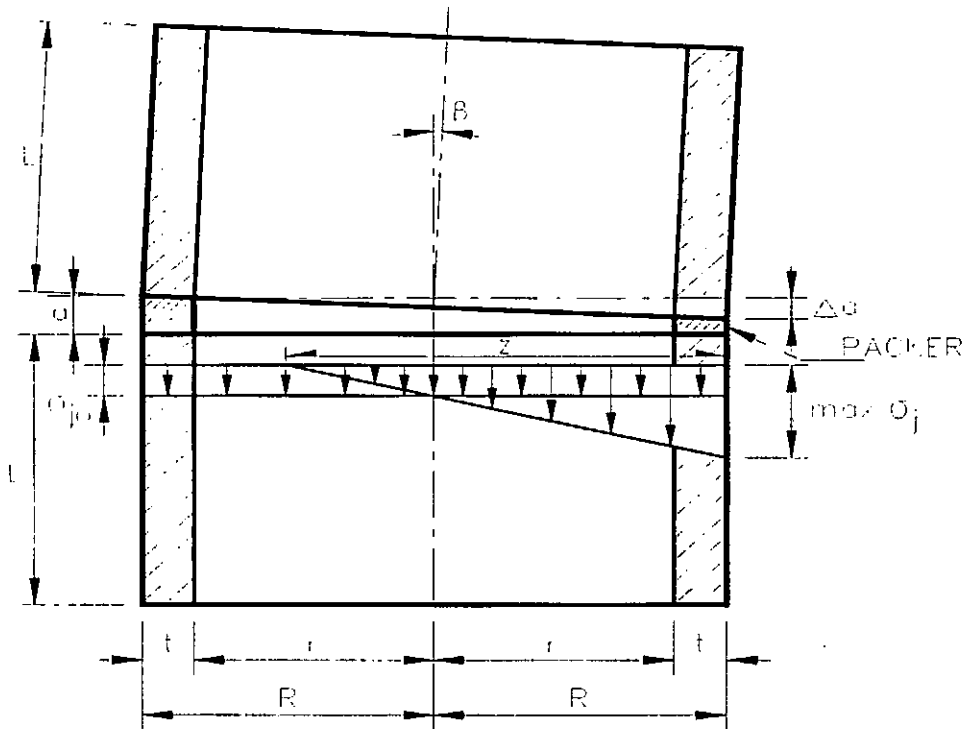
ขนาดท่อคอนกรีตในตาราง 8 เป็นขนาดที่เหมาะสมในการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking) และใช้ปั๊มส่งดินออกจากอุโมงค์ (ภาคผนวก ฉ)

ตาราง 9 ความหนาท่อคอนกรีต มาตรฐาน BS 5911 Part 120

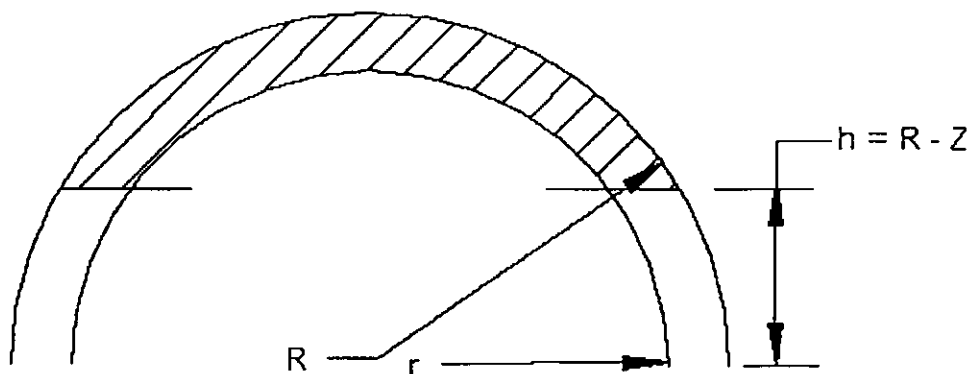
Nominal size mm.	ID. mm.	Thickness mm.
300	DN.300 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -6 \end{smallmatrix}$	79.5 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -6 \end{smallmatrix}$
600	DN.600 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -6 \end{smallmatrix}$	82.0 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -6 \end{smallmatrix}$
1200	DN.1200 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -10 \end{smallmatrix}$	140 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -10 \end{smallmatrix}$
2000	DN.2000 $\begin{smallmatrix} +16 \\ -16 \end{smallmatrix}$	190 $\begin{smallmatrix} +16 \\ -16 \end{smallmatrix}$
2500	DN.2500 $\begin{smallmatrix} +16 \\ -16 \end{smallmatrix}$	250 $\begin{smallmatrix} +16 \\ -16 \end{smallmatrix}$

สำหรับความหนาของท่อคอนกรีตในตาราง 9 เป็นท่อคอนกรีตที่ใช้ในโครงการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร ระยะที่ 4 ทางบริษัท อิตาเลียนไทย ได้สั่งผลิตจากโรงงานท่อคอนกรีต CP&P

จังหวัดปทุมธานี โดยมาตรฐาน BS 5911 Part 120 จะไม่ระบุความหนา แต่จะกำหนดเฉพาะเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่านั้น ส่วนมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 ระบุความหนาของท่อ DN.2600 เท่ากับ 220 mm. ดังนั้นหากออกแบบความหนาท่อคอนกรีต BS 5911 Part 120 ให้สอดคล้องกับ ท่อคอนกรีต JSWAS-A2-1991 จะทำให้สามารถประหยัดวัสดุที่ใช้ผลิตท่อคอนกรีตลงได้ 10.8156%



ภาพประกอบ 9 แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°



ภาพประกอบ 10 พื้นที่หน้าตัดท่อคอนกรีตในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°

2.2.3 ข้อมูลการคำนวณโดยใช้เบียบวิธีออสเตรเลียเนียน (Australian Method)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.10)$$

$$\sigma = E \cdot \frac{\delta}{L}$$

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta a}{a}$$

$$\frac{\sigma \cdot a}{E} = \Delta a$$

$$\frac{\sigma_j \cdot a}{E_j} = \frac{\sigma_p \cdot a}{E_p} + \frac{\sigma \cdot L}{E_c} \quad (2.11)$$

E_j an equivalent joint elasticity coeff. taking into consideration pipe wall elasticity

$$\sigma \cdot t = \sigma_j \cdot t_j$$

$$\sigma = \frac{\sigma_j \cdot t_j}{t} \quad (2.12)$$

แทนค่า (2.12 ใน 2.11)

$$\frac{\sigma_j \cdot a}{E_j} = \frac{\sigma_j \cdot a}{E_p} + \frac{\sigma_j \cdot t_j \cdot L}{t \cdot E_c}$$

$$\frac{a}{E_j} = \frac{a + t_j \cdot L}{E_p \cdot t \cdot E_c} \quad (2.13)$$

$$\frac{a}{E_j} = \frac{(a)(t \cdot E_c) + (E_p)(t_j \cdot L)}{(E_p)(t)(E_c)}$$

$$E_j = \frac{a \cdot t \cdot E_p \cdot E_c}{a \cdot t \cdot E_c + L \cdot t_j \cdot E_p} \quad (2.14)$$

(จากภาพประกอบ 9)

$$\beta = \frac{\Delta a}{Z} \quad (2.15)$$

$$\Delta a = \frac{a \cdot \text{Max. } \sigma_j}{E_j} \quad (2.16)$$

แทนค่า (2.16) ใน (2.15)

$$\beta = \frac{a \cdot \text{Max. } \sigma_j}{E_j \cdot Z} \quad (2.17)$$

$$Z(\text{radians}) = \frac{a \cdot \text{Max. } \sigma_j}{E_j \cdot \beta} \quad (2.18)$$

$$Z(\text{degrees}) = \frac{180 \cdot a \cdot \text{Max. } \sigma_j}{\pi \cdot E_j \cdot \beta} \quad (2.19)$$

$$h = R - Z \quad (2.20)$$

Wood Packer Inside Diameter	=	2,630	mm
Wood Packer Outside Diameter	=	2,993	mm
Wood Packer Area	=	1,603,115	mm ²
r	=	1315	mm
R	=	1,496.5	mm
Wood Packer Thickness	=	18.15	mm
Wood Packer Width (t)	=	20	mm
Compressed Wood Packer (a)	=	12	mm
Concrete Pipe Wall Thickness(t)	=	220	mm
Concrete Pipe Inside Diameter	=	2,600	mm
Concrete Pipe Outside Diameter	=	3,040	mm
Max.Stress At Pipe Joint (σ_j)	=	40	N/mm ²
Elastic Modulus of Conc. Pipe (E_c)	=	40,000	N/mm ²
Reloading Stiffness of Packing (E_p)	=	150	N/mm ²
Deflection Angle At Pipe Joint(β)	=	0.5	Degrees
Joint Elasticity Coefficient (E_j)	=	92.22	N/mm ²

ตาราง 10 แรงดันต่อคอนกรีตที่มุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°

Jacking Force	Deflection Angle			
	0.00°	0.17°	0.25°	0.50°
kN	121,722	22,518	17,384	10,667
t	12,408	2,297	1,772	1,087

เป็นข้อมูลการคำนวณต่อคอนกรีต JSWAS-A2-1991 ในการดันท่อแนวโค้ง ทำให้ท่อคอนกรีต รับแรงในแนวแกนได้ลดลง โดยใช้ระเบียบวิธีออสเตรเลีย (Australian Method) และนำไปใช้ออกแบบแรงสูงสุดในการดันท่อแนวโค้งของท่อคอนกรีต BS 5911 PART 120 ได้เช่นเดียวกัน

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Max.}\sigma_j / \sigma_{jo}$ และ $\frac{\gamma'_i}{\gamma}$

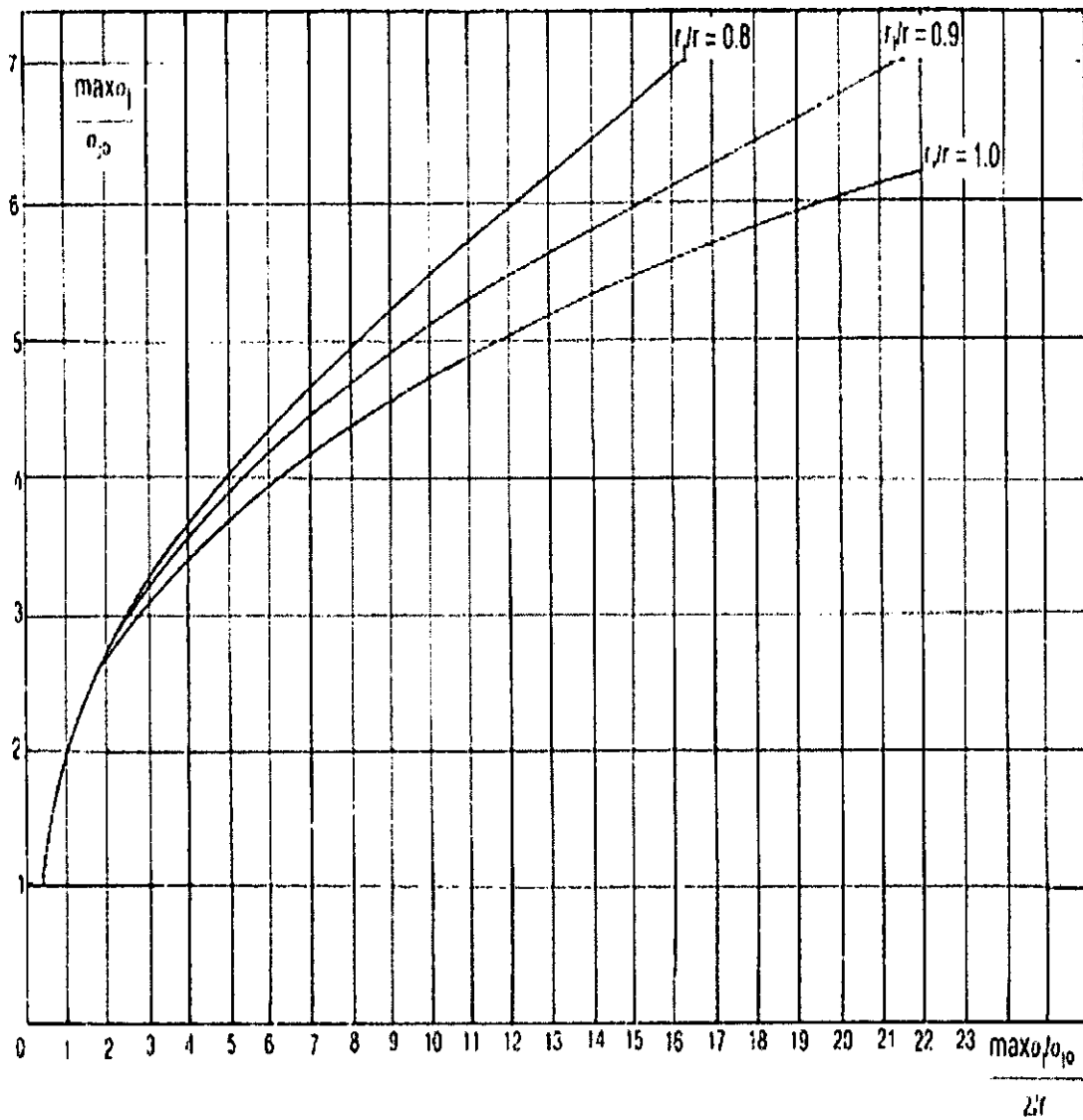
Lenz and Moller, 1970 ใช้ค่า σ_{jo} หา สมการ (2.17)

$$\frac{\beta}{\gamma}$$

$$\frac{\beta}{(\sigma_{jo} / \gamma)} = \frac{a \text{ Max.}\sigma_j / \sigma_{jo}}{E_i Z / \gamma}$$

$$\beta(\text{radians}) = \frac{a \sigma_{jo} \text{ Max}\sigma_j / \sigma_{jo}}{E_i \gamma Z / \gamma} \quad (2.21)$$

$$\beta(\text{degrees}) = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{a}{E_i} \cdot \frac{\sigma_{jo}}{\gamma} \cdot \frac{\text{Max.}\sigma_j / \sigma_{jo}}{Z / \gamma} \quad (2.22)$$



ภาพประกอบ 11 กราฟความสัมพันธ์ $\text{Max.}\sigma/\sigma_0$ กับ $\frac{\text{Max.}\sigma/\sigma_0}{Z/\gamma}$ และ $\frac{\gamma'}{\gamma}$

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\text{Max.}\sigma/\sigma_0}{Z/\gamma}$ กับ $\frac{\text{Max.}\sigma/\sigma_0}{\gamma}$ และ $\frac{\gamma'}{\gamma}$

เพื่อหาค่ามุมเบี่ยงเบนให้สอดคล้องกับ Permissible jacking force โดยไม่ต้องใช้ค่า Z

$$\text{Jacking Force} = 1,087.4424 \text{ t (10,667.8102 kN)}$$

$$\sigma_{jo} = \frac{10,667.8102 \times 10^3 \text{ N}}{(2,600 + 220 \text{ mm.}) 220 \text{ mm} \times \pi}$$

$$\sigma_{jo} = 5.4733 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\text{Max.}\sigma_i}{\sigma_{jo}} = 40 / 5.4733$$

$$\frac{\text{Max.}\sigma_i}{\sigma_{jo}} = 7.3081$$

$$\frac{\gamma'_i}{\gamma} = (2,600 \text{ mm} / 2) / (3,040 \text{ mm} / 2)$$

$$\frac{\gamma'_i}{\gamma} = 0.8552$$

$$\frac{\text{Max.}\sigma_i / \sigma_{jo}}{Z / \gamma} \approx 20.5 \text{ (จากภาพประกอบ 11)}$$

$$E_i = \frac{\text{a.t. } E_p \cdot E_c}{\text{a.t. } E_c + t_p \cdot E_p \cdot L}$$

$$E_i = 85.2575 \text{ Mpa}$$

$$\beta = \frac{a \cdot \sigma_{jo} \cdot \text{max}\sigma_i / \sigma_{jo}}{E_i \cdot \gamma \cdot Z / \gamma} \quad \text{radians}$$

$$\beta = \frac{(12) \cdot (5.4733) \cdot (20.5)}{(85.2575) (1,300)}$$

$$\beta = 0.0121 \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad \text{radians}$$

$$\beta = 0.6960 \quad \text{degree}$$

2.3 การสำรวจสภาพชั้นดิน

2.3.1 วัตถุประสงค์การสำรวจสภาพชั้นดิน

สำรวจสภาพชั้นดินเพื่อแสดงการจัดเรียงตัวของชั้นดิน ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆ ของชั้นดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคของโครงการให้มีความปลอดภัยถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และประหยัด

2.3.2 สภาพธรณีวิทยาในบริเวณพื้นที่โครงการ

พื้นที่โครงการตั้งอยู่ในเขตห้วยขวางจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งในแง่ธรณีวิทยาจัดแบ่งอยู่ใน Bangkok Subregion (AIT,1978) ของพื้นที่ราบภาคกลาง ตะกอนที่สะสมอยู่ใน อาณาเขตนี้ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ปากอ่าวไทย จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพฯ นนทบุรี ปทุมธานี และ บางส่วนของนครปฐม สมุทรสงคราม และ ฉะเชิงเทรา ลักษณะโดยทั่วไป ของตะกอนในพื้นที่นี้จะมีการแทรกสลับกันเป็นชั้นๆ ของชั้นทราย และชั้นดินเหนียว โดยมีความหนาของตะกอนมากกว่า 2,000 m. โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณจังหวัดอยุธยา และ กรุงเทพฯ จากการศึกษาข้อมูลที่มีการสำรวจมาก่อนพบว่า ตะกอนที่พบในเขตจังหวัดกรุงเทพฯ มีการเรียงลำดับชั้น (Stratigraphy) ที่ค่อนข้างแน่นอนดังนี้

ผิวดิน - ความลึก 2 m. เป็นชั้น Weathered Crust ของดินเหนียวอ่อนซึ่งเกิดจากการแห้งตัว (Desiccation) ของชั้นดินเหนียวอ่อน ทำให้ชั้นดินชั้นนี้มีคุณสมบัติแบบ Overconsolidated Clay

ความลึก 2 m. - 15 m. เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน สีเทาถึงเทาดำ ชั้นดินนี้เป็นชั้นดินที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านวิศวกรรมมากที่สุด เพราะดินเหนียวอ่อนมีค่าความต้านทานแรงเฉือนต่ำ และมีการยุบตัวสูง ซึ่งดินเหนียวอ่อนนี้มีต้นกำเนิดมาจากตะกอนทะเล (Marine Deposit) ในลักษณะของการสะสมตัวบริเวณที่ราบน้ำขึ้นถึง (Tidal Flat) จึงทำให้ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนค่อนข้างจะสม่ำเสมอ ดินเหนียวอ่อนเป็นดินชนิด (Slightly Overconsolidated) ถึง (Normally Consolidated Clay)

ความลึก 15 m. - 20 m. เป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก สีของดินเหนียวแข็งชั้นแรกไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่จะมีสีเหลืองปนน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง ซึ่งเกิดจาก Subregion Process of Desiccation และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งบังถึงสภาพแวดล้อมที่เปิดโล่งของพื้นที่ในอดีต ก่อนที่จะถูกทับถมชั้นดินเหนียวอ่อนในเวลาต่อมา ค่าความต้านทานแรงเฉือนของชั้นดินเหนียวมีค่าสูงกว่าชั้นดินเหนียวอ่อนมาก ดินเหนียวแข็งชั้นแรกเป็นดินชนิด (Overconsolidated Clay) ซึ่งทำให้มีค่าการยุบตัวต่ำหลังจากความลึกประมาณ 20 m. เป็นต้นไป ความหนาของชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลงสูงโดยที่ได้ดินเหนียวแข็งชั้นที่หนึ่งจะรองรับด้วยชั้นทรายชั้นแรก โดยทรายชั้นแรกนี้จะเริ่มพบได้ที่ความลึกประมาณ 20 - 30 m. ในเขตกรุงเทพฯ และมักประกอบด้วยทรายและกรวดเป็นส่วนใหญ่ การคัดขนาดของทรายชั้นแรกค่อนข้างดี และต่อจากทรายชั้นแรกจะพบชั้นดินเหนียวแข็งมากสลับกับชั้นทรายไปเรื่อยๆ

2.3.3. การเจาะสำรวจดิน

ในการเจาะสำรวจใช้เครื่องเจาะแบบโรตารี ซึ่งหัวเจาะมีขนาด 100 mm. และเพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะต้องใส่ท่อกรุกกันดินพัง (Steel Casing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm. ในชั้นดินช่วงบนหรือในช่วงความลึกที่จำเป็นขณะเจาะสำรวจ สำหรับกระบวนการเจาะที่ใช้เป็นการเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

การเก็บตัวอย่างดินทั่วไปจะเก็บทุกระยะความลึก 1.5 m. เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแน่นอน วิธีการในการเก็บตัวอย่างมีดังต่อไปนี้

ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft clay) : การเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกบาง โดยเก็บทุกระยะความลึก 1.5 m.

ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) : เก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกผ่า โดยทำการเก็บ ทุกระยะความลึก 1.5 m.

ชั้นทราย (Sand) : เก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกผ่า โดยทำการเก็บ ทุกระยะความลึก 1.5 m.

สำหรับการเก็บตัวอย่างดินที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามอุปกรณ์การเก็บดังนี้

1.การเก็บด้วยกระบอกบาง (Shell by Tube Sampler) ลักษณะของกระบอกบางเป็นกระบอกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.1 cm. ยาว 65 cm. และหนาประมาณ 1.5 mm. กดลงในชั้นดินเหนียวที่มีค่าความชื้นเหลว (Consistency) อยู่ในช่วง ดินเหนียวอ่อนมาก ถึง ดินเหนียวแข็ง ด้วยระบบไฮดรอลิค ตัวอย่างดินลักษณะนี้เรียกว่า ตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Sample) หลังจากเก็บตัวอย่างดินได้แล้วต้องปิดหัวท้ายกระบอกด้วยเทียนไขเพื่อป้องกันความชื้นระเหย แล้วขนย้ายไปยังห้องปฏิบัติการด้วยความระมัดระวัง และเก็บรักษาไว้ในที่ควบคุมความชื้น เพื่อทดสอบหาค่าแรงเฉือน (Shear Strength) และคุณสมบัติอื่นๆ ของดิน

2.การเก็บด้วยกระบอกผ่า (Split Spoon Sampler) ลักษณะกระบอกผ่าเป็นกระบอกเหล็กซึ่งผ่าออกเป็น 2 ซีก นำมาประกบกันไว้โดยมีเกลียวครอบหัวและท้ายกระบอก เมื่อเก็บตัวอย่างดินแล้วสามารถจะเปิดแยกเพื่อดูตัวอย่างดินได้ กระบอกผ่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 5.0 cm. และ 3.5 cm. ตามลำดับ และยาว 69 cm. การเก็บตัวอย่างดินแข็งหรือทรายจะทำหลังจากทำความสะอาดกันหลุมเจาะเรียบร้อยแล้ว โดยตอกลงไปในดินด้วยลูกตุ้มเหล็กหนัก 63.5 kg. ระยะยกลูกตุ้ม 76.2 cm. ลูกตุ้มเหล็กกระทบบนแป้นก้านนำส่งจุดบันทึกค่าตอกทุกระยะจวมลง 15 cm. เป็นจำนวน 3 ระยะ ค่าการตอก 2 ระยะหลังรวมกัน เรียกว่าค่า SPT การทดสอบวิธีนี้เรียกว่า การตอกทดสอบ (Standard Penetration Test – SPT) ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาความต้านทานของดิน โดยการทดสอบนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1586

2.3.4 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test)

ทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินในสนาม การทดสอบใช้เครื่องมือที่เรียกว่า จีโอนอร์ ฟิลด์เวนเชียร์ (Geonor Field Vane Shear) เพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ตามมาตรฐาน ASTM D 2573 และเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนดินเนื่องจากการเก็บตัวอย่าง การทดสอบได้ใช้ใบมีดสี่แฉกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 62.5 mm. สูง 125 mm. ซึ่งเก็บอยู่ในที่ใส่ใบมีดกดลงไปดินพร้อมกันจนถึงระดับความลึกที่ต้องการทดสอบ จากนั้นกดเฉพาะใบมีดลงไปให้ต่ำกว่าที่ใส่ประมาณ 300 mm. และเริ่มทดสอบโดยการหมุนใบมีดด้วยอัตราเร็ว 0.1° ต่อวินาที เพื่อวัดกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ระดับความลึกนั้นๆ

หลังจากที่ทดสอบจนได้ค่ากำลังรับแรงเฉือนดินคงสภาพสูงสุด(Maximum Shear Strength) แล้ว ได้ทำการทดสอบต่อโดยการหมุนใบมีดอย่างรวดเร็วหลายๆ รอบ จนค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้ครั้งหลังนี้เรียกว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนดินแปลงสภาพ (Remolded Shear Strength) โดยทำการทดสอบทุกๆ ความลึก 1 m. จนถึงชั้นดินแข็งจึงหยุดทำการทดสอบ

ค่ากำลังรับแรงเฉือนคงสภาพ และ แปลงสภาพของดินที่ได้จากการทดสอบ ฟิลด์เวนเชียร์ สามารถหาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$S_{uv}, S'_{uv} = \frac{T}{\pi D^2 [h_b/2 + D/6]} \quad (2.23)$$

$$\text{เมื่อ } S_{uv} = \text{ค่ากำลังรับแรงเฉือนดินคงสภาพ kN/m}^2 \\ \text{(Maximum Shear Strength)}$$

$$S'_{uv} = \text{ค่ากำลังรับแรงเฉือนดินแปลงสภาพ kN/m}^2 \\ \text{(Remolded Shear Strength)}$$

$$T = \text{แรงบิดที่ใช้ในการหมุนใบมีด kg-cm.}$$

$$h_b = \text{ความสูงของมีด cm.}$$

$$D = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของใบมีด cm.}$$

ค่า กำลังรับแรงเฉือนคงสภาพ และ แปลงสภาพของดิน ที่ได้ในแต่ละความลึกจะถูกนำไปใช้ ในการคำนวณเพื่อหาค่าความไว (Sensitivity) ของดินเหนียว ตามสมการนี้

$$\text{ค่าความไว} = \frac{\text{กำลังรับแรงเฉือนดินคงสภาพ}}{\text{กำลังรับแรงเฉือนดินแปลงสภาพ}} \quad (2.24)$$

ซึ่งถ้าดินมีค่าความไวมาก หมายความว่า ดินชนิดนี้ มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพ หรือ การกระทบกระเทือน ซึ่งทำให้กำลังของดินลดลงอย่างมาก

2.3.5 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบตัวอย่างดินประกอบด้วยการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ ของดิน ซึ่งจะกระทำกับตัวอย่างดิน ที่ได้จากขั้นตอนการเจาะสำรวจดิน ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้ ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2487

2.3.5.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติ และขีดพิกัดแอดเตอร์เบอร์ก ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติและขีดพิกัดแอดเตอร์เบอร์ก เป็นคุณสมบัติขั้นพื้นฐานที่สำคัญของดิน คุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด อาทิเช่น ส่วนประกอบทางเคมี ความชื้นเหลว (Consistency) กำลังของดิน (Soil Strength) ประวัติความเค้น (Stress History) และลักษณะการยุบอัดตัวของมวลดิน เป็นต้น โดยเมื่อพิจารณาร่วมกับขนาดของเม็ดดินแล้ว ค่าขีดพิกัดแอดเตอร์เบอร์ก จะช่วยในการจำแนกดินชนิดมวลละเอียด และส่วนละเอียดของดินมวลหยาบ

2.3.5.2 การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน

ขนาดของเม็ดดินมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีดินมวลหยาบ เม็ดดินนั้นมีขนาดแตกต่างกันนับตั้งแต่ขนาดใหญ่กว่า 300 mm. ไปจนถึงขนาดเล็กกว่า 0.002 mm. สามารถจำแนกชนิดของดินตามขนาดของเม็ดดินได้ดังนี้

กรวดมนใหญ่ (Boulder)	ขนาดใหญ่กว่า	300	mm.
กรวดมนเล็ก (Cobble)	ขนาด	75 mm. – 300	mm.
กรวด (Gravel)	ขนาด	4.75 mm. – 75	mm.
ทราย (Sand)	ขนาด	0.074 mm. – 4.75	mm.
ทรายแป้ง (Silt)	ขนาด	0.002 mm. – 0.074	mm.
ดินเหนียว (Clay)	ขนาดเล็กกว่า	0.002	mm.

มวลดินที่เม็ดขนาดใหญ่กว่า 0.074 mm. ขึ้นไป เป็นดินมวลหยาบ ซึ่งเสถียรภาพของมวลดินชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเสียดทานของผิวเม็ดดิน เรียกดินมวลหยาบชนิดนี้ว่า ดินเสียดทาน โดยเป็นดินที่ไม่มีแรงเหนียวระหว่างผิวของเม็ดดิน การหาขนาดของเม็ดดินชนิดนี้ทำได้โดยการร่อนผ่านตะแกรง (Sieving) เบอร์ต่างๆ ซึ่งเรียงลำดับความละเอียดโดยตะแกรงละเอียดที่สุดไว้ข้างล่าง และหยาบที่สุดไว้ข้างบน

จากผลการทดสอบ ซีดพิคต์แอดเตอร์เบอร์ก และ ขนาดเม็ดดิน สามารถนำไปใช้ ในการจำแนกชนิดดินได้โดยการจำแนกอาศัยมาตรฐานของ ASTM D2487 (Unified Soil Classification System) ซึ่งระบบการจำแนกดินนี้ อาศัยปริมาณขนาดเม็ดดินส่วนใหญ่ ในการเรียกชื่อหลักของดิน (Principle Name) และ อาศัยปริมาณของเม็ดดินส่วนน้อย ในการเรียกชื่อประกอบ (Supplementary Name) ดังนี้

ชื่อหลัก:

ดินขนาดใดๆ ที่มีปริมาณ 50 – 100% ของปริมาณดินตัวอย่างทั้งหมด (Gravel, Sand, Silt, Clay)

ชื่อประกอบ:

(Trace) คือ ดินขนาดใดๆ ที่มีปริมาณน้อยกว่า 5% ของปริมาณดินตัวอย่างทั้งหมด

(Few) คือ ดินขนาดใดๆ ที่มีปริมาณ 5 – 10% ของปริมาณดินตัวอย่างทั้งหมด

(Little) คือ ดินขนาดใดๆ ที่มีปริมาณ 15 – 25% ของปริมาณดินตัวอย่างทั้งหมด

(Some) คือ ดินขนาดใดๆ ที่มีปริมาณ 30 – 45% ของปริมาณดินตัวอย่างทั้งหมด

2.3.5.3 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลดินรวม

ตัวอย่างดินถูกนำไปศึกษาน้ำหนักของมวลดินรวม ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของดินโดยวิธีชั่งน้ำหนัก และวัดขนาด โดยอาศัยหลักการ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (2.25)$$

ใช้กระบอกบางเก็บตัวอย่างด้วยหัวเก็บแบบเปิด (Open Drive Sample) เก็บตัวอย่างแบบคงสภาพสำหรับการทดสอบกำลัง การทดสอบ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพทั่วไป และหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร

2.3.5.4 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว

การหาความต้านทานแรงเฉือนโดยวิธีทดสอบแรงอัดแกนเดียว เป็นแบบหนึ่งของวิธีทดสอบแรงอัดสามแกน โดยไม่มีความดันที่กระทำต่อผิวมวลดินด้านข้าง (Confining Pressure) ดังนั้นความต้านทานแรงเฉือนของมวลดินจะเกิดขึ้นเนื่องจากหน่วยแรงในแกนตั้ง (Axial Stress) เท่านั้น วิธีการทดสอบตัวอย่างดินโดยไม่มีความดันกระทำต่อผิวมวลดินด้านข้างดังกล่าว ทำให้สภาพดินตัวอย่างไม่เหมือนกับสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติของดิน ดังนั้น ผลการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนของมวลดินจึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น อย่างไรก็ตาม วิธีทดสอบแรงอัดแกนเดียวก็เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะตัวอย่างดินจำพวกดินเหนียว เพราะสามารถกระทำได้รวดเร็วและประหยัดค่าความต้องการแรงเฉือนดินตัวอย่างจึงขึ้นอยู่กับสถานะภาพและปริมาณน้ำในมวลดิน หน่วยแรงเหนียวนำของมวลดิน (Cohesion) และมีค่าแรงเฉือนของดิน (Undrained Shear Strength) หาความต้านทานได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียว โดยมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของหน่วยงานแรงอัดแกนเดียว (Undrained Shear Strength) ในดินสภาพอิ่มตัวและไม่มีน้ำไหลออกจากมวลดินขณะเฉือนดิน มุมเสียดทานภายในมวลดินจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$c = S_{uc} = \frac{q_u}{2} \quad (2.26)$$

เมื่อ c = หน่วยแรงเหนียวนำ
(Cohesion)
 S_{uc} = ค่าแรงเฉือนของดินที่หาจาก
Unconfined Compression Test
 q_u = หน่วยแรงอัดแกนเดียว
(Unconfined Compressive Strength)

หน่วยแรงเหนียวนำที่ได้นี้จะมีความเท่ากับความต้านทานแรงเฉือนในสภาพที่ไม่มีน้ำไหลออกจากมวลดิน (Undrained Shear Strength, S_{uc}) ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในกรณีมวลดินบรรทุกน้ำหนักในช่วงระยะเวลาสั้น (Short Term) ของโครงสร้างขนาดเล็กบนชั้นดินเหนียว ซึ่งจะถูกพิจารณาว่าเป็นช่วงเวลาที่ดินมีความวิกฤติมากที่สุด

2.3.6 ผลการสำรวจสภาพชั้นดิน

2.3.6.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ลักษณะการจัดเรียงตัวและคุณสมบัติของดินแต่ละชั้น (Borehole Logs and Soil Properties) ที่ได้จากการสำรวจ ถูกนำมารวบรวมเข้ากับผลการทดสอบต่างๆ จากห้องปฏิบัติการ และสามารถนำมาทำเป็นรูปตัดชั้นดิน โดยมีการจัดเรียงตัวจากบนลงล่าง

ตาราง 11 คุณสมบัติของชั้นดินกรุงเทพมหานคร

ความลึก (m.)	ชั้นดิน (Soil profile)	ลักษณะที่พบ (Properties)
0-2.0	ดินถม (Fillmaterial)	เป็นดินเหนียวถมสีเทา ปนด้วยเศษคอนกรีตแตกกับดินลูกรังและเศษขยะ หนาารวมกันประมาณ 2.0 m.
2.0 -14.5	ดินเหนียวอ่อนมาก ถึงปานกลาง (Very soft to medium clay)	ดินเหนียวสีเทาถึงสีเทอมันน้ำตาล ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติใกล้ค่าพิกัดเหลว ค่าความเป็นพลาสติกดีสูง และดินมีค่าความต้านทานแรงเฉือนต่ำ
14.5 - 25.0	ดินเหนียวแข็งถึงแข็ง ที่สุด (Stiff to hard clay)	ดินเหนียวสีน้ำตาลอ่อน และสีน้ำตาลอมเทา ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติ จะลดลงมาเข้าใกล้ค่าพิกัดพลาสติก มีค่าความเป็นพลาสติกดีสูงถึงปานกลาง ดินมีค่าการตอกทดสอบ (SPT) ค่อนข้างสูงขึ้นตามความลึก พบชั้นทรายปนดินเหนียวแทรกก่อนถึงชั้นดินจากดินเหนียวมาเป็นชั้นทราย
25.0 – 50.0	ทรายแน่นถึงแน่นมาก (Dense to very dense sand)	ทรายเป็นสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลปนเทา ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติต่ำ ส่วนมากไม่มีค่าความเป็นพลาสติกดี และเป็นทรายเม็ดละเอียดถึงเม็ดปานกลาง พบกระเปาะดินเหนียวแทรกอยู่ที่ความลึก 42 ถึง 43 m. พบทรายปนดินเหนียวในตัวอย่างสุดท้าย ก่อนจบความลึกของหลุมเจาะ แสดงให้เห็นว่าชั้นดินอาจเริ่มเปลี่ยนจากทรายไปเป็นดินเหนียวได้

2.3.6.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรม

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินที่ทำการสำรวจและทดสอบ พบว่า ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติมีค่าสูงในชั้นดินเหนียวอ่อนมากถึงแข็งปานกลาง แต่มีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึกในชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทราย ตามลำดับ ค่าการตอกทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D1586 (SPT) ในชั้นดินเหนียวมีค่าสูงชันเรื่อยๆ ตามความลึก ในขณะที่ในชั้นทรายมีค่าใกล้เคียงกัน ดินที่พบในพื้นที่โครงการสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM D2487 (USCS) คือดินเหนียว ดินทราย ดินทรายปนดินเหนียว

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 มาร์ค มาร์แชล (Mark Marshall, 1998)

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก The University of Oxford เป็นการศึกษา ภาคสนามจากการดันท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1,000 mm. – 1,800 mm. ในสภาพชั้นดินต่าง ๆ ของกรุงลอนดอน โดยใช้หัวเจาะแบบเปิด (Open Face Tunnel Boring Machine) และแบบใช้เบนโทไนท์ควบคุมแรงดันหน้าหัวเจาะ (Slurry Machine) จุดประสงค์หลักคือศึกษาแรงที่ใช้ดันท่อ ให้เคลื่อนที่ ที่มีผลต่อท่อคอนกรีตจากการใช้สารหล่อลื่น และการควบคุมทิศทางการดันท่อ โดยการทดลองได้ค่าแรงต้านทานจากการเสียดทานในชั้นดินเหนียว (Firm Clay) เป็น 12.7 kN/m² สำหรับการใส่เบนโทไนท์สามารถลดแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียวปนทราย (Clayey – Sand) 25% และในชั้นทรายละเอียด (Fine Sand) 73% ต่อการใช้ท่อคอนกรีตที่มีรูฉีดเบนโทไนท์ ในอัตราส่วน 1:4 ท่อ ฉีดเฉพาะตำแหน่ง 3.00 น. สำหรับปัญหาเรื่องการควบคุมทิศทางการดันท่อไม่ให้เกิน 0.4 ° เพื่อเปรียบเทียบกับ การดันท่อในทิศทางตรงนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากข้อจำกัดของวิธีเก็บข้อมูล

2.4.2 มิลลิแกน จี.ดับเบิลยู.อี. (Milligan G.W.E, 2000)

กล่าวถึงงานวิจัยเรื่องการใช้สารหล่อลื่นในงานดันท่อคอนกรีตใต้ดิน (Pipe Jacking) ของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เช่น Bochum University in Germany (Maidl, 1995), Lille University in France (Qucbaud, 1996), Delft Geotechnics in the Netherlands (Bezuijen et al, 1999), The National Institute For Applied Sciences (INSA) in Lyon และ โครงการใหม่ที่กำลังเริ่มงานวิจัย ที่ Oxford University ร่วมกับสมาคมงานดันท่อคอนกรีตใต้ดิน (Pipe Jacking Association) เกี่ยวกับการใช้ โฟม (Foam) โพลีเมอร์ (Polymer) และ เบนโทไนท์ (Bentonite) เพื่อนำผลการทดลองไปศึกษากับงานภาคสนาม สำหรับอัตราส่วนผสมของโพลีเมอร์ที่เหมาะสม เท่ากับ 0.5 % หรือน้อยกว่า

ข้อคิดเห็นขั้นพื้นฐานของวัสดุ คุณสมบัติ และการทดสอบ เพื่อใช้ในการปรับสภาพของดิน และหล่อลื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของวัสดุในธรรมชาติ ความแข็ง สภาพความเหลว ลักษณะของแก๊ส หรือ รวมกันทั้งหมด และการทำปฏิกิริยาเคมีและสิ่งที่เพิ่มเข้าไปต้องไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ใช้งานได้ปลอดภัยและสามารถย่อยสลายโดยทางชีวภาพได้ ในทางปฏิบัติ ในการใช้วัสดุอัดลงไปบนดิน มักจะเป็นในรูปของเหลว และบ่อยครั้งในส่วนผสมที่คล้าย เลน มีส่วนประกอบของสิ่งมีพิษเจือปนอยู่ เพื่อที่จะให้ได้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของลักษณะเจลได้ตามต้องการ

ซึ่งมีการศึกษาเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และ ความเป็นสารพิษในหนู และ กระจายโดย (National Industrial Chemicals Notification And Assessment Scheme, 1994) ส่วนผสม 0.2 % ทำการทดสอบที่ 1, 24, 72 ชั่วโมง และ 7 วัน ไม่พบความผิดปกติกับผิวหนังของสัตว์ทดลอง และ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก

ผลต่อพื้นผิว สภาพการแยกตัว การรวมตัวเป็นก้อนปุย และ การแปรสภาพเป็นเจล อนุภาค ในส่วนผสมของ เลน ประกอบด้วย การแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าโดยธรรมชาติ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไป ขั้วของโมเลกุลน้ำ อาจจับกันเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน ผลของปฏิกิริยาทั้ง 2 ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างโมเลกุล ยกเว้น อนุภาคอยู่ชิดกันเกินไป อนุภาคในรูปของ เลน จะผลักรันกระจายออก ผลที่ สังเกต ได้จะเกิดกับอนุภาคเล็กเป็นโคลนได้ดีกว่าอนุภาคใหญ่ โดยเหตุผลที่ว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า และแรงดึงดูดระหว่างกันน้อยกว่า ในบางสถานการณ์ อนุภาคของโคลนได้หมุนรวมตัวกันคล้ายปุยนุ่ม (Flocculated) บางส่วนของ เลน ในคุณลักษณะของ ความเหนียวแต่สั้นไหวได้ (Thixotropy) ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นลักษณะเจล "สีที่ไม่หยุด"

การศึกษาถึงคุณลักษณะของการไหล (Rheology) โดยมีหลักความคิดซึ่งสามารถอธิบายได้ โดยค่าความไหลสัมพันธ์กับแรงเสียดทานของการตั้งและการดันในของเหลว ดังเช่นระยะทางของ D ในส่วนของการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V

$$\text{แรงของความตึงเครียด } \tau \text{ ระหว่างของเหลวกับภาชนะห้องเรียบ } \tau = \mu V / D$$

$$\mu = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด หน่วยเป็น N.s/m}^2 \text{ หรือ Pa.s}$$

$$\text{โดยที่ } 1.0 \text{ cp} = 10^{-3} \text{ N.s/m}^2 \text{ ค่าความหนืดของน้ำที่ } 20^\circ \text{ C} = 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$$

$$\text{แบบจำลองของ Bingham } \tau = k(V/D)^n$$

$$\text{เมื่อ } n = 1 \text{ for a Newtonian fluid}$$

2.4.2.1 เบนโทไนท์ (Bentonite)

เป็นดินธรรมชาติที่มีส่วนผสมของ โปแตสเซียม แคลเซียม และ โซเดียม มอนต์โมริลไอไนท์ ใช้เพื่อหล่อลื่นในการดันท่อใต้ดิน โดยของเหลวผสมเบนโทไนท์ ประมาณ 3% และค่า มาร์ชโคน 30 - 40 วินาที มีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำใต้ดินและไม่ซึมเข้าไปในดิน ช่วยในการคงตัวอยู่ของดินโดยรอบๆตัว

2.4.2.2 โพลีเมอร์ (Polymer)

ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ มีโซโมเลกุลที่ยาว และเชื่อมต่อกันโดยโซโมเลกุลของกลุ่มอนุภาค (Building Block) หรือ โมโนเมอร์ ที่มีขนาดเล็กกว่าและปริมาณมากกว่า โดยปกติ สามารถอยู่ได้ในหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับโซโมเลกุลของกลุ่มอนุภาค โดยทั่วไปมีอยู่ตามธรรมชาติ และที่มีการสังเคราะห์ขึ้น เช่น โพลีอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ พาเซิลไฮโดรไลซ์ โพลีอะคริลาไมด์ คาร์บ็อกซีเมทิล เซลลูโลส และ โพลีแอนไอออนิก เซลลูโลส

2.4.3 โซทิริส พิโซแมส (Sotiris Psomas, 2001)

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท St.Hugh's College เป็นการศึกษาภายในห้องทดลองทางด้านคุณสมบัติของโฟม (Foam), เบนโทไนท์ (Bentonite), โพลีเมอร์ (Polymer) โดยพิจารณาความสามารถในการรับแรงกด (Compressibility) ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่าน (Permeability) และความแข็งแรงในการรับแรงเฉือน (Shear strength) ใช้เบนโทไนท์ที่มีอัตราส่วนการขยายตัวเชิงปริมาตร 10 เท่า (CETCO Hydraul - EZ type) จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสม 5% โดยน้ำหนักเป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมกับวัสดุประเภททราย และใช้โพลีเมอร์ 20 - 60 ml. เพิ่มในส่วนผสม แต่สำหรับวัสดุประเภททรายหยาบ จะใช้อัตราส่วน 4:1:1 (น้ำ:VCP ออยล์:โพลีเมอร์) : ทราย 1,500 g และ 2,000 g.

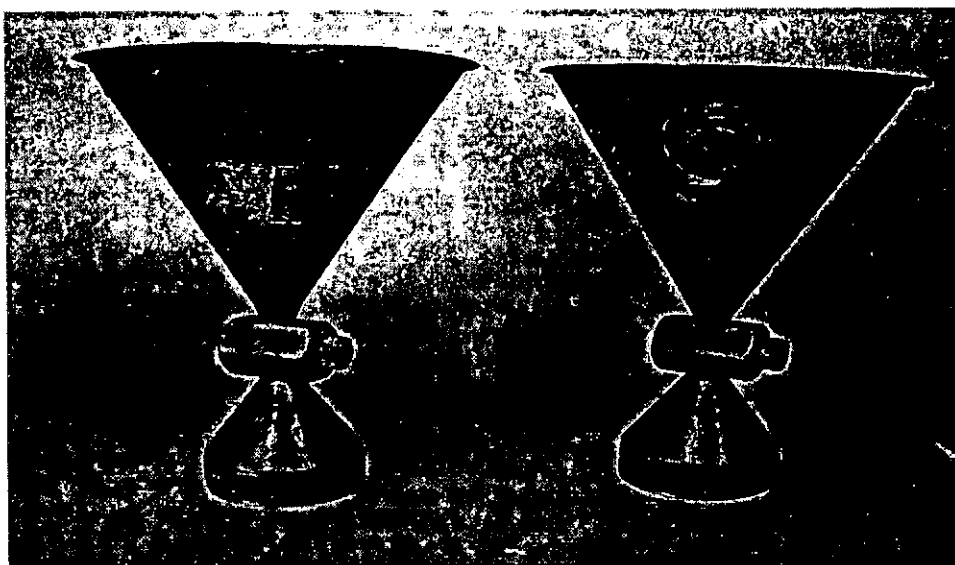
Sotiris Psomas ได้จำแนกคุณสมบัติของสารหล่อลื่น 3 ชนิด ในงานขุดเจาะอุโมงค์แบบสมดุลงดดันดิน (Tunnelling and Pipe Jacking) ซึ่งเป็นการปรับปรุงสภาพดินในงานเจาะอุโมงค์เฉพาะการใช้สารหล่อลื่นฉีดบริเวณหน้าหัวเจาะ เพื่อลดแรงเสียดทานด้านหน้าหัวเจาะ โดยเป็นกรณีศึกษาในสภาพดินที่มีความแตกต่าง ของ แต่ละประเทศ และ ชนิดของสารหล่อลื่นที่ใช้ ส่วนใหญ่จะเป็นเบนโทไนท์ (Thomson, 1993) แต่บางครั้งก็มีการใช้ผสมกันระหว่างโพลีเมอร์กับโฟม บทบาทสำคัญของการปรับปรุงสภาพดินโดยใช้สารหล่อลื่น นอกจากลดแรงเสียดทานในการขุดเจาะอุโมงค์แล้วยังสามารถลดต้นทุน ในการทำงานและยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆ ของหัวเจาะ เช่นชุดแมนแบร์จ และระบบส่งกำลัง (Cutting Wheel) ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนหัวเจาะลดลง

อ้างการศึกษาของ (Wallis, 1995) โครงการขุดเจาะอุโมงค์ ผ่านชั้นทราย และ ชั้นหินลูกรังใช้หัวเจาะแบบสมดุลงดดันดินฉีดเบนโทไนท์และโฟม โดยอัตราการใช้เบนโทไนท์ 220 L/m³ แต่อัตราการใช้โฟมเพียง 18 L/m³ ทำให้กำลังขับหัวเจาะลดลง 20% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ 7.7 m. เป็นผนังอุโมงค์แบบเป็นชั้นประกอบ และ รายงานการใช้โฟม ในชั้นทราย - หินลูกรัง (Peron & Marcheselli, 1994) ซึ่งเป็นโครงการแรกในประเทศอิตาลี ที่นำโฟมมาใช้หล่อลื่น อัตราส่วน 100 L ต่ออากาศ 600 L ต่อ 1.9 bar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์ 8.0 m. ผนังอุโมงค์แบบเป็นชั้นประกอบ

2.4.3.2 โพลีเมอร์ (Polymer)

ข้อมูลที่ได้จากตาราง 12 มีการเพิ่มส่วนผสมโพลีเมอร์ปริมาณ 25 – 60 ml ในทุกการทดลองซึ่งใช้ทรายแห้งน้ำหนัก 1,500 g. และ 2,000 g. โดยอัตราส่วนระหว่าง น้ำ : ออยล์ : โพลีเมอร์ เป็น 4:1:1 ในขั้นต้น และได้เพิ่มอัตราส่วน ออยล์ : โพลีเมอร์ เป็น 4:1 ถึง 2:3 และขั้นสุดท้ายใช้ปริมาณโพลีเมอร์ 10 ml สำหรับทรายละเอียด และ 20 ml สำหรับทรายหยาบ

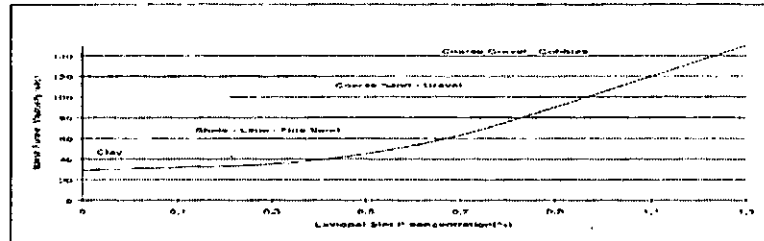
โพลีเมอร์เป็นผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ทางเคมีในชื่อโมโนเมอร์ และโพลีเมอร์บางชนิดได้จากธรรมชาติ เช่น เซลลูโลสจากน้ำตาล, คาร์โบไฮเดรต-โปรตีนจากพืช ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารหล่อลื่นในงานอุโมงค์ได้ สำหรับโพลีเมอร์สังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น โพลีแอสไอนิก เซลลูโลส แต่ที่ใช้แพร่หลายคือ โพลีอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ ที่เริ่มใช้ในงานอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมันแทนการใช้เบนโทไนท์ เพื่อดูดซับน้ำ (เมื่อใช้ผสมร่วมกับ ออยล์) โดยการทดลองได้กล่าวถึงพาเซิลไฮโดรไลซิโพลีอะคริลาไมด์ (PHPA Polymer) และออยล์ ไม่สามารถสลายตัวอย่างรวดเร็ว หลังจากให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 °c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณมวลคงเหลือ 97 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการหล่อลื่น วิธีวัดความหนืดของสารหล่อลื่นโดยการใช้มาร์ชพินแนลวิสโกซิมิเตอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกรวยด้านบน 150 mm, ความยาวมีระยะ 300 mm, และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.8 mm, ตลอดความยาว 50 mm, ปริมาณสารหล่อลื่นที่ใช้วัด 1,500 ml. ในการศึกษาทรายละเอียดกับเบนโทไนท์ วัดได้ 45 sec. และ 59 sec. สำหรับทรายหยาบกับเบนโทไนท์



ภาพประกอบ 12 มาร์ชพินแนลวิสโกซิมิเตอร์

Rheology control

A typical Marsh Funnel viscosity curve, in function of LAVIOPOL SINT P concentration, in fresh water at 25°C, is shown here below.



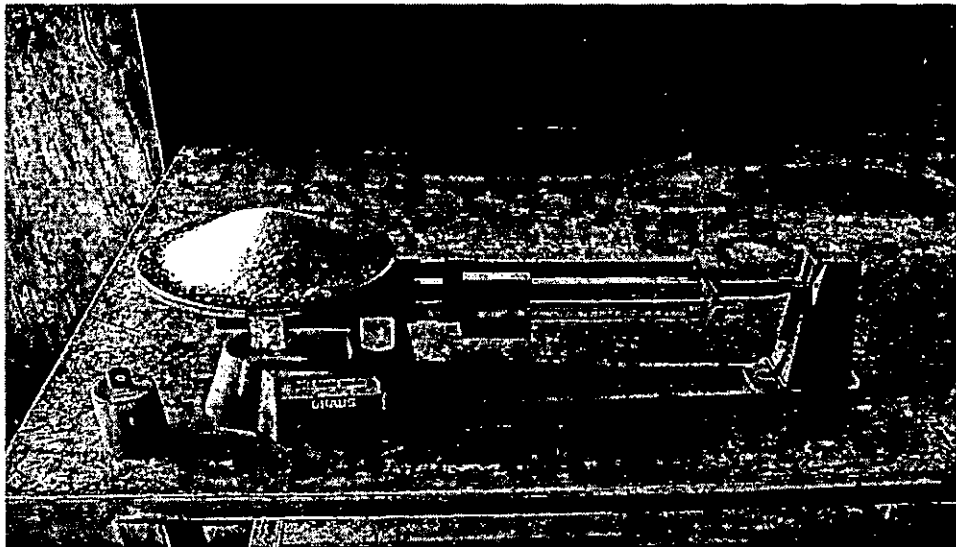
This graph shows that LAVIOPOL SINT P is a very high viscosity product, even when used at low concentrations.

Dosages vary according to the wanted rheologic characteristics of the fluid.

FORMATION TYPE	LAVIOPOL SINT P DOSAGE	MARSH FUNNEL VISCOSITY (SEC)
Clay	0.3 - 0.5 Kg/m ³	35 - 42
Shale	0.5 - 0.7 Kg/m ³	40 - 60
Limn & fine sand	0.6 - 0.8 Kg/m ³	50 - 75
Coarse sand & gravel	0.8 - 1.5 Kg/m ³	75 - 120
Coarse gravel & cobble	1.5 - 2.0 Kg/m ³	120 - 150

ภาพประกอบ 13 ดัชนีมาร์ชฟันเนลวิสกิตีของโพลีเมอร์ที่ใช้ในการหล่อลื่น

ข้อมูลจากผู้ผลิตแสดงค่าปริมาณการใช้โพลีเมอร์ที่ 0.3 - 0.5 kg/m³ สำหรับชั้นดินเหนียว



ภาพประกอบ 14 ลักษณะของอะครีลาไมด์โพลีเมอร์ที่ใช้ในการหล่อลื่น

บทที่ 3

วิธีการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต

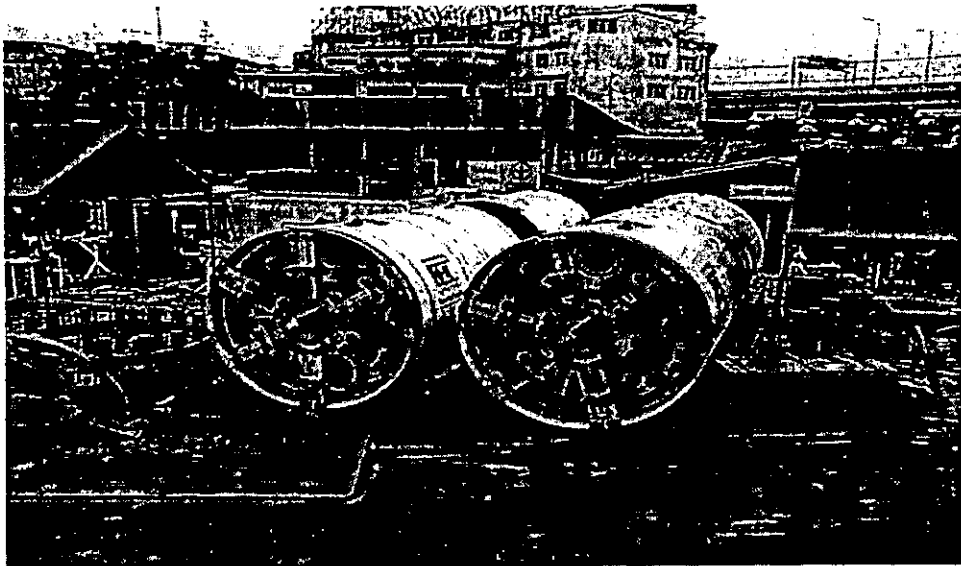
หัวเจาะอุโมงค์ใต้ดิน ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,050 mm.เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย เรื่องการศึกษาผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของ ผสมอะครีลาไมด์ โพลีเมอร์ ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร ได้สั่งซื้อมาจากบริษัท เฮอเรนเคอเนท (Herrenknecht) ประเทศเยอรมัน เมื่อปี พ.ศ. 2543 มูลค่า 60 ล้านบาท โดยบริษัท อิตาเลียน-ไทย ดีเวลอปเมนต์ จำกัด (มหาชน) และ บริษัทสแกนสกาlundบี อัดดิโบลัค ประเทศสวีเดน นำไปขุดเจาะอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูง 230 kV. ของการไฟฟ้านครหลวง และอุโมงค์บำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร

3.1.1 หัวเจาะอุโมงค์ชนิดมุมเลี้ยวกลางลำตัว (Articulated Shield Assembly)

มีข้อมูลทางเทคนิค ดังนี้

ขนาดของหัวเจาะ 3,050 mm O/D x 6,026 mm.

น้ำหนัก 55 t



ภาพประกอบ 15 หัวเจาะอุโมงค์ระบบสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance)

ขนาดที่สามารถถอดได้ 3,050 mm O/D x 2,800 mm
 กระบอกบังคับลิ้น 8 No. 800 kN x 500 bar X 100 mm stroke
 (4 No. With Integral Electronic Stroke Measurement)
 อุปกรณ์วัดแรงดันดิน (Earth Pressure Sensor) ช่วงการวัด 0-6 bar

3.1.2 การทำงานของชุดขับเคลื่อนส่วนหัว (Cutting Wheel)

ในการออกแบบพื้นที่ภายใน ชุดขับเคลื่อนส่วนหัวเพื่อหมุดกัดรูเจาะบริเวณส่วนหน้าของ อุโมงค์ จำนวนพื้นที่และความเร็วรอบในการหมุนมีผลกับสภาพของดินในแต่ละภูมิภาค ซึ่งโครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟแรงสูงใต้ดิน 230 kV. ของการไฟฟ้านครหลวง อยู่ลึกกว่าระดับพื้นดิน ประมาณ 14-16 m. ได้ใช้ ชุดขับเคลื่อนส่วนหัวแบบ 6 แขน มีจำนวนพื้นที่คานแขน และ ขอบของหัวเจาะ รวมทั้งสิ้น 30 พื้นที่นอกจากนี้พื้นที่ภายใน ชุดขับเคลื่อนส่วนหัว ยังใช้สำหรับสมดุลแรงดันของดิน โดยการควบคุมความเร็วในการหมุนให้สัมพันธ์กับ ความเร็วในการลำเลียงดินออกจาก ชุดขับเคลื่อนส่วนหัว โดยใช้ เซนเซอร์วัดแรงดันดิน (Earth Pressure Sensor) ติดตั้งบริเวณส่วนหัวด้านบนของ ชุดขับเคลื่อน ซึ่งมีย่านการวัด 0-6 bar ทิศทางการหมุน สามารถหมุนได้ทั้ง 2 ทิศทาง ตามเข็ม-ทวนเข็มนาฬิกา ถ้าหากพื้นที่ สึกหรือ และต้องการแรงกัดสูง ก็สามารถเปลี่ยนทิศทางการหมุนกัดได้

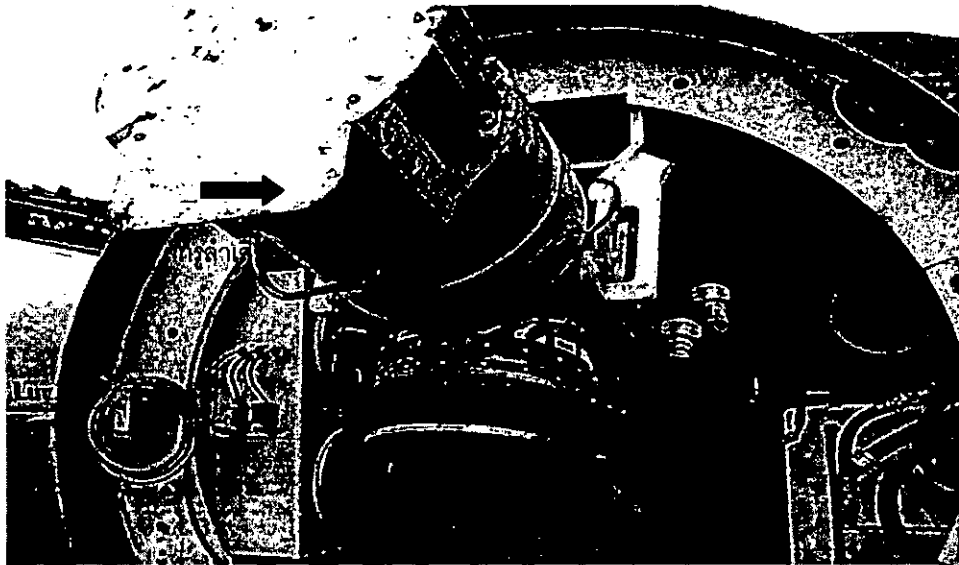
อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนชุดขับเคลื่อนส่วนหัว ใช้ระบบควบคุมแบบปรับความเร็วรอบได้ (Bi-Directional Rotation and Variable Speed 0-2.5 RPM.)

แรงบิดต่อเนื่องสูงสุด	500,000	Nm.
แรงบิดสูงสุดไม่ต่อเนื่อง	600,000	Nm.
กำลังขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า	4 x 30	kW.

3.1.3 การทำงานของสกรูลำเลียงดิน (Screw Conveyor)

ข้อมูลทางด้านเทคนิค ประกอบด้วย

ขนาดของสกรูลำเลียงดิน	500	mm.
สกรูพิตช์	400	mm.
ทิศทางการหมุน	CW/CCW	
ความเร็วแบบปรับค่าได้	0-29	RPM
กำลังขับ	75	kW
กำลังขับต่อเนื่องสูงสุด	30,000	Nm.
กำลังขับสูงสุดไม่ต่อเนื่อง	35,000	Nm.
ความสามารถในการลำเลียงดิน	0-95	m ³ /h

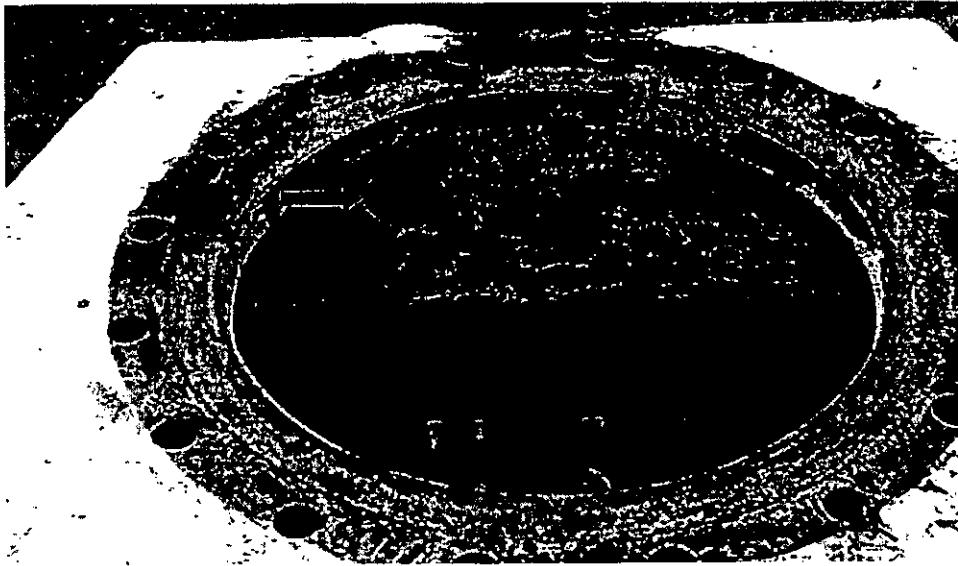


ภาพประกอบ 16 สกรูล้ำเลียงดินของหัวเจาะอุโมงค์

3.1.4 รายละเอียดทั่วไปของการลำเลียงดิน

การลำเลียงดินออกจากพื้นที่ภายใน ชุดขับเคลื่อนส่วนหัวสำหรับหัวเจาะอุโมงค์แบบสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance) จะใช้ สกรูล้ำเลียงดิน โดยมีเกจวัดแรงดันดิน (Earth Pressure Sensor 0-6 bar) ติดตั้งไว้ภายในตัวสกรู เพื่อรักษาแรงดันดินบริเวณด้านหน้า ไม่ให้สูงเกินค่าที่ออกแบบ และไม่ต่ำจนดินพังทลาย ซึ่งเกจวัดแรงดันดินของตัวสกรูล้ำเลียงดินจะต้องสัมพันธ์กันกับเกจวัดแรงดันดิน ที่ชุดขับเคลื่อนส่วนหัวโดยผู้ควบคุมการเจาะอุโมงค์ สามารถปรับเพิ่ม-ลด แรงดันทั้งสองส่วนนี้ได้ ให้ถูกต้องตามการออกแบบ

ในการลำเลียงดิน จากชุดขับเคลื่อนส่วนหัว ด้วยสกรูล้ำเลียงดิน บางครั้งจะพบอุปสรรคเนื่องจากดินที่ขุดเจาะมีเศษวัสดุจากการกลบฝัง เช่น ซากกำแพงเก่าทำให้เกิดอุดตัน ไม่สามารถหมุนสกรูล้ำเลียงดินได้ จึงมีประตูป้องกันดิน (Discharge Gate) ติดตั้งเพิ่ม เพื่อปิดในขณะแก้ปัญหาดังกล่าว และกรณีที่ไม่ได้ขุดเจาะตลอด 24 ชั่วโมง ก็จะต้องปิดประตูป้องกันดิน ไว้ตลอดเวลา เพื่อป้องกันน้ำใต้ดินรั่วเข้าภายในอุโมงค์ ไม่ให้แรงดันดินด้านหน้า ชุดขับเคลื่อนส่วนหัวลดลงต่ำจนเกิดการพังทลายของดิน

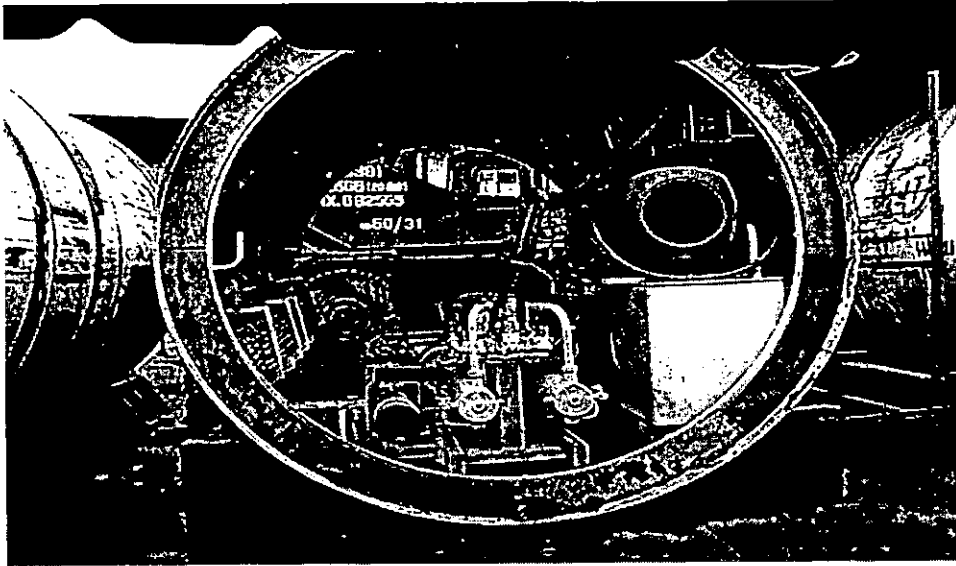


ภาพประกอบ 17 อุปกรณ์วัดแรงดันดินของสกรูล้ำเสียงดิน

3.1.5 การทำงานของปั๊มส่งดินแรงดันสูง (Clay Pump)

ข้อมูลทางด้านเทคนิค

ความสามารถในการปั๊มส่งดิน (Max. Output Efficiency)	55	m ³ /h (20 Stroke/min.)
ความสามารถสูงสุด (Max. Theoretic Output)	85	m ³ /h.
แรงดันดินในการปั๊มแบบต่อเนื่อง (Continuous Conveying Pressure)	65	bar.
แรงดันดินในการปั๊มสูงสุด (Max. Conveying Pressure)	85	bar.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกปั๊ม (Delivery Cylinder Diameter)	300	mm.
ระยะชักของกระบอกปั๊ม (Piston Stroke)	1,000	mm.
ต้นกำลังไฟฟ้า	160	kW.



ภาพประกอบ 18 บั้มส่งดินแรงดันสูง (Clay Pump)

3.1.6 รายละเอียดทั่วไปของบั้มส่งดินแรงดันสูง(Clay Pump)

การลำเลียงดินต่อจากสกรูลำเลียงดิน มีให้เลือกใช้อยู่ 2 ชนิด สำหรับงานก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินชนิด สมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance)

3.1.6.1 เคลย์บั้ม (Clay Pump)

ทั้ง 2 ชนิด มีข้อดี - ข้อเสียต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่าง เช่น แบบ ลากพ่วง โดยหัวรถไฟลำเลียงดิน ต้นทุนจะต่ำส่วนแบบ เคลย์บั้ม ต้นทุนจะสูง แต่ปริมาณงานที่ขุดเจาะอุโมงค์ได้ ต่อวัน จะสูงกว่า จึงเป็นที่นิยมใช้ โดยเฉพาะอุโมงค์ขนาดเล็ก ตั้งแต่ DN.3000 mm ลงมา ลักษณะของ เคลย์บั้มจะเหมือนกับบั้มส่งคอนกรีต (Concrete Pump) ทั่วไป แตกต่างเฉพาะภายในลูกสูบ จะทำ จากวัสดุต่างชนิดกัน เนื่องจากงานบั้มคอนกรีตจะมีการสึกหรอสูงกว่า ภายในฮอปเปอร์ ของ เคลย์บั้ม จะติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันดิน (Earth Pressure Sensor 0-6 bar) เพื่อสมดุลแรงดันดิน ที่ลำเลียงออก สู่ภายนอก ให้สัมพันธ์กันกับ ชุดขับเคลื่อนส่วนหัว และ สกรูลำเลียงดิน มิฉะนั้นจะเกิดการหลุดตัวหรือ พังทลายของดินบริเวณชุดขับเคลื่อนส่วนหัว หากแรงดันหน้าหัวเจาะ (Face Pressure) ต่ำเกินกว่าที่ ออกแบบ แต่ถ้าการควบคุมการเจาะอุโมงค์ทำให้แรงดันหน้าหัวเจาะ เกินกว่าค่าที่ออกแบบ ก็จะทำให้ สสารอนุภาคใต้ดินบริเวณใกล้เคียงกับการเจาะเสียหาย เช่น ท่อประปา แตก,ถนนถูกแรงอัดจนวิบัติ ดังนั้นก่อนขุดเจาะอุโมงค์จำเป็นต้องมีข้อมูลทางดินเพื่อออกแบบแรงดันหน้า หัวเจาะ ให้เหมาะสม ตามระดับความลึก แลดินแต่ละประเภท ดังตัวอย่างการคำนวณแรงดันดินที่ MH 4J. เท่ากับ 149.63 t.

Face Pressure for EPB. Shield = Lateral earth pressure at rest

At level -3.00 m	=	7.804 t/m ²
At level -4.00 m	=	9.088 t/m ²
At level -5.00 m	=	10.372 t/m ²
At level -6.00 m	=	11.656 t/m ²
At level -7.00 m	=	12.940 t/m ²
At level -8.00 m	=	14.225 t/m ²
At level -9.00 m	=	15.509 t/m ²
At level -10.00 m	=	16.793 t/m ²
At level -11.50 m	=	18.224 t/m ²
At level -14.50 m	=	22.736 t/m ²
Average Face Pressure	=	(18.224+22.736)/2
	=	20.48 t/m ²
Face Pressure	=	20.48 t/m ² x $\pi/4$ x 3.05 ²
	=	149.63 t.

ในการกำหนดค่าแรงดันหน้าหัวเจาะ สำหรับหัวเจาะอุโมงค์ แบบสมดุลแรงดัน ที่แสดงในตาราง13 เป็นไปตามสมการหาค่าผลรวมของ แรงดันดิน และ แรงดันน้ำใต้ดิน (MRTA, 2541)

$$P_F = P_G + P_R \quad (3.1)$$

P_F คือแรงดันหน้าหัวเจาะ (Face Pressure) ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความลึกของแนวอุโมงค์ และ ความเร็ว ของการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ จากการดันซีลด์แฉึก ทำให้ แรงดันดิน (Ground Pressure, P_G) เปลี่ยนแปลง ซึ่งการออกแบบจะบวกแรงดัน ของ น้ำใต้ดิน (Additional Pressure, P_R)

ตาราง 13 ตัวอย่างค่าแรงดันดินหน้าหัวเจาะที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์

OD. (mm)	Soil Type (Property)	Face Pressure (kgf/cm ²)
7,450	Soft Silt	Earth Pressure At Rest
8,210	Sandy Soil, Cohesive	Earth Pressure At Rest + Water Pressure + 0.2 kgf/cm ²
5,540	Soil	Earth Pressure At Rest + Water Pressure + Fluctuating
4,930	Fine Sand	Earth Pressure At Rest + (0.30~0.5 kgf / cm ²)
2,480	Sandy Soil, Cohesive	Earth Pressure At Rest + Water Pressure
7,780	Soil	Active Earth pressure + Water Pressure
7,350	Gravel,	Earth Pressure At Rest + 0.1 kgf / cm ²
5,860	Bedrock, Cohesive Gravel , Cohesive Soil	Earth Pressure At Rest + 0.2 kgf / cm ²

3.1.6.2 รถลำเลียงดิน (Muck car) แบบลากพ่วงด้วยรถไฟฟ้ากระแสดตรง

ข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณหาแรงขับเคลื่อนด้วยรถไฟฟ้ากระแสดตรง

1 ข้อมูลของรางรถไฟ

ระยะระหว่างรางรถไฟ, น้ำหนักของรางรถไฟต่อความยาว 1 m.

สภาพการใช้งานของรางรถไฟ (ใหม่หรือของเก่า)

อุโมงค์เปียกหรือแห้งไม่มีน้ำท่วมขัง

ความลาดเอียงของรางรถไฟขณะวิ่งเข้าอุโมงค์ ต่อระยะทาง 100 m.

ความลาดเอียงของรถไฟขณะวิ่งออกจากอุโมงค์ ต่อระยะทาง 100 m.

รัศมีความโค้งของรางรถไฟขณะวิ่งเข้าอุโมงค์

รัศมีความโค้งของรางรถไฟขณะวิ่งออกจากอุโมงค์

น้ำหนักบรรทุกสูงสุดในขณะวิ่งขึ้นหรือวิ่งลงความชัน

2 ข้อมูลของรถลำเลียงดิน

ชนิดของรถลำเลียงดิน (เต้านข้าง, เต้านล่าง, ยกเท) และขนาดความจุเป็น m³

น้ำหนักของรถลำเลียงดิน และน้ำหนักบรรทุก

จำนวนของรถลำเลียงดินต่อหัวลากรถไฟ

ความยาวทั้งหมดของรถลำเลียงดิน และระยะความกว้างของฐานล้อ
ชนิดของแบริ่งเพลาล้อของรถลำเลียงดิน

ค่าแรงเสียดทานของแบริ่ง ในขณะที่เริ่มเคลื่อนตัว และในขณะที่โรลลิ่ง

3 ข้อมูลของบริษัทที่ดำเนินการขุดเจาะอุโมงค์

บริษัทที่ดำเนินการขุดเจาะอุโมงค์สามารถส่งข้อมูลให้โรงงานคำนวณแรงขับเคลื่อนที่เหมาะสม ดังนี้
ชื่อบริษัท

ที่อยู่

ข้อมูลของอุโมงค์

ชื่อโครงการ

สถานที่ก่อสร้าง

ชนิดของวัสดุที่บรรทุก

ระดับพื้นอุโมงค์เทียบจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ความชื้นสัมพัทธ์

อุณหภูมิภายในอุโมงค์

ชนิดของการขับเคลื่อน ด้วยระบบไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์

4 วิธีการคำนวณ

กรณีที่ 1. การคำนวณแรงลากจูงของรถไฟขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่ในขณะที่วิ่งบนทางโค้งรัศมี 40 m.

อินพุท พารามิเตอร์

น้ำหนักสุทธิ ของหัวรถไฟ	(WL)	9.00	t
น้ำหนักลากจูงรวมน้ำหนักรถลำเลียง	(W)	84.30	t
แรงยึดเกาะในการขับเคลื่อน	(Ta)	17.00	%
ความชัน		0.010	%
แรงต้านในขณะที่รถไฟเริ่มเคลื่อนที่	(Rsl)	12.00	kg/t
แรงต้านในขณะที่รถลำเลียงเริ่มเคลื่อนที่	(Rsw)	11.00	kg/t
แรงต้านขณะรถไฟโรลลิ่ง	(Rrl)	9.00	kg/t
แรงต้านขณะรถลำเลียงโรลลิ่ง	(Rrw)	9.00	kg/t
ความเร็วขณะรถไฟวิ่ง	(V)	2.80	m/s
ความกว้างฐานล้อ	(B)	760.00	mm.
ระยะห่างระหว่างรถไฟ	(G)	610.00	mm.
รัศมีความโค้งของทางรถไฟ	(R)	40.00	m.

ประสิทธิภาพทางกล	(n)	90.00	%
แรงต้านในขณะรถไฟวิ่งขึ้นลาดชัน	(Gr)	0.10	kg/t
แรงต้านในขณะรถไฟวิ่งเข้าทางโค้ง	(Cr)	4.63	kg/t
แรงต้านรวมขณะรถลำเดียววิ่งบนทางลาดชัน (Rtws)	Rsw + Gr + Cr		kg/t
แรงต้านรวมขณะรถไฟวิ่งบนทางลาดชัน	(RtIs)	RsL + Gr + Cr	kg/t

ผลของการคำนวณความต้องการแรงลากจูงรถไฟให้เริ่มเคลื่อนที่ในทางโค้ง (DBP)

$$\begin{aligned}
 \text{DBP} &= W \times \text{Rtws} \\
 W &= 84.30 \quad \text{t} \\
 \text{Rsw} &= 11.00 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Gr} &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Cr} &= 4.63 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Rtws} &= \text{Rsw} + \text{Gr} + \text{Cr} \\
 \text{Rtws} &= 15.73 \quad \text{kg/t} \\
 \text{DBP} &= 84 \text{ T} \times 15.73 \quad \text{kg/t} \\
 \text{DBP} &= 1,326.03 \quad \text{kg.}
 \end{aligned}$$

ความต้องการน้ำหนักของรถไฟสำหรับลากรถลำเดียวในทางโค้ง (Lw)

$$\begin{aligned}
 \text{Lw} &= \frac{\text{DBP}}{(\text{Ta} - \text{RtIs})} \\
 \text{DBP} &= 1,326.03 \quad \text{kg.} \\
 \text{Ta} &= 17\% ; \quad (170 \text{ kg}/1,000 \text{ kg}); \text{ kg/t} \\
 \text{Rsl} &= 12 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Gr} &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Cr} &= 4.63 \quad \text{kg/t} \\
 \text{RtIs} &= \text{Rsl} + \text{Gr} + \text{Cr} \\
 \text{RtIs} &= 16.73 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Lw} &= \frac{1,326.03 \text{ Kg}}{(170 \text{ kg/t} - 16.73 \text{ kg/t})} \\
 \text{Lw} &= 8.65 \quad \text{t}
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาแรงลากจูงของรถไฟสูงสุดบนทางโค้งต่อแรงต้านทานการขับเคลื่อน (Te)

$$\begin{aligned}
 Te &= (Wl \times Rsl) + (W \times Rsw) + [(Wl+W) \times Gr] + [(Wl+W) \times Cr] \\
 Wl &= 9.00 \quad t \\
 W &= 84.30 \quad t \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Rsl &= 12.00 \quad \text{kg/t} \\
 Rsw &= 11.00 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 4.63 \quad \text{kg/t} \\
 Te &= (9 \times 12) + (84.3 \times 11) + [(9+84.3) \times 0.10] + (9+84.3) \times 4.63 \\
 Te &= 1,476.609 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ของแรงขับเคลื่อนต่อน้ำหนักห้วงรถไฟบนทางโค้ง

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักห้วงรถไฟ } 9,000 \text{ kg} &= 100\% \\
 \text{แรงขับเคลื่อน } 1,476.609 \text{ kg} &= \frac{1,476.609 \times 100}{9,000} \\
 \% \text{ ของน้ำหนักห้วงรถไฟ} &= 16.40 \%
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาแรงลากจูงของรถไฟในขณะวิ่งปกติบนทางโค้ง (Te')

$$\begin{aligned}
 Te' &= (Wl \times Rsl) + (W \times Rsw) + [(Wl+W) \times Gr] + [(Wl+W) \times Cr] \\
 Wl &= 9.00 \quad t \\
 W &= 84.30 \quad t \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Rsl &= 9.00 \quad \text{kg/t} \\
 Rsw &= 9.00 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 4.63 \quad \text{kg/t} \\
 Te' &= (9 \times 9) + (84.3 \times 9) + [(9+84.3) \times 0.10] + (9+84.3) \times 4.63 \\
 Te' &= 1,281.009 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณแรงลากจูง ของรถไฟสูงสุดบนทางโค้ง ต่อแรงต้านทานการขับเคลื่อน (Te) และแรงลากจูงของรถไฟในขณะวิ่งปกติ บนทางโค้ง (Te') เป็นค่ากำหนดความสามารถในการขับเคลื่อนสูงสุดของรถไฟ (Maximum Tractive Effort)

การคำนวณค่าความต้องการกำลังขับเคลื่อนบนทางโค้ง (Pt)

$$Pt = \frac{Te' \times V}{330.27} ; \text{ประสิทธิภาพเชิงกล } 90\%$$

$$V = 2.80 \quad \text{m/s}$$

$$V = 10.08 \quad \text{km/h}$$

$$Pt = 1,281 \text{ kg} \times 10.08 \text{ km/h} \times 10^3 \text{ m/km} \times \text{h}/3,600\text{s}$$

$$\times 9.81 \text{ N/kg} \times \text{kJ} / 10^3 \text{ N-m} \times 0.90\%$$

$$Pt = 39.09 \quad \text{kW}$$

$$Pt = 52.40 \quad \text{HP}$$

ค่าความต้องการกำลังขับเคลื่อนบนทางโค้ง (Pt) เพื่อใช้หาค่ากำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าในกรณีที่มีรถไฟวิ่งบนทางโค้ง.

กรณีนี้ 2. การคำนวณแรงลากจูงของรถไฟขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่ในขณะวิ่งบนทางตรง
อินพุท พารามิเตอร์

น้ำหนักสุทธิ ของหัวรถไฟ	(WL)	9.00	t
น้ำหนักลากจูงรวมน้ำหนักรถลำเลียง	(W)	84.30	t
แรงยึดเกาะในการขับเคลื่อน	(Ta)	17.00	%
ความชัน		0.010	%
แรงต้านในขณะรถไฟเริ่มเคลื่อนที่	(Rsl)	12.00	kg/t
แรงต้านในขณะรถลำเลียงเริ่มเคลื่อนที่	(Rsw)	11.00	kg/t
แรงต้านขณะรถไฟโรลลิ่ง	(Rrl)	9.00	kg/t
แรงต้านขณะรถลำเลียงโรลลิ่ง	(Rrw)	9.00	kg/t
ความเร็วขณะรถไฟวิ่ง	(V)	2.80	m/s
ความกว้างฐานล้อ	(B)	-	mm.
ระยะห่างระหว่างรถไฟ	(G)	-	mm.
รัศมีความโค้งของทางรถไฟ	(R)	0	m.

ประสิทธิภาพทางกล	(n)	90.00	%
แรงต้านในขณะรถไถวิ่งขึ้นลาดชัน	(Gr)	0.10	kg/t
แรงต้านในขณะรถไถวิ่งเข้าทางโค้ง	(Cr)	4.63	kg/t
แรงต้านรวมขณะรถไถวิ่งบนทางลาดชัน (Rtws)	Rsw + Gr + Cr		kg/t
แรงต้านรวมขณะรถไถวิ่งบนทางลาดชัน	(RtIs)	Rsl + Gr + Cr	kg/t

ผลของการคำนวณความต้องการแรงลากจูงรถไถให้เริ่มเคลื่อนที่บนทางตรง (DBP)

$$\begin{aligned}
 \text{DBP} &= W \times \text{Rtws} \\
 W &= 84.30 \quad \text{t} \\
 \text{Rsw} &= 11.00 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Gr} &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Cr} &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Rtws} &= \text{Rsw} + \text{Gr} + \text{Cr} \\
 \text{Rtws} &= 11.10 \quad \text{kg/t} \\
 \text{DBP} &= 84 \text{ T} \times 11.10 \quad \text{kg/t} \\
 \text{DBP} &= 936 \quad \text{kg.}
 \end{aligned}$$

ความต้องการน้ำหนักของรถไถสำหรับลากจูงรถไถวิ่งบนทางตรง (Lw)

$$\begin{aligned}
 \text{Lw} &= \frac{\text{DBP}}{(\text{Ta} - \text{RtIs})} \\
 \text{DBP} &= 936 \quad \text{kg.} \\
 \text{Ta} &= 17\% ; \quad (170 \text{ kg}/1,000 \text{ kg}); \text{ kg/t} \\
 \text{Rsl} &= 12 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Gr} &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Cr} &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 \text{RtIs} &= \text{Rsl} + \text{Gr} + \text{Cr} \\
 \text{RtIs} &= 12.10 \quad \text{kg/t} \\
 \text{Lw} &= \frac{936 \text{ kg}}{(170 \text{ kg/t} - 12.10 \text{ kg/t})} \\
 \text{Lw} &= 5.93 \quad \text{t}
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาแรงลากจูงของรถไฟสูงสุดต่อแรงต้านทานการขับเคลื่อนบนทางตรง (Te)

$$\begin{aligned}
 Te &= (Wl \times Rsl) + (W \times Rsw) + [(Wl + W) \times Gr] + [(Wl + W) \times Cr] \\
 Wl &= 9.00 \quad t \\
 W &= 84.30 \quad t \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Rsl &= 12.00 \quad \text{kg/t} \\
 Rsw &= 11.00 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 Te &= (9 \times 12) + (84.3 \times 11) + [(9 + 84.3) \times 0.10] + [(9 + 84.3) \times 0] \\
 Te &= 1,045 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ของแรงขับเคลื่อนต่อน้ำหนักห้วงรถไฟบนทางตรง

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักห้วงรถไฟ } 9,000 \text{ kg} &= 100 \quad \% \\
 \text{แรงขับเคลื่อน } 1,045 \text{ kg} &= \frac{1,045 \times 100}{9,000} \\
 \% \text{ ของน้ำหนักห้วงรถไฟ} &= 11.60 \quad \%
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาแรงลากจูงของรถไฟในขณะวิ่งปกติบนทางตรง (Te')

$$\begin{aligned}
 Te' &= (Wl \times Rsl) + (W \times Rsw) + [(Wl + W) \times Gr] + [(Wl + W) \times Cr] \\
 Wl &= 9.00 \quad t \\
 W &= 84.30 \quad t \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Rsl &= 9.00 \quad \text{kg/t} \\
 Rsw &= 9.00 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 Te' &= (9 \times 9) + (84.3 \times 9) + [(9 + 84.3) \times 0.10] + [(9 + 84.3) \times 0] \\
 Te' &= 849 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าความต้องการกำลังขับเคลื่อนบนทางตรง (Pt)

$$Pt = \frac{Te' \times V}{330.27} ; \text{ ประสิทธิภาพเชิงกลรอบ 90\%}$$

$$V = 2.80 \quad \text{m/s}$$

$$V = 10.08 \quad \text{km/h}$$

$$Pt = 849 \text{ kg} \times 10.08 \text{ km/h} \times 10^3 \text{ m/km} \times \text{h}/3,600\text{s}$$

$$\times 9.81 \text{ N/kg} \times \text{kJ} / 10^3 \text{ N-m} \times 0.90\%$$

$$Pt = \frac{849 \text{ kg} \times 10.08 \text{ km/h}}{330.27}$$

$$Pt = 26 \quad \text{kW}$$

$$Pt = 35 \quad \text{HP}$$

กรณีที่ 3 การคำนวณแรงลากจูงของรถไฟในขณะวิ่งบนทางตรงที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก
อินพุท พารามิเตอร์

น้ำหนักสุทธิ ของหัวรถไฟ	(WL)	9.00	t
น้ำหนักลากจูงรวมน้ำหนักรถลำเลียง	(W)	26.92	t
แรงยึดเกาะในการขับเคลื่อน	(Ta)	17.00	%
ความชัน		0.010	%
แรงต้านในขณะรถไฟเริ่มเคลื่อนที่	(Rsl)	12.00	kg/t
แรงต้านในขณะรถลำเลียงเริ่มเคลื่อนที่	(Rsw)	11.00	kg/t
แรงต้านขณะรถไฟโรลลิ่ง	(Rrl)	9.00	kg/t
แรงต้านขณะรถลำเลียงโรลลิ่ง	(Rrw)	9.00	kg/t
ความเร็วขณะรถไฟวิ่ง	(V)	2.80	m/s
ความกว้างฐานล้อ	(B)	-	mm.
ระยะห่างระหว่างรถไฟ	(G)	-	mm.
รัศมีความโค้งของทางรถไฟ	(R)	-	m.
ประสิทธิภาพทางกล	(n)	90.00	%
แรงต้านในขณะรถไฟวิ่งขึ้นลาดชัน	(Gr)	0.10	kg/t
แรงต้านในขณะรถไฟวิ่งเข้าทางโค้ง	(Cr)	4.63	kg/t
แรงต้านรวมขณะรถลำเลียงวิ่งบนทางลาดชัน (Rtws)	Rsw + Gr + Cr		kg/t

แรงต้านรวมขณะรถไฟวิ่งบนทางลาดชัน (RtIs) $R_{sL} + Gr + Cr$ kg/t

ผลของการคำนวณความต้องการแรงลากจูงรถไฟให้เริ่มเคลื่อนที่บนทางตรงไม่มีน้ำหนักรรทุก (DBP)

$$\begin{aligned}
 DBP &= W \times R_{tws} \\
 W &= 26.92 \quad t \\
 R_{sw} &= 11.00 \quad \text{kg/t} \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 R_{tws} &= R_{sw} + Gr + Cr \\
 R_{tws} &= 11.10 \quad \text{kg/t} \\
 DBP &= 26.92 \times 11.10 \quad \text{kg} \\
 DBP &= 299 \quad \text{kg.}
 \end{aligned}$$

ความต้องการน้ำหนักของรถไฟสำหรับลากจูงลำเลียงบนทางตรงที่ไม่มีน้ำหนักรรทุก (Lw)

$$\begin{aligned}
 Lw &= \frac{DBP}{(Ta - R_{tIs})} \\
 DBP &= 299 \quad \text{kg.} \\
 Ta &= 17\% \quad ; (17 \text{ kg}/100 \text{ kg}) \\
 Ta &= 170 \quad \text{kg/t} ; (170 \text{ kg}/1,000 \text{ kg}) \\
 R_{sL} &= 12 \quad \text{kg/t} \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 R_{tIs} &= R_{sL} + Gr + Cr \\
 R_{tIs} &= 12.10 \quad \text{kg/t} \\
 Lw &= \frac{299 \text{ kg}}{(170 \text{ kg/t} - 12.10 \text{ kg/t})} \\
 Lw &= 1.89 \quad t
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาแรงลากจูงของรถไฟสูงสุดต่อแรงต้านทานการขับเคลื่อนบนทางตรงที่ไม่มี
น้ำหนักบรรทุก (Te)

$$\begin{aligned}
 Te &= (Wl \times Rsl) + (W \times Rsw) + [(Wl + W) \times Gr] + [(Wl + W) \times Cr] \\
 Wl &= 9.00 \quad t \\
 W &= 26.92 \quad t \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Rsl &= 12.00 \quad \text{kg/t} \\
 Rsw &= 11.00 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 Te &= (9 \times 12) + (26.92 \times 11) + [(9 + 26.92) \times 0.10] + (9 + 26.92) \times 0 \\
 Te &= 408 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ของแรงขับเคลื่อนต่อน้ำหนักหัวรถไฟบนทางตรงที่ไม่มีน้ำหนักรบรรทุก

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักรหัวรถไฟ } 9,000 \text{ kg} &= 100 \quad \% \\
 \text{แรงขับเคลื่อน } 408 \text{ kg} &= \frac{408 \times 100}{9,000} \\
 \% \text{ ของน้ำหนักรหัวรถไฟ} &= 4.50 \quad \%
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาแรงลากจูงของรถไฟในขณะวิ่งปกติบนทางตรงที่ไม่มีน้ำหนักรบรรทุก (Te')

$$\begin{aligned}
 Te' &= (Wl \times Rsl) + (W \times Rsw) + [(Wl + W) \times Gr] + [(Wl + W) \times Cr] \\
 Wl &= 9.00 \quad t \\
 W &= 26.92 \quad t \\
 Gr &= 0.10 \quad \text{kg/t} \\
 Rsl &= 9.00 \quad \text{kg/t} \\
 Rsw &= 9.00 \quad \text{kg/t} \\
 Cr &= 0 \quad \text{kg/t} \\
 Te' &= (9 \times 9) + (26.92 \times 9) + [(9 + 26.92) \times 0.10] + (9 + 26.92) \times 0 \\
 Te' &= 327 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าความต้องการกำลังขับเคลื่อนบนทางตรงที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (Pt)

$$Pt = \frac{Te' \times V}{330.27} \quad ; \quad \text{ประสิทธิภาพเชิงกลรอบ 90\%}$$

$$V = 2.80 \quad \text{m/s}$$

$$V = 10.08 \quad \text{km/h}$$

$$Pt = \frac{327 \text{ kg} \times 10.08 \text{ km/h} \times 10^3 \text{ m/km} \times \text{h}/3,600\text{s} \times 9.81 \text{ N/kg} \times \text{kJ} / 10^3 \text{ N-m} \times 0.90\%}{330.27}$$

$$Pt = \frac{327 \text{ kg} \times 10.08 \text{ km/h}}{330.27}$$

$$Pt = 10 \quad \text{kW}$$

$$Pt = 13 \quad \text{HP}$$

การคำนวณทั้ง 3 กรณี นอกจากเพื่อใช้เลือกขนาดแรงขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าแล้ว ยังใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต่อ 1 รอบการทำงาน

5 การคำนวณหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เพื่อตรวจสอบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนหัวรถไฟต่อ 1 รอบ การทำงานสามารถ

คำนวณได้จากขนาดความจุแบตเตอรี่ (Wh) = (Te)' x (km) x (2.76)

ก) ในขณะรถไฟรวมน้ำหนักบรรทุกวิ่งบนทางโค้งรัศมี 40 m.

$$= \frac{(1,281 \text{ kg}) (0.2 \text{ m}) \times 10^3 \text{ m} \times \text{HP} \times 746 \text{ W/HP}}{\frac{\text{km}}{\text{min}} \frac{4500 \text{ kg-m} \times 60 \text{ min}}{1 \text{ h}}}$$

$$= 707.11 \quad \text{Wh}$$

$$= 0.70 \quad \text{kWh}$$

ข) ในขณะรถไฟรวมน้ำหนักบรรทุกวิ่งบนทางตรงที่มีความลาดชัน 0.010% เป็นระยะทาง 5.25 km. (วิ่งออกจากอุโมงค์มีน้ำหนักบรรทุก)

$$= (849 \text{ kg}) \times (5.25 \text{ km}) \times (2.76)$$

$$= 12.30 \quad \text{kWh}$$

ค) ในขณะรถไฟรวมน้ำหนักบรรทุกวิ่งบนทางตรงที่มีความลาดชัน 0.010% x 5.25 km
(จึงเข้าอุโมงค์ไม่มีน้ำหนักบรรทุก) = (327 kg) x (5.25 km) x (2.76)
= 4,738.23 Wh
= 4.73 kWh

ดังนั้น 1 รอบ การทำงานที่รถไฟวิ่งเข้า-ออกอุโมงค์
= 0.70+12.30+4.73

ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ = 17.73 kWh

6 การคำนวณระยะทางเหยียบเบรกเพื่อหยุดรถไฟ

อินพุท พารามิเตอร์

น้ำหนักสุทธิของหัวรถไฟ	(ML)	=	9.00	t
ค่าอัตราเบรกเฉลี่ยของรถไฟ	(ABR)	=	16.00	%
ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ใช้อัตราเบรกเฉลี่ย	(KL)	=	0.136	(85% x KL)
ค่าความลาดชัน	(Gr)	=	-0.0001 ; (-0.01%)	
ค่าแรงต้านโรลลิ่งของรถไฟ	(kr)	=	0.0035 ; (3.50 kg/t x T/10 ³ kg)	
ความเร็ว	(V)	=	10.08	km/h
เวลาตอบสนองของการเหยียบเบรก(t1)		=	0.70	Sec.
เวลาตอบสนองของคนขับ	(t2)	=	0.80	Sec.
เวลารวมที่ระบบเบรกทำงาน 90%		=	0.70 + 0.80	Sec.
น้ำหนักลากจูงรวมรถลำเดียว	(Mt)	=	84.30	
แรงเบรกเกิดจากน้ำหนักของรถไฟ	(Mbe)	=	0.00	t (กรณีไม่เหยียบเบรก)
ค่าอัตราเบรกเฉลี่ยของรถลำเดียว	(Kbe)	=	0.00	t (กรณีไม่เหยียบเบรก)
ค่าอัตราส่วนระหว่าง M/MI	(Xb)	=	9.367	
ค่าอัตราส่วนระหว่าง Mbe/MI	(Xbe)	=	0.00	
ตัวคูณไรรันหน่วยขึ้นสวนเคลื่อนที่	(c)	=	0.940	

ผลการคำนวณแรงหน่วงจากค่าพารามิเตอร์ (Locomotive retardation, Fc)

$$F_c = c \times g \frac{\{(KL - Kr + Xbe (Kbe - Kr)) + (Kr + Gs)\}}{(1 + Xb)}$$

$$F_c = \frac{0.94 \times 9.81 \{ (0.136 - 0.0035 + 0(0 - 0.0035)) \}}{(1 + 9.367)}$$

$$+ 0.0035 + (-0.0001)$$

$$F_c = 0.1492 \quad \text{m/sec}^2$$

ระยะทางหยุดรถไฟ

$$S = \frac{V^2}{2F_c} + v.t.$$

$$S = \left[\frac{(10.08^2)}{2(0.1492)} \right] + 10.08 \times 1.5$$

$$\frac{(\text{km/h})^2}{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \frac{\text{h}^2}{3600^2 \text{s}^2} \right) \left(\frac{\text{km}}{10^3 \text{m}} \right)} + \frac{(\text{km/h}) \times (\text{s})}{(3,600 \text{ s/h})}$$

$$S = 0.0262 \text{ km} + 0.0042 \text{ km}$$

$$S = 0.0304 \quad \text{km}$$

$$S = 30.47 \quad \text{m}$$

3.2 การทำงานของระบบนำร่องหัวเจาะ (ELS Guidance System / Data Logger)

วิธีการสำรวจ และ ควบคุมแนวเจาะอุโมงค์ ในปัจจุบันใช้กันอยู่ 2 ระบบ คือ

3.2.1 ระบบที่ใช้การค้นหาพิกัดจากทิศเหนือ(Gyro-Compass & Level Control)

3.2.2 ระบบที่ใช้เลเซอร์นำวิถี (ELS Guidance System)

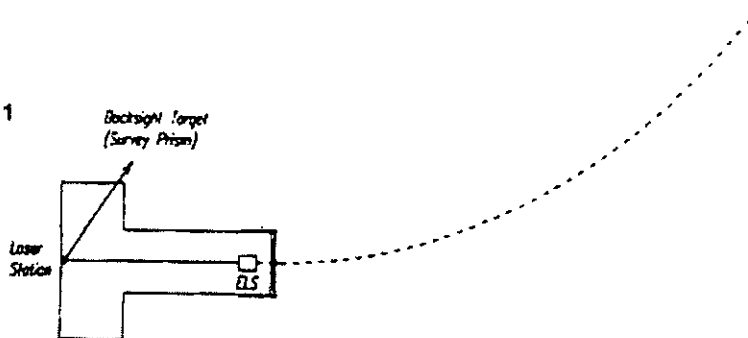
ในงานก่อสร้างอุโมงค์ที่จะทำการวิจัยนี้ ใช้ระบบนำร่องเลเซอร์นำวิถีมีการทำงานทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ Phase I , Phase II , Phase III ดังนี้

3.2.2.1 การทำงานในระยะที่ 1 (Phase I)

ตัวกล้องวัด และเป้าหลังจะติดตั้งในตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัด (X,Y,Z) ในบ่อพัก และไม่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับหัวเจาะ เมื่อหัวเจาะเคลื่อนที่ไปตามแนวเจาะ ระบบจะส่งกล้องให้ทำการวัดโดยอ้างอิงมุมแนวเป้าหลังอัตโนมัติ เพื่อคำนวณหาค่าตำแหน่งของหัวเจาะเทียบกับแนวเจาะออกแบบเป็นวงจักร เช่นนี้จนกระทั่งเข้าสู่การเจาะในขั้นที่ 2 (Phase II) ที่ระยะประมาณ 100 m. หรือที่ระยะที่กล้องไม่สามารถทำการวัดไปที่เป้า ELS. ที่หัวเจาะได้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการบดบังเนื่องจากวิถีความโค้งดังรูป

Phase I

Phase 1



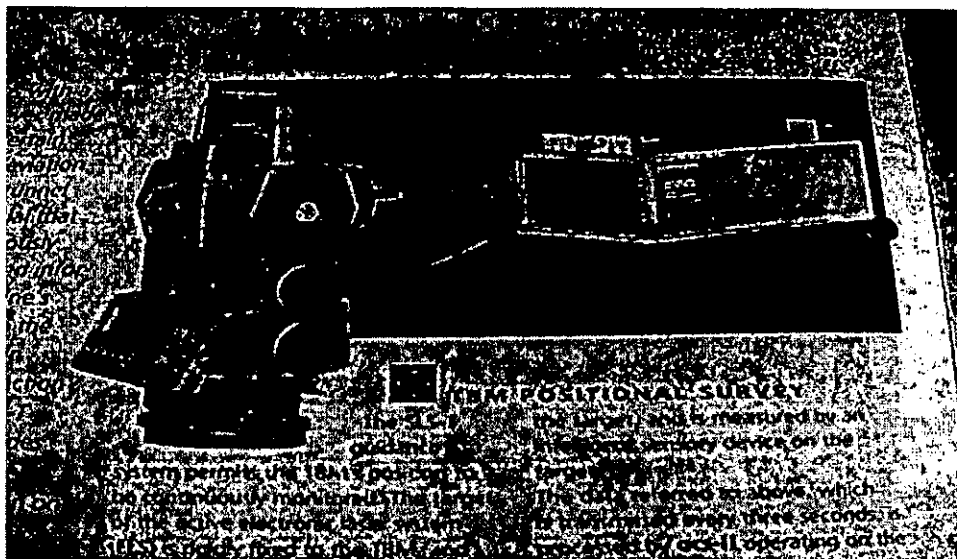
ภาพประกอบ 19 ระบบนำร่องหัวเจาะอุโมงค์ เฟส 1

อุปกรณ์ที่ติดตั้งประกอบด้วย

- กล่องรับสัญญาณ (Control Box)
- ปริซึมตัวท้ายในบ่อตัน (Back Sight Prism)
- กล่องเซอร์เวย์แบบใช้แสงเลเซอร์ (Laser Station)
- ปริซึมตัวหน้า (Reference Target Left & Right)
- เป้ารับแสงเลเซอร์ (Electronic Laser System)

3.2.2.2 การทำงานในระยะที่ 2 (Phase II)

กล่องวัด และปริซึมอ้างอิง 2 ตัว จะถูกติดตั้งในอุโมงค์และเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกับหัวเจาะ ส่วนเป้าหมายจะถูกติดตั้งอยู่กับที่ในบ่อพัก เมื่อหัวเจาะเคลื่อนที่ไป ระบบจะคำนวณตำแหน่งของกล่องที่เคลื่อนที่ไปจากข้อมูลสำรวจ และทำการวัดอ้างอิงกับแนวเป้าหมายซึ่งอยู่กับที่ เพื่อเปิดมุมมองและทำการวัดหาค่าตำแหน่งของปริซึมอ้างอิง 2 ตัวและตำแหน่งของหัวเจาะ ซึ่งใช้ในการคำนวณหาแนวเจาะในตำแหน่งต่อไปข้างหน้า เป็นวัฏจักรเช่นนี้จนกระทั่งเข้าสู่การเจาะในชั้นที่ 3 ที่ระยะประมาณ 200 m. หรือที่ระยะที่กล่องไม่สามารถทำการวัดไปที่เป้าหมายได้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการบดบังจากวิถีแนวโค้ง



ภาพประกอบ 20 ระบบนำร่องหัวเจาะอุโมงค์เฟส 2

อุปกรณ์ที่ติดตั้งประกอบด้วย

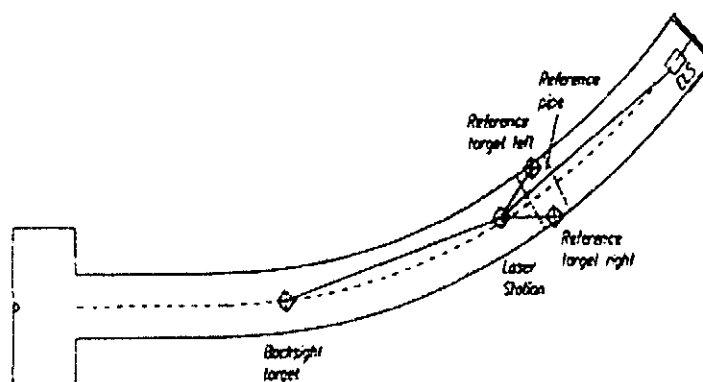
- กล่องรับสัญญาณ (Control Box)
- ปริซึมตัวท้ายในบ่อตัน (Back Sight Prism)
- กล้องเซอร์เวย์แบบใช้แสงเลเซอร์ (Laser Station)
- ปริซึมตัวหน้า (Reference Target Left & Right)
- เป้ารับแสงเลเซอร์ (Electronic Laser System)

3.2.2.3 การทำงานในระยะที่ 3 (Phase III)

อุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งภายในอุโมงค์และเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกัน พร้อมกับหัวเจาะซึ่งการวัดและการคำนวณจะเป็นเช่นเดียวกับการเจาะใน Phase II เพียงแต่ระบบจะเพิ่มการคำนวณตำแหน่งเป้าหลังซึ่งจากเดิมอยู่นิ่งใน Phase II ในการเจาะขั้นสุดท้ายนี้ อุปกรณ์ทั้งหมดจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกันจนกระทั่งสิ้นสุดการเจาะอุโมงค์

Phase III

Phase 3



ภาพประกอบ 21 ระบบนำร่องหัวเจาะอุโมงค์ เฟส 3

โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV. ของการไฟฟ้านครหลวง เป็นโครงการแรกในประเทศไทยที่ใช้เลเซอร์นำวิถี (ELS Guidance System) เพื่อก่อสร้างอุโมงค์ให้เลี้ยวโค้งโดยวิธีดันท่อคอนกรีต

3.3 การทำงานของระบบลดแรงเสียดทานในขณะก่อสร้างอุโมงค์ (Automatic Pipe Jacking Lubrication system)

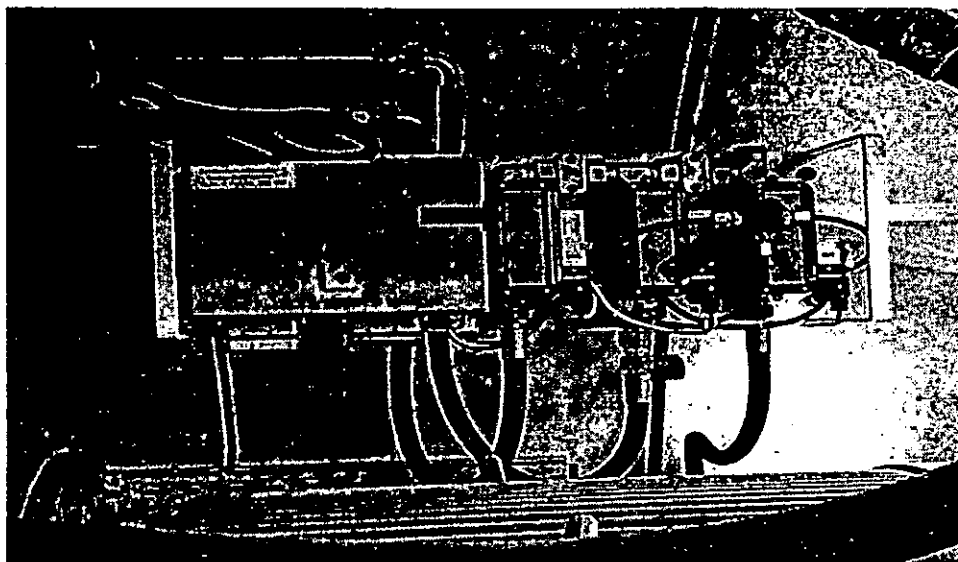
3.3.1 การลดแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตกับดินระบบธรรมดา

โดยทั่วไปของงานก่อสร้างอุโมงค์ ด้วยวิธีไปป์แจ็คกิ้ง ในระหว่างการดันท่อคอนกรีต จะต้องป้อนจารบีเบนโทไนท์ หรือโพลีเมอร์ เพื่อเป็นการลดแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตกับดิน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคน เปิด-ปิด บอลวาล์ว จึงไม่ค่อยเป็นลำดับขั้น และไม่สม่ำเสมอ ทำให้การลดแรงเสียดทานไม่ได้ประสิทธิภาพ

3.3.2 การลดแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตกับดินระบบอัตโนมัติ

ทำให้สามารถปรับจืดเป็นลำดับขั้น และสม่ำเสมอ ซึ่งโครงการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินสำหรับสายส่งไฟฟ้าใต้ดิน ของการไฟฟ้านครหลวงเป็นโครงการแรกในประเทศไทยที่นำระบบอัตโนมัติมาใช้ในการออกแบบระบบควบคุมจะใช้ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล โดยแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ หรือจะใช้ระบบส่งสัญญาณ 128 ช่อง ผ่านสาย 2 สาย (2 Wire Multiplex) ต่อใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์

แทน PLC ก็ได้ ซึ่งเป็นวิธีการรับ-ส่งสัญญาณหลายๆสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกันได้ ทั้งสัญญาณดิจิทัลและสัญญาณแอนาล็อก โดยใช้สัญญาณร่วมกันเพียง 2 สาย การติดตั้งเป็นแบบขาเสียบทำได้ง่ายและสะดวกในการถอดเปลี่ยนและขยายระบบทำให้สามารถลดแรงเสียดทานในขณะดันหอคอนกรีตจาก 5.0 kN/m^2 เป็น 2.5 kN/m^2



ภาพประกอบ 22 อุปกรณ์ลดแรงเสียดทานแบบอัตโนมัติ (Automatic Lubrication System)

3.4 การทำงานของอุปกรณ์เสริมแรงดัน (Intermediate Jacking Station)

3.4.1 ข้อกำหนดเรื่องเวลาการทำงาน

งานก่อสร้างอุโมงค์โดยจะมีข้อกำหนดเรื่องเวลาการทำงาน ควรดันหอคือต่อเนื่องจนจบ ความยาวของอุโมงค์ที่ต้องการก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อมิให้เกิดปัญหาเรื่องแรงเสียดทาน (Skin Friction) สูงจนไม่สามารถดันหอคือต่อไปได้

3.4.2 ระยะเวลาที่จะติดตั้งอุปกรณ์เสริมแรงดัน (Intermediate Jacking Station)

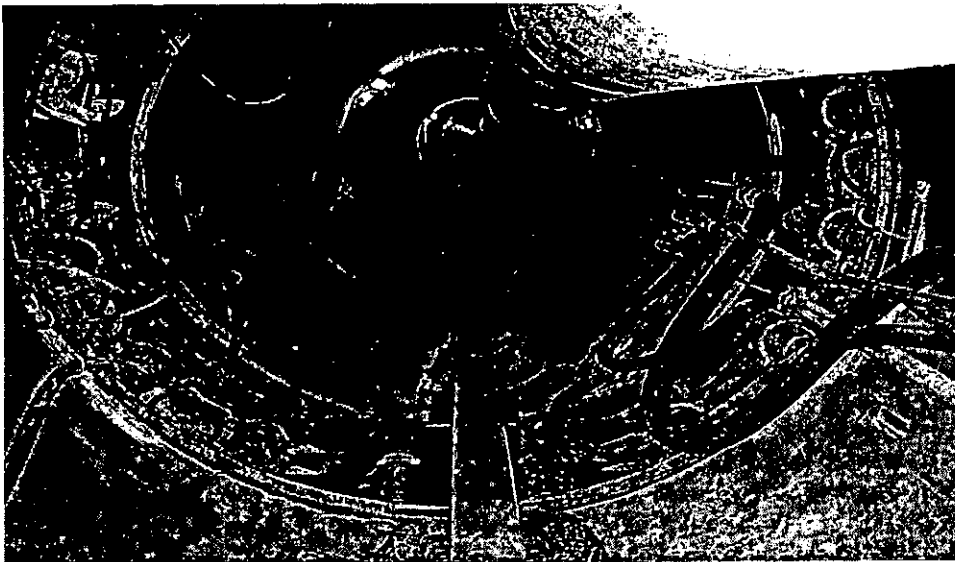
เนื่องจากงานก่อสร้างอุโมงค์ ในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่จะปฏิบัติงานได้เฉพาะเวลากลางคืน ระหว่างเวลา 22.00 น.– 05.00 น. เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบกับสภาพการจราจรในตอนกลางวัน จึงต้องออกแบบให้มีชุดอุปกรณ์เสริมแรงดัน (Intermediate Jacking Station) โดยจะติดตั้งที่ระยะกึ่งกลางของอุโมงค์ที่มีความยาวมากกว่า 250-300 m. ขึ้นไป



ภาพประกอบ 23 อุปกรณ์เสริมแรงดันในการดันท่อคอนกรีต (Intermediate Jacking Station)

3.4.3 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์เสริมแรงดันในการดันท่อคอนกรีต

ประกอบกันอยู่สองส่วนคือ ส่วนปลอกเหล็ก ไว้ใช้ติดตั้ง ครอบอกไฮดรอลิค ขนาด 750 kN จำนวน 16 ครอบอก เพื่อเป็นอุปกรณ์เสริมแรงดันอีก 12,000 kN และ ส่วนที่เป็นท่อคอนกรีต ที่จะมีการเคลื่อนที่อยู่ภายในปลอกเหล็ก การทำงานของชุดอุปกรณ์เสริมแรงดัน จะเป็นลักษณะทำงานทางเดียว ในขณะที่เคลื่อนที่ออก เมื่อจะคืนกลับตำแหน่งเดิม ต้องใช้ชุดดันท่อหลักจากบ่อต้นเป็นตัวหกดกลับ ส่งผลให้ส่วนที่เป็นท่อคอนกรีตเคลื่อนที่กลับเข้าไปอยู่ในปลอกเหล็กเหมือนเดิม



ภาพประกอบ 24 การติดตั้งอุปกรณ์เสริมแรงดันในการดันท่อคอนกรีต

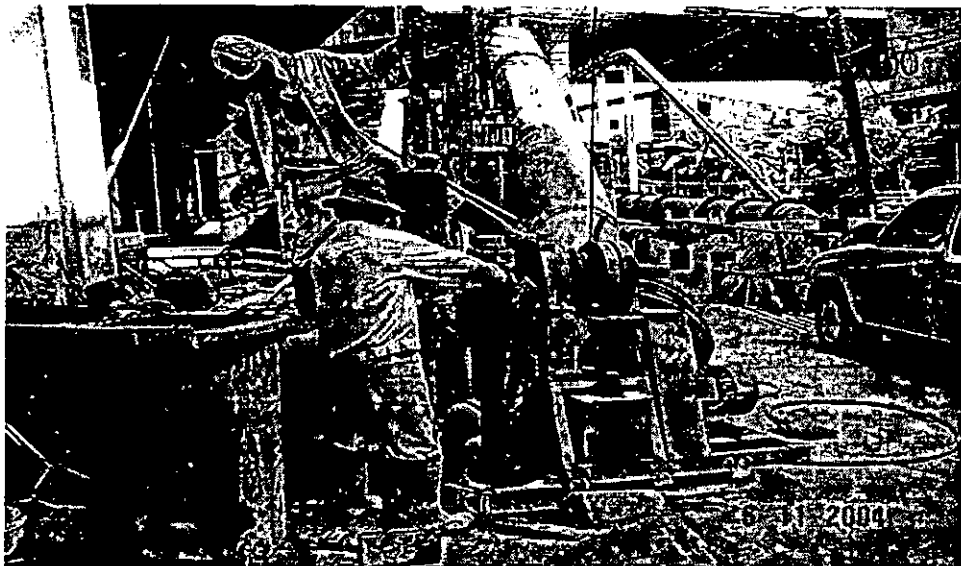
บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาเรื่องผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสม อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานครนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากโครงการก่อสร้างอุโมงค์ในกรุงเทพมหานคร 2 โครงการ ทำการศึกษาหาอัตราส่วนผสมระหว่าง อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ กับน้ำ และเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ระหว่างการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5° กับการดันท่อแนวตรง เนื่องจากข้อมูลแรงเสียดทานดินของกรุงเทพฯจากการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต และใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่นยังไม่มีผู้วิจัยด้านพลังงานมาก่อน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เบนโทในท์ผสมน้ำเป็นสารหล่อลื่นสามารถลดแรงเสียดทานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.0 kN/m^2 จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของแรงเสียดทานที่มีต่อต้นทุนพลังงาน โดยมีขั้นตอนดำเนินงาน 4 ขั้นตอน

4.1.1 ขั้นตอนการเจาะสำรวจดิน

เป็นขั้นตอนแรกของการออกแบบอุโมงค์ ข้อมูลของชั้นดินทั้งสองโครงการที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้เจาะสำรวจเฉพาะบ่อดันและบ่อร์ับหัวเจาะอุโมงค์เท่านั้น มิได้เจาะสำรวจ ระหว่างกลาง ดังนั้นผลการวิเคราะห์และการหาค่าแรงเสียดทานของชั้นดินทางทฤษฎี อาจจะคลาดเคลื่อนไปได้



ภาพประกอบ 25 การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT)

ผลการเจาะสำรวจชั้นดินได้แสดงตัวอย่างการคำนวณในตาราง 14 และรายละเอียดในภาคผนวก จ

ตาราง 14 ผลการเจาะสำรวจชั้นดินและผลการทดสอบดิน ASTM D2487 (USCS)

Depth Z(m.)	r_c (ν/m^3)	r_{ub} (ν/m^3)	ϕ (deg.)	C (ν/m^2)	q (ν/m^2)	Active Earth Pressure					Earth Pressure at Rest			
						K_a	$K_a(q+r_c)$	$r_u(h+z)$	$2C\sqrt{K_a}$	σ'_h (ν/m^2)	K_p	$K_p(q+r_h)$	$r_u(h+z)$	σ'_h (ν/m^2)
0.0			31.0		2	0.32	0.640	0.000	0	0.640	1.404	2.808	1.00	3.808
1.0	1.80	0.80	31.0	0.00	2	0.32	0.896	1.000	0	1.896	1.404	3.931	2.00	5.931
2.0	1.80	0.80	31.0	0.00	2	0.32	1.152	2.000	0	3.152	1.404	5.055	3.00	8.055
2.7	1.80	0.80	31.0	0.00	2	0.32	1.332	2.700	0	4.032	1.404	5.841	3.70	9.541
3.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	1.756	3.000	3.4944	1.261	1.9993	8.197	4.00	12.197
4.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.055	4.000	3.4944	2.561	1.9993	9.597	5.00	14.597
5.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.355	5.000	3.4944	3.861	1.9993	10.996	6.00	16.996
6.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.655	6.000	3.4944	5.161	1.9993	12.396	7.00	19.396
7.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.955	7.000	3.4944	6.460	1.9993	13.795	8.00	21.795
8.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	3.527	8.000	3.5342	7.993	1.9756	12.960	9.00	21.960
9.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	3.833	9.000	3.5342	9.299	1.9756	14.086	10.00	24.086
10.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	4.140	10.000	3.5342	10.606	1.9756	15.212	11.00	26.212
11.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	4.446	11.000	3.5342	11.912	1.9756	16.338	12.00	28.338
12.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	4.753	12.000	3.5342	13.218	1.9756	17.465	13.00	30.465
13.0	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	4.698	13.000	4.8948	12.803	1.9993	21.932	14.00	35.932
14.0	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	4.993	14.000	4.8948	14.098	1.9993	23.312	15.00	38.312
15.0	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	5.288	15.000	4.8948	15.394	1.9993	24.691	16.00	40.691
15.2	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	5.348	15.200	4.8948	15.653	1.9993	24.967	16.20	41.167
16.0	2.00	1.00	30.0	12.62	2	0.33	6.000	16.000	14.572	7.428	1.988	35.785	17.00	52.785
17.0	2.00	1.00	30.0	12.62	2	0.33	6.333	17.000	14.572	8.761	1.988	37.773	18.00	55.773

ผลที่ได้จากตารางการเจาะสำรวจชั้นดินและผลการทดสอบดิน เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับ การคำนวณหาข้อมูลแรงเสียดทานในตาราง 17 รายละเอียดของข้อมูลในตาราง 14 จำนวน 15 แถว ประกอบด้วย

Z (m)	=	ระดับความลึกของชั้นดินที่เจาะสำรวจ
γ_t (t/m^3)	=	น้ำหนักจำเพาะของดินในสภาวะอิ่มตัว
γ_{sub} (t/m^3)	=	น้ำหนักจำเพาะของดินในสภาวะได้น้ำ
γ_t	=	$\gamma_w - \gamma_{\text{sub}}$
γ_w	=	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ
ϕ (deg.)	=	มุมเสียดทานของดิน
c (t/m^2)	=	ค่าความเชื่อมแน่นของดิน
q (t/m^2)	=	น้ำหนักจรที่กระทำบนพื้นดิน
k_a	=	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบแอกทีฟ
$k_a(q + \gamma'_n)$	=	แรงต้านทานเนื่องจากน้ำหนักจำเพาะของดิน (แรงดันดินแบบแอกทีฟของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น)
$\gamma_w(h + z)$	=	แรงต้านทานเนื่องจากความสูงของระดับน้ำใต้ดิน (แรงดันดินแบบแอกทีฟของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น)
$2c \cdot \sqrt{k_a}$	=	แรงต้านทานจากแรงเชื่อมแน่นของดิน
σ'_h_a	=	แรงต้านทานจากแรงดันดินแบบแอกทีฟ
โดย σ'_h_a	=	$k_a(q + \gamma'_n) + \gamma_w(h + z) - 2c \cdot \sqrt{k_a}$
K_p	=	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบพาสซีฟ
$k_p(q + \gamma'_n)$	=	แรงต้านทานเนื่องจากน้ำหนักจำเพาะของดิน (แรงดันดินแบบพาสซีฟชนิดที่มีความเชื่อมแน่น)
$\gamma_w(h + z)$	=	แรงต้านทานเนื่องจากความสูงของน้ำใต้ดิน (แรงดันดินแบบพาสซีฟชนิดที่มีความเชื่อมแน่น)
σ'_h_p	=	แรงต้านทานจาก Earth Pressure at Rest
โดย σ'_h_p	=	$k_p(q + \gamma'_n) + \gamma_w(h + z)$

4.1.1.1 แรงดันดินแบบแอกทีฟ (Active Earth Pressure)

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นแรงดันดินที่กระทำต่อหัวเจาะอุโมงค์ จะน้อยกว่าดินที่ไม่มี ความเชื่อมแน่นซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน เนื่องจากส่วนหนึ่งดินจะยึดติดกันด้วยตัวมันเอง และสามารถหาค่าแรงดันดินแบบแอกทีฟ โดยวิธีของเบล (Bell's Solution)

$$P_a = k_a \gamma_h - 2c \cdot \sqrt{k_a} \quad (4.1)$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (4.2)$$

$$k_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \quad (4.3)$$

ถ้าเป็นดินที่มีความเชื่อมแน่น $c \neq 0$

ดังนั้นแรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดันดินแบบแอกทีฟ ลดลง เท่ากับ จำนวน $2c \cdot \sqrt{k_a}$ นั่นคือดินจะยึดอยู่ด้วยตัวเองมากขึ้น

4.1.1.2 แรงดันดินแบบพาสซีฟ (Passive Earth Pressure)

ในบางกรณีที่หัวเจาะอุโมงค์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยสกรูลำเลียงดินออกไม่ทัน แรงดันดิน จะเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้าหัวเจาะยังมีการเคลื่อนที่ต่อไปอีกดินด้านบนหัวเจาะก็ จะปูดขึ้นจนพังทลาย ค่าแรงดันที่มากที่สุด ณ จุดดินเกิดการพังทลาย เรียกว่าแรงดันดินแบบพาสซีฟ (Passive Earth Pressure) หรือ (Earth Pressure at Rest) และสามารถหาค่าแรงดันดินแบบพาสซีฟ โดยวิธีของเบล (Bell's Solution)

$$P_p = k_p \gamma_h + 2c \cdot \sqrt{k_p} \quad (4.4)$$

$$k_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (4.5)$$

ถ้าเป็นดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น $c = 0$

ดังนั้นแรงเชื่อมแน่น ของดิน มีผลให้แรงดันดิน แบบแอสซีฟ เพิ่มขึ้น เท่ากับ จำนวน $2c \cdot \sqrt{k_p}$ การออกแบบแรงดันดินให้สมดุลในระหว่างชุดเจาะอุโมงค์ เพื่อป้องกันไม่ให้อุโมงค์ทรุดตัว เนื่องจากค่าแรงดันดินแบบแอสซีฟ ต่ำเกินไป และ ป้องกันไม่ให้อุโมงค์ปูดขึ้น จากแรงดันดินแบบแอสซีฟ สูงเกินไป โดยผู้ควบคุมหัวเจาะอุโมงค์หรือวิศวกรต้องกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละชั้นดินให้อยู่ในช่วงระหว่างแรงดันดินแบบแอสซีฟ - แรงดันดินแบบแอสซีฟ โดยรายละเอียดของแรงดัน แสดงไว้ในภาคผนวก จ

4.1.1.3 การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน(Standard Penetration Test, SPT)

การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน ถือกำเนิดที่ประเทศสหรัฐอเมริกา จากข้อมูลตอกเสาเข็มที่เมื่อตอกเสาเข็มลงยาก เสาเข็มนั้นจะสามารถรับค่าน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้น ซึ่งจะควบคุมและตรวจสอบด้วยการวัดค่ายุบตัวหัวเสาเข็มต่อจำนวนครั้งลูกตุ้มตอก ต่อมาได้กำหนดกระบอกผ่า (Split Barrel) ขนาดน้ำหนักลูกตุ้ม และวิธีการทดสอบเป็นมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน ASTM D-1586 เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันวัตถุประสงค์หลักของการทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน เพื่อหาข้อมูลชั้นดินที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพเพื่อไปทดสอบได้ ซึ่งจะเป็นดินเหนียวแข็งถึงแข็งดาน (Stiff to Hard Clay) และดินเม็ดหยาบ (Coarse Grained Soil) อื่นๆ

ความสำคัญของการทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐานในปัจจุบัน เป็นการทดสอบที่จะต้องกระทำควบคู่การเจาะสำรวจดิน ด้วยเหตุผลดังนี้

1) เป็นการทดสอบที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย วิศวกร ผู้รับจ้าง สถาปนิก และเจ้าของงาน สามารถตีความหมายค่าของการทดสอบนี้ได้ จึงทำให้รู้ความแข็งอ่อนของชั้นดินได้ทันที

2) สำหรับดินที่มีเม็ดหยาบ (ทรายและกรวด) ที่ไม่สามารถจะเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพขึ้นมาทดสอบในห้องทดลองได้ จึงต้องทำการทดสอบชนิดนี้เพื่อที่จะได้ตัวอย่าง (แบบแปลงสภาพ) ขึ้นมา สำหรับการทดสอบทางกายภาพทั่วไป

3) การทดสอบวิธีนี้จะได้ค่า SPT-N(จำนวนครั้งลูกตุ้มตอกต่อระยะกระบอกผ่าจมลงไป 1 ft.) จากค่า N ที่ได้นี้สามารถแปลงเป็นค่ากำลังของดินสำหรับนำไปใช้ออกแบบฐานรากในภาคผนวก จ

4.1.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์ทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐานมีการใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกันบ้างในรายละเอียดประกอบด้วย

1) กระบอกผ่า (Split Barrel-Spoon) เป็น 2 ส่วนตลอดความยาวด้านข้าง ส่วนปลายทั้ง 2 เป็นเกลียวสำหรับชั้นปลายคมด้านล่างและหัวต่อส่วนบน กระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.5 inch. และ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2 inch. กระบอกส่วนสำหรับเก็บตัวอย่างยาวไม่ต่ำกว่า 18 inch. ส่วนล่างมีปลายคมสำหรับนำตอกดิน (Driving Shoe) ชั้นต่อกับปลายกระบอกด้วยเกลียว ทำจากเหล็กแข็งพิเศษและสามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อใช้จนสึก ส่วนหัวต่อบนมีวาล์วลูกปืน (Ball Valve) เพื่อช่วยเก็บตัวอย่างดินให้ติดติดขึ้น ปลายบนสุดเป็นเกลียวสำหรับต่อเข้าเกลียวก้านเจาะ

2) ลูกตุ้ม (Drive Weight) กำหนดน้ำหนักเดิม 140 Lb หรือ 63.50 kg. ตรงกลางมีรูกลวงสำหรับสวมเหล็กนำขณะตอก พร้อมสายโซ่และหูหิ้ว ลักษณะส่วนมากเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวควบคุมให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนด 63.50 kg.

3) อุปกรณ์กลไกตอกลูกตุ้มเพื่อให้ได้ระยะตกตามที่กำหนดจะต้องมีส่วนล่างต่อเข้าเกลียวก้านเจาะ มี 2 ชนิดหลักคือ

3.1) แบบใช้มือ (Manual) เป็นแบบที่ง่าย ใช้ขีดระยะตกที่กำหนดบนท่อนำศูนย์กลางลูกตุ้มเวลา ยกลูกตุ้มจะควบคุมให้ลูกตุ้มสูงขึ้นไปขีดกำหนด (30 inch.) แล้วจะปล่อยตกไม่มีกลไกที่เสียหายง่าย แต่ผู้ปฏิบัติการพันเชือกที่หัวก้าน (Cathead) ให้ถูกต้องตามที่กำหนด เพื่อให้ปล่อยลูกตุ้มตกอย่างอิสระ เป็นชนิดลูกตุ้มที่ใช้ในประเทศไทย

3.2) แบบอัตโนมัติ (Automatic Trip Hammer) ออกแบบให้มีกลไกการปลดลูกตุ้มให้ได้ระยะตกที่กำหนด.(30.inch.)และสามารถปล่อยลูกตุ้มตกโดยอิสระได้ตามที่กำหนด มีการกำหนดใช้ลูกตุ้มอัตโนมัติในประเทศที่เจริญแล้ว ส่วนในประเทศไทยยังมีการใช้น้อยมากเนื่องจากกลไกจะมีส่วนเครื่องกลปลดปล่อยลูกตุ้มที่เสี่ยงต่อการชำรุด โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้ในที่ทุระกันดารห่างไกล เมื่อกลไกเสียจะหาที่ซ่อมบำรุงลำบาก

4.1.1.5 การนำผลไปตีความและใช้ออกแบบ

จากการที่มีการใช้การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐานเป็นหลักในการเจาะสำรวจดิน จึงได้มีการนำผล SPT-N ที่ทดสอบได้ไปใช้อย่างกว้างขวางดังนี้

1) จำแนกความแข็ง-อ่อนของดินเหนียว และความแน่น-หลวมของดินเม็ดหยาบ (ทรายกรวด) ซึ่งค่อนข้างเชื่อถือได้สำหรับทราย ส่วนดินเหนียวมีค่าไม่น่าเชื่อถือนัก การทดสอบในชั้นกรวดก็เช่นกันจะให้ค่าที่ไม่แน่นอน เนื่องจากกรวดอาจมีขนาดเม็ดใหญ่ และขวางปากกระบอกผ่าระหว่างการตอกทดสอบ ทำให้ได้ผลค่า SPT-N คลาดเคลื่อนไป (สถาพร คูวิจิตรจากรู, 2544)

2) ประมาณค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ของดินเหนียวได้มีผู้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N ต่อค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Terzaghi and Peck, 1948) แต่สำหรับค่าความสัมพันธ์โดยเฉลี่ย อาจใช้ความสัมพันธ์ดังนี้ :-

$$S_u = N/1.5 \quad \text{t/m}^2 \quad (4.6)$$

S_u	=	ค่าแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ	t/m ²
N	=	ค่าทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน	ครั้ง/30 cm. (SPT-N)

4.1.2 การคำนวณหาแรงเสียดทานจากการใช้เบนโทไนท์เป็นสารหล่อลื่น

ศึกษาข้อมูลจากการใช้ส่วนผสมเบนโทไนท์ผสมน้ำที่อัตราส่วน 6,000 g ต่อ น้ำ 100 L ที่ความยาวของอุโมงค์ในขณะดันท่อคอนกรีต ระหว่างท่อที่ 1-5 ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV. ระหว่างสถานีต้นทางลาดพร้าวกับสถานีปลายทางวิภาวดี ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก

4.1.3 การคำนวณหาแรงเสียดทานจากการใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

ศึกษาข้อมูลจากการใช้ส่วนผสมโพลีเมอร์ผสมน้ำที่อัตราส่วน 60 g, 120 g และ 180 g ต่อ น้ำ 100 L หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมกับความยาวของอุโมงค์ที่เปลี่ยนของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV. ระหว่างสถานีต้นทางลาดพร้าว กับ สถานีปลายทางวิภาวดี และโครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.1.4 ข้อมูลแรงดันที่ใช้ในการดันท่อคอนกรีตที่มีมุมเบี่ยงเบนน้อยกว่า 0.5 °

การดันท่อคอนกรีตแนวโค้ง สามารถทำได้โดยใช้ ระบบนำร่องที่กล่าวไว้ใน บทที่ 3 เพื่อหลบอุปสรรคและ ช่วยลดจำนวนบ่อพัก ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข แต่มีผลกระทบกับ แรงที่ใช้ดันท่อเนื่องจากแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ข้อมูลทั้ง 3 ตอน คอมพิวเตอร์จะบันทึกข้อมูลความเร็วรอบของชุดขับเคลื่อนหัวเจาะ (Cutting Wheel) แรงบิดของชุดขับเคลื่อนหัวเจาะ แรงดันดิน (Face Pressure) แรงดันท่อคอนกรีต (Jacking Force) ระยะทางในการดันท่อคอนกรีต(Jacking Length) จากนั้นจึงหาค่าเฉลี่ย ของข้อมูลการเจาะอุโมงค์ และนำค่าที่ได้ไปคำนวณโดยการใช้สมการในบทที่ 2 และเขียนกราฟเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อหาจุดเหมาะสมของการใช้ อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ ผสมน้ำ

4.2 วิธีการเก็บข้อมูล

4.2.1 ข้อมูลแรงที่ใช้ดันหอคอยคองกรีต (Jacking Forces)

ข้อมูลที่ใช้ดันหอคอยคองกรีตได้จากโปรแกรมการคำนวณผ่านคอมพิวเตอร์ โดยทางบริษัท เฮร์เรินเคเนท (Herrenknecht) ผู้ผลิตหัวเจาะอุโมงค์ จากประเทศเยอรมัน ได้ตั้งการบันทึกทุกๆ 20 cm. ที่กระบอกไฮดรอลิก ดันหอคอยคองกรีตให้เคลื่อนที่ โดยจะมีเครื่องวัดระยะทาง (Length Encoder) ติดตั้งอยู่ภายในบ่อตัน (สามารถปรับเปลี่ยนระยะทางบันทึกได้) ซึ่งในบางครั้ง การยกหอคอยลงบ่อ โดยใช้รถเครน อาจทำให้เครื่องวัดระยะทาง ถูกหอคอยคองกรีตกระแทกชำรุด ก็จะส่งผลให้ข้อมูล ในช่วงนั้นขาดหายไป แต่หากใช้เครนเลื่อน (Gantry Crane) และใช้รีโมทควบคุมการยกหอคอยก็จะป้องกันปัญหานี้ได้ การเลือกใช้ชนิดของเครนเพื่อยกหอคอยคองกรีตต้องศึกษาจากสภาพพื้นที่ของแต่ละโครงการ เช่น โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูงใต้ดิน 230 kV. ของการไฟฟ้านครหลวง มีพื้นที่มาก ขนาด 20 m. x 40 m. สามารถติดตั้งเครนเลื่อน ได้ทำให้ข้อมูลแรงที่ใช้ดันหอคอยคองกรีตสามารถบันทึกได้ทั้ง 20 ช่วง และได้แสดงแยกเป็นข้อมูลของชั้นดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวปานกลาง และดินเหนียวแข็ง อย่างละ 3 ช่วง ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 ข้อมูลหอคอยคองกรีต JSWAS-A2-1991 โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงใต้ดิน 230 kV. ระหว่างสถานีต้นทางวิภาวดีกับสถานีปลายทางลาดพร้าว

ช่วงที่ (No.)	ส่วนผสม โพรีเมอร์:น้ำ	ชื่อข้อมูล (Span)	ความยาว (m.)	D_p (m.)	T_{hk} (m.)	L (m.)	ประเภทของ ดินเหนียว
1	60g:100L	13J - 12R	414.62	2.60	0.22	2.43	อ่อน
2	120g:100L	13J - 14R	417.48	2.60	0.22	2.43	อ่อน
3	180g:100L	8J - 9J	489.69	2.60	0.22	2.43	อ่อน
4	60g:100L	8J - 7R	433.01	2.60	0.22	2.43	ปานกลาง
5	120g:100L	4J - 3R	338.25	2.60	0.22	2.43	ปานกลาง
6	180g:100L	6J - 5R	477.21	2.60	0.22	2.43	ปานกลาง
7	60g:100L	15J - 16R	403.59	2.60	0.22	2.43	ดาน
8	120g:100L	18J - 17J	446.91	2.60	0.22	2.43	ดาน
9	180g:100L	15J - 14R	478.33	2.60	0.22	2.43	ดาน

สำหรับโครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร ไม่สามารถติดตั้งเครนเลื่อน (Gantry Crane) ต้องเปลี่ยนมาใช้เครนตีนตะขาบ (Crawler Crane) ขนาด 50 Ton ข้อมูลแรงที่ใช้ดันหอคอยกรวดมีทั้งหมด 6 ช่วง ซึ่งเป็นการขุดเจาะในชั้นดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวปานกลาง แต่ในบางช่วงไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ครบ เนื่องจากอุปสรรคใต้ดินและการยกท่อไปกระแทกเครื่องวัดระยะทาง โดยรายละเอียดข้อมูล แสดงไว้ในตาราง 16

ตาราง 16 ข้อมูลหอคอยกรวด BS.5911Part 120 โครงการบำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร

ช่วงที่ (No.)	ส่วนผสม โพรีเมอร์:น้ำ	ชื่อข้อมูล (Span)	ความยาว (m.)	D_p (m.)	T_{nk} (m.)	L (m.)	ประเภทของ ดินเหนียว
1	60g:100L	A070 – A060	246.22	2.50	0.25	3.0*	อ่อน
2	120g:100L	A050 – A060	330.72	2.50	0.25	2.5	อ่อน
3	180g:100L	A050 – A040	300.83	2.50	0.25	2.5	อ่อน
4	60g:100L	A030 – A040	330.12	2.50	0.25	2.5	ปานกลาง
5	120g:100L	A030 – A020	219.09	2.50	0.25	2.5	ปานกลาง
6	180g:100L	A020 – A010	300.02	2.50	0.25	2.5	ปานกลาง

* ความยาวท่อเฉพาะช่วงที่ 1.

4.2.2 ข้อมูลแรงเสียดทานจากการดันหอคอยกรวด

ข้อมูลแรงที่ใช้ดันหอคอยกรวด จากการบันทึกผ่านเครื่องบันทึกอัตโนมัติ ของหัวเจาะเป็นผลรวมระหว่างแรงเสียดทานในขณะดันหอคอยกรวดให้เคลื่อนที่ กับแรงต้านทานบริเวณด้านหน้าหัวเจาะซึ่งประกอบด้วย

1. แรงต้านทานด้านหน้าหัวเจาะ ซึ่งเกิดจากการสมดุลแรงระหว่างการขุดเจาะกับปริมาณดินที่ถูกถล่มออกโดยสกรูลำเลียงดิน ซึ่งควบคุมโดยพนักงานควบคุมหัวเจาะ ถ้าแรงสมดุลไม่เหมาะสมเกิดขึ้นมากเกินไปจะทำให้ดินด้านบนเคลื่อนที่หรือถูกดันไปขึ้น แต่ถ้าสมดุลแรงดันน้อยเกินไปก็จะทำให้อุโมงค์ทรุดตัวลง ทั้ง 2 กรณี เป็นเหตุให้ระบบสาธารณูปโภคใต้ดินต่างๆ เช่นท่อประปา, ท่อโทรศัพท์ชำรุด ในการก่อสร้างอุโมงค์จะต้องมีการคำนวณออกแบบค่าแรงดันสมดุลด้านหน้าหัวเจาะ ให้เหมาะสมตามลักษณะของชั้นดินที่ขุดเจาะและระดับของตัวอุโมงค์ที่ก่อสร้าง ซึ่งในทางปฏิบัติค่อนข้างรักษาแรงดันสมดุลได้ค่อนข้างยาก

2. แรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ฟันและแขนหัวเจาะอุโมงค์

แรงต้านทานนี้จะมีส่วนช่วยในการค้ำยันดินด้านหน้าอุโมงค์ โดยหัวชุดเจาะอุโมงค์มีจำนวนฟันทั้งสิ้น 30 ชุด ติดตั้งอยู่บนแขนหัวชุดจำนวน 6 แขน

3. แรงต้านทานที่ขอบของหัวเจาะอุโมงค์

แรงต้านทานส่วนนี้เกิดจากขอบของหัวชุดเจาะอุโมงค์ และความเร็วในการหมุนหัวชุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วระหว่าง 0 – 2.5 RPM.

ดังนั้นการคำนวณหา ข้อมูลแรงเสียดทานต่อคอนกรีต ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้แรงต้านทานการเคลื่อนที่ทั้งหมดที่เครื่องบันทึกอัตโนมัติบแรงต้านทานด้านหน้าหัวเจาะ, แรงต้านทานที่ ฟัน – แขน ชุดเจาะ และแรงต้านทานที่ขอบหัวเจาะอุโมงค์ โดยประมาณพื้นที่แรงต้านทานทั้ง 3 ส่วน จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวชุดเจาะอุโมงค์ที่โรงงานกำหนด เท่ากับ 3.05 m. และ ใช้ทฤษฎีของ Marshall Robinson Roe, 1995 คำนวณ ดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 การคำนวณหาค่าแรงเสียดทาน

Q'Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	P_f (bar)	P_f (t/m ²)	A (m ²)	F_p (t)	D_p (m)	F_f (t/m ²)
1	12.45	132.80	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.56
2	14.90	128.70	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.49
3	17.35	130.80	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.39
4	19.80	131.50	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.38
5	22.25	139.50	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.35
6	24.70	139.60	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.34
7	27.15	137.70	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.30
8	29.60	142.20	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.27
9	32.05	148.90	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.25
10	34.50	153.50	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.24
11	36.95	152.80	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.22
12	39.40	153.50	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.23

$$F_r = \frac{F - F_o}{D_p \times L} \quad (4.7)$$

รายละเอียดของข้อมูลในตาราง 17 จำนวน 9 แถว ประกอบด้วย

QTy	=	จำนวนท่อคอนกรีต
L(m.)	=	ความยาวท่อคอนกรีตจากปอดัน
F(t)	=	แรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตจากการบันทึกอัตโนมัติ โดยคอมพิวเตอร์
P _r (bar)	=	แรงดันสมดุลของดินด้านหน้าหัวเจาะอุโมงค์
P _r (t/m ²)	=	แรงดันสมดุลของดินด้านหน้าหัวเจาะอุโมงค์
A(m ²)	=	พื้นที่หน้าตัดของหัวเจาะอุโมงค์
F _o (t)	=	แรงต้านทานรวมบริเวณด้านหน้าหัวเจาะอุโมงค์
D _p (m)	=	เส้นรอบวงของท่อคอนกรีต
F _r (t/m ²)	=	แรงเสียดทานของท่อคอนกรีต

แรงเสียดทาน ของท่อคอนกรีตในการขุดเจาะอุโมงค์ ในชั้นดินเหนียวอ่อน, ดินเหนียวปานกลางและดินเหนียวแข็ง ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ท่อร้อยสายไฟแรงสูง 230 kV. และ โครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่4 ได้แสดงรายละเอียดของตารางแรงเสียดทานแต่ละช่วงแสดงไว้ในภาคผนวก ก และ ข

บทที่ 5 ผลการวิจัย

ข้อมูลจากการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีท่อคอนกรีต (Jacking Force) จะถูกจัดเก็บโดยคอมพิวเตอร์ ที่มีเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) โดยนำข้อมูลเฉลี่ย มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน (Skin Friction) กับ จำนวนท่อคอนกรีต (Pipe No) และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ดันท่อคอนกรีต กับ จำนวนท่อ ดังแสดงในภาค ผนวก ค-ง ซึ่งเป็นโครงการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงใต้ดินของการไฟฟ้านครหลวง และ อุโมงค์สำหรับบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร โดยข้อมูลจะถูกบันทึกทุกกระยะ 200 mm.ที่ท่อคอนกรีตมีการเคลื่อนที่หรือหากต้องการปรับการบันทึกให้เปลี่ยนมากกว่า-น้อยกว่า 200 mm.ก็สามารถทำได้ โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมใหม่การเขียนกราฟจะทำการแสดงข้อมูล ทุก 6 ท่อ ตามตำแหน่งของท่อคอนกรีตที่มีรู ฉีดเบนโทไนท์ หรือ โพลีเมอร์

ซึ่งข้อมูลอัตราส่วนผสม ของเบนโทไนท์ ที่ได้นำมาเขียนกราฟ มิได้ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมใช้อัตราส่วนผสมของ เบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ น้ำ 100 L เป็นอัตราเดียวที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดให้ สำหรับข้อมูลเพื่อศึกษาวิจัยผลการเปลี่ยนแปลงแรงเสียดทานต่ออัตราส่วนผสมของโพลีเมอร์ ใช้อัตราส่วนผสมของโพลีเมอร์ กับ น้ำ ที่อัตราส่วน 60, 120 และ 180 g ต่อ ปริมาณน้ำ 100 L

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้านครหลวง

5.1.1 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่กรณีใช้ เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น (Friction Resistance Value Using Bentonite Lubrication)

สำหรับโครงการก่อสร้างอุโมงค์ สำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงใต้ดิน ของการไฟฟ้านครหลวง ในภาพประกอบ 3 ได้ใช้อัตราส่วนผสมเบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ ปริมาณน้ำ 100 L ตามข้อแนะนำของบริษัทตัวแทนจำหน่ายเบนโทไนท์ เปรียบเทียบต่อระยะทาง 500 m. ในชั้นดินเหนียวอ่อน ชั้นดินเหนียวปานกลาง และ ชั้นดินเหนียวแข็ง โดยใช้เบนโทไนท์ในการดันท่อคอนกรีต ท่อที่ 1 ถึง 5 จำนวน 9 ช่วง ในตาราง 18 และ ภาคผนวก ก

ตาราง 18 แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น

แรงเสียดทานในชั้นดิน (kN/m ²)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
เบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ น้ำ 100 L	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
ช่วงที่ 1, 4 และ 7	4.2595	6.2048	8.7515
ช่วงที่ 2, 5 และ 8	7.8617	5.6329	6.1636
ช่วงที่ 3, 6 และ 9	6.8885	6.0135	8.7632

จากตาราง 18 เป็นข้อมูล 9 ช่วง ของอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูง 230 kV. ของการไฟฟ้านครหลวงได้ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานระหว่างผนังคอนกรีตกับชั้นดินเหนียวอ่อน, ชั้นดินเหนียวปานกลาง และชั้นดินเหนียวแข็ง เท่ากับ 6.3362 kN/m², 5.9497 kN/m² และ 7.8921 kN/m² ตามลำดับ

เนื่องจาก ชั้นดินเหนียวอ่อน และ ดินเหนียวปานกลาง เป็นชั้นดิน ที่อยู่ติดกันจึงได้ข้อมูลเฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำค่าแรงเสียดทานในแต่ละชั้นดิน เปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยแรง (kN) โดยคูณด้วยเส้นรอบวงและความยาวของท่อคอนกรีตก็จะได้ข้อมูลในตาราง 19

ตาราง 19 แรงระหว่างผนังท่อกับชั้นดินที่ระยะทาง 500 m. กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น

แรงระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน (kN)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
เบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ น้ำ 100 L	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
ช่วงที่ 1, 4 และ 7	20,340	29,629	41,790
ช่วงที่ 2, 5 และ 8	37,541	26,898	29,432
ช่วงที่ 3, 6 และ 9	32,894	28,715	41,846

ตาราง 20 แรงเฉลี่ยระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น

แรงเฉลี่ยที่ 500 m. กับชั้นดิน (kN)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ส่วนผสมของเบนโทไนท์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
6,000 g ต่อ 100 L	30,258	28,414	37,689

แรงเฉลี่ยที่ใช้ดันท่อคอนกรีต ในชั้นดินเหนียวปานกลางมีค่าน้อยกว่าชั้นดินเหนียวอ่อน เนื่องจากระหว่างการเจาะอุโมงค์อาจเป็นชั้นดินที่เปลี่ยนแปลงไปจากชั้นดินที่เจาะสำรวจ และ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ ดินทั้งสอง อาจมีค่าใกล้เคียงกัน (Pipe Jacking Association of Australasia, 1996) กล่าวถึงแรงเสียดทานจากการก่อสร้างอุโมงค์พิจารณาจากพื้นที่ผิวภายนอกของท่อคอนกรีตกับชั้นดิน มีค่าจาก 5 - 40 kPa ตามคุณสมบัติของดินแต่ละประเภทดังนี้

1) ดินเหนียวผสมเศษหิน (Boulder Clay)	=	5-18 kPa
2) ดินเหนียวแน่น (Firm Clay)	=	5-20 kPa
3) ดินเหนียวชุ่มน้ำ (Wet Clay)	=	10-15 kPa
4) ดินเหนียวผสมทราย (Silt)	=	5-20 kPa
5) ทรายแห้งไม่อัดแน่น (Dry Loose Sand)	=	25-45 kPa

5.1.2 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่กรณีใช้

อะครีลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

ระยะทางจริงในการดันท่อชั้นดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 414.627, 417.487 และ 489.690 m.

ชั้นดินเหนียวปานกลาง เท่ากับ 433.011 , 338.251 และ 477.215 m.

ชั้นดินเหนียวแข็ง เท่ากับ 403.594, 446.914 และ 478.319 m.

โดยใช้อัตราส่วนผสม อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 60, 120 และ 180 g ต่อ น้ำ 100 L เปรียบเทียบ ต่อ ระยะทาง 500 m.

ตาราง 21 แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

แรงเสียดทานในชั้นดิน(kN/m ²)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
60 g ต่อ 100 L	1.3135	1.4832	1.4204
120 g ต่อ 100 L	1.1673	1.3508	1.4008
180 g ต่อ 100 L	0.9064	0.9859	1.2360

ในชั้นดินเหนียวอ่อนเมื่อใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 60 g ต่อ น้ำ 100 L คำนวณหาค่าแรงเสียดทานได้น้อยกว่าชั้นดินเหนียวปานกลาง 12.92% แต่เมื่อเทียบกับชั้นดินเหนียวแข็ง ซึ่งมีความแข็ง

มากกว่าชั้นดินเหนียวปานกลางซึ่งได้ค่าความแตกต่างเป็น 8.14% เนื่องจากระหว่างการเจาะอุโมงค์ อาจเป็นชั้นดินที่เปลี่ยนแปลงไปจากชั้นดินที่เจาะสำรวจ เช่นเดียวกับ ค่าเฉลี่ยระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่น

ตาราง 22 แรงระหว่างผนังท่อกับชั้นดินที่ระยะทาง 500 m. กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น

แรงระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน (kN)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
60 g ต่อ 100 L	6,272	7,082	6,783
120 g ต่อ 100 L	5,574	6,427	6,689
180 g ต่อ 100 L	4,328	4,707	5,902

สำหรับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจากงานวิจัยนี้คืออะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ น้ำ 100 L ทำให้สามารถออกแบบแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่ในระยะทาง 500 m. โดยใช้แรงประมาณ 5,902 kN (601.67 t) โดยสามารถวิเคราะห์แรงได้จากกราฟใน ภาคผนวก ค

ตาราง 23 ความดันระหว่างผนังท่อกับชั้นดินต่อการใช้สารหล่อลื่น

ความดันของระบบกับชั้นดิน (bar)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ส่วนผสมของสารหล่อลื่น ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
เบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ 100 L	1,156.67	1,086.12	1,440.62
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ 100 L	165.46	179.96	225.62
ผลต่างของพลังงานที่ใช้	991.21	906.16	1215.00

เปลี่ยนค่าความดันไฮดรอลิก ให้อยู่ในรูปความต้องการกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งค่าความดัน กรณีใช้เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่นสูงเกิน 1,000 bar ได้มาจากการคำนวณเทียบกับระยะทาง 500 m. ดังนั้นในกรณีที่ใช้เบนโทไนท์เป็นสารหล่อลื่นจะกำหนดระยะทางในการดันท่อคอนกรีตไม่เกิน 250 m.

ตาราง 24 กำลังงานที่ใช้ ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m

กำลังงานไฟฟ้ากับชั้นดิน (kW)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ส่วนผสมของสารหล่อลื่น ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
เบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ 100 L	38.5521	36.2005	48.0160
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ 100 L	5.5148	5.9982	7.5202
ผลต่างของพลังงานที่ใช้	33.0373	30.2023	40.4958

เป็นการเปรียบเทียบข้อมูล จากการดันท่อระยะทาง 500m. โดยใช้ส่วนผสม ของ อะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L และเปลี่ยนค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ดันท่อคอนกรีตในแต่ละชั้นดินให้อยู่ในรูป ความต้องการ พลังงานไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับเบนโทไนท์ พบว่ามีค่าความแตกต่างต่ำสุด 83.44% ในชั้นดินเหนียวปานกลาง และสูงสุด 85.70 % ในชั้นดินเหนียวอ่อน

ตาราง 25 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m.

พลังงานไฟฟ้ากับชั้นดิน (MWh)	ดินเหนียวอ่อน	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ส่วนผสมของสารหล่อลื่น ต่อ น้ำ		ปานกลาง	แข็ง
เบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ 100 L	11.56	10.86	14.40
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ 100 L	1.65	1.79	2.25
ผลต่างของพลังงานที่ใช้	9.91	9.07	12.15

พลังงานไฟฟ้าต่อระยะทาง 500 m.

กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้
 ในชั้นดินเหนียวอ่อนลงได้ เท่ากับ 9.91 MWh.
 ในชั้นดินเหนียวปานกลางลงได้ เท่ากับ 9.07 MWh. และ
 ในชั้นดินเหนียวเหนียวแข็งลงได้ เท่ากับ 12.15 MWh.

5.1.3 พลังงานที่ใช้ดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5° กับการดันท่อแนวตรง

การออกแบบอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะต้องให้พื้นอุโมงค์มีความลาดชัน 0.3% ซึ่งเทียบได้เท่ากับมุมเบี่ยงเบนของท่อคอนกรีต 0.17° มีค่าการใช้กำลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 26 - 28 ตาราง 26 แรงดันท่อคอนกรีตแนวตรง - มุมเบี่ยงเบน 0.17°

แรงที่ใช้ดันท่อกับชั้นดิน (kN)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ทิศทางการดันท่อคอนกรีต	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
ดันท่อแนวตรง	1,743	1,376	1,883
มุมเบี่ยงเบน 0.17°	1,827	1,647	1,960
ผลต่างของพลังงานที่ใช้	84.46	270.85	76.61

ความลาดชัน 0.3% จากการออกแบบจะอยู่ที่ประมาณจุดกึ่งกลาง ของ แนวอุโมงค์ ซึ่งชั้นดินเหนียวอ่อน ช่วงที่ 13J - 14R ท่อคอนกรีตหมายเลข (76) คำนวณแรงเท่ากับ $1,743\text{ kN}$ (177.72 t.) สำหรับชั้นดินเหนียวปานกลาง ช่วงที่ 4J - 3R ท่อคอนกรีตหมายเลข (62) คำนวณแรงเท่ากับ $1,376\text{ kN}$ (140.32 t.) และ ชั้นดินเหนียวแข็ง ช่วงที่ 15J - 4R ท่อคอนกรีตหมายเลข (88) คำนวณแรงเท่ากับ $1,883\text{ kN}$ (192.02 t.) รายละเอียดของข้อมูลแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข

ตาราง 27 ความดันของระบบต่อการดันท่อคอนกรีตแนวตรง - มุมเบี่ยงเบน 0.17°

ความดันที่ใช้ดันท่อกับชั้นดิน (bar)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ทิศทางการดันท่อคอนกรีต	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
ดันท่อแนวตรง	66.64	52.62	72.00
มุมเบี่ยงเบน 0.17°	69.87	62.97	74.93
ผลต่างของพลังงานที่ใช้	3.23	10.35	2.93

ชั้นดินเหนียวอ่อนช่วงที่ 13J - 14R ท่อคอนกรีตหมายเลข (77) ชั้นดินเหนียวปานกลางช่วงที่ 4J - 3R ท่อคอนกรีตหมายเลข (63) และ ชั้นดินเหนียวแข็งช่วงที่ 15J - 14R ท่อคอนกรีตหมายเลข (89) เป็นจุดเบี่ยงเบน

ตาราง 28 กำลังงานของระบบต่อการดันท่อคอนกรีตแนวตรง - มุมเบี่ยงเบน 0.17°

กำลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับชั้นดิน (kW)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ทิศทางการดันท่อคอนกรีต	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
ดันท่อแนวตรง	2.21	1.75	2.39
มุมเบี่ยงเบน 0.17°	2.32	2.09	2.49
ผลต่างของพลังงานที่ใช้	0.11	0.34	0.10

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังงานไฟฟ้าที่ ชั้นดินเหนียวอ่อน และ ชั้นดินเหนียวแข็ง มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในชั้นดินเหนียวปานกลางสูงกว่าค่อนข้างมาก เช่นเดียวกับงานวิจัยในต่างประเทศ จะมีปัญหาเรื่องข้อจำกัดในการเก็บข้อมูล (Mark Marshall, 1998) ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยมุมเบี่ยงเบนทั้ง 3 ชั้นดิน $(4.84 + 19.67 + 4.06) / 3$ เท่ากับ 9.52%

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลอุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

เนื่องจากเปลี่ยนวิธี และ ขั้นตอนการผลิต ยางนีโอพีนใหม่ และการติดตั้งโครงยึดยางนีโอพีน ใช้วิธีเทคอนกรีตระหว่างผนังบ่อ ทำให้ไม่มีรอยรั่วระหว่างผนังบ่อ กับ โครงซีด. จึงใช้เฉพาะอะครีลาไมด์โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น จำนวน 6 ชวง ในภาพประกอบ 4 และแสดงข้อมูลแรงเสียดทานไว้ในภาคผนวก ข

5.2.1 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่กรณีใช้ อะครีลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

(Friction Resistance Value Using Acrylamide Polymer Lubrication)

ระยะทางจริงในการดันท่อชั้นดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 246.22, 330.72 และ 300.83 m. ชั้นดินเหนียวปานกลาง 330.12, 219.09 และ 300.02 m.

โดยใช้อัตราส่วนผสมอะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 60, 120 และ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L ในช่วงที่ 1, 2 และ 3 ของชั้นดินเหนียวอ่อน และ ในช่วงที่ 4, 5 และ 6 ของชั้นดินดินเหนียวปานกลาง เปรียบเทียบ ต่อระยะทาง 500 m. ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 16

ตาราง 29 แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

แรงเสียดทานในชั้นดิน (kN/m ²)	ดินเหนียว	ดินเหนียว
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง
60 g ต่อ 100 L	3.3452	2.4358
120 g ต่อ 100 L	2.8036	2.5692
180 g ต่อ 100 L	2.3661	2.0453

ในชั้นดินเหนียวอ่อนเมื่อใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณ น้ำ 100 L ค่าแรงเสียดทานได้สูงกว่าอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง เท่ากับ $2.3661 - 0.9064 = 1.4597 \text{ kN/m}^2$

ในชั้นดินเหนียวปานกลางเมื่อใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณ น้ำ 100 L ค่าแรงเสียดทานได้สูงกว่าอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง เท่ากับ $2.0453 - 0.9859 = 1.0593 \text{ kN/m}^2$

ตาราง 30 แรงระหว่างผนังท่อกับชั้นดินที่ระยะทาง 500 m. กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

แรงระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน (kN)	ดินเหนียว	ดินเหนียว
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง
60 g ต่อ 100 L	15,763	11,478
120 g ต่อ 100 L	13,212	12,107
180 g ต่อ 100 L	11,150	9,638

เมื่อใช้อัตราส่วนผสมอะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณ น้ำ 100 L ค่าแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตในชั้นดินเหนียวอ่อนสูงกว่าอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูงเท่ากับ $11,150 - 4,328 = 6,822 \text{ kN}$ และ ในชั้นดินเหนียวปานกลางสูงกว่าเท่ากับ $9,638 - 4,707 = 4,931 \text{ kN}$

ตาราง 31 ความดันไฮดรอลิกระหว่างผนังท่อกับชั้นดิน ต่อการใช้สารหล่อลื่น

ความดันของระบบกับชั้นดิน (bar)	ดินเหนียว	ดินเหนียว
อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง
60 g ต่อ 100 L	602.59	438.78
120 g ต่อ 100 L	505.05	462.81
180 g ต่อ 100 L	426.23	368.44

ความดันไฮดรอลิกในชั้นดินเหนียวอ่อน และ ปานกลางสูงกว่า 260.77 และ 188.48 bar

ตาราง 32 กำลังงานที่ใช้ ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m.

กำลังงานไฟฟ้ากับชั้นดิน (kW)	ดินเหนียว	ดินเหนียว
อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง
60 g ต่อ 100 L	20.06	14.61
120 g ต่อ 100 L	16.81	15.41
180 g ต่อ 100 L	14.19	12.26

เมื่อใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ น้ำ 100 L จำนวนกำลังงานไฟฟ้าต่อระยะทาง 500 m. ในชั้นดินเหนียวอ่อน และ ปานกลาง สูงกว่าอุโมงค์สายไฟฟ้า 8.68 kW และ 6.27 kW ตามลำดับ

ตาราง 33 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระยะทาง 500 m.

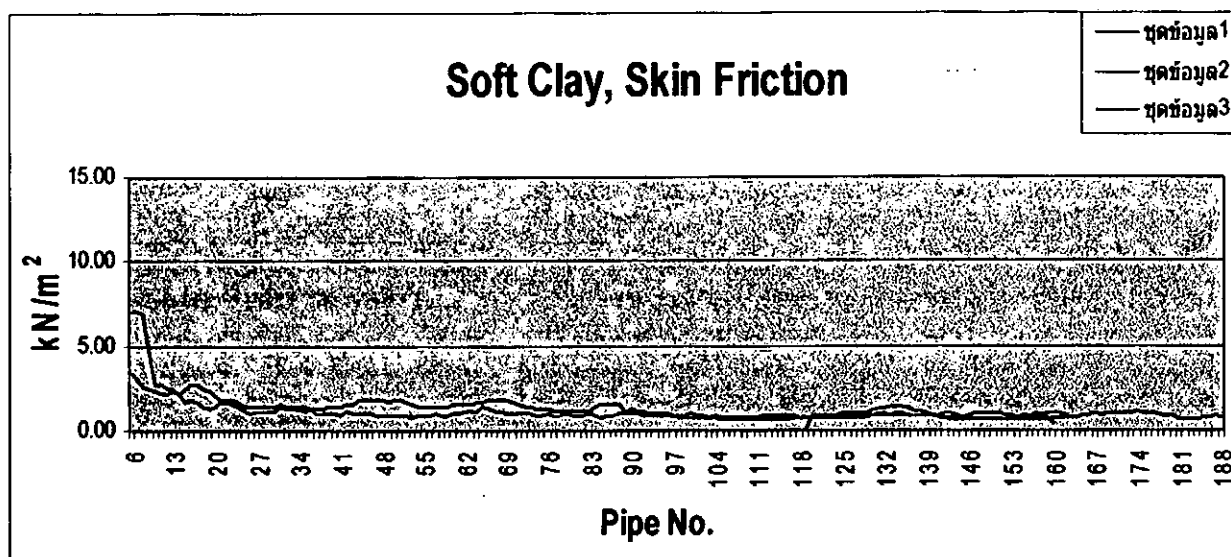
พลังงานไฟฟ้ากับชั้นดิน (MWh)	ดินเหนียว	ดินเหนียว
อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ ต่อ น้ำ	อ่อน	ปานกลาง
60 g ต่อ 100 L	6.01	4.38
120 g ต่อ 100 L	5.04	4.62
180 g ต่อ 100 L	4.25	3.68

5.3 สรุปผลของแรงเสียดทานต่อการใช้พลังงานในการดันท่อคอนกรีต

5.3.1.โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงใต้ดินของการไฟฟ้านครหลวง

ชั้นดินเหนียวอ่อนชั้นดินเหนียวปานกลางและชั้นดินเหนียวแข็งกรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L เป็นสารหล่อลื่น และ ระยะทางสูงสุด 500 m. จะใช้พลังงานในการดันท่อคอนกรีตเท่ากับ 4,328.46 kN (441.23 t), 4,707.81 kN (479.90 t) และ 5,902.38 kN (601.67 t) ตามลำดับโดยสามารถวิเคราะห์แรงเสียดทานได้จากกราฟในภาพประกอบ 26 (ภาคผนวก ค)

แรงเสียดทานในช่วงแรกของท่อคอนกรีตระหว่างท่อที่ 1 - 5 เป็นการที่ใช้เบนโทไนท์ผสมน้ำเป็นสารหล่อลื่น 6,000 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L จำนวนได้ แรงเสียดทานเฉลี่ย ประมาณ 7.0 kN/m² แต่หลังจากท่อ หมายเลข 5 - 160 จำนวนได้ค่าแรงเสียดทานเฉลี่ย ประมาณ 0.9064 kN/m² (0.0924 t/m²) ในชั้นดินเหนียวอ่อน จากการใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L



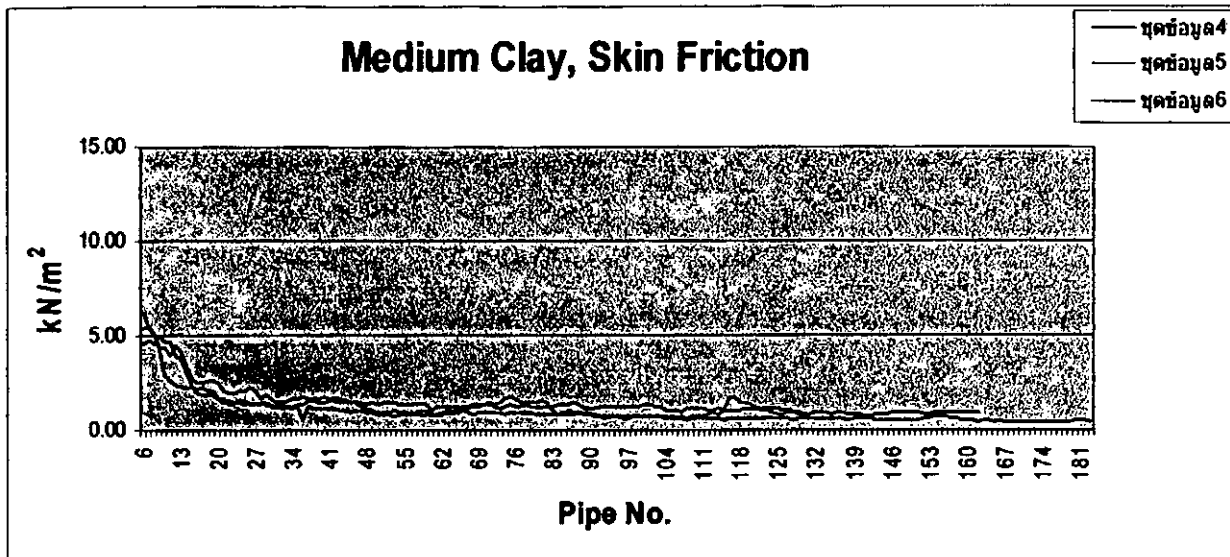
ชุดข้อมูล 1 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 60 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ชุดข้อมูล 2 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 120 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

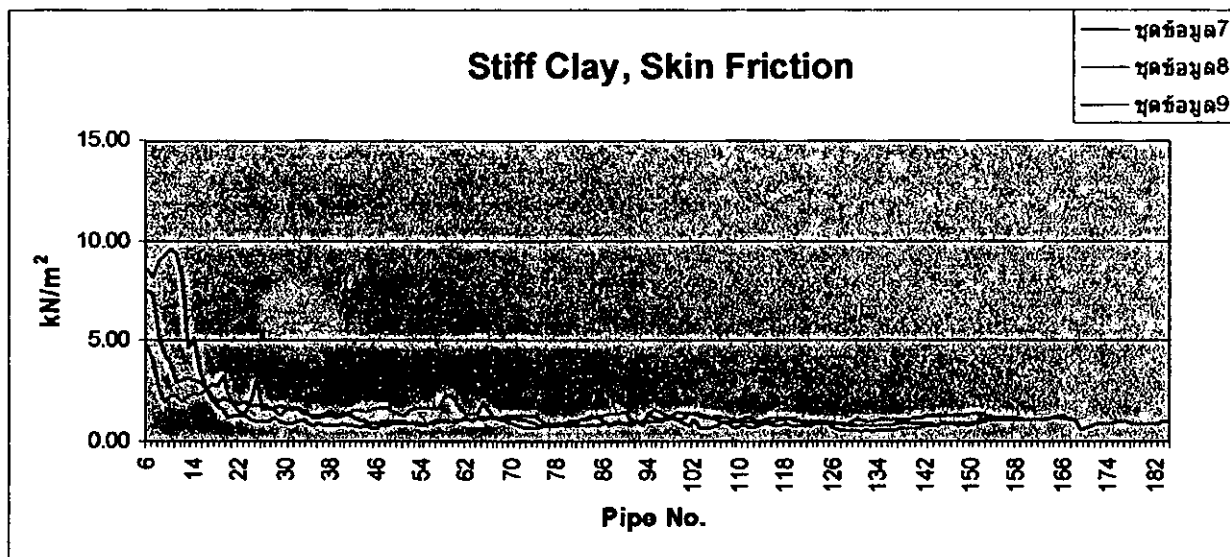
ชุดข้อมูล 3 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ภาพประกอบ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน กับ จำนวนท่อคอนกรีต

โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง 230 kV.



ชุดข้อมูล 4 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 60 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
 ชุดข้อมูล 5 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 120 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
 ชุดข้อมูล 6 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

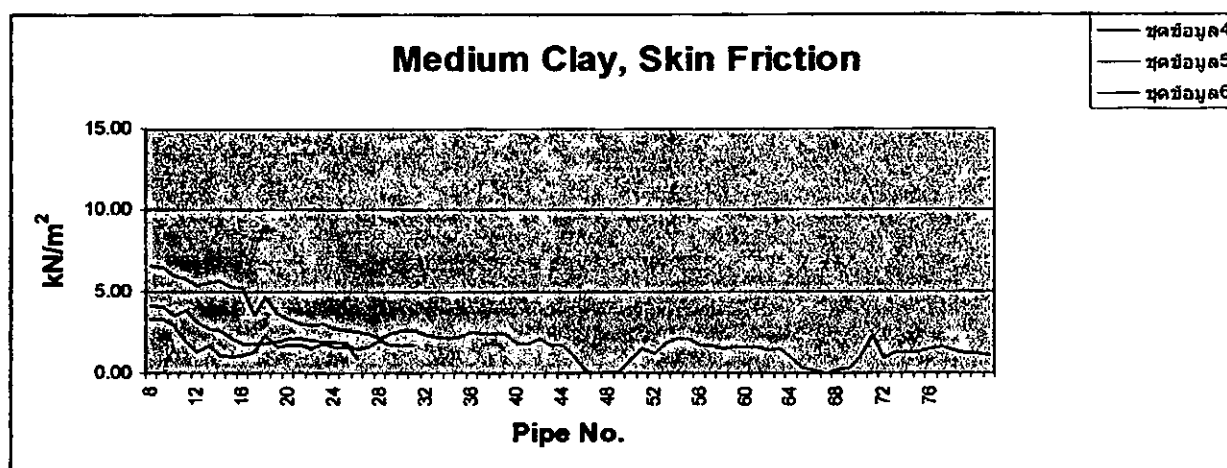
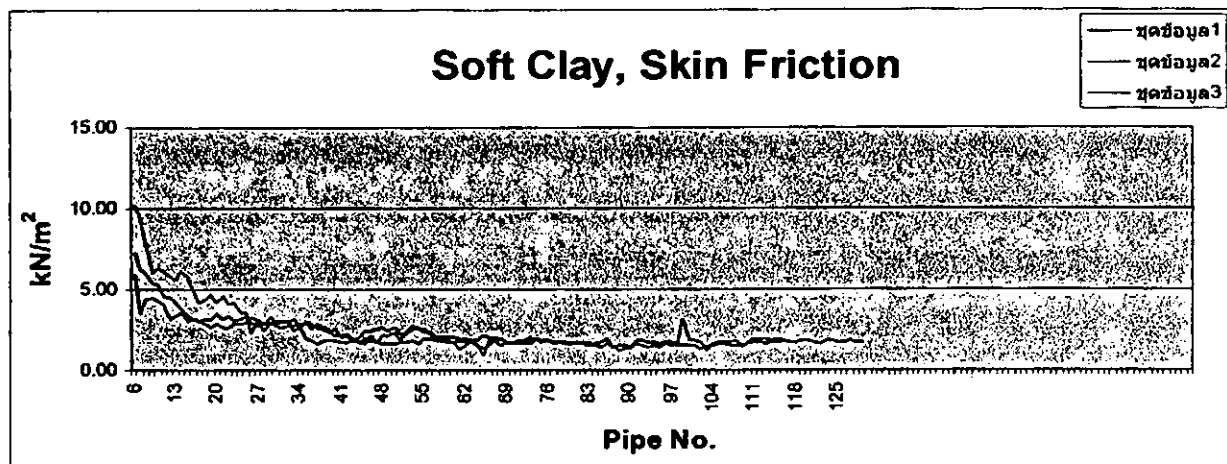


ชุดข้อมูล 7 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 60 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
 ชุดข้อมูล 8 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 120 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
 ชุดข้อมูล 9 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ภาพประกอบ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน กับ จำนวนท่อคอนกรีต
 โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง 230 kV.

5.3.2.โครงการอุโมงค์บำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

เนื่องจากข้อกำหนดในการเลือกใช้ท่อคอนกรีต ของ หน่วยงานราชการต่างมาตรฐานกัน โดยท่อคอนกรีตตามมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 มีความเรียบของผิวท่อมากกว่ามาตรฐาน BS 5911 PART 120 และ ซีลป้องกันการรั่วของสารหล่อลื่นที่ปากท่อ BS เป็นแบบธรรมดา ไม่มียางบวมน้ำ (Water Swelling Rubber) ทำให้แรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตแตกต่างกันมาก.



ชุดข้อมูล 1 และ 4 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 60 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ชุดข้อมูล 2 และ 5 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 120 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ชุดข้อมูล 3 และ 6 อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

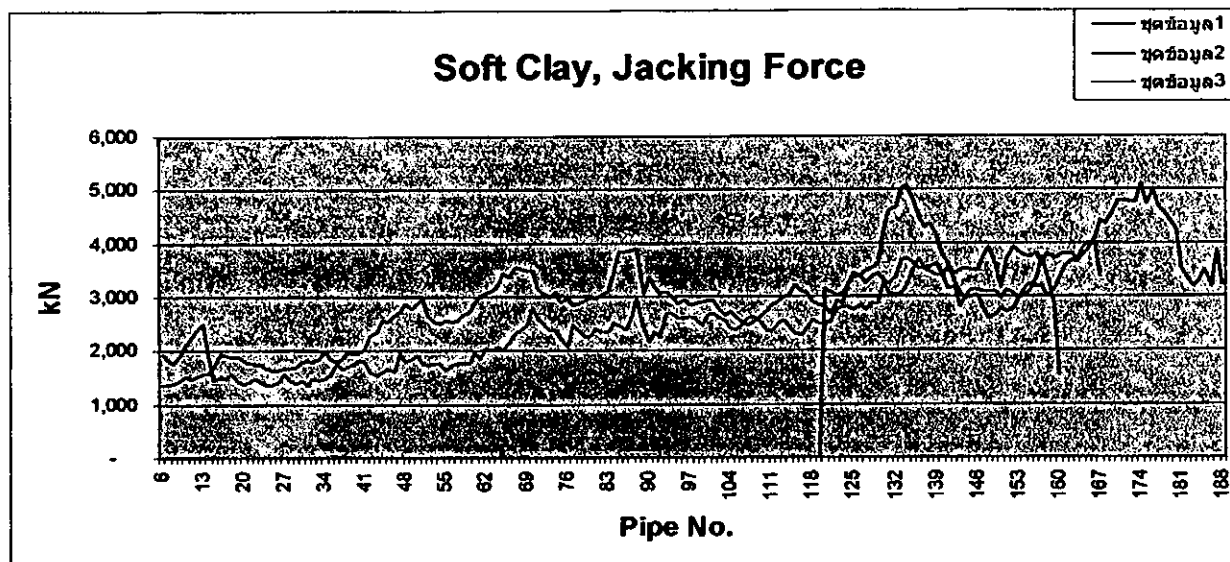
ภาพประกอบ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับจำนวนท่อคอนกรีต

โครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4

ชั้นดินเหนียวอ่อน และ ชั้นดินเหนียวปานกลาง กรณีใช้อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ ปริมาณน้ำ 100 L เป็นสารหล่อลื่น ถ้าระยะทางสูงสุด 500 m. จะใช้พลังงานในการดันท่อคอนกรีต เท่ากับ 11,150 kN (1,136.62 t.) และ 9,638 kN (982.53 t.) โดยสามารถวิเคราะห์แรงเสียดทานได้จากกราฟในภาพประกอบ 27 (ภาคผนวก ค)

ในช่วงระหว่างท่อหมายเลข 1 – 5 แรงเสียดทานเฉลี่ยประมาณ 4.09 kN/m² แต่แรงเสียดทานเฉลี่ยทั้งหมดจากการใช้ อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ น้ำ 100 L ในชั้นดินเหนียวอ่อน เท่ากับ 2.3661 kN/m² (0.2412 t/m²)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน กับ จำนวนท่อคอนกรีตใน ภาพประกอบ 26 และภาพประกอบ 27 เป็นค่าแรงเสียดทานที่แปรผันตามพื้นที่ผิวของท่อคอนกรีต กับ ความยาวอุโมงค์ และ ยังสามารถหาค่าแรงเสียดทานได้จากแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีต ในภาพประกอบ 28 และ 29 โดยนำ สมการทางพีชคณิตไปวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นแบบ เส้นตรง โดยใช้โปรแกรม ไมโครซอฟท์ เอ็กเซล 2003 (Microsoft Excell 2003)



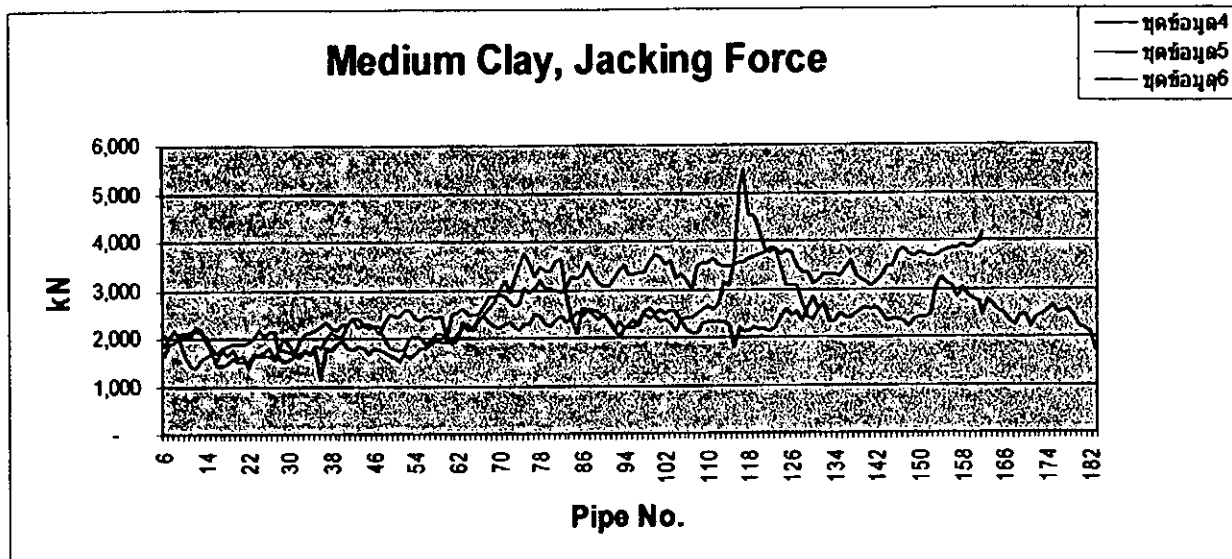
ชุดข้อมูล 1 อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 60 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ชุดข้อมูล 2 อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 120 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

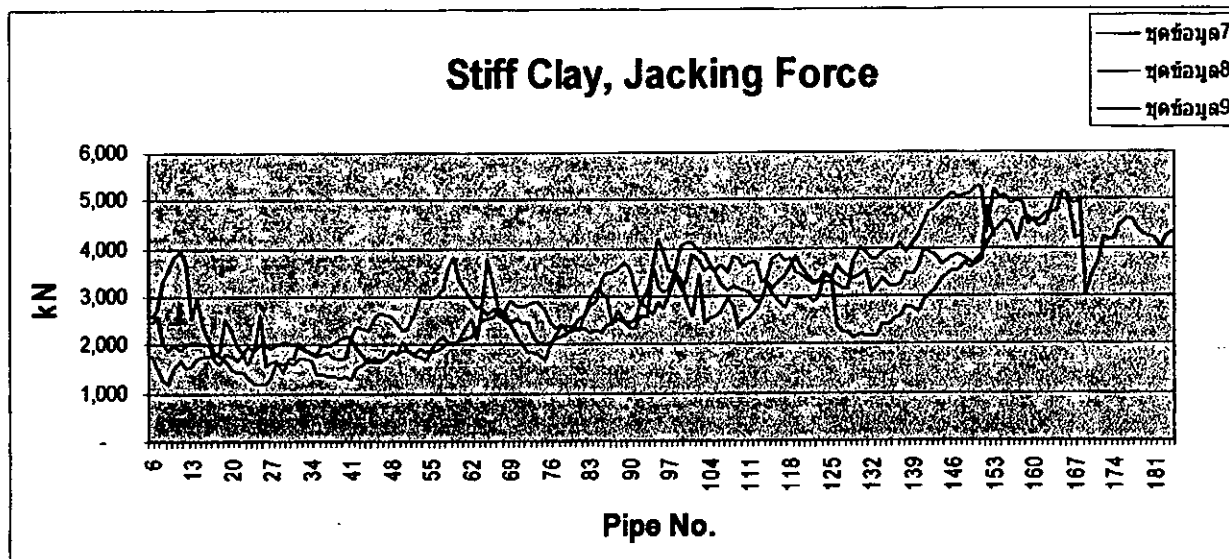
ชุดข้อมูล 3 อะครีลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ภาพประกอบ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตกับจำนวนท่อคอนกรีต

โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง 230 kV.

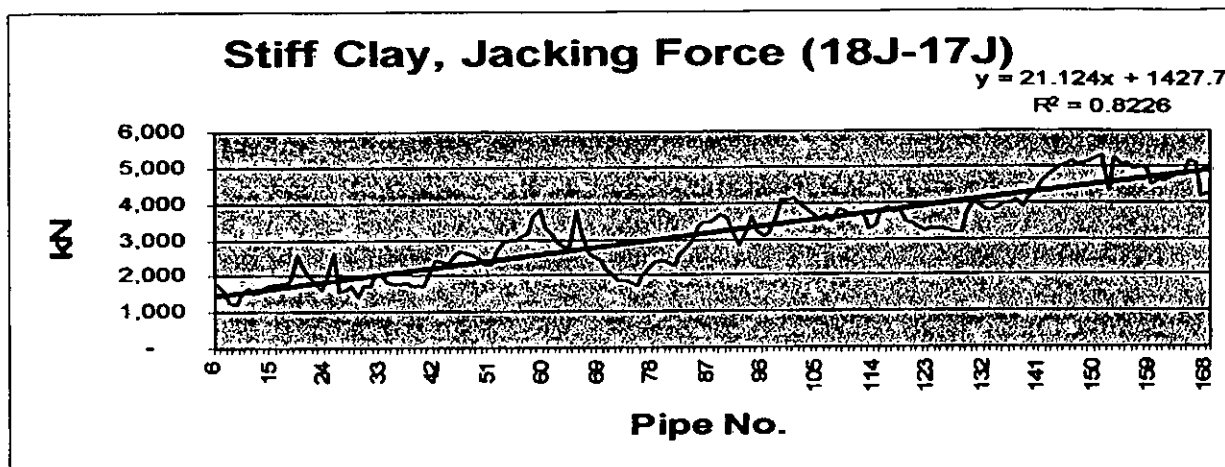


- ชุดข้อมูล 4 อะคริลาไมด์โพลีเมอ์ 60 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
- ชุดข้อมูล 5 อะคริลาไมด์โพลีเมอ์ 120 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
- ชุดข้อมูล 6 อะคริลาไมด์โพลีเมอ์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L



- ชุดข้อมูล 7 อะคริลาไมด์โพลีเมอ์ 60 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
- ชุดข้อมูล 8 อะคริลาไมด์โพลีเมอ์ 120 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L
- ชุดข้อมูล 9 อะคริลาไมด์โพลีเมอ์ 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L

ภาพประกอบ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตกับจำนวนท่อคอนกรีต
โครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง 230 kV.



ภาพประกอบ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตกับจำนวนท่อคอนกรีต
โครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4

จากภาพประกอบ 29 ท่อคอนกรีตความยาว 2.43 m.สามารถหาค่าแรงเสียดทานได้จาก
กราฟความสัมพันธ์ ของ แรงที่ใช้ดัน ท่อคอนกรีต โดยพิจารณาแรงที่เกิดขึ้น ระหว่างท่อ หมายเลข (7)
 $\times 2.43 = 17.01$ m. ถึงท่อคอนกรีตหมายเลข (26) มีความยาวรวมเป็น 2.43×20 ท่อน = 48.60 m.

ซึ่งเป็นสมการเส้นตรง $\Delta Y_1 = Y_{26} - Y_6$

$$\Delta Y_1 = (21.124 \times 48.60 + 1427.7)_{26} - (21.124 \times 17.01 + 1427.7)_6$$

$$\Delta Y_1 = 2,454.32 - 1,787.01 \text{ kN}$$

$$\Delta Y_1 = 667.30 \text{ kN (68.02 t.)}$$

ดังนั้นแรงเสียดทานต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของท่อคอนกรีต ในชั้นดินเหนียวอ่อน

$$\text{แรงเสียดทาน} = \frac{\Delta Y_1}{\pi D \cdot L}$$

$$\text{แรงเสียดทาน} = \frac{667.30}{\pi \times 3.04 \text{ m.} \times (48.60 - 17.01) \text{ m.}} \quad \text{kN}$$

$$\text{แรงเสียดทาน} = 2.21 \text{ kN/m}^2 (0.22 \text{ t/m}^2)$$

โดยรายละเอียดของกราฟแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีต ของข้อมูลแต่ละช่วงแสดงไว้ในภาคผนวก ง

5.3.3 พลังงานที่ใช้ระหว่างการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°

ข้อจำกัดในการออกแบบอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะต้องให้พื้นอุโมงค์ มีความลาดชัน 0.3% จึงต้องเปรียบเทียบข้อมูลมุมเบี่ยงเบน 0.17° ในชั้นดินเหนียวอ่อน, ชั้นดินเหนียวปานกลางและชั้นดินดาน ได้ค่าความแตกต่างระหว่าง $5\% - 20\%$ รายละเอียดแสดงอยู่ในตาราง 26 ,27 และ 28 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการออกแบบของสมาคมดันท่อคอนกรีตที่กำหนดค่าไว้ประมาณ 25% โดยแสดงข้อมูลการหาค่าพิกัดของความลาดชัน $= [(N2-N1)^2 + (E2-E1)^2]^{1/2}$ ในภาคผนวก ข.และ กราฟแสดงค่าการเบี่ยงเบนในแนวตั้งในภาคผนวก ข.

สำหรับโครงการอุโมงค์สำหรับบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร ออกแบบพื้นอุโมงค์มีความลาดชันลดระดับต่อเนื่อง จึงไม่สามารถเปรียบเทียบแรงที่เกิดจากการดันท่อแนวตรงกับท่อที่มีมุมเบี่ยงเบน

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาพฤติกรรมแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตกับชั้นดินของกรุงเทพมหานคร ในงานวิจัยนี้ ได้รวบรวมข้อมูลแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตที่บริษัท อิตาเลียนไทย จำกัด (มหาชน) ดำเนินงานก่อสร้างอุโมงค์ 2 โครงการ ประกอบด้วยข้อมูลของโครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูง 230 kV. การไฟฟ้านครหลวง ระยะทางรวม 7,599 m. แบ่งเป็น 20 ช่วง จากสถานีต้นทางลาดพร้าวถึงสถานีปลายทางวิภาวดี โดยนำข้อมูลการเจาะอุโมงค์มาใช้วิเคราะห์ ชั้นดินเหนียวอ่อน ชั้นดินเหนียวปานกลางและชั้นดินเหนียวแข็งอย่างละ 3 ข้อมูล รวมเป็น 9 ข้อมูล และโครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียรวมระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร ระยะทางรวม 1,750 m. ซึ่งเป็นอุโมงค์ในชั้นดินเหนียวอ่อนและชั้นดินเหนียวปานกลาง ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ชั้นดินละ 3 ข้อมูล รวมเป็น 6 ข้อมูล โดยทั้งสองโครงการใช้ส่วนผสม ของ อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 60 g, 120 g. และ 180 g. ต่อปริมาณน้ำ 100 L หรือคิดเป็นอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 1666 1 ต่อ 833 และ 1 ต่อ 555 ตามลำดับ

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 อัตราส่วนผสมของอะคริลาไมด์โพลีเมอร์กับน้ำ

อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเป็น 180 g ต่อปริมาณน้ำ 100 L โดย สามารถลดแรงเสียดทานลงได้ 85.70, 83.44 และ 84.34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีลดแรงเสียดทานโดยใช้ เบนโทไนท์ เป็นสารหล่อลื่นในชั้นดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวปานกลาง และดินเหนียวแข็ง ตามลำดับ ซึ่งทำให้ออกแบบท่อคอนกรีตตามมาตรฐาน JSWAS-A2-1991 มีความหนา 220 mm โดยใช้แรงสูงสุดในการดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่ ในระยะ 500 m. เพียง 4,328.46 kN (441.23 t), 4,707.81 kN (479.90 t) และ 5,902.38 kN (601.67 t) แต่ท่อคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 5911 Part 120 ความหนาท่อคอนกรีต 250 mm. เนื่องจากผิวท่อและปัญหาของซีล ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 เมื่อใช้อัตราส่วนผสมเดียวกันแต่แรงที่ใช้ในการดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่ ในระยะ 500 m. เป็น 9,638.61 kN (982.53 t) และ 11,150.24 kN (1,136.62 t) ในชั้นดินเหนียวปานกลาง และ ชั้นดินเหนียวอ่อน

6.1.2 ต้นทุนพลังงานไฟฟ้า

จากการใช้อัตราส่วนผสมดังกล่าว ทำให้สามารถลดต้นทุนในการดันท่อคอนกรีตได้ 9.91, 9.07 และ 12.15 MWh/month เมื่อใช้ท่อ JSWAS-A2-1991 ดังแสดงในตาราง 34, 35 และ 36

ตาราง 34 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า(MWh)ต่อเดือน

พลังงานไฟฟ้ากับชั้นดิน (MWh)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ส่วนผสมของสารหล่อลื่น ต่อ น้ำ 100 L	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
เบนโทไนท์ 6,000g	11.56	10.86	14.40
อุโมงค์น้ำเสีย อะคริลาไมด์โพลีเมอร์180g	4.25	3.68	-
อุโมงค์ไฟฟ้า อะคริลาไมด์โพลีเมอร์180g	1.65	1.79	2.25

ตาราง 35 ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการดันท่อคอนกรีตต่อเดือน

ต้นทุนพลังงานไฟฟ้ากับชั้นดิน (บาท)	ดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินเหนียว
ส่วนผสมของสารหล่อลื่น ต่อ น้ำ 100 L	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง
เบนโทไนท์ 6,000g	28,900	27,150	36,000
อุโมงค์น้ำเสีย อะคริลาไมด์โพลีเมอร์180g	10,625	9,200	-
อุโมงค์ไฟฟ้า อะคริลาไมด์โพลีเมอร์180g	4,125	4,475	5,625

คำนวณโดยใช้ราคา 2.5 บาทต่อหน่วย (kWh) และ ทำให้ประหยัดต้นทุนในการผลิตท่อคอนกรีตที่ความหนาลดลง 30 mm. สำหรับอุโมงค์ไฟฟ้า เป็นจำนวนเงิน 13,820,833 บาท และ อุโมงค์น้ำเสียเป็นจำนวนเงิน 2,971,715 บาท

ตาราง 36 ราคามาตรฐานงานก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต

ราคามาตรฐานงานก่อสร้างอุโมงค์	อุโมงค์ไฟฟ้า	อุโมงค์น้ำเสีย	อุโมงค์ไฟฟ้า (รอสร้าง)
บาท/เมตร	65,000	46,079	44,332

ท่อคอนกรีตที่ความหนาลดลง 30 mm คิดเป็นปริมาณคอนกรีต 0.2108 m^3/m หรือ 1,747.04 บาทต่อ m. ที่ความยาวอุโมงค์ 7,911 , 1,701 และ 3,016 m.ตามลำดับ.

6.1.3 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ระหว่างดินท่อบที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°

การดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 ° กับดินท่อคอนกรีตแนวตรง เฉพาะโครงการก่อสร้างอุโมงค์สายไฟแรงสูง 230 kV. ของการไฟฟ้านครหลวง ได้ข้อมูลมุมเบี่ยงเบน 0.17 ° ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยทั้ง 3 ชั้นดิน (4.84% + 19.67% + 4.03%) /3 เป็น 9.52 % ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 28

6.1.4 ต้นทุนของสารหล่อลื่นระหว่างเบนโทไนท์ กับ อะคริลาไมด์โพลีเมอร์

ในการผสมเบนโทไนท์ 6,000 g ต่อ น้ำ 100 L คิดเป็นต้นทุน 42 บาท (เบนโทไนท์ 7บาท/kg) สำหรับการผสม อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 180 g ต่อ น้ำ 100 L คิดเป็นต้นทุน 41.40 บาท (อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 230 บาท/kg) เนื่องจาก การผสมอะคริลาไมด์โพลีเมอร์ น้อยกว่าเบนโทไนท์ประมาณ 33.33 เท่า ทำให้ต้นทุนไม่แตกต่างกันมาก โดยเมื่อคิดต่อ ระยะทาง 500 m. จะต้องใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 86.23 kg ต่อ น้ำ 47,910 L คิดเป็นราคาต้นทุนของสารหล่อลื่น 24,624 บาทต่อ ระยะทาง 500 m.

6.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

การศึกษาลงของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร ในงานวิจัยนี้ โดยการนำข้อมูลจริงของงานก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นดินของกรุงเทพมหานครมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ ซึ่งยังมีข้อจำกัดหลายส่วนที่มีต่อผลลัพธ์ที่ได้ เช่น ข้อมูลดิบจากเครื่องบันทึกอัตโนมัติ ที่วัดหลังจากหยุดทำงานในวันอาทิตย์ เมื่อเริ่มต้นดันท่อจะมีค่าสูงกว่าปกติ เนื่องจากแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเฉลี่ยจึงทำให้ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสูงขึ้น และข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดินมีเพียงบ่อดันท่อกับบ่อรับ ซึ่งควรพิจารณาเจาะสำรวจเพิ่มเพื่อวิเคราะห์ชนิดของชั้นดินให้ละเอียดมากขึ้น และในส่วนที่ควรจะศึกษาเพิ่มเติมคือ

1. ชั้นดินของกรุงเทพมหานครในระดับลึกประมาณ 30 m. จะเป็นทราย ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีการก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นทรายโดยวิธีดันท่อคอนกรีต จึงควรที่จะติดตามงานก่อสร้างอุโมงค์ในอนาคตซึ่งมีแนวโน้มที่จะลดระดับอุโมงค์ลงไปชั้นทราย และนำข้อมูลมาทำการศึกษาเพื่อหาวัสดุหล่อลื่นสำหรับงานเจาะอุโมงค์ที่เหมาะสม ในด้านพลังงานที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์

2. การใช้สารหล่อลื่นจากต่างประเทศมีราคาแพง ควรมีการศึกษาเพื่อนำอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ภายในประเทศไทย เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สามารถใช้กับงานเจาะอุโมงค์

3. พัฒนาเทคนิคและอุปกรณ์เสริมที่เหมาะสมในด้านการลดพลังงานที่ใช้เจาะอุโมงค์

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (2541, กุมภาพันธ์).
ค ความรู้พื้นฐานงานก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดร.บุญเทพ นานกรวัชรศักดิ์. (2542, กรกฎาคม). **วิศวกรรมฐานรากและการก่อสร้างอุโมงค์**
(Foundation Engineering And Tunnelling). พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์รุ่งแสง.
- สถาพร คูวิจิตรจากรู. (2544, พฤษภาคม). **การเจาะสำรวจดินทางวิศวกรรม การเจาะสำรวจเก็บ**
ตัวอย่างและการทดสอบในภาคสนาม (Soil Investigation , Boring , Sampling and
Field Tests). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Terzaghi, k. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*.
New York: John Wiley and Sons.
- AIT. (1978). *Investigation of Land Subsidence Cause By Deep Well Pumping in The*
Bangkok Area Subsurface Soil Characteristics of Bangkok and Adjacent Areas.
pp. 1 – 151. Bangkok: Division of Geotechnical & Transportation Engineering.
- Haslem, R.F. (1986). *Pipe Jacking Forces : From Theory To Practice Proceedings of*
Infrastructure, Renovation and Waste Control Centenary Conference. Manchester:
N.W. Association, Institution of Civil Engineers.
- Ripley, K.J. (1989). *The Performance of Jacked Pipes*. Dissertation, Ph.D (Engineering)
London: Graduate School Oxford University. Photocopied.
- BS 5911 Part 120. (1989). *Precast Concrete Pipes, Fittings and Ancillary Products*.
pp. 1 – 21. London: British Standard Association Press.
- Thomson J.C. (1993). *Microtunnelling and Pipe Jacking*.
Blackie Academic & Professional.
- Oxford University. (1993). *The State-of-The-Art Review by Dr. George Milligan on*
Lubrication and Soil Conditioning in Tunnelling, Pipe Jacking and Microtunnelling.
pp. 1 – 47. London: Dept.of Civil Engineering
- Peron J.Y. & Marchesell P. (1994). *Construction of the Passante Ferroviario link in Milan,*
Italy Excavation By Large Earth Pressure Balanced Shield With Chemical Foam
Injection. pp. 679 – 707. London: Conference Proc. "Tunnelling'94".
- National Industrial Chemicals Notification And Assessment Scheme (1994).

Full Public Report DP-2903 Acrylic Copolymer.

- Milligan G.W.E. and Norris P. (1994). *Pipe Jacking Research Results and Recommendations*. London: Pipe Jacking Association.
- Wallis s. (1995, October). *Forming Success at Valencia*.
World Tunnelling Conference.
- Marshall Robinson Roe. (1995). *Guide to best practice for the installation of pipe jacking and microtunnels*. First Edition. pp. 24 – 50. London: Pipe Jacking Association.
- A.J.Van Seters. (1995) *Research for Horizontal Directional Drilling And Micro Tunnels*. pp. 1-6. Netherlands: Fugro Ingenieursbureau B.V., Leidschendam.
- Concrete Pipe Association (1996). *Pipe Jacking Design Guide lines*. 2nd Ed. pp.1-7.
Australia: Concrete Pipe Association of Australasia Press.
- Mark Marshall. (1998) *Pipe Jacking Tunnelling Jacking Loads and Ground Moment*. Dissertation, Ph.D (Engineering). London: Graduate School Oxford University. Photocopied.
- Walter G.Brusey. (1998). *Microtunneling Technology Benefits Port Authority of New York and New Jersey*. United State of America.
- Herrenknecht. (1999). *Operating Manual EPB2600* Schwanau: Trade Literature.
- JSWAS-A2-1991. (1999). *Jacking Reinforced Concrete Pipes for Sewerage*. pp. 1 – 34
Tokyo: Japanese Standard Association Press.
- Milligan G.W.E. (2000). *Soil conditioning and Lubrication in tunnelling, Pipe Jacking and Microtunnelling*. A State-of-the-art review.
- Sotiris Psomas. (2001). Thesis, MS.(Engineering Science). *Properties of Foam/Sand mixtures for tunnelling applications*. London: St. Hugh's College. Photocopied.
- ASTM D1586. *Standard Test Method for Penetration Test and Split – Barrel Sampling of Soils*. pp. 147-151. United States.
- ASTM D2487. *Standard Practice for Classification of Soil for Engineering Purpose (Unified Soil Classification System)*. pp. 249 – 260. United States.
- ASTM D2573. *Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil*. pp. 272 – 280. United States.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลโครงการก่อสร้างอุโมงค์ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV

Q,Ty	L	F	F	P _r	P _r	A	F _p	D _p	F _r	F _r
(Pipe)	(m)	(t)	(kN)	(bar)	(t/m ²)	(m ²)	(t)	(m)	(t/m ²)	(kN/m ²)
1	12.45	132.80	1,303	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.56	5.49
2	14.90	128.70	1,263	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.49	4.82
3	17.35	130.80	1,283	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.39	3.82
4	19.80	131.50	1,290	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.38	3.78
5	22.25	139.50	1,368	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.35	3.39
6	24.70	139.60	1,369	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.34	3.37
7	27.15	137.70	1,351	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.30	2.99
8	29.60	142.20	1,395	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.27	2.64
9	32.05	148.90	1,461	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.25	2.41
10	34.50	153.50	1,506	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.24	2.38
11	36.95	152.80	1,499	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.22	2.20
12	39.40	153.50	1,506	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.23	2.28
13	41.85	161.60	1,585	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.24	2.35
14	44.30	161.30	1,582	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.23	2.21
15	46.75	171.90	1,686	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.25	2.50
16	49.20	197.50	1,937	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.28	2.76
17	51.65	195.20	1,915	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.28	2.73
18	54.10	191.50	1,879	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.26	2.54
19	56.55	192.50	1,888	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.24	2.31
20	59.00	184.80	1,813	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.21	2.08
21	61.45	179.80	1,764	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.18	1.78
22	63.90	179.50	1,761	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.19	1.83
23	66.35	177.20	1,738	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.19	1.84
24	68.80	169.90	1,667	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.67
25	71.25	166.10	1,629	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.45
26	73.70	166.50	1,633	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.40
27	76.15	168.80	1,656	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.39
28	78.60	171.60	1,683	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.48
29	81.05	173.90	1,706	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.47
30	83.50	183.90	1,804	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.46

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _t (t/m ²)	F _t (kN/m ²)
31	85.95	185.10	1,816	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.52
32	88.40	183.10	1,796	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.45
33	90.85	190.40	1,868	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.41
34	93.30	203.50	1,996	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.15	1.44
35	95.75	188.70	1,851	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.40
36	98.20	183.30	1,798	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.31
37	100.65	187.80	1,842	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.25
38	103.10	202.90	1,990	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.13	1.30
39	105.55	198.60	1,948	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.37
40	108.00	203.20	1,993	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.38
41	110.45	207.10	2,032	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.39
42	112.90	232.20	2,278	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.16	1.52
43	115.35	238.20	2,337	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.16	1.61
44	117.80	262.50	2,575	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.19	1.86
45	120.25	258.20	2,533	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.78
46	122.70	270.20	2,651	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.18	1.79
47	125.15	278.20	2,729	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.19	1.82
48	127.60	292.70	2,871	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.19	1.84
49	130.05	282.60	2,772	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.18	1.72
50	132.50	291.80	2,863	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.18	1.76
51	134.95	301.60	2,959	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.19	1.87
52	137.40	272.60	2,674	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.17	1.67
53	139.85	258.70	2,538	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.16	1.54
54	142.30	254.90	2,501	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.43
55	144.75	262.30	2,573	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.46
56	147.20	258.83	2,539	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.46
57	149.65	261.70	2,567	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.46
58	152.10	271.60	2,664	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.45
59	154.55	277.00	2,717	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.46
60	157.00	296.80	2,912	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.16	1.57

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	159.45	309.30	3,034	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.16	1.58
62	161.90	312.00	3,061	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.62
63	164.35	318.30	3,123	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.16	1.59
64	166.80	328.30	3,221	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.68
65	169.25	349.30	3,427	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.18	1.73
66	171.70	345.10	3,385	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.78
67	174.15	361.70	3,548	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.19	1.85
68	176.60	358.70	3,519	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.81
69	179.05	356.90	3,501	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.77
70	181.50	354.80	3,481	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.73
71	183.95	321.10	3,150	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.16	1.52
72	186.40	312.20	3,063	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.45
73	188.85	306.80	3,010	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.40
74	191.30	314.40	3,084	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.35
75	193.75	295.20	2,896	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.27
76	196.20	301.10	2,954	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.24
77	198.65	290.20	2,847	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.21
78	201.10	292.10	2,866	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.20
79	203.55	300.20	2,945	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.23
80	206.00	304.60	2,988	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.20
81	208.45	301.40	2,957	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.17
82	210.90	310.40	3,045	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.24
83	213.35	316.80	3,108	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.22
84	215.80	348.80	3,422	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.39
85	218.25	389.60	3,822	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.16	1.57
86	220.70	392.20	3,847	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.16	1.53
87	223.15	393.00	3,855	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.16	1.55
88	225.60	398.80	3,912	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.16	1.56
89	228.05	312.50	3,066	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.11	1.05
90	230.50	343.10	3,366	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.31

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
91	232.95	323.60	3,175	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.21
92	235.40	312.30	3,064	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.12
93	237.85	314.80	3,088	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.08
94	240.30	306.00	3,002	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.07
95	242.75	294.60	2,890	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.01
96	245.20	299.30	2,936	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.02
97	247.65	289.50	2,840	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
98	250.10	292.20	2,866	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
99	252.55	296.90	2,913	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.98
100	255.00	299.80	2,941	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.98
101	257.45	299.50	2,938	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
102	259.90	279.50	2,742	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
103	262.35	272.30	2,671	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.84
104	264.80	277.50	2,722	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.86
105	267.25	269.20	2,641	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.82
106	269.70	255.80	2,509	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.76
107	272.15	250.80	2,460	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.73
108	274.60	258.80	2,539	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.75
109	277.05	269.40	2,643	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.79
110	279.50	276.50	2,712	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.84
111	281.95	289.10	2,836	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.85
112	284.40	296.70	2,911	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.87
113	286.85	305.80	3,000	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.92
114	289.30	309.70	3,038	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.93
115	291.75	326.70	3,205	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.95
116	294.20	316.20	3,102	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.93
117	296.65	312.50	3,066	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.89
118	299.10	297.80	2,921	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.83
119	301.55	290.60	2,851	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.80
120	304.00	287.80	2,823	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.76

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
121	306.45	275.00	2,698	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.76
122	308.90	298.70	2,930	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.83
123	311.35	294.50	2,889	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.81
124	313.80	330.00	3,237	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.90
125	316.25	348.50	3,419	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
126	318.70	342.40	3,359	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
127	321.15	332.10	3,258	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91
128	323.60	342.20	3,357	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.93
129	326.05	349.50	3,429	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95
130	328.50	336.50	3,301	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.90
131	330.95	332.30	3,260	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.90
132	333.40	344.10	3,376	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.93
133	335.85	373.70	3,666	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
134	338.30	379.20	3,720	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.98
135	340.75	370.70	3,637	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	1.00
136	343.20	359.10	3,523	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.93
137	345.65	360.20	3,534	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.93
138	348.10	361.60	3,547	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.92
139	350.55	368.50	3,615	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.96
140	353.00	347.80	3,412	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.87
141	355.45	320.40	3,143	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.79
142	357.90	323.40	3,173	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.77
143	360.35	285.60	2,802	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.67
144	362.80	305.30	2,995	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.08	0.75
145	365.25	318.50	3,124	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.72
146	367.70	316.90	3,109	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.71
147	370.15	314.30	3,083	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.69
148	372.60	314.50	3,085	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.69
149	375.05	316.50	3,105	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.69
150	377.50	303.50	2,977	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.67

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
151	379.95	317.80	3,118	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.69
152	382.40	310.80	3,049	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.68
153	384.85	303.20	2,974	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.68
154	387.30	308.20	3,023	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.67
155	389.75	315.10	3,091	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.66
156	392.20	341.10	3,346	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.08	0.83
157	394.65	380.20	3,730	-	-	7.31	-	9.43	0.10	1.00
158	397.10	346.50	3,399	-	-	7.31	-	9.43	0.09	0.91
159	399.55	292.40	2,868	-	-	7.31	-	9.43	0.08	0.76
160	402.00	156.80	1,538	-	-	7.31	-	9.43	0.04	0.41

ค่าเฉลี่ย 0.1339 1.3140

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	12.45	198.21	1,944	1.05	10.69	7.31	78.13	9.43	1.02	10.04
2	14.90	185.10	1,816	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.84	8.24
3	17.35	178.80	1,754	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.68	6.70
4	19.80	195.00	1,913	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.73	7.11
5	22.25	214.00	2,099	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.74	7.22
6	24.70	228.20	2,239	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.72	7.10
7	27.15	242.80	2,382	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.72	7.02
8	29.60	256.20	2,513	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.70	6.91
9	32.05	192.60	1,889	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.44	4.32
10	34.50	149.40	1,466	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.28	2.71
11	36.95	155.10	1,522	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.27	2.69
12	39.40	151.20	1,483	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.25	2.42
13	41.85	159.50	1,565	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.25	2.48
14	44.30	145.90	1,431	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.21	2.03
15	46.75	142.00	1,393	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.67
16	49.20	145.00	1,422	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.18	1.81
17	51.65	151.20	1,483	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.69
18	54.10	144.00	1,413	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.48
19	56.55	137.80	1,352	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.30
20	59.00	140.20	1,375	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.42
21	61.45	143.50	1,408	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.17	1.67
22	63.90	160.00	1,570	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.63
23	66.35	148.50	1,457	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.51
24	68.80	143.20	1,405	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.38
25	71.25	147.40	1,446	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.17
26	73.70	140.20	1,375	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.03
27	76.15	150.00	1,472	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.13
28	78.60	147.30	1,445	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.16
29	81.05	150.90	1,480	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.17
30	83.50	157.20	1,542	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.22

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
31	85.95	180.50	1,771	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.37
32	88.40	169.20	1,660	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.29
33	90.85	174.60	1,713	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.32
34	93.30	179.20	1,758	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.33
35	95.75	185.00	1,815	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.12	1.20
36	98.20	182.70	1,792	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.30
37	100.65	165.50	1,624	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.09
38	103.10	157.30	1,543	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.99
39	105.55	162.70	1,596	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.02
40	108.00	168.80	1,656	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.05
41	110.45	163.00	1,599	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.90
42	112.90	199.20	1,954	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.22
43	115.35	182.10	1,786	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.04
44	117.80	189.30	1,857	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.10	1.01
45	120.25	196.10	1,924	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.05
46	122.70	179.50	1,761	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.02
47	125.15	176.20	1,729	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
48	127.60	178.20	1,748	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
49	130.05	178.50	1,751	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.89
50	132.50	167.90	1,647	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.85
51	134.95	177.90	1,745	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.91
52	137.40	180.70	1,773	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
53	139.85	180.20	1,768	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.84
54	142.30	179.40	1,760	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
55	144.75	202.90	1,990	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.98
56	147.20	190.20	1,866	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
57	149.65	208.80	2,048	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.99
58	152.10	206.40	2,025	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.95
59	154.55	211.30	2,073	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.97
60	157.00	206.20	2,023	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.02

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	159.45	220.90	2,167	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	1.00
62	161.90	235.70	2,312	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.13
63	164.35	242.80	2,382	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.16
64	166.80	252.00	2,472	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.20
65	169.25	286.50	2,811	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.39
66	171.70	265.10	2,601	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.29
67	174.15	256.80	2,519	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.22
68	176.60	242.40	2,378	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.16
69	179.05	241.80	2,372	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.10
70	181.50	227.90	2,236	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.01
71	183.95	211.90	2,079	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	0.99
72	186.40	252.80	2,480	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.08
73	188.85	242.20	2,376	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.01
74	191.30	228.90	2,246	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.96
75	193.75	234.30	2,298	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.94
76	196.20	244.80	2,401	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.98
77	198.65	238.50	2,340	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.98
78	201.10	239.00	2,345	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.93
79	203.55	254.10	2,493	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.99
80	206.00	251.80	2,470	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
81	208.45	242.90	2,383	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95
82	210.90	264.50	2,595	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.97
83	213.35	301.60	2,959	1.30	13.26	7.31	96.89	9.43	0.10	1.00
84	215.80	245.00	2,403	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.89
85	218.25	220.00	2,158	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.84
86	220.70	238.20	2,337	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.91
87	223.15	231.20	2,268	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.87
88	225.60	275.30	2,701	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.03
89	228.05	273.10	2,679	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.11	1.08
90	230.50	263.80	2,588	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	1.02

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
91	232.95	264.30	2,593	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.98
92	235.40	266.60	2,615	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95
93	237.85	264.20	2,592	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.93
94	240.30	252.90	2,481	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.90
95	242.75	270.80	2,657	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.91
96	245.20	273.80	2,686	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.94
97	247.65	265.50	2,605	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.86
98	250.10	261.80	2,568	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.84
99	252.55	246.30	2,416	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.77
100	255.00	241.80	2,372	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.74
101	257.45	255.80	2,509	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.79
102	259.90	264.20	2,592	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.79
103	262.35	268.80	2,637	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.80
104	264.80	257.20	2,523	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.75
105	267.25	243.20	2,386	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.66
106	269.70	238.10	2,336	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.66
107	272.15	254.60	2,498	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.69
108	274.60	262.80	2,578	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.71
109	277.05	249.80	2,451	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.66
110	279.50	237.50	2,330	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.06	0.61
111	281.95	233.00	2,286	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.61
112	284.40	245.20	2,405	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.06	0.62
113	286.85	260.80	2,558	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.68
114	289.30	256.80	2,519	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.66
115	291.75	254.90	2,501	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.67
116	294.20	257.90	2,530	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.67
117	296.65	282.50	2,771	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.73
118	299.10	286.80	2,814	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.76
119	301.55	285.80	2,804	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.75
120	304.00	281.00	2,757	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.78

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
121	306.45	288.80	2,833	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.78
122	308.90	280.70	2,754	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.74
123	311.35	293.60	2,880	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.78
124	313.80	292.20	2,866	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.77
125	316.25	334.10	3,278	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.08	0.80
126	318.70	312.40	3,065	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.78
127	321.15	307.40	3,016	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.78
128	323.60	312.20	3,063	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.76
129	326.05	328.00	3,218	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.81
130	328.50	351.70	3,450	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.93
131	330.95	378.50	3,713	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.03
132	333.40	358.60	3,518	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.98
133	335.85	354.10	3,474	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.96
134	338.30	346.50	3,399	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.93
135	340.75	347.80	3,412	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.93
136	343.20	359.40	3,526	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.93
137	345.65	351.30	3,446	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.92
138	348.10	355.30	3,485	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91
139	350.55	360.30	3,535	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.89
140	353.00	355.70	3,489	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
141	355.45	357.70	3,509	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.92
142	357.90	381.80	3,745	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	1.00
143	360.35	399.60	3,920	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	1.02
144	362.80	364.60	3,577	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.90
145	365.25	321.90	3,158	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.75
146	367.70	374.00	3,669	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.87
147	370.15	401.00	3,934	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.11	1.04
148	372.60	390.20	3,828	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.10	1.03
149	375.05	383.50	3,762	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.10	1.00
150	377.50	382.60	3,753	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.10	0.99

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
151	379.95	388.30	3,809	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.10	1.00
152	382.40	366.60	3,596	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
153	384.85	388.30	3,809	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.89
154	387.30	376.80	3,696	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.83
155	389.75	385.20	3,779	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
156	392.20	387.20	3,798	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.87
157	394.65	387.00	3,796	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.82
158	397.10	374.80	3,677	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.09	0.90
159	399.55	397.60	3,900	-	-	7.31	-	9.43	0.11	1.04
160	402.00	405.90	3,982	-	-	7.31	-	9.43	0.11	1.05
161	404.45	411.40	4,036	-	-	7.31	-	9.43	0.11	1.06
162	406.90	344.20	3,377	-	-	7.31	-	9.43	0.09	0.88

ค่าเฉลี่ย 0.1190 1.1670

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _t (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
115	12.45	169.62	1,664	0.88	9.02	7.31	65.93	9.43	0.88	8.66
116	14.90	174.54	1,712	0.94	9.57	7.31	69.95	9.43	0.74	7.30
117	17.35	166.50	1,633	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.65	6.41
118	19.80	175.50	1,722	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.62	6.09
119	22.25	180.00	1,766	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.61	5.98
120	304.00	322.50	3,164	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.90
121	306.45	314.20	3,082	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
122	308.90	308.80	3,029	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
123	311.35	312.40	3,065	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.89
124	313.80	328.70	3,225	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.94
125	316.25	342.60	3,361	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	1.00
126	318.70	346.50	3,399	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	1.01
127	321.15	357.20	3,504	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	1.01
128	323.60	358.70	3,519	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.11	1.06
129	326.05	368.40	3,614	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.11	1.06
130	328.50	433.20	4,250	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.13	1.23
131	330.95	468.90	4,600	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.31
132	333.40	475.50	4,665	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.32
133	335.85	510.00	5,003	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.42
134	338.30	515.70	5,059	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.15	1.45
135	340.75	494.80	4,854	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.14	1.42
136	343.20	457.10	4,484	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.13	1.27
137	345.65	436.80	4,285	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.12	1.20
138	348.10	445.30	4,368	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.20
139	350.55	421.60	4,136	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.05
140	353.00	384.20	3,769	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.93
141	355.45	372.30	3,652	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
142	357.90	333.20	3,269	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.80
143	360.35	313.40	3,074	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.73
144	362.80	301.80	2,961	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.69

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
145	365.25	307.20	3,014	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.73
146	367.70	308.20	3,023	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.72
147	370.15	284.20	2,788	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.65
148	372.60	265.50	2,605	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.60
149	375.05	269.90	2,648	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.62
150	377.50	282.20	2,768	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.65
151	379.95	278.70	2,734	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.64
152	382.40	282.80	2,774	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.65
153	384.85	304.20	2,984	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.66
154	387.30	318.50	3,124	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.70
155	389.75	329.80	3,235	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.72
156	392.20	325.10	3,189	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.70
157	394.65	329.30	3,230	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.71
158	397.10	307.30	3,015	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.67
159	399.55	318.80	3,127	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.69
160	402.00	340.80	3,343	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.75
161	404.45	363.20	3,563	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.80
162	406.90	374.10	3,670	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.82
163	409.35	373.50	3,664	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.82
164	411.80	385.10	3,778	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.84
165	414.25	394.60	3,871	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
166	416.70	416.60	4,087	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91
167	419.15	450.90	4,423	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.99
168	421.60	444.60	4,362	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
169	424.05	465.50	4,567	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.01
170	426.50	487.10	4,778	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.06
171	428.95	490.10	4,808	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.08
172	431.40	485.70	4,765	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.06
173	433.85	485.70	4,765	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.06
174	436.30	519.20	5,093	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.12	1.15

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
175	438.75	482.50	4,733	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.04
176	441.20	507.80	4,982	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.07
177	443.65	475.40	4,664	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.99
178	446.10	467.20	4,583	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
179	448.55	447.80	4,393	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.92
180	451.00	431.80	4,236	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.88
181	453.45	360.80	3,539	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.71
182	455.90	336.90	3,305	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.65
183	458.35	323.70	3,175	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.62
184	460.80	336.70	3,303	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.07	0.71
185	463.25	357.30	3,505	-	-	7.31	-	9.43	0.08	0.80
186	465.70	325.90	3,197	-	-	7.31	-	9.43	0.07	0.73
187	468.15	395.20	3,877	-	-	7.31	-	9.43	0.09	0.88
188	470.60	327.00	3,208	-	-	7.31	-	9.43	0.07	0.72

ค่าเฉลี่ย 0.0924 0.9067

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	12.45	135.30	1,327	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.71	6.95
2	14.90	160.70	1,576	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.67	6.54
3	17.35	154.60	1,517	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.58	5.70
4	19.80	178.40	1,750	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.64	6.24
5	22.25	186.90	1,833	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.57	5.60
6	24.70	188.00	1,844	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.55	5.41
7	27.15	202.40	1,986	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.56	5.47
8	29.60	220.90	2,167	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.52	5.14
9	32.05	203.20	1,993	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.45	4.42
10	34.50	212.60	2,086	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.45	4.39
11	36.95	208.90	2,049	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.41	3.99
12	39.40	227.80	2,235	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.45	4.44
13	41.85	219.20	2,150	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.42	4.15
14	44.30	205.80	2,019	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.35	3.43
15	46.75	183.50	1,800	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.28	2.76
16	49.20	169.90	1,667	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.25	2.49
17	51.65	183.40	1,799	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.25	2.49
18	54.10	186.00	1,825	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.26	2.57
19	56.55	192.20	1,885	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.26	2.58
20	59.00	191.10	1,875	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.25	2.45
21	61.45	191.80	1,882	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.22	2.11
22	63.90	195.60	1,919	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.20	1.97
23	66.35	203.20	1,993	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.21	2.02
24	68.80	222.50	2,183	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.22	2.12
25	71.25	206.20	2,023	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.21	2.03
26	73.70	218.30	2,142	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.23	2.24
27	76.15	215.30	2,112	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.22	2.13
28	78.60	177.50	1,741	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.17	1.66
29	81.05	205.70	2,018	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.19	1.88
30	83.50	192.80	1,891	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.66

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
31	85.95	169.00	1,658	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.41
32	88.40	194.20	1,905	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.50
33	90.85	210.50	2,065	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.16	1.56
34	93.30	215.00	2,109	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.65
35	95.75	219.50	2,153	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.66
36	98.20	230.30	2,259	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.18	1.73
37	100.65	236.20	2,317	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.67
38	103.10	224.50	2,202	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.66
39	105.55	220.50	2,163	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.17	1.66
40	108.00	234.00	2,296	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.75
41	110.45	234.70	2,302	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.65
42	112.90	244.80	2,401	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.71
43	115.35	245.50	2,408	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.68
44	117.80	231.50	2,271	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.16	1.58
45	120.25	226.10	2,218	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.50
46	122.70	227.10	2,228	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.48
47	125.15	213.10	2,091	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.15	1.46
48	127.60	236.00	2,315	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.38
49	130.05	252.70	2,479	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.15	1.43
50	132.50	251.20	2,464	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.14	1.39
51	134.95	251.70	2,469	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.48
52	137.40	260.50	2,556	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.46
53	139.85	263.30	2,583	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.46
54	142.30	243.50	2,389	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.40
55	144.75	240.20	2,356	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.35
56	147.20	249.10	2,444	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.39
57	149.65	248.70	2,440	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.31
58	152.10	245.40	2,407	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.32
59	154.55	248.40	2,437	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.32
60	157.00	203.20	1,993	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.00

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
61	159.45	254.00	2,492	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.27
62	161.90	256.60	2,517	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.22
63	164.35	266.20	2,611	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.26
64	166.80	251.80	2,470	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.25
65	169.25	252.20	2,474	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.23
66	171.70	255.60	2,507	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.23
67	174.15	269.00	2,639	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.25
68	176.60	291.80	2,863	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.37
69	179.05	290.20	2,847	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.38
70	181.50	294.60	2,890	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.39
71	183.95	292.50	2,869	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.32
72	186.40	279.90	2,746	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.23
73	188.85	270.30	2,652	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.16
74	191.30	275.80	2,706	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.13	1.26
75	193.75	308.00	3,021	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.33
76	196.20	297.70	2,920	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.26
77	198.65	306.30	3,005	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.29
78	201.10	323.50	3,174	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.33
79	203.55	306.80	3,010	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.23
80	206.00	307.00	3,012	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.21
81	208.45	304.80	2,990	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.22
82	210.90	300.30	2,946	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.22
83	213.35	313.50	3,075	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.24
84	215.80	334.80	3,284	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.33
85	218.25	328.50	3,223	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.14	1.35
86	220.70	337.00	3,306	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.14	1.38
87	223.15	362.70	3,558	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.45
88	225.60	336.50	3,301	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.14	1.35
89	228.05	320.20	3,141	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.19
90	230.50	314.00	3,080	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.15

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
91	232.95	312.50	3,066	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.13
92	235.40	330.10	3,238	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.23
93	237.85	343.30	3,368	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.24
94	240.30	358.10	3,513	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.26
95	242.75	338.80	3,324	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.23
96	245.20	338.80	3,324	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.22
97	247.65	339.60	3,331	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.21
98	250.10	341.40	3,349	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.20
99	252.55	359.90	3,531	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.13	1.30
100	255.00	377.50	3,703	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.33
101	257.45	375.00	3,679	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.30
102	259.90	357.40	3,506	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.13	1.25
103	262.35	366.20	3,592	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.25
104	264.80	328.80	3,226	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.09
105	267.25	338.50	3,321	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.09
106	269.70	323.00	3,169	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.04
107	272.15	305.20	2,994	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
108	274.60	354.30	3,476	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.12
109	277.05	360.20	3,534	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.16
110	279.50	362.90	3,560	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.16
111	281.95	369.80	3,628	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.14
112	284.40	357.50	3,507	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.09
113	286.85	352.40	3,457	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.09
114	289.30	355.20	3,485	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.12
115	291.75	356.10	3,493	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.06
116	294.20	360.90	3,540	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.09
117	296.65	360.90	3,540	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.08
118	299.10	371.90	3,648	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.06
119	301.55	376.50	3,693	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.12
120	304.00	380.70	3,735	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.15

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
121	306.45	384.80	3,775	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.15
122	308.90	390.50	3,831	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.16
123	311.35	392.70	3,852	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.16
124	313.80	379.40	3,722	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.11
125	316.25	385.80	3,785	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.10
126	318.70	381.10	3,739	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.07
127	321.15	353.90	3,472	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	1.00
128	323.60	340.20	3,337	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.93
129	326.05	339.30	3,329	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.89
130	328.50	317.90	3,119	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.82
131	330.95	326.50	3,203	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.84
132	333.40	336.50	3,301	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
133	335.85	337.90	3,315	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.91
134	338.30	338.00	3,316	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.90
135	340.75	331.90	3,256	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.88
136	343.20	347.70	3,411	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.90
137	345.65	367.20	3,602	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.97
138	348.10	334.20	3,279	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.87
139	350.55	323.10	3,170	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.80
140	353.00	318.90	3,128	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.79
141	355.45	310.60	3,047	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.08	0.78
142	357.90	320.00	3,139	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.78
143	360.35	331.30	3,250	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.81
144	362.80	352.00	3,453	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.84
145	365.25	352.70	3,460	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
146	367.70	382.30	3,750	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.93
147	370.15	391.10	3,837	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95
148	372.60	378.90	3,717	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91
149	375.05	374.20	3,671	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
150	377.50	383.20	3,759	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91

Q.Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
151	379.95	379.50	3,723	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.90
152	382.40	375.40	3,683	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.88
153	384.85	373.10	3,660	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.87
154	387.30	384.60	3,773	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
155	389.75	386.00	3,787	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.91
156	392.20	389.10	3,817	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.91
157	394.65	389.30	3,819	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.09	0.93
158	397.10	400.20	3,926	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	0.95
159	399.55	392.10	3,847	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.10	0.94
160	402.00	393.80	3,863	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.09	0.92
161	404.45	404.40	3,967	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	0.94
162	406.90	425.40	4,173	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95

ค่าเฉลี่ย 0.1512 1.4836

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	12.45	100.50	985.91	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.28	2.79
2	14.90	145.00	1,422	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.66	6.48
3	17.35	171.50	1,682	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.64	6.26
4	19.80	192.30	1,886	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.63	6.19
5	22.25	207.08	2,031	0.93	9.49	7.31	69.37	9.43	0.66	6.44
6	24.70	213.08	2,090	0.88	9.02	7.31	65.93	9.43	0.63	6.20
7	27.15	204.54	2,007	0.84	8.55	7.31	62.49	9.43	0.55	5.44
8	29.60	203.09	1,992	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.51	5.04
9	32.05	200.31	1,965	0.91	9.26	7.31	67.65	9.43	0.44	4.31
10	34.50	166.23	1,631	0.93	9.49	7.31	69.37	9.43	0.30	2.92
11	36.95	147.62	1,448	0.75	7.61	7.31	55.61	9.43	0.26	2.59
12	39.40	142.00	1,393	0.66	6.75	7.31	49.31	9.43	0.25	2.45
13	41.85	159.85	1,568	0.89	9.10	7.31	66.51	9.43	0.24	2.32
14	44.30	168.08	1,649	0.94	9.57	7.31	69.95	9.43	0.23	2.30
15	46.75	172.38	1,691	0.93	9.49	7.31	69.37	9.43	0.23	2.29
16	49.20	158.77	1,558	0.74	7.53	7.31	55.04	9.43	0.22	2.19
17	51.65	178.00	1,746	0.83	8.47	7.31	61.92	9.43	0.24	2.34
18	54.10	166.85	1,637	0.78	7.92	7.31	57.91	9.43	0.21	2.10
19	56.55	177.36	1,740	0.85	8.71	7.31	63.69	9.43	0.21	2.09
20	59.00	161.23	1,582	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.66
21	61.45	165.00	1,619	0.88	9.02	7.31	65.93	9.43	0.17	1.68
22	63.90	142.15	1,395	0.78	8.00	7.31	58.48	9.43	0.14	1.36
23	66.35	165.46	1,623	0.96	9.81	7.31	71.67	9.43	0.15	1.47
24	68.80	167.54	1,644	0.97	9.88	7.31	72.24	9.43	0.15	1.44
25	71.25	166.69	1,635	0.95	9.73	7.31	71.09	9.43	0.14	1.40
26	73.70	166.58	1,634	0.86	8.75	7.31	63.98	9.43	0.15	1.45
27	76.15	160.08	1,570	0.77	7.84	7.31	57.33	9.43	0.14	1.40
28	78.60	179.77	1,764	0.92	9.33	7.31	68.23	9.43	0.15	1.48
29	81.05	177.77	1,744	0.82	8.31	7.31	60.77	9.43	0.15	1.50
30	83.50	175.46	1,721	0.93	9.49	7.31	69.37	9.43	0.13	1.32

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _t (bar)	P _t (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
31	85.95	168.92	1,657	0.89	9.10	7.31	66.51	9.43	0.13	1.24
32	88.40	164.23	1,611	0.85	8.63	7.31	63.07	9.43	0.12	1.19
33	90.85	178.31	1,749	0.94	9.57	7.31	69.95	9.43	0.13	1.24
34	93.30	172.23	1,690	0.75	7.61	7.31	55.61	9.43	0.13	1.30
35	95.75	188.15	1,846	0.86	8.79	7.31	64.21	9.43	0.14	1.35
36	98.20	183.38	1,799	0.81	8.24	7.31	60.20	9.43	0.13	1.31
37	100.65	203.62	1,997	0.72	7.37	7.31	53.89	9.43	0.16	1.55
38	103.10	215.00	2,109	0.86	8.79	7.31	64.21	9.43	0.16	1.52
39	105.55	206.69	2,028	0.74	7.53	7.31	55.04	9.43	0.15	1.49
40	108.00	207.54	2,036	0.76	7.77	7.31	56.76	9.43	0.15	1.45
41	110.45	231.15	2,268	0.93	9.49	7.31	69.37	9.43	0.16	1.52
42	112.90	246.15	2,415	0.98	9.96	7.31	72.81	9.43	0.16	1.60
43	115.35	223.69	2,194	0.86	8.79	7.31	64.21	9.43	0.15	1.44
44	117.80	233.54	2,291	0.93	9.49	7.31	69.37	9.43	0.15	1.45
45	120.25	234.91	2,304	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.45
46	122.70	228.46	2,241	0.84	8.55	7.31	62.49	9.43	0.14	1.41
47	125.15	228.23	2,239	0.98	9.96	7.31	72.81	9.43	0.13	1.29
48	127.60	198.54	1,948	0.85	8.63	7.31	63.07	9.43	0.11	1.10
49	130.05	183.69	1,802	0.77	7.84	7.31	57.33	9.43	0.10	1.01
50	132.50	178.54	1,751	0.72	7.37	7.31	53.89	9.43	0.10	0.98
51	134.95	178.54	1,751	0.73	7.45	7.31	54.47	9.43	0.10	0.96
52	137.40	179.23	1,758	0.65	6.67	7.31	48.73	9.43	0.10	0.99
53	139.85	202.00	1,982	0.92	9.33	7.31	68.23	9.43	0.10	1.00
54	142.30	207.54	2,036	1.02	10.43	7.31	76.25	9.43	0.10	0.96
55	144.75	202.31	1,985	1.03	10.51	7.31	76.83	9.43	0.09	0.90
56	147.20	191.54	1,879	0.88	9.02	7.31	65.93	9.43	0.09	0.89
57	149.65	199.00	1,952	0.88	8.94	7.31	65.36	9.43	0.09	0.93
58	152.10	210.82	2,068	0.88	8.99	7.31	65.73	9.43	0.10	0.99
59	154.55	213.46	2,094	0.87	8.86	7.31	64.79	9.43	0.10	1.00
60	157.00	199.54	1,957	0.92	9.41	7.31	68.80	9.43	0.09	0.87

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	159.45	192.85	1,892	0.77	7.84	7.31	57.33	9.43	0.09	0.88
62	161.90	198.23	1,945	0.78	7.92	7.31	57.91	9.43	0.09	0.90
63	164.35	237.31	2,328	0.93	9.49	7.31	69.37	9.43	0.11	1.06
64	166.80	222.54	2,183	0.83	8.47	7.31	61.92	9.43	0.10	1.00
65	169.25	224.77	2,205	0.75	7.69	7.31	56.19	9.43	0.11	1.04
66	171.70	239.69	2,351	0.95	9.73	7.31	71.09	9.43	0.10	1.02
67	174.15	255.08	2,502	0.82	8.39	7.31	61.35	9.43	0.12	1.16
68	176.60	267.08	2,620	0.72	7.37	7.31	53.89	9.43	0.13	1.26
69	179.05	277.67	2,724	0.73	7.39	7.31	54.04	9.43	0.13	1.30
70	181.50	304.31	2,985	0.85	8.63	7.31	63.07	9.43	0.14	1.38
71	183.95	323.54	3,174	0.98	9.96	7.31	72.81	9.43	0.14	1.42
72	186.40	301.38	2,957	0.91	9.26	7.31	67.65	9.43	0.13	1.30
73	188.85	321.69	3,156	0.88	9.02	7.31	65.93	9.43	0.14	1.41
74	191.30	354.54	3,478	0.65	6.59	7.31	48.16	9.43	0.17	1.67
75	193.75	381.08	3,738	0.78	8.00	7.31	58.48	9.43	0.18	1.73
76	196.20	360.46	3,536	0.68	6.98	7.31	51.03	9.43	0.17	1.64
77	198.65	332.46	3,261	0.82	8.31	7.31	60.77	9.43	0.15	1.42
78	201.10	351.69	3,450	0.98	9.96	7.31	72.81	9.43	0.15	1.44
79	203.55	347.15	3,406	0.85	8.63	7.31	63.07	9.43	0.15	1.45
80	206.00	346.69	3,401	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.45
81	208.45	366.31	3,593	0.84	8.55	7.31	62.49	9.43	0.15	1.52
82	210.90	368.31	3,613	0.92	9.41	7.31	68.80	9.43	0.15	1.48
83	213.35	288.60	2,831	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.08
84	215.80	242.20	2,376	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.81
85	218.25	210.80	2,068	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.08	0.79
86	220.70	267.10	2,620	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.01
87	223.15	261.90	2,569	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.98
88	225.60	251.90	2,471	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.96
89	228.05	240.20	2,356	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.89
90	230.50	253.20	2,484	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
91	232.95	236.10	2,316	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.85
92	235.40	220.60	2,164	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.74
93	237.85	237.90	2,334	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.78
94	240.30	225.90	2,216	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.75
95	242.75	226.60	2,223	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.72
96	245.20	223.60	2,194	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.70
97	247.65	236.30	2,318	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.77
98	250.10	252.20	2,474	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.77
99	252.55	246.80	2,421	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.74
100	255.00	251.60	2,468	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.69
101	257.45	238.50	2,340	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.72
102	259.90	243.10	2,385	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.73
103	262.35	231.10	2,267	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.08	0.74
104	264.80	215.20	2,111	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.67
105	267.25	242.50	2,379	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.71
106	269.70	245.20	2,405	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.69
107	272.15	246.10	2,414	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.68
108	274.60	252.90	2,481	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.68
109	277.05	260.10	2,552	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.70
110	279.50	269.50	2,644	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.70
111	281.95	260.50	2,556	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.71
112	284.40	273.50	2,683	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.81
113	286.85	320.50	3,144	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.89
114	289.30	312.80	3,069	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.88
115	291.75	367.50	3,605	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.04
116	294.20	521.80	5,119	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.17	1.69
117	296.65	558.30	5,477	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.78
118	299.10	462.40	4,536	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.15	1.48
119	301.55	462.40	4,536	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.15	1.47
120	304.00	429.30	4,211	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.13	1.32

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
121	306.45	391.50	3,841	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.13
122	308.90	384.00	3,767	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.04
123	311.35	392.80	3,853	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.09
124	313.80	352.20	3,455	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.95
125	316.25	314.10	3,081	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
126	318.70	310.10	3,042	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.84
127	321.15	311.80	3,059	0.10	1.02	7.31	7.45	9.43	0.10	0.99
128	323.60	276.60	2,713	-	-	7.31	-	9.43	0.09	0.89
129	326.05	247.30	2,426	-	-	7.31	-	9.43	0.08	0.79
130	328.50	240.80	2,362	-	-	7.31	-	9.43	0.08	0.76
131	330.95	264.10	2,591	-	-	7.31	-	9.43	0.08	0.83

ค่าเฉลี่ย 0.1377 1.3513

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	12.45	153.08	1,502	0.95	9.65	7.31	70.52	9.43	0.70	6.90
2	14.90	152.90	1,500	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.56	5.47
3	17.35	161.70	1,586	0.93	9.52	7.31	69.57	9.43	0.56	5.53
4	19.80	198.20	1,944	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.66	6.50
5	22.25	201.60	1,978	1.08	10.99	7.31	80.33	9.43	0.58	5.67
6	24.70	168.20	1,650	0.81	8.24	7.31	60.25	9.43	0.46	4.55
7	27.15	192.80	1,891	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.49	4.82
8	29.60	196.90	1,932	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.47	4.56
9	32.05	213.60	2,095	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.51	5.00
10	34.50	216.00	2,119	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.48	4.72
11	36.95	217.50	2,134	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.47	4.66
12	39.40	218.50	2,143	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.41	4.00
13	41.85	216.60	2,125	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.38	3.72
14	44.30	195.20	1,915	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.31	3.01
15	46.75	173.00	1,697	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.24	2.36
16	49.20	147.60	1,448	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.21	2.02
17	51.65	144.10	1,414	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.19	1.85
18	54.10	149.60	1,468	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.19	1.87
19	56.55	160.30	1,573	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.19	1.85
20	59.00	153.10	1,502	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.17	1.65
21	61.45	154.70	1,518	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.48
22	63.90	152.60	1,497	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.15	1.51
23	66.35	170.70	1,675	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.15	1.51
24	68.80	165.60	1,625	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.16	1.60
25	71.25	173.30	1,700	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.16	1.55
26	73.70	181.40	1,780	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.14	1.40
27	76.15	158.50	1,555	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.35
28	78.60	166.40	1,632	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.31
29	81.05	154.30	1,514	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.31
30	83.50	160.00	1,570	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.25

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
31	85.95	164.50	1,614	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.27
32	88.40	171.30	1,680	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.31
33	90.85	174.40	1,711	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.23
34	93.30	168.70	1,655	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.13
35	95.75	174.10	1,708	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.24
36	98.20	117.10	1,149	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.05	0.53
37	100.65	181.70	1,782	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.26
38	103.10	178.20	1,748	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.20
39	105.55	190.60	1,870	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.12	1.14
40	108.00	198.10	1,943	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.12	1.19
41	110.45	182.80	1,793	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.16
42	112.90	179.50	1,761	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.10
43	115.35	186.60	1,831	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.08
44	117.80	184.00	1,805	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.03
45	120.25	172.00	1,687	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.97
46	122.70	183.00	1,795	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.05
47	125.15	179.30	1,759	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.99
48	127.60	174.50	1,712	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.94
49	130.05	165.50	1,624	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91
50	132.50	164.00	1,609	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.88
51	134.95	155.00	1,521	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.79
52	137.40	170.20	1,670	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.84
53	139.85	160.40	1,574	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.75
54	142.30	172.50	1,692	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.83
55	144.75	183.30	1,798	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.84
56	147.20	182.20	1,787	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.81
57	149.65	191.60	1,880	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.81
58	152.10	197.80	1,940	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.79
59	154.55	196.90	1,932	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.82
60	157.00	194.30	1,906	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.79

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	159.45	197.30	1,936	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.85
62	161.90	210.70	2,067	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.88
63	164.35	226.70	2,224	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.10	0.96
64	166.80	232.60	2,282	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.10	0.99
65	169.25	221.40	2,172	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.90
66	171.70	245.30	2,406	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.03
67	174.15	250.50	2,457	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.10	0.96
68	176.60	235.90	2,314	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.09	0.86
69	179.05	228.30	2,240	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.89
70	181.50	225.00	2,207	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.91
71	183.95	233.90	2,295	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.94
72	186.40	237.30	2,328	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.91
73	188.85	228.00	2,237	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.89
74	191.30	221.00	2,168	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
75	193.75	234.20	2,298	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.90
76	196.20	232.90	2,285	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
77	198.65	252.80	2,480	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.97
78	201.10	248.50	2,438	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.98
79	203.55	233.40	2,290	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.89
80	206.00	230.30	2,259	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.86
81	208.45	240.30	2,357	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.79
82	210.90	247.70	2,430	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.82
83	213.35	236.80	2,323	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.83
84	215.80	246.60	2,419	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.83
85	218.25	258.10	2,532	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.91
86	220.70	248.60	2,439	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.86
87	223.15	260.40	2,555	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.87
88	225.60	263.30	2,583	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.90
89	228.05	255.90	2,510	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.86
90	230.50	249.90	2,452	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.83

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
91	232.95	240.60	2,360	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.78
92	235.40	225.20	2,209	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.73
93	237.85	202.40	1,986	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.66
94	240.30	225.30	2,210	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.72
95	242.75	227.40	2,231	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.72
96	245.20	240.50	2,359	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.67
97	247.65	230.60	2,262	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.66
98	250.10	259.40	2,545	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.74
99	252.55	267.40	2,623	1.30	13.26	7.31	96.89	9.43	0.07	0.70
100	255.00	253.30	2,485	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.70
101	257.45	262.20	2,572	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.73
102	259.90	253.90	2,491	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.69
103	262.35	262.20	2,572	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.71
104	264.80	259.70	2,548	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.70
105	267.25	237.60	2,331	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.66
106	269.70	220.60	2,164	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.65
107	272.15	212.10	2,081	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.58
108	274.60	210.20	2,062	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.05	0.49
109	277.05	234.10	2,297	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.63
110	279.50	239.20	2,347	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.64
111	281.95	239.00	2,345	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.63
112	284.40	235.50	2,310	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.62
113	286.85	236.80	2,323	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.62
114	289.30	227.60	2,233	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.60
115	291.75	185.10	1,816	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.06	0.55
116	294.20	224.10	2,198	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.61
117	296.65	218.00	2,139	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.61
118	299.10	217.90	2,138	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.60
119	301.55	225.10	2,208	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.60
120	304.00	219.70	2,155	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.60

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _i (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
121	306.45	219.20	2,150	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.59
122	308.90	215.00	2,109	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.57
123	311.35	224.90	2,206	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.58
124	313.80	246.10	2,414	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.62
125	316.25	260.20	2,553	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.64
126	318.70	251.40	2,466	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.60
127	321.15	259.80	2,549	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.62
128	323.60	237.30	2,328	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.57
129	326.05	267.60	2,625	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.06	0.62
130	328.50	287.00	2,815	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.65
131	330.95	263.30	2,583	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.62
132	333.40	273.10	2,679	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.06	0.62
133	335.85	237.90	2,334	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.58
134	338.30	238.10	2,336	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.59
135	340.75	252.70	2,479	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.64
136	343.20	247.50	2,428	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.06	0.64
137	345.65	247.10	2,424	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.61
138	348.10	255.40	2,505	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.56
139	350.55	260.80	2,558	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.60
140	353.00	267.80	2,627	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.59
141	355.45	261.70	2,567	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.59
142	357.90	264.60	2,596	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.06	0.57
143	360.35	253.50	2,487	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.56
144	362.80	237.60	2,331	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.55
145	365.25	242.40	2,378	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.54
146	367.70	242.00	2,374	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.56
147	370.15	235.10	2,306	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.06	0.56
148	372.60	226.60	2,223	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.05	0.51
149	375.05	241.00	2,364	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.54
150	377.50	245.20	2,405	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.05	0.53

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
151	379.95	244.30	2,397	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.06	0.57
152	382.40	249.30	2,446	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.06	0.58
153	384.85	307.10	3,013	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.65
154	387.30	330.10	3,238	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.71
155	389.75	314.30	3,083	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.70
156	392.20	311.00	3,051	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.69
157	394.65	286.00	2,806	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.62
158	397.10	305.90	3,001	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.06	0.59
159	399.55	289.30	2,838	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.06	0.56
160	402.00	283.30	2,779	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.06	0.54
161	404.45	278.50	2,732	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.05	0.52
162	406.90	251.00	2,462	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.05	0.45
163	409.35	282.60	2,772	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.05	0.51
164	411.80	270.50	2,654	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.05	0.50
165	414.25	256.80	2,519	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.05	0.46
166	416.70	255.20	2,504	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.05	0.47
167	419.15	238.10	2,336	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.05	0.46
168	421.60	230.30	2,259	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.04	0.44
169	424.05	250.50	2,457	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.05	0.47
170	426.50	251.70	2,469	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.05	0.47
171	428.95	226.30	2,220	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.04	0.44
172	431.40	244.60	2,400	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.05	0.46
173	433.85	250.20	2,454	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.04	0.44
174	436.30	258.60	2,537	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.04	0.44
175	438.75	271.20	2,660	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.05	0.45
176	441.20	254.50	2,497	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.05	0.44
177	443.65	256.20	2,513	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.05	0.44
178	446.10	260.70	2,557	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.04	0.43
179	448.55	245.30	2,406	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.05	0.47
180	451.00	223.00	2,188	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.05	0.51

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
181	453.45	221.60	2,174	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.05	0.51
182	455.90	213.60	2,095	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.05	0.49
183	458.35	174.40	1,711	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.04	0.40

ค่าเฉลี่ย 0.1005 0.9862

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
1	12.45	147.00	1,442	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.87	8.55
2	14.90	182.80	1,793	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.88	8.60
3	17.35	207.50	2,036	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.90	8.87
4	19.80	231.80	2,274	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.92	9.05
5	22.25	260.40	2,555	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.89	8.69
6	24.70	263.70	2,587	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.88	8.60
7	27.15	282.10	2,767	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.84	8.24
8	29.60	337.50	3,311	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.92	8.98
9	32.05	359.20	3,524	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.94	9.24
10	34.50	391.40	3,840	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.97	9.56
11	36.95	401.70	3,941	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.96	9.42
12	39.40	378.00	3,708	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.84	8.21
13	41.85	260.60	2,556	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.47	4.63
14	44.30	299.80	2,941	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.52	5.12
15	46.75	233.50	2,291	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.36	3.54
16	49.20	214.40	2,103	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.27	2.64
17	51.65	185.20	1,817	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.21	2.08
18	54.10	179.50	1,761	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.18	1.73
19	56.55	170.20	1,670	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.17	1.62
20	59.00	150.40	1,475	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.12	1.21
21	61.45	145.20	1,424	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.32
22	63.90	148.60	1,458	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.33
23	66.35	132.30	1,298	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.26
24	68.80	122.60	1,203	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.07
25	71.25	120.50	1,182	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.00
26	73.70	120.70	1,184	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
27	76.15	132.50	1,300	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.00
28	78.60	168.20	1,650	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.12	1.14
29	81.05	161.50	1,584	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.10	1.02
30	83.50	166.20	1,630	1.30	13.26	7.31	96.89	9.43	0.09	0.86

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
31	85.95	164.90	1,618	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.09	0.91
32	88.40	174.10	1,708	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.10	1.00
33	90.85	175.30	1,720	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.11	1.07
34	93.30	171.30	1,680	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.09	0.91
35	95.75	141.80	1,391	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.81
36	98.20	141.70	1,390	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.87
37	100.65	137.80	1,352	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.81
38	103.10	136.20	1,336	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.77
39	105.55	135.30	1,327	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.82
40	108.00	140.00	1,373	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.85
41	110.45	131.60	1,291	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.75
42	112.90	153.40	1,505	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.80
43	115.35	163.80	1,607	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.74
44	117.80	175.30	1,720	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.08	0.76
45	120.25	166.70	1,635	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.07	0.67
46	122.70	169.40	1,662	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.07	0.68
47	125.15	177.60	1,742	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.79
48	127.60	188.50	1,849	1.30	13.26	7.31	96.89	9.43	0.08	0.75
49	130.05	187.50	1,839	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.84
50	132.50	190.80	1,872	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.85
51	134.95	191.80	1,882	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.85
52	137.40	179.50	1,761	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.85
53	139.85	182.10	1,786	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.91
54	142.30	172.90	1,696	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.83
55	144.75	187.30	1,837	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.86
56	147.20	194.20	1,905	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.90
57	149.65	202.80	1,989	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.94
58	152.10	211.30	2,073	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.99
59	154.55	204.50	2,006	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.98
60	157.00	212.20	2,082	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.01

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _t (bar)	P _t (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
61	159.45	242.50	2,379	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.10
62	161.90	261.50	2,565	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.12	1.15
63	164.35	217.80	2,137	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.95
64	166.80	282.00	2,766	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.12	1.20
65	169.25	267.90	2,628	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.11	1.10
66	171.70	281.50	2,762	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.12	1.16
67	174.15	265.20	2,602	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.12	1.14
68	176.60	275.50	2,703	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.12	1.18
69	179.05	299.00	2,933	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.13	1.26
70	181.50	283.30	2,779	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.28
71	183.95	283.50	2,781	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.27
72	186.40	289.50	2,840	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.28
73	188.85	291.40	2,859	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.28
74	191.30	295.20	2,896	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.28
75	193.75	278.00	2,727	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.13
76	196.20	252.40	2,476	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.90
77	198.65	239.70	2,351	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.08	0.79
78	201.10	248.30	2,436	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.86
79	203.55	229.20	2,248	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.87
80	206.00	241.20	2,366	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95
81	208.45	258.70	2,538	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.99
82	210.90	264.50	2,595	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.08
83	213.35	295.50	2,899	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.19
84	215.80	324.30	3,181	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.24
85	218.25	313.10	3,072	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.17
86	220.70	302.20	2,965	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.10	1.00
87	223.15	247.50	2,428	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.81
88	225.60	278.00	2,727	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.97
89	228.05	252.30	2,475	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
90	230.50	240.40	2,358	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.85

Q.Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
91	232.95	238.30	2,338	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.83
92	235.40	263.80	2,588	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.97
93	237.85	262.50	2,575	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.82
94	240.30	371.20	3,641	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.38
95	242.75	427.80	4,197	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.16	1.58
96	245.20	396.00	3,885	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.15	1.46
97	247.65	360.30	3,535	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.29
98	250.10	355.20	3,485	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.20
99	252.55	337.00	3,306	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.11	1.05
100	255.00	292.50	2,869	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.89
101	257.45	263.00	2,580	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.76
102	259.90	350.20	3,435	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.10
103	262.35	247.30	2,426	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.07	0.71
104	264.80	260.50	2,556	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.07	0.73
105	267.25	265.70	2,607	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.72
106	269.70	273.90	2,687	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.83
107	272.15	300.40	2,947	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95
108	274.60	285.80	2,804	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
109	277.05	237.70	2,332	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.67
110	279.50	256.20	2,513	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.76
111	281.95	261.30	2,563	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.74
112	284.40	276.20	2,710	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.07	0.71
113	286.85	295.80	2,902	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.08	0.75
114	289.30	329.50	3,232	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.09	0.86
115	291.75	311.70	3,058	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.85
116	294.20	292.70	2,871	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.77
117	296.65	279.70	2,744	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.77
118	299.10	305.90	3,001	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.86
119	301.55	300.20	2,945	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.83
120	304.00	299.60	2,939	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.82

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
121	306.45	305.50	2,997	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.83
122	308.90	294.50	2,889	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.08	0.82
123	311.35	307.00	3,012	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.85
124	313.80	353.40	3,467	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.90
125	316.25	345.40	3,388	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.89
126	318.70	373.50	3,664	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.10	0.95
127	321.15	355.30	3,485	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.89
128	323.60	347.50	3,409	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.85
129	326.05	342.80	3,363	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.83
130	328.50	350.80	3,441	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.08	0.83
131	330.95	361.50	3,546	1.30	13.26	7.31	96.89	9.43	0.08	0.83
132	333.40	315.40	3,094	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.80
133	335.85	328.80	3,226	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.81
134	338.30	345.20	3,386	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.81
135	340.75	327.20	3,210	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.79
136	343.20	325.40	3,192	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.81
137	345.65	331.50	3,252	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.84
138	348.10	354.80	3,481	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
139	350.55	353.30	3,466	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.87
140	353.00	370.30	3,633	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.87
141	355.45	405.70	3,980	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.09	0.93
142	357.90	399.20	3,916	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.09	0.90
143	360.35	393.50	3,860	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.09	0.88
144	362.80	372.50	3,654	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.83
145	365.25	379.80	3,726	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.85
146	367.70	389.90	3,825	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.87
147	370.15	393.70	3,862	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.09	0.88
148	372.60	387.10	3,797	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.08	0.83
149	375.05	375.70	3,686	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.84
150	377.50	371.80	3,647	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.80

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
151	379.95	380.20	3,730	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	0.94
152	382.40	495.30	4,859	-	-	7.31	-	9.43	0.14	1.35
153	384.85	431.70	4,235	-	-	7.31	-	9.43	0.12	1.17

ค่าเฉลี่ย 0.1448 1.4205

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	12.45	153.10	1,502	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.80	7.81
2	14.90	174.70	1,714	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.71	6.99
3	17.35	194.30	1,906	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.64	6.29
4	19.80	200.50	1,967	1.40	14.28	7.31	104.3	9.43	0.52	5.05
5	22.25	204.20	2,003	1.40	14.28	7.31	104.3	9.43	0.48	4.67
6	24.70	180.00	1,766	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.48	4.76
7	27.15	157.00	1,540	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.41	4.02
8	29.60	128.10	1,257	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.27	2.67
9	32.05	121.50	1,192	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.20	2.01
10	34.50	155.70	1,527	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.23	2.22
11	36.95	170.60	1,674	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.23	2.29
12	39.40	155.20	1,523	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.20	1.93
13	41.85	157.80	1,548	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.23	2.26
14	44.30	174.80	1,715	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.24	2.35
15	46.75	181.60	1,781	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.24	2.38
16	49.20	181.20	1,778	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.26	2.57
17	51.65	185.70	1,822	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.29	2.84
18	54.10	190.60	1,870	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.29	2.81
19	56.55	260.00	2,551	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.33	3.28
20	59.00	230.10	2,257	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.25	2.48
21	61.45	200.70	1,969	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.19	1.88
22	63.90	186.20	1,827	1.30	13.26	7.31	96.89	9.43	0.15	1.45
23	66.35	165.20	1,621	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.14	1.42
24	68.80	200.70	1,969	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.21	2.02
25	71.25	268.30	2,632	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.31	3.05
26	73.70	158.60	1,556	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.16	1.61
27	76.15	165.80	1,626	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.17	1.65
28	78.60	172.60	1,693	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.16	1.59
29	81.05	144.90	1,421	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.13	1.29
30	83.50	176.00	1,727	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.16	1.54

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
31	85.95	174.80	1,715	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.16	1.57
32	88.40	210.80	2,068	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.69
33	90.85	198.80	1,950	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.15	1.42
34	93.30	184.00	1,805	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.39
35	95.75	178.30	1,749	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.21
36	98.20	182.40	1,789	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.22
37	100.65	187.20	1,836	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.32
38	103.10	176.40	1,730	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.25
39	105.55	174.90	1,716	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.14
40	108.00	175.40	1,721	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.13	1.26
41	110.45	218.70	2,145	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.43
42	112.90	244.30	2,397	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.16	1.56
43	115.35	240.50	2,359	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.16	1.56
44	117.80	235.10	2,306	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.48
45	120.25	261.30	2,563	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.16	1.62
46	122.70	273.90	2,687	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.69
47	125.15	269.70	2,646	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.68
48	127.60	263.50	2,585	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.18	1.72
49	130.05	251.80	2,470	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.48
50	132.50	236.20	2,317	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.39
51	134.95	237.20	2,327	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.31
52	137.40	272.80	2,676	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.16	1.56
53	139.85	300.00	2,943	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.68
54	142.30	304.90	2,991	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.68
55	144.75	302.70	2,969	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.64
56	147.20	312.00	3,061	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.68
57	149.65	321.60	3,155	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.17	1.67
58	152.10	369.80	3,628	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.23	2.22
59	154.55	388.40	3,810	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.24	2.31
60	157.00	338.40	3,320	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.20	1.95

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	159.45	317.20	3,112	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.16	1.58
62	161.90	296.60	2,910	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.14	1.38
63	164.35	282.40	2,770	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.36
64	166.80	288.20	2,827	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.38
65	169.25	384.20	3,769	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.20	1.95
66	171.70	321.50	3,154	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.15	1.50
67	174.15	267.00	2,619	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.19
68	176.60	254.70	2,499	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.06
69	179.05	245.20	2,405	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.04
70	181.50	220.00	2,158	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
71	183.95	203.20	1,993	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.81
72	186.40	188.20	1,846	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.72
73	188.85	187.90	1,843	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.07	0.71
74	191.30	185.30	1,818	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.72
75	193.75	173.70	1,704	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.69
76	196.20	207.10	2,032	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.74
77	198.65	224.70	2,204	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.75
78	201.10	242.00	2,374	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.87
79	203.55	244.50	2,399	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.87
80	206.00	244.10	2,395	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.89
81	208.45	233.00	2,286	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.87
82	210.90	263.40	2,584	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.04
83	213.35	283.80	2,784	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.13
84	215.80	297.80	2,921	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.18
85	218.25	342.40	3,359	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.31
86	220.70	355.00	3,483	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.13	1.32
87	223.15	357.20	3,504	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.14	1.39
88	225.60	366.40	3,594	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.38
89	228.05	375.70	3,686	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.41
90	230.50	364.40	3,575	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.15	1.44

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
91	232.95	323.80	3,176	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.11
92	235.40	287.50	2,820	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.10	0.94
93	237.85	316.60	3,106	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.10	1.03
94	240.30	368.00	3,610	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.30
95	242.75	326.70	3,205	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.21
96	245.20	313.80	3,078	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.11
97	247.65	324.50	3,183	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.14
98	250.10	368.30	3,613	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.28
99	252.55	415.70	4,078	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.44
100	255.00	417.90	4,100	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.14	1.40
101	257.45	419.80	4,118	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.14	1.40
102	259.90	401.60	3,940	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.14	1.40
103	262.35	392.60	3,851	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.14	1.38
104	264.80	372.90	3,658	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.26
105	267.25	359.00	3,522	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.19
106	269.70	373.10	3,660	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.24
107	272.15	355.30	3,485	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.16
108	274.60	390.50	3,831	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.12	1.17
109	277.05	383.50	3,762	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.12	1.13
110	279.50	369.60	3,626	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.10
111	281.95	376.10	3,690	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.14
112	284.40	375.40	3,683	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.18
113	286.85	335.80	3,294	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.00
114	289.30	342.80	3,363	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.05
115	291.75	386.20	3,789	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.19
116	294.20	395.70	3,882	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.21
117	296.65	380.70	3,735	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.15
118	299.10	383.70	3,764	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.18
119	301.55	355.00	3,483	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.07
120	304.00	349.80	3,432	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.02

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
121	306.45	339.80	3,333	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.95
122	308.90	329.00	3,227	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.93
123	311.35	336.10	3,297	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
124	313.80	336.10	3,297	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
125	316.25	334.30	3,279	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.88
126	318.70	330.50	3,242	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
127	321.15	321.80	3,157	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.85
128	323.60	322.10	3,160	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.77
129	326.05	382.00	3,747	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.03
130	328.50	410.10	4,023	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.11
131	330.95	398.70	3,911	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.09
132	333.40	383.50	3,762	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.01
133	335.85	385.90	3,786	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.03
134	338.30	397.50	3,899	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.06
135	340.75	405.10	3,974	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.05
136	343.20	404.50	3,968	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.07
137	345.65	417.10	4,092	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.10
138	348.10	397.80	3,902	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.11	1.08
139	350.55	419.90	4,119	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.11
140	353.00	436.70	4,284	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.16
141	355.45	460.60	4,518	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.22
142	357.90	485.60	4,764	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.14	1.33
143	360.35	491.50	4,822	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.27
144	362.80	506.30	4,967	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.30
145	365.25	516.00	5,062	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.32
146	367.70	522.60	5,127	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.31
147	370.15	515.60	5,058	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.13	1.28
148	372.60	518.30	5,085	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.13	1.30
149	375.05	524.08	5,141	0.65	6.59	7.31	48.16	9.43	0.13	1.32
150	377.50	534.69	5,245	0.64	6.51	7.31	47.59	9.43	0.14	1.34

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
151	379.95	537.62	5,274	0.65	6.67	7.31	48.73	9.43	0.14	1.34
152	382.40	440.83	4,325	0.78	7.90	7.31	57.76	9.43	0.11	1.04
153	384.85	532.38	5,223	0.71	7.22	7.31	52.75	9.43	0.13	1.30
154	387.30	514.08	5,043	0.81	8.24	7.31	60.20	9.43	0.12	1.22
155	389.75	519.00	5,091	0.83	8.47	7.31	61.92	9.43	0.12	1.22
156	392.20	503.77	4,942	0.82	8.31	7.31	60.77	9.43	0.12	1.18
157	394.65	506.31	4,967	0.75	7.69	7.31	56.19	9.43	0.12	1.19
158	397.10	502.92	4,934	0.77	7.84	7.31	57.33	9.43	0.12	1.17
159	399.55	458.15	4,494	0.78	8.00	7.31	58.48	9.43	0.11	1.04
160	402.00	470.46	4,615	0.78	8.00	7.31	58.48	9.43	0.11	1.07
161	404.45	466.69	4,578	0.78	7.92	7.31	57.91	9.43	0.11	1.05
162	406.90	480.46	4,713	0.75	7.69	7.31	56.19	9.43	0.11	1.08
163	409.35	481.62	4,725	0.67	6.82	7.31	49.88	9.43	0.11	1.10
164	411.80	485.38	4,762	0.02	0.24	7.31	1.72	9.43	0.12	1.22
165	414.25	526.31	5,163	-	-	7.31	-	9.43	0.13	1.32
166	416.70	520.38	5,105	-	-	7.31	-	9.43	0.13	1.30
167	419.15	428.54	4,204	-	-	7.31	-	9.43	0.11	1.06
168	421.60	431.40	4,232	-	-	7.31	-	9.43	0.11	1.06

ค่าเฉลี่ย 0.1428 1.4008

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	12.45	165.50	1,624	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.90	8.85
2	14.90	195.50	1,918	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.91	8.97
3	17.35	232.10	2,277	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.96	9.45
4	19.80	243.40	2,388	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.86	8.48
5	22.25	254.60	2,498	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.82	8.07
6	24.70	251.60	2,468	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.76	7.46
7	27.15	264.40	2,594	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.74	7.28
8	29.60	209.50	2,055	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.54	5.27
9	32.05	193.70	1,900	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.44	4.35
10	34.50	205.30	2,014	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.40	3.94
11	36.95	194.20	1,905	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.30	2.95
12	39.40	203.60	1,997	1.20	12.24	7.31	89.44	9.43	0.31	3.01
13	41.85	210.80	2,068	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.33	3.20
14	44.30	211.40	2,074	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.31	3.04
15	46.75	207.20	2,033	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.30	2.95
16	49.20	206.90	2,030	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.27	2.64
17	51.65	171.40	1,681	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.23	2.25
18	54.10	164.70	1,616	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.21	2.02
19	56.55	183.40	1,799	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.22	2.14
20	59.00	179.40	1,760	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.22	2.11
21	61.45	172.60	1,693	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.19	1.91
22	63.90	185.00	1,815	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.20	1.92
23	66.35	203.10	1,992	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.21	2.02
24	68.80	193.10	1,894	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.18	1.79
25	71.25	205.60	2,017	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.18	1.81
26	73.70	204.70	2,008	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.18	1.73
27	76.15	198.90	1,951	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.70
28	78.60	204.50	2,006	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.18	1.72
29	81.05	211.50	2,075	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.18	1.76
30	83.50	208.80	2,048	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.17	1.67

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
31	85.95	207.10	2,032	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.69
32	88.40	206.80	2,029	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.64
33	90.85	194.30	1,906	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.14	1.37
34	93.30	188.60	1,850	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.36
35	95.75	183.70	1,802	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.13	1.27
36	98.20	205.80	2,019	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.13	1.31
37	100.65	200.20	1,964	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.14	1.38
38	103.10	210.70	2,067	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.15	1.45
39	105.55	217.70	2,136	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.14	1.41
40	108.00	222.30	2,181	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.15	1.42
41	110.45	223.90	2,196	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.14	1.41
42	112.90	198.40	1,946	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.21
43	115.35	182.10	1,786	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.04
44	117.80	168.50	1,653	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.96
45	120.25	174.30	1,710	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.93
46	122.70	170.10	1,669	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.94
47	125.15	174.50	1,712	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.96
48	127.60	192.80	1,891	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	1.03
49	130.05	186.20	1,827	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.01
50	132.50	208.50	2,045	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.10	0.99
51	134.95	192.70	1,890	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.97
52	137.40	185.10	1,816	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.89
53	139.85	196.10	1,924	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.90
54	142.30	189.70	1,861	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.09	0.84
55	144.75	192.20	1,885	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.09	0.90
56	147.20	215.10	2,110	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.10	0.94
57	149.65	222.50	2,183	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.08
58	152.10	211.40	2,074	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.04
59	154.55	209.20	2,052	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.01
60	157.00	213.70	2,096	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.02

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
61	159.45	216.80	2,127	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.07
62	161.90	220.80	2,166	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.08
63	164.35	237.90	2,334	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.11	1.08
64	166.80	253.50	2,487	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.16
65	169.25	260.80	2,558	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.19
66	171.70	265.50	2,605	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.20
67	174.15	279.50	2,742	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.12	1.22
68	176.60	266.50	2,614	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.12	1.17
69	179.05	251.30	2,465	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.11
70	181.50	260.10	2,552	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.15
71	183.95	249.50	2,448	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.12
72	186.40	251.40	2,466	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.07
73	188.85	222.70	2,185	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.98
74	191.30	210.80	2,068	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
75	193.75	203.50	1,996	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.77
76	196.20	210.20	2,062	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.80
77	198.65	218.80	2,146	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.79
78	201.10	220.80	2,166	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.80
79	203.55	228.50	2,242	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.79
80	206.00	233.10	2,287	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.08	0.80
81	208.45	236.80	2,323	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.77
82	210.90	239.80	2,352	1.10	11.22	7.31	81.99	9.43	0.08	0.78
83	213.35	230.30	2,259	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.80
84	215.80	234.20	2,298	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.08	0.81
85	218.25	232.40	2,280	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.82
86	220.70	245.40	2,407	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
87	223.15	247.60	2,429	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
88	225.60	259.10	2,542	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
89	228.05	252.00	2,472	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.91
90	230.50	251.50	2,467	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.93

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
91	232.95	255.80	2,509	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.94
92	235.40	293.90	2,883	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.04
93	237.85	280.80	2,755	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.00
94	240.30	268.80	2,637	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	1.00
95	242.75	292.30	2,867	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.03
96	245.20	280.20	2,749	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.11	1.03
97	247.65	308.80	3,029	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.11
98	250.10	345.90	3,393	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.22
99	252.55	320.20	3,141	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.10
100	255.00	344.80	3,382	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.22
101	257.45	393.70	3,862	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.14	1.41
102	259.90	382.80	3,755	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.14	1.41
103	262.35	358.60	3,518	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.13	1.30
104	264.80	367.60	3,606	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.12	1.21
105	267.25	354.70	3,480	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.18
106	269.70	329.60	3,233	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.07
107	272.15	316.90	3,109	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.98
108	274.60	324.90	3,187	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	1.01
109	277.05	320.90	3,148	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.01
110	279.50	319.80	3,137	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	1.02
111	281.95	314.50	3,085	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	1.00
112	284.40	293.70	2,881	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.10	0.94
113	286.85	299.20	2,935	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.92
114	289.30	334.50	3,281	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.10	0.96
115	291.75	323.20	3,171	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	0.99
116	294.20	337.70	3,313	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.04
117	296.65	349.50	3,429	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.11	1.10
118	299.10	370.60	3,636	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.13
119	301.55	391.60	3,842	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.20
120	304.00	368.20	3,612	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.08

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
121	306.45	347.50	3,409	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.00
122	308.90	335.70	3,293	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.95
123	311.35	341.00	3,345	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
124	313.80	356.80	3,500	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	1.01
125	316.25	348.00	3,414	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
126	318.70	242.10	2,375	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.64
127	321.15	231.50	2,271	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.58
128	323.60	232.20	2,278	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.58
129	326.05	217.70	2,136	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.55
130	328.50	227.60	2,233	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.56
131	330.95	222.10	2,179	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.05	0.53
132	333.40	221.30	2,171	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.06	0.55
133	335.85	221.90	2,177	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.05	0.53
134	338.30	245.50	2,408	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.06	0.59
135	340.75	248.80	2,441	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.58
136	343.20	259.80	2,549	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.61
137	345.65	263.60	2,586	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.06	0.61
138	348.10	286.20	2,808	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.70
139	350.55	279.30	2,740	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.07	0.67
140	353.00	273.50	2,683	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.67
141	355.45	295.60	2,900	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.73
142	357.90	310.50	3,046	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.08	0.79
143	360.35	319.50	3,134	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.08	0.81
144	362.80	343.80	3,373	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.81
145	365.25	350.40	3,437	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.85
146	367.70	361.30	3,544	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.85
147	370.15	358.90	3,521	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
148	372.60	375.80	3,687	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.88
149	375.05	363.40	3,565	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.86
150	377.50	382.50	3,752	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.89

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
151	379.95	393.80	3,863	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.92
152	382.40	413.30	4,054	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.98
153	384.85	439.60	4,312	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.05
154	387.30	453.50	4,449	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.08
155	389.75	464.10	4,553	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.10
156	392.20	461.10	4,523	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.11	1.07
157	394.65	423.80	4,157	0.40	4.08	7.31	29.81	9.43	0.11	1.04
158	397.10	468.70	4,598	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.09
159	399.55	474.00	4,650	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.11	1.12
160	402.00	465.20	4,564	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.07
161	404.45	454.20	4,456	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.11	1.07
162	406.90	459.40	4,507	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.04
163	409.35	494.60	4,852	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.12
164	411.80	523.70	5,137	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.19
165	414.25	509.70	5,000	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.12	1.17
166	416.70	507.30	4,977	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.12	1.14
167	419.15	503.90	4,943	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.11	1.12
168	421.60	512.00	5,023	1.00	10.20	7.31	74.53	9.43	0.11	1.08
169	424.05	306.00	3,002	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.07	0.64
170	426.50	347.70	3,411	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.08	0.74
171	428.95	377.80	3,706	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.08	0.77
172	431.40	431.70	4,235	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.90
173	433.85	424.00	4,159	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
174	436.30	425.60	4,175	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.89
175	438.75	456.10	4,474	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.10	0.94
176	441.20	469.70	4,608	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.10	1.00
177	443.65	467.80	4,589	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.10	0.97
178	446.10	448.30	4,398	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.92
179	448.55	433.80	4,256	0.80	8.16	7.31	59.63	9.43	0.09	0.87
180	451.00	430.20	4,220	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.09	0.87

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
181	453.45	426.60	4,185	0.60	6.12	7.31	44.72	9.43	0.09	0.88
182	455.90	404.60	3,969	-	-	7.31	-	9.43	0.09	0.92
183	458.35	432.20	4,240	-	-	7.31	-	9.43	0.10	0.98
184	460.80	440.90	4,325	-	-	7.31	-	9.43	0.10	1.00

ค่าเฉลี่ย 0.1260 1.2361

ภาคผนวก ข

ข้อมูลโครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 ของกรุงเทพมหานคร

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	10.90	307.18	3,013	0.79	8.06	7.31	58.88	9.43	2.42	23.70
2	12.50	259.13	2,542	0.71	7.27	7.31	53.11	9.43	1.75	17.15
3	14.80	182.00	1,785	0.61	6.19	7.31	45.22	9.43	0.98	9.62
4	17.80	227.60	2,233	0.63	6.39	7.31	46.71	9.43	1.08	10.57
5	20.80	214.93	2,108	0.63	6.46	7.31	47.20	9.43	0.86	8.39
6	23.80	204.40	2,005	0.53	5.44	7.31	39.75	9.43	0.73	7.20
7	26.80	204.93	2,010	0.59	5.98	7.31	43.73	9.43	0.64	6.26
8	29.80	208.93	2,050	0.49	5.03	7.31	36.77	9.43	0.61	6.01
9	32.80	223.13	2,189	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.55	5.42
10	35.80	221.27	2,171	0.53	5.37	7.31	39.25	9.43	0.54	5.29
11	38.80	209.93	2,059	0.53	5.44	7.31	39.75	9.43	0.47	4.56
12	41.80	217.00	2,129	0.49	4.96	7.31	36.27	9.43	0.46	4.50
13	44.80	234.07	2,296	0.72	7.34	7.31	53.66	9.43	0.43	4.19
14	47.80	219.07	2,149	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.38	3.73
15	50.80	218.07	2,139	0.73	7.48	7.31	54.66	9.43	0.34	3.35
16	53.80	193.53	1,899	0.43	4.42	7.31	32.30	9.43	0.32	3.12
17	56.80	201.13	1,973	0.47	4.76	7.31	34.78	9.43	0.31	3.05
18	59.80	193.40	1,897	0.43	4.35	7.31	31.80	9.43	0.29	2.81
19	62.80	188.60	1,850	0.37	3.81	7.31	27.83	9.43	0.27	2.66
20	65.80	213.33	2,093	0.41	4.21	7.31	30.81	9.43	0.29	2.89
21	68.80	205.20	2,013	0.41	4.15	7.31	30.31	9.43	0.27	2.64
22	71.80	215.33	2,112	0.43	4.42	7.31	32.30	9.43	0.27	2.65
23	74.80	246.60	2,419	0.59	6.05	7.31	44.22	9.43	0.29	2.82
24	77.80	250.47	2,457	0.46	4.69	7.31	34.29	9.43	0.29	2.89
25	80.80	264.93	2,599	0.45	4.55	7.31	33.29	9.43	0.30	2.98
26	83.80	284.07	2,787	0.31	3.20	7.31	23.35	9.43	0.33	3.24
27	86.80	274.67	2,694	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.31	3.02
28	89.80	277.00	2,717	0.37	3.74	7.31	27.33	9.43	0.29	2.89
29	92.80	285.53	2,801	0.29	2.92	7.31	21.37	9.43	0.30	2.96
30	95.80	308.47	3,026	0.53	5.37	7.31	39.25	9.43	0.30	2.92

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
31	98.80	324.27	3,181	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.31	3.02
32	101.80	326.80	3,206	0.47	4.83	7.31	35.28	9.43	0.30	2.98
33	104.80	339.67	3,332	0.25	2.58	7.31	18.88	9.43	0.32	3.18
34	107.80	306.33	3,005	0.33	3.40	7.31	24.84	9.43	0.28	2.72
35	110.80	235.73	2,313	0.33	3.33	7.31	24.35	9.43	0.20	1.98
36	113.80	221.13	2,169	0.31	3.20	7.31	23.35	9.43	0.18	1.81
37	116.80	212.47	2,084	0.37	3.74	7.31	27.33	9.43	0.17	1.65
38	119.80	267.07	2,620	0.68	6.93	7.31	50.68	9.43	0.19	1.88
39	122.80	249.33	2,446	0.51	5.17	7.31	37.76	9.43	0.18	1.79
40	125.80	264.87	2,598	0.53	5.37	7.31	39.25	9.43	0.19	1.87
41	128.80	252.47	2,477	0.55	5.57	7.31	40.75	9.43	0.17	1.71
42	131.80	234.73	2,303	0.27	2.72	7.31	19.88	9.43	0.17	1.70
43	134.80	265.27	2,602	0.45	4.55	7.31	33.29	9.43	0.18	1.79
44	137.80	282.13	2,768	0.64	6.49	7.31	47.40	9.43	0.18	1.77
45	140.80	281.73	2,764	0.32	3.26	7.31	23.85	9.43	0.19	1.91
46	143.80	268.87	2,638	0.29	2.99	7.31	21.86	9.43	0.18	1.79
47	146.80	283.27	2,779	0.45	4.62	7.31	33.79	9.43	0.18	1.77
48	149.80	282.53	2,772	0.58	5.91	7.31	43.23	9.43	0.17	1.66
49	152.80	260.33	2,554	0.29	2.99	7.31	21.86	9.43	0.17	1.62
50	155.80	266.67	2,616	0.21	2.11	7.31	15.40	9.43	0.17	1.68
51	158.80	284.27	2,789	0.26	2.65	7.31	19.38	9.43	0.18	1.74
52	161.80	303.00	2,972	0.48	4.89	7.31	35.78	9.43	0.18	1.72
53	164.80	314.33	3,084	0.41	4.21	7.31	30.81	9.43	0.18	1.79
54	167.80	303.73	2,980	0.52	5.30	7.31	38.76	9.43	0.17	1.64
55	170.80	336.87	3,305	0.25	2.58	7.31	18.88	9.43	0.20	1.94
56	173.80	343.53	3,370	0.19	1.90	7.31	13.91	9.43	0.20	1.97
57	176.80	332.13	3,258	0.20	2.04	7.31	14.91	9.43	0.19	1.87
58	179.80	331.87	3,256	0.23	2.31	7.31	16.89	9.43	0.19	1.82
59	182.80	326.00	3,198	0.23	2.31	7.31	16.89	9.43	0.18	1.76
60	185.80	351.53	3,449	0.53	5.37	7.31	39.25	9.43	0.18	1.75

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	188.80	431.33	4,231	1.29	13.19	7.31	96.40	9.43	0.19	1.85
62	191.80	520.13	5,103	2.74	27.94	7.31	204.22	9.43	0.17	1.71
63	194.80	529.40	5,193	2.79	28.48	7.31	208.20	9.43	0.17	1.72
64	197.80	530.00	5,199	3.12	31.82	7.31	232.55	9.43	0.16	1.56
65	200.80	483.27	4,741	2.94	29.98	7.31	219.13	9.43	0.14	1.37
66	203.80	520.13	5,103	3.00	30.59	7.31	223.60	9.43	0.15	1.51
67	206.80	495.33	4,859	1.63	16.59	7.31	121.24	9.43	0.19	1.88
68	209.80	471.67	4,627	1.21	12.37	7.31	90.43	9.43	0.19	1.89
69	212.80	457.07	4,484	1.46	14.89	7.31	108.82	9.43	0.17	1.70
70	215.80	370.67	3,636	0.45	4.55	7.31	33.29	9.43	0.17	1.63
71	218.80	377.40	3,702	0.00	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.79
72	221.80	395.60	3,881	0.00	0.00	7.31	0.00	9.43	0.19	1.86
73	224.20	430.33	4,222	0.00	0.00	7.31	0.00	9.43	0.20	2.00

ค่าเฉลี่ย 0.3410 3.3457

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	10.50	165	1,619	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	1.18	11.62
2	13.00	170	1,668	0.73	7.44	7.31	54.41	9.43	0.94	9.25
3	15.50	185	1,815	0.46	4.69	7.31	34.29	9.43	1.03	10.12
4	18.00	186	1,825	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.91	8.90
5	20.50	236	2,315	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	1.08	10.58
6	23.00	260	2,551	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	1.04	10.24
7	25.50	260	2,551	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.95	9.36
8	28.00	244	2,394	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.81	7.93
9	30.50	208	2,040	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.61	6.00
10	33.00	244	2,394	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.64	6.31
11	35.50	244	2,394	0.46	4.69	7.31	34.29	9.43	0.63	6.15
12	38.00	236	2,315	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.59	5.83
13	40.50	240	2,354	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.57	5.59
14	43.00	280	2,747	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.62	6.11
15	45.50	272	2,668	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.58	5.73
16	48.00	265	2,600	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.50	4.89
17	50.50	297	2,914	1.29	13.15	7.31	96.15	9.43	0.42	4.14
18	53.00	276	2,708	0.71	7.24	7.31	52.92	9.43	0.45	4.38
19	55.50	298	2,923	0.61	6.22	7.31	45.47	9.43	0.48	4.73
20	58.00	280	2,747	0.63	6.42	7.31	46.96	9.43	0.43	4.18
21	60.50	296	2,904	0.36	3.67	7.31	26.83	9.43	0.47	4.63
22	63.00	296	2,904	0.63	6.42	7.31	46.96	9.43	0.42	4.11
23	65.50	300	2,943	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.42	4.14
24	68.00	276	2,708	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.36	3.55
25	70.50	280	2,747	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.37	3.59
26	73.00	207	2,031	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.24	2.39
27	75.50	265	2,600	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.32	3.15
28	78.00	240	2,354	0.72	7.34	7.31	53.66	9.43	0.25	2.49
29	80.50	260	2,551	0.46	4.69	7.31	34.29	9.43	0.30	2.92
30	83.00	250	2,453	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.28	2.79

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _r (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
31	85.50	265	2,600	0.68	6.93	7.31	50.68	9.43	0.27	2.61
32	88.00	272	2,668	0.51	5.20	7.31	38.01	9.43	0.28	2.77
33	90.50	276	2,708	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.28	2.72
34	93.00	300	2,943	0.55	5.61	7.31	40.99	9.43	0.30	2.90
35	95.50	288	2,825	0.27	2.75	7.31	20.12	9.43	0.30	2.92
36	98.00	288	2,825	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.26	2.55
37	100.50	296	2,904	0.32	3.26	7.31	23.85	9.43	0.29	2.82
38	103.00	280	2,747	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.27	2.61
39	105.50	285	2,796	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.25	2.48
40	108.00	265	2,600	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.21	2.09
41	110.50	250	2,453	0.32	3.26	7.31	23.85	9.43	0.22	2.13
42	113.00	260	2,551	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.22	2.19
43	115.50	250	2,453	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.20	1.95
44	118.00	240	2,354	0.58	5.91	7.31	43.23	9.43	0.18	1.74
45	120.50	262	2,570	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.17	1.68
46	123.00	268	2,629	0.21	2.14	7.31	15.65	9.43	0.22	2.13
47	125.50	300	2,943	1.29	13.15	7.31	96.15	9.43	0.17	1.69
48	128.00	286	2,806	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.22	2.15
49	130.50	299	2,933	0.48	4.89	7.31	35.78	9.43	0.21	2.10
50	133.00	326	3,198	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.24	2.31
51	135.50	283	2,776	0.52	5.30	7.31	38.76	9.43	0.19	1.88
52	138.00	330	3,237	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.24	2.35
53	140.50	380	3,728	0.19	1.94	7.31	14.16	9.43	0.28	2.71
54	143.00	360	3,532	0.20	2.04	7.31	14.91	9.43	0.26	2.51
55	145.50	370	3,630	0.23	2.35	7.31	17.14	9.43	0.26	2.52
56	148.00	365	3,581	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.23	2.29
57	150.50	360	3,532	1.26	12.85	7.31	93.91	9.43	0.19	1.84
58	153.00	370	3,630	1.35	13.77	7.31	100.62	9.43	0.19	1.83
59	155.50	380	3,728	1.43	14.58	7.31	106.58	9.43	0.19	1.83
60	158.00	372	3,649	1.46	14.89	7.31	108.82	9.43	0.18	1.73

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	160.50	380	3,728	2.29	23.35	7.31	170.68	9.43	0.14	1.36
62	163.00	384	3,767	2.04	20.80	7.31	152.05	9.43	0.15	1.48
63	165.50	387	3,796	1.21	12.34	7.31	90.19	9.43	0.19	1.87
64	168.00	380	3,728	1.63	16.62	7.31	121.49	9.43	0.16	1.60
65	169.65	380	3,728	3.00	30.59	7.31	223.60	9.43	0.10	0.96
66	172.15	380	3,728	1.12	11.42	7.31	83.48	9.43	0.18	1.79
67	174.65	350	3,434	0.14	1.43	7.31	10.43	9.43	0.21	2.02
68	177.15	354	3,473	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.19	1.89
69	179.15	340	3,335	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.18	1.77
70	182.15	345	3,384	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.18	1.72
71	184.65	330	3,237	0.46	4.69	7.31	34.29	9.43	0.17	1.67
72	187.15	350	3,434	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.18	1.76
73	189.65	365	3,581	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.19	1.88
74	192.15	375	3,679	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.19	1.91
75	194.65	360	3,532	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.18	1.78
76	197.15	372	3,649	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.19	1.85
77	199.65	362	3,551	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.17	1.68
78	202.15	374	3,669	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.18	1.73
79	204.65	350	3,434	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.16	1.60
80	207.15	367	3,600	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.18	1.75
81	209.65	360	3,532	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.17	1.66
82	212.15	372	3,649	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.17	1.70
83	214.65	370	3,630	0.13	1.33	7.31	9.69	9.43	0.18	1.75
84	217.16	365	3,581	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.16	1.56
85	219.65	345	3,384	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.15	1.45
86	222.15	396	3,885	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.17	1.68
87	224.65	390	3,826	0.72	7.34	7.31	53.66	9.43	0.16	1.56
88	227.15	304	2,982	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.12	1.17
89	229.65	356	3,492	0.73	7.44	7.31	54.41	9.43	0.14	1.37
90	232.15	328	3,218	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.14	1.33

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
91	234.65	398	3,904	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.16	1.61
92	237.15	392	3,846	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.16	1.58
93	239.65	370	3,630	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.15	1.47
94	242.15	380	3,728	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.15	1.51
95	244.65	378	3,708	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.15	1.48
96	247.15	420	4,120	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.16	1.58
97	249.65	415	4,071	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.16	1.57
98	252.15	430	4,218	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.17	1.63
99	154.65	490	4,807	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.32	3.17
100	257.15	470	4,611	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.18	1.80
101	259.65	480	4,709	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.19	1.82
102	262.15	460	4,513	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.18	1.73
103	264.65	424	4,159	1.68	17.13	7.31	125.22	9.43	0.12	1.17
104	267.16	469	4,601	0.51	5.20	7.31	38.01	9.43	0.17	1.68
105	269.65	476	4,670	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.17	1.68
106	272.15	494	4,846	0.55	5.61	7.31	40.99	9.43	0.18	1.73
107	274.65	476	4,670	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.17	1.70
108	277.15	528	5,180	0.45	5	7.31	33.54	9.43	0.19	1.86
109	279.65	414	4,061	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.15	1.46
110	282.15	494	4,846	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.18	1.74
111	284.65	545	5,346	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.19	1.89
112	287.15	570	5,592	0.36	3.67	7.31	26.83	9.43	0.20	1.97
113	289.65	560	5,494	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.20	1.92
114	292.15	580	5,690	0.68	6.93	7.31	50.68	9.43	0.19	1.89
115	294.65	576	5,651	0.51	5.20	7.31	38.01	9.43	0.19	1.90
116	297.15	565	5,543	0.52	5.30	7.31	38.76	9.43	0.19	1.84
117	299.65	560	5,494	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.18	1.78
118	302.15	570	5,592	0.73	7.44	7.31	54.41	9.43	0.18	1.78
119	304.65	563	5,523	0.26	2.65	7.31	19.38	9.43	0.19	1.86
120	307.15	567	5,562	0.48	4.89	7.31	35.78	9.43	0.18	1.80

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
121	309.65	550	5,396	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.18	1.75
122	312.15	540	5,297	0.52	5.30	7.31	38.76	9.43	0.17	1.67
123	314.65	570	5,592	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.19	1.82
124	317.15	565	5,543	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.19	1.85
125	320.15	545	5,346	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.77
126	323.15	550	5,396	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.77
127	326.15	563	5,523	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.80
128	327.65	550	5,396	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.75
129	329.15	560	5,494	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.77

ค่าเฉลี่ย 0.2858 2.8036

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _r (bar)	P _i (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _i (t/m ²)	F _i (kN/m ²)
1	12.00	190	1,864	1.90	19.38	7.31	141.61	9.43	0.43	4.20
2	14.50	195	1,913	1.90	19.38	7.31	141.61	9.43	0.39	3.83
3	17.00	194	1,903	1.63	16.62	7.31	121.49	9.43	0.45	4.44
4	19.50	182	1,785	1.21	12.34	7.31	90.19	9.43	0.50	4.90
5	22.00	175	1,717	1.46	14.89	7.31	108.82	9.43	0.32	3.13
6	24.50	174	1,707	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.61	5.96
7	27.00	186	1,825	1.29	13.15	7.31	96.15	9.43	0.35	3.46
8	29.50	176	1,727	0.71	7.24	7.31	52.92	9.43	0.44	4.34
9	32.00	185	1,815	0.61	6.22	7.31	45.47	9.43	0.46	4.54
10	34.50	188	1,844	0.63	6.42	7.31	46.96	9.43	0.43	4.25
11	37.00	184	1,805	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.41	4.06
12	39.50	156	1,530	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.32	3.15
13	42.00	188	1,844	0.70	7.14	7.31	52.17	9.43	0.34	3.36
14	44.50	192	1,884	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.36	3.57
15	47.00	177	1,736	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.31	3.04
16	49.50	180	1,766	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.32	3.14
17	52.00	182	1,785	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.31	3.03
18	54.50	200	1,962	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.33	3.21
19	57.00	220	2,158	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.33	3.21
20	59.50	230	2,256	0.46	4.69	7.31	34.29	9.43	0.35	3.42
21	62.00	220	2,158	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.32	3.13
22	64.50	235	2,305	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.35	3.42
23	67.00	220	2,158	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.31	3.07
24	69.50	240	2,354	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.32	3.18
25	72.00	252	2,472	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.34	3.33
26	74.50	252	2,472	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.30	2.97
27	77.00	244	2,394	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.28	2.76
28	79.50	258	2,531	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.29	2.89
29	82.00	290	2,845	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.33	3.24
30	84.50	260	2,551	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.30	2.97

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
31	87.00	275	2,698	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.31	2.99
32	89.50	290	2,845	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.31	3.09
33	92.00	258	2,531	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.25	2.47
34	94.50	260	2,551	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.27	2.61
35	97.00	296	2,904	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.30	2.94
36	99.50	304	2,982	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.29	2.84
37	102.00	295	2,894	0.51	5.20	7.31	38.01	9.43	0.27	2.62
38	104.50	296	2,904	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.26	2.60
39	107.00	284	2,786	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.24	2.38
40	109.50	302	2,963	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.26	2.52
41	112.00	276	2,708	0.72	7.34	7.31	53.66	9.43	0.21	2.07
42	114.50	284	2,786	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.22	2.15
43	117.00	264	2,590	0.73	7.44	7.31	54.41	9.43	0.19	1.86
44	119.50	295	2,894	0.74	7.55	7.31	55.16	9.43	0.21	2.09
45	122.00	320	3,139	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.25	2.46
46	124.50	315	3,090	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.24	2.40
47	127.00	340	3,335	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.26	2.54
48	129.50	360	3,532	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.27	2.65
49	132.00	345	3,384	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.25	2.41
50	134.50	376	3,689	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.27	2.62
51	137.00	328	3,218	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.23	2.22
52	139.50	316	3,100	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.23	2.22
53	142.00	376	3,689	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.26	2.57
54	144.50	386	3,787	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.27	2.60
55	147.00	360	3,532	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.24	2.38
56	149.50	356	3,492	0.34	3.47	7.31	25.34	9.43	0.23	2.30
57	152.00	328	3,218	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.21	2.06
58	154.50	360	3,532	0.68	6.93	7.31	50.68	9.43	0.21	2.08
59	157.00	350	3,434	0.51	5.20	7.31	38.01	9.43	0.21	2.07
60	159.50	350	3,434	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.21	2.03

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
61	162.00	340	3,335	0.55	5.61	7.31	40.99	9.43	0.20	1.92
62	164.50	330	3,237	0.27	2.75	7.31	20.12	9.43	0.20	1.96
63	167.00	335	3,286	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.19	1.88
64	169.50	352	3,453	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.19	1.87
65	172.00	376	3,689	0.32	3.26	7.31	23.85	9.43	0.22	2.13
66	174.50	360	3,532	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.21	2.02
67	177.00	352	3,453	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.19	1.87
68	179.50	310	3,041	0.58	5.91	7.31	43.23	9.43	0.16	1.55
69	182.00	320	3,139	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.17	1.71
70	184.50	330	3,237	0.21	2.14	7.31	15.65	9.43	0.18	1.77
71	187.00	330	3,237	0.26	2.65	7.31	19.38	9.43	0.18	1.73
72	189.50	324	3,178	0.48	4.89	7.31	35.78	9.43	0.16	1.58
73	192.00	340	3,335	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.17	1.66
74	194.50	386	3,787	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.19	1.90
75	197.00	384	3,767	0.52	5.30	7.31	38.76	9.43	0.19	1.82
76	199.50	376	3,689	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.19	1.86
77	202.00	350	3,434	0.13	1.33	7.31	9.69	9.43	0.18	1.75
78	204.50	350	3,434	0.19	1.94	7.31	14.16	9.43	0.17	1.71
79	207.00	350	3,434	0.20	2.04	7.31	14.91	9.43	0.17	1.68
80	209.50	350	3,434	0.23	2.35	7.31	17.14	9.43	0.17	1.65
81	212.00	380	3,728	0.23	2.35	7.31	17.14	9.43	0.18	1.78
82	214.50	350	3,434	0.23	2.35	7.31	17.14	9.43	0.16	1.61
83	217.00	355	3,483	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.15	1.51
84	219.50	370	3,630	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.16	1.59
85	222.00	408	4,002	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.18	1.74
86	224.50	444	4,356	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.20	1.92
87	227.00	336	3,296	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.14	1.40
88	229.50	360	3,532	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.15	1.49
89	232.00	376	3,689	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.15	1.49
90	234.50	350	3,434	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.14	1.40

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _r (t/m ²)	F _r (kN/m ²)
91	237.00	430	4,218	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.18	1.79
92	239.50	445	4,365	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.19	1.84
93	242.00	435	4,267	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.18	1.75
94	244.50	430	4,218	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.18	1.74
95	247.00	420	4,120	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.16	1.60
96	249.50	440	4,316	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.17	1.69
97	252.00	440	4,316	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.17	1.72
98	254.50	425	4,169	0.63	6.42	7.31	46.96	9.43	0.16	1.55
99	257.00	435	4,267	0.63	6.42	7.31	46.96	9.43	0.16	1.57
100	259.50	416	4,081	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.15	1.49
101	262.00	476	4,670	1.29	13.15	7.31	96.15	9.43	0.15	1.51
102	264.50	384	3,767	0.67	6.83	7.31	49.94	9.43	0.13	1.31
103	267.00	432	4,238	0.72	7.34	7.31	53.66	9.43	0.15	1.47
104	269.50	428	4,199	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.15	1.50
105	272.00	472	4,630	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.17	1.67
106	274.50	470	4,611	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.17	1.68
107	277.00	440	4,316	0.48	4.89	7.31	35.78	9.43	0.15	1.52
108	279.50	450	4,415	0.41	4	7.31	30.56	9.43	0.16	1.56
109	282.00	440	4,316	0.52	5.30	7.31	38.76	9.43	0.15	1.48
110	284.50	465	4,562	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.17	1.62
111	287.00	495	4,856	0.19	1.94	7.31	14.16	9.43	0.18	1.74
112	289.50	472	4,630	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.17	1.70
113	292.00	472	4,630	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.17	1.68
114	294.50	496	4,866	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.75
115	297.50	485	4,758	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.17	1.70

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
116	298.50	520	5,101	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.18	1.81

ค่าเฉลี่ย 0.2412 2.3657

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
10	36.20	191.85	1,882	0.65	6.67	7.31	48.73	9.43	0.42	4.11
11	38.70	198.62	1,948	0.63	6.43	7.31	47.01	9.43	0.42	4.08
12	41.20	196.46	1,927	0.75	7.61	7.31	55.61	9.43	0.36	3.56
13	43.70	228.92	2,246	0.92	9.33	7.31	68.23	9.43	0.39	3.83
14	46.20	205.08	2,012	0.90	9.18	7.31	67.08	9.43	0.32	3.11
15	48.70	202.23	1,984	0.97	9.88	7.31	72.24	9.43	0.28	2.78
16	51.20	193.15	1,895	0.88	8.94	7.31	65.36	9.43	0.26	2.60
17	53.70	181.38	1,779	0.95	9.65	7.31	70.52	9.43	0.22	2.15
18	56.20	161.69	1,586	0.87	8.86	7.31	64.79	9.43	0.18	1.79
19	58.70	174.46	1,711	0.98	9.96	7.31	72.81	9.43	0.18	1.80
20	61.20	163.54	1,604	0.75	7.69	7.31	56.19	9.43	0.19	1.83
21	63.70	154.38	1,515	0.51	5.18	7.31	37.84	9.43	0.19	1.90
22	66.20	183.92	1,804	0.66	6.75	7.31	49.31	9.43	0.22	2.12
23	68.70	207.54	2,036	0.92	9.41	7.31	68.80	9.43	0.21	2.10
24	71.20	200.38	1,966	0.87	8.86	7.31	64.79	9.43	0.20	1.98
25	73.70	209.15	2,052	0.95	9.73	7.31	71.09	9.43	0.20	1.95
26	76.20	215.38	2,113	0.98	10.04	7.31	73.39	9.43	0.20	1.94
27	78.70	198.54	1,948	0.86	8.79	7.31	64.21	9.43	0.18	1.78
28	81.20	118.00	1,158	0.65	6.63	7.31	48.45	9.43	0.09	0.89

ค่าเฉลี่ย 0.2483 2.4358

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	24.00	256	2,511	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.96	9.39
2	26.50	204	2,001	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.69	6.81
8	29.00	230	2,256	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.72	7.10
9	31.50	240	2,354	0.59	6.02	7.31	43.98	9.43	0.66	6.47
10	34.00	260	2,551	0.46	4.69	7.31	34.29	9.43	0.70	6.91
11	36.50	264	2,590	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.67	6.57
12	39.00	265	2,600	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.66	6.45
13	41.50	260	2,551	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.61	5.96
14	44.00	270	2,649	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.58	5.73
15	46.50	260	2,551	0.29	2.96	7.31	21.61	9.43	0.54	5.33
16	49.00	304	2,982	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.57	5.62
17	51.50	320	3,139	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.58	5.67
18	54.00	308	3,021	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.54	5.26
19	56.50	304	2,982	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.54	5.26
20	59.00	224	2,197	0.30	3.06	7.31	22.36	9.43	0.36	3.56
21	61.50	300	2,943	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.47	4.66
22	64.00	250	2,453	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.38	3.69
23	66.50	240	2,354	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.34	3.32
24	69.00	250	2,453	0.68	6.93	7.31	50.68	9.43	0.31	3.01
25	71.50	240	2,354	0.51	5.20	7.31	38.01	9.43	0.30	2.94
26	74.00	260	2,551	0.55	5.61	7.31	40.99	9.43	0.31	3.08
27	76.50	240	2,354	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.28	2.73
28	79.00	240	2,354	0.49	5.00	7.31	36.52	9.43	0.27	2.68
29	81.50	250	2,453	0.72	7.34	7.31	53.66	9.43	0.26	2.51
30	84.00	240	2,354	0.64	6.53	7.31	47.70	9.43	0.24	2.38
31	86.50	235	2,305	0.73	7.44	7.31	54.41	9.43	0.22	2.17
32	89.00	240	2,354	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.25	2.43
33	91.50	270	2,649	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.27	2.67
34	94.00	270	2,649	0.43	4.38	7.31	32.05	9.43	0.27	2.63
35	96.50	240	2,354	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.23	2.29

Q.Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
36	99.00	240	2,354	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.22	2.20
37	101.50	245	2,403	0.50	5.10	7.31	37.27	9.43	0.22	2.13
38	104.00	255	2,502	0.47	4.79	7.31	35.03	9.43	0.22	2.20
39	106.50	280	2,747	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.26	2.55
40	109.00	280	2,747	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.25	2.44
41	111.50	290	2,845	0.33	3.37	7.31	24.60	9.43	0.25	2.48
41	113.50	286	2,806	0.31	3.16	7.31	23.11	9.43	0.25	2.41
42	116.00	230	2,256	0.37	3.77	7.31	27.58	9.43	0.19	1.82
43	118.50	252	2,472	0.66	6.73	7.31	49.19	9.43	0.18	1.78
44	121.00	286	2,806	0.51	5.20	7.31	38.01	9.43	0.22	2.13
45	123.50	240	2,354	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.17	1.69
46	126.00	245	2,403	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.17	1.70
47	128.50	240	2,354	1.29	13.15	7.31	96.15	9.43	0.12	1.16
48	131.00	230	2,256	2.74	27.94	7.31	204.22	9.43	0.02	0.20
49	133.50	220	2,158	3.12	31.82	7.31	232.55	9.43	-0.01	-0.10
50	136.00	230	2,256	2.94	29.98	7.31	219.13	9.43	0.01	0.08
51	138.50	240	2,354	3.00	30.59	7.31	223.60	9.43	0.01	0.12
52	141.00	240	2,354	1.63	16.62	7.31	121.49	9.43	0.09	0.87
53	143.50	296	2,904	1.21	12.36	7.31	90.34	9.43	0.15	1.49
54	146.00	286	2,806	1.46	14.89	7.31	108.82	9.43	0.13	1.26
55	148.50	296	2,904	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.19	1.84
56	151.00	320	3,139	0.21	2.14	7.31	15.65	9.43	0.21	2.10
57	153.50	340	3,335	0.26	2.65	7.31	19.38	9.43	0.22	2.17
58	156.00	296	2,904	0.48	4.89	7.31	35.78	9.43	0.18	1.74
59	158.50	290	2,845	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.17	1.70
60	161.00	280	2,747	0.52	5.30	7.31	38.76	9.43	0.16	1.56
61	163.50	280	2,747	0.41	4.18	7.31	30.56	9.43	0.16	1.59
62	166.00	280	2,747	0.25	2.55	7.31	18.63	9.43	0.17	1.64
63	168.50	270	2,649	0.19	1.94	7.31	14.16	9.43	0.16	1.58
64	171.00	265	2,600	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.14	1.37

Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
65	173.00	286	2,806	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.15	1.48
66	176.00	260	2,551	1.29	13.15	7.31	96.15	9.43	0.10	0.97
67	178.50	240	2,354	2.47	25.19	7.31	184.10	9.43	0.03	0.33
68	181.00	240	2,354	2.79	28.45	7.31	207.95	9.43	0.02	0.18
69	183.50	240	2,354	3.12	31.82	7.31	232.55	9.43	0.00	0.04
70	186.00	250	2,453	2.94	29.98	7.31	219.13	9.43	0.02	0.17
72	190.00	280	2,747	3.00	30.59	7.31	223.60	9.43	0.03	0.31
73	192.50	302	2,963	1.63	16.62	7.31	121.49	9.43	0.10	0.98
74	195.00	520	5,101	1.21	12.36	7.31	90.34	9.43	0.23	2.29
75	197.50	286	2,806	1.46	14.89	7.31	108.82	9.43	0.10	0.93
76	200.00	295	2,894	0.45	4.59	7.31	33.54	9.43	0.14	1.36
77	202.50	295	2,894	0.53	5.40	7.31	39.50	9.43	0.13	1.31
78	205.00	300	2,943	0.55	5.61	7.31	40.99	9.43	0.13	1.31
79	207.50	320	3,139	0.27	2.75	7.31	20.12	9.43	0.15	1.50
80	210.00	327	3,208	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.17	1.62
81	212.50	290	2,845	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.14	1.42
82	215.00	250	2,453	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.12	1.21
83	217.50	262	2,570	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.13	1.25
84	220.00	235	2,305	-	0.00	7.31	0.00	9.43	0.11	1.11

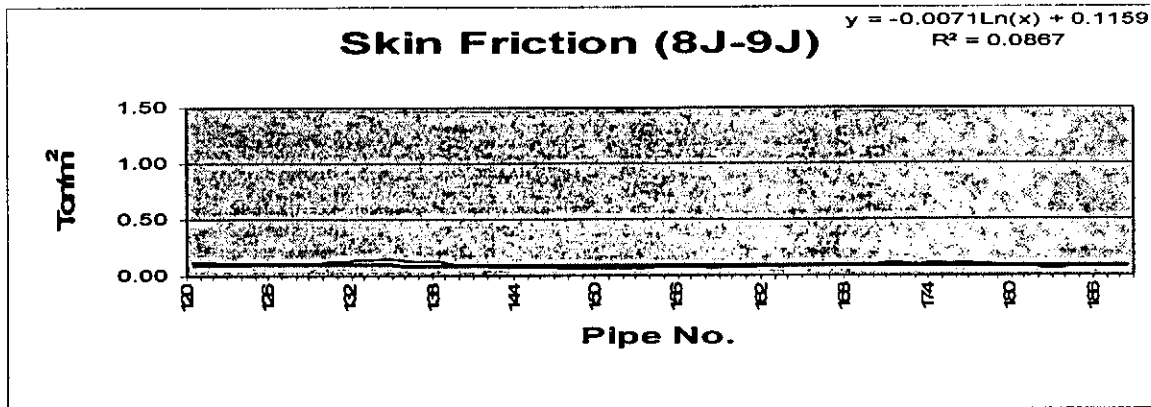
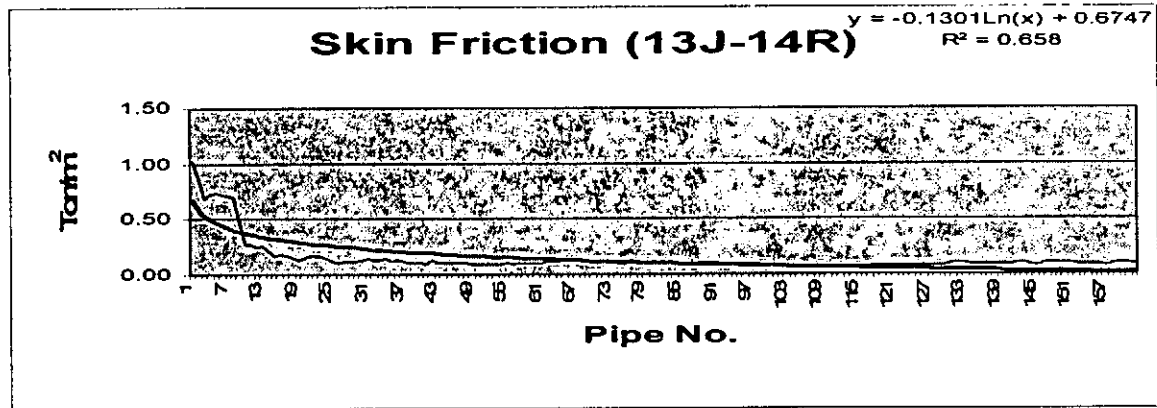
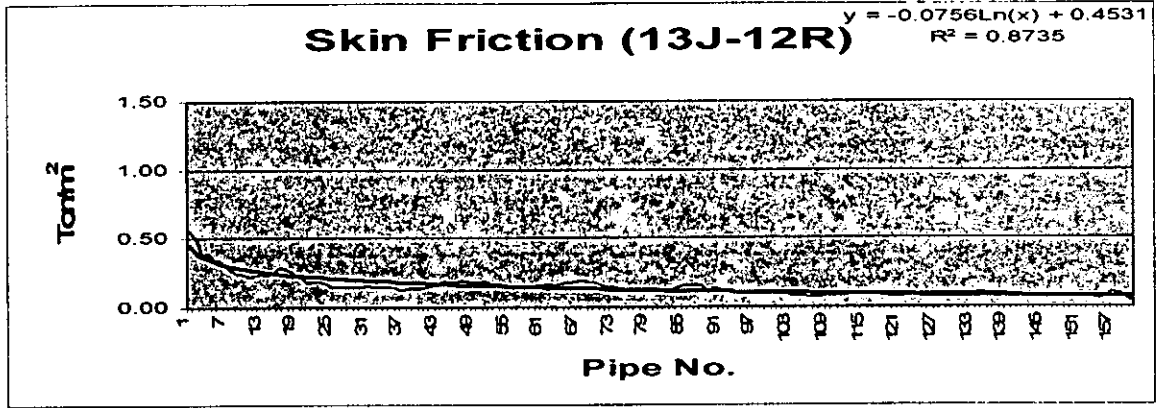
ค่าเฉลี่ย 0.2619 2.5693

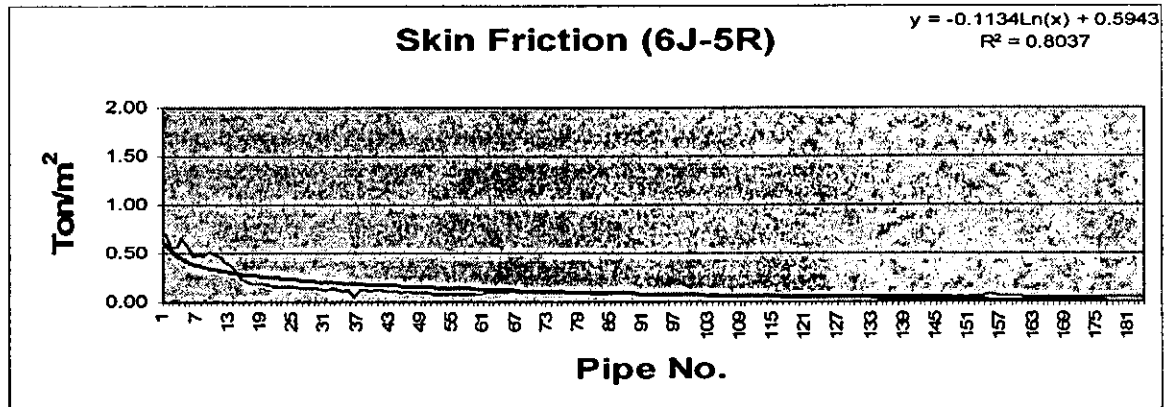
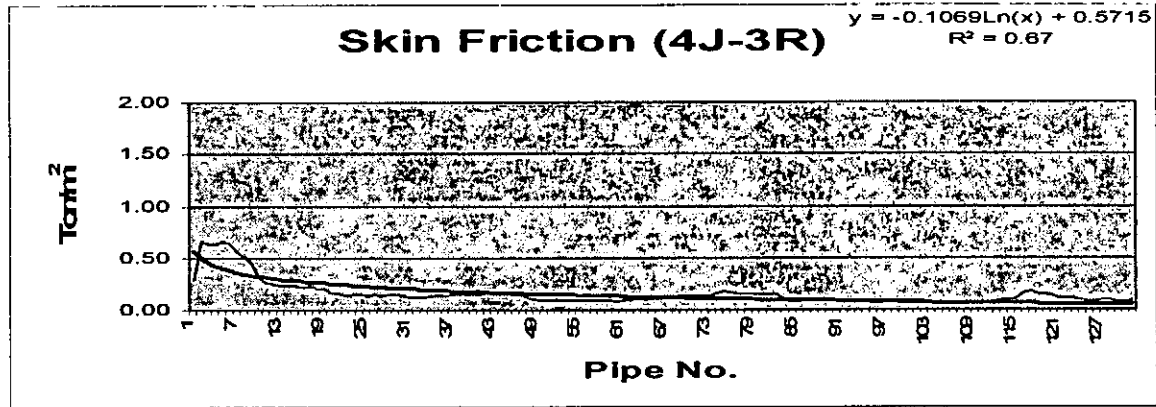
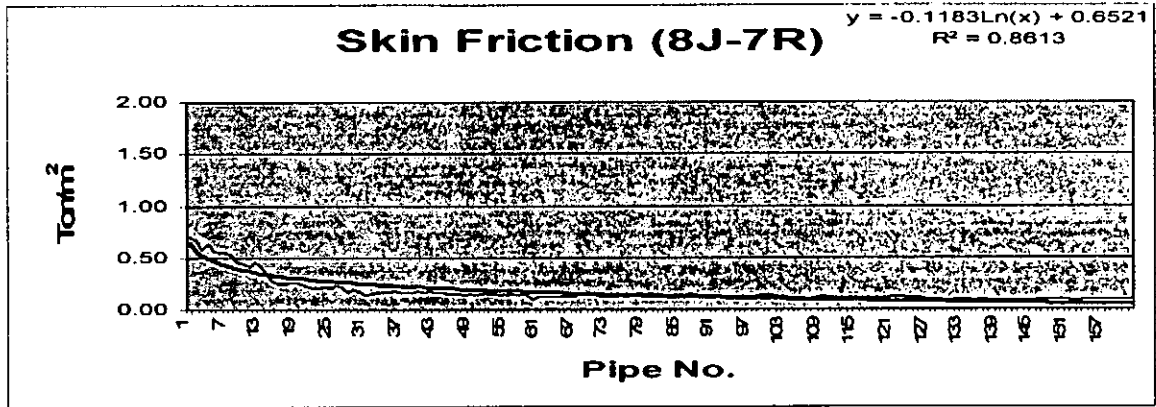
Q,Ty (Pipe)	L (m)	F (t)	F (kN)	P _f (bar)	P _f (t/m ²)	A (m ²)	F _p (t)	D _p (m)	F _f (t/m ²)	F _f (kN/m ²)
1	31.3	244.33	2,397	1.56	15.89	7.31	116.15	9.43	0.43	4.26
2	33.8	250.00	2,453	1.58	16.15	7.31	118.01	9.43	0.41	4.06
3	42.3	270.00	2,649	2.05	20.90	7.31	152.79	9.43	0.29	2.88
4	43.8	245.85	2,412	2.13	21.73	7.31	158.82	9.43	0.21	2.07
5	46.3	256.67	2,518	1.93	19.72	7.31	144.10	9.43	0.26	2.53
6	48.8	282.46	2,771	1.68	17.18	7.31	125.56	9.43	0.34	3.35
7	51.3	345.67	3,391	2.40	24.47	7.31	178.88	9.43	0.34	3.38
8	53.8	327.69	3,215	2.38	24.32	7.31	177.74	9.43	0.30	2.90
9	56.3	284.00	2,786	2.39	24.39	7.31	178.26	9.43	0.20	1.95
10	58.8	207.38	2,034	1.77	18.04	7.31	131.87	9.43	0.14	1.34
11	61.3	226.00	2,217	1.69	17.25	7.31	126.09	9.43	0.17	1.70
12	63.8	202.46	1,986	1.76	17.96	7.31	131.29	9.43	0.12	1.16
13	66.3	197.67	1,939	1.77	18.02	7.31	131.68	9.43	0.11	1.04
14	68.8	208.62	2,047	1.85	18.83	7.31	137.60	9.43	0.11	1.07
15	71.3	231.67	2,273	1.94	19.80	7.31	144.72	9.43	0.13	1.27
16	83.99	308.00	3,021	1.60	16.32	7.31	119.25	9.43	0.24	2.34
17	86.39	270.77	2,656	1.79	18.28	7.31	133.59	9.43	0.17	1.65
18	88.89	290.33	2,848	1.98	20.14	7.31	147.20	9.43	0.17	1.68
19	91.39	281.54	2,762	1.78	18.12	7.31	132.44	9.43	0.17	1.70
20	94.19	273.60	2,684	1.83	18.70	7.31	136.65	9.43	0.15	1.51
21	96.99	308.31	3,024	1.79	18.28	7.31	133.59	9.43	0.19	1.87
22	99.49	288.33	2,829	1.85	18.87	7.31	137.89	9.43	0.16	1.57
23	101.89	292.00	2,865	1.73	17.68	7.31	129.19	9.43	0.17	1.66
24	104.39	274.46	2,692	1.68	17.18	7.31	125.56	9.43	0.15	1.48
25	106.89	286.33	2,809	1.56	15.89	7.31	116.15	9.43	0.17	1.66
26	109.39	324.31	3,181	1.54	15.69	7.31	114.67	9.43	0.20	1.99
27	111.89	322.33	3,162	1.78	18.19	7.31	132.92	9.43	0.18	1.76
28	114.39	307.69	3,018	1.55	15.77	7.31	115.24	9.43	0.18	1.75
29	116.69	314.40	3,084	1.60	16.32	7.31	119.25	9.43	0.18	1.74

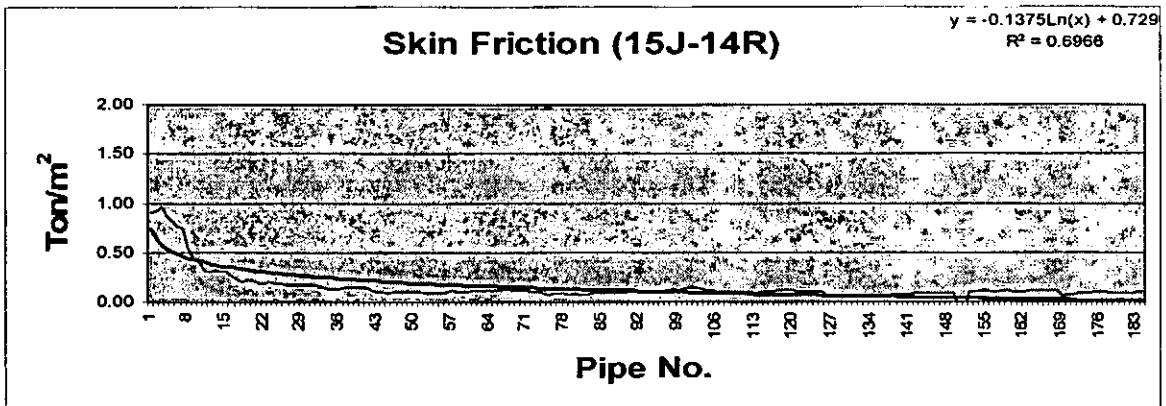
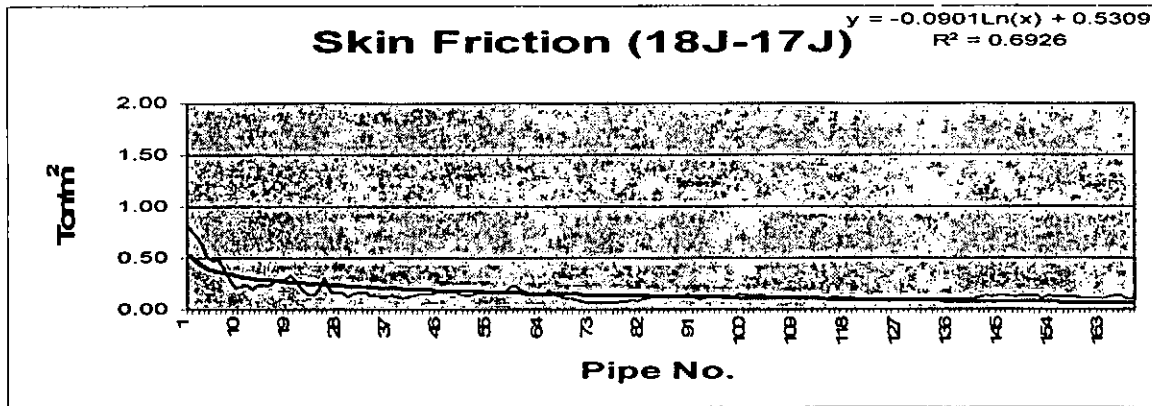
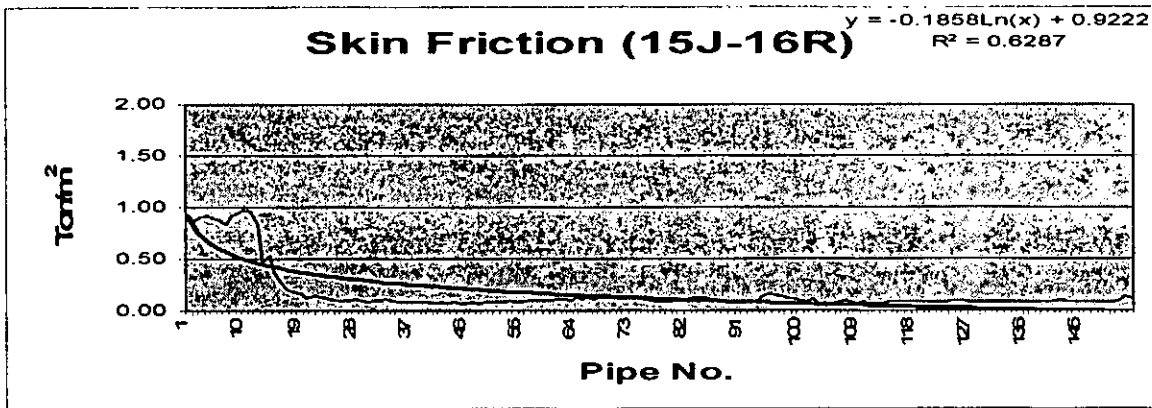
Q,Ty	L	F	F	P_f	P_f	A	F_p	D_p	F_f	F_f
(Pipe)	(m)	(t)	(kN)	(bar)	(t/m ²)	(m ²)	(t)	(m)	(t/m ²)	(kN/m ²)
ค่าเฉลี่ย 0.2085 2.0458										

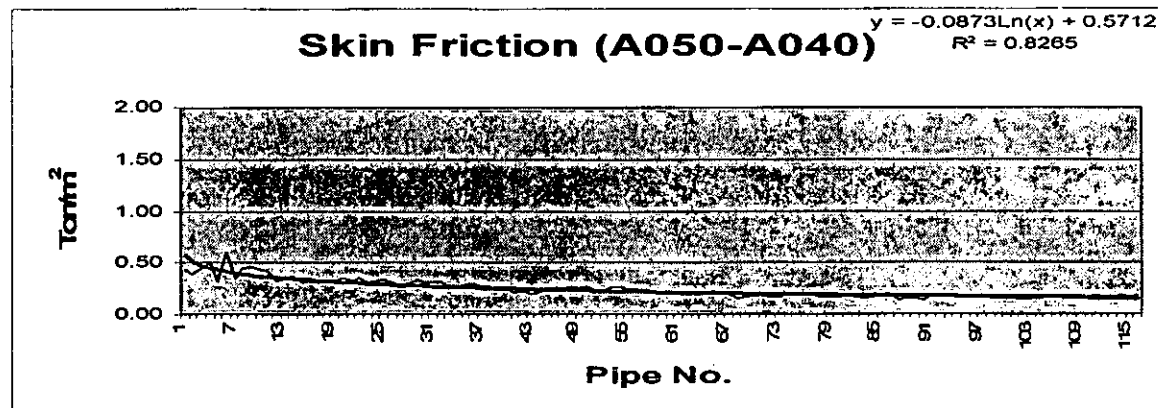
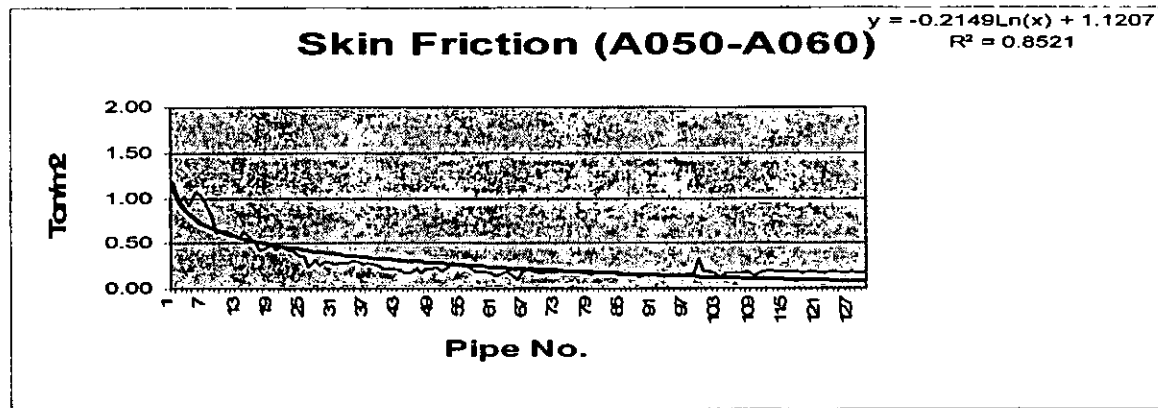
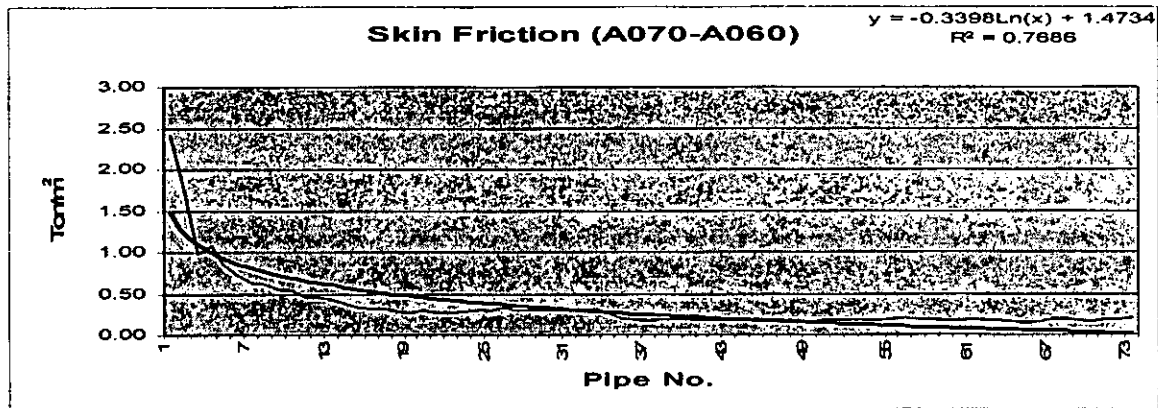
ภาคผนวก ค

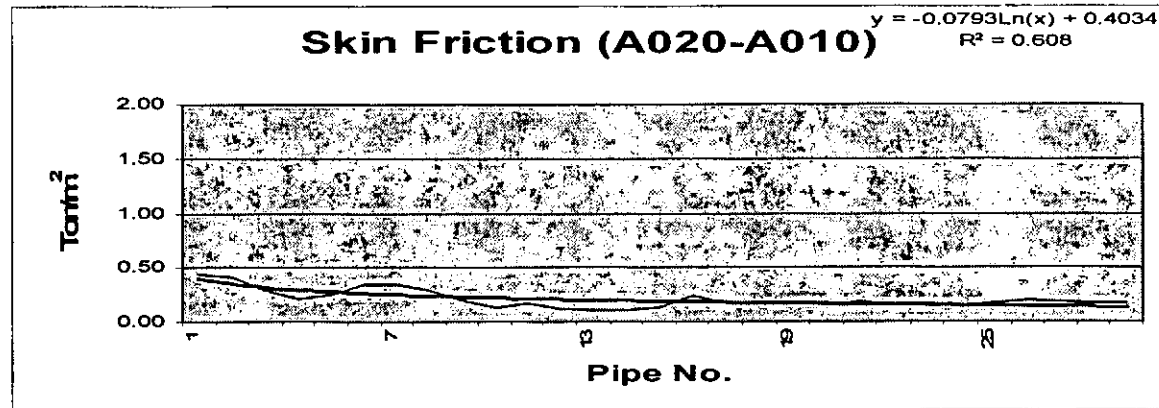
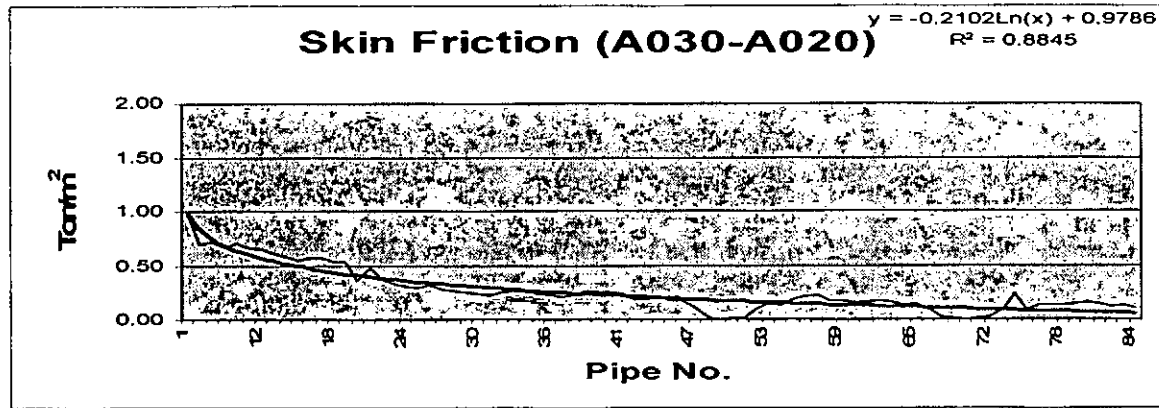
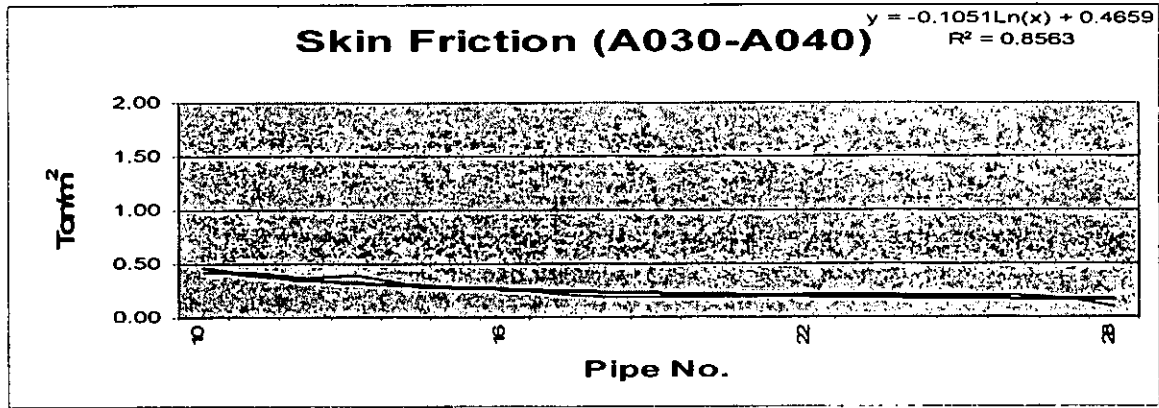
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับจำนวนท่อคอนกรีต





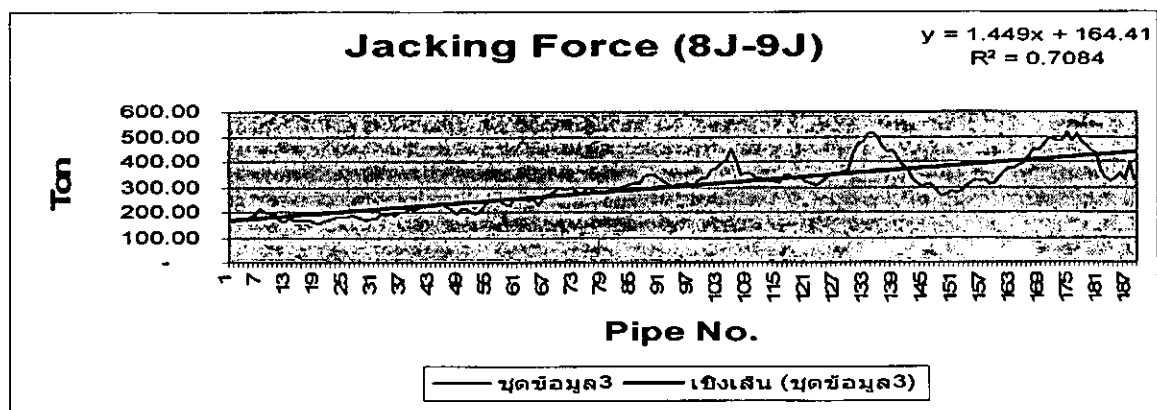
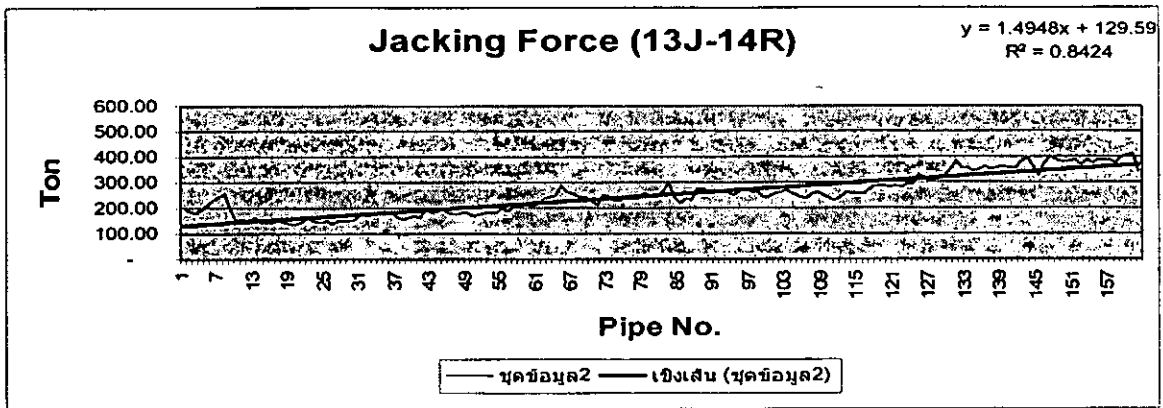
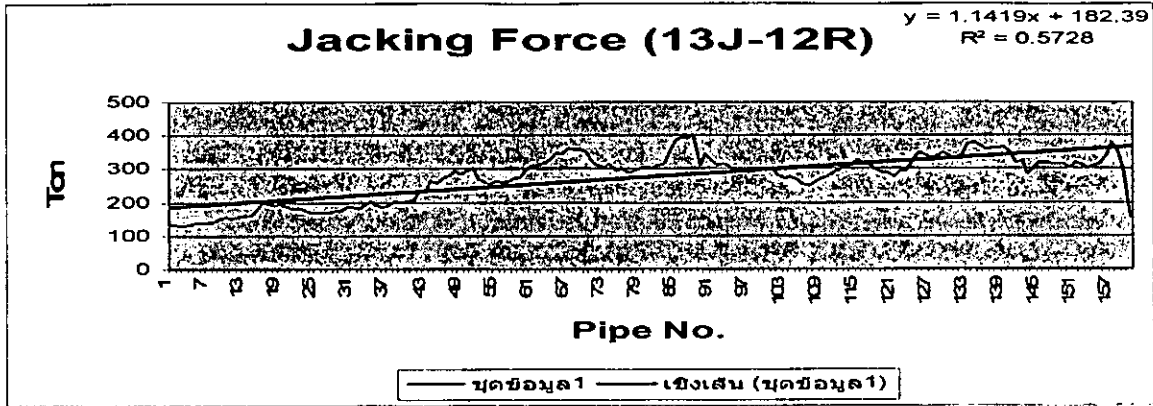


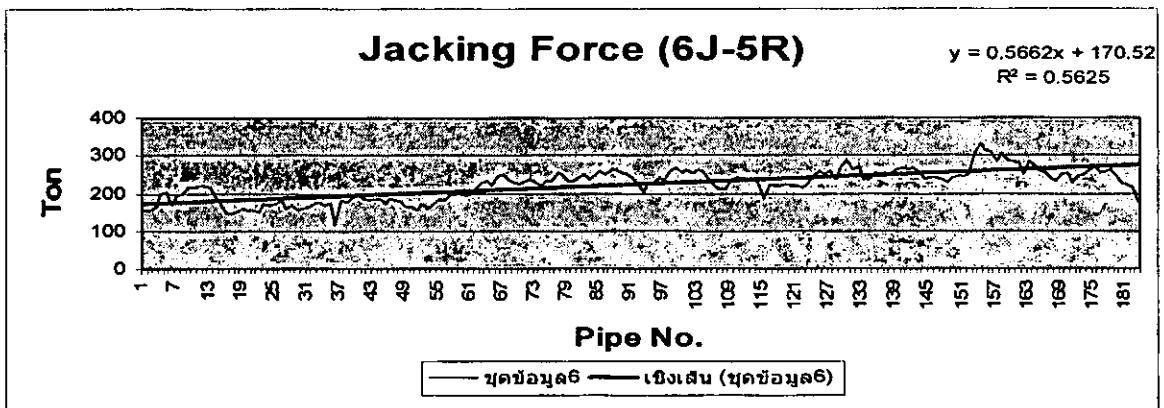
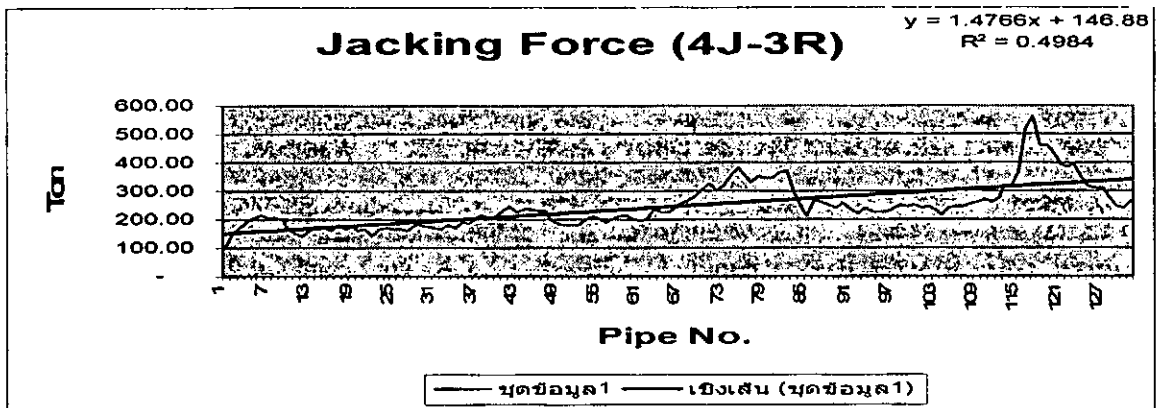
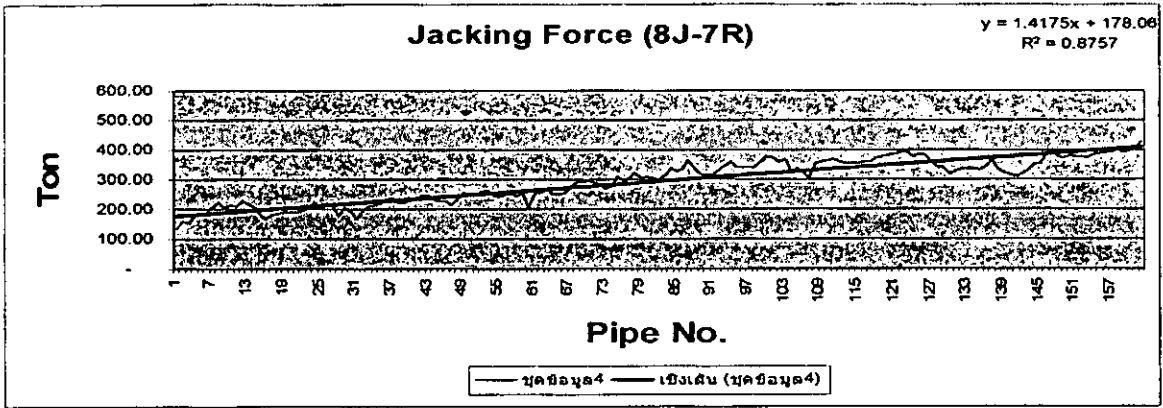


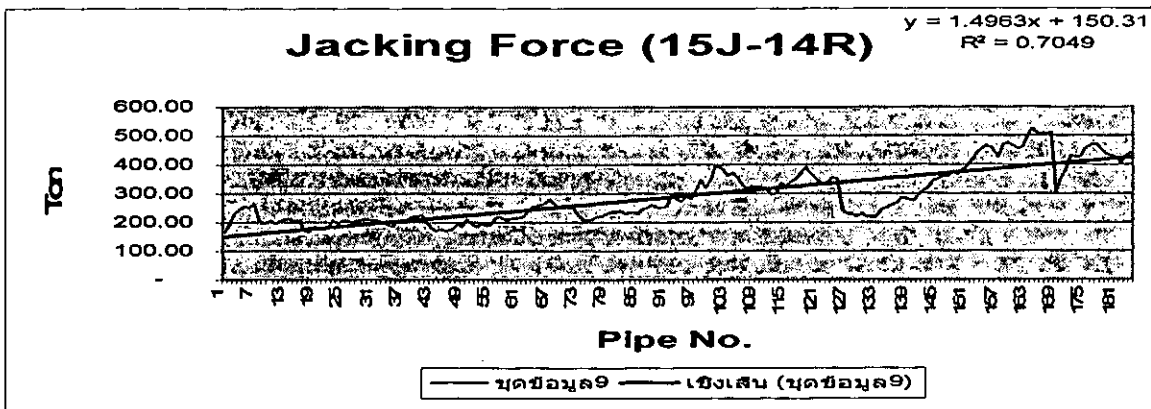
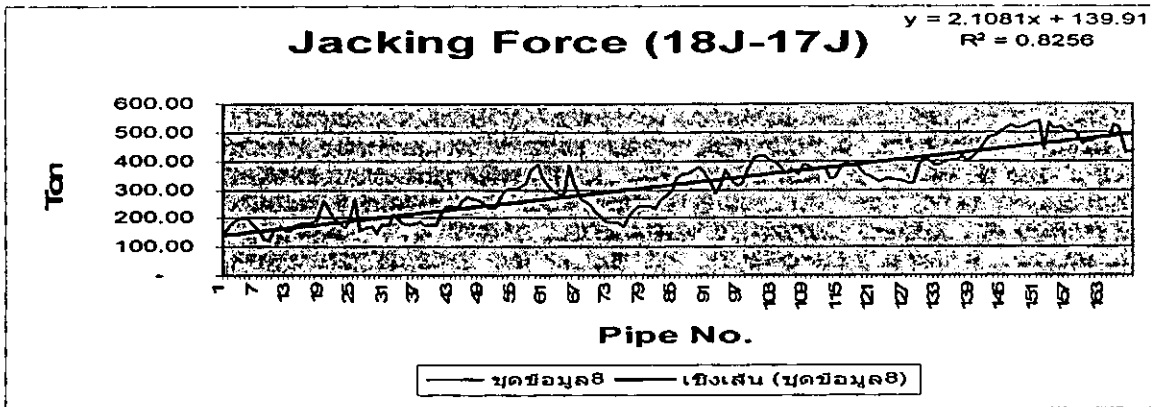
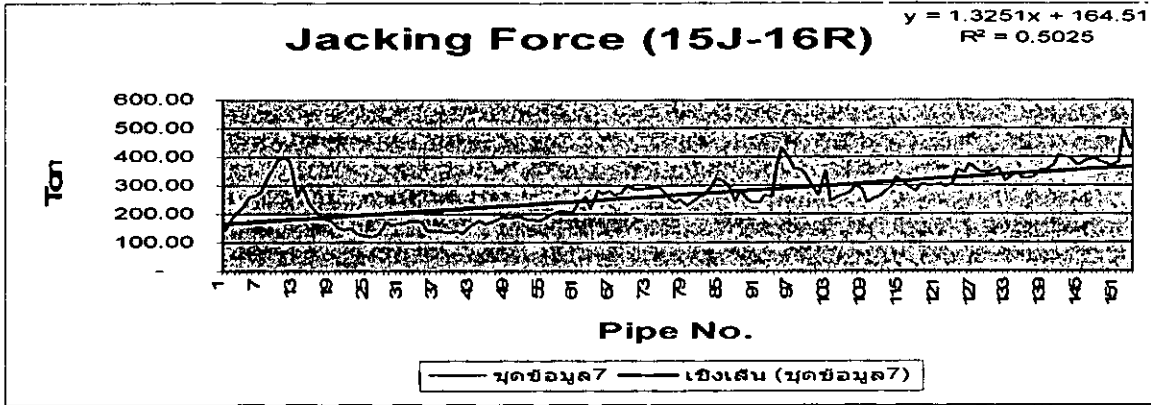


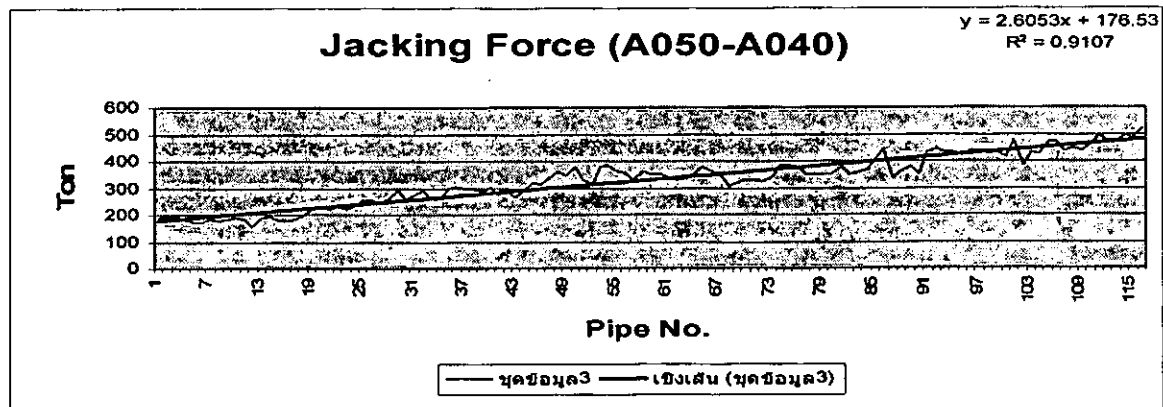
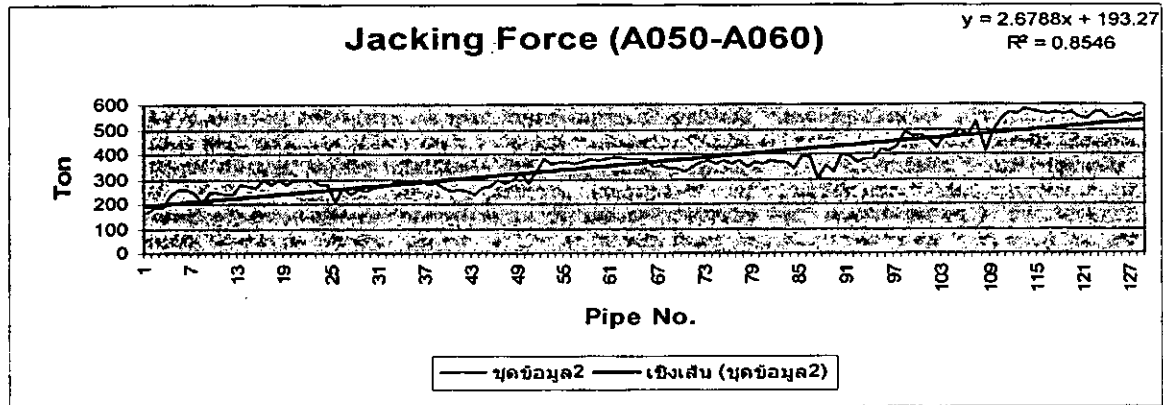
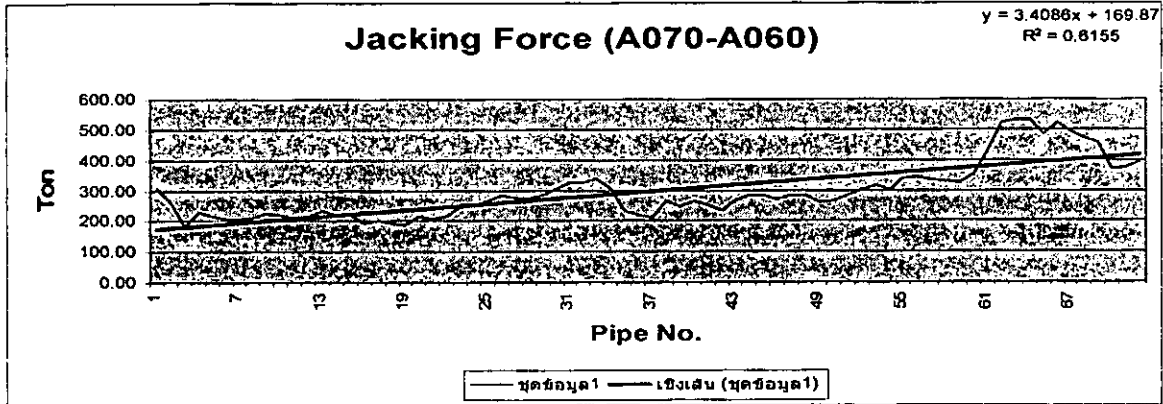
ภาคผนวก ง

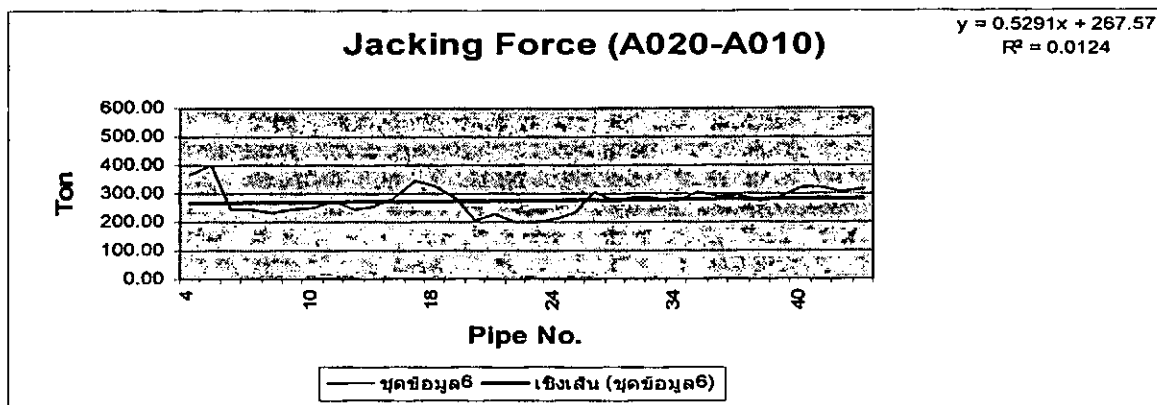
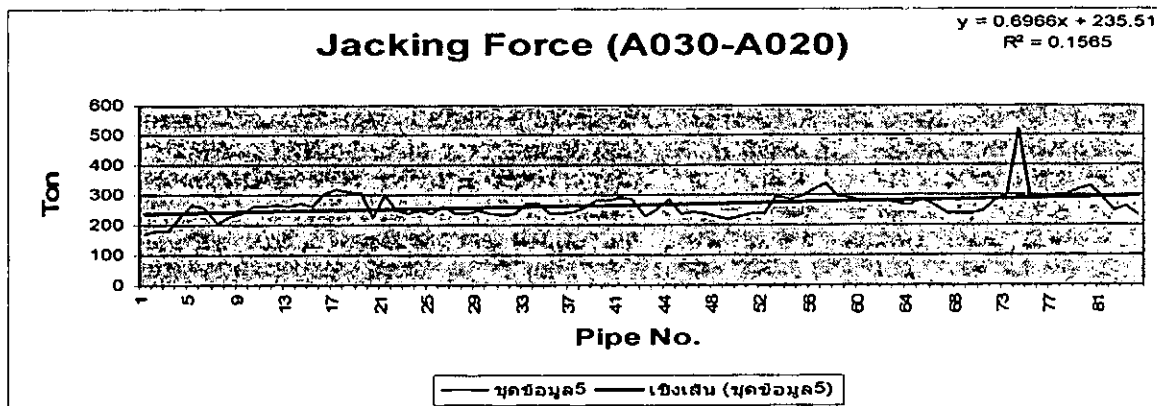
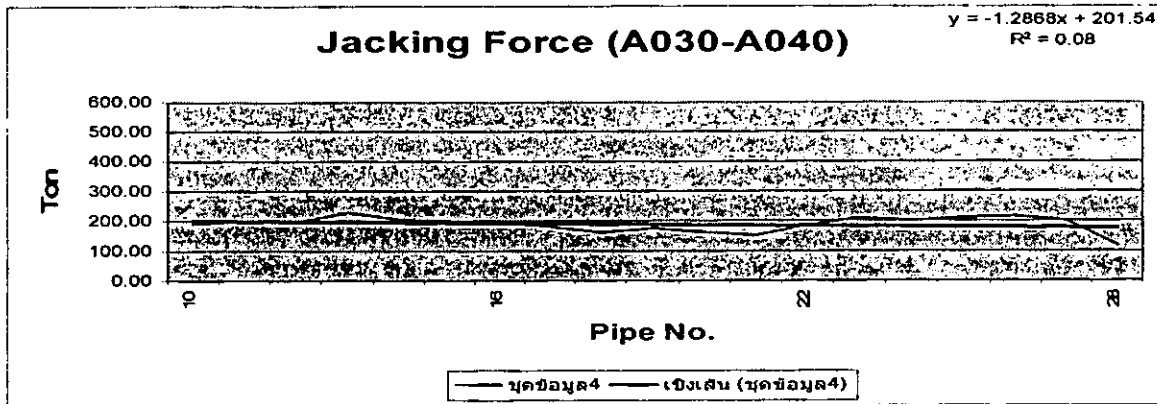
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีตกับจำนวนท่อคอนกรีต











ภาคผนวก จ

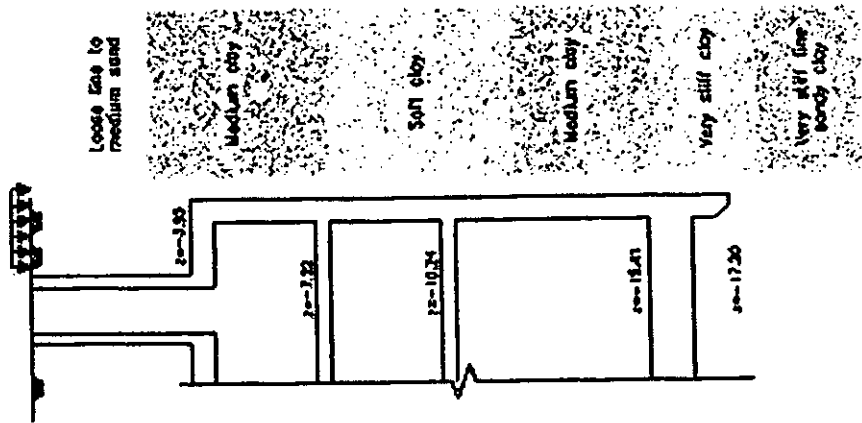
ผลการเจาะสำรวจชั้นดินโครงการก่อสร้างอุโมงค์ที่ร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน 230 kV

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE NO. 3/R

PROJECT : CONSTRUCTION OF 210 W. UNDERGROUND POWER LINES

PREPARED BY : OGD (10)

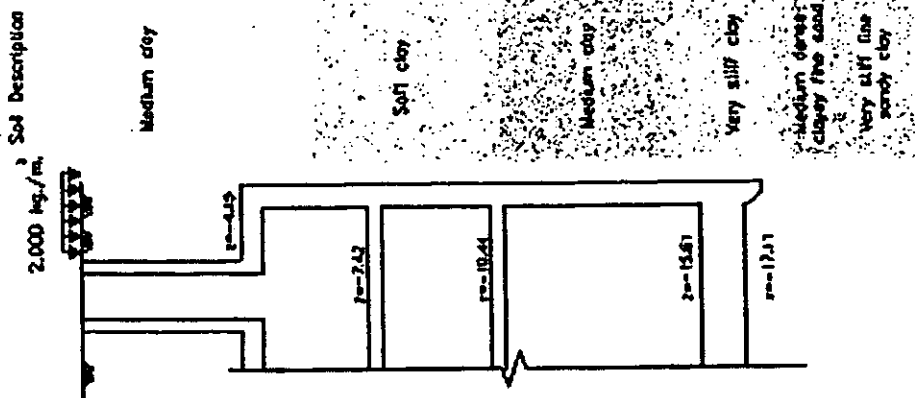
2,000 kg/m² Soil Description



Depth Z(m.) (m)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	φ (deg)	C (m)	q (m)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest			
						K _a	K _a (q+Y ₁)	K ₀	K ₀ (q+Y ₁)		
0.0			31.0		2	0.32	0.640	1.404	2.808	1.00	3.808
1.0	1.80	0.80	31.0	0.00	2	0.32	0.896	1.404	3.931	2.00	5.931
2.0	1.80	0.80	31.0	0.00	2	0.32	1.152	1.404	5.055	3.00	8.055
2.7	1.80	0.80	31.0	0.00	2	0.32	1.332	1.404	5.841	3.70	9.541
3.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	1.756	1.999	8.197	4.00	12.197
4.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.055	1.999	9.597	5.00	14.597
5.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.355	1.999	10.996	6.00	16.996
6.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.655	1.999	12.396	7.00	19.396
7.0	1.70	0.70	23.6	2.67	2	0.43	2.955	1.999	13.795	8.00	21.795
8.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	3.527	1.976	12.960	9.00	21.960
9.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	3.833	1.976	14.086	10.00	24.086
10.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	4.140	1.976	15.212	11.00	26.212
11.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	4.446	1.976	16.338	12.00	28.338
12.0	1.57	0.57	17.5	2.41	2	0.54	4.753	1.976	17.465	13.00	30.465
13.0	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	4.698	1.999	21.932	14.00	35.932
14.0	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	4.993	1.999	23.312	15.00	38.312
15.0	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	5.288	1.999	24.691	16.00	40.691
15.2	1.69	0.69	23.6	3.74	2	0.43	5.348	1.999	24.967	16.20	41.167
16.0	2.00	1.00	30.0	12.62	2	0.33	6.000	1.988	35.785	17.00	52.785
17.0	2.00	1.00	30.0	12.62	2	0.33	6.333	1.988	37.773	18.00	55.773
17.2	2.00	1.00	30.0	12.62	2	0.33	6.400	1.988	38.170	18.20	56.370
18.0	2.00	1.00	30.0	12.62	2	0.33	6.667	1.988	39.761	19.00	58.761
19.0	2.00	1.00	30.0	12.62	2	0.33	7.000	1.988	41.749	20.00	61.749
20.0	2.02	1.02	30.0	15.33	2	0.33	7.467	1.988	44.532	21.00	65.532
21.0	2.02	1.02	30.0	15.33	2	0.33	7.807	1.988	46.560	22.00	68.560

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE No. 4/J

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 W. UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : OOOO (10)



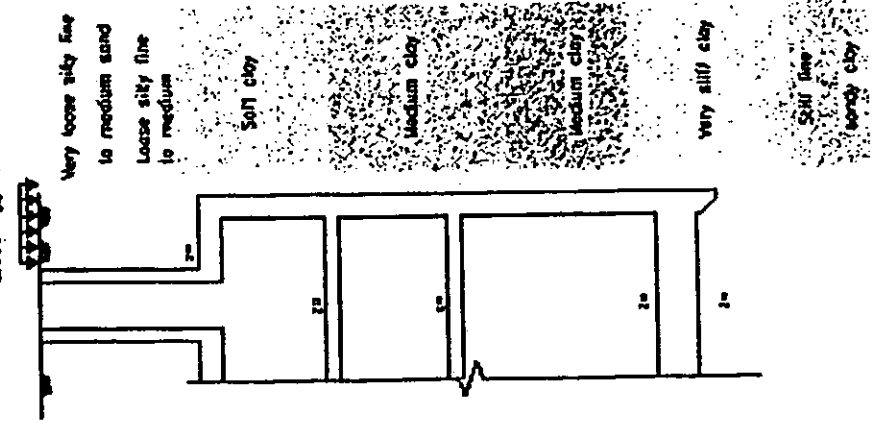
Depth Z(m.)	γ_{sat} (Um^3)	γ_{sub} (Um^3)	ϕ (deg.)	C (Um^2)	q (Um^2)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest					
						K_a Kg(m^2/h^2)	$\gamma(h+z) \cdot 2CV/K_a$	K_0 Kg(m^2/h^2)	$\gamma_{(h+z)}$				
0.0			23.6		2	0.43	0.856	0	0.856	1.999	3.999	1.00	4.999
1.0	1.72	0.72	23.6	2.80	2	0.43	1.165	1.000	3.6645373	1.999	5.438	2.00	7.438
2.0	1.72	0.72	23.6	2.80	2	0.43	1.473	2.000	3.6645373	1.999	6.878	3.00	9.878
2.7	1.72	0.72	23.6	2.80	2	0.43	1.689	2.700	3.6645373	1.999	7.885	3.70	11.585
3.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	2.124	3.000	2.9769152	1.976	7.804	4.00	11.804
4.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	2.473	4.000	2.9769152	1.976	9.088	5.00	14.088
5.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	2.823	5.000	2.9769152	1.976	10.372	6.00	16.372
6.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	3.172	6.000	2.9769152	1.976	11.656	7.00	18.656
7.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	3.521	7.000	2.9769152	1.976	12.940	8.00	20.940
8.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	3.871	8.000	2.9769152	1.976	14.225	9.00	23.225
9.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	4.220	9.000	2.9769152	1.976	15.509	10.00	25.509
10.0	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.54	4.570	10.000	2.9769152	1.976	16.793	11.00	27.793
10.5	1.65	0.65	17.5	2.03	2	0.43	3.918	11.000	4.3450942	1.999	18.293	12.00	30.293
11.0	1.65	0.65	23.6	3.32	2	0.43	3.918	11.000	4.3450942	1.999	18.293	12.00	30.293
12.0	1.65	0.65	23.6	3.32	2	0.43	4.197	12.000	4.3450942	1.999	19.593	13.00	32.593
13.0	1.65	0.65	23.6	3.32	2	0.43	4.475	13.000	4.3450942	1.999	20.892	14.00	34.892
14.0	1.65	0.65	23.6	3.32	2	0.43	4.753	14.000	4.3450942	1.999	22.192	15.00	37.192
15.0	1.65	0.65	23.6	3.32	2	0.43	5.032	15.000	4.3450942	1.999	23.491	16.00	39.491
16.0	1.95	0.95	30.0	12.75	2	0.33	5.733	16.000	14.722432	1.988	34.194	17.00	51.194
17.0	1.95	0.95	30.0	12.75	2	0.33	6.050	17.000	14.722432	1.988	36.083	18.00	54.083
17.5	1.95	0.95	30.0	12.75	2	0.33	6.208	17.500	14.722432	1.988	37.027	18.50	55.527
18.0	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	6.067	18.000	0	1.988	36.182	19.00	55.182
19.0	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	6.367	19.000	0	1.988	37.971	20.00	57.971
20.0	2.00	1.00	30.0	12.00	2	0.33	7.333	20.000	13.856406	1.988	43.737	21.00	64.737
21.0	2.00	1.00	30.0	12.00	2	0.33	7.667	21.000	13.856406	1.988	45.725	22.00	67.725

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE No. 5/R

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 KV UNDERGROUND POWER LINES

PREPARED BY : CCDD (RD)

2,000 kg./m.



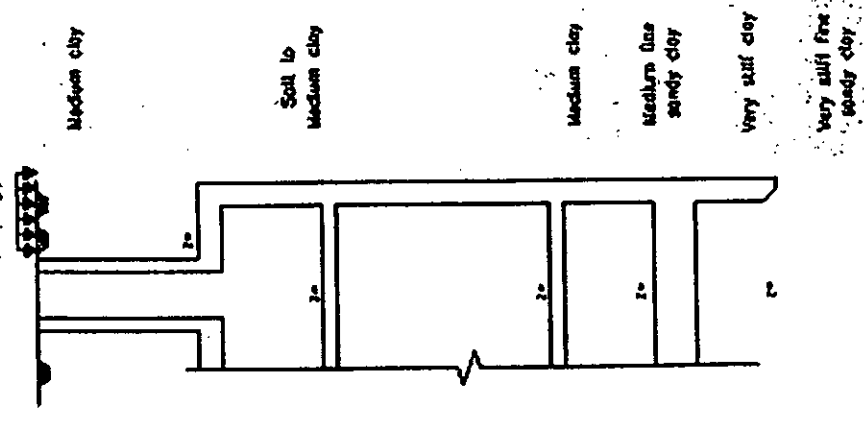
Depth Z(m.)	γ_1 (kg./m^3)	γ_2 (kg./m^3)	γ_3 (kg./m^3)	ϕ (deg.)	C	q	Active Earth Pressure			Earth Pressure at Rest					
							K_0	$K_0(\sigma' + \gamma_1 h)$	$\gamma_1(h+z) - 2C/\lambda$	σ'_a	K_0	$K_0(\sigma' + \gamma_1 h)$	$\gamma_1(h+z)$	σ'_{ra}	
0.0				28.0		2	0.36	0.722	0.000	0	0.722	0.729	1.458	1.00	2.458
1.0	1.70	0.70	0.70	28.0	0.00	2	0.36	0.975	1.000	0	1.975	0.729	1.969	2.00	3.969
2.0	1.70	0.70	0.70	28.0	0.00	2	0.36	1.228	2.000	0	3.228	0.729	2.479	3.00	5.479
2.5	1.70	0.70	0.70	28.0	0.00	2	0.36	1.354	2.500	0	3.854	0.729	2.734	3.50	6.234
3.0	1.80	0.80	0.80	32.0	0.00	2	0.31	1.352	3.000	0	4.352	0.449	1.974	4.00	5.974
3.8	1.80	0.80	0.80	32.0	0.00	2	0.31	1.549	3.800	0	5.349	0.449	2.261	4.80	7.061
4.0	1.69	0.69	0.69	17.5	2.07	2	0.54	2.559	4.000	3.0355736	3.524	1.976	9.404	5.00	14.404
5.0	1.69	0.69	0.69	17.5	2.07	2	0.54	2.930	5.000	3.0355736	4.894	1.976	10.767	6.00	16.767
6.0	1.69	0.69	0.69	17.5	2.07	2	0.54	3.301	6.000	3.0355736	6.265	1.976	12.130	7.00	19.130
7.0	1.69	0.69	0.69	17.5	2.07	2	0.54	3.672	7.000	3.0355736	7.638	1.976	13.494	8.00	21.494
7.5	1.69	0.69	0.69	17.5	2.07	2	0.54	3.857	7.500	3.0355736	8.322	1.976	14.175	8.50	22.675
8.0	1.61	0.61	0.61	23.6	2.75	2	0.43	2.946	8.000	3.5990991	7.347	1.999	13.755	9.00	22.755
9.0	1.61	0.61	0.61	23.6	2.75	2	0.43	3.207	9.000	3.5990991	8.608	1.999	14.975	10.00	24.975
10.0	1.61	0.61	0.61	23.6	2.75	2	0.43	3.469	10.000	3.5990991	9.869	1.999	16.194	11.00	27.194
11.0	1.61	0.61	0.61	23.6	2.75	2	0.43	3.730	11.000	3.5990991	11.131	1.999	17.414	12.00	29.414
12.0	1.61	0.61	0.61	23.6	2.75	2	0.43	3.991	12.000	3.5990991	12.392	1.999	18.633	13.00	31.633
13.0	1.69	0.69	0.69	23.6	3.76	2	0.43	4.698	13.000	4.9209501	12.777	1.999	21.932	14.00	35.932
14.0	1.69	0.69	0.69	23.6	3.76	2	0.43	4.993	14.000	4.9209501	14.072	1.999	23.312	15.00	38.312
15.0	1.69	0.69	0.69	23.6	3.76	2	0.43	5.288	15.000	4.9209501	15.368	1.999	24.691	16.00	40.691
16.0	1.97	0.97	0.97	30.0	11.90	2	0.33	5.840	16.000	13.740936	8.099	1.988	34.830	17.00	51.830
17.0	1.97	0.97	0.97	30.0	11.90	2	0.33	6.163	17.000	13.740936	9.422	1.988	36.759	18.00	54.759
18.0	1.97	0.97	0.97	30.0	11.90	2	0.33	6.487	18.000	13.740936	10.746	1.988	38.687	19.00	57.687
19.0	1.97	0.97	0.97	30.0	11.90	2	0.33	6.810	19.000	13.740936	12.069	1.988	40.615	20.00	60.615
20.0	1.93	0.93	0.93	30.0	7.33	2	0.33	6.867	20.000	8.4639549	18.403	1.988	40.953	21.00	61.953
21.0	1.93	0.93	0.93	30.0	7.33	2	0.33	7.177	21.000	8.4639549	19.713	1.988	42.802	22.00	64.802

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE NO. 6/J

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 W. UNDERGROUND POWER LINES

PREPARED BY : CCDD (10)

2,200 kg/m² Soil Description

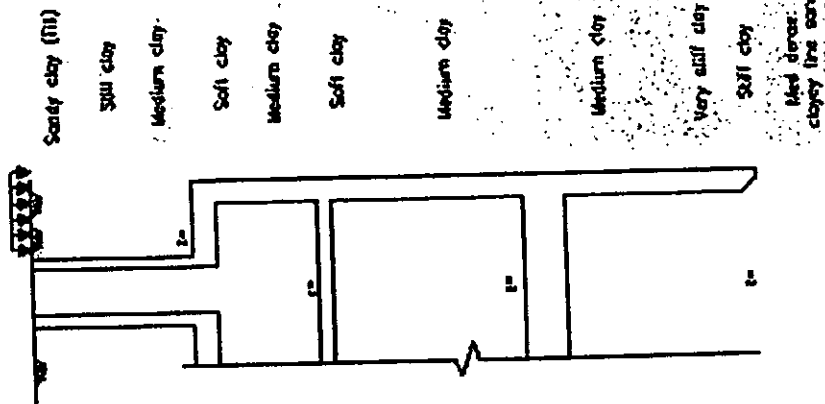


Depth Z(m.)	γ _{sat} (γ _m)	γ _{sub} (γ _m)	δ (disp.)	C (γ _m)	q (γ _m)	Ka	Kg(g+1/h)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest				
								Y _a (h+z)	2C V Ka	σ _{va} (γ _m)	σ _{va} (γ _m)	Y _r (h+z)	σ _{ra} (γ _m)	
0.00			23.6		2	0.43	0.856	0.000	0	0.856	1.999	3.989	1.00	4.999
1.0	1.82	0.82	23.6	3.27	2	0.43	1.208	1.000	4.2796561	-2.072	1.999	5.638	2.00	7.638
2.0	1.82	0.82	23.6	3.27	2	0.43	1.559	2.000	4.2796561	-0.721	1.999	7.277	3.00	10.277
2.5	1.82	0.82	23.6	3.27	2	0.43	1.734	2.500	4.2796561	-0.045	1.999	8.097	3.50	11.597
3.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	2.075	3.000	3.5195056	1.556	1.976	7.626	4.00	11.626
4.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	2.409	4.000	3.5195056	2.889	1.976	8.851	5.00	13.851
5.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	2.742	5.000	3.5195056	4.222	1.976	10.076	6.00	16.076
6.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	3.075	6.000	3.5195056	5.556	1.976	11.301	7.00	18.301
7.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	3.409	7.000	3.5195056	6.889	1.976	12.525	8.00	20.525
8.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	3.742	8.000	3.5195056	8.222	1.976	13.750	9.00	22.750
9.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	4.075	9.000	3.5195056	9.556	1.976	14.975	10.00	24.975
10.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	4.409	10.000	3.5195056	10.889	1.976	16.200	11.00	27.200
11.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	4.742	11.000	3.5195056	12.222	1.976	17.425	12.00	29.425
12.0	1.62	0.62	17.5	2.40	2	0.54	5.075	12.000	3.5195056	13.556	1.976	18.650	13.00	31.650
13.0	1.76	0.76	23.6	3.11	2	0.43	5.087	13.000	4.0702539	14.017	1.999	23.751	14.00	37.751
14.0	1.76	0.76	23.6	3.11	2	0.43	5.413	14.000	4.0702539	15.342	1.999	25.271	15.00	40.271
15.0	1.76	0.76	23.6	3.11	2	0.43	5.738	15.000	4.0702539	16.668	1.999	26.790	16.00	42.790
16.0	1.85	0.85	23.6	4.46	2	0.43	6.680	16.000	5.8370844	16.843	1.999	31.189	17.00	48.189
16.5	1.85	0.85	23.6	4.46	2	0.43	6.862	16.500	5.8370844	17.525	1.999	32.038	17.50	49.538
17.0	1.86	0.86	30.0	11.26	2	0.33	5.540	17.000	13.001928	9.538	1.988	33.041	18.00	51.041
18.0	1.86	0.86	30.0	11.26	2	0.33	5.827	18.000	13.001928	10.825	1.988	34.751	19.00	53.751
19.0	1.86	0.86	30.0	11.26	2	0.33	6.113	19.000	13.001928	12.111	1.988	36.460	20.00	56.460
19.5	1.86	0.86	30.0	11.26	2	0.33	6.667	20.000	16.546859	10.120	1.988	39.761	21.00	60.761
20.0	1.90	0.90	30.0	14.33	2	0.33	6.967	21.000	16.546859	11.420	1.988	41.550	22.00	63.550

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE No. 7/R

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 KV UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : CCDD (ITD)

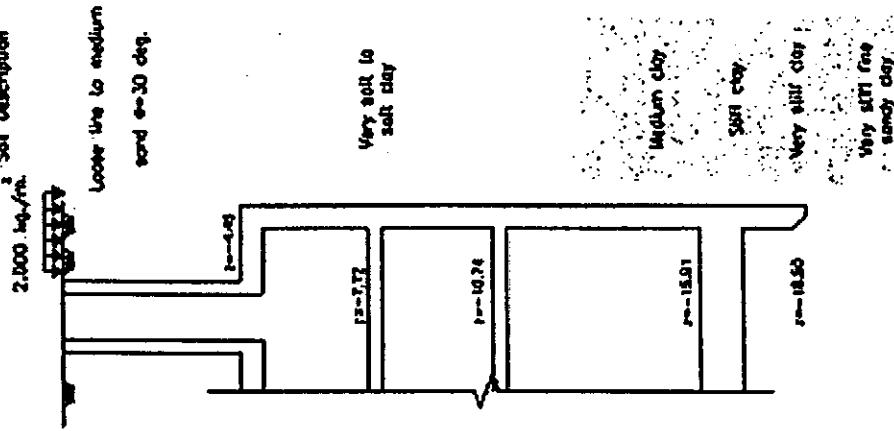
2,000 kg./m.² Soil Desorption



Depth Z(m)	Y ₁ (m)	Y _{wa} (m)	φ (deg)	C (kg/m ²)	q (kg/m ²)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest			
						K _a Kalq ² /h	Y(h+z) - 2C/√Ka	K ₀ Kalq ² /h	Y(h+z)		
0.00			30.0		2	0.33	0.667	1.988	3.976	1.00	4.976
1.0	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	0.967	1.988	5.765	2.00	7.765
1.5	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	1.117	1.988	6.660	2.50	9.160
2.0	1.96	0.96	30.0	5.91	2	0.33	1.307	1.988	7.793	3.00	10.793
3.0	1.96	0.96	30.0	5.91	2	0.33	1.627	1.988	9.702	4.00	13.702
4.0	1.82	0.82	23.6	4.52	2	0.43	2.261	1.999	10.556	5.00	15.556
5.0	1.79	0.79	17.5	1.98	2	0.54	3.199	1.976	11.755	6.00	17.755
6.0	1.79	0.79	17.5	1.98	2	0.54	3.624	1.976	13.316	7.00	20.316
7.0	1.84	0.84	23.6	3.26	2	0.43	3.374	1.999	15.754	8.00	23.754
8.0	1.64	0.64	17.5	2.23	2	0.54	3.828	1.976	14.066	9.00	23.066
9.0	1.64	0.64	17.5	2.23	2	0.54	4.172	1.976	15.331	10.00	25.331
10.0	1.62	0.62	23.6	3.08	2	0.43	3.511	1.999	16.394	11.00	27.394
11.0	1.62	0.62	23.6	3.08	2	0.43	3.777	1.999	17.634	12.00	29.634
12.0	1.62	0.62	23.6	3.08	2	0.43	4.042	1.999	18.873	13.00	31.873
13.0	1.62	0.62	23.6	3.08	2	0.43	4.308	1.999	20.113	14.00	34.113
14.0	1.74	0.74	23.6	4.10	2	0.43	5.293	1.999	24.711	15.00	39.711
15.0	1.74	0.74	23.6	4.10	2	0.43	5.510	1.999	26.191	16.00	42.191
16.0	1.74	0.74	23.6	4.10	2	0.43	5.927	1.999	27.670	17.00	44.670
16.5	1.74	0.74	23.6	4.10	2	0.43	5.985	1.999	28.410	17.50	45.910
17.0	1.91	0.91	30.0	12.45	2	0.33	5.823	1.988	34.731	18.00	52.731
18.0	1.91	0.91	30.0	12.45	2	0.33	6.127	1.988	36.540	19.00	55.540
19.0	1.90	0.90	30.0	8.00	2	0.33	6.367	1.988	37.971	20.00	57.971
20.0	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	6.667	1.988	39.761	21.00	60.761
21.0	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	6.967	1.988	41.850	22.00	63.850

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE NO. 8/R

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 KV UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : CECO (IND)



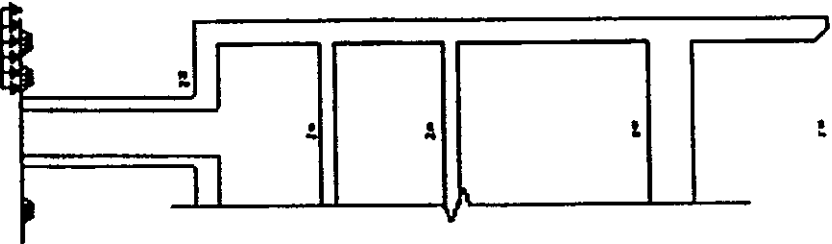
Depth Z(m)	γ_1 (U/m^3)	γ_{sat} (U/m^3)	ϕ (deg)	C (U/m^2)	q (U/m^2)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest			
						K_a Ks(g+ γ_1 h)	$\int_0^z (h+z) \cdot 2CV \cdot K_a$ (U/m^2)	K_o Ks(g+ γ_1 h)	$\int_0^z (h+z) \cdot \sigma_v$ (U/m^2)		
0.00			30.0	0.00	2	0.33	0.000	1.988	3.978	1.00	4.978
1.0	1.80	0.80	30.0	0.00	2	0.33	1.000	1.988	5.866	2.00	7.866
2.0	1.80	0.80	30.0	0.00	2	0.33	2.000	1.988	7.157	3.00	10.157
2.5	1.80	0.80	30.0	0.00	2	0.33	2.500	1.988	7.952	3.50	11.452
3.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	3.000	1.978	7.828	4.00	11.628
4.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	4.000	1.978	8.851	5.00	13.851
5.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	5.000	1.978	10.078	6.00	16.078
6.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	6.000	1.978	11.301	7.00	18.301
7.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	7.000	1.978	12.525	8.00	20.525
8.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	8.000	1.978	13.750	9.00	22.750
9.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	9.000	1.978	14.975	10.00	24.975
10.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	10.000	1.978	16.200	11.00	27.200
11.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	11.000	1.978	17.425	12.00	29.425
12.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	12.000	1.978	18.650	13.00	31.650
13.0	1.62	0.62	17.5	1.95	2	0.54	13.000	1.978	19.875	14.00	33.875
14.0	1.72	0.72	23.6	3.20	2	0.43	14.000	1.999	24.151	15.00	39.151
15.0	1.72	0.72	23.6	3.20	2	0.43	15.000	1.999	25.591	16.00	41.591
16.0	1.72	0.72	23.6	3.20	2	0.43	16.000	1.999	27.030	17.00	44.030
16.5	1.72	0.72	23.6	3.20	2	0.43	16.500	1.999	27.750	17.50	45.250
17.0	1.83	0.83	30.0	6.42	2	0.33	17.000	1.988	32.027	18.00	50.027
18.0	1.93	0.93	30.0	12.66	2	0.33	18.000	1.988	37.258	19.00	56.258
18.5	1.93	0.93	30.0	12.66	2	0.33	18.500	1.988	38.180	19.50	57.680
19.0	1.93	0.93	30.0	12.66	2	0.33	19.000	1.988	39.105	20.00	59.105
19.5	1.93	0.93	30.0	12.66	2	0.33	19.500	1.988	40.029	20.50	60.529
20.0	1.90	0.90	30.0	14.87	2	0.33	20.000	1.988	39.761	21.00	60.761
21.0	1.90	0.90	30.0	14.87	2	0.33	21.000	1.988	41.550	22.00	63.550

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE No. 9/J

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 W. UNDERGROUND POWER LINES

PREPARED BY : CCOO (10)

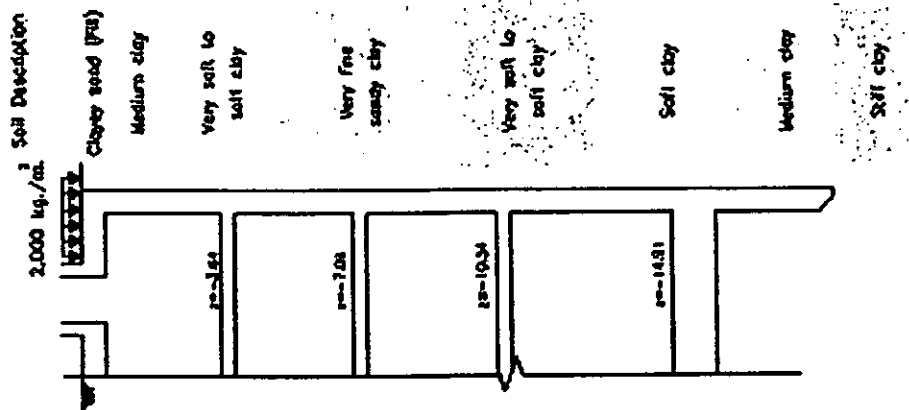
2,000 kg./m.
 Soil Description
 Very loose clayey
 fine to medium
 sand φ=29 deg.



Depth Z(m.)	I ₁ (m)	I ₂ (m)	I _{un} (m)	φ (deg.)	C (m)	q (m ²)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest				
							K _a Kg/cm ² /h	I _{a(h+z)} - 2CV/K _a	K ₀	K ₀ g I _h	I _{r(h+z)}	σ _{vm} (m)	
0.00				29.0	0.00	2	0.35	0.694	0.000	1.664	3.327	1.00	4.327
1.0	1.96	0.96	29.0	0.00	2	0.35	1.027	1.000	0	1.664	4.924	2.00	6.924
2.0	1.96	0.96	29.0	0.00	2	0.35	1.360	2.000	0	1.664	6.521	3.00	9.521
3.0	1.96	0.96	29.0	0.00	2	0.35	1.693	3.000	0	1.664	8.119	4.00	12.119
4.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	2.430	4.000	2.8302691	1.976	8.930	5.00	13.930
5.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	2.769	5.000	2.8302691	1.976	10.174	6.00	16.174
6.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	3.107	6.000	2.8302691	1.976	11.419	7.00	18.419
7.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	3.446	7.000	2.8302691	1.976	12.664	8.00	20.664
8.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	3.785	8.000	2.8302691	1.976	13.908	9.00	22.908
9.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	4.124	9.000	2.8302691	1.976	15.153	10.00	25.153
10.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	4.462	10.000	2.8302691	1.976	16.398	11.00	27.398
11.0	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	4.801	11.000	2.8302691	1.976	17.642	12.00	29.642
11.5	1.63	0.63	17.5	1.93	2	0.54	4.970	11.500	2.8302691	1.976	18.265	12.50	30.765
12.0	1.60	0.60	23.6	2.81	2	0.43	3.940	12.000	3.6776249	1.999	18.393	13.00	31.393
13.0	1.60	0.60	23.6	2.81	2	0.43	4.197	13.000	3.6776249	1.999	19.593	14.00	33.593
14.0	1.60	0.60	23.6	2.81	2	0.43	4.453	14.000	3.6776249	1.999	20.792	15.00	35.792
15.0	1.60	0.60	23.6	2.81	2	0.43	4.710	15.000	3.6776249	1.999	21.992	16.00	37.992
16.0	1.68	0.68	23.6	3.33	2	0.43	5.515	16.000	4.3581819	1.999	25.751	17.00	42.751
17.0	1.68	0.68	23.6	3.33	2	0.43	5.807	17.000	4.3581819	1.999	27.110	18.00	45.110
18.0	1.68	0.68	23.6	3.33	2	0.43	6.098	18.000	4.3581819	1.999	28.470	19.00	47.470
18.5	1.97	0.97	30.0	6.36	2	0.33	6.630	18.500	7.3436954	1.988	39.541	19.50	59.041
19.0	2.06	1.06	30.0	21.75	2	0.33	7.380	19.000	25.114737	1.988	44.015	20.00	64.015
20.0	2.06	1.06	30.0	21.75	2	0.33	7.733	20.000	25.114737	1.988	46.122	21.00	67.122
21.0	2.06	1.06	30.0	21.75	2	0.33	8.087	21.000	25.114737	1.988	48.230	22.00	70.230

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE No. 12/1J

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 M. UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : ODD (RD)

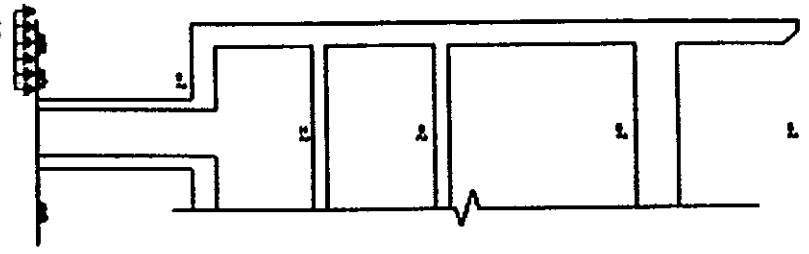


Depth Z(m)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Y ₃ (m)	φ (deg.)	C (kg/m ²)	q (kg/m ²)	Active Earth Pressure			Earth Pressure at Rest					
							K _a	K _a (q+Y ₁ h)	Y ₁ (h+z) - 2C√K _a	σ _a (kg/m ²)	K ₀	K ₀ (q+Y ₁ h)	Y ₁ (h+z)	σ _r (kg/m ²)	
0.0				30.0		2	0.33	0.667	0.000	0	0.667	1.988	3.976	1.00	4.976
0.5	1.90	0.90	0.90	30.0		2	0.43	1.195	1.000	4.030991	-1.836	1.999	5.578	2.00	7.578
1.0	1.79	0.79	0.79	23.6	3.08	2	0.43	1.533	2.000	4.030991	-0.498	1.999	7.157	3.00	10.157
2.0	1.79	0.79	0.79	23.6	3.08	2	0.43	1.702	2.500	4.030991	0.171	1.999	7.947	3.50	11.447
2.5	1.79	0.79	0.79	23.6	3.08	2	0.54	1.962	3.000	2.0383803	2.924	1.976	7.211	4.00	11.211
3.0	1.55	0.55	0.55	17.5	1.39	2	0.54	2.258	4.000	2.0383803	4.220	1.976	8.298	5.00	13.298
4.0	1.55	0.55	0.55	17.5	1.39	2	0.54	2.554	5.000	2.0383803	5.515	1.976	9.384	6.00	15.384
5.0	1.55	0.55	0.55	17.5	1.39	2	0.54	2.702	5.500	2.0383803	6.163	1.976	9.928	6.50	16.428
5.5	1.55	0.55	0.55	17.5	1.39	2	0.54	3.140	6.000	1.9083989	7.233	1.976	11.538	7.00	18.538
6.0	1.64	0.64	0.64	17.5	1.30	2	0.54	3.484	7.000	1.9083989	8.577	1.976	12.802	8.00	20.802
7.0	1.64	0.64	0.64	17.5	1.30	2	0.54	3.828	8.000	1.9083989	9.922	1.976	14.066	9.00	23.066
8.0	1.64	0.64	0.64	17.5	1.30	2	0.54	4.172	9.000	1.9083989	11.266	1.976	15.331	10.00	25.331
9.0	1.64	0.64	0.64	17.5	1.30	2	0.54	4.086	10.000	1.8330758	12.253	1.976	15.015	11.00	26.015
10.0	1.56	0.56	0.56	17.5	1.25	2	0.54	4.387	11.000	1.8330758	13.554	1.976	16.121	12.00	28.121
11.0	1.56	0.56	0.56	17.5	1.25	2	0.54	4.688	12.000	1.8330758	14.855	1.976	17.227	13.00	30.227
12.0	1.56	0.56	0.56	17.5	1.25	2	0.54	4.989	13.000	1.8330758	16.156	1.976	18.334	14.00	32.334
13.0	1.56	0.56	0.56	17.5	1.25	2	0.54	5.591	14.000	3.3435303	18.248	1.976	20.547	15.00	35.547
14.0	1.60	0.60	0.60	17.5	2.28	2	0.54	5.914	15.000	3.3435303	17.570	1.976	21.732	16.00	37.732
15.0	1.60	0.60	0.60	17.5	2.28	2	0.54	6.236	16.000	3.3435303	18.893	1.976	22.917	17.00	39.917
16.0	1.60	0.60	0.60	17.5	2.28	2	0.54	6.398	16.500	3.3435303	19.554	1.976	23.510	17.50	41.010
16.5	1.60	0.60	0.60	17.5	2.28	2	0.43	5.443	17.000	5.4051925	17.037	1.999	25.411	18.00	43.411
17.0	1.63	0.63	0.63	23.6	4.13	2	0.43	5.712	18.000	5.4051925	18.307	1.999	26.670	19.00	45.670
18.0	1.63	0.63	0.63	23.6	4.13	2	0.43	5.982	19.000	5.4051925	19.577	1.999	27.930	20.00	47.930
19.0	1.63	0.63	0.63	23.6	4.13	2	0.33	6.867	20.000	9.5724675	17.294	1.988	40.953	21.00	61.953
20.0	1.93	0.93	0.93	30.0	8.29	2	0.33	7.177	21.000	9.5724675	18.604	1.988	42.802	22.00	64.802
21.0	1.93	0.93	0.93	30.0	8.29	2	0.33	7.177	21.000	9.5724675	18.604	1.988	42.802	22.00	64.802

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE No. 13/J

PROJECT : CONSTRUCTION OF 250 W. UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : ODDP (PTD)

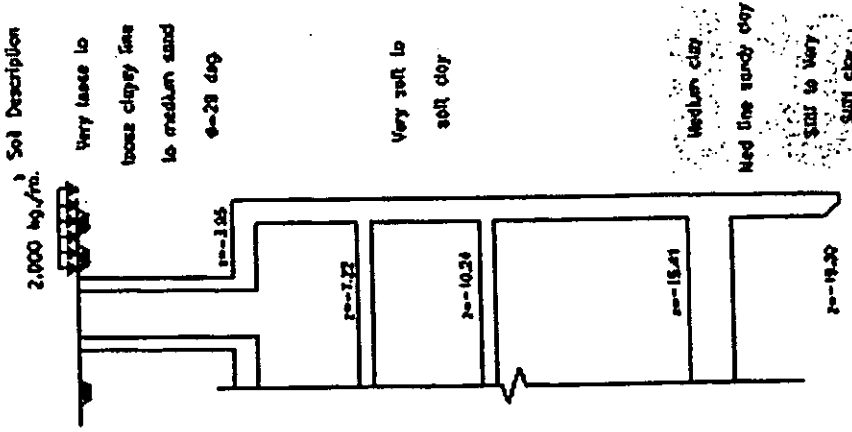
2,000 kg./m.



Depth Z(m.)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	φ ₁₋₂ (deg.)	C (m ²)	q (m ²)	Ka	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest			
							σ _a (kg/cm ²)	σ _a (t/m ²)	Ko	σ _r (t/m ²)		
0.0			30.0			0.33	0.000	0	1.988	3.976	1.00	4.976
1.0	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	1.000	0	1.988	5.765	2.00	7.765
1.5	1.90	0.90	30.0	0.00	2	0.33	1.500	0	1.988	6.660	2.50	9.160
2.0	1.77	0.77	23.8	2.87	2	0.43	2.000	3.4943981	1.988	7.077	3.00	10.077
3.0	1.77	0.77	23.8	2.87	2	0.43	3.000	3.4943981	1.999	8.817	4.00	12.617
4.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	4.000	2.4343247	1.976	8.693	5.00	13.693
5.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	5.000	2.4343247	1.976	9.878	6.00	15.878
6.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	6.000	2.4343247	1.976	11.064	7.00	18.064
7.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	7.000	2.4343247	1.976	12.249	8.00	20.249
8.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	8.000	2.4343247	1.976	13.434	9.00	22.434
9.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	9.000	2.4343247	1.976	14.620	10.00	24.620
10.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	10.000	2.4343247	1.976	15.805	11.00	26.805
11.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	11.000	2.4343247	1.976	16.990	12.00	28.990
12.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	12.000	2.4343247	1.976	18.176	13.00	31.176
13.0	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	13.000	2.4343247	1.976	19.361	14.00	33.361
13.5	1.60	0.60	17.5	1.66	2	0.54	13.500	2.4343247	1.976	19.954	14.50	34.454
14.0	1.60	0.60	23.6	2.50	2	0.43	14.000	3.2719083	1.999	20.792	15.00	35.792
15.0	1.60	0.60	23.6	2.50	2	0.43	15.000	3.2719083	1.999	21.992	16.00	37.992
16.0	1.71	0.71	23.6	3.86	2	0.43	16.000	5.0518264	1.999	26.710	17.00	43.710
17.0	1.71	0.71	23.6	3.86	2	0.43	17.000	5.0518264	1.999	28.130	18.00	46.130
17.5	1.71	0.71	23.6	3.86	2	0.43	17.500	5.0518264	1.999	28.840	18.50	47.340
18.0	1.86	0.86	30.0	7.06	2	0.33	18.000	8.1521858	1.988	34.751	19.00	53.751
18.5	1.86	0.86	30.0	7.06	2	0.33	18.500	8.1521858	1.988	35.606	19.50	55.106
19.0	2.07	1.07	30.0	14.44	2	0.33	19.000	16.673876	1.988	44.393	20.00	64.393
20.0	2.07	1.07	30.0	14.44	2	0.33	20.000	16.673876	1.988	46.520	21.00	67.520
21.0	2.07	1.07	30.0	14.44	2	0.33	21.000	16.673876	1.988	48.647	22.00	70.647

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE NO. 14/R

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 KV UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : ECCC (IND)



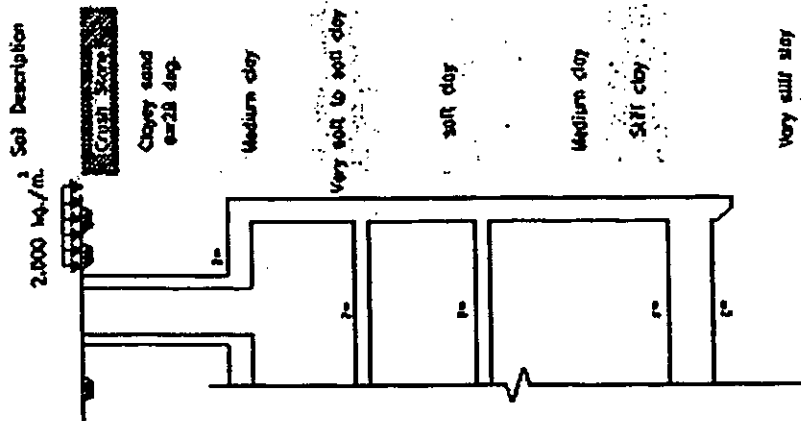
Depth Z(m.)	r ₁ (Um)	r ₂ (Um)	φ _{eq} (deg)	C (Um)	q (Um)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest	
						Ka	Ka(q + γh)	Ka	Ka(q + γh)
0.0			29.0		2	0.35	0.694	1.664	3.327
1.0	1.80	0.80	29.0	0.00	2	0.35	0.972	1.664	4.658
2.0	1.80	0.80	29.0	0.00	2	0.35	1.249	1.664	5.989
3.0	1.80	0.80	29.0	0.00	2	0.35	1.527	1.664	7.320
4.0	1.80	0.80	29.0	0.00	2	0.35	1.804	1.664	8.651
5.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	2.607	1.976	9.582
6.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	2.914	1.976	10.708
7.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	3.220	1.976	11.834
8.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	3.527	1.976	12.960
9.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	3.833	1.976	14.086
10.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	4.140	1.976	15.212
11.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	4.446	1.976	16.338
12.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	4.753	1.976	17.465
13.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	5.059	1.976	18.591
14.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	5.366	1.976	19.717
15.0	1.57	0.57	17.5	1.88	2	0.54	5.672	1.976	20.843
16.0	1.71	0.71	23.6	3.45	2	0.43	5.721	1.999	26.710
16.5	1.71	0.71	23.6	3.45	2	0.43	5.873	1.999	27.420
17.0	1.74	0.74	23.6	4.60	2	0.43	6.243	1.999	29.149
17.3	1.74	0.74	23.6	4.60	2	0.43	6.338	1.999	29.593
18.0	1.93	0.93	30.0	19.50	2	0.33	6.247	1.988	37.256
19.0	1.93	0.93	30.0	19.50	2	0.33	6.557	1.988	39.105
20.0	1.93	0.93	30.0	19.50	2	0.33	6.867	1.988	40.953
21.0	1.93	0.93	30.0	19.50	2	0.33	7.177	1.988	42.802

Medium clay
 Med fine sandy clay
 stiff to Very
 stiff clay

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MAHOLE No. 15/R

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 MW UNDERGROUND POWER LINES

PREPARED BY : CCDD (ITD)

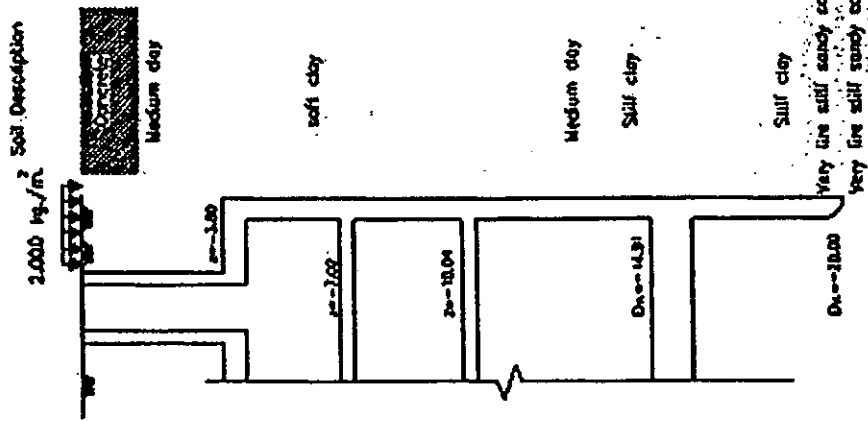


Depth Z(m.)	γ_1 (um^3)	γ_{sat} (um^3)	ϕ (deg.)	C (um^2)	q (um^2)	Ka	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest			
							$\frac{1}{2}(h+z) \cdot 2C \sqrt{Ka}$	$\frac{1}{2}(h+z) \cdot \gamma_1$	$\frac{1}{2}(h+z) \cdot \gamma_{sat}$	$\frac{1}{2}(h+z) \cdot \gamma_{sat}$		
0.0			0.0		2	1.00	0.000	0	1.00	2.000	1.00	3.000
1.0	2.40	1.40	0.0	0.00	2	1.00	1.000	0	1	3.400	2.00	5.400
2.0	1.80	0.80	29.0	0.00	2	0.35	2.000	0	1.664	5.989	3.00	8.989
3.0	1.80	0.80	29.0	2.92	2	0.35	3.000	3.400229	1.664	7.320	4.00	11.320
4.0	1.67	0.67	23.6	2.92	2	0.43	4.000	3.8215889	1.999	9.357	5.00	14.357
5.0	1.67	0.67	23.6	2.92	2	0.43	5.000	3.8215889	1.999	10.696	6.00	16.696
6.0	1.67	0.67	23.6	1.01	2	0.43	6.000	1.321851	1.999	12.036	7.00	19.036
7.0	1.61	0.61	11.5	1.01	2	0.67	7.000	1.6504092	1.875	11.759	8.00	19.759
7.5	1.61	0.61	11.5	1.01	2	0.67	7.500	1.6504092	1.875	12.331	8.50	20.831
8.0	1.63	0.63	17.5	2.32	2	0.54	8.000	3.4021888	1.976	13.908	9.00	22.908
9.0	1.63	0.63	17.5	2.32	2	0.54	9.000	3.4021888	1.976	15.153	10.00	25.153
10.0	1.63	0.63	17.5	2.32	2	0.54	10.000	3.4021888	1.976	16.398	11.00	27.398
11.0	1.63	0.63	17.5	2.32	2	0.54	11.000	3.4021888	1.976	17.642	12.00	29.642
12.0	1.63	0.63	17.5	2.32	2	0.54	12.000	3.4021888	1.976	18.887	13.00	31.887
13.0	1.61	0.61	23.6	4.04	2	0.43	13.000	5.2874038	1.999	19.853	14.00	33.853
13.5	1.61	0.61	23.6	4.04	2	0.43	13.500	5.2874038	1.999	20.463	14.50	34.963
14.0	1.86	0.86	30.0	5.69	2	0.33	14.000	6.5702461	1.988	27.912	15.00	42.912
15.0	1.86	0.86	30.0	5.69	2	0.33	15.000	6.5702461	1.988	29.622	16.00	45.622
16.0	1.89	0.89	30.0	9.67	2	0.33	16.000	11.165954	1.988	32.286	17.00	49.286
17.0	1.89	0.89	30.0	9.67	2	0.33	17.000	11.165954	1.988	34.055	18.00	52.055
18.0	1.89	0.89	30.0	9.67	2	0.33	18.000	11.165954	1.988	35.824	19.00	54.824
19.0	1.89	0.89	30.0	9.67	2	0.33	19.000	11.165954	1.988	37.594	20.00	57.594
20.0	1.89	0.89	30.0	9.67	2	0.33	20.000	11.165954	1.988	39.363	21.00	60.363
21.0	1.89	0.89	30.0	9.67	2	0.33	21.000	11.165954	1.988	41.132	22.00	63.132

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE No. 16/R

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 KW. UNDERGROUND POWER LINES

PREPARED BY : GOOD (P/D)

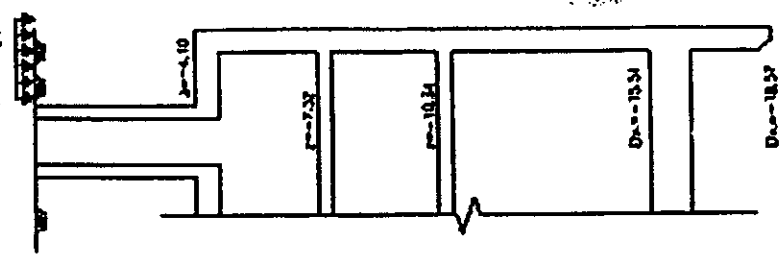


Depth Z(m)	γ_1 (γ_m)	γ_{sat} (γ_m)	ϕ (deg.)	C (γ_m)	q (γ_m)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest				
						K_a	$\gamma_{(h+z)} - 2CV/K_a$	σ'_a (γ_m)	K_0	$\gamma_{(h+z)}$	σ'_e (γ_m)	
0.0						1.00	0.000	0	1	2.000	1.00	3.000
1.0	2.40	1.40				1.00	1.000	0	1	3.400	2.00	5.400
1.5	2.40					1.00	1.500	0	1	2.000	2.50	4.500
2.0	1.80	0.80	23.6	4.36	2	0.43	5.7062081	-2.165	1.999	7.197	3.00	10.197
2.5	1.80		23.6	4.36	2	0.43	5.7062081	-2.350	1.999	3.999	3.50	7.499
3.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	2.034	1.976	7.982	4.00	11.982
4.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	3.399	1.976	9.325	5.00	14.325
5.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	4.765	1.976	10.668	6.00	16.668
6.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	6.131	1.976	12.012	7.00	19.012
7.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	7.496	1.976	13.355	8.00	21.355
8.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	8.862	1.976	14.699	9.00	23.699
9.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	10.227	1.976	16.042	10.00	26.042
10.0	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	11.593	1.976	17.386	11.00	28.386
10.5	1.68	0.68	17.5	2.14	2	0.54	3.1382258	12.276	1.976	18.057	11.50	29.557
11.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	10.259	1.999	19.393	12.00	31.393
12.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	11.559	1.999	20.792	13.00	33.792
13.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	12.858	1.999	22.192	14.00	36.192
14.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	14.158	1.999	23.591	15.00	38.591
15.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	15.458	1.999	24.991	16.00	40.991
16.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	16.758	1.999	26.390	17.00	43.390
17.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	18.057	1.999	27.790	18.00	45.790
18.0	1.70	0.70	23.6	3.74	2	0.43	4.8947748	19.357	1.999	29.189	19.00	48.189
19.0	1.77	0.77	30.0	5.74	2	0.33	6.6279811	17.915	1.988	33.061	20.00	53.061
20.0	1.91	0.91	30.0	10.97	2	0.33	12.667065	14.086	1.988	40.158	21.00	61.158
21.0	2.00	1.00	30.0	17.33	2	0.33	20.01096	8.656	1.988	45.725	22.00	67.725

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE NO. 17/J

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 KV. UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : CCOD (FD)

2,000 kg/cm² Soil Description

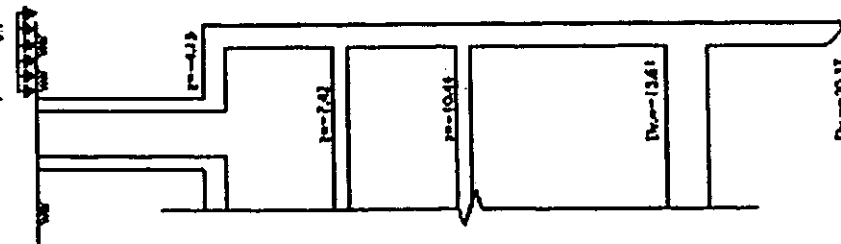


Depth Z(m.)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	Y ₃ (m)	φ ₁ (deg.)	C (m ²)	q (m ²)	K _a Ka(g ² /h)	Active Earth Pressure		Earth Pressure at Rest	
								Y _a (h+z) (m)	2C√Ka	K _a Ka(g ² /h)	Y _r (h+z) (m)
0.0				30.0		2	0.33	0.000	0	1.988	4.976
1.0	1.90	0.90	0.00	30.0	0.00	2	0.33	1.000	0	1.988	7.765
2.0	1.90	0.90	0.00	30.0	0.00	2	0.33	2.000	0	1.988	10.555
2.5	1.90	0.90	0.00	30.0	0.00	2	0.33	2.500	0	1.988	11.949
3.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	3.000	2.3903309	1.976	12.041
4.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	4.000	2.3903309	1.976	14.404
5.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	5.000	2.3903309	1.976	16.767
6.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	6.000	2.3903309	1.976	19.130
7.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	7.000	2.3903309	1.976	21.494
8.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	8.000	2.3903309	1.976	23.857
9.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	9.000	2.3903309	1.976	26.220
10.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	10.000	2.3903309	1.976	28.583
11.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	11.000	2.3903309	1.976	30.946
12.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	12.000	2.3903309	1.976	33.309
13.0	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	13.000	2.3903309	1.976	35.673
13.5	1.69	0.69	1.63	17.5	1.63	2	0.54	13.500	2.3903309	1.976	36.854
14.0	1.80	0.80	2.54	23.6	2.54	2	0.43	14.000	3.3242589	1.999	41.390
15.0	1.80	0.80	2.54	23.6	2.54	2	0.43	15.000	3.3242589	1.899	43.890
15.5	2.01	1.01	6.38	30.0	6.38	2	0.33	15.500	7.3669894	1.988	51.599
16.0	1.96	0.96	11.73	30.0	11.73	2	0.33	16.000	13.544637	1.988	51.512
17.0	1.96	0.96	11.73	30.0	11.73	2	0.33	17.000	13.544637	1.988	54.421
18.0	1.96	0.96	11.73	30.0	11.73	2	0.33	18.000	13.544637	1.988	57.329
19.0	1.96	0.96	11.73	30.0	11.73	2	0.33	19.000	13.544637	1.988	60.238
20.0	1.96	0.96	11.73	30.0	11.73	2	0.33	20.000	13.544637	1.988	63.146
21.0	1.96	0.96	11.73	30.0	11.73	2	0.33	21.000	13.544637	1.988	66.055

CALCULATION SHEETS OF LATERAL EARTH PRESSURE OF SHAFT/MANHOLE NO. 18/J

PROJECT : CONSTRUCTION OF 230 MM UNDERGROUND POWER LINES
 PREPARED BY : CCDD (ITD)

2,000 kg./m.² Soil Description



Depth Z(m.)	γ_1 (γ_m)	γ_{w1} (γ_m)	ϕ (deg.)	C	a	Active Earth Pressure			Earth Pressure at Rest				
						K_a	$K_a(q + \gamma_1 h)$	$Y_{(h+z)} - 2C \sqrt{Ka}$	K_0	$K_0(q + \gamma_1 h)$	$Y_{(h+z)}$	C_{v1} (Vm.)	
0.0			17.5		2	0.54	1.075	0.000	0	1.976	3.951	1.00	4.951
1.0	1.87	0.87	17.5	1.89	2	0.54	1.543	1.000	2.7716107	1.976	5.670	2.00	7.670
2.0	1.87	0.87	17.5	1.89	2	0.54	2.011	2.000	2.7716107	1.976	7.389	3.00	10.389
3.0	1.87	0.87	17.5	1.89	2	0.54	2.478	3.000	2.7716107	1.976	9.108	4.00	13.108
4.0	1.71	0.71	23.6	2.79	2	0.43	2.073	4.000	3.6514497	1.999	9.676	5.00	14.676
4.5	1.71	0.71	23.6	2.79	2	0.43	2.903	5.000	2.7276169	1.976	10.668	6.00	16.668
5.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	2.903	6.000	2.7276169	1.976	12.012	7.00	19.012
6.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	3.269	7.000	2.7276169	1.976	13.355	8.00	21.355
7.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	3.634	8.000	2.7276169	1.976	14.699	9.00	23.699
8.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	4.000	9.000	2.7276169	1.976	16.042	10.00	26.042
9.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	4.366	10.000	2.7276169	1.976	17.386	11.00	28.386
10.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	4.731	11.000	2.7276169	1.976	18.729	12.00	30.729
11.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	5.097	12.000	2.7276169	1.976	20.072	13.00	33.072
12.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	5.462	13.000	2.7276169	1.976	21.416	14.00	35.416
13.0	1.68	0.68	17.5	1.86	2	0.54	5.828	14.000	3.8608518	1.999	24.151	15.00	39.151
14.0	1.72	0.72	23.6	2.95	2	0.43	5.173	14.500	3.8608518	1.999	24.871	15.50	40.371
14.5	1.72	0.72	23.6	2.95	2	0.43	5.327	15.000	5.8276823	1.999	23.791	16.00	39.791
15.0	1.66	0.66	23.6	4.30	2	0.43	5.096	16.000	5.8276823	1.999	25.111	17.00	42.111
16.0	1.66	0.66	23.6	4.30	2	0.43	5.378	17.000	6.385494	1.988	28.986	18.00	46.986
17.0	1.74	0.74	30.0	5.53	2	0.33	4.860	18.000	17.701559	1.988	36.540	19.00	55.540
18.0	1.91	0.91	30.0	15.33	2	0.33	6.127	19.000	17.701559	1.988	38.349	20.00	58.349
19.0	1.91	0.91	30.0	15.33	2	0.33	6.430	20.000	17.701559	1.988	40.158	21.00	61.158
20.0	1.91	0.91	30.0	15.33	2	0.33	6.733	21.000	17.701559	1.988	41.967	22.00	63.967
21.0	1.91	0.91	30.0	15.33	2	0.33	7.037						

ภาคผนวก ฉ

ผลการเจาะสำรวจชั้นดินโครงการก่อสร้างอุโมงค์บำบัดน้ำเสีย

PROJECT BANGKOK WASWATER-STAGE 4										LOCATION LINE A, SHAFT NO. C010A																
DATE		4/10/2002		BORING No. BH-C010A				JOB No. 8230				By SCH		OBSERVED W.L.		-0.37 M.										
SAMPLE No	DEPTH		WATER		CONTENT %		ATTERBERG LIMIT		WET UNIT		SIEVE ANALYSIS				CLASSIFICATION		UNDRAINED SHEAR STRENGTH v/m^2									
	FROM	TO					LL	PL	PI	Wt	3/8"	No.	4	No.	10	No.	40	No.	200	UNCONFINED SHEAR	FIELD VANE	TOR	VANE	Penetration		
																				Qu/2	Qu/2	Qv	Qv	1/2Qp	1/2Qp	
ST-01	1.50	2.00	48.90		61.20	25.40	35.80	1.70											CH	2.10				2.40	1.30	
ST-02	3.00	3.50	71.40		84.10	34.30	49.80	1.55											CH	1.40				1.40	1.30	
ST-03	4.50	5.00			(No Recovery)														(CL)							
ST-04	6.00	6.50	37.90		43.40	21.20	22.20	1.85			100	99	61						CL	1.40				1.50	1.30	
ST-05	7.50	8.00	61.40		75.10	30.80	44.30	1.67					100						CH	1.70				2.00	1.30	
ST-06	9.00	9.50	70.70		86.50	35.10	51.40	1.61					100	99					CH	2.40				2.25	1.30	
ST-07	10.50	11.00	63.70		78.40	32.60	45.80	1.64											CH	2.40				2.30	1.30	
ST-08	12.00	12.50	58.60		70.30	26.80	43.50	1.66											CH	2.50				2.50	1.30	
ST-09	13.50	14.00	30.00		68.20	26.10	42.10	1.96											CH	6.40				7.50	6.30	
ST-10	15.00	15.50	32.80		71.00	27.00	44.00	1.92											CH	7.10				10.00	8.80	
SS-11	15.50	15.95	28.40		-	Ditto	-	2.02											CH						10.00	16
ST-12	16.50	16.90	36.30		73.00	27.60	45.40	1.88											CH	8.10				14.00	13.80	
SS-13	16.90	17.35	34.30		-	Ditto	-	1.86					100	99					CH						10.00	16
ST-14	18.00	18.40	35.30		72.40	26.80	45.60	1.87											CH	7.90					13.80	
SS-15	18.40	18.85	27.80		-	Ditto	-	1.96			100	98	96	89					CH						11.30	19

SUMMARY OF TEST RESULTS																		
PROJECT			BANGKOK WASWATER-STAGE 4			LOCATION			LINE A, SHAFT NO. A080			By SCH			OBSERVED W.L.			
DATE			3/12/2002			BORING No. BH-A080			JOB No. 8230			UNCONFINED SHEAR STRENGTH $\frac{1}{m}^2$			Penetration			
SAMPLE No.	DEPTH		WATER CONTENT %	ATTERBERG LIMIT		WET UNIT WEIGHT $\frac{m^3}{m^3}$	SIEVE ANALYSIS				CLASSIFICATION	FIELD VANE		TOR VANE	1/2Qp	(blow/ft)		
	FROM	TO		LL	PL		PI	% FINER				Q _u /2	Q _v					
		M.					No.	No.	No.	No.	No.		Q _u /2	Q _v				
SS-01	1.50	1.95	7.40	-	NP	-	100	98	94	55	12	SP-SM						8
ST-02	3.00	3.50	39.20	46.50	22.30	24.20	1.84		100	99	54	CL	1.60			2.50	3.80	
ST-03	4.50	5.00		(No Recovery)								(CH)						
ST-04	6.00	6.50		(No Recovery)								(CH)						
ST-05	7.50	8.00	71.80	89.80	31.00	58.80	1.61					CH	2.50			2.50	1.30	
ST-06	9.00	9.50	69.50	87.20	34.10	53.10	1.63					CH	2.40			2.00	1.30	
ST-07	10.50	11.00	68.10	86.80	33.60	53.20	1.63					CH	2.50			2.50	1.30	
ST-08	12.00	12.50	64.50	83.60	31.80	51.80	1.64					CH	3.40			3.50	2.50	
ST-09	13.50	14.00	54.50	79.40	31.90	47.50	1.74					CH	4.30				11.30	
ST-10	15.00	15.50	32.40	61.50	24.70	36.80	1.98	99	98	97	96	CH	6.20				12.50	
ST-11	16.50	16.95	34.60	65.50	25.80	39.70	1.98	99	98	97	96	CH	8.60				12.50	17
SS-12	16.95	17.40	32.30	63.60	25.20	38.40	1.98	93	89	85	82	CH	10.40				11.30	
ST-13	18.00	18.45	30.10	70.80	28.40	42.40	2.00	100	98	92	81	CH	6.90				17.50	22
SS-14	18.45	18.90	27.30	56.80	23.20	33.60	2.06				100	99	15.20					
SS-15	19.50	19.95	26.30	46.00	18.40	27.60	2.02	100	99	98	75	CL						12

ภาคผนวก ช

ข้อมูลการออกแบบแนวอุโมงค์ที่มีมุมเบี่ยงเบน 0.17°

Span 13J-14R

DATA FOR GUIDANCE SYSTEM
SPAN FROM MH.13/J TO MH.14/R LENGTH:417.487 M.

STARTPOINT- ENDPOINT

CHAINAGE	EASTING	NORTHING	MH.13/J	ORIENTATION ANGLE	VERTICAL ANGLE
-20	669021.799	1524445.909	-12.800	227.8648 gon.	99.8090 gon.
0	669013.322	1524427.795	-12.740	(INNER WALL OF JACKING MH.) SHIFT 5 cm TO R.O.W. ANG = 0.89°	
417.487	668817.305	1524059.226	-12.807	(END POINT) SHIFT 1 cm. TO R.O.W.	

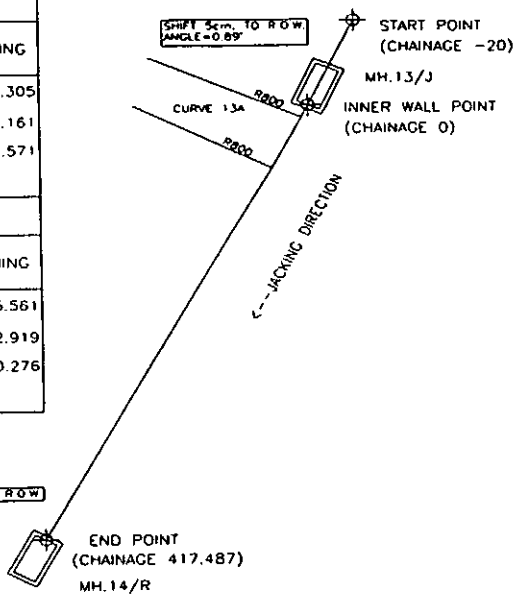
PREPARE HORIZONTAL DATA

NUMBER OF ELEMENT	DESCRIPTION OF ELEMENT	LENGTH OF ELEMENT(M.)	RADIUS OF ELEMENT(M.)
1	STRAIGHT	31.581	0.000
2	CIRCLE	44.472	+800.000
3	STRAIGHT	361.434	0.000

PREPARE VERTICAL DATA

NUMBER OF ELEMENT	DESCRIPTION OF ELEMENT	LENGTH OF ELEMENT(M.)	RADIUS OF ELEMENT(M.)
1	STRAIGHT	214.577	0.000
2	CIRCLE	6.000	-1000.000
3	STRAIGHT	216.910	0.000

CURVE DATA 13A			
MH.13/J->MH.14/R (C/C=426.287M.)		EASTING	NORTHING
STA.7+878.53 - STA.7+452.52			
TANGENT = 22.242 M.	PC.	669008.413	1524417.305
DEFLECTION ANG. = 3°11'6" (RT)	PI.	668998.986	1524397.161
RADIUS = 800.00 M.	PT.	668988.454	1524377.571
L. = 44.472 M.			
CROWN DATA			
		EASTING	NORTHING
	T1	668922.859	1524255.561
	CROWN	668921.438	1524252.919
	T2	668920.018	1524250.276



NOTE :

- ◆ INNER WALL POINT = INNER JACKING MH. WALL(CHAINAGE 0)
- ◆ END POINT = INNER RECEIVING MH. WALL
- C/C = CENTER TO CENTER MANHOLE

PROJECT : CONSTRUCTION OF E&B BY UNDERGROUND POWER LINES BETWEEN LANGKAP AND VEKAYAH SUBSTATIONS CLIENT : METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY No. 6, Cheras, P.O. Box 100, Langkat, Kuala Lumpur, 60008		TITLE : DATA FOR GUIDANCE SYSTEM Span FROM MH.13/J TO MH.14/R DRAWING NO. : VB-PID-13-14		THE JAWA KETAMPILAN THE JAWA DEVELOPMENT PUBLIC COMPANY LIMITED & SINGAPOREAN WATERWORKS DRAWN BY : CHECKED BY :	
NO. : 11/04/2008 DATE :		11/04/2008 DATE :		11/04/2008 DATE :	

Span 4J-3R

DATA FOR GUIDANCE SYSTEM
SPAN FROM MH.4/J TO MH.3/R LENGTH:338.251 M.

STARTPOINT- ENDPOINT

CHAINAGE	EASTING	NORTHING	MH.4/J	ORIENTATION ANGLE	VERTICAL ANGLE
-20	668723.546	1528394.810	-12.800	393.2627 gon.	99.8090 gon.
0	668721.433	1528414.698	-12.740	(INNER WALL OF JACKING MH.)	
338.251	668685.703	1528751.057	-12.767	(END POINT)	

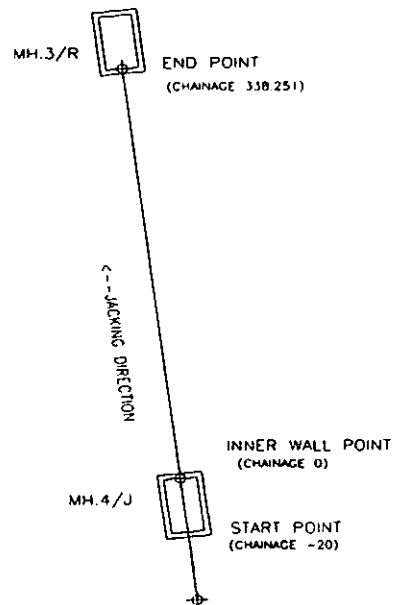
PREPARE HORIZONTAL DATA

NUMBER OF ELEMENT	DESCRIPTION OF ELEMENT	LENGTH OF ELEMENT(M.)	RADIUS OF ELEMENT(M.)
1	STRAIGHT	358.251	0.000

PREPARE VERTICAL DATA

NUMBER OF ELEMENT	DESCRIPTION OF ELEMENT	LENGTH OF ELEMENT(M.)	RADIUS OF ELEMENT(M.)
1	STRAIGHT	181.626	0.000
2	CIRCLE	6.000	-1000.000
3	STRAIGHT	170.625	0.000

CROWN DATA			EASTING	NORTHING
T1	668703.726	1528581.386		
CROWN	668704.043	1528578.403		
T2	668704.360	1528575.420		



NOTE:

- * INNER WALL POINT = INNER JACKING MH. WALL(CHAINAGE 0)
- * END POINT = INNER RECEIVING MH. WALL
- C/C = CENTER TO CENTER MANHOLE

PROJECT : CONSTRUCTION OF 200 KV, HYPERBARIC POWER LINES BETWEEN LAMPANG AND THAKHAN SUBSTATIONS	TITLE : DATA FOR GUIDANCE SYSTEM SPAN FROM MH.4/J TO MH.3/R	THE JOINT VENTURE OF
CLIENT : METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY 20 Sri Chandra, Panchsheel Enclave, Connaught Place, New Delhi-110028	DRAWING NO. : VB-PJD-4-3	DESIGNED BY : _____ CHECKED BY : _____ DATE : _____

Span 15J-14R

DATA FOR GUIDANCE SYSTEM
SPAN FROM MH.15/J TO MH.14/R LENGTH:478.331 M. (REV-B)

START POINT- END POINT

CHAINAGE	EASTING	NORTHING	MH.15/J	ORIENTATION ANGLE	VERTICAL ANGLE
-20	668577.085	1523612.603	-12.800	31.4293 gon.	99.8040 gon
0	668586.562	1523630.215	-12.740	(INNER WALL OF JACKING MH.)	
478.331	668813.233	1524051.428	-12.805	(END POINT)	

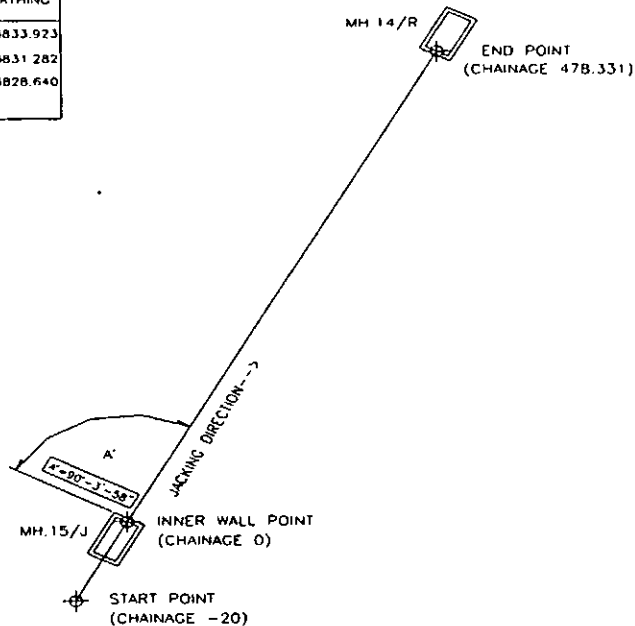
PREPARE HORIZONTAL DATA

NUMBER OF ELEMENT	DESCRIPTION OF ELEMENT	LENGTH OF ELEMENT(M.)	RADIUS OF ELEMENT(M.)
1	STRAIGHT	498.331	0.000

PREPARE VERTICAL DATA

NUMBER OF ELEMENT	DESCRIPTION OF ELEMENT	LENGTH OF ELEMENT(M.)	RADIUS OF ELEMENT(M.)
1	STRAIGHT	245.332	0.000
2	CIRCLE	6.000	-1000.000
3	STRAIGHT	246.999	0.000

CROWN DATA			
	EASTING	NORTHING	
T1	668696.185	1523833.923	
CROWN	668694.764	1523831.282	
T2	668693.342	1523828.640	



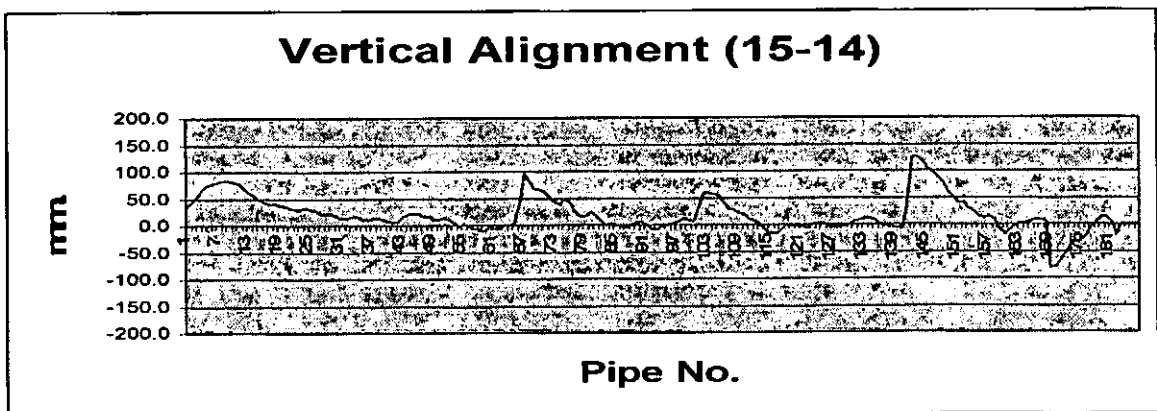
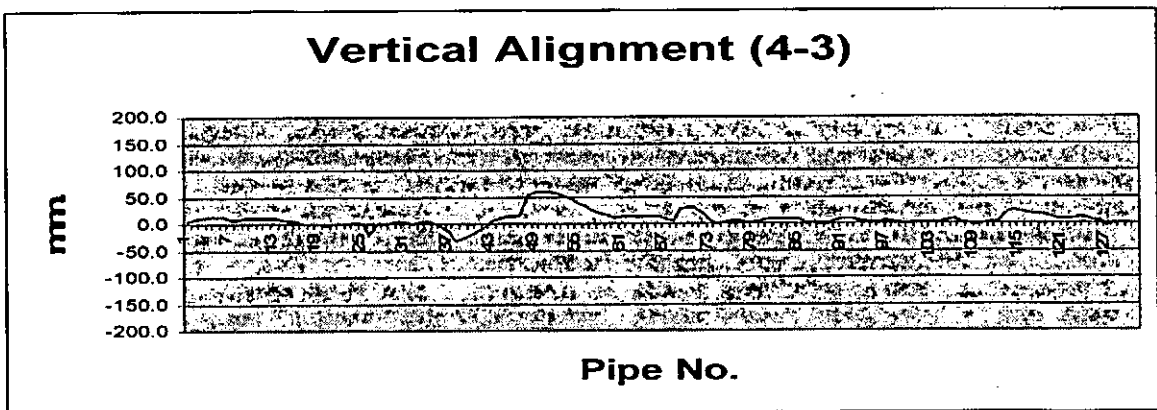
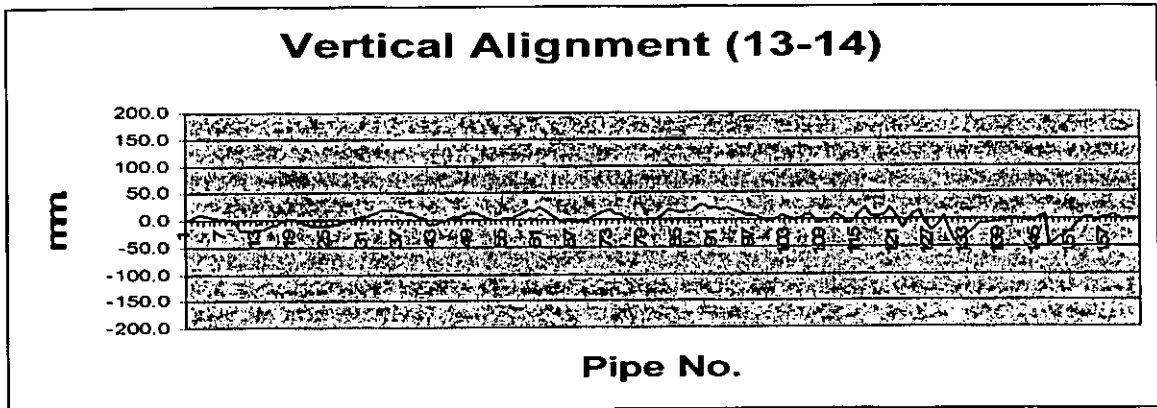
NOTE :

- ◆ INNER WALL POINT = INNER JACKING MH. WALL(CHAINAGE 0)
- ◆ END POINT = INNER RECEIVING MH. WALL
- C/C = CENTER TO CENTER MANHOLE

PROPERTY : CONSTRUCTION OF 220 KV. UNDERGROUND POWER LINES BETWEEN LAMPALAI AND VIBHAPAL SUBSTATIONS CLASS : RETAILER/TRANSMISSION AUTHORITY 20 Sri Quater, P. Road, New Delhi - 110028 Telephone: 2610100	TITLE : DATA FOR GUIDANCE SYSTEM SPAN FROM MH.15/J TO MH.14/R DRAWING NO. : VB-PJD-15-14 CHECKED BY : DATE : SHEET : 1	THE JOINT VENTURE OF BILWA TRADING DEVELOPMENT PUBLIC COMPANY LIMITED & BANGALORE DEVELOPMENT AUTHORITY
1. CHANGING SOFT COPY COORDINATE 2. CHANGING SOFT COPY COORDINATE REV. : DESCRIPTION : DATE :	29/09/98 23/09/98	

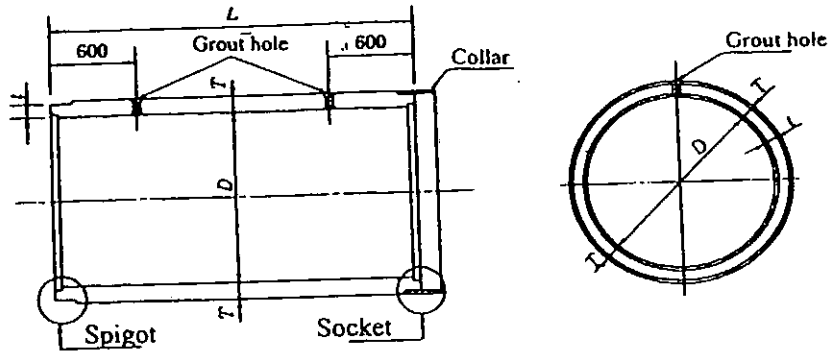
ภาคผนวก ช

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแนวอุโมงค์กับจำนวนท่อคอนกรีต



ภาคผนวก ฅ
มาตรฐาน JSWAS-A2-1991

Figure 1: Shape, Dimensions, and Dimensional Tolerances of Standard Pipe



(Unit: mm)

Nominal Diameter	Internal Diameter D	Thickness T	Effective Length L	Joint Min. Thickness l
800	800 ± 4	$80 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	2430	65
900	900 ± 6	$90 \begin{smallmatrix} +6 \\ -3 \end{smallmatrix}$		75
1000	1000 ± 8	$100 \begin{smallmatrix} +6 \\ -3 \end{smallmatrix}$		85
1100	1100 ± 6	$105 \begin{smallmatrix} +8 \\ -3 \end{smallmatrix}$		90
1200	1200 ± 6	$115 \begin{smallmatrix} +8 \\ -3 \end{smallmatrix}$		100
1350	1350 ± 8	$125 \begin{smallmatrix} +8 \\ -4 \end{smallmatrix}$		105
1500	1500 ± 8	$140 \begin{smallmatrix} +8 \\ -4 \end{smallmatrix}$		120
1650	1650 ± 8	$150 \begin{smallmatrix} +8 \\ -4 \end{smallmatrix}$		130
1800	1800 ± 10	$160 \begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$		140
2000	2000 ± 10	$175 \begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$		155
2200	2200 ± 10	$190 \begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$		170
2400	2400 ± 12	$205 \begin{smallmatrix} +12 \\ -8 \end{smallmatrix}$		180
2600	2600 ± 12	$220 \begin{smallmatrix} +12 \\ -8 \end{smallmatrix}$		195
2800	2800 ± 12	$235 \begin{smallmatrix} +12 \\ -8 \end{smallmatrix}$		210
3000	3000 ± 12	$250 \begin{smallmatrix} +12 \\ -8 \end{smallmatrix}$		225

ภาคผนวก ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์และความหมาย

A	หมายถึง	พื้นที่หน้าตัดของหัวเจาะอุโมงค์
B	หมายถึง	ระยะสัมผัสระหว่างดินกับท่อคอนกรีต
a	หมายถึง	ความหนาของ เอ็มดีเอฟ บอร์ด
c	หมายถึง	ค่าความเชื่อมั่นของดิน
D_0	หมายถึง	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางอุโมงค์
D_p	หมายถึง	ความยาวเส้นรอบรูปของท่อคอนกรีต
d	หมายถึง	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อคอนกรีต
E_1	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์อีลาสติกซิตีของท่อคอนกรีตที่ต่อกัน
E_c	หมายถึง	อีลาสติก โมดูลัสท่อคอนกรีต
E_p	หมายถึง	ค่าคืนตัวของเอ็มดีเอฟ บอร์ด เมื่อไม่มีโหลด
F	หมายถึง	แรงที่ใช้ในการดันท่อคอนกรีต
F_t	หมายถึง	ค่าแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตกับชั้นดิน
F_p	หมายถึง	แรงดันที่เกิดจากแรงดันดิน
H	หมายถึง	ระดับความลึกระหว่างชั้นดินกับแนวอุโมงค์
k	หมายถึง	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของดิน
L	หมายถึง	ความยาวท่อคอนกรีต
P_b	หมายถึง	ความดันที่เกิดจากแรงสมดุลของดิน
P_t	หมายถึง	ความดันหน้าหัวเจาะในขณะสมดุลแรงดันดิน
R	หมายถึง	รัศมีภายนอกของ เอ็มดีเอฟ บอร์ด
r	หมายถึง	รัศมีภายในของ เอ็มดีเอฟ บอร์ด
S_u	หมายถึง	ความเค้นเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ
thk.	หมายถึง	ความหนาของท่อคอนกรีต
t_1	หมายถึง	ความหนาของ เอ็มดีเอฟ บอร์ด
W	หมายถึง	น้ำหนักของท่อคอนกรีต
Z	หมายถึง	จุดสัมผัสระหว่างท่อที่มีมุมเบี่ยงเบน
α	หมายถึง	แรงเชื่อมั่นระหว่างท่อคอนกรีตกับดิน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์และความหมาย

n'	หมายถึง	โพโรซิตี
β	หมายถึง	มุมเบี่ยงเบนของท่อคอนกรีต
γ	หมายถึง	น้ำหนักจำเพาะของดิน
γ_t	หมายถึง	น้ำหนักจำเพาะของดินในสภาวะอิ่มตัว
γ_w	หมายถึง	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ
γ_{sub}	หมายถึง	น้ำหนักจำเพาะของดินในสภาวะได้น้ำ
δ	หมายถึง	มุมเสียดทานของดินระหว่างท่อคอนกรีตกับดิน
ϕ	หมายถึง	มุมเสียดทานภายในของดิน
θ	หมายถึง	มุมอ้างอิง
σ'_{v1}	หมายถึง	ความเค้นรวมบนท่อคอนกรีตเมื่อมีระดับน้ำใต้ดิน
σ'_h	หมายถึง	ความเค้นในแนวระนาบที่กระทำท่อคอนกรีต
σ'_v	หมายถึง	ความเค้นในแนวตั้งบนท่อคอนกรีต
σ'_i	หมายถึง	ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับรอยต่อระหว่างท่อคอนกรีต
σ'_{po}	หมายถึง	ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับรอยต่อกรณีโหลดแบบสม่ำเสมอ
σ'_{ha}	หมายถึง	แรงต้านทานจากแรงดันดินแบบแอกทีฟ
σ'_{hp}	หมายถึง	แรงต้านทานจากแรงดันดินแบบพาสซีฟ
μ	หมายถึง	สัมประสิทธิ์ความหนืด
τ	หมายถึง	ความเค้นเฉือนของดิน

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล	ประภทฤษฎี วงศ์สุนทรชาติ
วันเดือนปีเกิด	23 เมษายน พ.ศ.2507
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	27/21 หมู่ 7 ถนน รังสิต - นครนายก หมู่บ้าน มาลีรมย์ 5 ตำบล คลองหก อำเภอ คลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	วิศวกรเครื่องกลอาวุโส
สถานที่ทำงานในปัจจุบัน	โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ คลองแสนแสบและ คลองลาดพร้าว ลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2530 - 2533	บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล็อปเมนต์ จำกัด (มหาชน)
พ.ศ. 2533 - 2534	อาจารย์ 1 ระดับ 3 วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2534 - 2537	บริษัท มิตรแลนด์ คอปอ์เรชั่น จำกัด
พ.ศ. 2537 - ปัจจุบัน	บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล็อปเมนต์ จำกัด (มหาชน)
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2526	ปวช. ช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2528	ปวส. เครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2530	ค.อ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2547	วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ