การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18
18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัด-ขอนแก่น

การศึกษาผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ ที่มีต่อต้นทุนพลังงานในการดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

A study of skin friction by mixing acrylamind polymer concern the energy cost in underground pipe jacking of Bangkok clay

ประกฤษฎ์ วงศ์สุคนธ์ชาติ[1] วิชิต บัวแก้ว[2] พิชัย อัษฎมงคล[3]
โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
และ กองวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
อ.องค์รักษ์ จ.นครนายก.26120
โทร. 037-322609 โทรสาร.037-322609 E-mail:asia_pk45@yahoo.com[1] vichitb@swu.ac.th[2] pichaias@swu.ac.th[3]

Prakrish Vongsukonchat[1] Vichit Buakaew[2] Pichai Asadamongkol[3]
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University.
and Department of Mechanical Engineering, Chulajomklao Royal Military Academy Jointed Graduated Program,
Nakronnayok Thailand.26120
Tel: 037-322609 Fax: 037-322609 E-mail: E-mail:asia_pk45@yahoo.com[1] vichitb@swu.ac.th[2] pichaias@swu.ac.th[3]

บทคัดย่อ

ในยุคที่พลังงานมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการประกอบการเพิ่มขึ้น อย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นถ้าสามารถลดพลังงานลงก็จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณ การใช้พลังงานของประเทศ และขององค์กรนั้น ๆ และถ้าสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ก็จะเป็นการชะลอการดึงพลังงานสำรองของประเทศมาใช้อีกด้วย การเจาะอุโมงค์ใต้ดิน พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุด ต่อพลังงานที่ใช้คือแรงเสียดทาน ถ้าสามารถลดแรงเสียดทานในการเจาะอุโมงค์หรือแรงเสียดทานในการดันท่อคอนกรีตได้ ก็จะสามารถลดพลังงานที่ใช้ได้เช่นกัน การศึกษาเรื่องผลของแรงเสียดทานโดยใช้ของผสมอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ ที่มีต่อต้นทุนพลังงานใน การดันท่อใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานครนี้ เป็นการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ กับ น้ำ เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อคอนกรีตกับชั้นดินจาก 0.50 Ton/m^2 เหลือแรงเสียดทาน.เฉลี่ย 0.1 Ton/m^2 ที่ระยะทาง 500 m.จึงประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 18.5 MWh.และสามารถออกแบบแรงที่ใช้ดันท่อคอนกรีต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,000 $\pm$ 40 mm.ให้เคลื่อนที่ในระยะทางเฉลี่ย 500 m.โดยใช้กระบอกไฮดรอลิคขนาด 600 Ton ซึ่งมีผลต่อการออกแบบความหนาท่อคอนกรีตที่ใช้ตามมาตรฐาน BS.5911 Part 120. (ความหนาลดลงจาก 250 mm.เป็น 220 mm.)โดยแนวทางการประหยัดพลังงานจากการใช้ของผสมระหว่างอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ กับน้ำ เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อคอนกรีตกับชั้นดิน เป็นการลดต้นทุนพลังงานในการดันท่อ เพื่อเป็นราคามาตรฐานในการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีตใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานครโครงการอื่นต่อไป.

Abstract

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. Tis 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 0.50 Ton/m^2 to 0.1 Ton/m^2 and total cost of electrical power can be saved up to 18.5 MWh /month.

1.บทนำ

1.1 การก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้วิธีดันท่อคอนกรีต

งานก่อสร้างอุโมงค์สายไฟแรงสูงในประเทศไทยเริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตความเป็นอยู่ของชาวกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี 2538 ในโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน(ถนนศรีนครินทร์) โดย บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน) ใช้วิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking Method) ซึ่งเป็นโครงการแรกในประเทศไทย

1.1.1ชนิดของหัวเจาะที่นำเข้ามาใช้ในประเทศไทย

1.1.1.1 แบบธรรมดาใช้คนขุดเจาะ(Conventional shield)

1.1.1.2 หัวเจาะแบบเปิด (Open shield)

1.1.1.3 หัวเจาะสมดุลแรงดันดินโดยใช้ของผสม (Slurry shield)

1.1.1.4 หัวเจาะสมดุลแรงดันดินโดยใช้สกรูลำเลียงดิน (Earth pressure balance)

1.1.1.5 หัวเจาะขนาดใหญ่ (Tunnel boring machine)

1.1.1.6 หัวเจาะแบบใช้ก้านเจาะนำร่อง (Pilot boring machine)

1.1.2 .ลักษณะงานก่อสร้างโดยวิธีดันท่อคอนกรีต (Pipe Jacking)

งานก่อสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าโดยวิธีดันท่อคอนกรีต จะมีขนาด หัวเจาะตั้งแต่ 600 – 3,600 mm. ถ้าขนาดโตกว่า 3,600 mm. จะไม่สามารถก่อสร้างด้วยวิธีดันท่อคอนกรีต เนื่องจากขนาดของท่อคอนกรีตโตเกินกว่าจะใช้รถเทลเลอร์ขนย้าย โดยจะใช้อุโมงค์แบบผนังคอนกรีตเป็นชิ้นประกอบกันแทนท่อคอนกรีต

1.1.2.1.โครงการก่อสร้างท่อสาธารณูปโภครวม ซึ่งอยู่ระหว่างศึกษา และวางแผนที่จะนำเอาระบบสาธารณูปโภค ไฟฟ้า, ประปา, โทรศัพท์ และ เคเบิลสื่อสารของหน่วยราชการ – รัฐวิสาหกิจต่างๆ ติดตั้งในอุโมงค์เดียวกัน เพื่อลดปัญหางานก่อสร้างซ้ำซ้อนที่เคยเกิดขึ้นและทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน,งบประมาณในการก่อสร้าง

1.1.2.2..การก่อสร้างอุโมงค์ในอนาคตแนวโน้ม มีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ผ่านมา โดยที่ประเทศไทยยังขาดวิศวกรที่มีความรู้ความชำนาญในการก่อสร้างอุโมงค์ และ การใช้หัวเจาะอุโมงค์จากต่างประเทศก็มีราคาสูง ซึ่งวิศวกรไทยปัจจุบันนี้ได้เริ่มพัฒนาออกแบบและสร้าง หัวเจาะขนาดเล็กขึ้นใช้ในโครงการบำบัดน้ำเสียของจังหวัดสมุทรปราการบ้างแล้ว แต่ยังไม่สามารถศึกษาในด้านการประหยัดพลังงานของหัวเจาะอุโมงค์ เนื่องจากการพัฒนาออกแบบยังคงรูปแบบ การติดตั้งและเลือกใช้อุปกรณ์เหมือนของต่างประเทศ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยเพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงาน โดยหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างอะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ (Acrylamide Polymer) กับน้ำแทนการใช้เบนโทไนท์ (Bentonite) ซึ่งสามารถลดแรงสูงสุดในการสร้างหัวเจาะ สำหรับ ก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1.เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมระหว่าง อะคริลาไมด์ โพลีเมอร์กับน้ำเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังคอนกรีตกับชั้นดินของกรุงเทพมหานคร

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ระหว่างการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 $^{\circ}$ กับการดันท่อแนวตรง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1.หาขนาดความหนาของท่อคอนกรีตตามมาตรฐาน BS.5911 Part 120 โดยใช้วิธีแบบออสเตรเลีย (Australian method) ในการคำนวณค่าทางทฤษฎี เพื่อหาแรงสูงสุดในการดันท่อคอนกรีตที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5°

1.3.2.ใช้ท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,000 $\pm$ 40 mm. ความหนา 220 mm. และ 250 mm.

1.3.3.ใช้ข้อมูลการเจาะสำหรับชั้นดินของกรุงเทพมหานครที่ระดับความลึก 8 – 15 m.

1.3.4.ความเร็วในการเคลื่อนที่ของท่อคอนกรีตเป็นแบบสม่ำเสมอ

1.3.5 ใช้อะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ ที่มีชื่อการค้า ลาวิโอพอล ซิ้น พี เพื่อลดแรงเสียดทาน

1.4 วิธีดำเนินการ

1.4.1 ช่วงที่1. ศึกษาข้อมูลจากการดันท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,040 mm. ที่มีความหนา 220 mm. ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงใต้ดิน เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น

1.4.2 ช่วงที่2. เก็บข้อมูลจากการดันท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,000 mm. ที่มีความหนา 250 mm. ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์น้ำเสีย กรุงเทพมหานคร ระยะที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ อะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น

1.4.3 ช่วงที่3. ศึกษาตามวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 เพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่สูญเสียจากการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 $^{\circ}$ เปรียบเทียบกับการดันท่อแนวตรงและค่าคำนวณทางทฤษฎี

1.4.4 สรุปผลการคำนวณเพื่อหาขนาดของท่อคอนกรีตตามมาตรฐาน BS.5911 Part 120 กรณีใช้ อะคริลาไมด์ โพลีเมอร์ เป็นสารหล่อลื่น ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับชั้นดินกรุงเทพมหานคร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1.ได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อระยะทางในการดันท่อเพื่อเป็นราคามาตรฐานในการก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นดินของกรุงเทพมหานครโครงการอื่นๆ

1.5.2.เป็นข้อมูลหนึ่งที่จะนำไปใช้ เลือกขนาดหัวเจาะอุโมงค์ใต้ดินโดยวิธีดันท่อ ให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบท่อคอนกรีตที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5° ตาม BS.5911 Part 120 และ JSWAS 1999

2.ทฤษฎีและหลักการคำนวณแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตและหัวเจาะอุโมงค์

2.1 การคำนวณแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในการดันหัวเจาะอุโมงค์

2.1.1 การคำนวณแรงดันดินหน้าหัวเจาะ สำหรับสมาคมงานดันท่อใต้ดิน (Pipe Jacking Association) ได้กำหนดวิธีการคำนวณแรงดันดินหน้าหัวเจาะ โดยใช้ค่าเท่ากับความเค้นในแนวขนานกับแนวพื้นดิน (Marshall Robinson Roe,1995) ซึ่งมีค่าประมาณ 80 – 100 kPa. กระทำกับพื้นที่หน้าตัดของหัวเจาะที่ใช้ในการศึกษานี้

Total Face Pressure Load = 100 kPa.x (π/4) x 3.06^2 m^2

EPB. Dia.3060 mm = 735.41 kN.

= 74.96 Ton.

2.1.2 แรงเนื่องจากน้ำหนักของท่อคอนกรีตบนชั้นดิน (Haslem,1986)

$f = 1.25\ W \tan\delta$ (2.1)

δ = Friction Coefficient (Angle of Friction Between The Pipe)

25% = Minor misalignment

W = Weight of the pipe

2.1.3 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่ (Tezaghi,1943)

$F = (\pi D/2)(\sigma'_v + \sigma'_h)\tan\delta$ (2.2)

F = แรงเสียดทานรวมระหว่างผนังท่อคอนกรีตกับผนังด้านนอกหัวเจาะ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางหัวเจาะ

σ'_v = ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวดิ่ง

σ'_h = ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวระนาบ

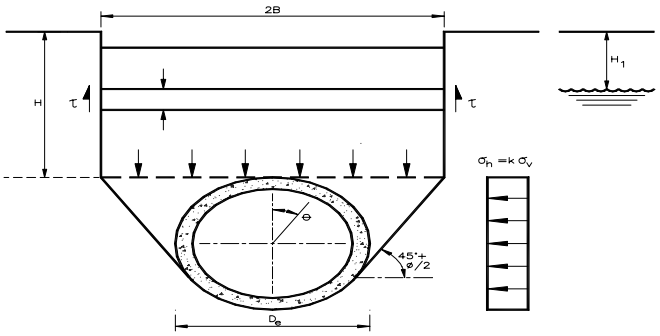
δ = มุมของแรงเสียดทานระหว่างท่อคอนกรีตและชั้นดิน

ϕ = มุมเสียดทานของดิน

γ_s = น้ำหนักของดินในภาวะอิ่มตัว

γ = น้ำหนักดินต่อหน่วย

k = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของดิน



รูปที่ 1 ภาพจำลองโมเดลของแรงดันดิน

จากข้อมูลสำรวจชั้นดิน (Soil Boring Log) ที่ระดับชั้นดินเหนียวอ่อน, ดินเหนียวปานกลาง, ดินดาน (Soft Clay, Medium Clay and Stiff Clay) ของกรุงเทพมหานครได้ข้อมูลของดินดังแสดงในตาราง 1 ถึง 4

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของชั้นดินเหนียวกรุงเทพมหานคร

ชั้นดินกรุงเทพฯ	ϕ (deg)	γ (Ton/m^3)	δ (deg)
ดินเหนียวอ่อน	17.5	1.64	0.87ϕ
ดินเหนียวปานกลาง	23.6	1.58	0.87ϕ
ดินดาน	30	1.83	0.87ϕ

2.1.3.1 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างผนังท่อ

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

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดิน

ชั้นดินกรุงเทพฯ	k
ดินเหนียวอ่อน	0.5376
ดินเหนียวปานกลาง	0.4282
ดินดาน	0.3333

2.1.3.2 ระยะสัมผัสระหว่างดินและท่อคอนกรีต,(2B)

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

ตารางที่ 3 ระยะสัมผัสระหว่างดินและท่อคอนกรีต

ชั้นดินกรุงเทพฯ	2B (m)	B (m)
ดินเหนียวอ่อน	5.9986	2.9993
ดินเหนียวปานกลาง	5.6223	2.8111
ดินดาน	5.2654	2.6327

2.1.3.3 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวดิ่ง

$$\sigma'_{v1} = \frac{\gamma.B\ (1 - e^{-K.\tan\phi.H/B})}{K.\tan\phi} \quad (2.5)$$

$$\sigma'_{v} = \sigma'v_1 .\ e^{-K.\tan\phi.H/B} + \frac{\gamma'.B\ (1 - e^{-.\tan\phi.H/B})}{K.\tan\phi} \quad (2.6)$$

2.1.3.4 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวระนาบ

$$\sigma'_{h} = K\ (\sigma'v\ +0.5\gamma.D) \quad (2.7)$$

ตารางที่ 4 ความเค้นในแนวดิ่งและในแนวระนาบ

ชั้นดินกรุงเทพฯ	σ'_{v1} (Ton/m^2)	σ'_{v} (Ton/m^2)	σ'_{h} (Ton /m^2)
ดินเหนียวอ่อน	11.9462	12.3630	7.1693
ดินเหนียวปานกลาง	14.2500	12.7472	5.8749
ดินดาน	17.1474	13.3577	4.8016

ตารางที่ 5 แรงเสียดทานระหว่างท่อกับชั้นดินทางทฤษฎี

ชั้นดินกรุงเทพฯ	แรงเสียดทานทางทฤษฎี (Ton/m^2)
ดินเหนียวอ่อน	5.3159
ดินเหนียวปานกลาง	6.9743
ดินดาน	8.8961

3.ผลการวิจัย

3.1.ค่าแรงเสียดทานทางทฤษฎีที่ใช้เป็นข้อมูลสำหรับออกแบบท่อคอนกรีตและเป็นข้อมูลการสร้างหัวเจาะอุโมงค์

ข้อมูลจากตารางที่4 ใช้ค่าความเค้นในแนวดิ่งและความเค้นในแนวระนาบคำนวณหาค่าแรงเสียดทานทางทฤษฎี

3.2.แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่กรณีใช้เบนโทไนท์เป็นสารหล่อลื่น

$$F = \text{Jacking Force} - \text{Active Earth Pressure} \quad (2.8)$$

ระยะทางในการดันท่อคอนกรีตช่วงที่1,2 และ3 เท่ากับ92.524,417.487 และ 212.596 m.โดยใช้อัตรา**ส่วนผสม**เบนโทไนท์ 60 Kg ต่อปริมาณน้ำ 1m^3

ตารางที่ 6 แรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับ ชั้นดินกรณีใช้เบนโทไนท์เป็นสารหล่อลื่น

ชั้นดินกรุงเทพฯ	ช่วงที่1 (Ton/m^2)	ช่วงที่2 (Ton/m^2)	ช่วงที่3 (Ton/m^2)
ดินเหนียวอ่อน	0.5672	0.7548	0.6085
ดินเหนียวปานกลาง	0.6744	0.4400	0.4644
ดินดาน	0.6150	0.9452	0.9441

3.3 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดันท่อคอนกรีตให้เคลื่อนที่กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

ระยะทางในการดันท่อคอนกรีตช่วงที่1,2 และ3 เท่ากับ92.524,417.487 และ 212.596 m.โดยใช้อัตรา**ส่วนผสม**อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 0.06,0.12 และ 0.18 Kg ต่อปริมาณน้ำ 0.1 m^{3}ตามลำดับ

ตารางที่ 7 แรงเสียดทานกรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น

ชั้นดินกรุงเทพฯ	ช่วงที่1 (Ton/m^2)	ช่วงที่2 (Ton/m^2)	ช่วงที่3 (Ton/m^2)
ดินเหนียวอ่อน	0.2680	0.1500	0.1090
ดินเหนียวปานกลาง	0.1410	0.1390	0.0875
ดินดาน	0.1740	0.1350	0.1220

3.4. แรงที่ใช้ระหว่างการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 ° กับการดันท่อแนวตรง

3.4.1 แรงสูงสุดในแนวแกน (Axial Force)

เป็นการออกแบบตามมาตรฐาน BS 5911 Part 120 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการผลิตท่อคอนกรีตชนิดหล่อแห้งในแนวดิ่ง(Dry Type Vertical Cast) โดยกำหนดค่าความเค้นของคอนกรีตที่บ่มเป็นเวลา 28 วัน จะต้องไม่น้อยกว่า 600-700 ksc. ทำให้สามารถรับแรงสูงสุดในแนวแกนสำหรับท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,000±40 mm. เท่ากับ 43,527.9 – 50,782.5 Ton.

3.4.2 แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 องศา

เป็นข้อกำหนดในสมาคมดันท่อคอนกรีตและระเบียบวิธีออสเตรเลียน โดยคำนวณเพื่อออกแบบท่อคอนกรีตให้สามารถรับแรงที่เกิดจากแนวท่อคอนกรีตเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 องศา เช่นในกรณีการดันท่อคอนกรีตเพื่อหลบอุปสรรคใต้ดินเป็นแนวโค้ง (Curve Pipe jacking)

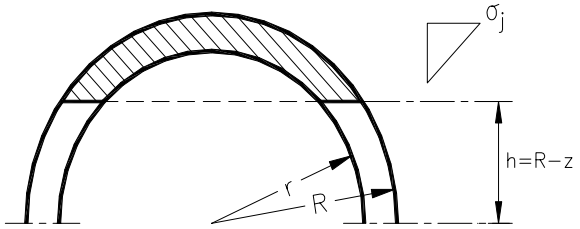
Permissible Jacking Load

$$= \sigma j/(R-h)\{2/3[(R^2 - h^2)^{3/2} - (r^2 - h^2)^{3/2}] - h[(\pi/180)\ R^2 \cos^{-1}(h/R) - (\pi/180)\ r^2 \cos^{-1}(h/r)] + h^2[(R^2 - h^2)^{1/2} - (r^2 - h^2)^{1/2}]\} \quad (2.9)$$

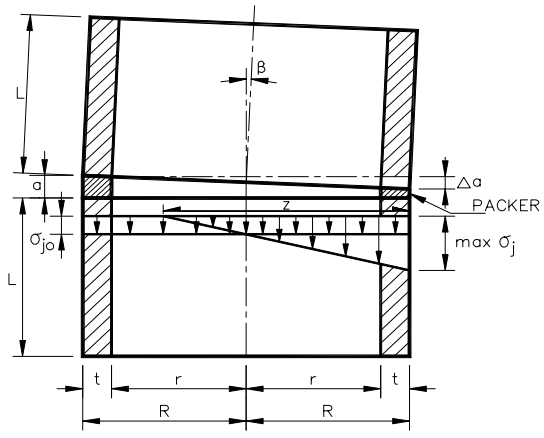
แรงสูงสุดในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 องศา สำหรับท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,000±40 mm. เท่ากับ 1,000 Ton.

กรณี h > r Permissible Jacking Load

$$= \sigma j/(R-h)\{2/3[(R^2 - h^2)^{3/2}] - h[(\pi/180)R^2 \cos^{-1}(h/R) + h^2[(R^2 - h^2)^{1/2}\} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2 พื้นที่หน้าตัดท่อคอนกรีตในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 องศา



รูปที่ 3 มุม β ในแนวเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 องศา

3.4.3 ข้อมูลการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีออสเตรเลียน (Australian Method calculation design)

$$Z = \frac{180}{(\pi)} \frac{a}{Ej} \frac{\max.\ \sigma j}{\beta} \quad (2.11)$$

$$Ej = \frac{a.t.\ Ec.\ Ep}{a.t.\ Ep + tj.\ Ec.L} \quad (2.12)$$

$$H = R - Z \quad (2.13)$$

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 (tj)	=	20	mm
Compressed Packer Width (a)	=	12	mm
Pipe Wall Thickness(t)	=	220	mm
Concrete Pipe ID	=	2,600	mm
Concrete Pipe OD	=	3,040	mm
Concrete Pipe Length (L)	=	2,430	mm
Max.Stress At Pipe Joint (σj)	=	40	N/mm^2
Elastic Modulus Of Conc. Pipe (Ec)	=	40,000	N/mm^2
Reloading Stiffness Of Packing (Ep)	=	150	N/mm^2
Deflection Angle At Pipe Joint(β)	=	0.5	Degrees
Joint Elasticity Coefficient (Ej)	=	92.22	N/mm^2

ตารางที่ 8 แรงสูงสุดทางทฤษฎีสำหรับมุมเบี่ยงเบนต่างๆ

Jacking Force	0.15 Degree	0.25 Degree	0.50 Degree
kN	19,620	14,715	9,810
Ton	1,968	1,476	984

เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับออกแบบท่อคอนกรีตในการดันท่อแนวโค้งและออกแบบแรงสูงสุดของหัวเจาะอุโมงค์

3.5 สรุปผลของแรงเสียดทานต่อการใช้พลังงาน

3.5.1 ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)

กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น และ ระยะทางสูงสุด 500 m.จะใช้พลังงานในการดันท่อคอนกรีตเท่ากับ 838.81 Ton ในชั้นดินเหนียวอ่อน

3.5.2 ชั้นดินเหนียวปานกลาง (Medium Clay)
กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น และระยะทางสูงสุด 500 m. จะใช้พลังงานในการดันท่อคอนกรีตเท่ากับ 584.95 Ton ในชั้นดินเหนียวปานกลาง

3.5.3 ชั้นดินดาน (Stiff Clay)
กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่น และระยะทางสูงสุด 500 m. จะใช้พลังงานในการดันท่อคอนกรีตเท่ากับ 686.01 Ton ในชั้นดินดาน

4 สรุปผลด้านพลังงานไฟฟ้าและค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

4.1กำลังงานที่ใช้ ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น

$$Kw = \frac{(38/2)LPM \times (1/3.785)GPM \times Bar(14.7/1.013)Psi.}{1{,}714 \times 0.9511}$$

Pump efficiency ≈ 95 %

ตารางที่ 9 กำลังงานที่ใช้ต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น

กำลังงานไฟฟ้า KW.	ดินเหนียวอ่อน	ดินเหนียวปานกลาง	ดินดาน
เบนโทไนท์	40.9664	33.5030	53.1428
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์	11.1829	7.7984	9.1458
% ความแตกต่าง	27.29 %	23.27 %	17.21 %

เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลจากการดันท่อระยะทาง 500m.โดยใช้ส่วนผสมของอะคริลาไมด์โพลีเมอร์ 0.06,0.12และ 0.18 Kg ต่อปริมาณน้ำ 0.1 m^3

4.2 พลังงานไฟฟ้าต่อระยะทาง 500 m.

กรณีใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์เป็นสารหล่อลื่นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในชั้นดินเหนียวอ่อนลงได้เท่ากับ 21.44 MWh. ในชั้นดินเหนียวปานกลางลงได้เท่ากับ 18.51 MWh.และ ในชั้นดินดินดานลงได้เท่ากับ 31.68 MWh.

ตารางที่ 10 พลังงานไฟฟ้า/เดือน

พลังงานไฟฟ้า/เดือน MWh.	ดินเหนียวอ่อน	ดินเหนียวปานกลาง	ดินดาน
เบนโทไนท์	29.49	24.12	38.26
อะคริลาไมด์โพลีเมอร์	8.05	5.61	6.58
% ความแตกต่าง	27.29 %	23.27 %	17.21 %

4.3.พลังงานที่ใช้ระหว่างการดันท่อที่มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 ° กับการดันท่อแนวตรง

การออกแบบอุโมงค์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะต้องให้พื้นอุโมงค์มีความลาดชัน 0.3 % ซึ่งเทียบได้เท่ากับมุมเบี่ยงเบนของท่อคอนกรีต 0.15 °มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 11 และ 12

ตารางที่ 11 แรงดันท่อแนวตรง - มุมเบี่ยงเบน 0.15 °

พลังงานที่ใช้ดันท่อ Ton.	ดินเหนียวอ่อน	ดินเหนียวปานกลาง	ดินดาน
ดันท่อแนวตรง	177.3727	242.4659	154.7329
มุมเบี่ยงเบน 0.15 °	198.0125	250.4659	165.7329

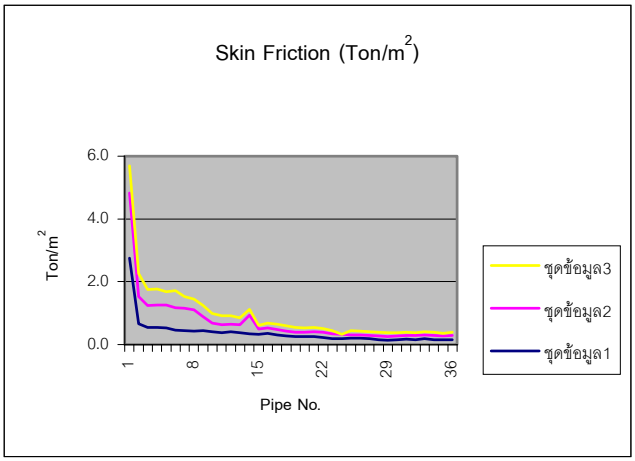
ตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างพลังงานไฟฟ้า/เดือน

พลังงานไฟฟ้า/เดือน MWh.	ดินเหนียวอ่อน	ดินเหนียวปานกลาง	ดินดาน
ดันท่อแนวตรง	1.7025	2.3274	1.4852
มุมเบี่ยงเบน 0.15 °	1.9007	2.4041	1.5908
% ความแตกต่าง	11.63	3.29	7.10

5 สรุปผลเปรียบเทียบแรงเสียดทานจากการใช้อะคริลาไมด์โพลีเมอร์ผสมน้ำ

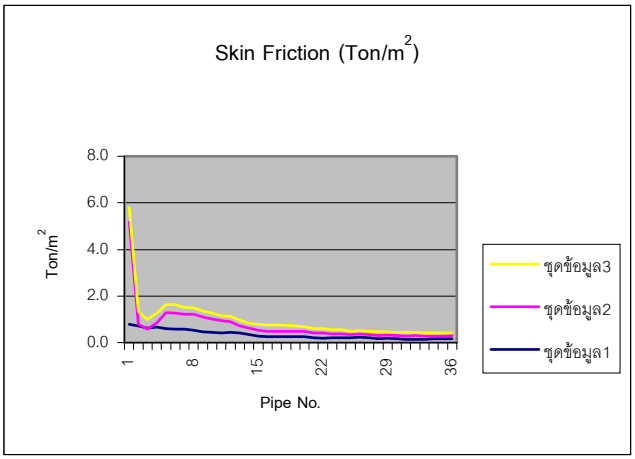
เพื่อเป็นค่ามาตรฐานในการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีดันท่อคอนกรีตใต้ชั้นดินของกรุงเทพมหานครโครงการอื่นในอนาคต.

5.1 กราฟเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่ชั้นดินเหนียวอ่อน



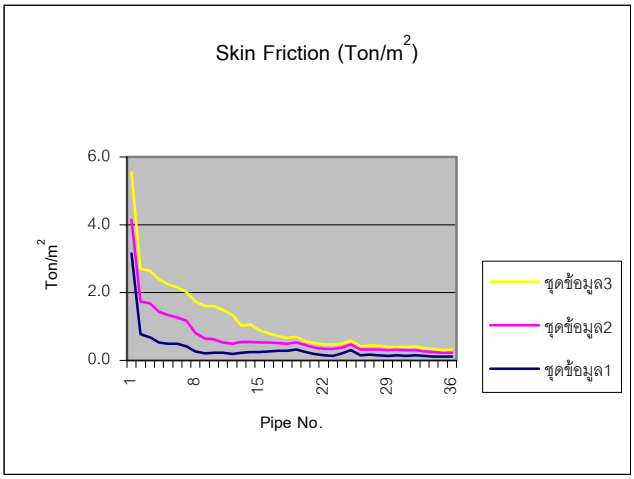
ชุดข้อมูล 1 = ดินเหนียวอ่อน ช่วงความยาว 92.5 m.
ชุดข้อมูล 2 = ดินเหนียวอ่อน ช่วงความยาว 417.4 m.
ชุดข้อมูล 3 = ดินเหนียวอ่อน ช่วงความยาว 212.9 m.

5.2 กราฟเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่ชั้นดินเหนียวปานกลาง



ชุดข้อมูล 1 = ดินเหนียวปานกลางช่วงความยาว 433.0 m
ชุดข้อมูล 2 = ดินเหนียวปานกลางช่วงความยาว 338.2 m
ชุดข้อมูล 3 = ดินเหนียวปานกลางช่วงความยาว 414.6 m

5.3 กราฟเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่ชั้นดินดาน



ชุดข้อมูล 1 = ดินดาน ช่วงความยาว 446.9 m.
ชุดข้อมูล 2 = ดินดาน ช่วงความยาว 478.3 m.
ชุดข้อมูล 3 = ดินดาน ช่วงความยาว 403.5 m.

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัทอิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด(มหาชน) ที่ให้ความรู้และประสบการณ์จากงานก่อสร้างอุโมงค์สายไฟฟ้าแรงสูงและอุโมงค์บำบัดน้ำเสีย.

เอกสารอ้างอิง

[1] Herrenknecht, 1999. Trade literature.

[2] Marshall Robinson Roe.“Guide to best practice for the installation of pipe jacking and microtunnels.”Pipe Jacking Association Press ; 1995. p.24 – 50

[3] Mark Marshall. “Pipe Jacking Tunnelling : Jacking Loads and Ground Momement.” [Dissertation]. Oxford University ; 1998.

[4] Milligan G.W.E.“Soil conditioning and Lubrication in tunnelling, Pipe Jacking and Microtunnelling.” A State-of-the-art review ; 2000.

[5].Sotiris Psomas. “Properties of Foam/ for tunnelling applications.” [Thesis]. St Hugh’s College ; 2001.