



สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์ด้วยหัวเจาะแบบเคเบิลเชิงกล : กรณีศึกษาโครงการก่อสร้าง
รถไฟฟ้าฟ้ามหานครสายสีส้มของสถานีราชมั่งคณา

PREDICTABLE CONSTRUCTION TIME'S EQUATIONS OF DIAPHRAGM WALL DRILLED BY CABLE
MECHANICAL HANG GRAB: A CASE STUDY OF MRT ORANGE LINE AT RAJAMANGALA STATION

สลิดา ไชยพุก^{1*} และ นกิบ อาแวโด²

ผู้ช่วยศาสตราจารย์¹, นักศึกษา²

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*Corresponding author: salisa.ch@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีงานก่อสร้างใต้ดินเกิดขึ้นมากในประเทศไทยหลายโครงการ อาทิ การก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน อาคารจอดใต้ดิน และอุโมงค์ระบายน้ำ เป็นต้น งานก่อสร้างใต้ดินที่มีระดับดินขุดที่ค่อนข้างลึก จำเป็นต้องมีโครงสร้างกันดินที่แข็งแรงเพียงพอมารับแรงดันดินด้านข้าง ไดอะแฟรมวอลล์จึงเป็นหนึ่งในโครงสร้างกันดินที่มีความสำคัญอย่างมาก งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายคือสร้างสมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์ที่ขุดด้วยหัวเจาะแบบเคเบิลเชิงกล เพื่อช่วยลดความล่าช้าของการก่อสร้าง ตรวจสอบความถูกต้องของสมการจากโครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานครสายสีส้มของสถานีราชมั่งคณา การวิเคราะห์แบ่งเวลาการก่อสร้างของไดอะแฟรมวอลล์เป็นสองช่วงเวลาคือ เวลาในการขุดเจาะ, T_{exc} และเวลาหลังจากการขุดเจาะ, T_{at} จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่ส่งผลกับเวลาการก่อสร้างมีหลายตัวแปร เช่น ขนาดของหลุมเจาะ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการขุดกับปริมาณดินที่ขุดได้ และเวลาที่ใช้ดำเนินการหลังการขุดเจาะ เป็นต้น จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการขุดและปริมาณดินที่ขุดได้ ($T_{exc} - V_{exc}$ relationship) พบว่าการขุดดินในชั้นดินทรายจะใช้เวลามากกว่าการขุดดินในชั้นดินเหนียว ยิ่งไปกว่านั้นสมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์ช่วยให้ผู้รับเหมาสามารถวางแผนการกำหนดเวลาการก่อสร้างได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: โครงสร้างกันดิน, การขุดดิน, ชั้นดินทราย, ชั้นดินเหนียว, ความล่าช้า

ABSTRACT

Nowadays, there are lots of underground construction project in Thailand such as subway construction, underground parking building and culvert. Retaining wall is the most crucial part for underground construction project because excavation level for these underground structures is very deep below ground surface. The purpose of this research is to proposed a prediction equations for construction time of diaphragm wall drilled by cable mechanical hang grab. The proposed equation was validated by the

Salisa Chaiyaput^{1*} and Nakib Arwaedo²

Assistant Professor¹, Master Student²

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

measuring data from MRT Orange Line at Rajamangala Station. Construction time of diaphragm wall can be divided into two parts, which are the time of excavation process, T_{exc} and the construction time (after excavation finished), T_{af} . This research indicated that there are many variables factors affect to the construction time such as size of diaphragm wall, $T_{exc} - V_{exc}$ relationship and the time of construction process. From the $T_{exc} - V_{exc}$ relationship was found that the sand layer is more difficult excavation than clay layer. Moreover, the proposed a prediction equation can help contractors to plan the construction schedule correctly.

KEYWORDS: Retaining Wall, Excavation, Sand Layer, Clay Layer

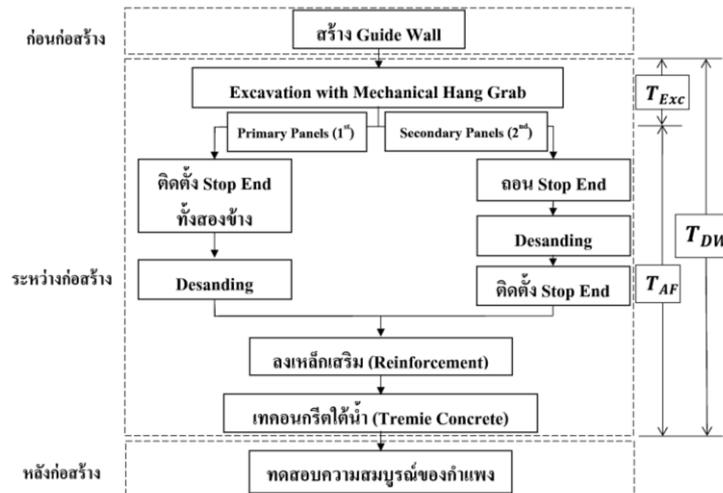
1. บทนำ

เมื่อเมืองหลวงอย่างกรุงเทพมหานครมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว สอดคล้องกับจำนวนประชากรที่เข้ามาอยู่อาศัย มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด ซึ่งนับเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นระบบขนส่งสาธารณะจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญเพื่อช่วยบรรเทาและแก้ไขปัญหาดังกล่าว หนึ่งในระบบขนส่งสาธารณะที่สำคัญและได้รับความนิยมมากในหมู่ประชาชนที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครก็คือ รถไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งโครงการที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ และโครงการที่กำลังก่อสร้างตามนโยบายการพัฒนาประเทศของรัฐบาล เช่น รถไฟฟ้าสายสีเขียว รถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน รถไฟฟ้าสายสีชมพู และรถไฟฟ้าสายสีส้ม เป็นต้น โครงการรถไฟฟ้ามหานครสายสีส้มของสถานีราชมั่งคณา (Orange Line Project: Rajamangala Station) ได้ถูกออกแบบให้ส่วนของสถานีเป็น โครงสร้างใต้ดิน [1]

กำแพงกันดินจึงเป็น โครงสร้างที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการก่อสร้างตัวโครงสร้างของสถานี การก่อสร้างโครงสร้างหรืออาคาร ใต้ดินที่มีขนาดใหญ่และมีความลึกมากนั้น จำเป็นต้องมีระบบกำแพงกันดินที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถรับแรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure) ที่กระทำโดยรอบโครงสร้างได้ ไดอาแฟรมวอลล์ [2] นับเป็นโครงสร้างที่ผู้ออกแบบนิยมนำมาใช้ในการก่อสร้าง โครงสร้างใต้ดิน รวมทั้งใช้ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินหลายโครงการ [3] แต่เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ในแต่ละแห่งนั้นมีความไม่แน่นอน เป็นผลให้มีความล่าช้าเกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง และที่ผ่านมา ยังไม่มีการคาดการณ์เวลาที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้าง ไดอาแฟรมวอลล์ได้อย่างเป็นระบบ มีเพียงการประมาณเวลาอย่างคร่าวๆเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ด้วยหัวใจแบบเคเบิลเชิงกล เพื่อเสนอสมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้าง ไดอาแฟรมวอลล์ ช่วยให้ผู้ออกแบบหรือผู้ควบคุมงานสามารถวางแผนและกำหนดเวลาการก่อสร้างได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. ขั้นตอนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์

วิธีก่อสร้างและติดตั้งไดอาแฟรมวอลล์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ (1) ช่วงก่อนก่อสร้าง (2) ช่วงระหว่างก่อสร้าง และ (3) ช่วงหลังก่อสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากช่วงเวลาระหว่างก่อสร้าง ไดอาแฟรมวอลล์ เป็นช่วงที่ใช้เวลาในการก่อสร้างมากที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาช่วงเวลาดังกล่าวอย่างละเอียด จากการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง ไดอาแฟรมวอลล์ ต่อหนึ่งแผง, T_{dw} เท่ากับ เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดิน, T_{exc} รวมกับเวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตเสร็จ, T_{af} ดังสมการที่ 1



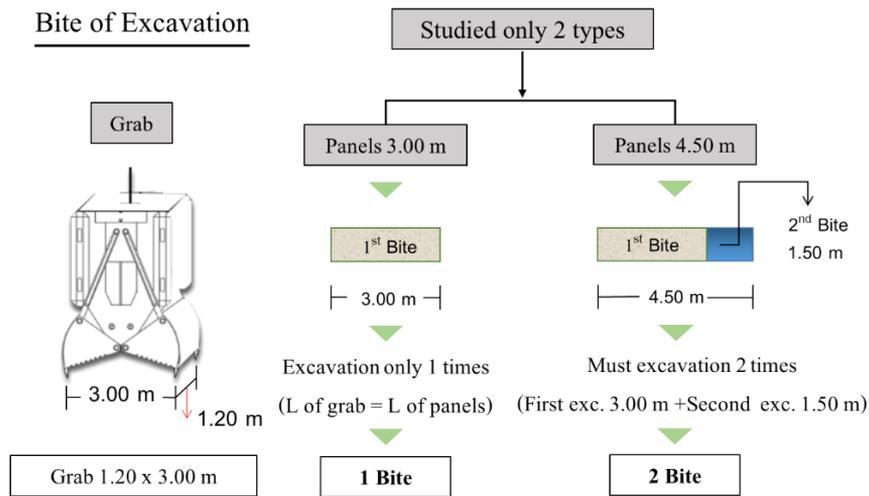
รูปที่ 1 แผนภาพสรุปขั้นตอนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์

$$T_{dw} = T_{exc} + T_{af} \tag{1}$$

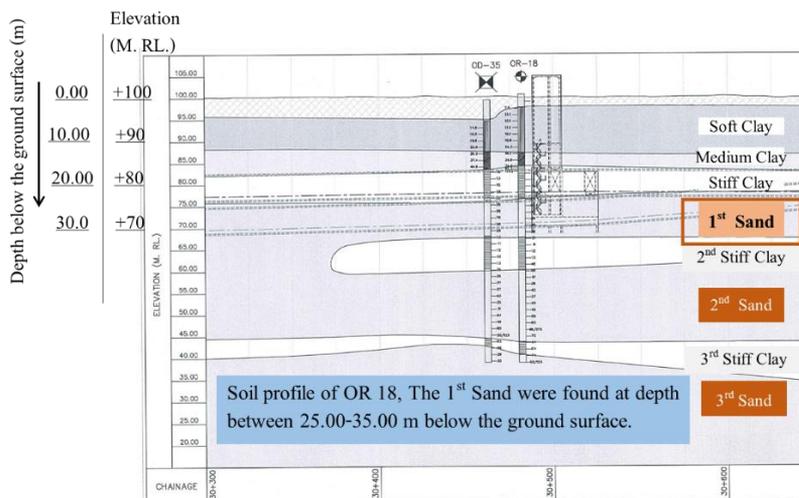
เมื่อ T_{dw} คือ เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ต่อหนึ่งแผง, T_{exc} คือ เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดิน (Excavation) ต่อหนึ่งแผง และ T_{af} คือ เวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดิน (After Excavation) จนถึงเทคอนกรีตเสร็จต่อหนึ่งแผง

3. เงื่อนไขในการวิเคราะห์

ไดอาแฟรมวอลล์จะถูกติดตั้งทีละแผง (Panel) โดยความกว้างและความยาวของแผงไดอาแฟรมวอลล์จะถูกกำหนดด้วยขนาดของเครื่องมือขุดเจาะ (Grab) [4] ในงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ด้วยหัวเจาะแบบเคเบิลเชิงกล (Cable Mechanical Hang Grab) ที่มีความกว้าง 1.20 เมตร และ มีความยาว 3.00 เมตร ตามลำดับ เนื่องจากขนาดของหัวเจาะจะเป็นตัวกำหนดความกว้างของหลุมเจาะ ดังนั้นความกว้างของหลุมเจาะคือ 1.20 เมตรเท่านั้น ในขณะที่ความยาวของเครื่องมือเจาะไม่ได้เป็นตัวกำหนดขนาดของหลุมเจาะ เนื่องจากการขุดหลุมเจาะแผงที่มีความยาวมากกว่า 3.00 เมตรสามารถทำได้ โดยทำการขุดหลุมเจาะมากกว่า 1 ครั้ง งานวิจัยนี้สนใจเฉพาะแผงที่มีความยาว 3.00 เมตร และ 4.50 เมตรเท่านั้น และกำหนดเรียกแผงดังกล่าวว่า แผงที่มี 1 Bite (3.00 เมตร) และแผงที่มี 2 Bite (4.50 เมตร) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เงื่อนไขการวิเคราะห์การขุดเจาะของหัวเจาะแบบเคเบิลเชิงกล (Cable Mechanical Hang Grab)



รูปที่ 3 ลักษณะชั้นดินของโครงการ OR18 [5]

4. พื้นที่ที่ทำการศึกษา

4.1 สภาพชั้นดิน

ข้อมูลจากการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil Profile) ของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานครสายสีส้มของสถานีราชมั่งคณา (OR18) [5] มีลักษณะดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย ชั้นดินเหนียว (Clay) จนถึงความลึกประมาณ 25.00 เมตร จากผิวดิน จากนั้นเป็นชั้นดินทราย ชั้นแรก (1st Sand Layer) มีความลึกประมาณ 25.00 เมตร – 35.00 เมตร และชั้นดินที่ลึกลงไปเป็นชั้นดินเหนียววางตัวสลับกับชั้นดินทรายดังแสดงในรูป

4.2 ไดอะแฟรมวอลล์

การเรียกชื่อลำดับของแผงไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall Panels) ใช้ตัวย่อลักษณะดังนี้ คือ DW XXX โดย DW หมายถึง ไดอะแฟรมวอลล์ และตามด้วยหมายเลข XXX หมายถึงเลขลำดับของแผงไดอะแฟรมวอลล์ การวิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ประกอบด้วยแผงไดอะแฟรมวอลล์ที่ขุดเจาะด้วยรถเครน 3 คัน ที่มีแนวโน้มการขุดเจาะที่เหมือนกันจำนวน 12 แผง ที่มีความยาว 3.00 เมตร และ 4.50 เมตร คือ แผงไดอะแฟรมวอลล์หมายเลข DW 110, 107, 102, 120, 125, 111, 106, 126, 112, 113, 104 และ 128 เนื่องจากไม่มีความล่าช้าเกิดขึ้นจากการติดตั้งแผงไดอะแฟรมวอลล์ของพื้นที่ทำการศึกษา การติดตั้งไดอะแฟรมวอลล์มีความลึกตั้งแต่ 40 เมตร ไปจนถึง 70 เมตรขึ้นอยู่กับลักษณะชั้นดินและการรับน้ำหนักของกำแพงกันดิน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดินต่อหนึ่งแผง (T_{exc})

เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดินต่อหนึ่งแผงถูกแบ่งเป็นสองส่วน เนื่องจากการแบ่งส่วนการขุดเจาะของแผง 4.50 เมตร จำเป็นต้องขุดเจาะสองครั้ง (มี 2 Bite) ดังนั้นสมการ

$$T_{exc} = T_1^{st} + T_2^{nd} \quad (2)$$

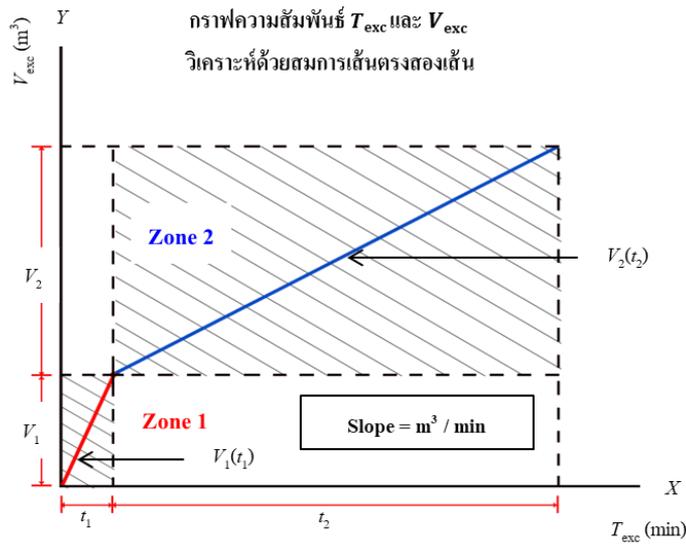
เมื่อ T_1^{st} คือ เวลาในการขุดเจาะ 1st Bite ของแผงนั้นๆ (นาที) และ T_2^{nd} คือ เวลาในการขุดเจาะ 2nd Bite ของแผงนั้นๆ (นาที) สำหรับการวิเคราะห์ T_{exc} นั้น สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีที่เรียกว่า การวิเคราะห์ด้วยวิธีสมการเส้นตรงสองเส้น หรือ Bilinear Equations Method

5.1.1 การวิเคราะห์ด้วยสมการเส้นตรงสองเส้น (Bilinear Equations Method)

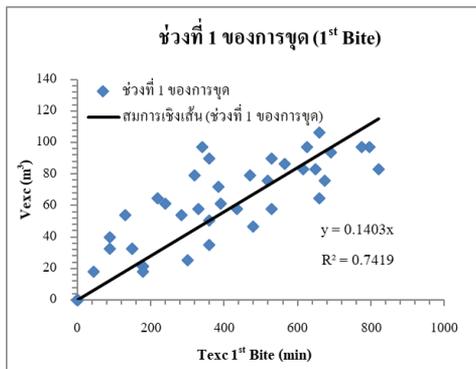
กำหนดให้ตัวแปรต้นในแกน X คือ T_{exc} (min) และตัวแปรตามในแกน Y คือ V_{exc} (m^3) มีความชัน (Slope) เป็นหน่วย m^3/min การวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1st Bite และ 2nd Bite โดยในแต่ละ Bite จะถูกแบ่งเป็น 2 Zone ดังแสดงในรูปที่ 4 และมีเกณฑ์การแบ่ง Zone ที่แตกต่างกัน สำหรับ 1st Bite จะทำการพล็อตข้อมูลแบบแยก Zone 1 และ Zone 2 ด้วยปริมาณดินที่ขุดได้ (Volume, V) โดยจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการขุดและปริมาณดินที่ขุดได้ของแต่ละแผงไดอะแฟรมวอลล์พบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนความชันของกราฟเมื่อปริมาณดินที่ขุดได้เท่ากับ $100 (m^3)$ จึงแบ่งข้อมูล Zone 1 อยู่ในช่วง $0 < V \leq 100 (m^3)$ และ Zone 2 อยู่ในช่วง $V > 100 (m^3)$ ในส่วน 2nd Bite จะพล็อตข้อมูลแบบแยก Zone 1 และ Zone 2 ด้วยการเจาะสตอปเอ็นด์ (Undercut Stop End) โดย Zone 1 คือข้อมูลก่อนทำการเจาะสตอปเอ็นด์ (Before Undercut) และ Zone 2 คือข้อมูลหลังทำการเจาะสตอปเอ็นด์ (After Undercut Stop End) มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พล็อตข้อมูลแบบแยก Zone คือ แยกข้อมูล Zone 1 และ Zone 2 ตามเงื่อนไขของ Bite นั้นๆ แล้วหาสมการ V_1 และ V_2 ดังแสดงในรูปที่ 5 – รูปที่ 6

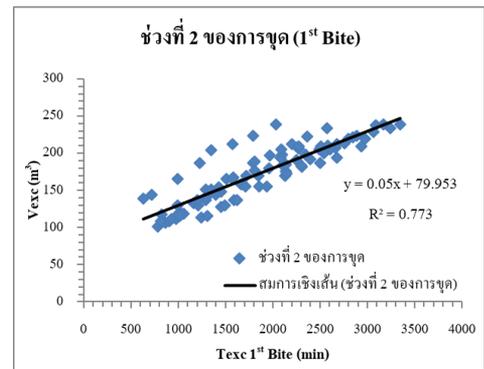
ขั้นตอนที่ 2 หาจุดตัดของสมการ V_1 และ V_2 คือ เพื่อรวมกราฟเข้าด้วยกันจะต้องหาจุดตัดของกราฟก่อน โดยสมการ V_1 และ V_2 ในส่วน 1st Bite (ดังรูปที่ 5) มีจุดตัดที่ $t = 885.42 \text{ min}$ และ $V = 124.22 \text{ m}^3$ และสมการ V_1 และ V_2 ในส่วน 2nd Bite (ดังรูปที่ 6) มีจุดตัดที่ $t = 865.58 \text{ min}$ และ $V = 88.72 \text{ m}^3$



รูปที่ 4 แนวคิดโดยทั่วไปของความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{exc} - V_{exc}$

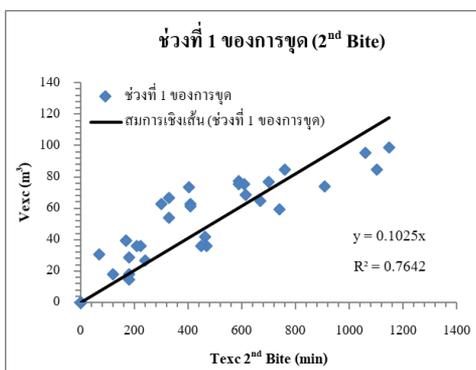


(ก) ข้อมูล Zone 1 (V_1), 1st Bite

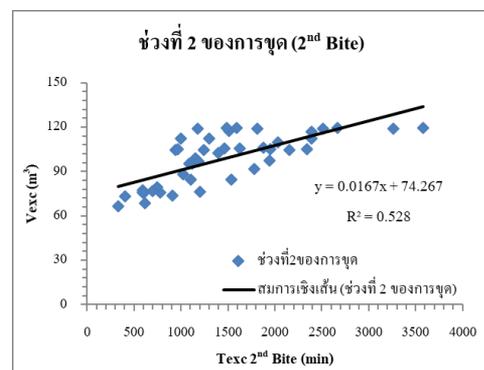


(ข) ข้อมูล Zone 2 (V_2), 1st Bite

รูปที่ 5 ข้อมูลการวิเคราะห์การขุด 1st Bite



(ก) ข้อมูล Zone 1 (V_1), 2nd Bite



(ข) ข้อมูล Zone 2 (V_2), 2nd Bite

รูปที่ 6 ข้อมูลการวิเคราะห์การขุด 2nd Bite

ขั้นตอนที่ 3 สร้างกราฟความสัมพันธ์ใหม่ คือ เมื่อทำการรวมเส้นกราฟ V_1 และ V_2 เข้าด้วยกันด้วยวิธีสมการเส้นตรงสองเส้น จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} และ V_{exc} ของส่วน 1st Bite และ 2nd Bite ดังรูปที่ 7(ก) และรูปที่ 7(ข) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4 สามารถหาปริมาณดินที่ขุดได้ทั้งในส่วน 1st Bite และ 2nd Bite คือ V_1^{st} และ V_2^{nd} ตามลำดับ ซึ่งปริมาณดินที่ขุดได้เป็นไปตามสมการที่ 3 และ สมการที่ 4 ดังนี้

$$V_1^{st} = 1.20 \times 3.00 \times H_d \quad (3)$$

$$V_2^{nd} = 1.20 \times 1.50 \times H_d \quad (4)$$

เมื่อ V_1^{st} คือ ปริมาณดินที่ขุดในส่วน 3.00 เมตรหรือส่วน 1st Bite (m^3) V_2^{nd} คือ ปริมาณดินที่ขุดในส่วน 1.50 เมตรหรือส่วน 2nd Bite (m^3) และ H_d คือ ความลึกการขุดของหลุมเจาะ (m)

ขั้นตอนที่ 5 หาเวลาในการขุดดิน T_1^{st} และ T_2^{nd} คือ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} และ V_{exc} ด้วยวิธีสมการเส้นตรงสองเส้นแล้ว จะได้ T_1^{st} และ T_2^{nd} ดังแสดงในสมการที่ 5 – สมการที่ 8 ภายใต้งื่อนไขต่างๆ ดังนี้

$$T_1^{st} = \frac{V_1^{st}}{0.1403} \quad ; \quad H_d \leq 34.50 \text{ m} \quad (5)$$

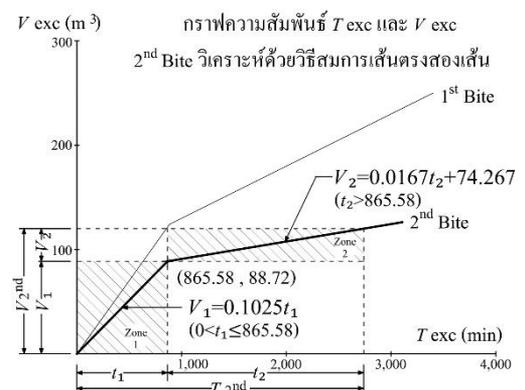
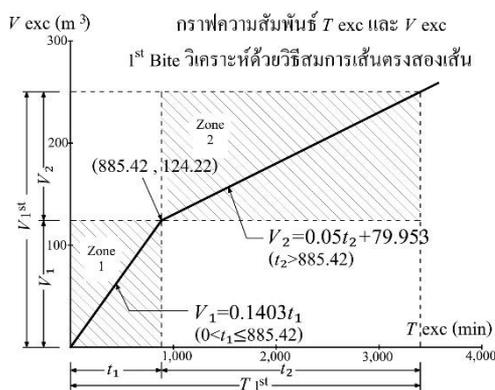
$$T_1^{st} = 885.42 + \left[\frac{V_1^{st} - 124.22}{0.05} \right] \quad ; \quad H_d > 34.50 \text{ m} \quad (6)$$

(ก) 1st Bite

$$T_2^{nd} = \frac{V_2^{nd}}{0.1025} \quad ; \quad H_d \leq 49.30 \text{ m} \quad (7)$$

(ข) 2nd Bite

$$T_2^{nd} = 865.58 + \left[\frac{V_2^{nd} - 88.72}{0.0167} \right] \quad ; \quad H_d > 49.30 \text{ m} \quad (8)$$



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} - V_{exc} วิเคราะห์ด้วยสมการเส้นตรงสองเส้น

5.2 เวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตต่อหนึ่งแผง (T_{af})

เวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตต่อหนึ่งแผง, T_{af} ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากมีหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลาในการติดตั้งหรือถอนสตอปเอ็นด์ การตีแซนด์ การลงเหล็ก และการเทปูน เป็นต้น พบว่าวิธีการประมาณค่าเวลาเฉลี่ย (Average) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ เนื่องจากช่วงเวลาหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตนั้น ใช้เวลาต่างกันไม่มากนัก โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ตามความลึกที่ขุดครั้งนี้ คือ ชุดที่ 1 $H_d = 57.00 - 59.00$ m และชุดที่ 2 $H_d = 66.00 - 68.00$ m จะได้ค่าเฉลี่ยของ T_{af} ดังตารางที่ 1

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} และ V_{exc}

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} และ V_{exc} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีสมการเส้นตรงสองเส้น สามารถอธิบายความเร็วและเวลาของการขุดดินได้ โดยสามารถทำความเข้าใจกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวจากข้อสรุป 2 ข้อดังต่อไปนี้ คือ (1) Slope ของกราฟความสัมพันธ์บอกรถึงความเร็วของการขุดดิน จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} และ V_{exc} พบว่าการขุดใน Zone 2 จะช้าลง (ใช้เวลามากขึ้น) เมื่อเทียบกับ Zone 1 ของการขุด และ (2) เวลาที่ใช้ขุดดินในช่วง 1st Bite จะมากกว่าเวลาที่ใช้ขุดดินในช่วง 2nd Bite

ตารางที่ 1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีต (T_{af}) ของข้อมูลชุดที่ 1 และชุดที่ 2

ความลึก (m)	ลำดับ	Panel No.	T_{af} (hr : min)	ΣT_{af} (hr : min)	ค่าเฉลี่ย T_{af}	
					hr : min	min
ชุดที่ 1 (57.00 – 59.00 m)	1	DW110	36:20	36:20	31:25	1886
	2	DW107	36:25	72:45		
	3	DW102	32:20	105:05		
	4	DW120	25:40	130:45		
	5	DW106	32:25	163:10		
	6	DW113	29:28	192:38		
	7	DW128	27:22	220:00		
ชุดที่ 2 (66.00 – 68.00 m)	8	DW125	33:05	33:05	33:19	2000
	9	DW111	32:00	65:05		
	10	DW126	29:45	94:50		
	11	DW112	35:14	130:04		
	12	DW104	36:35	166:39		

5.4 การระบุความลึกของชั้นทรายชั้นแรกด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบสมการเส้นตรงสองเส้น

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} และ V_{exc} ของหลุม 1st Bite ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีสมการเส้นตรงสองเส้นมาวิเคราะห์ (ดังรูปที่ 7(ข)) พบว่าจุดเปลี่ยนระหว่าง Zone 1 ไป Zone 2 คือจุด (885.42 , 124.22) ซึ่ง $V_{exc} = 124.22$ m³ นำค่าดังกล่าวมาแปลงเป็นความลึกจะได้ $H_d = 34.50$ m กล่าวคือเมื่อขุดดินถึงความลึก 34.50 m จะขุดดินยกขึ้น และคาดการณ์ได้ว่าเริ่มขุดถึงชั้นดินทราย

ชั้นแรก (1st Sand) แล้ว เมื่อนำข้อมูลลักษณะของชั้นดินของพื้นที่ที่ทำการศึกษามาเปรียบเทียบกับว่า ชั้นดินทรายชั้นแรก (1st Sand) อยู่ในช่วงความลึก 25.00 – 35.00 m ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเจาะถึงชั้นดินทรายแล้ว จะขุดดินยกขึ้นและใช้เวลาในการขุดมากขึ้น

6. ผลการวิจัย

6.1 การใช้สมการคาดการณ์เวลา T_{dw}

การใช้สมการให้เลือกใช้ค่า T_{exc} และ T_{af} ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 2 โดย $T_{dw} = T_{exc} + T_{af}$ ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้กับโครงการที่มีลักษณะตรงกับเงื่อนไข ที่แสดงดังต่อไปนี้

- 1) ทำการก่อสร้างและขุดเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ
- 2) พื้นที่ก่อสร้างไม่มีสิ่งกีดขวางทางแนวตั้ง กล่าวคือไม่มีข้อจำกัดทางความสูง อาทิ ไม่มีสะพาน ทางด่วน หรือทางต่างระดับ ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในการก่อสร้าง เป็นต้น
- 3) ใช้หัวเจาะแบบเคเบิลเชิงกล ที่มีขนาดความกว้าง 1.20 เมตร และความยาว 3.00 เมตร ในการขุดเจาะเท่านั้น
- 4) ความกว้างของหลุมเจาะต้องมีขนาด 1.20 เมตรเท่านั้น
- 5) ใช้เบนโทไนท์เป็นสารพุงหลุมเจาะ

6.2 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการ

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการคาดการณ์ เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างจริงของแพจไดอาแฟรมวอลล์หมายเลข DW123 , 109 , 103 และ 121 ซึ่งเป็นแพจที่มีลักษณะเบื้องต้นตรงกับเงื่อนไขของสมการ พบว่าเวลาที่คาดการณ์จากสมการและเวลาที่ใช้ก่อสร้างจริงมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สรุปการใช้สมการคาดการณ์เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ด้วยหัวเจาะแบบเคเบิลเชิงกล T_{exc} และ T_{af}

ช่วงเวลา	วิธีการ	ข้อจำกัด W, L, H_d			สมการประมาณค่า T_{exc} และ T_{af} (min)
		W (m)	L (m)	H_d (m)	
ช่วงขุด T_{exc}	วิธีสมการ เส้นตรง สองเส้น	1.20	3.00	$H_d \leq 34.50$	$T_{exc} = \frac{V_1^{st}}{0.1403}$
				$H_d > 34.50$	$T_{exc} = 885.42 + \left[\frac{V_1^{st} - 124.22}{0.05} \right]$
			4.50	$H_d \leq 34.50$	$T_{exc} = \frac{V_1^{st}}{0.1403} + \frac{V_2^{nd}}{0.1025}$
				$34.50 < H_d \leq 49.30$	$T_{exc} = 885.42 + \left[\frac{V_1^{st} - 124.22}{0.05} \right] + \left[\frac{V_2^{nd}}{0.1025} \right]$
		$H_d > 49.30$	$T_{exc} = 1751 + \left[\frac{V_1^{st} - 124.22}{0.05} \right] + \left[\frac{V_2^{nd} - 88.72}{0.0167} \right]$		
ช่วงหลังขุด T_{af}	ค่าเฉลี่ย	1.20	3.00 , 4.50	$57.00 \leq H_d \leq 59.00$	$T_{af} = 1886$ min
				$66.00 \leq H_d \leq 68.00$	$T_{af} = 2000$ min

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาคาดการณ์ที่ได้จากสมการและเวลาที่ใช้ก่อสร้างจริง

แผน DW (OR18)	ลักษณะ		T_{exc} (min)	T_{af} (min)	เวลาที่คาดการณ์ (hr : min)	เวลาที่ใช้ก่อสร้างจริง (hr : min)	% ความแตกต่าง
	L (m)	H_d (m)					
DW123	3.00	58.00	2577.02	1886	74:23	71:15	4.29%
DW109	3.00	58.00	2577.02	1886	74:23	83:20	11.35%
DW103	3.00	58.00	2577.02	1886	74:23	83:55	12.05%
DW121	4.50	58.70	4507.37	1886	106:33	89:30	17.39%

7. สรุปผล

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{exc} และ V_{exc} สามารถอธิบายข้อมูลและลักษณะของชั้นดิน โดยเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์มีหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะชั้นดิน ปริมาณดินที่ต้องขุด และขั้นตอนการก่อสร้าง เป็นต้น เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์สอดคล้องกับสมการ $T_{dw} = T_{exc} + T_{af}$ มีเงื่อนไขสรุปได้ดังตารางที่ 2 การคาดการณ์เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์สามารถช่วยให้ผู้ออกแบบและวิศวกรสามารถวางแผนงาน ช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้างได้ เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่คำนวณได้จากการประยุกต์ใช้สมการคาดการณ์เวลาที่ไม่น่าช้าสำหรับการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ด้วยห้วเจาะแบบเคเบิลเชิงกลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ และเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างจริง ควรมีค่าความแตกต่างกันไม่เกิน $\pm 15\%$ หากพบว่าเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างจริงเกินค่าดังกล่าว ควรรีบแก้ไข เช่น เพิ่มจำนวนเครื่องจักรหรือเพิ่มคนงาน เพื่อลดความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นในการก่อสร้าง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร. ณรงค์ ทัศนนิพันธ์ บริษัท ซีพี ภูเก็ต จำกัด (มหาชน) และ คุณวิชานนท์ ต้นจรรย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] REALLIST. *MRT Orange Line*, 2016. Available from: [http://www.realist.co.th/blog/MRT Orange Line /](http://www.realist.co.th/blog/MRT%20Orange%20Line/) [Accessed 10 April, 2019]. (in Thai)
- [2] Thasnanipan, N., Maung A. W., Tanseng P. and Wei S. H. Performance of a braced excavation in Bangkok clay, diaphragm wall subject to unbalanced loading conditions. *Thirteenth Southeast Asian Geotechnical Conference*, 16-20 November, 1998, Taipei, Taiwan. pp. 655-660.
- [3] Thasnanipan, N., Rujikajondech, P., Singtokeaw, K. Diaphragm Walls Construction in Bangkok Subsoils: Possible Defects and Their Control. *The national convention on civil engineering*, EIT, Thailand. (in Thai), 1999.
- [4] Singtokeaw, K., Praveswararat, S., Submanee Wong, C., and Boonyarak, T. (2006). Additional Consideration of Diaphragm Wall Design for Underground Structure Construction. *The 11th National Convention on Civil Engineering*. Phuket, Thailand. (in Thai), 20-22 April 2006.
- [5] CKST JV and SEAFCO Company Limited. *Geological Soil Profile CH.30+300 to 31+000 Sheet 4 of 6*, MRT Orange Line (East Section) Project Contract E2. Bangkok. (in Thai), 2018.