



รายงานสหกิจศึกษาบับสมบูรณ์

สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่
ด้วยหัวเจาะเชิงกล

Predictable Construction Time's Equations of Diaphragm Wall
Drilled by Mechanical Grab

นายณัฏฐ์ อาแวโค

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่
ด้วยหัวเจาะเชิงกล

Predictable Construction Time's Equations of Diaphragm Wall

Drilled by Mechanical Grab

นายณกัฏฐ์ อาแวโต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการสหกิจศึกษา	สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล
นักศึกษา	นายณัฏฐ์ อาแวโต รหัสประจำตัว 58010616
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
อาจารย์นิเทศ	ดร.ศลิษา ไชยพุทธ
ผู้นิเทศงาน	นายวิชานนท์ ต้นจรรย์
สถานประกอบการ	บริษัท ซีพีแอนด์ จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินเกิดขึ้นมากในประเทศไทย ทางบริษัท ซีพีแอนด์ จำกัด (มหาชน) ได้ให้โอกาสผู้วิจัยได้ทำโครงการสหกิจศึกษาที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สถานีราชมั่งคลา หรือ OR18 ซึ่งโครงการดังกล่าวมีการออกแบบกำแพงรับแรงดันของดินเป็นกำแพงไดอาแฟรมวอลล์ กำแพงไดอาแฟรมวอลล์เป็นโครงสร้างกันดินที่สำคัญและจำเป็นอย่างมากในงานก่อสร้างใต้ดิน เนื่องจากสิ่งก่อสร้างใต้ดินมีระดับดินชุดที่ค่อนข้างลึก จึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างกันดินที่แข็งแรงเพียงพอมารับแรงดันดินด้านข้างได้

แฟงไดอาแฟรมวอลล์ที่มีความลึกต่างกัน จะใช้เวลาในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ดังนั้นการทราบถึงเวลาการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ ช่วยให้ผู้รับเหมาสามารถวางแผนการกำหนดเวลาการก่อสร้างได้อย่างถูกต้อง งานวิจัยเล่มนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักคือ ต้องการให้ผู้สนใจสามารถคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงไดอาแฟรมวอลล์ที่ขุดด้วยหัวเจาะเชิงกลได้ เข้าใจพฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่ขุดได้กับเวลาในการขุดดินของกำแพงไดอาแฟรมวอลล์ และทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการก่อสร้างกำแพงไดอาแฟรมวอลล์ได้ อย่างไรก็ตามการก่อสร้างตามขั้นตอนที่ถูกต้องด้วยการควบคุมคุณภาพที่ดีเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การก่อสร้างไม่ล่าช้า และลดการเกิดปัญหาในการก่อสร้างได้

คำสำคัญ : ไดอาแฟรมวอลล์ , โครงสร้างกันดิน

Research	Predictable Construction Time's Equations of Diaphragm Wall Drilled by Mechanical Grab
Student	Mr.Nakib Arwaedo ID 50810616
Curriculum	Bachelor of Engineering Program in Civil Engineering
Advisor	Dr.Salisa Chaiyaput
Supervisor	Mr.Wichanon Tonjan
Enterprise	SEAFCO Public Company Limited

ABSTRACT

Nowadays, there are lots of subway construction in Thailand. SEAFCO Public Company Limited has been given the opportunity to researchers for cooperative education at MRT Orange Line, Rajamangala Station or OR18, which the project has been designed the diaphragm walls, a type of earth retaining wall. Diaphragm walls is a most important in underground construction works because excavation level for these underground structures is very deep below ground level.

Diaphragm wall panels with different depth will take different construction time. Knowing about the construction time of the diaphragm wall can help contractors to plan the construction schedule correctly. Therefore, the crucial objective of this research is that the one who is interested in this project can predict the construction time of the diaphragm wall drilled by mechanical hang grab, understand the behavior of the relationship graph between the volume of soil excavated and excavation time, and know the factors involved with the construction time of the diaphragm wall. However, the correct procedure with good quality control is important for make the construction to not delayed, and it could reduce the construction problems.

Keyword : Diaphragm wall , Retaining wall

กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรก ขอขอบคุณอาจารย์ศลิษา ไชยพุทธ ที่ได้อนุมัติให้ผู้วิจัยสามารถฝึกงานสหกิจศึกษา ณ บริษัทที่ผู้วิจัยสนใจ และได้ให้คำปรึกษาอย่างดีแก่ผู้วิจัยในส่วนต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยสงสัยและบกพร่อง ขอขอบคุณอาจารย์ณัฐดนัย สินสมุทรผดุง และอาจารย์ไทรรัตน์ เมืองทองอ่อน ที่ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในงานวิจัยเล่มนี้ การชี้แนะของอาจารย์ทั้งสามท่านเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยอย่างมาก

การทำโครงการสหกิจศึกษาลบนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าหากบริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน) ไม่ให้โอกาสผู้วิจัยมาฝึกงานที่โครงการรถไฟฟาสายสีส้ม สถานีราชมั่งคลานี้ และจะเกิดขึ้นไม่ได้เช่นกันถ้าหากไม่มีวิศวกรผู้ดูแลนายวิชาพันธ์ ต้นจรรย์ วิศวกรผู้คอยให้ความรู้ในเรื่อง Diaphragm Wall แก่ผู้วิจัย ซึ่งไม่มีสอนในมหาลัยทั่วไป ให้ผู้วิจัยสามารถเข้าใจการก่อสร้าง Diaphragm Wall ได้มากขึ้น และเป็นผู้ที่ช่วยกำหนดปัญหาของงานวิจัย ก่อให้เกิดงานวิจัยเล่มนี้ขึ้นมา

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้สอนและมอบความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถคิดวิเคราะห์ในเรื่องต่าง ๆ ได้ และนำวิชาความรู้จากทุกศาสตร์วิชา มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและชีวิตประจำได้

สุดท้ายนี้ที่ขาดไม่ได้ คำขอบคุณอันพิเศษขอบแต่ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวของผู้วิจัย ที่คอยเป็นห่วงและให้ความช่วยเหลือเสมอมา ทั้งด้านกำลังใจ กำลังใจ ตลอดที่ผ่านมามาจนถึงปัจจุบันนี้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษา เรียนรู้ และทำให้โครงการสหกิจศึกษาลบนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายณกัฏฐ์ อาแวโธ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 แรงดันดินด้านข้างและกำแพงกันดิน	4
2.1.1 ทฤษฎีแรงดันน้ำและแรงดันดินด้านข้าง	6
2.1.2 ประเภทของกำแพงกันดิน	12
2.1.3 เทคนิคการก่อสร้างเสาเข็มเจาะและกำแพงกันดิน	16
2.2 กำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ (Diaphragm Wall)	20
2.2.1 ข้อที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall ในงานก่อสร้างได้ดิน	20
2.2.2 วิธีการก่อสร้าง Diaphragm Wall	25
2.2.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องและไม่เรียบร้อยขึ้นในงาน Diaphragm Wall	30

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ขอบเขตการวิจัยและข้อตกลงเบื้องต้น	43
3.2 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการก่อสร้าง Diaphragm Wall	44
3.2.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง	44
3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม และตัวแปร สอดแทรก	45
3.3 การออกแบบการวิจัย	47
3.3.1 กลุ่มตัวอย่างของงานวิจัย	47
3.3.2 เครื่องมือการวิจัย	48
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	51
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	52
3.5.1 เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดินต่อหนึ่งแผง (T_{Exc})	52
วิธีที่ 1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบปกติ	52
วิธีที่ 2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสลับแกน	56
3.5.2 เวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตต่อหนึ่งแผง (T_{AF})	63
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ด้วยหัว เจาะเชิงกล	64
4.2 สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างที่ไม่ล่าช้าสำหรับกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ ด้วยหัวเจาะเชิงกล	65
4.2.1 สูตรการใช้สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้าง (T_{DW})	65
4.2.2 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าจากสมการเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ก่อสร้างจริง	68
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่ขุดได้กับเวลาในการขุดกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อ ในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล	68

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3.1 ความเข้าใจเกี่ยวกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc}	68
4.3.2 พฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์เมื่อเทียบกับชั้นดินจริงของโครงการ OR18	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	71
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้	71
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป	71
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก ก. ข้อมูลทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์ T_{Exc} ด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2	73
ภาคผนวก ข. ข้อมูลเวลาปฏิบัติงาน (Working Time) และกราฟความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างแต่ละแผง	79
ภาคผนวก ค. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ T_{AF}	118
ประวัติผู้เขียน	120

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	สรุปสมการที่ใช้คำนวณแรงดันดินด้านข้างกรณีต่างๆ	12
2.2	แสดงการเปรียบเทียบระบบกำแพงกันดินประเภทต่าง ๆ	13
2.3	สรุปสาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่อง	38
3.1	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตของข้อมูลชุดที่ 1 และชุดที่ 2	63
4.1	ลักษณะการส่งผลต่อ T_{Exc} และ T_{AF} ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงนั้น ๆ	64
4.2	ตารางสรุปการใช้สมการคาดการณ์เวลา T_{Exc} และ T_{AF} ตามเงื่อนไข	66
4.3	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาคาดการณ์ที่ได้จากสมการและเวลาที่ใช้ก่อสร้างจริง	68



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การขุดเปิดหน้าดิน (a) ชั้นดินลูกรังขุดลึกประมาณ 20 เมตร (b) ชั้นดินเหนียวอ่อน กรุงเทพมหานครประมาณ 3 เมตร	4
2.2 ระบบกำแพงกันดิน (a) ระบบกำแพงกันดินชั่วคราวเพื่อก่อสร้างประตูระบายน้ำลึก 6 เมตร (b) ระบบกำแพงกันดินเข็มพืดเหล็กเพื่อก่อสร้างบ่อน้ำใต้ดิน	5
2.3 หลักการคำนวณแรงดันของน้ำ	6
2.4 หลักการคำนวณแรงดันดินด้านข้าง	6
2.5 แรงดันดินด้านข้างกรณีต่าง ๆ ของ Rankine (a) At rest case , (b) Active case และ (c) Passive case	7
2.6 ค่า Coefficient of earth pressure at rest	8
2.7 หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีมีน้ำหน้กบรรทุกภายนอก q แต่ไม่มีแรงดันน้ำใต้ดิน	8
2.8 หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีมีน้ำหน้กบรรทุกภายนอก q และมีแรงดันน้ำใต้ดิน	8
2.9 หลักการ Mohr's circle ของ Active earth pressure	10
2.10 หลักการ Mohr's circle ของ Passive earth pressure	11
2.11 ประเภทกำแพงกันดินแบบต่างๆ	13
2.12 อุโมงค์ลอดทางแยกที่ก่อสร้างโดยใช้กำแพงพืดกันดินชนิดขุดหล่อในที่	15
2.13 กำแพงเสาเข็มชนิดเจาะเรียงขบชิดกัน (Secant Bored Pile)	15
2.14 อุโมงค์ลอดทางแยกที่ก่อสร้างโดยใช้กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง (Contiguous Bored Pile)	15
2.15 อุโมงค์ลอดทางแยกที่ก่อสร้างโดยใช้กำแพงเสาเข็มพืดเหล็ก (Sheet Pile Wall)	15
2.16 ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบแห้งแบบสามขาและแบบใช้ส่วานเจาะ	16
2.17 ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก	17
2.18 เครื่องมือขุดเจาะ Diaphragm Wall	18
2.19 ขั้นตอนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์	18
2.20 กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง (Secant Bored Pile)	19

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.21	คานนำร่อง (Guide Wall) สำหรับกำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง	19
2.22	หัวเจาะกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่	21
2.23	การร่างเหล็กที่พับไว้ในกำแพงกันดินออกมาเป็นเหล็กฉาก	23
2.24	ตัวอย่างเหล็กฉาก (Dowel Bar) ที่อยู่ในโครงเหล็กเสริม	23
2.25	การต่อเหล็กเข้ากับข้อต่อ Coupler ที่อยู่ในกำแพงกันดิน	24
2.26	แผนผังของ Diaphragm Wall Panels	25
2.27	รอยต่อแบบใส่ยางกันน้ำรั่วซึม	25
2.28	ขั้นตอนการก่อสร้าง Diaphragm Wall	26
2.29	แบบต่าง ๆ ของ Guide Walls	26
2.30	เครื่องมือขุดเจาะ Diaphragm Wall แบบ Cable Hang Grab	26
2.31	Stop End Plates (ก) ก่อนติดตั้ง (ข) ระหว่างการติดตั้ง (ค) ติดตั้งแล้วเสร็จ	27
2.32	การนำเหล็กเสริมลงในหลุมเจาะ	28
2.33	การเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Concreting)	29
2.34	Sand และ Silt ในสารละลายที่แยกโดย โดย Desander & Desilter Unit	29
2.35	วิธีการแก้ปัญหาเมื่อพบสิ่งกีดขวางใต้ร่องขุด	30
2.36	ผนังบวมปูดที่ได้ระดับ Guide Wall	30
2.37	เหล็กที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม	31
2.38	รอยต่อรั่วของกำแพง	32
2.39	ภาชนะสำหรับเก็บสารละลาย Bentonite	33
2.40	คอนกรีตเกิดการแยกตัว	34
2.41	ผิวผนังขรุขระ	34
2.42	ตะกอนกันหลุมถูกไล่ไม่หมด	35
2.43	การวางที่เทคอนกรีตห่างจากปลายร่องขุดมากเกินไป	36
2.44	การชักท่อขึ้นๆ ลงๆ ทำให้คอนกรีตกลบตะกอน	36
2.45	การเทคอนกรีตฝั่งปลายท่อเหล็กมากเกินไป	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.46 การตรวจความตั้งของรูเจาะด้วย Drilling Monitor	37
3.1 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์และการแบ่งช่วงเวลาก่อสร้าง	44
3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาการก่อสร้าง T_{DW} โดยแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด	46
3.3 แนวคิดในเลือกกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยตามวัตถุประสงค์	47
3.4 แบบบันทึกความคืบหน้าในแต่ละวันของโครงการ	48
3.5 ตัวอย่างการจดบันทึกความคืบหน้าในแต่ละวันของโครงการ OR18	49
3.6 ตัวอย่างการจดบันทึกเทคนิคการตีตื้นน้ำบางส่วนของแฉ่ง DW123 โครงการ OR18	50
3.7 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของ Diaphragm Wall โดยใช้วิธีที่ 1 (วิเคราะห์แบบปกติ $X=V_{Exc}$, $Y=T_{Exc}$)	53
3.8 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{Exc} และ T_{Exc} ของ Diaphragm Wall โดยใช้วิธีที่ 2 (วิเคราะห์แบบสลับแกน $X=T_{Exc}$, $Y=V_{Exc}$)	56
3.9 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{Exc} และ T_{Exc} ของ Diaphragm Wall	57
3.10 ข้อมูล Zone 1 (v_1) , 1 st Bite	57
3.11 ข้อมูล Zone 2 (v_2) , 1 st Bite	57
3.12 กราฟความสัมพันธ์รวม Zone 1 , 2 ของการวิเคราะห์แบบสลับแกน 1 st Bite	58
3.13 ข้อมูล Zone 1 (v_1) , 2 nd Bite	60
3.14 ข้อมูล Zone 2 (v_2) , 2 nd Bite	60
3.15 กราฟความสัมพันธ์รวม Zone 1 , 2 ของการวิเคราะห์แบบสลับแกน 2nd Bite เทียบกับ 1st Bite	61
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของการวิเคราะห์แบบปกติ (วิธีที่ 1) 1 st Bite และ 2 nd Bite	68
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของการวิเคราะห์แบบสลับแกน (วิธีที่ 2) 1 st Bite และ 2 nd Bite	69
4.3 พฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์เมื่อเทียบกับชั้นดินจริงของโครงการ OR18	70

สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล
Predictable Construction Time's Equations of Diaphragm Wall Drilled by
Mechanical Grab

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เมื่อเมืองหลวงอย่างกรุงเทพมหานครมีความเจริญมากยิ่งขึ้น ประชากรเพิ่มขึ้น ปัญหาการจราจรติดขัดก็เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นระบบขนส่งสาธารณะจึงมีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาหนึ่งในระบบขนส่งสาธารณะที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับมากในปัจจุบันก็คือ รถไฟฟ้า โดยมีทั้งที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว และที่กำลังก่อสร้างตามนโยบายการพัฒนาประเทศของรัฐบาล เช่น รถไฟฟ้าสายสีเขียว รถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน รถไฟฟ้าสายสีชมพู และรถไฟฟ้าสายสีส้ม

เป็นต้น บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำในวงการก่อสร้างฐานรากเสาเข็มในประเทศไทย ได้รับงานที่เกี่ยวข้องกับเสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยม (Barrete Piles) และกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ หรือไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall) ของโครงการรถไฟฟ้าหลายโครงการด้วยกัน โดยซีพีโก้ได้ให้โอกาสผู้วิจัยทำวิจัยโครงการงานสหกิจศึกษาที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สถานีราชมั่งคณา (Orange Line Project OR18 Rajamangala Station) โดยอยู่ในช่วงการก่อสร้างในส่วนของสถานีใต้ดิน กำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่จึงสำคัญเป็นอย่างมากในขั้นตอนการก่อสร้างนี้ เนื่องจากการก่อสร้างโครงสร้างได้ดินขนาดใหญ่และมีความลึกมากนั้น จำเป็นต้องมีกำแพงกันดินที่แข็งแรงพอที่จะสามารถรับแรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure) ของดินโดยรอบได้ โดยกำแพงไดอะแฟรมวอลล์เป็นตัวเลือกที่ผู้ออกแบบได้ใช้ และนำไปใช้ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินหลายโครงการ

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการสังเกตการณ์การทำงานมาระยะหนึ่งพบว่า เวลาในการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์ในแต่ละแผงนั้นมีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย ทำให้การวางแผนงานโดยภาพรวมนั้นจึงเป็นไปได้ยากที่จะแม่นยำตรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์ สมมุติฐานเบื้องต้นว่าปริมาณที่ขุดเจาะดินได้ตามระดับความลึก สภาพและลักษณะของชั้นดินบริเวณนั้นเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง และมีปัจจัยอื่นๆอีกเช่นเวลาที่ใช้ในการตีแซนด์ (Desand)

และลงเหล็ก เป็นต้น โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างได้อาแพรมวอลล์ที่ขุดด้วยหัวเจาะเชิงกลได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างที่ไม่ล่าช้าสำหรับกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่ขุดได้กับเวลาในการขุดกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้เวลาในการเรียนรู้ รวบรวมข้อมูล จัดบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ตั้งแต่วันที่เริ่มทำการสหกิจศึกษา จนถึงวันสุดท้ายของการสหกิจศึกษา ที่บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน) คือตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม 2561 จนถึงวันที่ 23 พฤษภาคม 2561

ขอบเขตด้านเนื้อหาและฐานข้อมูล

ข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและรวบรวมนั้น เป็นข้อมูลที่ได้จากโครงการโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สถานีราชมังคลา (Orange Line Project Rajamangala Station , OR18) เท่านั้น มิได้นำข้อมูลจากโครงการอื่นมาวิเคราะห์ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมนั้นมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ไม่่าจะเป็นการบันทึกของผู้วิจัยเอง การบันทึกข้อมูลของวิศวกร CKST Joint Venture และการบันทึกข้อมูลของวิศวกรซีพีโก้ ซึ่งล้วนเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 สำรวจลักษณะการทำงานเบื้องต้นของโครงการ
- 1.4.2 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัยและแนวทางในการดำเนินการวิจัย
- 1.4.3 ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่
- 1.4.4 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล
- 1.4.5 รวบรวมข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เช่น ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรดินที่ขุดได้กับ เวลาที่ใช้ในการขุด และข้อมูลระยะเวลาการก่อสร้างโดยภาพรวมต่อหนึ่งแผงไดอาแฟรมวอลล์ เป็นต้น
- 1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
- 1.4.7 สรุปผลการวิจัยและรับฟังข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถประยุกต์ใช้ความรู้จากวิชาปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมปฐพีในการทำงานได้
- 1.5.2 เป็นแนวทางในการคาดการณ์เวลาก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกลได้
- 1.5.3 มีประสบการณ์ทางด้านการทำงานก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ และสามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคต
- 1.5.4 ได้เรียนรู้งานกับวิศวกรมืออาชีพจากบริษัทชั้นนำของประเทศไทย
- 1.5.5 มีโอกาสที่จะได้เรียนรู้และสร้างปฏิสัมพันธ์กับบุคลากรหลากหลายหน้าที่
- 1.5.6 เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ สำหรับทำการศึกษาและอ้างอิงต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 แรงดันดินด้านข้างและกำแพงกันดิน (Lateral Earth Pressure and Retaining Wall)

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับกันดินที่มีลักษณะพื้นผิวอยู่ในแนวตั้ง ในการก่อสร้างที่จะต้องมีการขุดหรือถมดิน จนเกิดความต่างระดับของผิวดินมากกว่าความสูงที่มวลดินจะสมดุลอยู่ได้ด้วยตนเอง วิศวกรจำเป็นต้องมีการก่อสร้างโครงสร้างกันดิน เพื่อช่วยพยุงป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวที่มากเกินไปของมวลดิน (ขนาดล คงสมบูรณ์ , 2547) ในกรณีที่ดินมีกำลังรับแรงเฉือนสูงมาก เช่นบ่อดินลูกรังบริเวณตำบลสุรนารีจังหวัดนครราชสีมา สามารถขุดดินตั้งเกือบฉากได้ลึกถึง 20 เมตรโดยที่ไม่เกิดการวิบัติและสามารถตั้งอยู่ได้เป็นระยะเวลาหลายปี แต่ในกรณีที่ดินมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำเช่นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเมื่อขุดดินลึกเพียง 3 เมตร โดยทิ้งลาดคันดินไว้ก็เกิดการเคลื่อนตัวของดินจนส่งผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างข้างเคียง (พรพจน์ ต้นเส็ง , 2554) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การขุดเปิดหน้าดิน (a) ชั้นดินลูกรังขุดลึกประมาณ 20 เมตร
(b) ชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพขุดลึกประมาณ 3 เมตร (พรพจน์ ต้นเส็ง , 2554)

ในการออกแบบและก่อสร้างกำแพงกันดินนั้นจำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีทางด้านกลศาสตร์ของดิน และหลักการทางกลศาสตร์ในการคำนวณแรงดันและแรงต้านที่ดินกระทำต่อกำแพง โดยขนาดของแรงที่กระทำด้านข้างนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักในแนวตั้งที่กดทับลงมา ชนิดของดิน และที่สำคัญยังขึ้นอยู่กับลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของดินอีกด้วย ความเข้าใจในพฤติกรรมของแรงดันดินด้านข้างอย่างถูกต้อง มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบโครงสร้างกันดินได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม (ธนาตล คงสมบูรณ์ , 2547)

ในบางกรณีในพื้นที่ที่กว้างมากผู้ก่อสร้างมักจะใช้ระบบกำแพงกันดินชนิดตามยถากรรม ดังรูปที่ 2.2a ซึ่งเป็นกำแพงกันชั่วคราวเพื่อก่อสร้างประตูระบายน้ำที่ติดกับอ่างเก็บน้ำ กำแพงกันดินที่ใช้เป็นท่อนไม้กระถินสดที่ตัดจากในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างแล้วนำมาวางลงในดินเพื่อใช้เป็นโครงสร้างกันดิน และได้ใช้ไม้กระถินเช่นกันในการทำค้ำยัน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการไหลของดินผ่านเสาเข็มไม้และการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบจนเกิดการวิบัติ การก่อสร้างในกรณีเช่นนี้ใช้ได้กับพื้นที่กว้างที่การขุดเปิดหน้าดินไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างหรือระบบสาธารณูปโภคที่อยู่โดยรอบ แต่ในกรณีที่การขุดเปิดหน้าดินอยู่ติดกับโครงสร้างที่อาจเกิดความชำรุดเสียหายได้ถ้าเกิดการเคลื่อนตัวของดินเนื่องจากการขุดดิน จำเป็นจะต้องใช้กำแพงกันดินที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดันดินเพียงพอ ที่จะไม่ก่อให้เกิดการวิบัติของดินและโครงสร้าง (Ultimate limit state) หรือก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวที่สูงจนสิ่งปลูกสร้างโดยรอบชำรุด (Serviceability limit state) รูปที่ 2.2b เป็นตัวอย่างของกำแพงกันดินชั่วคราวสำหรับก่อสร้างบ่อน้ำใต้ดิน โดยใช้กำแพงเข็มพืดเหล็ก (Steel Sheet Pile Wall) และใช้ระบบค้ำยันโดยมีคานขวางและค้ำยัน



รูปที่ 2.2 ระบบกำแพงกันดิน (a) ระบบกำแพงกันดินชั่วคราวเพื่อก่อสร้างประตูระบายน้ำลึก 6 เมตร

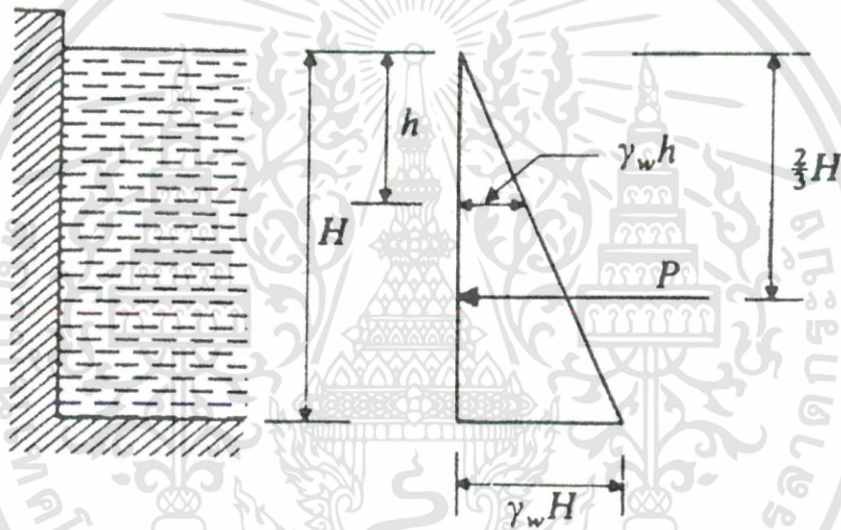
(b) ระบบกำแพงกันดินเข็มพืดเหล็กเพื่อก่อสร้างบ่อน้ำใต้ดิน (พรพจน์ ต้นเส็ง , 2554)

ดังนั้นการวิเคราะห์และออกแบบกำแพงกันดินให้สามารถต้านทานแรงดันดินได้เป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานวิศวกรรมฐานรากในปัจจุบัน สาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากความจำกัดของพื้นที่ ทำให้จำเป็นต้องใช้พื้นที่ใต้ดินให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และด้วยความจำกัดของพื้นที่เองทำให้ไม่สามารถขุดเปิดหน้าดินโดยไม่ใช้ระบบกำแพงกันดินได้

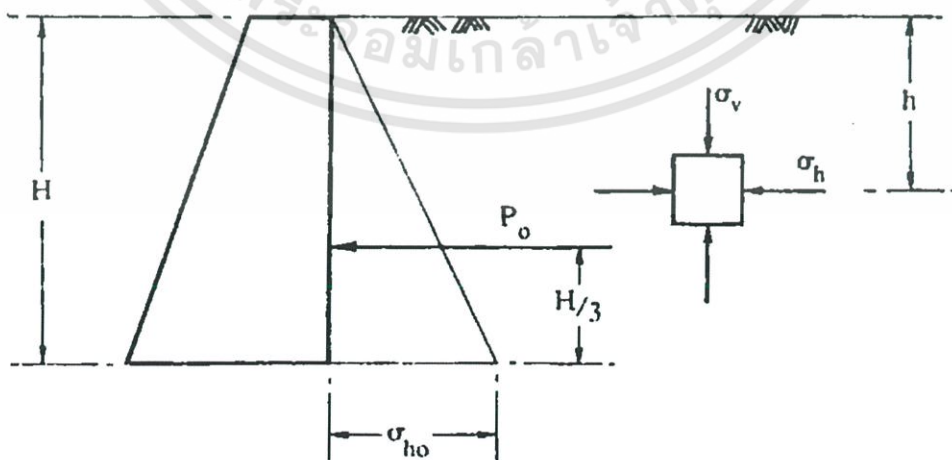
2.1.1 ทฤษฎีแรงดันน้ำและแรงดันดินด้านข้าง (Water Pressure and Lateral Earth Pressure)

- ทฤษฎีแรงดันของน้ำ (Pore Water Pressure)

ชานดล คงสมบูรณ์ , 2547 ได้กล่าวในหนังสือของเขาว่าการทำความเข้าใจวิธีคำนวณแรงดันดินด้านข้างภายในมวลดินด้านข้างภายในมวลดิน สามารถทำความเข้าใจได้อย่างง่ายจากการศึกษาแรงดันน้ำที่จุดใด ๆ ในของเหลว แต่พึงระลึกไว้เสมอว่า แรงดันน้ำจะเท่ากันทุกทิศทาง (รูปที่ 2.3) แต่แรงดันดินจะไม่เท่ากันในแต่ละทิศทาง (รูปที่ 2.4) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลดินนั้นด้วย โดยแรงดันน้ำที่ก้นบ่อมีค่าเท่ากับ $\gamma_w h$ เมื่อ h คือความสูงของระดับน้ำเหนือจุดที่พิจารณา เพราะฉะนั้นแรงดันน้ำ P คำนวณได้จากพื้นที่สามเหลี่ยมความดัน เท่ากับ $\frac{1}{2} \gamma_w H^2$ กระทำกับผนังบ่อด้านข้างที่จุดศูนย์กลางของสามเหลี่ยมความดัน



รูปที่ 2.3 หลักการคำนวณแรงดันของน้ำ (มณเฑียร,2533)



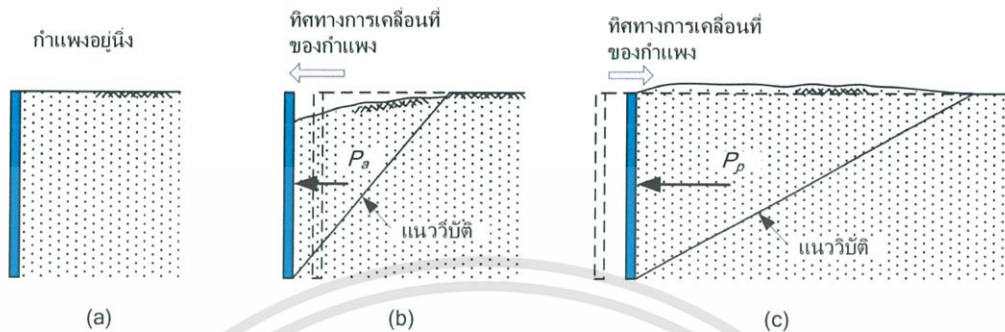
รูปที่ 2.4 หลักการคำนวณแรงดันดินด้านข้าง (มณเฑียร,2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure)

แรงดันดินด้านข้างขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนตัวของกำแพง โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณีตามทฤษฎี

ของ Rankine



รูปที่ 2.5 แรงดันดินด้านข้างกรณีต่าง ๆ ของ Rankine (a) At rest case ,

(b) Active case และ (c) Passive case (พรพจน์ ต้นเส็ง , 2554)

1. แรงดันดินด้านข้างในสภาพนิ่ง (At rest case) : แรงดันดินด้านข้างที่ไม่ทำให้มวลดินเคลื่อนที่ (มวลดินอยู่ในสภาพนิ่งไม่เคลื่อนที่) (ดูรูป 2.5a)
2. แรงดันดินด้านข้างเชิงรุก (Active case) : แรงดันดินด้านข้างที่ทำให้โครงสร้างกันดินเคลื่อนออกจากคันดินถม (ดูรูป 2.5b)
3. แรงดันดินด้านข้างเชิงรับ (Passive case) : แรงดันดินด้านข้างที่ทำให้โครงสร้างกันดินเคลื่อนที่เข้าหาคันดินถม (ดูรูป 2.5c)

มีรายละเอียดเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

2.1.1.1 แรงดันดินด้านข้างในสภาพนิ่ง (At rest case)

เมื่อมวลดินอยู่ในสภาพ Elastic equilibrium มีแรงดันดินในแนวตั้งกระทำต่อมวลดิน ไม่ว่าจะป็นน้ำหนักของมวลดินเองหรือจากแรงกระทำภายนอก พบว่ามวลดินนี้จะมีแรงดันดินด้านข้างที่เป็นสัดส่วนกับ k_0 กับแรงในแนวตั้งนี้ ซึ่งเราเรียก k_0 นี้ว่า สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างที่สภาวะอยู่กับที่ (coefficient of at-rest earth pressure) จึงสามารถคำนวณแรงดันดินด้านข้างที่สภาวะไม่เคลื่อนที่ได้ค่า σ_h คำนวณได้จากสมการ

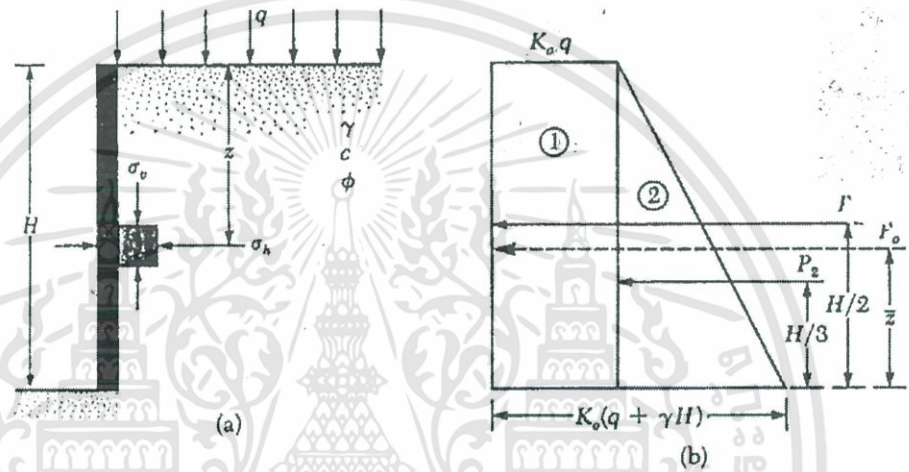
$$\sigma_h = k_0 \sigma'_v + u$$

k_0 = Coefficient of at rest earth pressure ค่าสามารถประมาณได้โดยใช้วิธีเชิงประสพการณ์ดังรูปที่ 2.6

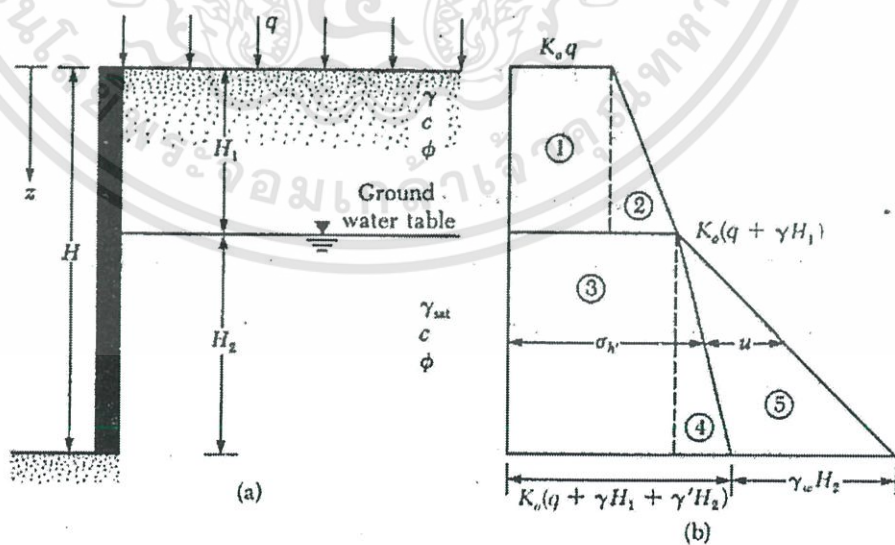
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของดิน	สมการ
Normally consolidated soil; Jaky (1944)	$K_0 = 1 - \sin \phi$
Normally consolidated clay; Brooker และ Ireland's (1965)	$K_0 = 0.04 + 0.007(PI) \quad PI = 0 - 40\%$ $K_0 = 0.64 + 0.001(PI) \quad PI = 40 - 80\%$
Over consolidated clay; Alpan (1967)	$(K_0)_{oc} = (K_0)_{nc} (OCR)^n$ $PI < 40\%, n = 0.42$ $PI > 40\%, n = 0.32$

รูปที่ 2.6 ค่า Coefficient of earth pressure at rest (พรพจน์ ดันเส็ง , 2554)



รูปที่ 2.7 หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีมีน้ำหนักบรรทุกภายนอก q แต่ไม่มีแรงดันน้ำใต้ดิน (วรรณิ , 2539)



รูปที่ 2.8 หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีมีน้ำหนักบรรทุกภายนอก q และมีแรงดันน้ำใต้ดิน (วรรณิ , 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีมีน้ำหนักรรทุกภายนอก q แต่ไม่มีแรงดันน้ำใต้ดินสามารถคำนวณหาความดันดินด้านข้างที่ความลึก H (รูปที่ 2.7) ได้จากสมการ

$$\sigma'_v = q + \gamma Z$$

$$\sigma'_h = k_0 \sigma'_v + k_0 q$$

ถ้ากรณีที่มีน้ำใต้ดินอยู่ในชั้นดิน และน้ำหนักรรทุกภายนอก q ก็สามารถคำนวณความดันน้ำผนวกเข้าไปได้ (รูปที่ 2.8) ตามสมการนี้

$$\sigma_h = k_0 \sigma'_v + k_0 q + u$$

2.1.1.2 แรงดันดินด้านข้างเชิงรุก (Active case)

เมื่อผนังกันดินมีการแอนหรือขยับออกมาด้านหน้าโครงสร้างกันดิน(ด้านดินระดับต่ำ) แรงดันดินจะมีขนาดค่อยๆลดลงจากสภาพอยู่กับที่ (At rest) ค่า k จะค่อย ๆ ลดลง แรงดันดินที่น้อยที่สุด ณ จุดพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Active และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างที่จุดพิบัตินี้เรียกว่า k_a

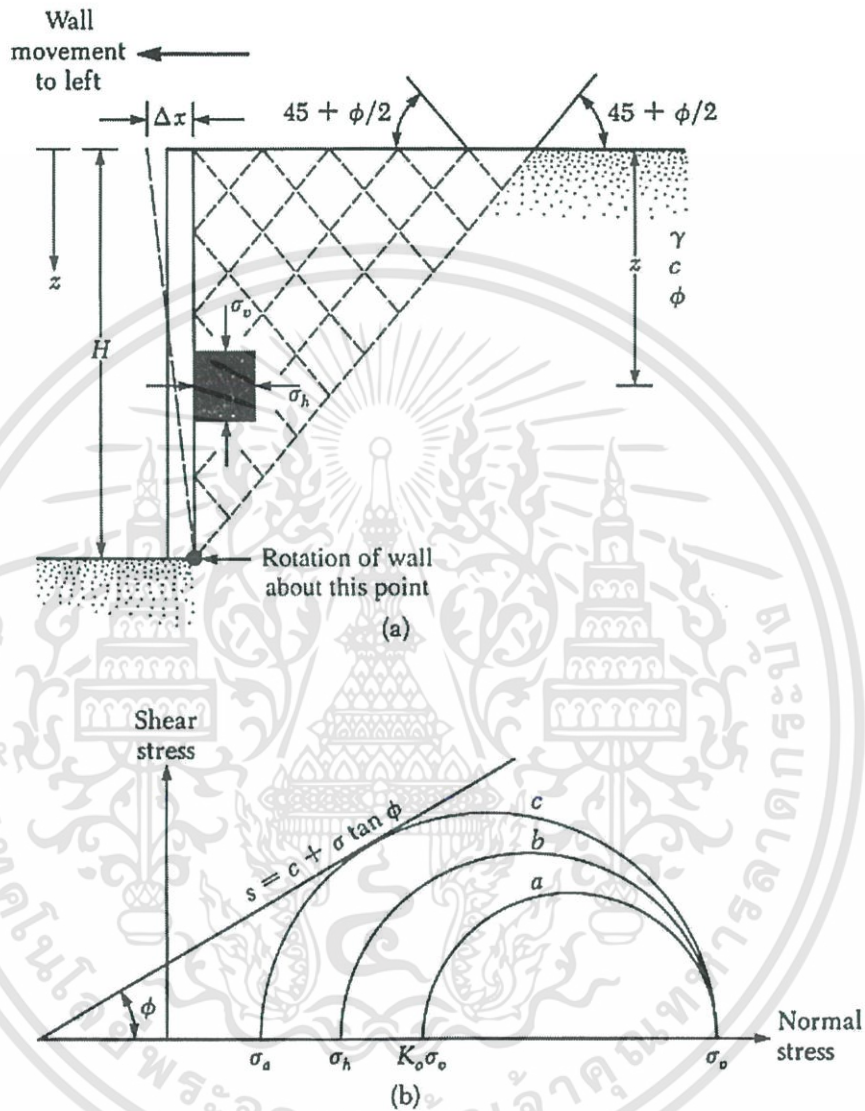
โดยมี $k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$ หรือ $k_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$

Rankine (1857) ได้เสนอหลักการคำนวณแรงดันดินบนผนังกันดินภายใต้สมมติฐาน ดังนี้

1. มวลดินเป็นเนื้อเดียวกัน และมีคุณสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทาง
2. เป็นดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless soil)
3. ผิวของผนังกันดินเรียบไม่มีความผิด และอยู่ในแนวตั้ง
4. มวลดินอยู่ในสภาพเคลื่อนตัวจนถึงพลาสติก หรือถึงจุดพิบัติแล้ว

ทฤษฎีแรงดันดินของ Rankine ได้ใช้หลักการ Mohr's circle อธิบายแรงดันดินแบบเชิงรุกนี้ได้ว่า เมื่อให้ความดันในแนวตั้งคงที่เท่ากับ σ_v ดังในรูปที่ 2.9 ในสภาวะของ Elastic equilibrium จะมีแรงดันดินสภาวะอยู่กับที่เท่ากับ $k_0 \sigma_v$ และเมื่อให้ความดันในแนวตั้งนี้คงที่แล้ว ค่อย ๆ ลดความดันในแนวราบลงทีละน้อย จะเห็นว่า Mohr's circle มีขนาดโตขึ้นมาทางด้านซ้าย จนถึงจุดๆหนึ่ง ซึ่งความดันในแนวราบไม่ลดลงกว่านี้แล้วเพราะเกิดการพิบัติขึ้นแล้ว นั่นคือวงกลม C ของ Mohr สัมผัสเส้นการพิบัติหรือ Line of Rupture ความดันที่จุดนี้คือ σ_a เรียกว่า Active

Earth Pressure หรือความดันดินเชิงรุก ซึ่งทำให้เกิดการยุบตัวในแนวตั้ง โดยที่ Active failure plane ในมวลดิน ทำมุม $45 + \frac{\phi}{2}$ กับแนวนอน



รูปที่ 2.9 หลักการ Mohr's circle ของ Active earth pressure (Das,B.J.1990)

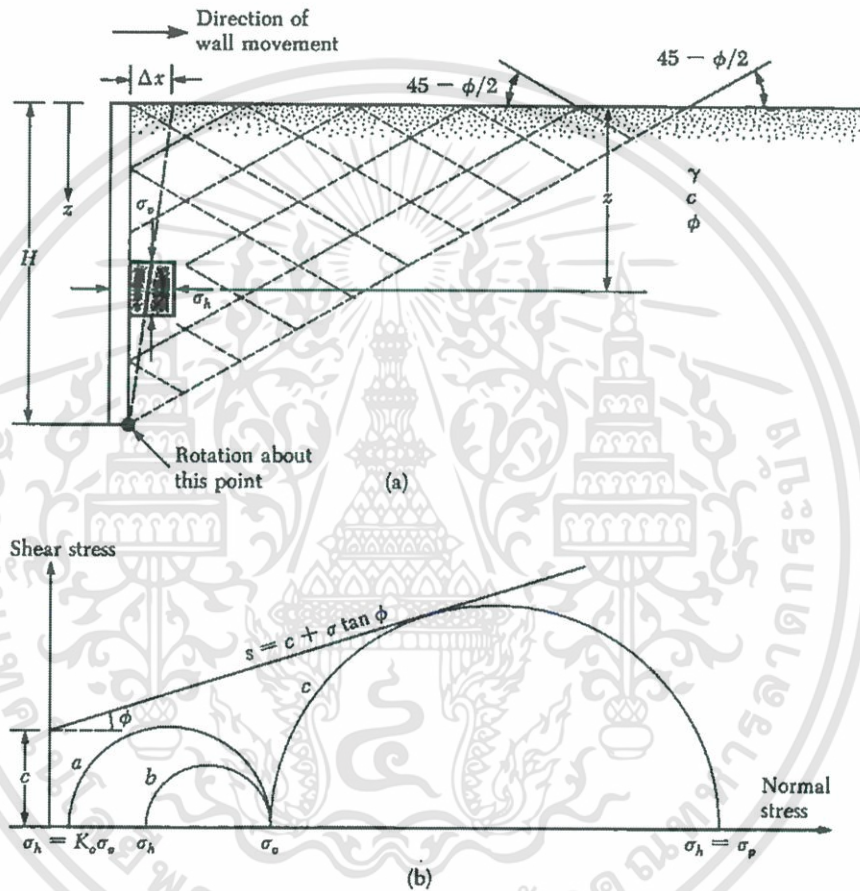
2.1.1.3 แรงดันดินด้านข้างเชิงรับ (Passive case)

เมื่อมีแรงมากระทำผนังกันดินให้เคลื่อนที่เข้าหามวลดินด้านหน้าโครงสร้างกันดิน (ด้านดินระดับสูง) ก็จะต้องใช้แรงดันเพิ่มมากขึ้น ค่า k จะค่อย ๆ สูงขึ้น จนกระทั่งมวลดินด้านหน้ากำแพงเกิดการพิบัติ แรงดันดินที่มากที่สุด ณ จุดพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Passive และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาวะเชิงรับที่จุดพิบัตินี้เรียกว่า k_p

$$\text{โดยมี } k_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad \text{หรือ} \quad k_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีแรงดันดินของ Rankine ได้ใช้หลักการ Mohr's circle ดังรูปที่ 2.10 โดยอธิบายแรงดันดินแบบเชิงรับนี้ได้ว่า เมื่อให้ความดันในแนวราบขณะที่ให้ความดันในแนวตั้งคงที่ จะเพิ่มความดันได้จุดสูงสุดจุดหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถเพิ่มได้มากกว่านี้เพราะดินถึงจุดพิบัติแล้ว หรือวงกลมของ Mohr ได้สัมผัส Line of rupture แล้ว ความดันสูงสุดนี้คือ σ_p เรียกว่า *Passive Earth Pressure* หรือความดันดินเชิงรับ ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวในแนวตั้ง โดยที่ Passive failure plane ในมวลดิน ทำมุม $45 - \frac{\phi}{2}$ กับแนวนอน



รูปที่ 2.10 หลักการ Mohr's circle ของ Passive earth pressure (Das,B.J.1990)

ผู้วิจัยได้จัดทำตารางที่ 2.1 เพื่อสรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณแรงดันดินด้านข้างดังนี้

ตารางที่ 2.1 สรุปสมการที่ใช้คำนวณแรงดันดินด้านข้างกรณีต่าง ๆ

กรณีของแรงดันดิน	k (Coefficient of earth pressure)	σ'_s (Surcharge)	σ'_h (Effective Horizontal)	u (Pore Pressure)	σ_h (สมการแรงดันดินด้านข้างกรณีทั่วไป)
At rest Case	$k_0 = 1 - \sin \phi$	$\sigma'_s = k_0 q$	$\sigma'_h = k_0 \sigma'_v$		
Active Case	$k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$ $= \tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$	$\sigma'_s = k_a q$	$\sigma'_h = k_a \sigma'_v - 2c\sqrt{k_a}$	$u = \gamma_w H$	$\sigma_h = \sigma'_s + \sigma'_h + u$
Passive Case	$k_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$ $= \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$	$\sigma'_s = k_p q$	$\sigma'_h = k_p \sigma'_v + 2c\sqrt{k_p}$		

2.1.2 ประเภทของกำแพงกันดิน (Type of Retaining Wall)

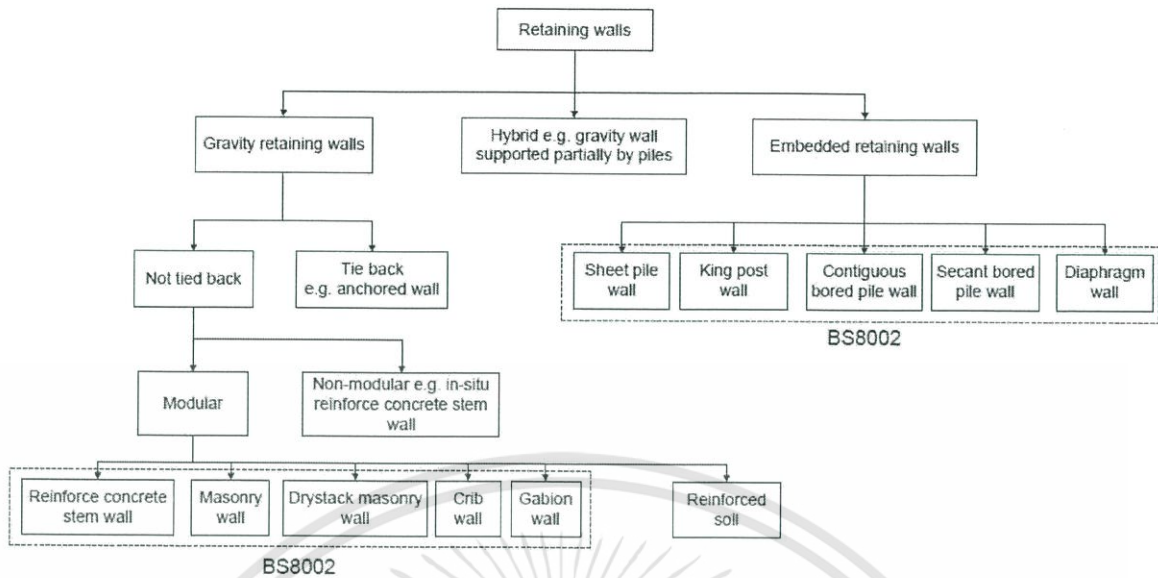
ประเภทของกำแพงกันดินสามารถแบ่งได้โดยใช้หลายแบบ แล้วผู้แบ่งว่าแต่ละจะใช้เกณฑ์ใดในการจำแนกประเภท โดย Gaba , Simpson et al. (2003) ได้จำแนกกำแพงกันดินโดยใช้เกณฑ์การแบ่งตามลักษณะของโครงสร้างและการเกิดแรงดันดิน เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่

1. Gravity Retaining Wall

เป็นกำแพงกันดินที่ใช้สำหรับรับแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวดินเป็นส่วนใหญ่ หรือใกล้กับผิวดิน

2. Embedded Retaining Wall

เป็นกำแพงที่มีบางส่วนของกำแพงที่ฝังลงในดิน เพื่อที่จะใช้แรงต้านทานจากส่วนที่ฝังลึกลงไปในดินมาช่วยในการรับแรงดันดินด้านข้าง บางกรณีกำแพงอาจจะโครงสร้างมาช่วยรองรับแรงดันดินด้านข้าง ตัวอย่างเช่น Sheet Pile ที่จะมีคานขวาง สมอรั้ง และค้ำยัน เป็นต้น หรือบางกรณีกำแพงชนิดนี้อาจไม่ต้องใช้ค้ำยัน (Freestanding) ก็ได้ รูปที่ 2.11 จะแสดงถึงแผนภาพการแบ่งประเภทกำแพงกันดินแบบต่าง ๆ ของ Gaba , Simpson et al. (2003)



รูปที่ 2.11 ประเภทกำแพงกันดินแบบต่างๆ โดย Gaba , Simpson et al. 2003 (พรพจน์ ดันเส็ง , 2554)

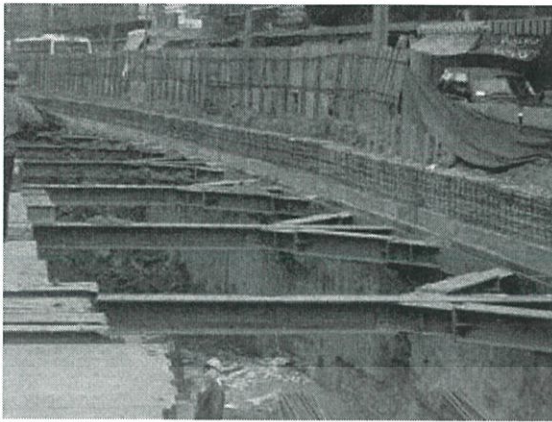
ปัจจัยสำคัญที่จะเลือกวิธีการขุดดินว่าจะต้องมีกำแพงกันดินหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับความลึกของงานขุดดิน ระดับน้ำใต้ดิน ลักษณะของชั้นดิน และค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ยอมให้ โดยชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ ได้กล่าวในบทความวิชาการ “เทคนิคงานก่อสร้างอุโมงค์ลอดทางแยก” ถึงการเลือกประเภทของกำแพงกันดินที่จะใช้ในโครงการนั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระบบกำแพงกันดินประเภทต่าง ๆ (ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์)

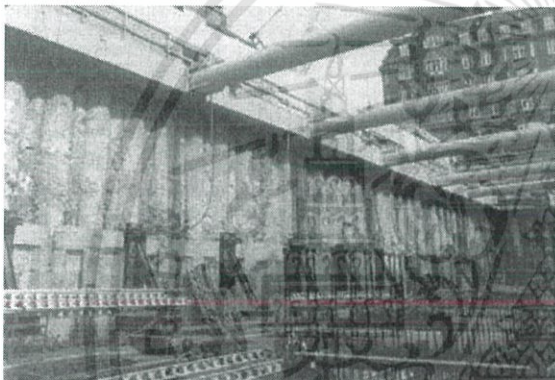
ระบบกำแพงกันดิน	ข้อดี	ข้อเสีย
1. งานขุดที่ไม่ใช้กำแพงกันดิน (Open cut)	1. มีราคาถูก 2. ใช้เวลาก่อสร้างไม่มาก 3. มีขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างที่ง่าย	1. ใช้พื้นที่โดยรอบมาก 2. ไม่สามารถขุดดินให้มีความลึกมากได้ 3. ไม่สามารถกั้นน้ำใต้ดินได้ 4. เกิดการเคลื่อนตัวของดินในบริเวณรอบข้างมาก
2. กำแพงเสาเข็มพีตเหล็ก (Sheet pile)	1. มีราคาไม่แพงมาก 2. สามารถกั้นน้ำใต้ดินได้ 3. สามารถใช้เป็นกำแพงถาวรได้ 4. ใช้เวลาก่อสร้างไม่มาก	1. ไม่สามารถดัดปลายกำแพงได้ลึกมาก 2. ไม่สามารถกดลงได้ในดินเม็ดหยาบ 3. การกดด้วยหัวเข่าจะทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและเสียงที่ดัง

<p>3. กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่องแบบไม่ขบกัน (Contiguous pile)</p>	<p>1. เป็นกำแพงคอนกรีตที่มีราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับประเภทอื่น</p> <p>2. สามารถเจาะลงได้ในดินทุกประเภท</p>	<p>1. ไม่สามารถกันน้ำได้เนื่องจากช่องว่างระหว่างเสาเข็ม นอกจากนี้จะทำกำแพงกันน้ำอีกชั้น</p> <p>2. ความลึกของเสาเข็มถูกจำกัดด้วยความตึงของเสาเข็ม</p>
<p>4. กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง ชนิดเสาเข็มแข็งคู่เสาเข็มอ่อน (Hard / Soft Secant pile)</p>	<p>1. สามารถกันน้ำได้ในขณะทำการก่อสร้าง</p> <p>2. สามารถใช้เครื่องเจาะเสาเข็มปกติได้ในการก่อสร้าง</p> <p>3. สามารถเจาะลงในดินได้ทุกประเภท</p>	<p>1. ไม่สามารถกันน้ำได้ในระยะยาวเนื่องจากการซึมน้ำในเสาเข็มอ่อนนอกจากจะก่อสร้างกำแพงกันน้ำอีกชั้น</p> <p>2. ความลึกของระดับขุดดินถูกจำกัดด้วยความตึงของเสาเข็ม ซึ่งควบคุมได้ยาก</p>
<p>5. กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง ชนิดเสาเข็มแข็งคู่เสาเข็มแข็ง (Hard / Hard Secant pile)</p>	<p>1. สามารถกันน้ำได้ในขณะทำการก่อสร้างและในระยะใช้งาน</p> <p>2. สามารถใช้เป็นกำแพงถาวรได้</p> <p>3. สามารถเจาะลงได้ในดินทุกประเภท</p>	<p>1. ต้องใช้เครื่องเจาะเสาเข็มและเครื่องกดบล็อกเหล็กที่มีแรงบิดสูง</p> <p>2. ความลึกของระดับขุดดินถูกจำกัดด้วยความตึงของเสาเข็ม ซึ่งควบคุมได้ยาก</p>
<p>6. กำแพงกันดินแบบขุดและหล่อในที่ (Diaphragm wall)</p>	<p>1. สามารถกันน้ำได้ในขณะทำการก่อสร้างและในระยะใช้งาน</p> <p>2. สามารถใช้เป็นกำแพงถาวรได้</p> <p>3. สามารถเจาะลงได้ในดินทุกประเภท</p> <p>4. มีรอยต่อระหว่างกำแพงน้อยกว่ากำแพงแบบอื่น</p>	<p>1. การก่อสร้างมีความซับซ้อน ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง</p> <p>2. ใช้พื้นที่ก่อสร้างมาก</p>

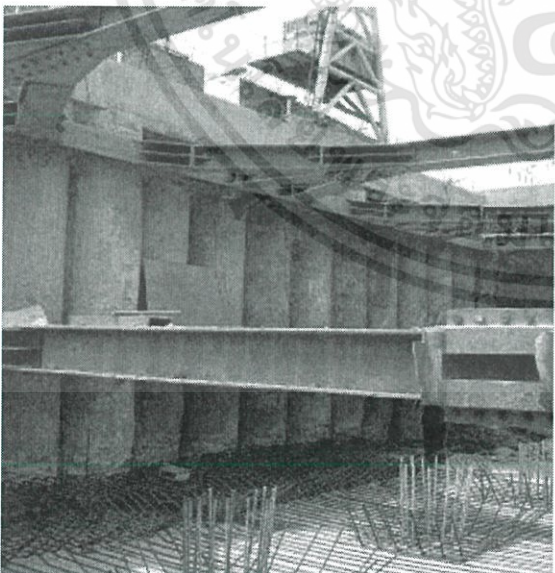
นอกจากนั้นชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ ได้แบ่งประเภทของกำแพงกันดินที่ใช้ในงานก่อสร้างอุโมงค์ลอดทางแยกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (1) Rigid Wall และ (2) Flexible Wall โดยสำหรับกำแพงแบบแข็ง (Rigid Wall) ที่นิยมใช้คือกำแพงกันดินชนิดขุดหล่อในที่ (Diaphragm Wall) , กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง (Secant Bored Pile) และกำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง (Contiguous Bored Pile) ดัง



รูปที่ 2.12 อุโมงค์ลอดทางแยกที่ก่อสร้างโดยใช้กำแพงกั้นดินชนิดชุดหล่อในที่ (Diaphragm Wall) (ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์)



รูปที่ 2.13 กำแพงเสาเข็มชนิดเจาะเรียงขบชิดกัน (Secant Bored Pile) (ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์)



รูปที่ 2.14 อุโมงค์ลอดทางแยกที่ก่อสร้างโดยใช้กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง (Contiguous Bored Pile) (ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์)

แสดงในรูปที่ 2.12 - 2.14 ทั้งนี้ในบางโครงการก็เลือกที่จะใช้กำแพงแบบผสมได้เช่นกัน แล้วแต่ความเหมาะสม

สำหรับกำแพงแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall) โดยส่วนใหญ่จะใช้เป็นโครงสร้างกำแพงแบบชั่วคราวเพื่อป้องกันดินในระหว่างการขุดดินในโซนต้นหรือที่ความลึกไม่เกิน 4 เมตร กำแพงประเภทนี้ได้แก่กำแพงเสาเข็มพืดเหล็ก (Sheet Pile Wall) โดยอาจจะถูกถอนออกหรือฝังทิ้งไว้ภายหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ในบางโครงการมีการใช้ปลอกเหล็กกลมหรือเสาเข็มเหล็กมาเรียงต่อกันเป็นแนวกำแพง ซึ่งกำแพงลักษณะนี้จัดเป็นระบบกำแพงแบบยืดหยุ่น



รูปที่ 2.15 อุโมงค์ลอดทางแยกที่ก่อสร้างโดยใช้กำแพงเสาเข็มพืดเหล็ก (Sheet Pile Wall) (ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์)

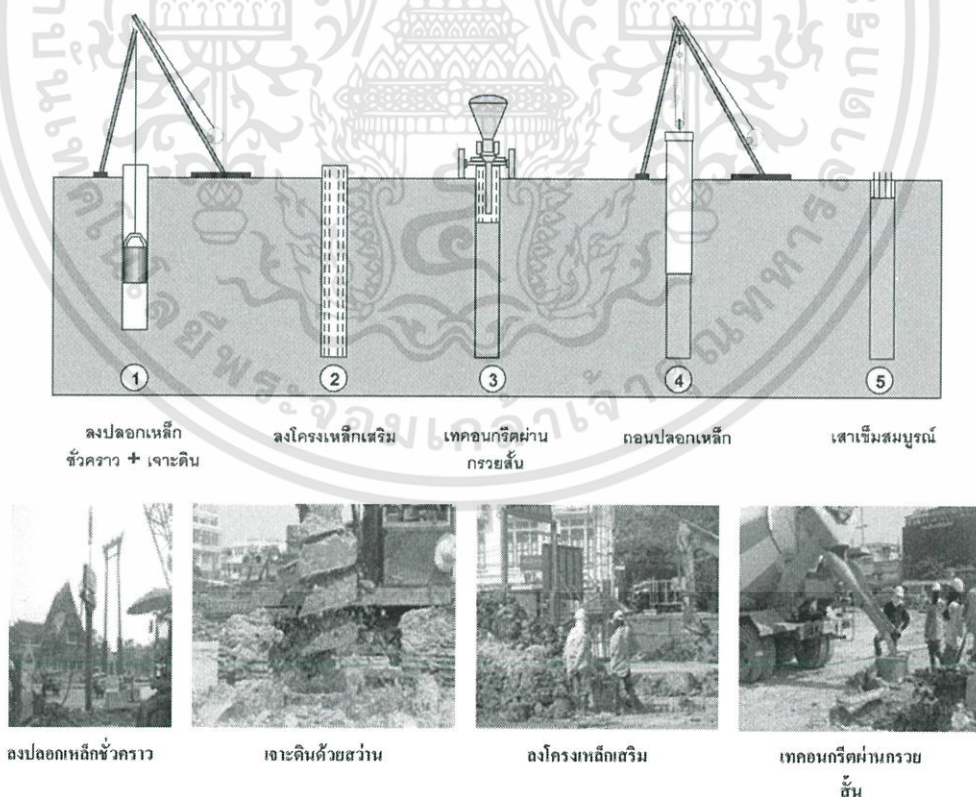
2.1.3 เทคนิคการก่อสร้างเสาเข็มเจาะและกำแพงกันดิน

2.1.3.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

โดยทั่วไปเสาเข็มที่ใช้ในงานก่อสร้างมี 2 ระบบ คือ เสาเข็มเจาะระบบแห้ง (Dry Process Bored Pile) และเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process Bored Pile)

1. การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบแห้ง (Dry Process Bored Pile)

เสาเข็มเจาะระบบแห้งจะใช้ในกรณีชั้นดินอ่อนช่วยให้สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะเป็นระบบแห้งได้ เช่นในดินเหนียวแข็ง หรือในชั้นดินที่น้ำใต้ดินอยู่ลึกมาก เพราะถ้ามีน้ำใต้ดินในชั้นทรายไหลเข้ามาในหลุมเจาะจะทำให้หลุมเจาะพังทลาย หลุมเจาะอาจเจาะโดยไม่มีปลอกเหล็กชั่วคราวกันดินพึ่งนอกจากใช้ปลอกเหล็กชั่วคราวสั้น ๆ ที่ระดับดินเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งเสาเข็ม หรือในชั้นดินที่มีชั้นดินอ่อนและต่อด้วยชั้นดินแข็งนั้นจะต้องใส่ปลอกเหล็กกันชั้นดินอ่อนไว้ ในชั้นดินกรุงเทพฯ เสาเข็มเจาะระบบนี้จะมีควมยาวเฉลี่ยโดยทั่วไปประมาณ 18-20 เมตร การเจาะเสาเข็มระบบแห้งสามารถใช้เครื่องเจาะแบบสามขาและเครื่องเจาะแบบสว่าน ในรูปที่ 2.16 จะแสดงถึงขั้นตอนการก่อสร้างทั้งสองแบบโดยสังเขป



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบแห้งแบบสามขา(บน)

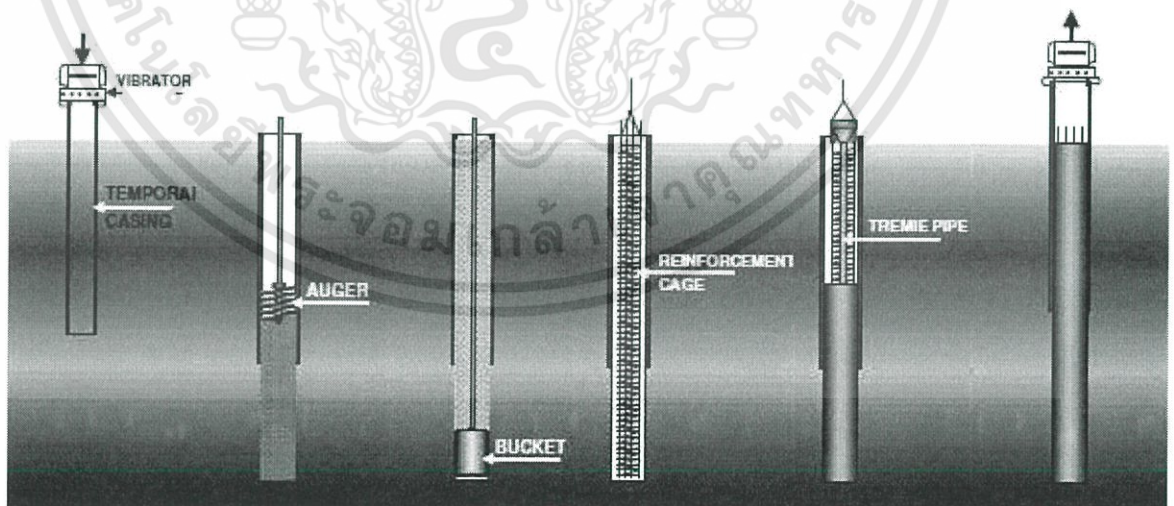
และแบบใช้สว่านเจาะ(ล่าง) (ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process Bored Pile)

เสาเข็มเจาะแบบเจาะเปียกกระบบ Rotary Drill เป็นระบบที่แพร่หลายทั่วโลก การก่อสร้างอาคารสูง สะพานลอย ฯลฯ ในกรุงเทพมหานครนิยมใช้ระบบเข็มเจาะชนิดนี้มาก ทั้งนี้ เพราะสามารถก่อสร้างได้รวดเร็วกว่าเสาเข็มเจาะแบบอื่น ๆ อีกสามารถก่อสร้างให้มีขนาดใหญ่, ลึก และรับน้ำหนักได้สูงกว่าเสาเข็มประเภทอื่น ๆ โดยทั่วไปจะก่อสร้างเสาเข็มเจาะในชั้นดินที่ไม่คงตัวเช่นในชั้นดินทรายที่มีน้ำใต้ดิน ซึ่งหลุมเจาะไม่สามารถมีเสถียรภาพและลึกเกินกว่าที่จะคดปลอกกันดินชั่วคราวไปสร้างเสถียรภาพของหลุมเจาะได้ จึงใช้ของเหลวเช่นสารละลายเบนโทไนท์ หรือสารละลายโพลิเมอร์ สร้างแรงดันภายในหลุมเจาะต้านแรงดันดินทำให้เกิดเสถียรภาพภายในหลุมเจาะ

การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกมีขั้นตอนคล้ายกับเสาเข็มเจาะแห้งโดยใช้ก้านหมุนเจาะส่วนคือ ชั้นดินอ่อนชั้นบนจะใช้ปลอกชั่วคราวกันดินพัง แต่ส่วนที่ลึกกว่าระดับปลายปลอกเหล็กชั่วคราวจะใช้ของเหลวเป็นตัวพยุงเสถียรภาพของหลุมเจาะ ซึ่งขั้นตอนโดยสังเขปเป็นไปตามรูปที่ 2.17 ดังนี้ (1) ตอกปลอกเหล็กกันดินโดยใช้ Vibro hammer (2) เจาะดินเหนียวโดยใช้ส่วน (3) เจาะดินได้เบนโทไนท์โดยใช้ Bucket (4) หย่อนเหล็กเสริมลงในหลุม (5) ลงท่อทริมมีเทคอนกรีตใต้น้ำให้ดินเบนโทไนท์ขึ้นมา (6) เมื่อคอนกรีตถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงถอนปลอกเหล็กขึ้น



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ , SEAFCO)

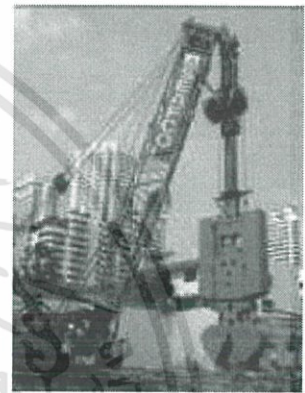
2.1.3.2 การก่อสร้างหรือติดตั้งกำแพงกันดิน

1. กำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ (Diaphragm Wall , D-Wall)

ขั้นตอนการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์จะเริ่มจากการก่อสร้างคานนำร่อง (Guide Wall) ทำการเจาะดินโดยใช้ Cable Mechanical Hang Grab (รูปที่ 2.18ก) หรือ Cable Hydraulic Grab (รูปที่ 2.18ข) หลังจากเจาะดินจนถึงความลึกที่ออกแบบแล้วก็ทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายเบนโทไนท์ แล้วจึงทำการลงโครงเหล็กเสริมและทำการเทคอนกรีตใต้น้ำผ่านท่อ ขั้นตอนการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์แสดงในรูปที่ 2.19

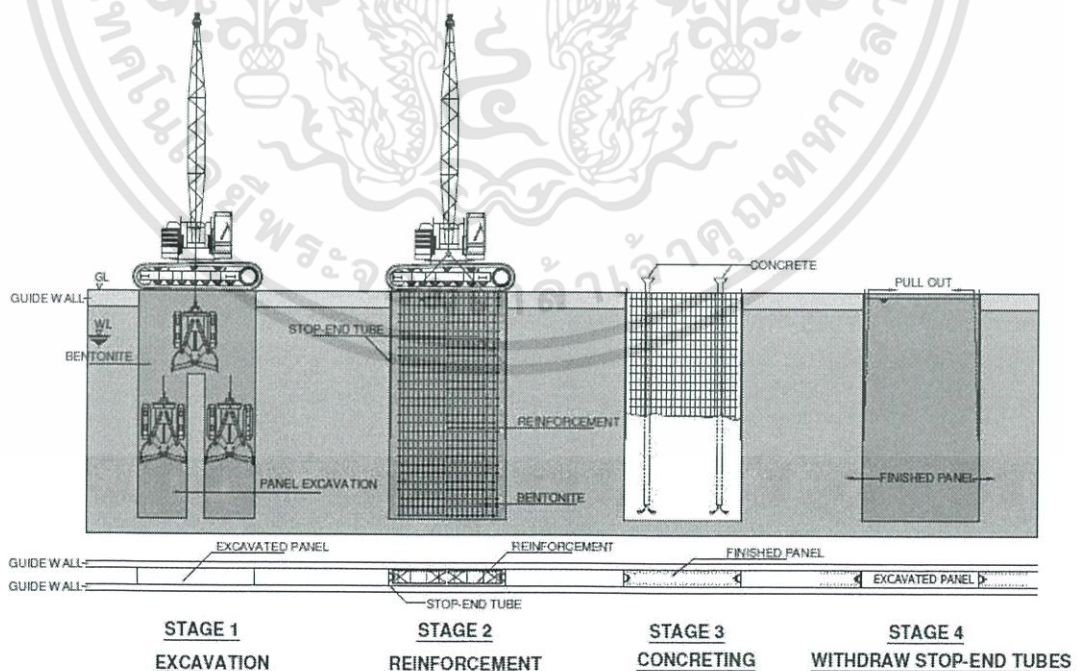


ก. Cable Mechanical Hang Grab



ข. Cable Hydraulic Grab

รูปที่ 2.18 เครื่องมือขุดเจาะ Diaphragm Wall (SEAFCO)

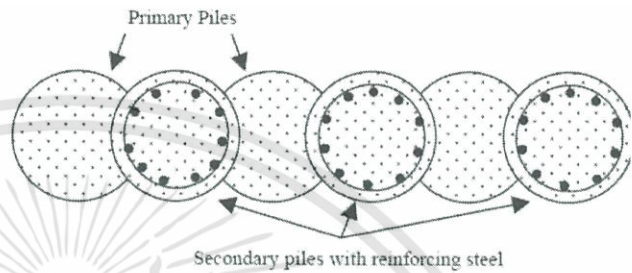


รูปที่ 2.19 ขั้นตอนการก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์ (SEAFCO)

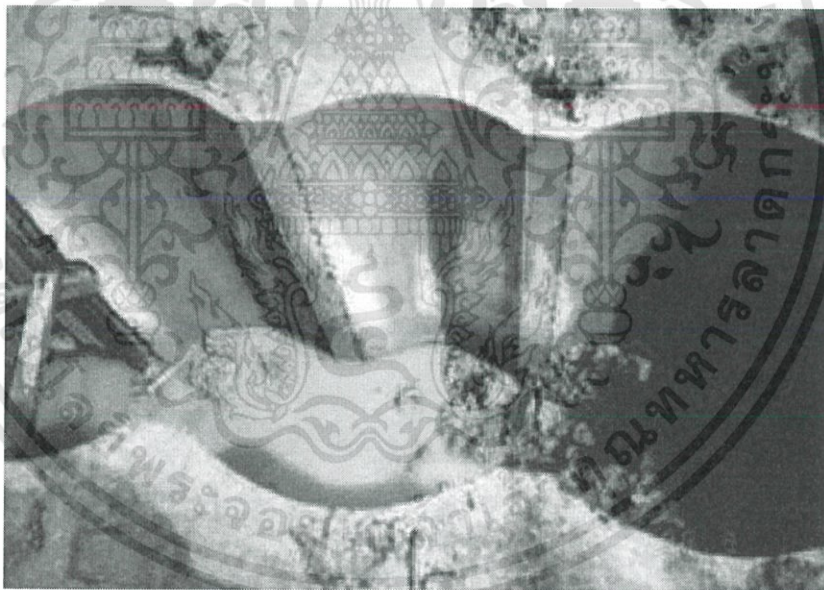
2. กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง (Secant Bored Pile)

การก่อสร้างกำแพงระบบเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่องซึ่งมีลักษณะเป็นเสาเข็มเจาะเดือนขบกันไว้ วิธีการก่อสร้างใช้วิธีเดียวกันกับการทำเสาเข็มเจาะ การก่อสร้างเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่องขบกันจะเริ่มจากติดตั้งเสาเข็มปฐมภูมิ (Primary pile) ซึ่งเป็นเสาเข็มที่มีกำลังอัดต่ำ โดยเว้นระหว่างต้นไว้ติดตั้งเสาเข็มทุติยภูมิ (Secondary pile) (รูปที่ 2.20) ซึ่งจะเจาะและหล่อตามมาภายหลังให้เข้าขบเป็นกำแพงต่อเนื่อง ตาม

แนวคานร่อง (Guide Wall) ที่ได้สร้างขึ้นก่อน (รูปที่ 2.21) ดังนั้นเสาเข็มทุติยภูมิจะเป็นโครงสร้างหลักในการรับแรงดันดิน และยังสามารถออกแบบให้รับแรงตามแนวตั้งได้



รูปที่ 2.20 กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง (Secant Bored Pile) (SEAFCO)



รูปที่ 2.21 คานนำร่อง (Guide Wall) สำหรับกำแพงเสาเข็มเจาะเรียงขบชิดกันต่อเนื่อง (SEAFCO)

3. กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง (Tangent / Contiguous Bored Pile)

กำแพงระบบเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่องเป็นการออกแบบโดยการนำเสาเข็มเจาะมาเรียงกัน โดยมีช่องว่างระหว่างผิวเสาเข็ม ที่เพียงพอที่จะไม่ทำให้ดินไหลออกมา ซึ่งต้องใช้เทคนิคการก่อสร้างมากกว่าการก่อสร้างเสาเข็มเจาะทั่วไป

2.2 กำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ (Diaphragm Wall)

สิ่งก่อสร้างใต้ดินเช่นห้องใต้ดินลึก (Deep Basements) , สถานีรถไฟใต้ดิน (Subway Stations) ฯลฯ ในกรุงเทพฯ ฯ ได้รับความนิยมและกำลังทำการก่อสร้างหลายโครงการ ซึ่งสิ่งก่อสร้างใต้ดินเหล่านี้มีระดับดินขุดลึกค่อนข้างมากจากผิวดิน (15.00-30.00 เมตร) โดยกำแพงรับแรงดันของดินจะถูกออกแบบเป็นชนิดขุดเจาะหล่อคอนกรีตในชั้นดิน (Diaphragm Wall) กำแพงชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นกำแพงกันดินชั่วคราวในระหว่างขุดดินและปรับเปลี่ยนให้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างกำแพงถาวรเมื่อก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินแล้วเสร็จ กำแพงที่ออกแบบและก่อสร้างขึ้นมาจึงต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่แตกร้าว , เหมาะสมกับการใช้งาน และผิวผนังมีความเรียบร้อย ใต้รูปได้แนวตามแบบและรอยต่อของกำแพงสามารถกันน้ำรั่วได้ (Water Tightness)

เช่นเดียวกันในงานขุดดินเพื่อก่อสร้างฐานรากอาคารหรือโครงสร้างใต้ดินในบริเวณเขตที่มีความเสี่ยงจากการเคลื่อนตัวของดินสูง เช่นงานขุดดินใกล้อาคารเก่าที่ก่อสร้างมานานเนื่องจาก เป็นระบบกำแพงที่มีความแข็งแรงจึงสามารถลดการเคลื่อนตัวของดินได้ดีและยังสามารถใช้เป็นระบบกำแพงถาวรได้ในภายหลัง การออกแบบโครงสร้างส่วนอื่นที่มาต่อเข้ากับกำแพง Diaphragm Wall ผู้ออกแบบโครงสร้างต้องรู้ถึงข้อจำกัดและสภาพโดยรวมของตัว กำแพง Diaphragm Wall ทั้งในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างและสภาพภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ เพื่อออกแบบโครงสร้างส่วน ต่อเนื่องได้อย่างเหมาะสม โดยในบทนี้จะกล่าวถึงข้อที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall ในงานก่อสร้างใต้ดิน , วิธีการก่อสร้าง และสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องและไม่เรียบร้อยในงาน Diaphragm Wall เป็นต้น

2.2.1 ข้อที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้าง D-Wall ในงานก่อสร้างใต้ดิน

Diaphragm Wall มีความแตกต่างจากโครงสร้างทั่วไปหลายประการ เนื่องจากการก่อสร้างกำแพงไดอาแฟรมวอลล์นั้นจะต้องก่อสร้างที่ละแผงโดยที่รอยต่อระหว่างแผงต้องสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำใต้ดินได้ ความกว้างและความยาวของแผงจะถูกกำหนดขึ้นตามขนาดและกำลังของเครื่องจักร รวมทั้งเสถียรภาพของหลุมเจาะที่ต้องมีค่าสูงพอไม่ให้เกิดการพังทลาย การเทคอนกรีตจะต้องใช้วิธีเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Method) เป็นต้น การออกแบบจะต้องสอดคล้องกับวิธีการก่อสร้างและมีความเหมาะสมทางวิศวกรรมด้วย กมล สิงโตแก้ว , สุเมธ ประเวศวรารัตน์ , ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ และธยานันท์ บุญยรักษ์ ได้เสนอบทความวิชาการ *ข้อที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้าง Diaphragm Wall ในงานก่อสร้างใต้ดิน* ในหนังสือรวบรวมบทความวิชาการของ บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1.1 ขนาดและความลึกโดยทั่วไปของกำแพง Diaphragm Wall

1. ความหนาของกำแพง Diaphragm Wall

การกำหนดความหนาของกำแพง จะต้องพิจารณาจากกำลังรับน้ำหนักของหน้าตัดและปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในระหว่างการขุดดิน และควรพิจารณา เหล็กเสริมในกำแพง Diaphragm Wall ด้วยว่าหากใช้กำแพงมี ปริมาณเหล็กเสริมที่สูง มากเกินไปอาจส่งผลต่อการไหลของคอนกรีตเหลวได้ โดยทั่วไปความหนาของกำแพง Diaphragm Wall ที่ใช้จะมีความหนาตั้งแต่ 0.40, 0.60, 0.80, 1.00, 1.20 และ 1.50 ม.

2. ความยาวของแผงกำแพง Diaphragm Wall (Panel Length)

ความยาวต่ำสุดของแผงกำแพง Diaphragm Wall จะถูก กำหนดด้วยความกว้างของเครื่องมือขุดเจาะ (Grab width) (รูปที่ 2.22) โดยทั่วไปสำหรับชั้นดินกรุงเทพฯ จะกำหนดความยาวต่ำสุดอยู่ในช่วง 2.50 เมตรถึง 3.00 เมตร ความยาวแผงที่มากที่สุดจะพิจารณาจากเสถียรภาพของร่องเจาะ หากร่องเจาะ (Guide Wall) มีความยาวมาก ผลของแรงคัตที่ห่างจากจุดรองรับจะลดลง ทำให้ร่องเจาะอาจเกิดการบีบตัวได้ ทั้งนี้ต้อง พิจารณาจากคุณสมบัติของดินและคุณสมบัติของสารละลาย รักษาเสถียรภาพที่ใช้ด้วย (N. Thasnanipan) ในชั้นดินกรุงเทพฯ ความยาวของร่องเจาะไม่ควรเกิน 6.0 เมตร



รูปที่ 2.22 หัวเจาะกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ (กมล สิงโตแก้ว, คณะ)

นอกจากนี้การกำหนดความยาวของแผงยังต้องพิจารณาถึง ขั้นตอนในการก่อสร้างกำแพง Diaphragm Wall แต่ละแผงอีกด้วยว่าจะกำหนดให้แผงใดเป็นแผงปฐมภูมิ (Primary panel) หรือแผงทุติยภูมิ (Secondary panel) สำหรับแผงกำแพงบริเวณหัวมุม หรือตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนความหนาของกำแพง Diaphragm Wall จะต้องกำหนดความยาวของแผงให้เหมาะสมกับการทำงาน และต้องควบคุมระยะเวลาในการก่อสร้างแผงกำแพง Diaphragm Wall แต่ละแผงอีกด้วยไม่ให้ใช้ระยะเวลาในการเจาะนานเกินไป

3. ความลึกของปลายกำแพง Diaphragm Wall

ปลายกำแพง Diaphragm Wall ควรจะฝังอยู่ในชั้นดินที่แข็งและฝังอยู่ลึกกว่าระดับที่ทำการขุดดิน ควรมีการคำนวณเสถียรภาพของงานขุดดินเมื่อกำหนดความลึกปลายกำแพงได้แล้ว ในบางกรณีที่ชั้นดินแข็งอยู่ลึกมากจำเป็นต้องให้ปลายกำแพงอยู่ในชั้นดินอ่อน ก็สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้การปรับปรุงกำลังของดิน ทั้งนี้ดินที่ทำการปรับปรุงต้องมีความต่อเนื่องสมบูรณ์ มีกำลังรับแรงเฉือนเพียงพอให้เกิดเสถียรภาพในงานขุด

2.2.1.2 ปริมาณและการจัดวางเหล็กเสริม

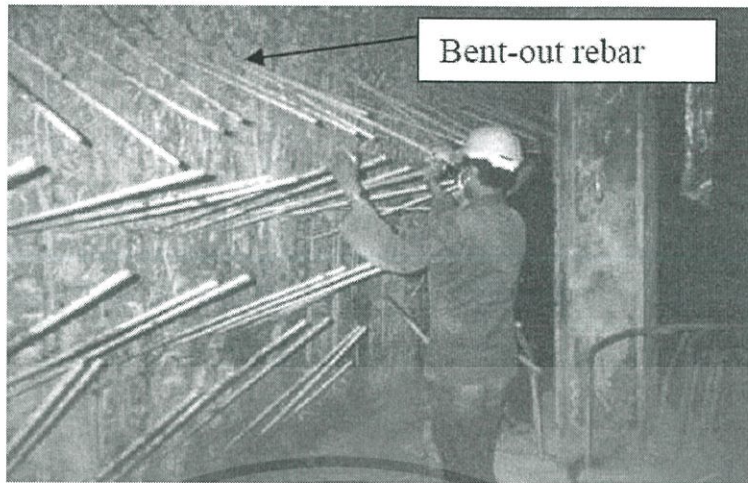
การจัดวางเหล็กเสริมในกำแพงพืดกันดิน ต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆในการก่อสร้างด้วยว่ามีความเหมาะสมเพียงใด เช่นปริมาณเหล็กเสริมหลัก , ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมหลัก , ระยะห่างเหล็กเสริมหลักถึงปลายกำแพง Diaphragm Wall ที่ต่อกับแผงข้างเคียง , เหล็กเสริมรับแรงเฉือน , รอยต่อระหว่างเหล็กเสริม , การใช้เหล็กเสริมรักรูปโครงเหล็ก และระยะห่างของเหล็กเสริมที่ฝังในกำแพง Diaphragm Wall เป็นต้น

2.2.1.3 รูปแบบของรอยต่อระหว่างกำแพง Diaphragm Wall กับพื้นโครงสร้างใต้ดิน

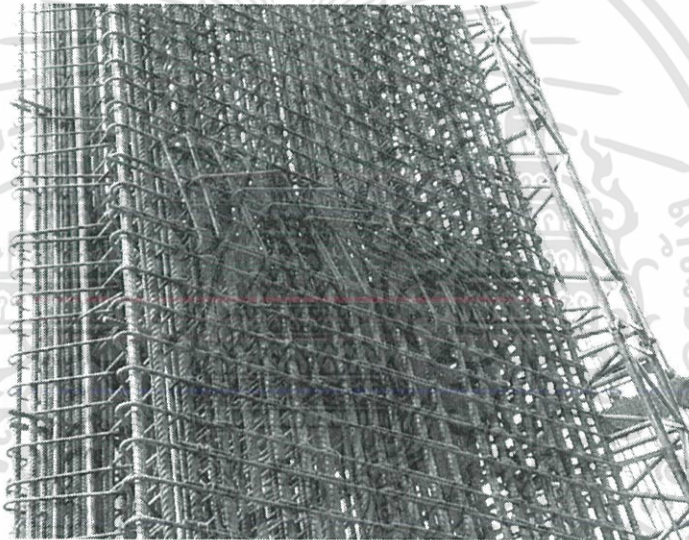
รอยต่อของกำแพง Diaphragm Wall สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น

1. การฝังเหล็กพับไว้ (Bent-Out Rebar)

รอยต่อประเภทนี้คือการฝังเหล็กเสริมในกำแพงพืดกันดิน ตามระยะฝังที่ออกแบบและตัดเหล็กไว้เพื่อจ้างออกมาเป็นเหล็กฝาก (Dowel bar) ดังรูปที่ 2.23 – 2.24 เพื่อต่อกับพื้น การใช้รอยต่อประเภทนี้ควรเลือกเหล็กกลม (Round bar-SR24) เนื่องจาก สามารถดัดงอแล้วไม่หักงอ เหมือนกับเหล็กข้ออ้อย และต้องพิจารณาช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมว่าต้องมีเพียงพอให้คอนกรีตไหลผ่านอย่างสะดวก นอกจากนี้การเลือกขนาดของเหล็กต้องดูความสามารถในการจ้างออกมาเพื่อต่อกับโครงสร้างพื้นด้วย



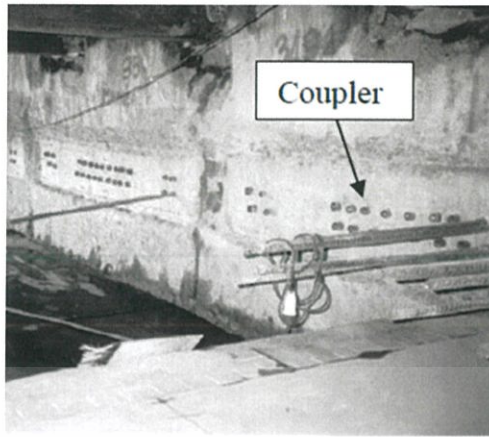
รูปที่ 2.23 การร่างเหล็กที่พับไว้ในกำแพงกันดินออกมาเป็นเหล็กฝัก (Dowel bar)
(กมล สิงโตแก้ว, คณะ)



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างเหล็กฝัก (Dowel Bar) ที่อยู่ในโครงเหล็กเสริม

2. การใช้ข้อต่อทางกล (Mechanical Coupler).

รอยต่อทางกลคือการฝังเหล็กเสริมในกำแพง Diaphragm Wall ตามระยะฝังที่ออกแบบ โดยทำเกลียวที่ปลายข้างหนึ่งของเหล็กเสริมแล้วหมุนข้อต่อ Coupler โดยหมุนเหล็กเสริมที่ทำเกลียวอีกข้างเข้าด้วยกัน (รูปที่ 2.25) การใช้รอยต่อประเภทนี้ สามารถลดความแน่นของเหล็กในหน้าตัดเมื่อเทียบกับการใช้เหล็กฝังแบบพับ และไม่เกิดปัญหาการตัดเหล็กแล้วหักได้ ทั้งนี้กำลังรับน้ำหนักของข้อต่อทางกลต้องมีค่าสูงกว่ากำลังรับน้ำหนักของเหล็กเสริม ปัจจุบันรอยต่อประเภทนี้ นิยมใช้ในหลาย ๆ โครงการ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.25 (ก) การต่อเหล็กเข้ากับข้อต่อ Coupler ที่อยู่ในกำแพงกันดิน (กมล สิงโตแก้ว, คณະ)

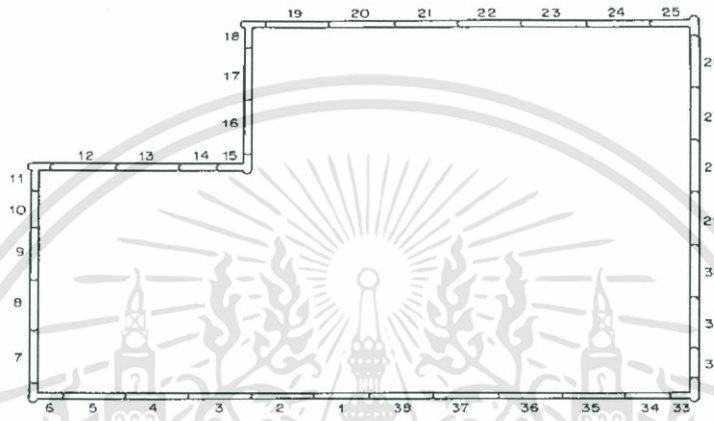
(ข) ตัวอย่างข้อต่อ Coupler ที่อยู่ในโครงเหล็กเสริม

3. การใช้วิธีเจาะเสียบเหล็กเสริม (Drill and Grout Rebar)

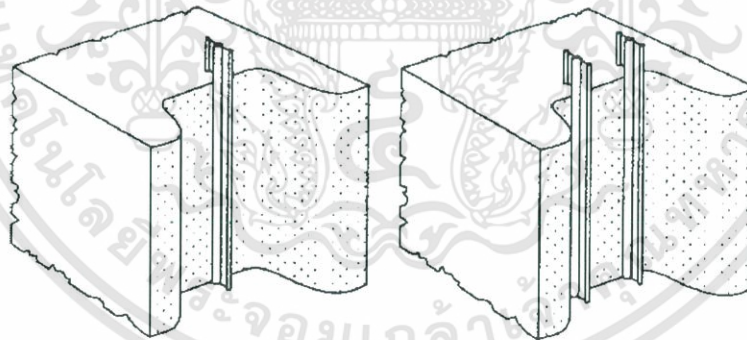
รอยต่อประเภทนี้จะทำเมื่อขุดถึงระดับพื้นนั้น ๆ แล้วทำการเจาะรูในกำแพง Diaphragm Wall เหล็กเสริมที่เสียบจะถูกยึดด้วยวัสดุประสานเข้ากับกำแพง การใช้วิธีการเจาะเสียบสามารถกระจายให้เหล็กฝังลงไปในกำแพงพืดมีระยะห่างเท่า ๆ กันและแก้ปัญหาปริมาณหน้าตัดเหล็กที่แน่นเกินบริเวณรอยต่อพื้นกับกำแพงพืด แต่มีข้อเสียคือการเจาะกำแพงเพื่อเสียบเหล็กใช้เวลานานกว่ารอยต่อประเภทอื่น ๆ

2.2.2 วิธีการก่อสร้าง Diaphragm Wall

กำแพงกันดินแบบขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะทำการก่อสร้างเป็นแผง (Panels) ต่อเนื่องติดต่อกันไป (รูปที่ 2.26) รอยต่อของแต่ละแผง (Joint) สามารถออกแบบใช้ได้หลายชนิด (Xanthakos , 1994) การก่อสร้าง Diaphragm Wall ในชั้นดินกรุงเทพฯ โดยทั่วไปจะเลือกใช้แบบมีแผ่นยางกันน้ำรั่ว (Water Stop) ตรงรอยต่อ (รูปที่ 2.27)



รูปที่ 2.26 แผนผังของ Diaphragm Wall Panels (Xanthakos , 1994)

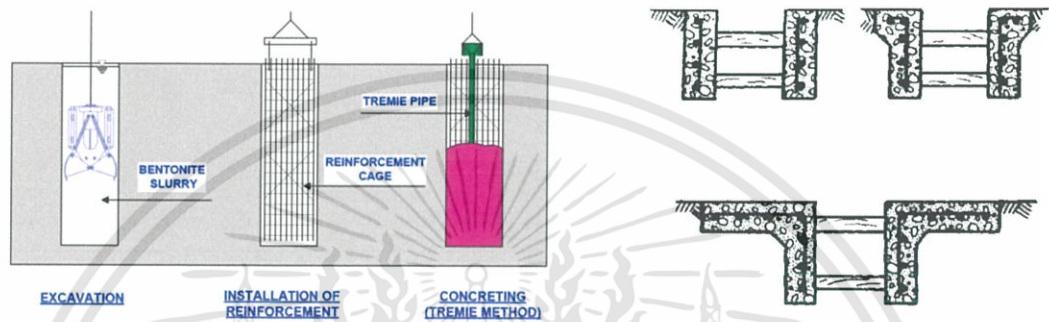


รูปที่ 2.27 รอยต่อแบบใส่ยางกันน้ำรั่วซีม (Xanthakos , 1994)

วิธีการก่อสร้าง Diaphragm Wall นั้นมีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อน ผู้ที่ทำการก่อสร้างจำเป็นต้องมีประสบการณ์ในการทำงาน Diaphragm Wall พอสมควร ถึงจะทำให้ผนังชนิดนี้มีความสมบูรณ์เรียบร้อยได้ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงวิธีการก่อสร้างพอสังเขป มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : สร้างคานนำร่อง (Guide Wall)

เนื่องจาก Diaphragm Wall (รูปที่ 2.28) เป็นการก่อสร้างโดยตรงในชั้นดิน ไม่มีปลอกเหล็กป้องกันดินพังเหมือนการทำเสาเข็มเจาะ จึงต้องทำคานคู่บังคับแนวกำแพงและความตรงตั้งของหัวเจาะ โดยทั่วไปคานนี้将有ความลึกประมาณ 1.50 – 2.00 เมตร (รูปที่ 2.29) ผนังของ Guide Wall ต้องเรียบและได้แนวตั้งโดยเอียงจากแนวตั้งไม่เกิน 1:200



รูปที่ 2.28 ขั้นตอนการก่อสร้าง Diaphragm Wall

รูปที่ 2.29 แบบต่าง ๆ ของ Guide Walls

ขั้นตอนที่ 2 : ขุดเจาะดินโดย Cable Hang Grab

การขุดเจาะโดยทั่วไปใช้หัวเจาะแบบ Cable Hang Grab (รูปที่ 2.30) อาจเป็นแบบ Mechanical หรือ Hydraulic การเจาะใช้ Grab ขุดดินในร่อง Guide Wall ออกจนถึงระดับใต้ Guide Wall แล้ว จึงเติมสารละลายเบ็นโทไนท์ (Bentonite Slurry) ลงไปในร่องให้ด้านแรงดันของดินมิให้บีบตัวหรือพังเข้ามา การเติมสารละลายต้องให้สูงกว่าระดับใต้ Guide Wall ตลอดเวลา คุณสมบัติของสารละลายที่เติมลงไปต้องมีคุณสมบัติดีพอที่จะต้านแรงดันของดินมิให้บีบตัวหรือพังทะลายเข้ามาในร่องที่เจาะไว้โดยต้องตรวจสอบทุกขั้นตอนคือ (ก) เมื่อผสมใหม่ (ข) ตอนกำลังขุดเจาะ (ค) ตอนก่อนเทคอนกรีตโดยเก็บจากกันหลุมมาทดสอบ



รูปที่ 2.30 เครื่องมือขุดเจาะ Diaphragm Wall แบบ Cable Hang Grab (ฉรงค์ และคณษะ)

ขั้นตอนที่ 3 : ถอน Stop End Plates (สำหรับแผงทุติยภูมิ)

หลังจากชุดเจาะเสร็จแล้วสำหรับแผงทุติยภูมิ (Secondary Panel) ต้องทำการถอนแบบหล่อคอนกรีตของแผงด้านข้างที่อยู่ติดกันออกเสียก่อน เพื่อให้แผ่นกันน้ำรั่ว (Water Stop) แสดงออกมา พร้อมทั้งจะทำหน้าที่กันน้ำรั่วเข้าในกำแพงเมื่อเทคอนกรีตเสร็จ

ขั้นตอนที่ 4 : Desanding และติดตั้ง Stop End Plates

เมื่อเจาะร่องกำแพงได้ความยาวและความลึกที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ต้องทำความสะอาดสารละลายเป็นโหนดในหลุมเจาะด้วยการ Recycle Bentonite Slurry โดยใช้เครื่อง Desander & Desilter Unit (รูปที่ 2.34) จนกว่าคุณสมบัติของสารละลายที่กันหลุมเจาะมาทดสอบจะได้ตามรายการ จึงทำการติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต (Stop End Plates) ที่ปลายร่องชุด (รูปที่ 2.31ก , 2.31ข และ 2.31ค) พร้อมทั้งติดตั้งแผ่นยางกันน้ำรั่ว (Water Stop) ตรงบริเวณด้านข้างของแบบหล่อคอนกรีตอีกด้วย เพื่อป้องกันการซึมของน้ำภายหลังเสร็จการก่อสร้าง

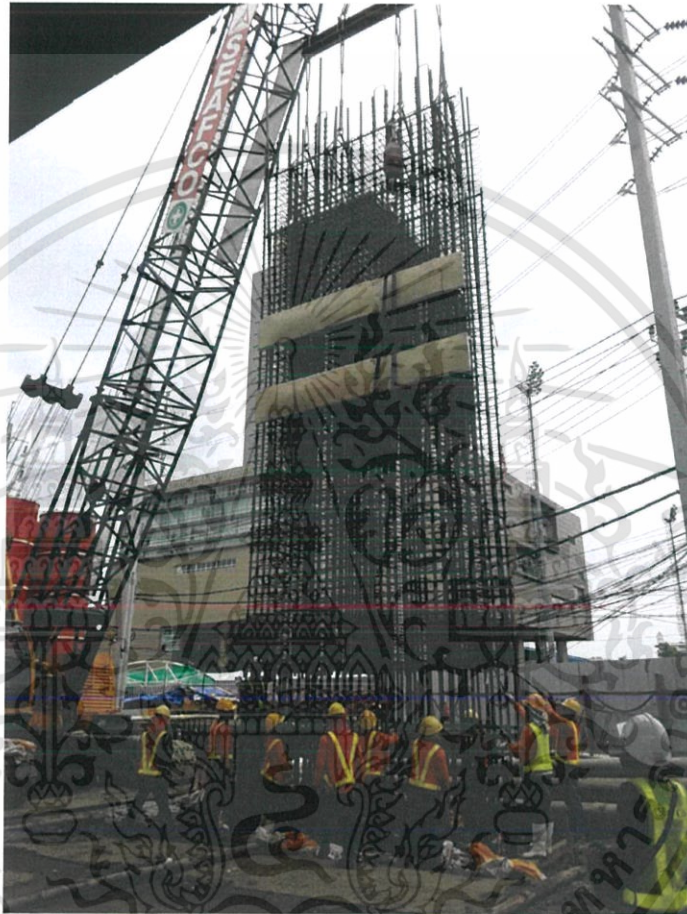


รูปที่ 2.31 Stop End Plates (ก) ก่อนติดตั้ง (ข) ระหว่างการติดตั้ง (ค) ติดตั้งแล้วเสร็จที่ปลายร่องชุด

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความตั้งตรงของหลุมเจาะนั้น ควรทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Drilling Monitor ทุกแผง ควรตรวจสอบตั้งแต่เริ่มต้นเจาะจนถึงสิ้นสุดการเจาะ เช่น ตรวจสอบทุก ๆ การเจาะ 5 - 10 m เป็นต้น เพื่อป้องกันหลุมเอียงมากเกินไป 1:100 ถ้าหากว่าตรวจสอบแล้วเกินเกณฑ์กำหนด ต้องทำการเจาะแก้ (Repair hole) เพื่อให้หลุมตรงตามเกณฑ์กำหนด

ขั้นตอนที่ 5 : ลงเหล็กเสริม (Reinforcement)

ทำการหย่อนโครงเหล็กที่ผูกเตรียมล่วงหน้าไว้แล้วลงในหลุมเจาะ (รูปที่ 2.32) หากโครงเหล็กหนักและยาวเกินกว่าที่จะยกได้ในครั้งเดียวโดยไม่เกิดการบิดเบี้ยวหรือโค้งงอ ก็อาจผูกเป็น 2-3 ท่อน แล้วต่อที่ปากเจาะก็ได้โดยใช้ U-Bolt ยึดต่อกันไว้ การลงเหล็กเสริมต้องจัดให้ได้ระดับ และตรงตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้



รูปที่ 2.32 การนำเหล็กเสริมลงในหลุมเจาะ

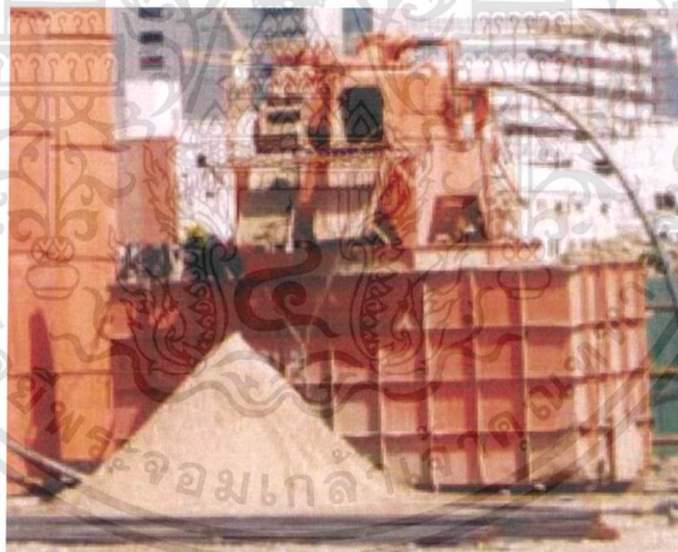
ขั้นตอนที่ 6 : เทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Concreting)

หลังจากลงโครงเหล็กเรียบร้อยแล้ว จึงทำการใส่ท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe) สำหรับเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Concreting) ควรเก็บตัวอย่างสารละลายเป็นโทไนท์จากกันหลุมมาทดสอบคุณสมบัติให้ได้ตามรายการก่อนทำการเทคอนกรีต หากไม่ได้ตามข้อกำหนดต้อง Recycle เพิ่มเติมจนกว่าคุณสมบัติของสารละลายจะได้ตามรายการ การใส่ท่อเทอาจใส่ท่อเดียวหรือมากกว่าก็ได้ ขึ้นอยู่กับความยาวของร่องที่ขุด โดยทั่วไป หากร่องขุดยาวเกิน 3.50 เมตร ควรจะใส่ท่อ 2 ท่อ (รูปที่ 2.33) เพื่อให้คอนกรีตที่เทลงไปได้คุณภาพสม่ำเสมอ สารละลายเป็นโทไนท์ที่ถูก

แทนที่โดยคอนกรีต จะไหลล้นและถูกดูดไปทำความสะอาดโดย Desander & Desilter Unit (รูปที่ 2.34) เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำอีก และในระหว่างเทคอนกรีต ปลายของท่อเทคอนกรีตจะต้องฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตไม่น้อยกว่า 1.50 เมตรตลอดเวลา แต่ไม่ควรฝังปลายท่อในคอนกรีตลึกเกินไป (ณรงค์และคณะ , 2542) และต้องควบคุมเวลานับหลังจากทำความสะอาดสารหลุมเจาะแล้วเสร็จจนถึงเริ่มเทคอนกรีตให้สั้นที่สุด Martin (1996) แนะนำอย่าให้เกิน 5 ชั่วโมง



รูปที่ 2.33 การเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Concreting)

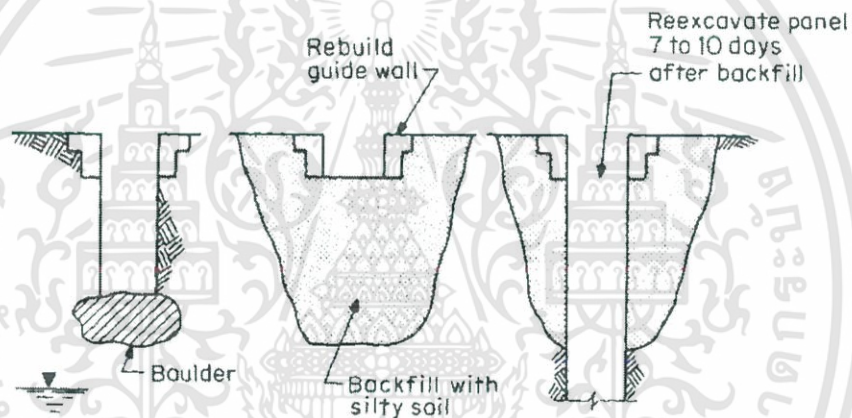


รูปที่ 2.34 Sand และ Silt ในสารละลายที่ถูกแยกโดย Desander & Desilter Unit (ณรงค์ และคณะ)

2.2.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องและไม่เรียบร้อยขึ้นในงาน Diaphragm Wall

2.2.3.1 ปัญหาจากชั้นดินและอุปสรรคใต้ดินในหน่วยงานก่อสร้าง

ชั้นดินของกรุงเทพฯระดับ 20 เมตรแรกส่วนมากจะเป็นชั้นดินเหนียว โดยในระดับ 0-15 เมตร เป็นดินเหนียวอ่อน ระดับต่ำลงไปเป็นดินเหนียวแข็ง หากมีการควบคุมสารละลายเป็นโทไนท์อย่างถูกขั้นตอนแล้ว จะไม่พบว่าผนังดินของร่องเจาะเกิดการพังทลาย แต่หากเจาะในชั้นดินทรายหรือกรวดโดยเฉพาะชั้นทรายหลวม อาจมีโอกาสร่องขุดพังเนื่องจากสารละลายซึมหายเข้าไปในดินเร็ว ทำให้ระดับสารละลายลดต่ำลง (Fluid Loss) หรือในอีกกรณีหนึ่งที่เจาะลงไปแล้ว มีฐานรากเก่าขวางอยู่ เมื่อขุดรื้อออกเป็นบริเวณกว้างและถมดินใหม่ลงไปแทนที่ (รูปที่ 2.35) ถ้าหากดินที่ถมใหม่ไม่สามารถคงรูปได้ จะมีบางส่วนพังลงมา เมื่อเทคอนกรีต ผนังจะบวมปูดเข้าไปในดินส่วนที่พัง (รูปที่ 2.36)



รูปที่ 2.35 วิธีการแก้ปัญหาเมื่อพบสิ่งกีดขวางใต้ร่องขุด (Xanthakos, 1994)



รูปที่ 2.36 ผนังบวมปูดที่ได้ระดับ Guide Wall (ณรงค์ และคณะ)

2.2.3.2 ปัญหาอันเนื่องมาจากการก่อสร้าง Guide Wall ไม่เหมาะสมเพียงพอ

Guide Wall ที่ออกแบบไว้เป็นแบบมาตรฐาน ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทุกหน่วยงาน การกำหนดความลึกและเหล็กเสริมใน Guide Wall ขึ้นอยู่กับสภาพดินใต้ระดับ Guide Wall จึงต้องพิจารณาเป็นงานๆไป หากออกแบบ Guide Wall ให้มีความลึกไม่เพียงพอ อาจทำให้ร่องใต้ Guide Wall บีบตัวหรือพังได้หรือที่หล่อไว้แตกหักในระหว่างการขุดเจาะ ทำให้ผนังที่หล่อผิวแนว ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องทำให้รอยต่อระหว่างแผงไม่สนิทเกิดน้ำรั่วซึมได้ง่าย หรือก่อสร้าง Guide Wall ไว้ไม่ได้ตั้ง ทำให้ร่องเจาะเอียงตามไม่ได้ตั้งไปด้วย

2.2.3.3 ปัญหาอันเนื่องมาจากการจัดเหล็กเสริม Diaphragm Wall ไม่เหมาะสม

Diaphragm Wall ต้องเทคอนกรีตระบบใต้น้ำ ซึ่งจะไม่สามารถทำให้แน่นหรือไหลโดยวิธีการใช้หัวจี้คอนกรีตได้ แต่คอนกรีตจะไหลไปเองจากปลายท่อคอนกรีตด้วย Gravity Action หากเหล็กเสริมมีปริมาณมาก หลังจากวางในตำแหน่งแล้วถ้าหรือแน่นจนเกินไปคอนกรีตอาจจะไหลออกไปไม่เต็มร่องขุด ทำให้คอนกรีตไม่หุ้มเหล็กเสริม (รูปที่ 2.37) ทำให้กำแพงไม่แข็งแรงและน้ำรั่วซึมได้ง่าย การจัดเหล็กเสริมควรมีระยะห่างของเหล็กจากผิวถึงผิวของเหล็กเส้น ไม่น้อยกว่า 10 ซม. และความหนาแน่นของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมแต่ละด้าน ไม่ควรมีน้อยกว่า 7.5 ซม.



รูปที่ 2.37 เหล็กที่ไม่มีคอนกรีตหุ้ม (ณรงค์ และคณะ)

2.2.3.4 ปัญหาอันเนื่องมาจากสารละลายเป็นโทไนท์

สารละลายเป็นโทไนท์ที่ผสมใหม่ (Fresh Mixed Slurry) หรือสารละลายที่นำกลับมาใช้ซ้ำ (Reused Slurry) หากควบคุมคุณภาพไม่ดีพอ จะทำให้เกิดปัญหาเช่น ผิวกำแพงดูไม่เรียบร้อย , รอยต่อร้าว (รูปที่ 2.38) สารละลายเป็นโทไนท์ผสมใหม่จะใช้ส่วนผสมของผงเป็นโทไนท์ประมาณ 3-6 % โดยน้ำหนัก

ของปริมาณสารละลาย 1 ลูกบาศก์เมตร ในบางกรณีอาจเติมสารเคมีบางชนิด (Chemical Addition) เพิ่มเข้าไป เช่น Caroxymethyl Cellulose , CMC ฯลฯ วัตถุประสงค์หลักของสารละลายเบนโทไนด์คือ

- ก) ก่อเยื่อที่บนน้ำบางๆขึ้นที่ผิวของผนังร่องชุด (Impermeable Filter Cake) เพื่อไม่ให้น้ำในดินไหลเข้าในขณะเดียวกันก็ป้องกันไม่ให้อาหารละลายไหลซึมออกไปโดยง่าย
- ข) เพื่อสร้างแรงต้านดินไม่ให้ผนังร่องชุดบีบตัว หรือพังทลายเข้ามา
- ค) เพื่ออ้อมตะกอนเล็ก ๆ ที่เกิดจากการชุดเจาะให้ลอยแขวนตัวอยู่ในสารละลายฯได้โดยไม่ตกตะกอนเร็วเกินไป คุณภาพของสารละลายเบนโทไนด์ เมื่อนำมาใช้แล้ว คุณภาพจะเสื่อมลง (Contaminated) อันเนื่องมาจากผสมกับตะกอนดินเล็ก , ผสมกับน้ำใต้ดิน หรือผสมกับซีเมนต์ในคอนกรีตที่เทลงไป ซึ่งสารละลายที่เสื่อมนี้จะมีผลกระทบต่อความเรียบร้อยของผนังกำแพงทั้งหมดว่ามีความสมบูรณ์หรือเกิดบกพร่องด้วย



รูปที่ 2.38 รอยต่อรั่วของกำแพง (ฉกรรจ์ และคณะ)

จุดบกพร่องในผนังคอนกรีตส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากปัญหาการควบคุมสมบัติของสารละลายไม่ดีพอ เพราะละเลยการทดสอบและปรับปรุงคุณภาพของสารละลายเบนโทไนด์ให้เป็นไปตามขั้นตอน คุณสมบัติของสารละลายจะสามารถทราบได้โดยการทดสอบหาค่า Density , Viscosity , pH Value , Sand Content และ Filter Loss เมื่อใดพบว่าค่าต่าง ๆ ที่ทดสอบไม่ได้ตามมาตรฐานกำหนด จะต้องปรับปรุงใหม่ หรือเมื่อพบว่าค่าทดสอบได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก ๆ ไม่ควรนำมาปรับปรุงใช้อีก ก็ควรทิ้งเสีย Woo et al , (1993) รายงานว่า เมื่อนำสารละลายเบนโทไนด์ที่ผสมใหม่มาใช้ชุดเจาะค่า pH Value โดยเก็บตัวอย่างมาจากที่หลายระดับความลึกของร่องชุด พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันโดยตลอดคือประมาณ 8-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากก่อนเติมลงในร่องขุดมากนัก (7.5-9) แต่เมื่อทำการเทคอนกรีตลงในหลุมเจาะเดียวกันนี้ ค่า pH Value เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจเพิ่มสูงถึง 12 โดยเฉพาะที่ระดับใกล้ผิวหน้าคอนกรีต สาเหตุมาจากซีเมนต์ที่ผิวหน้าคอนกรีตลอยขึ้นมา ผสมกับสารละลายเบ็นโทไนท์ซึ่งมีตะกอนดินทรายเล็กๆ ลอยแขวนอยู่ นอกจากนั้นยังพบว่าซีเมนต์ได้จับตัวกับสารละลายซึ่งมีตะกอนลอยแขวนทำให้เกิดรวมตัวกันเป็นก้อน (Flocculated oof Slurry Mud) เมื่อเทคอนกรีตได้ระดับมากขึ้น การรวมตัวดังกล่าวก็สะสมเพิ่มมากขึ้นทุกขณะบนผิวหน้าของคอนกรีต ซึ่งวัดความหนาได้ถึง 3.50 เมตร บนผิวหน้าของคอนกรีตส่วนบน

ส่วนสารละลายในระดับบน ๆ ซึ่งอยู่ห่างจากผิวหน้าของคอนกรีตมาก และตะกอนลอยแขวนได้ตกลงทับบนผิวหน้าคอนกรีตด้านล่างเกือบหมดแล้วนั้น ค่า Ph และ Viscosity จะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก และเมื่อเทคอนกรีตจนเหลือระยะอีกเพียง 3 เมตร ก็จะถึงระดับตัดที่ต้องการ สารละลายในส่วนที่เหลืออยู่นี้จะเรียกว่า “Cement Contaminated Zone” ค่า pH , Viscosity และ Density จะเพิ่มขึ้นสูงมาก ทั้งนี้เพราะสารละลายส่วนนี้เคยอยู่ในส่วนที่ลึกมาก่อน และถูกดันขึ้นมาเพราะถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตที่เทลงไป ผู้ทำการรวบรวมผลทดสอบครั้งนี้แนะนำว่าสารละลายเบ็นโทไนท์ 3 เมตรสุดท้าย ไม่ควรนำมาปรับปรุงและใช้ซ้ำอีก นอกจากนั้นในการทำงานปริมาณสารละลายเบ็นโทไนท์ที่เตรียมไว้ควรมีปริมาณไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้ในการเจาะแต่ละแฉ่ง (รูปที่ 2.39) เพราะหากมีปริมาณน้อยกว่านี้ อาจไม่พอมุนเวียนในการทำความสะอาดสารละลาย เพื่อให้มี Sand Content ในสารละลายลดลงไม่เกิน 2 % ก่อนทำการเทคอนกรีต

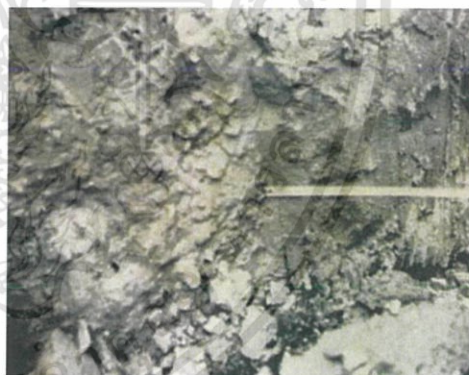


รูปที่ 2.39 ภาพขณะสำหรับเก็บสารละลายควรมีปริมาณไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้เจาะ

2.2.3.5 ปัญหาจากการเทคอนกรีต

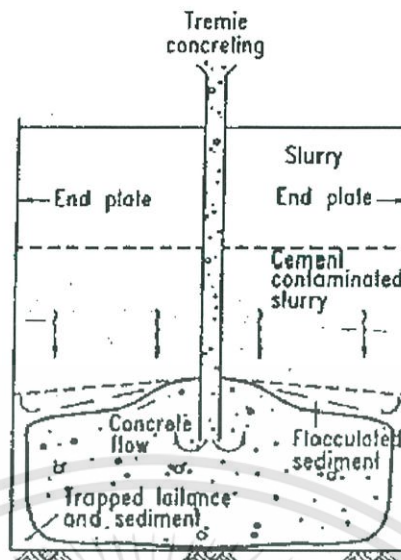
การเทคอนกรีตหล่อในผนังให้งานสำเร็จเพื่อใช้เป็นโครงสร้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญ และมีหลายจุดที่จะต้องพิจารณา อันดับแรกจะต้องเลือกคุณภาพของคอนกรีตให้เหมาะสมกับงานเทคอนกรีตใต้น้ำ กล่าวคือ ต้องเลือกคอนกรีตที่มีการไหล (Flowability) ที่ดี , Slump ที่พอเหมาะ อยู่ในช่วงประมาณ 17.5 ซม.-20 ซม. , ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ไม่น้อยกว่า 6 ชม. , ส่วนผสมของซีเมนต์ (Cement Content) ไม่น้อยกว่า 400 กก.ต่อลูกบาศก์เมตร ขนาดมวลหยาบไม่ควรเกิน 20 มม. และมวลหยาบอย่าใช้ Flackie Shap นอกเหนือจากนั้น วิธีการเทคอนกรีตผ่านท่อเทคอนกรีตใต้น้ำจะต้องได้รับการตรวจสอบตลอดเวลาที่เทว่าดำเนินการอย่างถูกต้อง จุดที่ควรต้องพิจารณามีหลากหลายประการคือ

1. การวางตำแหน่งท่อเท (Tremies) หากร่องกำแพงมีความยาวเกิน 3.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6.00 เมตร ควรใช้ท่อเท 2 ชุด เพื่อให้คอนกรีตไหลทั่วถึงโดยสม่ำเสมอ ไม่เกิดโพรง
2. การเทคอนกรีตชุดแรก ต้องระมัดระวังไม่ให้คอนกรีตทะลุผ่าน Plug หากทะลุ Plug คอนกรีต จะเกิดการแยกตัว (รูปที่ 2.40) ทำให้กำแพงเกิดการร้าว , ไม่แข็งแรงและผิวผนังไม่เรียบร้อย ขรุขระและคูน่าเกลียด (รูปที่ 2.41)



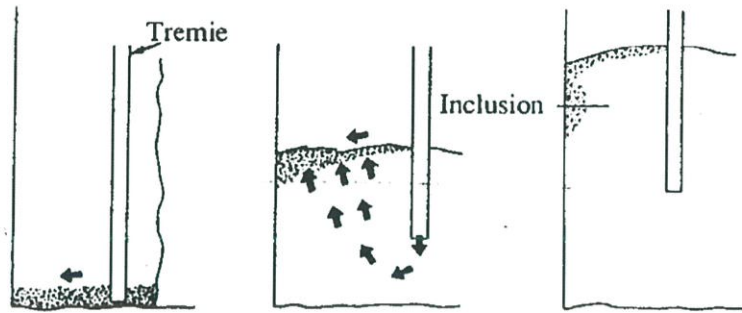
รูปที่ 2.40 คอนกรีตเกิดการแยกตัว (ฉกรรจ์ และคณะ) รูปที่ 2.41 ผิวผนังขรุขระ (ฉกรรจ์ และคณะ)

3. ก่อนเทคอนกรีตต้องทำกันหลุมให้สะอาดหากมีตะกอนตกค้างที่กันหลุม เมื่อเทคอนกรีตชุดแรกลงไปจะผสมกับตะกอน ทำให้คุณภาพคอนกรีตต่ำตะกอนอาจผสมหรือแทรกตัวเข้าในคอนกรีตได้ และตะกอนถูกคอนกรีตไล่ไปฝังตัวที่รอยต่อกำแพงตามรูปที่ 2.42 ทำให้ผิวกำแพงและรอยต่อเกิดความไม่สมบูรณ์น้ำรั่วซึมได้ง่าย



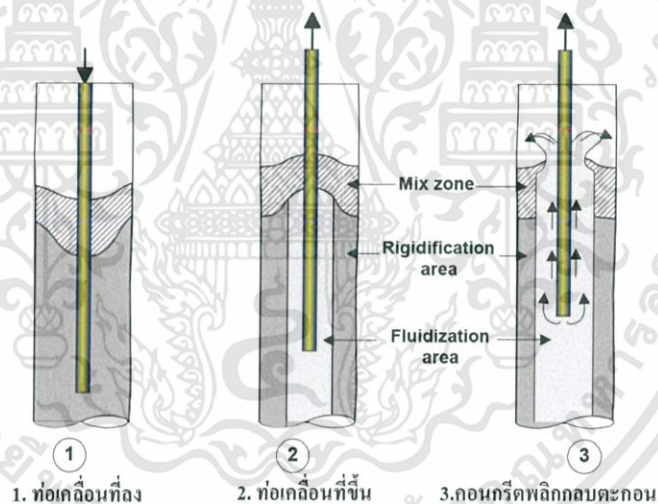
รูปที่ 2.42 ตะกอนก้นหลุมถูกไล่ไม่หมด (Xanthakos , 1994)

4. ก่อนเทคอนกรีตต้องทำความสะอาดสารละลายให้ Sand Content ของสารละลายที่เก็บจาก ก้นหลุมมีปริมาณไม่เกิน 2 % หากปริมาณ Sand Content เกิน 2 % ที่ผิวกำแพงจะมีเม็ดทรายเกาะขรุขระคุดน่าเกลียดและคอนกรีตอาจไล่และแทนที่สารละลายไม่หมด ทำให้เกิดโพรงได้ และทรายฝังตัวในรอยต่อกำแพงน้ำรั่วซึมได้ง่าย
5. การเทคอนกรีต ควรเทให้สูงกว่าระดับ Cut off ประมาณ 1.00 เมตร เนื่องจากคอนกรีตไม่สามารถทำให้แน่นด้วยเครื่องจี้ จึงต้องอาศัยน้ำหนักของคอนกรีตส่วนเกินกดทับให้แน่น จากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่าในกรณีนี้ Cut off อยู่สูงกว่าระดับผิวดิน และเทคอนกรีตเพื่อไว้เพียง 30-40 ซม. เมื่อสกัดถึงระดับ Cut off Concrete ยังมีสภาพไม่ดีพอ
6. ในการเทคอนกรีตแผงที่ติดกับแผงที่เทคอนกรีตไว้เรียบร้อยแล้ว (Primary Panel) หากตำแหน่งท่อเทห่างจากรอยต่อกำแพงมาก แรงดันคอนกรีตจากปลายท่ออาจครูดตะกอนที่จับตัวติดกับผิวคอนกรีตรอยต่อกำแพง Primary และที่ตกค้างก้นหลุมออกไม่หมด ดังแสดงในรูปที่ 2.43 ทำให้รอยต่อรั่วได้ง่าย ดังนั้นควรจัดตำแหน่งของท่อเทให้เหมาะสมที่จะครูดสิ่งสกปรกออกหมดได้ นอกจากนั้นเมื่อเจาะเสร็จ ควรจะทำความสะอาดรอยต่อของ Primary Panel เพื่อให้สิ่งสกปรกที่รอยต่อหลุดออกไปก่อนด้วย



รูปที่ 2.43 การวางที่เทคอนกรีตห่างจากปลายร่องขุดมากเกินไป (Fuchberger , 1994)

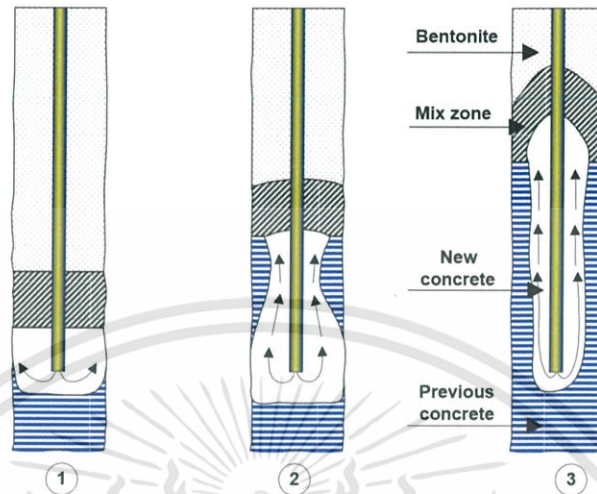
7. ในระหว่างการเทคอนกรีต ต้องให้ปลายท่อเทฝังอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลาไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร หากปลายท่อแยกขึ้นพื้นผิวหน้าจะทำให้คอนกรีตเกิดการไม่ต่อเนื่อง ทำให้มีปัญหาในความมั่นคงแข็งแรง นอกจากนี้ ในระหว่างการเทควรหลีกเลี่ยงการชักท่อขึ้นๆลงๆ (Jaring) เพราะสารละลายอาจแทรกเข้าผสมในคอนกรีตทำให้หินและซีเมนต์ในคอนกรีตมีโอกาสแยกตัวออกจากกันได้ และทำให้คอนกรีตพลิกกลับตะกอน (รูปที่ 2.44)



รูปที่ 2.44 การชักท่อขึ้นๆ ลงๆ ทำให้คอนกรีตกลับตะกอน (ณรงค์ และคณะ)

8. ปลายท่อเท (Trimie Pipe) นอกจากต้องควบคุมให้ฝังในเนื้อคอนกรีตตลอดเวลาแล้ว ยังต้องควบคุมไม่ให้ปลายท่อเทฝังตัวในเนื้อคอนกรีตมากเกินไปด้วย ต้องคอยตัดให้สั้นลงเป็นระยะ ๆ สัมพันธ์กับคอนกรีตที่ไหลไป หากปลายท่อเทฝังในคอนกรีตลึกเกินไปแล้ว คอนกรีตที่ไหลออกจากปลายท่อเทฝังในคอนกรีตลึกเกินไปแล้วคอนกรีตที่ไหลออกจากปลายท่อ จะดันขึ้นมาไม่เต็มหน้าตัดหลุมเจาะแต่จะแทรกขึ้นมาตามข้างท่อ (รูปที่ 2.45) ทำให้คอนกรีตไม่สามารถรูตสารละลายที่จับตัวเป็นก้อนที่ผนังรูเจาะ (Filter Cake) ออกได้ ทำให้มี Filter Cake หนาและ

คอนกรีตไม่หุ้มเหล็ก และการฝังปลายท่อเหล็กเกินไป ยังอาจดันให้โครงเหล็กขยับลอยขึ้นด้วย ทำให้มีตำแหน่ง Dowels ที่ฝังไว้คลาดเคลื่อน

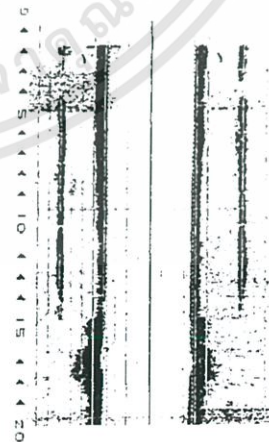


1. คอนกรีตชั้นเดิมหน้าตัด 2. คอนกรีตบางส่วนแทรกขึ้นข้างท่อ 3. คอนกรีตแทรกขึ้นข้างท่อทั้งหมด

รูปที่ 2.45 การเทคอนกรีตฝังปลายท่อเหล็กมากเกินไป (ณรงค์ และคณะ)

2.2.3.6 ปัญหาจากการชุดเจาะ

- ถึงแม้ว่าจะทำการก่อสร้าง Guide Wall ได้ตั้งแล้ว หากผู้ควบคุมหัวเจาะไม่ชำนาญเพียงพอ เมื่อเจาะพื้นระดับใต้ Guide Wall แล้วไม่ควบคุมให้ดี ร่องเจาะอาจจะเบี่ยงเบนจากแนวตั้งได้ ซึ่งจะมีผลให้ลงเหล็กเสริมได้ไม่ดี ทำให้คอนกรีตหุ้มเหล็กไม่เพียงพอและรอยต่อระหว่างแผงกำแพงไม่สนิท น้ำรั่วซึมได้ง่ายในการก่อสร้างควรทำการตรวจสอบความตั้งของรูเจาะด้วยเครื่อง Drilling Monitor ทุกแผง (รูปที่ 2.46)



รูปที่ 2.46 การตรวจสอบความตั้งของรูเจาะด้วย Drilling Monitor (ณรงค์ และคณะ)

2. การขุดเจาะร่องกำแพงยาวเกินไป โดยทั่วไปร่องที่ขุดเพื่อก่อสร้างกำแพงจะมีความยาวประมาณ 2.5-6.0 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพของชั้นดิน และความเหมาะสมของงาน แต่การขุดร่องกำแพงยาวกว่า 5.0 เมตร จะต้องใช้ความระมัดระวังและมีการควบคุมอย่างใกล้ชิด เพราะร่องขุดอาจมีเสถียรภาพไม่เพียงพอ ดินข้าง ๆ ร่องที่ขุดไว้อาจบีบตัวเข้าหากัน ทำให้เหล็กมีคอนกรีตหุ้มไม่เพียงพอ หรืออาจเกิดการพังทลายของร่องที่กำลังเจาะได้ ดินในกรุงเทพฯไม่ควรเจาะยาวเกิน 5.00 เมตร

2.2.3.7 ปัญหาจากบุคลากร

จากปัญหาต่าง ๆ ที่บรรยายมาแล้ว สามารถแก้ไขได้หากบุคลากรผู้เกี่ยวข้องมีประสบการณ์ในงานประเภทนี้ดีและมีความตั้งใจในการทำงาน ปัญหาที่พบในการก่อสร้างกำแพงชนิดนี้ในกรุงเทพฯกว่า 50 % จะเกิดจากบุคลากร โดยเฉพาะกรณีต้องใช้บุคลากรชาวต่างชาติเข้ามาทำงานชนิดนี้แทนคนไทย (เนื่องจากปัจจุบันยังมีบุคลากรชาวไทยที่ชำนาญงานประเภทนี้น้อยไม่เพียงพอ) บุคคลต่างชาติเหล่านี้มักจะมาทำงานเฉพาะโครงการช่วงสั้น ๆ ระยะเวลาเพียงไม่กี่เดือน เมื่อเข้ามาแล้วมักจะปฏิบัติตนเหมือนมาพักผ่อนมากกว่ามาทำงานและไม่เอาใจใส่งานจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องอย่างที่ไม่น่าจะเกิด เนื่องจากบุคลากรเหล่านี้จะไม่สนใจปัญหาที่พบเห็นได้ในภายหลัง เพราะกว่าจะขุดดินเปิดเห็นผิวกำแพงเขาก็กลับไปทำงานในประเทศอื่นแล้ว

2.2.3.8 สรุปสาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่อง

ตารางที่ 2.3 สรุปสาเหตุที่อาจทำให้งาน Diaphragm Wall เกิดความบกพร่อง

- สาเหตุที่ 1 มาจากการจัด Lay Out การทำงานในสนามที่ไม่เหมาะสม

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
1.1 ถังเก็บสารละลายเป็นโทไนท์ไม่เพียงพอ	1.1 ทำให้การควบคุมคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากจะทำให้เบนโทไนท์ที่เสีย ไม่มีที่เก็บแยกต่างหากและปริมาณไม่พอหมุนเวียนทำความสะอาด
1.2 ปล่องให้มีเครื่องจักรหรือรถบรรทุกวิ่งใกล้กับร่องขุด	1.2 ทำให้ร่องขุดมีโอกาสพัง
1.3 ร่องขุดยาวเกินไป	1.3 ทำให้ร่องขุดมีโอกาสพัง (ไม่ควรยาวเกิน 5.00 เมตร)
1.4 ร่องขุดสั้นเกินไป	1.4 หัวเจาะติดขัดในหลุมเจาะ

- สาเหตุที่ 2 มาจากสภาพชั้นดินที่จะก่อสร้าง

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
2.1 ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำใต้ดิน	2.1 ทำให้การควบคุมคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจมีสภาพความเป็นกรดหรือด่าง
2.2 คุณสมบัติ (Sensitivity) ของชั้นดินอ่อนเปลี่ยนแปลงขณะเจาะ	2.2 ทำให้ร่องชุดพังง่าย หรือทำให้ร่องชุดเกิดการบีบตัวแคบลง
2.3 ชั้นทรายหลวม (Loose Sand)	2.3 ทำให้ร่องชุดพังง่าย หรือทำให้ร่องชุดเกิดการบีบตัวแคบลง

- สาเหตุที่ 3 มาจากการเตรียมงานที่ไม่ดี

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
3.1 Surcharge มากไปข้างร่องชุด	3.1 จะทำให้ Guide Wall และร่องชุดพังได้ง่าย
3.2 มีแรงสั่นสะเทือนกระทบร่องชุดมากไป	3.2 จะทำให้ Guide Wall และร่องชุดพังได้ง่าย
3.3 มีน้ำผิวดินไหลซึมลงในชั้นดินใกล้ร่องที่ขุด	3.3 จะทำให้ Guide Wall และร่องชุดพังได้ง่าย

- สาเหตุที่ 4 การก่อสร้าง Guide Wall ไม่ดีพอ

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
4.1 ความลึกของ Guide Wall ไม่เพียงพอ	4.1 ทำให้ร่องชุดใต้ Guide Wall บีบตัวได้ และร่องชุดอาจพังลง
4.2 Guide Wall สร้างไม่ได้ตั้ง	4.2 ทำให้ร่องชุดเอียงไม่ได้ตั้ง ลงโครงเหล็กลำบาก
4.3 ดินใต้และหลัง Guide Wall บดอัดไม่แน่นพอ	4.3 ทำให้ Guide Wall พัง หรือบิตเบี้ยวได้ง่าย ทำให้ร่องชุดไม่ตรง และไม่ได้แนว

- สาเหตุที่ 5 มาจากการขุด

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
5.1 ขุดร่องไม่ได้ตั้ง	5.1 ทำให้โครงเหล็กไม่ได้ และทำให้รอยต่อระหว่างแผงไม่สนิททำให้น้ำรั่ว และกำแพงโยไปมาได้แนว
5.2 ผนังร่องชุดไม่เรียบ , ขรุขระ	5.2 ทำให้ผนังคอนกรีตไม่เรียบร้อย และทำให้คอนกรีตหุ้มเหล็กไม่เพียงพอ
5.3 รอยต่อแผงร่องชุดไม่สะอาดพอก่อนเทคอนกรีต	5.3 ทำให้เกิดโพรงที่รอยต่อ และทำให้น้ำรั่วที่รอยต่อ

■ สาเหตุที่ 6 การควบคุมคุณสมบัติของสารละลายเบนโทไนท์

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
6.1 ใช้สารละลายเบนโทไนท์ที่สกปรกมากเกินไป (ใช้หลายครั้งเกินไป) มีปริมาณไม่พอ หมุนเวียน	6.1 อาจทำให้ร่องชุดบิတ်หรือพังได้ง่าย ผิวผนังไม่เรียบ ดูน่าเกลียดและน้ำรั่วซึมได้ง่ายทั้งที่ผิวและรอยต่อ
6.2 มีตะกอนของเบนโทไนท์มากเกินไป (Flocculated Sediment)	6.2 ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่เทลงไปคุณภาพต่ำ , และตะกอนจะแทรกตัวในเนื้อคอนกรีต , รอยต่อรั่วได้ง่าย
6.3 ตะกอนและปริมาณทรามาก	6.3 คอนกรีตผสมตะกอน , ผิวกำแพงขรุขระน้ำรั่วซึมได้ง่าย

■ สาเหตุที่ 7 เกิดจากโครงเหล็กเสริม

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
7.1 ระยะห่างของเหล็กแคบเกินไป	7.1 ทำให้คอนกรีตมีรูพรุน , มีโพรงและคอนกรีตหุ้มเหล็กไม่พอ
7.2 โครงเหล็กโค้งตัวขณะยก และไม่คืนกลับ	7.2 ทำให้หลังไม้ได้ หรือลงลำบาก , ทำให้คอนกรีตหุ้มบางส่วนของเหล็กเสริมไม่เพียงพอ
7.3 แซ่โครงเหล็กในร่องเจาะนานเกินไปและสารละลายไม่อยู่นิ่งๆ (Non Agitation)	7.3 ทำให้ตะกอนเกาะติดเหล็ก , ทำให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง
7.4 วางไม้ได้ระดับตามที่ออกแบบไว้	7.4 ทำให้เหล็ก Dowel ที่เผื่อไว้เชื่อมกับพื้น หรือฐานรากผิดตำแหน่งไป
7.5 Box Out ในโครงเหล็ก	7.5 คอนกรีตผสมกับเบนโทไนท์ได้ง่ายตรงบริเวณที่ Box Out

■ สาเหตุที่ 8 เกิดจากการเทคอนกรีตได้น้ำ

สาเหตุ	ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น
8.1 Slump ต่ำเกินไป	8.1 เกิดรูพรุน , เป็นโพรง , หรือ Slime แทรกตัวในคอนกรีตได้
8.2 Slump มากเกินไป	8.2 เกิดการแยกตัวของคอนกรีตขณะเท
8.3 การวางท่อ Tremie ห่างเกินไป	8.3 ทำให้คุณภาพของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ
8.4 การชักท่อ Tremie ขึ้น-ลงบ่อย ๆ	8.4 มีโอกาสทำให้เบนโทไนท์แทรกตัวฝังในเนื้อคอนกรีต
8.5 การวางท่อ Tremie ห่างรอยต่อแผงมาก	8.5 ทำให้คอนกรีตไม่สามารถครูดสิ่งสกปรกบริเวณ

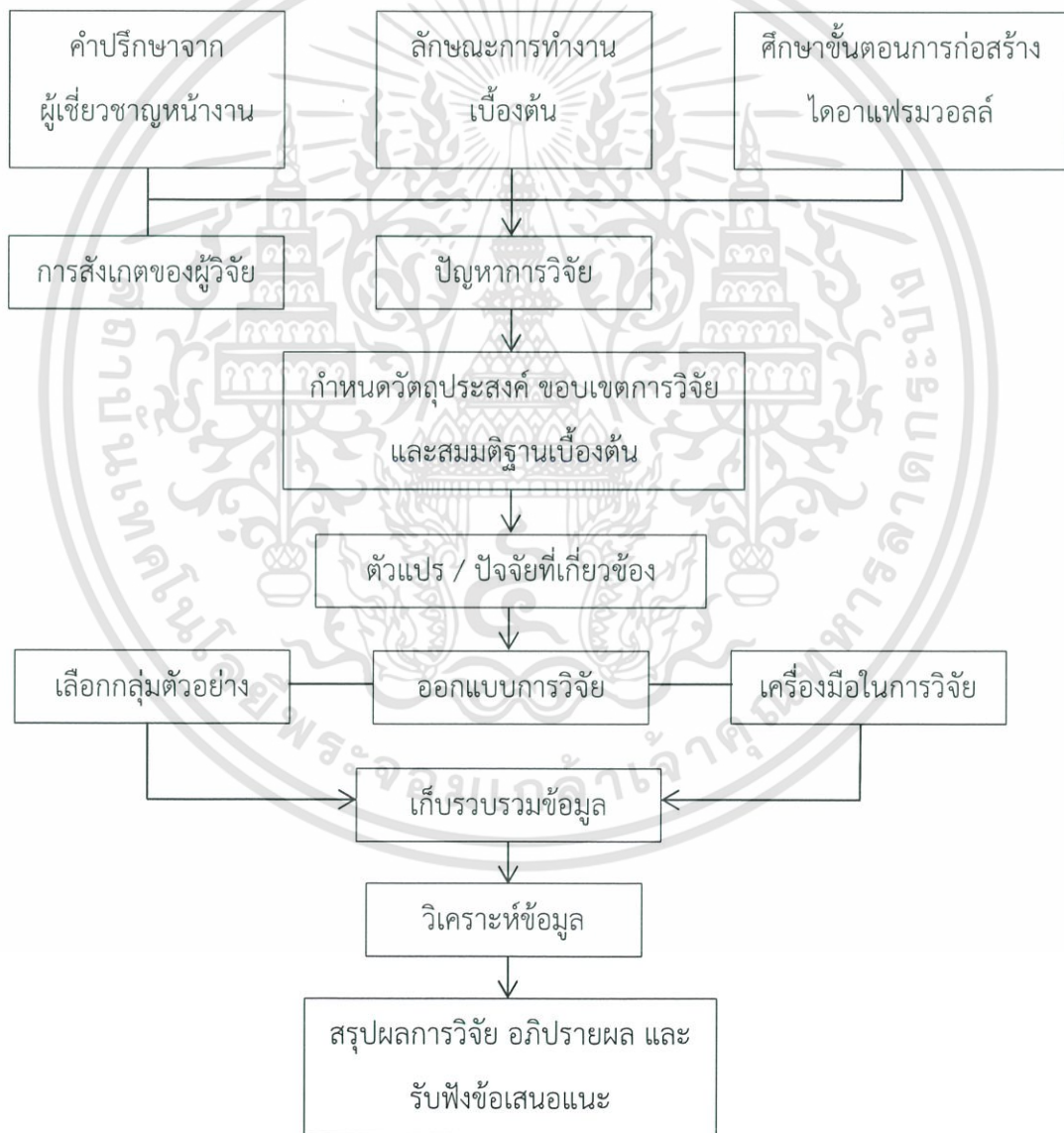
เกินไป	รอยต่อแผงออกหมด ทำให้รอยต่อรั่ว
8.6 การยกท่อ Tremie พื้นระดับคอนกรีต	8.6 ทำให้คอนกรีตขาดตอน
8.7 เทคอนกรีตคันแรกทะลุโฟม (Plug)	8.7 ทำให้คอนกรีตพรุน , เป็นโพรง , แยกตัวผสมกับสารละลายและตะกอน , ท่อเทคอนกรีตอาจอุดตันได้ (Blockage)
8.8 ฝั่งปลายท่อเหล็กเกินไป	8.8 คอนกรีตไม่สามารถครูด Filter Cake ออกทำให้คอนกรีตหุ้มเหล็กไม่พอและผนังกำแพงขรุขระ , รั่วซึม



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย เป็นส่วนที่แสดงรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการดำเนินการวิจัย อาทิเช่นการเลือกกลุ่มตัวอย่างของผู้วิจัย เครื่องมือในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดในการวิจัย เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ เนื้อหาของการวิจัยจะมุ่งเน้นและศึกษาเกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์ด้วยหัวเจาะเชิงกลต่อหนึ่งแผง โดยมีกระบวนการวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นวิจัยจนถึงสิ้นสุดการวิจัย ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ขอบเขตการวิจัยและข้อตกลงเบื้องต้น

3.1.1 ปัญหาการวิจัย

เวลาในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ (Diaphragm Wall) ในแต่ละแผงมีความไม่แน่นอน บางแผงใช้เวลานานทำให้โครงการล่าช้า

3.1.2 คำถามการวิจัย

1. คำถามหลัก : ปริมาณดินที่ขุดเจาะ (ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความลึกที่ขุดเจาะ) มีผลต่อเวลาการก่อสร้าง Diaphragm Wall อย่างไร ?
2. คำถามรอง : ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาการก่อสร้าง Diaphragm Wall มีอะไรบ้าง ?

3.1.3 สมมุติฐานเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้แบ่งเวลาระหว่างการก่อสร้าง Diaphragm Wall เป็นสองช่วงคือ (1) ช่วงการขุดดิน (2) ช่วงหลังขุดดินจนถึงเสร็จสิ้นการเทคอนกรีต ซึ่งเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall นั้นก็คือเวลาที่สองช่วงดังกล่าวนี้รวมกัน โดยตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นของทั้งสองช่วงดังนี้

1. ช่วงแรก : เวลาที่ใช้ในการขุดดิน ขึ้นอยู่กับ ปริมาณดินที่ขุด / ระดับความลึกที่ขุด
2. ช่วงที่สอง : เวลาหลังขุดดินจนถึงเสร็จสิ้นการเทคอนกรีต ขึ้นอยู่กับ เวลาที่ใช้ในการ Desand , ติดตั้งหรือถอนแบบหล่อคอนกรีต (Stop End Plates) , ลงโครงเหล็กเสริม และเทคอนกรีต

3.1.4 เงื่อนไขเบื้องต้นของการวิจัย

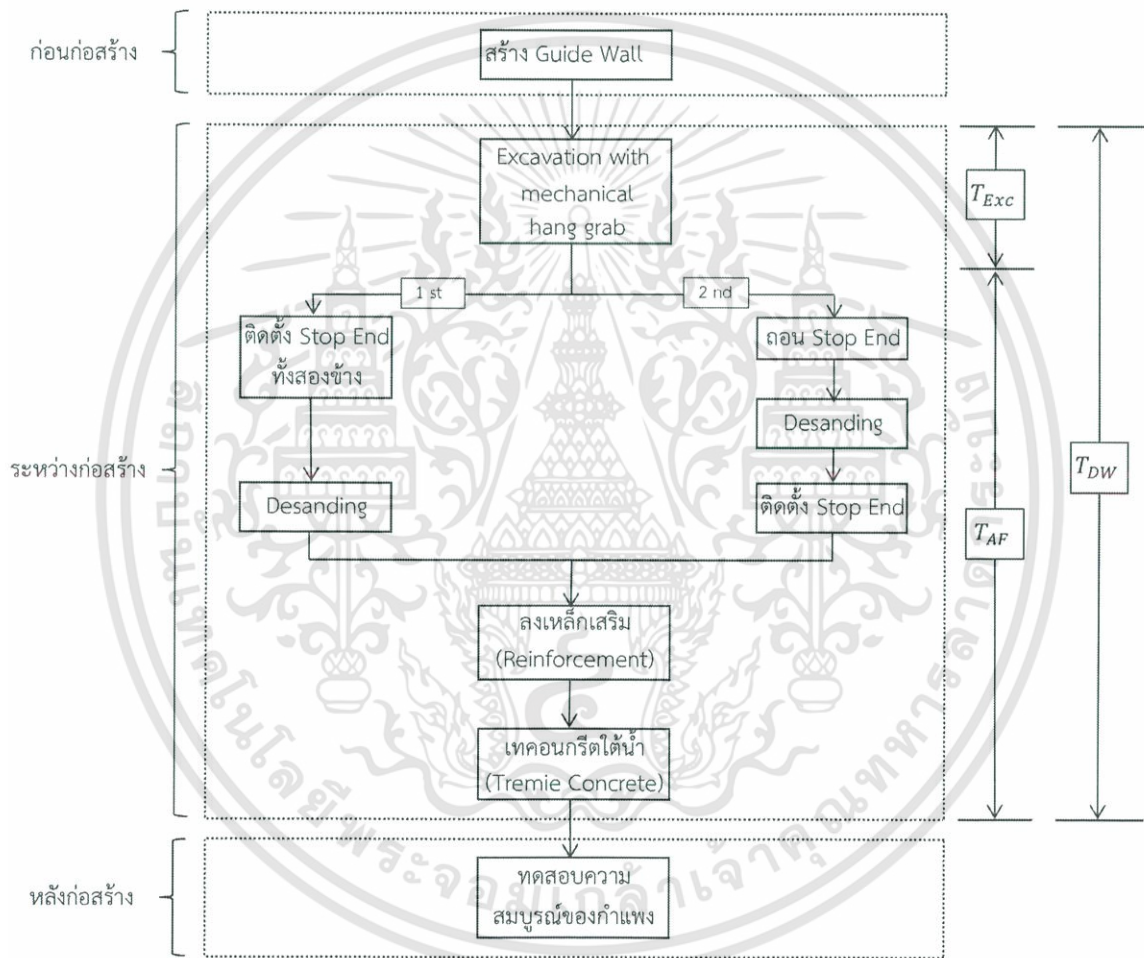
ข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและรวบรวมนั้น เป็นข้อมูลที่ได้จากโครงการโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สถานีราชมังคลา (Orange Line Project Rajamangala Station , OR18) เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม สมการที่ได้จากการวิจัยนั้น สามารถนำไปใช้ในโครงการอื่นได้ถ้าหากโครงการนั้นมีความคล้ายคลึงกับโครงการข้างต้น โดยมีเงื่อนไขเบื้องต้นของโครงการดังนี้

1. ทำการก่อสร้างและขุดเจาะในชั้นดินกรุงเทพ
2. พื้นที่ก่อสร้างไม่มีสิ่งกีดขวางทางแนวตั้ง กล่าวคือไม่มีจำกัดทางความสูงเช่นไม่มีสะพานทางด่วน เป็นอุปสรรคในการก่อสร้าง เป็นต้น
3. ใช้หัวเจาะเชิงกลแบบ Mechanical Hang Grab ในการขุดเจาะเท่านั้น
4. ขนาดของหัวเจาะต้องมีขนาด [กว้าง x ยาว] คือ [1.20 x 3.00] เมตร กล่าวคือความกว้างของหลุมเจาะต้องมีขนาด 1.20 เมตรเท่านั้น
5. ใช้เบนโทไนท์เป็นสารพยุหหลุมเจาะ

3.2 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการก่อสร้าง Diaphragm Wall

3.2.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง

การที่จะศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการก่อสร้าง Diaphragm Wall นั้น จำเป็นต้องทำการศึกษารายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างและเทคโนโลยีการก่อสร้าง Diaphragm Wall อย่างละเอียดเสียก่อน เนื่องจากการทราบขั้นตอนการก่อสร้างอย่างละเอียด จะทำให้มองเห็นภาพว่าเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยใด ปัจจัยใดที่มีโอกาสส่งผลให้โครงการล่าช้ามากที่สุด เป็นต้น



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์และการแบ่งช่วงเวลาก่อสร้าง

จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงแผนภาพขั้นตอนการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์โดยสรุป ผู้วิจัยได้แบ่งการก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์เป็น 3 ช่วงคือ (1) ช่วงก่อนก่อสร้าง (2) ช่วงระหว่างก่อสร้าง และ(3) ช่วงหลังก่อสร้าง ช่วงที่ 1 ก่อนก่อสร้างไดอาแฟรมวอลล์จะต้องก่อสร้าง Guide Wall เพื่อเป็นแนวกำแพงนำร่อง ให้กำแพงกันดินมีตำแหน่งที่ถูกต้องตามแบบ โดย Guide Wall จะสร้างพร้อมกันเป็นแนวแฉวยาก่อนการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดเจาะดินเสียอีก จึงถือเป็นขั้นตอนที่แยกออกจากช่วงระหว่างก่อสร้าง ช่วงที่ 2 ช่วงระหว่างก่อสร้างจะเริ่มตั้งแต่การขุดเจาะดินด้วยหัวเจาะเชิงกล (Excavation with mechanical grab) ไปจนถึงเทคอนกรีตได้น้ำ (Tremie concrete) (ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากบทที่ 2) โดย 1st คือแผงปฐมภูมิ (Primary Panels) หมายถึงแผงเปิดแผงแรกโดยจะมีความยาวของหลุมเท่ากับ ความยาวของหัวเจาะ สำหรับสถานีราชวังคลามีขนาดเท่ากับ 3.00 เมตร และต้องติดตั้ง Stop end plates ทั้งสองด้าน(ซ้าย-ขวา) เพื่อเป็นแบบหล่อคอนกรีตของแผง ส่วน 2nd คือแผงทุติยภูมิ (Secondary Panels) หมายถึงแผงถัดไปทั้งทางซ้ายและขวาจากแผงปฐมภูมิ โดยแผงทุติยภูมิจะติดตั้ง Stop end plates แคข้างเดียวเท่านั้น เนื่องจากมี Stop end plates ของแผงปฐมภูมิขนาดอีกด้านแล้ว ช่วงที่ 3 ช่วงหลังก่อสร้างเสร็จจะมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Sonic Logging Method ใช้การส่งผ่านสัญญาณคลื่น Sonic / Ultrasonic โดยลูกตุ้มที่เป็นตัวส่งและตัวรับระหว่างท่อ 2 ท่อ ซึ่งถูกติดตั้งในขั้นตอนการลงเหล็กเสริมก่อนเทคอนกรีต (ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากบทที่ 2)

ช่วงระหว่างก่อสร้างไดอะแฟรมวอลล์ เป็นช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงในการก่อสร้าง ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาช่วงดังกล่าวอย่างละเอียด กำหนดให้เวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall ต่อหนึ่งแผง เท่ากับ เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดินรวมกับเวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตเสร็จ ดังสมการที่ 3.1

$$T_{DW} = T_{Exc} + T_{AF} \quad (3.1)$$

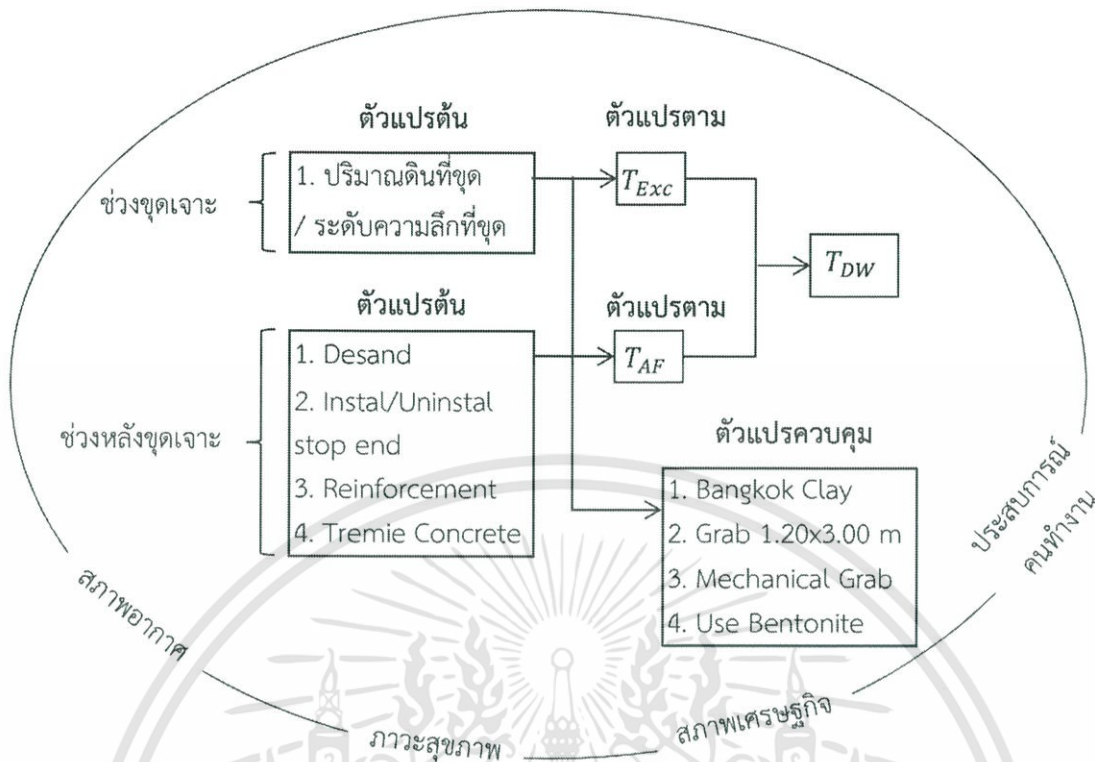
โดย T_{DW} คือเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง Diaphragm Wall ต่อหนึ่งแผง

T_{Exc} คือเวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดิน (Excavation) ต่อหนึ่งแผง

T_{AF} คือเวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดิน (After Excavation) จนถึงเทคอนกรีตเสร็จ ต่อหนึ่งแผง

3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม และตัวแปรสอดแทรก

จากสมการ 3.1 พบว่าเวลาในการก่อสร้าง T_{DW} ขึ้นอยู่กับสองช่วงเวลาคือ T_{Exc} และ T_{AF} โดยในแต่ละช่วงก็มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหรือมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไป ดังในรูปที่ 3.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม และตัวแปรสอดแทรก (วงกลมรอบนอก) ของแต่ละช่วง T_{Exc} และ T_{AF}



รูปที่ 3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาการก่อสร้าง T_{DW}

โดยแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด

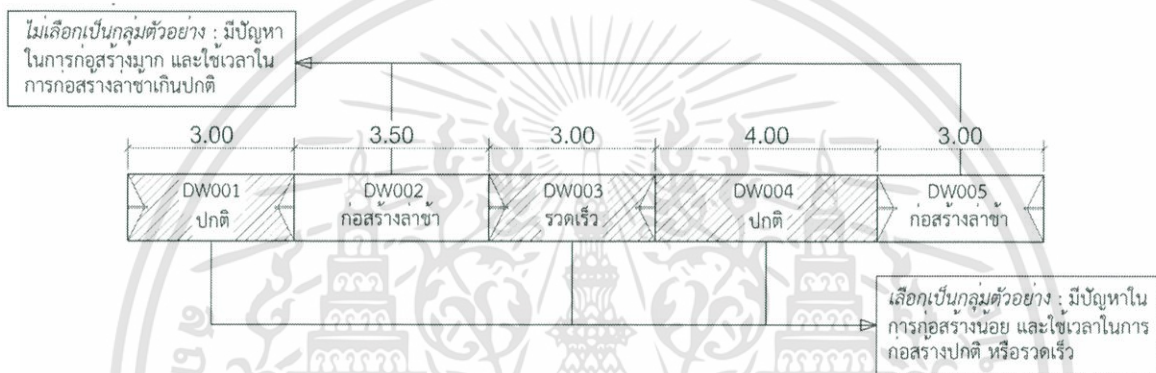
จากรูปที่ 3.2 ตัวแปรต้นและตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ดังนี้ ช่วงขุดเจาะ T_{Exc} ขึ้นอยู่กับ ปริมาณดินที่ขุดเจาะได้ในหน่วย m^3 (ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความลึกที่ขุดเจาะได้, m) ความสัมพันธ์นี้อธิบายได้โดยง่าย คือเมื่อทำการขุดเจาะปริมาณดินสะสมได้มาก หมายถึงความลึกที่ขุดเจาะได้ก็ยิ่งลึก เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะ T_{Exc} ก็ยิ่งมากขึ้นอีกเช่นกัน กำหนดให้ตัวแปร V_{Exc} คือปริมาณดินที่ขุดเจาะได้ใน หน่วย m^3 ในช่วงหลังขุดเจาะจนถึงเทคอนกรีตเสร็จ T_{AF} ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ เวลาในการ Desand , การติดตั้งหรือถอน Stop end plates , การลงเหล็ก และการเทปูน กำหนดเป็นตัวแปร T_D , T_S , T_R และ T_C ตามลำดับ ถ้าหากใช้เวลาในสี่ช่วงดังกล่าวมาก เวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดิน T_{AF} (After Excavation) จนถึงเทคอนกรีตเสร็จก็จะยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

ในส่วนตัวแปรควบคุมนั้นได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.1.4 ซึ่งตัวแปรดังกล่าวต้องเป็นไปตามเงื่อนไข กำหนดเท่านั้น และตัวแปรสอดแทรกเป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อไร และเกิดขึ้นอย่างไร จึงไม่สามารถควบคุมตัวแปรเหล่านี้ได้ เช่น สภาพสุขภาพของคนทำงาน , สภาพอากาศ ในวันนั้น ๆ อาจจะมีฝนตกส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างได้ , สภาพทางเศรษฐกิจ , การจราจรที่ ติดขัดส่งผลให้เทคอนกรีตได้ช้าลง เป็นต้น

3.3 การออกแบบการวิจัย

3.3.1 กลุ่มตัวอย่างของงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยในที่นี้คือกลุ่มย่อยของ Diaphragm Wall ทั้งหมด ที่นำมาเป็นตัวแทนของสิ่งที่น่าสนใจในการวิจัย ซึ่งก็คือแผง Diaphragm Wall ที่มีปัญหาในการก่อสร้างน้อยที่สุด ทำให้เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างนั้นไม่ล่าช้าเกินที่ควร ตรงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย หลักการและเหตุผลที่ไม่นำแผงทั้งหมดมาเป็นกลุ่มตัวอย่างเนื่องจากแผงบางส่วนก็มีการก่อสร้างที่ล่าช้า มีปัญหาในการก่อสร้าง ไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นกลุ่มตัวอย่างได้ และไม่ตรงจุดประสงค์ของงานวิจัย



รูปที่ 3.3 แนวคิดในการเลือกกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ ของโครงการ X โดยสมมติประชากรทั้งหมดคือ DW001 , 002 , 003 , 004 และ 005

ตัวอย่างแนวคิดในการเลือกกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยนี้ตามวัตถุประสงค์ (ดูรูปที่ 3.3) อธิบายโดยการสมมติโครงการ X ขึ้นมา มีประชากรทั้งหมดคือ Diaphragm Wall แผง DW001 , 002 , 003 , 004 และ 005 กลุ่มตัวอย่างที่เลือกคือ DW001 , 003 และ 004 เนื่องจากมีปัญหาในการก่อสร้างน้อย และใช้เวลาในการก่อสร้างปกติ แต่ DW002 และ 005 นั้นมีปัญหาในการก่อสร้างมาก ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง จึงไม่เลือกเป็นหนึ่งในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่เลือกนั้นจะนำไปวิเคราะห์เพื่อสร้างเป็นสมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกลต่อไป สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลจากการก่อสร้าง Diaphragm Wall ของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สถานีราชมั่งคลา OR18 เป็นประชากร และได้เลือกกลุ่มตัวอย่างของ Diaphragm Wall ที่นำมาวิเคราะห์ครั้งนี้ คือ Diaphragm Wall Panels No. DW 110 , 107 , 102 , 120 , 125 , 111 , 106 , 126 , 112 , 113 , 104 และ 128

เกณฑ์ในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง Diaphragm Wall ของงานวิจัยมีดังนี้

1. ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย มีแนวโน้มเวลาที่ปกติ ไม่ล่าช้า

2. ผู้วิจัยมีส่วนร่วมในการจัดบันทึกข้อมูลการทำงานของแผนงั้น ๆ
3. เป็นแผนที่ก่อสร้างระหว่างที่ผู้วิจัยทำการวิจัยเท่านั้น กล่าวคือระหว่างเดือนสิงหาคม 2561 – เดือนพฤษภาคม 2561

3.3.2 เครื่องมือการวิจัย

3.3.2.1 แบบบันทึกความคืบหน้าในแต่ละวัน

เป็นเครื่องมือที่ใช้บันทึกความคืบหน้าของโครงการในแต่ละวัน โดยทำการบันทึกรายละเอียดการก่อสร้าง เช่น เวลาที่ทำการขุดเจาะ , เวลาในการลงเหล็ก , ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำงาน , คุณสมบัติของน้ำยาเบนโทไนต์ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.4 เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป (ตัวอย่างการจัดบันทึกดูรูปที่ 3.5)

รายงานความคืบหน้างานในแต่ละวัน
โครงการก่อสร้าง รถไฟฟ้าสายสีส้ม OR 18

วัน/เดือน/ปี	Fig 1	Fig 2	Fig 3	Detail
วันจันทร์				
วันอังคาร				
วันพุธ				
วันพฤหัสบดี				
วันศุกร์				
วันเสาร์				
วันอาทิตย์				

รูปที่ 3.4 แบบบันทึกความคืบหน้าในแต่ละวันของโครงการ

รายงานความคืบหน้างานในแต่ละวัน
โครงการก่อสร้าง รถไฟฟ้าสายสีส้ม OR 18

วันที่ 10/12/9
โดย Sanice Z

วัน/เดือน/ปี	Rig 1	Rig 2	Rig 3	Detail
วันจันทร์ 27/08/61	- ลงเหล็ก DW 125 - เทคอนกรีต DW 125 (End of DW 125)	- เจาะหลุม DW 106 X Drilling หรือ หลุมเอียงอยู่เป็นเส้น สถานี (1, 1, 1) (15m)		ในลักษณะที่ 6 9/12/27 08.30-11.15 น. ในลักษณะที่ 7 9/12/27 11.30-12.00, 13.00-14.15 น.
วันอังคาร 28/08/61	- Monotriple เพื่อ เจาะทะลุ Decand 10.19 น. - Degrading DW 111 - Grstopend DW 111 เวลา 15.00 น.	- เจาะหลุม DW 106	- เจาะหลุม DW 101 AB (เช้า) - ปูนพ Guide Wall ตามผนัง ไป (คิด) (Start of DW 101)	นำปูน เสร็จ Guide Wall แล้วไป ต่อทางรถไฟ ตามตรัง เจาะ เช่า
วันพุธ 29/08/61	- ลงเหล็ก DW 111 - เทคอนกรีต DW 111 (End of DW 111)	- เจาะหลุม DW 106	- เจาะหลุม DW 101 AB (20 ม)	
วันพฤหัสบดี 30/08/61	- เจาะหลุม 119 (เริ่ม 8.30 น.) (Start of DW 119) - เวลา 13.30 น. เจาะได้ลึก 10 ม	- เจาะหลุม 106	- เจาะหลุม 101 AB ได้ 35 ม (เช้า) - เปลี่ยนชนิดผนังของ สถานี	- FN (Fuse Nagase) 9/12/28 Signel
วันศุกร์ 31/08/61	- 119 หลุมลึก 35 ม			- เข้าเหล็ก DW 106 ที่ 4 ม - แยกโครงเพื่อน BR 6 เพื่อเชื่อม 1072
วันเสาร์ 01/09/61		- เจาะหลุม DW 106		* BR ที่ 4 ม 1.00 ม → 1.50 ม →
วันอาทิตย์ 02/09/61		- ลงเหล็ก PW 106 - บด BR 6 (Start of BR 6)		


Sanice Z

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการจดบันทึกความคืบหน้าในแต่ละวันของโครงการ OR18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 แบบบันทึกการเทคอนกรีต

ทำการจดบันทึกรายละเอียดการเทคอนกรีตได้น้ำ เช่นหมายเลขแผงที่ทำการเทปูน , เวลาที่เริ่มเทปูน , เวลาในการเทปูนของรถแต่ละคัน และอื่น ๆ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.6



Diaphragm Wall Concrete Delivery and Casting Record

PROJECT NAME : MRT Orange Line Project, L2 PANEL NO. : DW.123 D-WALL THICKNESS : 1.200 m. GUIDE WALL (GW) LEVEL : +100.000 m. MSL PANEL LENGTH : 3.000 m. EXCAVATION DEPTH : 58.000 m. from GW CUT OFF LEVEL : +97.500 m. MSL		EXCAVATION DATE: 13-6-61 08:30 START: 18-6-61 12:00 FINISH: 18-6-61 12:00		DESANDING DATE: 20-6-61 04:30 START: 20-6-61 10:00 FINISH: 20-6-61 10:00		REINFORCEMENT DATE: 21-6-61 22:00 START: 22-6-61 5:10 FINISH: 22-6-61 5:10	
PROJECT NAME : MRT Orange Line Project, L2 PANEL NO. : DW.123 D-WALL THICKNESS : 1.200 m. GUIDE WALL (GW) LEVEL : +100.000 m. MSL PANEL LENGTH : 3.000 m. EXCAVATION DEPTH : 58.000 m. from GW CUT OFF LEVEL : +97.500 m. MSL		DENSITY: 1.07 g/cu.m VISCOSITY: 36.02 sec		SAND CONTENT: 0.50 % PH: 10 CAGE TYPE: TYPE G			

NO.	TRUCK (NO.)	VOL. (cu.m.)	ACC.VOL. (cu.m.)	TIME		TREMIE		CONCRETE DEPTH			TREMIE SET "A"		TREMIE SET "B"	
				START	FINISH	A	B	A	M	B	LENGTH	ACC.LENGTH	EMBEDED	LENGTH
1	1219	5	5.0	23:08	23:11						1.00	57.80		
2	1215	5	10.0	23:15	23:17						1.00	56.80		
3	1216	5	15.0	23:22	23:25						3.10	55.80		
4	1194	5	20.0	23:27	23:30	56.80				51.50	3.10	52.70	5.30	
5	444	5	25.0	23:37	23:40						3.10	49.60		
6	1147	5	30.0	24:04	24:06						3.10	46.50		
7	1187	5	35.0	24:09	24:12						3.10	43.40		
8	1172	5	40.0	24:13	24:15	49.60				45.50	3.10	40.30	4.10	
9	1128	5	45.0	24:17	24:20						3.10	37.20		
10	1145	5	50.0	24:21	24:25						3.10	34.10		
11	615	5	55.0	24:26	24:29	46.50				41.20	3.10	31.00	5.30	
12	1199	5	60.0	24:30	24:34						3.10	27.90		
13	849	5	65.0	24:55	24:58						3.10	24.80		
14	1136	5	70.0	01:01	01:04	40.30				37.00	3.10	21.70	3.30	
15	1219	5	75.0	01:06	01:09						3.10	18.60		
16	442	5	80.0	01:11	01:15						3.10	15.50		
17	1215	5	85.0	01:17	01:19	37.20				33.00	3.10	12.40	4.20	
18	1216	5	90.0	01:20	01:23						3.10	9.30		
19	1204	5	95.0	01:24	01:28						3.10	6.20		
20	1187	5	100.0	01:29	01:33	31.00				28.50	3.10	3.10	2.50	

SUB-CONTRACTOR	MR. KETKAEWTHONG M.	SIGNATURE		DATE	15 May 2018
CKST SITE ENGINEER		SIGNATURE		DATE	
CKST STATION MANAGER		SIGNATURE		DATE	
PMSCS2		SIGNATURE		DATE	

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการจดบันทึกการเทคอนกรีตได้น้ำบางส่วนของแผง DW123 โครงการ OR18 (CKST JV)

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ก่อนจะทำการวิเคราะห์ที่ได้ จำเป็นที่ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาก่อน เพื่อที่จะนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ต่อไป ในบทที่ 3.4 นี้จะกล่าวถึงวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยนี้ ว่ามีขั้นตอนอย่างไร และมีข้อมูลใดบ้างที่จำเป็นต่องานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการจดบันทึกข้อมูลหน้างานอย่างละเอียด โดยมีแบบบันทึกความคืบหน้าในแต่ละวันของโครงการ ดังรูปที่ 3.4
2. เมื่อจดบันทึกข้อมูลแล้ว วิศวกรภาคสนามจะนำข้อมูลดังกล่าวไปเขียนเป็น Report ของงานในแต่ละวัน และรวบรวมข้อมูลในแต่ละวันนั้นเป็น Breakdown Record
3. ใน Breakdown Record จะมีข้อมูลสำคัญอยู่สองส่วนหลัก ๆ คือ (1) Working Time และ (2) Non-Working Time
4. รวบรวมข้อมูลเป็น Data ที่แยกเฉพาะข้อมูล Working Time ของแต่ละแผง (ดูข้อมูลทั้งหมดที่ภาคผนวก ก.)
5. นำ Depth (H_d), $\sum T (T_{Exc})$ และ Volume (V_{Exc}) มาวิเคราะห์เพื่อสังเกตพฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของแต่ละแผง (ดูข้อมูลทั้งหมดที่ภาคผนวก ข.) ส่วนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ T_{AF} ดูภาคผนวก ค.
6. เมื่อได้ข้อมูลของแต่ละแผงในรูปแบบที่ได้กล่าวในขั้นตอนที่ 5 แล้วให้นำข้อมูลที่มีทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง มา Plot รวมกันในกราฟเดียว เพื่อที่จะวิเคราะห์หาสมการแนวโน้มหรืออื่น ๆ ต่อไปได้ โดยการวิเคราะห์จะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 3.5

ข้อมูลที่ดีและน่าเชื่อถือนั้น ต้องทำการเก็บต่อเนื่องตลอดเวลา กล่าวคือต้องมีวิศวกรที่ทำการจดบันทึกการทำงานตลอดช่วงเวลาที่มีการดำเนินงานอยู่ ดังนั้นในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนี้ ไม่สามารถที่จะทำการจดบันทึกคนเดียวแล้วข้อมูลจะได้ครบถ้วนได้ เว้นแต่จะมีการใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือในการจดบันทึกเช่น กล้องขนาดเล็กที่ทำการบันทึกภาพการทำงานตลอดเวลา เป็นต้น

การแบ่ง Bite ของการเจาะ จะเรียก 1st Bite คือแผงที่เจาะครั้งแรกของแผงนั้น ๆ ถ้าแผงดังกล่าวมีความยาวเท่ากับ 3.00 เมตร (เท่ากับขนาดหัวเจาะ) แสดงว่าแผงนั้นมีแค่ 1 Bite เท่านั้น และจะเรียกแผง 2nd Bite คือแผงที่ต้องเจาะต่อ จะเกิดขึ้นสำหรับแผงที่มีความยาวมากกว่า 3.00 เมตร (มากกว่าขนาดหัวเจาะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดินต่อหนึ่งแผง (T_{Exc})

การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดินต่อหนึ่งแผง (T_{Exc}) จะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (V_{Exc}) และตัวแปรตาม (T_{Exc}) โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ มีวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธี ในแต่ละวิธีจะมีการวิเคราะห์แยกกันระหว่างการขุด 1st Bite และ 2nd Bite (ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมเรื่อง Bite ในหัวข้อ 3.4) และนำมารวมกันเป็นสมการ T_{Exc}

$$T_{Exc} = T_{1st} + T_{2nd} \quad (3.2)$$

โดย T_{Exc} คือ เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดินต่อหนึ่งแผง (min)

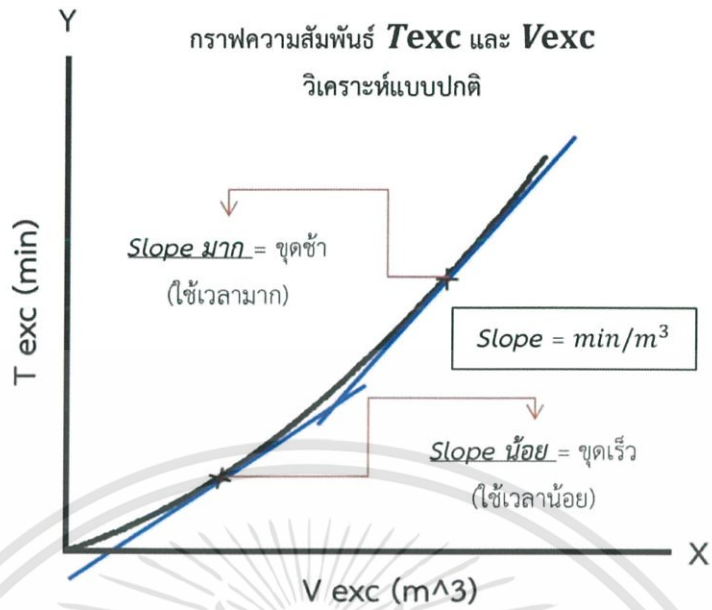
T_{1st} คือ เวลาในการขุดเจาะ 1st Bite ของแผงนั้น ๆ (min)

T_{2nd} คือ เวลาในการขุดเจาะ 2nd Bite ของแผงนั้น ๆ (min)

หลักการและเหตุผลที่ทำการวิเคราะห์โดยใช้กราฟความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการ เนื่องจากตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้นมีเพียงอย่างละ 1 ตัวแปร และมีการเก็บข้อมูลที่ละเอียด ทำให้สามารถวิเคราะห์โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ได้

- วิธีที่ 1 : การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบปกติ ($X=V_{Exc}$, $Y=T_{Exc}$)

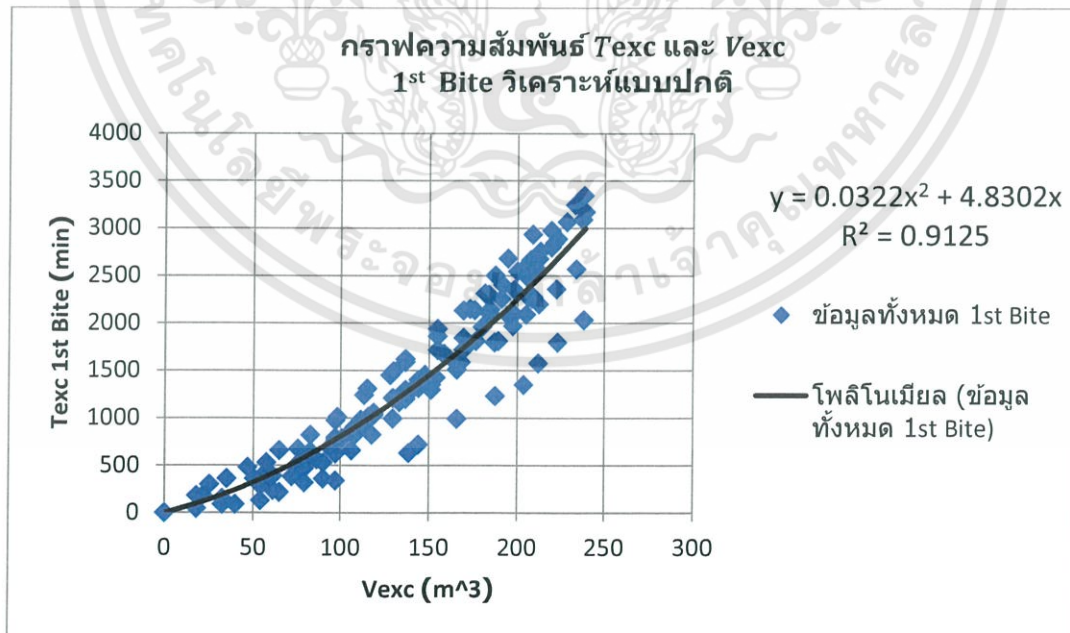
การวิเคราะห์แบบปกติ เป็นการวิเคราะห์โดยกำหนดให้ตัวแปรต้นในแกน X คือ V_{Exc} (m^3) และตัวแปรตามในแกน Y คือ T_{Exc} (min) จะทำให้ได้สมการ T_{Exc} โดยตรงเป็นสมการกำลังสอง มีความชัน (Slope) เป็นหน่วย min/m^3 ช่วงที่ Slope น้อยแสดงว่าใช้เวลาในการขุดเร็ว และช่วงที่ Slope มากแสดงว่าใช้เวลาในการขุดมาก (ดูรูปที่ 3.7) การวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 1st Bite และ 2nd Bite (ถ้ามี) ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น รูปที่ 3.7 แสดงถึงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของ Diaphragm Wall โดยใช้วิธีที่ 1 ดังนี้



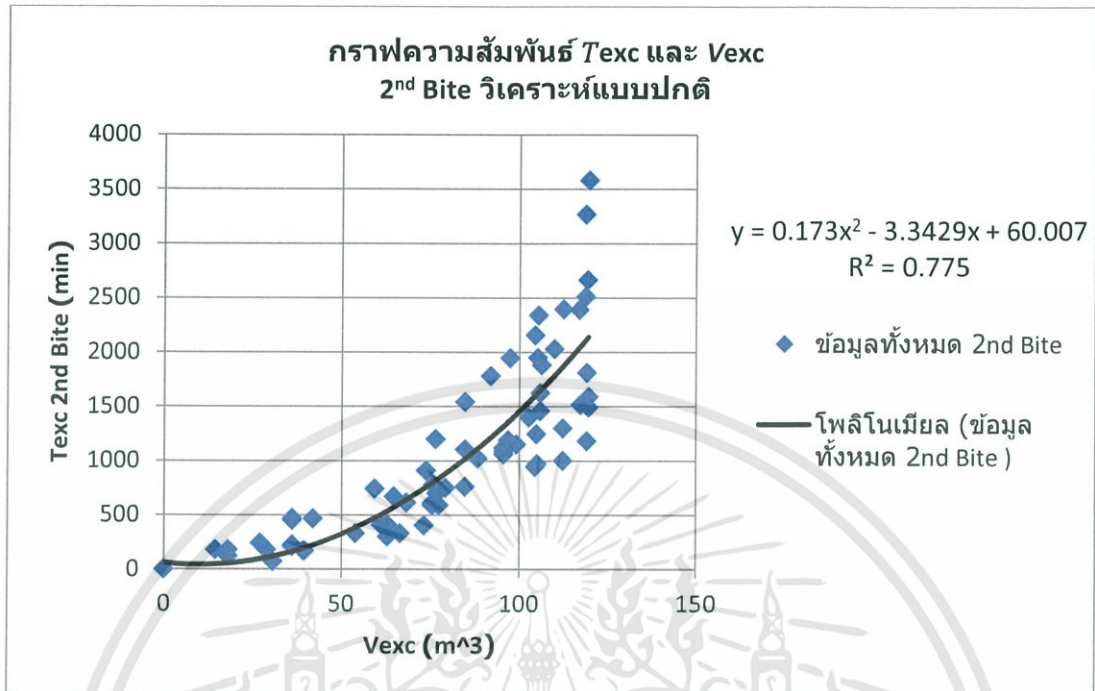
รูปที่ 3.7 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของ Diaphragm Wall โดยใช้วิธีที่ 1 (วิเคราะห์แบบปกติ $X=V_{Exc}$, $Y=T_{Exc}$)

เมื่อทำการ Plot ข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่างที่เลือกไว้แล้ว (ดูภาคผนวก ก.) จะได้กราฟของความสัมพันธระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของ 1st Bite และ 2nd Bite ดังต่อไปนี้

➤ 1st Bite (วิธีที่ 1 วิเคราะห์แบบปกติ)



➤ 2nd Bite (วิธีที่ 1 วิเคราะห์แบบปกติ)



➤ การใช้สมการ (T_{Exc})

1. กรณีแผง $L=3.00$ เมตร , $W=1.20$ เมตร

จากสมการ 3.1 แทน $T_{2nd} = 0$ จะได้ $T_{Exc} = T_{1st} + 0$ ดังนั้น T_{Exc} กรณีแผง $L=3.00$ เมตร จะได้สมการ 3.3 ดังนี้

$$T_{Exc} = T_{1st} = 0.0322V_{1st}^2 + 4.8302V_{1st} \quad (3.3)$$

$$V_{1st} = 1.20 \times 3.00 \times H_d \quad (3.4)$$

โดย V_{1st} คือปริมาณดินที่ขุดใน 1st Bite (m^3)

H_d คือความลึกของหลุมเจาะ (m)

2. กรณีแผง $L=4.50$ เมตร , $W=1.20$ เมตร

เมื่อ $L=4.50$ เมตร จะมีการขุด 2 Bite , 1st Bite มี $L = 3.00$ เมตร , 2nd Bite มี $L = 1.50$ เมตร (= $4.50 - 3.00$ เมตร) จากสมการ 3.1 จะได้ $T_{Exc} = T_{1st} + T_{2nd}$

ดังนั้นกรณีแผง $L=4.50$ เมตร จะได้สมการ 3.5 ดังนี้

$$T_{Exc} = (0.0322V_{1st}^2 + 4.8302V_{1st}) + (0.173V_{2nd}^2 - 3.3429V_{2nd} + 60.007) \quad (3.5)$$

$$V_{2nd} = 1.20 \times 1.50 \times H_d \quad \text{_____} \quad (3.6)$$

โดย V_{2nd} คือปริมาณดินที่ขุดใน 2nd Bite (m^3)

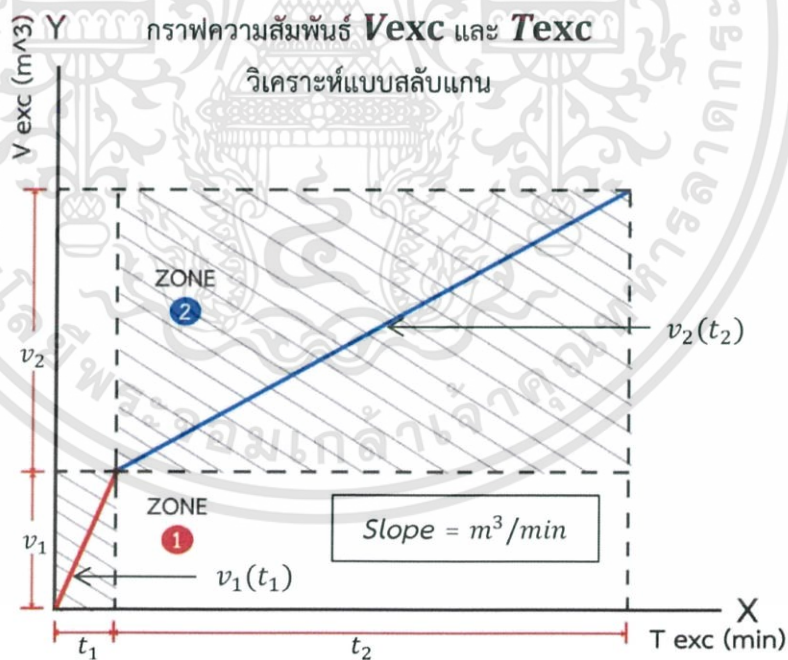
H_d คือความลึกของหลุมเจาะ (m)

หมายเหตุ : สมการข้างต้นสามารถใช้ได้ในกรณีแฉง $L=3.00$ m (ใช้สมการ 3.3) และกรณีแฉง $L=4.50$ m (ใช้สมการ 3.5) เท่านั้น กรณีอื่นนอกเหนือจากนี้ไม่สามารถใช้ได้

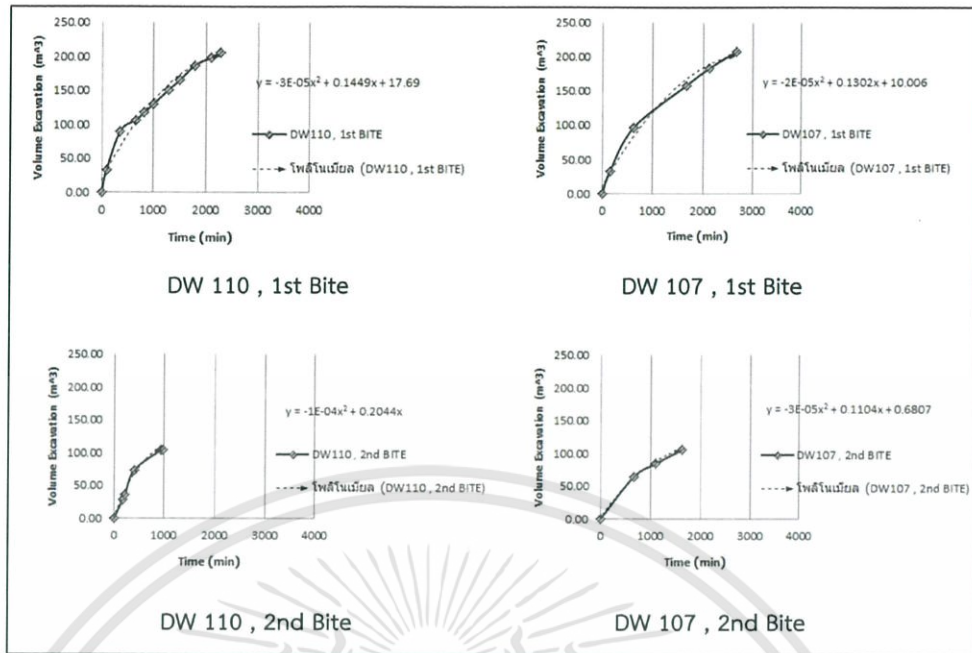


- **วิธีที่ 2** : การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสลับแกน ($X=T_{Exc}$, $Y=V_{Exc}$)

การวิเคราะห์แบบสลับแกน เป็นการวิเคราะห์โดยกำหนดให้ตัวแปรต้นในแกน X คือ T_{Exc} (min) และตัวแปรตามในแกน Y คือ V_{Exc} (m^3) มีความชัน (Slope) เป็นหน่วย m^3/min ช่วงที่ Slope มากแสดงว่าใช้เวลาในการขุดเร็ว และช่วงที่ Slope น้อยแสดงว่าใช้เวลาในการขุดมาก หลักการและเหตุผลที่เลือกการวิเคราะห์แบบสลับแกนเป็นอีกหนึ่งวิธี เนื่องจากตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาครั้งนี้ สามารถสลับบทบาทการเป็นตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ กล่าวคือ เมื่อใช้เวลาในการขุดดินมากขึ้น (ตัวแปรต้น = T_{Exc}) ก็จะทำให้สามารถขุดดินได้ปริมาณมากขึ้น เช่นกัน (ตัวแปรตาม = V_{Exc}) และโดยทั่วไปแล้วกราฟที่มีแกน X เป็นเวลา จะทำให้ผู้อ่านเข้าใจกราฟง่ายขึ้น แต่ในขณะที่เดียวกันการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 มีหลายขั้นตอนและยากกว่าวิธีที่ 1 โดยผู้วิจัยได้เลือกวิเคราะห์วิธีที่ 2 ด้วยกับสมการเส้นตรง (Linear Equation) ที่แบ่งข้อมูลเป็น 2 Zone มารวมกัน ในแต่ละ Bite (1st Bite , 2nd Bite) มีเกณฑ์การแบ่ง Zone ที่แตกต่างกัน เมื่อทำการ Plot กราฟข้อมูลแล้ว (ดูรายละเอียดข้อมูลที่ภาคผนวก ก. และภาคผนวก ข.) จะได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีลักษณะกราฟที่เป็นไปตามความเป็นจริงมากกว่าวิธีที่ 1 (ดูรูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.8 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{Exc} และ T_{Exc} ของ Diaphragm Wall โดยใช้วิธีที่ 2 (วิเคราะห์แบบสลับแกน $X=T_{Exc}$, $Y=V_{Exc}$)



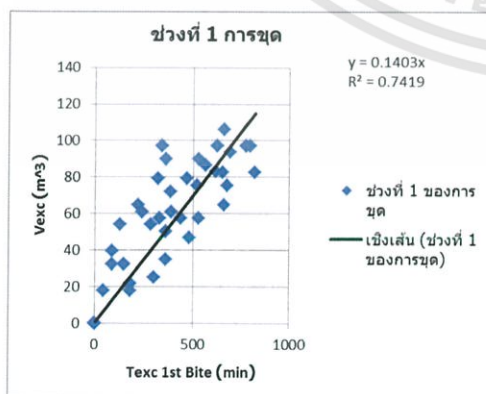
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{Exc} และ T_{Exc} ของ Diaphragm Wall สังเกตได้ว่า กราฟจะมีความชันแบ่งเป็น 2 ช่วงอย่างชัดเจน และมีจุดเปลี่ยนความชันที่ชัดเจนในแต่ละ Bite โดยจะเรียกข้อมูลที่มีความชันช่วงแรกว่า Zone 1 และข้อมูลที่มีความชันช่วงที่สองว่า Zone 2

➤ 1st Bite (วิธีที่ 2 วิเคราะห์แบบสลับแกน)

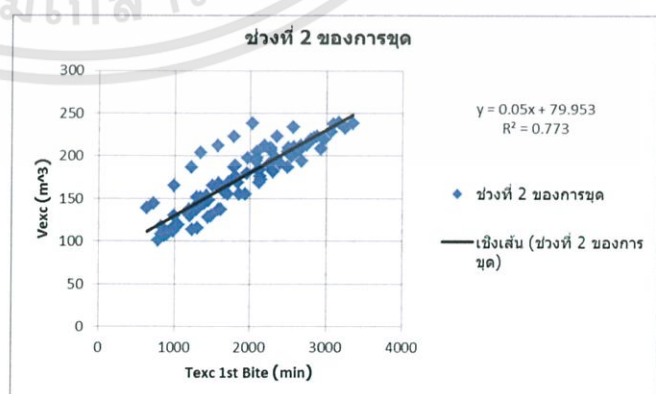
สำหรับ 1st Bite จะทำการ Plot ข้อมูลแบบแยก Zone 1 และ Zone 2 ด้วยปริมาณดินที่ขุดเจาะได้ (Volume, V) โดยข้อมูล Zone 1 อยู่ในช่วง $0 < v \leq 100 (m^3)$ และ Zone 2 อยู่ในช่วง $v > 100 (m^3)$ มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1. Plot กราฟแบบแยก Zone

แยก Zone 1 และ Zone 2 แล้วหาสมการ v_1 และ v_2 ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ข้อมูล Zone 1 (v_1), 1st Bite



รูปที่ 3.11 ข้อมูล Zone 2 (v_2), 1st Bite

2. หาจุดตัดของสมการ v_1 และ v_2

จากรูปที่ 3.10 และ 3.11 ได้สมการ v_1 และ v_2 ดังนี้

$$v_1 = 0.1403t_1 \quad (3.7)$$

$$v_2 = 0.05t_2 + 79.953 \quad (3.8)$$

สมการจะตัดกันเมื่อ $[v_1 = v_2]$ และ $[t_1 = t_2]$ จะได้

$$0.1403t_1 = 0.05t_2 + 79.953, [t_1 = t_2 = t]$$

$$0.0903t = 79.953$$

$$t = 885.42 \text{ min}$$

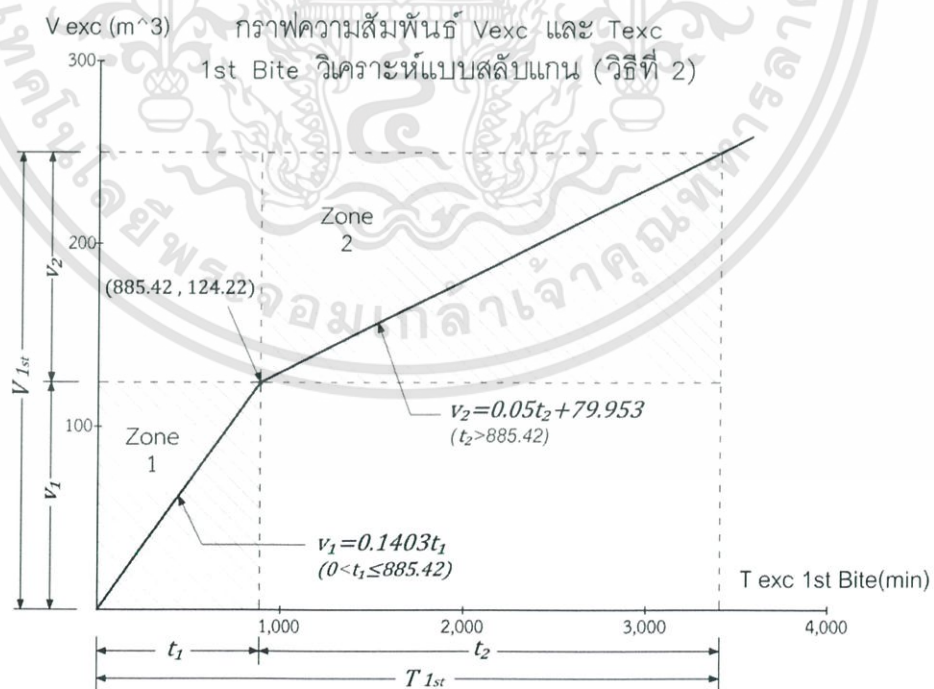
เมื่อแทน t ลงในสมการที่ 3.7 หรือ 3.8 จะได้

$$v = 124.22 \text{ m}^3 \text{ (เมื่อ } L_{\text{ชุด}} = 3.00 \text{ m จะได้ความลึกขณะตัดกัน } H_d = 34.50 \text{ m)}$$

ดังนั้นจุดตัดของสมการคือ $t = 885.42 \text{ min}$ และ $v = 124.22 \text{ m}^3$

3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ใหม่ (รวม Zone 1 และ Zone 2)

เมื่อทำการรวมเส้นกราฟ v_1 และ v_2 เข้าด้วยกัน จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{Exc} และ T_{Exc} ที่วิเคราะห์โดยวิธีที่ 2 ดังรูปที่ 3.12 โดยมีจุดตัด (X, Y) คือ (885.42, 124.22)



รูปที่ 3.12 กราฟความสัมพันธ์รวม Zone 1, 2 ของการวิเคราะห์แบบสลับแกน 1st Bite

4. หาเวลาในการขุดดิน 1st Bite (T_{1st})

จากรูปที่ 3.12 จะได้ว่า

$$T_{1st} = t_1 + t_2 \quad (3.9)$$

T_{1st} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 สามารถแบ่งสมการคำนวณได้ 2 กรณี

- กรณีที่ 1 : ความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 1 ($H_d \leq 34.50 \text{ m}$)

เมื่อความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 1 ทำให้ค่า t_2 มีค่าเป็นศูนย์ จะได้ $T_{1st} = t_1$ (สมการที่ 3.9) และ $v_1 = 0.1403t_1$ (สมการ 3.7) ดังนั้น

$$T_{1st} = \frac{V_{1st}}{0.1403} \quad (3.10)$$

- กรณีที่ 2 : ความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 2 ($H_d > 34.50 \text{ m}$)

เมื่อความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 2 ทำให้ค่า t_2 มีค่าไม่เป็นศูนย์ จะได้ $T_{1st} = t_1 + t_2$ (สมการที่ 3.9)

[หา t_1] ค่าของ t_1 มีค่าคงที่เท่ากับ 885.42 min (ดูรูปที่ 3.12)

$$\text{จะได้ } t_1 = 885.42 \text{ min} \quad (3.11)$$

[หา t_2] จาก $v_2 = 0.05t_2 + 79.953$ (สมการที่ 3.8)

$$\frac{dv_2}{dt_2} ; \quad \frac{dv_2}{dt_2} = 0.05 \text{ (m}^3/\text{min)} \quad (3.12)$$

จากสมการที่ 3.12 หมายความว่า

เมื่อปริมาณดินถูกขุดเพิ่มขึ้น $0.05 \text{ (m}^3)$ จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น 1 (min)

ดังนั้นเมื่อปริมาณดินถูกขุดเพิ่มขึ้น $v_2 \text{ (m}^3)$ จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น $t_2 = \frac{v_2 \times 1}{0.05} \text{ (min)}$

จากรูปที่ 3.12 ; $v_2 = V_{1st} - v_1$, $v_1 = 124.22 \text{ m}^3$

$$\text{จะได้ } t_2 = \frac{V_{1st} - 124.22}{0.05} \quad (3.13)$$

ดังนั้นจากค่า t_1 (สมการ 3.11) และ t_2 (สมการ 3.13) จะได้ T_{1st} ดังนี้

$$T_{1st} = 885.42 + \left[\frac{V_{1st} - 124.22}{0.05} \right] \quad (3.14)$$

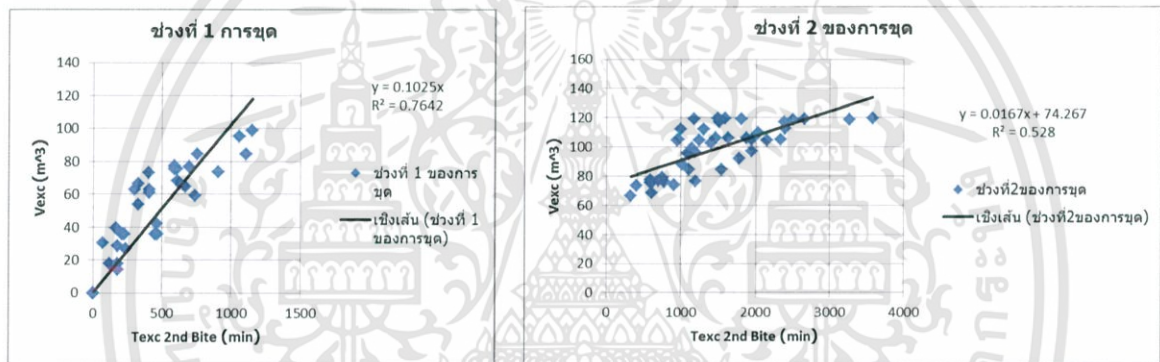
โดย $V_{1st} = 1.20 \times 3.00 \times H_d$ (ดูสมการที่ 3.4)

➤ 2nd Bite (วิธีที่ 2 วิเคราะห์แบบสลับแกน)

ในส่วน 2nd Bite (สำหรับแฉก L = 4.50 m เท่านั้น , L ที่ขุดใน 2nd Bite คือ 1.50 m) จะทำการ Plot ข้อมูลแบบแยก Zone 1 และ Zone 2 ด้วยการเซาะสตอปเอ็นด์ (Undercut Stop End) โดย Zone 1 คือข้อมูลก่อนทำการเซาะสตอปเอ็นด์ (Before Undercut) และ Zone 2 คือข้อมูลหลังทำการเซาะสตอปเอ็นด์ (After Undercut) หลักการและเหตุผลที่ทำให้การแบ่งแบบดังกล่าวเนื่องจาก ความชันกราฟของข้อมูลก่อนและหลังเซาะสตอปเอ็นด์ มีความต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (ดูรูปที่ 3.9) มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1. Plot กราฟแบบแยก Zone

แยก Zone 1 และ Zone 2 แล้วหาสมการ v_1 และ v_2 ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ



รูปที่ 3.13 ข้อมูล Zone 1 (v_1) , 2nd Bite

รูปที่ 3.14 ข้อมูล Zone 2 (v_2) , 2nd Bite

2. หาจุดตัดของสมการ v_1 และ v_2

จากรูปที่ 3.13 และ 3.14 ได้สมการ v_1 และ v_2 ดังนี้

$$v_1 = 0.1025t_1 \tag{3.15}$$

$$v_2 = 0.0167t_2 + 74.267 \tag{3.16}$$

สมการจะตัดกันเมื่อ $[v_1 = v_2]$ และ $[t_1 = t_2]$ จะได้

$$0.1025t_1 = 0.0167t_2 + 74.267 , [t_1 = t_2 = t]$$

$$0.0858t = 74.267$$

$$t = 865.58 \text{ min}$$

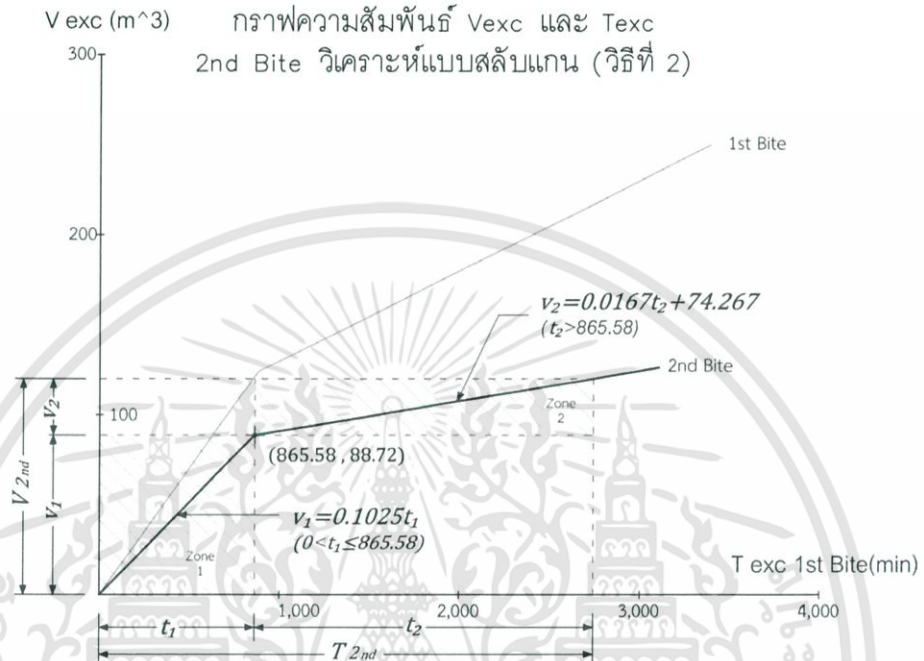
เมื่อแทน t ลงในสมการที่ 3.15 หรือ 3.16 จะได้

$$v = 88.72 \text{ m}^3 \text{ (เมื่อ } L_{\text{ขุด}} = 1.50 \text{ m จะได้ความลึกขณะตัดกัน } H_d = 49.30 \text{ m)}$$

ดังนั้นจุดตัดของสมการคือ $t = 865.58 \text{ min}$ และ $v = 88.72 \text{ m}^3$

3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ใหม่ (รวม Zone 1 และ Zone 2)

เมื่อทำการรวมเส้นกราฟ v_1 และ v_2 เข้าด้วยกัน จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{Exc} และ T_{Exc} ที่วิเคราะห์โดยวิธีที่ 2 ดังรูปที่ 3.15 โดยมีจุดตัด (X, Y) คือ (865.58, 88.72)



รูปที่ 3.15 กราฟความสัมพันธ์รวม Zone 1, 2 ของการวิเคราะห์แบบสลับแกน 2nd Bite เทียบกับ 1st Bite

4. หาเวลาในการขุดดิน 2nd Bite (T_{2nd})

จากรูปที่ 3.15 จะได้ว่า

$$T_{2nd} = t_1 + t_2 \quad (3.17)$$

T_{2nd} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 สามารถแบ่งสมการคำนวณได้ 2 กรณีเช่นเดียวกัน แต่ความลึกขุดเจาะที่แบ่งระหว่าง 2 Zone มีค่า $H_d = 49.30 \text{ m}$

- กรณีที่ 1 : ความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 1 ($H_d \leq 49.30 \text{ m}$)

เมื่อความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 1 ทำให้ค่า t_2 มีค่าเป็นศูนย์ จะได้ $T_{2nd} = t_1$ (สมการที่ 3.17) และ $v_1 = 0.1025t_1$ (สมการ 3.15) ดังนั้น

$$T_{2nd} = \frac{V_{2nd}}{0.1025} \quad (3.18)$$

- กรณีที่ 2 : ความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 2 ($H_d > 49.30 \text{ m}$)

เมื่อความลึกของ D-Wall อยู่ใน Zone 2 ทำให้ค่า t_2 มีค่าไม่เป็นศูนย์ จะได้ $T_{2nd} = t_1 + t_2$ (สมการที่ 3.17)

[หา t_1] ค่าของ t_1 มีค่าคงที่เท่ากับ 865.58 min (ดูรูปที่ 3.15)

$$\text{จะได้ } t_1 = 865.58 \text{ min} \quad (3.19)$$

[หา t_2] จาก $v_2 = 0.0167t_2 + 74.267$ (สมการที่ 3.16)

$$\frac{dv_2}{dt_2} ; \quad \frac{dv_2}{dt_2} = 0.0167 \text{ (m}^3/\text{min)} \quad (3.20)$$

จากสมการที่ 3.20 หมายความว่า

เมื่อปริมาณดินถูกขุดเพิ่มขึ้น $0.0167 \text{ (m}^3)$ จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น 1 (min)

ดังนั้นเมื่อปริมาณดินถูกขุดเพิ่มขึ้น $v_2 \text{ (m}^3)$ จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น $t_2 = \frac{v_2 \times 1}{0.0167} \text{ (min)}$

จากรูปที่ 3.15 ; $v_2 = V_{2nd} - v_1$, $v_1 = 88.72 \text{ m}^3$

$$\text{จะได้ } t_2 = \frac{V_{2nd} - 88.72}{0.0167} \quad (3.21)$$

ดังนั้นจากค่า t_1 (สมการ 3.19) และ t_2 (สมการ 3.21) จะได้ T_{2nd} ดังนี้

$$T_{2nd} = 865.58 + \left[\frac{V_{2nd} - 88.72}{0.0167} \right] \quad (3.22)$$

โดย $V_{2nd} = 1.20 \times 1.50 \times H_d$ (ดูสมการที่ 3.6)

➤ การใช้สมการ (T_{Exc})

การเลือกใช้สมการนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะแผงที่จะทำการคาดการณ์เวลาการก่อสร้าง โดยกำหนด $W = 1.20 \text{ m}$ ถ้าแผงนั้นมี $L = 3.00 \text{ m}$ แสดงว่าเจาะแค่ 1st Bite ดังนั้นสมที่ใช้คือ $T_{Exc} = T_{1st} + 0$ แต่ถ้าแผงนั้นมี $L = 4.50 \text{ m}$ แสดงว่าเจาะทั้ง 1st Bite และ 2nd Bite ดังนั้นสมการที่ใช้คือ $T_{Exc} = T_{1st} + T_{2nd}$

ในส่วนของ T_{1st} ให้เลือกใช้ระหว่างสมการที่ 3.10 (กรณีที่ 1) และ 3.14 (กรณีที่ 2) ส่วน T_{2nd} ให้เลือกใช้ระหว่างสมการที่ 3.18 (กรณีที่ 1) และ 3.22 (กรณีที่ 2) โดยเลือกให้ตรงเงื่อนไข

3.5.2 เวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตต่อหนึ่งแผง (T_{AF})

การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตต่อหนึ่งแผง (T_{AF}) ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยการ Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้เหมือนกับ T_{Exc} เนื่องจากเวลาที่จำกัดของการวิจัย และมีตัวแปรต้นหลายตัวแปรที่ส่งผลต่อ T_{AF} ไม่ว่าจะเป็นเวลาในการ Desand , การติดตั้งหรือถอน Stop end plates , การลงเหล็ก และการเทปูน เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือก *วิธีการประมาณค่าเวลาเฉลี่ย (Average) ที่ใช้ในช่วง T_{AF}* ซึ่งเป็นการประมาณค่าแบบหยาบ แต่เป็นวิธีที่เหมาะสม เพราะช่วงเวลาลงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตนั้น ใช้เวลาต่างกันไม่มากนัก โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ตามความลึกที่ขุดดังนี้ ชุดที่ 1 $H_d = 57.00\text{ m} - 59.00\text{ m}$ และชุดที่ 2 $H_d = 66.00\text{ m} - 68.00\text{ m}$ (ดูรายละเอียดข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ค.) จะได้ค่าเฉลี่ยของ (T_{AF}) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดินจนถึงเทคอนกรีตของข้อมูลชุดที่ 1 และชุดที่ 2

Depth(m)	No.	Pile No.	T_{AFi}	ΣT_{AFi}	ค่าเฉลี่ย T_{AFi}	
					H:min	Min
ชุดที่ 1 57.00 - 59.00	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	1	DW125	33:05	33:05	33:19	2000
	2	DW111	32:00	65:05		
	3	DW126	29:45	94:50		
	4	DW112	35:14	130:04		
	5	DW104	36:35	166:39		

สรุปค่า $T_{AF} = 1886\text{ min}$ เมื่อ $H_d = 57.00\text{ m} - 59.00\text{ m}$ และ $T_{AF} = 2000\text{ min}$ เมื่อ $H_d = 66.00\text{ m} - 68.00\text{ m}$ ในกรณีที่ Diaphragm Wall มีความลึกที่ออกแบบนอกเหนือจากทั้งสองช่วง จะไม่สามารถใช้ค่าประมาณในตาราง 3.1 ได้ ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในภายหลัง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่

เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ (Diaphragm Wall) ด้วยหัวเจาะเชิงกล (Mechanical Hang Grab) หรือ T_{DW} ขึ้นอยู่กับสองช่วงเวลาคือ (1) เวลาที่ใช้เวลาที่ใช้ในการขุดเจาะดิน (Excavation) ต่อหนึ่งแผงหรือ T_{Exc} และ (2) เวลาที่ใช้หลังจากเวลาที่ใช้ในช่วงหลังจากขุดดิน (After Excavation) จนถึงเทคอนกรีตเสร็จต่อหนึ่งแผงหรือ T_{AF} โดยแต่ละช่วงเวลาก็มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไป ตารางที่ 4.1 แสดงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องและลักษณะการส่งผลต่อ T_{Exc} และ T_{AF} ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะการส่งผลต่อ T_{Exc} และ T_{AF} ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงนั้น ๆ

ช่วงเวลา	ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	ลักษณะการส่งผล
T_{Exc}	1. ปริมาณดินที่ต้องขุด (V_{Exc})	1.1 เวลาที่ใช้ในการขุดดินจะแปรผันตามปริมาณดินที่ต้องขุด ($W \times L \times H_d$) กล่าวคือแผงไดอะแฟรมวอลล์ที่มี V_{Exc} มาก จะใช้เวลาขุด T_{Exc} มากกว่าแผงไดอะแฟรมวอลล์ที่มี V_{Exc} น้อย
	2. ลักษณะของชั้นดินที่ทำการขุดเจาะ	2.1 การขุดเจาะในชั้นดินทราย จะขุดยากกว่าการขุดเจาะในชั้นดินเหนียว จึงทำให้การขุดเจาะในชั้นดินทรายใช้เวลาขุด T_{Exc} มากกว่าการขุดเจาะในชั้นดินเหนียว
T_{AF}	3. การตีแซนด์ (Desanding)	3.1 เวลาที่ใช้ในการตีแซนด์ หรือ T_D โดยทั่วไปจะแปรผันตามปริมาณเบนโทไนท์และปริมาณทรายในหลุมเจาะที่ต้องเปลี่ยนถ่ายและทำความสะอาดจนกว่าคุณสมบัติจะได้ตามรายการกำหนด
	4. การถอนสตอปแอนด์ (Uninstall Stop End)	4.1 แผงที่มีปริมาณปูนที่แข็งตัวและเกาะข้างสตอปแอนด์มาก จะส่งผลให้การเขาสตอปแอนด์ด้วย Chisel ยากและใช้เวลา มากกว่าแผงที่ปูนเกาะน้อยกว่า
	5. การลงเหล็กเสริม (Reinforcement)	5.1 ลักษณะความซับซ้อนของเหล็กเสริมจะมีผลต่อการลงเหล็กเสริมมาก เหล็กเสริมที่มีความซับซ้อนมากจะใช้เวลาลงมากกว่าเหล็กเสริมที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า 5.2 ความดิ่งของหลุมเจาะมีผลต่อการลงเหล็กเช่นกัน ถ้าหากว่าหลุมเจาะมีการเอียง อาจจะทำให้ลงเหล็กยากและเกิดปัญหาระหว่างลงเหล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	6. การเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie Method)	6.1 เวลาที่ใช้ในการเทคอนกรีตแปรผันตามปริมาณของคอนกรีตที่ต้องเท 6.2 ถ้าเทคอนกรีตด้วยรถ สภาพการจราจรเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเทคอนกรีต
--	---------------------------------------	--

4.2 สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างที่ไม่ล่าช้าสำหรับกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล

4.2.1 สรุปการใช้สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้าง T_{DW}

การใช้สมการให้เลือกใช้ค่า T_{Exc} และ T_{AF} ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 4.2 โดย $T_{DW} = T_{Exc} + T_{AF}$ (ดูสมการ 3.1)

โดยข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและรวบรวมนั้น เป็นข้อมูลที่ได้จากโครงการโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สถานีราชมิ่งคลา (Orange Line Project Rajamangala Station , OR18) เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามสมการที่ได้จากการวิจัยนั้น สามารถนำไปใช้ในโครงการอื่นได้ถ้าหากโครงการนั้นมีความคล้ายคลึงกับโครงการข้างต้น โดยมีเงื่อนไขเบื้องต้นของโครงการดังนี้

1. ทำการก่อสร้างและขุดเจาะในชั้นดินกรุงเทพ
2. พื้นที่ก่อสร้างไม่มีสิ่งกีดขวางทางแนวตั้ง กล่าวคือไม่มีจำกัดทางความสูงเช่นไม่มีสะพานทางด่วน เป็นอุปสรรคในการก่อสร้าง เป็นต้น
3. ใช้หัวเจาะเชิงกลแบบ Mechanical Hang Grab ในการขุดเจาะเท่านั้น
4. ขนาดของหัวเจาะต้องมีขนาด [กว้าง x ยาว] คือ [1.20 x 3.00]เมตร กล่าวคือความกว้างของหลุมเจาะต้องมีขนาด 1.20 เมตรเท่านั้น
5. ใช้เบนโทไนท์เป็นสารพยุงหลุมเจาะ

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปการใช้สมการคาดการณ์เวลา T_{Exc} และ T_{AF} ตามเงื่อนไข

ช่วงเวลา	วิธีการ	ข้อจำกัด W, L, H_d			สมการประมาณค่า T_{Exc}, T_{AF} (Min)
		W (m)	L (m)	H_d (m)	
ช่วงชุด T_{Exc}	วิธีที่ 1 วิเคราะห์แบบปกติ	1.20	3.00	-	$T_{Exc} = 0.0322V_{1st}^2 + 4.8302V_{1st}$
			4.50	-	$T_{Exc} = (0.0322V_{1st}^2 + 4.8302V_{1st}) + (0.173V_{2nd}^2 - 3.3429V_{2nd} + 60.007)$
	วิธีที่ 2 วิเคราะห์แบบสลับแกน	1.20	3.00	$H_d \leq 34.50$	$T_{Exc} = \frac{V_{1st}}{0.1403}$
				$H_d > 34.50$	$T_{Exc} = 885.42 + \left[\frac{V_{1st} - 124.22}{0.05} \right]$
				$H_d \leq 34.50$	$T_{Exc} = \frac{V_{1st}}{0.1403} + \frac{V_{2nd}}{0.1025}$
			4.50	$34.50 < H_d \leq 49.30$	$T_{Exc} = 885.42 + \left[\frac{V_{1st} - 124.22}{0.05} \right] + \left[\frac{V_{2nd}}{0.1025} \right]$
			$H_d > 49.30$	$T_{Exc} = 1751 + \left[\frac{V_{1st} - 124.22}{0.05} \right] + \left[\frac{V_{2nd} - 88.72}{0.0167} \right]$	
ช่วงหลังชุด T_{AF}	ค่าเฉลี่ย	1.20	3.00, 4.50	$T_{AF} = 1886$ min	
				$66.00 \leq H_d \leq 68.00$	$T_{AF} = 2000$ min

เมื่อแผนผังอาคารแฟรมวอลล์ที่ต้องการจะคาดการณ์นั้น ตรงกับเงื่อนไขทั้งห้าข้อแล้ว ก็สามารถทำตามตาราง 4.2 ได้ โดย T_{Exc} ให้เลือกใช้ค่าที่ต่ำที่สุดจาก 2 วิธี กล่าวคือต้องหาทั้งวิธีการวิเคราะห์แบบปกติ และวิธีการวิเคราะห์แบบสลับแกน แล้วเลือกใช้ค่าที่ต่ำที่สุดจากสองวิธีดังกล่าว (ดูตัวอย่างที่ 4.1)

ตัวอย่างที่ 4.1 แผนผัง DW121 ของโครงการ OR18 มี $W=1.20$ m , $L=4.50$ m , $H=58.50$ m จงคาดการณ์ระยะเวลาในการก่อสร้างผนัง D-Wall นี้ ตั้งแต่ขุดดินไปจนถึงเทคอนกรีตเสร็จ (หน่วยชั่วโมง) และเปรียบเทียบกับเวลาการก่อสร้างจริงว่าล่าช้าหรือไม่ ? (เวลาการก่อสร้างจริงของผนัง DW121 ใช้เวลา 89 ชั่วโมง 30 นาที)

วิธีทำ

- ระยะเวลาในการก่อสร้างผนัง DW121 ตั้งแต่ขุดดินไปจนถึงเทคอนกรีตเสร็จ คือ T_{DW} โดย $T_{DW} = T_{Exc} + T_{AF}$

[หา T_{Exc}] วิธีที่ 1 โดย $V_{1st} = 1.20 \times 3.00 \times 58.50 = 210.6 \text{ m}^3$

$$V_{2nd} = 1.20 \times 1.50 \times 58.50 = 105.3 \text{ m}^3$$

จาก $T_{Exc} = (0.0322V_{1st}^2 + 4.8302V_{1st}) + (0.173V_{2nd}^2 - 3.3429V_{2nd} + 60.007)$

จะได้ $T_{Exc} = 4071 \text{ min}$

[หา T_{Exc}] วิธีที่ 2 โดย $H_d > 49.30 \text{ m}$

ดังนั้น $T_{Exc} = 1751 + \left[\frac{V_{1st} - 124.22}{0.05} \right] + \left[\frac{V_{2nd} - 88.72}{0.0167} \right]$

จะได้ $T_{Exc} = 4471 \text{ min}$

เลือกใช้ค่าที่น้อยที่สุดของทั้งสองวิธี ดังนั้น $T_{Exc} = 4071 \text{ min}$

[หา T_{AF}] โดยข้อมูลอยู่ในช่วงที่ 1 ได้ $T_{AF} = 1886 \text{ min}$

[หา T_{DW}] โดย $T_{DW} = 4071 + 1886 = 5957 \text{ min}$

$T_{DW} = 5957 \text{ min}$ ประมาณค่าเป็นชั่วโมงได้ $T_{DW} = 99$ ชั่วโมง 17 นาที ANS

- จากข้อมูลในการก่อสร้างจริงผนังนี้ใช้เวลาไปทั้งหมด 89 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ได้ประมาณค่าไว้

จึงคาดการณ์ได้ว่าผนังก่อสร้างไม่ล่าช้า ใช้เวลาปกติ ANS

ค่าเวลาคาดการณ์และค่าเวลาการก่อสร้างจริงมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง = 10.36 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าจากสมการเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ก่อสร้างจริง

เมื่อนำแผนก Diaphragm Wall ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยเล่มนี้ ได้แก่ DW123 , 109 , 103 และ 121 แต่เป็นแผนกที่มีลักษณะเบื้องต้นตรงกับเงื่อนไขงานวิจัย มาคาดการณ์เวลาการก่อสร้างได้อาแพรมวอลล์ต่อหนึ่งแผนกแล้ว พบว่าเวลาที่คาดการณ์จากสมการและเวลาที่ใช้ก่อสร้างจริง มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังตารางที่ 4.3

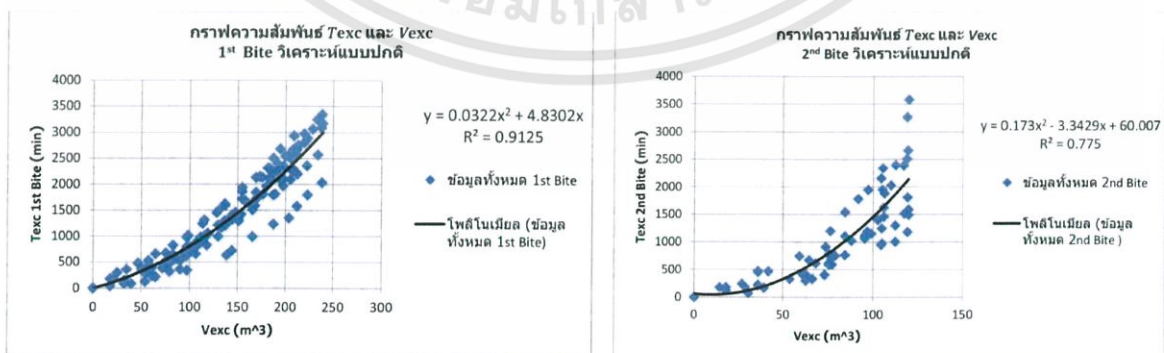
ตารางที่ 4.3 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาคาดการณ์ที่ได้จากสมการและเวลาที่ใช้ก่อสร้างจริง

แผนก DW (OR18)	ลักษณะ		T_{Exc} (min)		T_{AF} (min)	เวลาที่ คาดการณ์ (Hr:min)	เวลาที่ใช้ ก่อสร้างจริง (Hr:min)	% ความ แตกต่าง
	L(m)	H_d (m)	วิธีที่ให้ ค่าต่ำสุด	เวลา				
DW123	3.00	58.00	วิธีที่1	2412.38	1886	71:38	71:15	0.53%
DW109	3.00	58.00	วิธีที่1	2412.38	1886	71:38	83:20	15.10%
DW103	3.00	58.00	วิธีที่1	2412.38	1886	71:38	83:55	15.79%
DW121	4.50	58.70	วิธีที่1	4096.68	1886	99:43	89:30	10.36%

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่ขุดได้กับเวลาในการขุดกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล

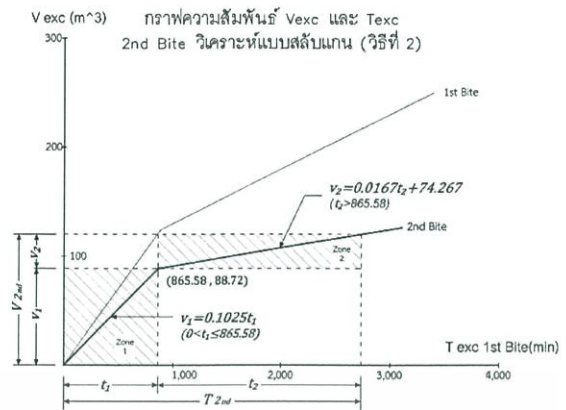
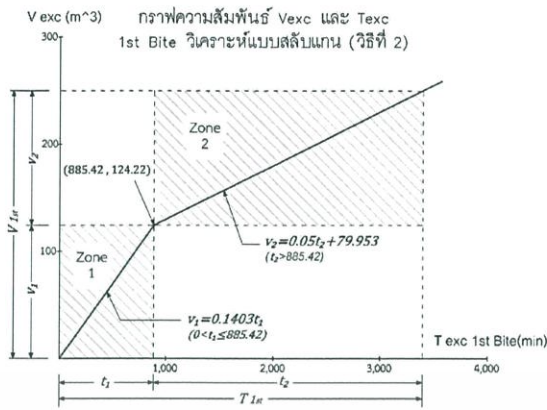
4.3.1 ความเข้าใจเกี่ยวกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc}

วัตถุประสงค์ที่สำคัญสำหรับงานวิจัยเล่มนี้อีกสิ่งหนึ่งคือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่ขุดได้กับเวลาในการขุดกำแพงกันดินชนิดขุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล จากบทที่ 3.5.1 สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ได้สองวิธี คือ (1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบปกติ และ (2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสลับแกน ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของการวิเคราะห์แบบปกติ (วิธีที่ 1)

1st Bite (รูปซ้าย) และ 2nd Bite (รูปขวา)



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของการวิเคราะห์แบบสลับแกน (วิธีที่ 2) 1st Bite (รูปซ้าย) และ 2nd Bite (รูปขวา)

โดยสามารถทำความเข้าใจกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวจากข้อสรุป 2 ข้อดังต่อไปนี้

1. Slope ของกราฟความสัมพันธ์บอกถึงความเร็วในการขุดดิน

การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 มี Slope ของกราฟความสัมพันธ์เป็นหน่วย min/m^3 จากรูปที่ 4.1 พบว่า Slope ของกราฟจะมากขึ้นตามปริมาณดินที่ขุด กล่าวคือการขุดจะช้าลง (ใช้เวลามากขึ้น) เมื่อเทียบกับช่วงแรกของการขุด เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 ซึ่งมี Slope ของกราฟความสัมพันธ์เป็นหน่วย m^3/min จากรูปที่ 4.2 พบว่า Slope ใน Zone 1 มากกว่า Slope ใน Zone 2 กล่าวคือการขุดดินในช่วงแรก (Zone 1) จะขุดเร็วกว่าในช่วงหลัง (Zone 2) ซึ่งทั้ง 2 วิธีดังกล่าวมีผลสรุปที่สอดคล้องกัน

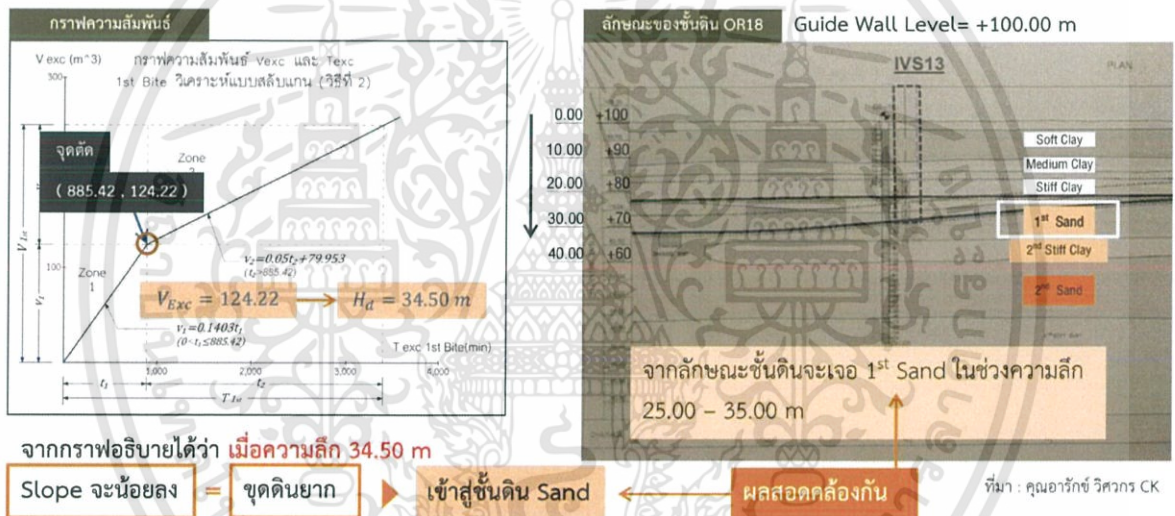
2. เวลาที่ขุดดินใน 1st Bite (T_{1st}) จะมากกว่าเวลาที่ขุดดินใน 2nd Bite (T_{2nd})

ข้อสรุปนี้เป็นจริงกับการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเทียบกราฟ T_{1st} และ T_{2nd} ของทั้ง 2 วิธีแล้ว เวลาที่ใช้ขุดดินใน 1st Bite (T_{1st}) จะมากกว่าเวลาที่ขุดดินใน 2nd Bite (T_{2nd}) เนื่องจากการขุดใน 1st Bite จะต้องขุดดินยาว 3.00 m ซึ่งขุดเต็มความสามารถของหัวเจาะขนาด 1.20×3.00 m แต่การขุดใน 2nd Bite จะเหลือให้ขุดแค่ 1.50 m เท่านั้น (สำหรับแผง 4.50 m) ทำให้ใช้เวลาน้อยกว่าและขุดเร็วกว่า

4.3.2 พฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์เมื่อเทียบกับชั้นดินจริงของโครงการ OR18

เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ของหลุม 1st Bite ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2 มาวิเคราะห์ (ดูรูปที่ 4.3) พบว่าจุดเปลี่ยนระหว่าง Zone 1 ไป Zone 2 คือจุด (885.42 , 124.22) ซึ่ง $V_{Exc} = 124.22 m^3$ เมื่อแปลงเป็นความลึกแล้วจะได้ $H_d = 34.50 m$ กล่าวคือเมื่อขุดดินถึงความลึก 34.50 m จะขุดดินยากขึ้น และคาดการณ์ได้ว่าเริ่มขุดถึงชั้นดินทรายชั้นแรก (1st Sand) แล้ว

เมื่อนำข้อมูลลักษณะของชั้นดินจริงของสถานีราชวังมณฑล OR18 มาเปรียบเทียบกับว่า ชั้นดินทรายชั้นแรก (1st Sand) อยู่ในช่วงความลึก 25.00 – 35.00 m ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว จากหัวข้อนี้จึงสรุปได้ว่าเมื่อเจาะถึงชั้นดินทรายแล้ว จะขุดดินยากขึ้นและใช้เวลาในการขุดมากขึ้น



รูปที่ 4.3 พฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์เมื่อเทียบกับชั้นดินจริงของโครงการ OR18

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเล่มนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือ สามารถคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล หรือ T_{DW} ได้ และเข้าใจพฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_{Exc} และ V_{Exc} ได้ โดยแผง Diaphragm Wall ที่ต้องการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างนั้น ต้องตรงกับเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการที่ได้กำหนดไว้ในงานวิจัยเท่านั้น สำหรับวิธีการใช้สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างนั้นสามารถดูได้ในบทที่ 4.2

แผง Diaphragm Wall ที่มีความลึกต่างกันก็ใช้เวลาการก่อสร้างที่แตกต่างกัน การทราบเวลาการก่อสร้าง Diaphragm Wall จึงช่วยให้ผู้รับเหมาสามารถวางแผนงานได้อย่างถูกต้องว่างานก่อสร้างควรก่อสร้างเสร็จเมื่อใด และการทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาและความล่าช้าของการก่อสร้าง (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 4.1) จะทำให้ทราบปัญหาที่ทำให้ล่าช้า และสามารถแก้ไขในการก่อสร้างแผงถัดไปได้ทันท่วงที อย่างไรก็ตามการก่อสร้างตามขั้นตอนที่ถูกต้อง และควบคุมคุณภาพการก่อสร้างโดยละเอียด เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่ทำให้การก่อสร้างไม่ล่าช้า ใช้เวลาไม่มากจนเกินไป และลดการเกิดปัญหาในการก่อสร้างได้

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1. การใช้สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ แผงที่นำไปใช้ต้องมีลักษณะการก่อสร้างตรงกับเงื่อนไข / ขอบเขตของงานวิจัยเท่านั้น
2. ค่าประมาณที่ได้จากสมการ T_{Exc} และ T_{AF} เป็นเพียงค่าประมาณไม่ใช่ค่าแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามถ้าในการก่อสร้างจริงใช้เวลาก่อสร้างมากกว่าที่ประมาณไว้ สามารถคาดการณ์ได้ว่าการก่อสร้างนั้นล่าช้า ต้องหาปัจจัยที่ทำให้ล่าช้าและพยายามไม่ให้เกิดขึ้นอีกในแผงถัดไป

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทำให้ข้อจำกัดของสมการลดลง เช่น แผงที่มี 2 Bite แต่มี L ไม่เท่ากับ 4.50 สามารถคาดการณ์เวลา T_{Exc} ได้
2. ควรหาค่า T_{AF} โดยใช้วิธีที่ละเอียดกว่าการหาค่าเฉลี่ย และคำนึงถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากขึ้น
3. ควรใช้กลุ่มตัวอย่างที่ตรงกับจุดประสงค์งานวิจัยที่หลากหลายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กมล สิงห์โตแก้ว, สุเมธ ประเวศวรารัตน์, ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ และธยานันท์ บุญยรักษ์. (2549). *ข้อที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้างกำแพงกั้นดินชนิดขุด-หล่อในที่ในงานก่อสร้างใต้ดิน*. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11, ภูเก็ต. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์

ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์. (2551). *เทคนิคงานก่อสร้างอุโมงค์ลอดทางแยก*. เอกสารประกอบการอบรมสำนักงานโยธา. กรุงเทพมหานคร

ณรงค์ ทศนิพนธ์, เต้จ รุจิขจรเดช และกมล สิงห์โตแก้ว. (2542). *กำแพงกั้นดินชนิดขุดและหล่อในที่ชั้นดินกรุงเทพ : ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น และการป้องกัน*. การประชุมใหญ่ทางวิศวกรรมประจำปี 2542. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์. กรุงเทพมหานคร

ธนาตล คงสมบูรณ์. (2548). *เอกสารประกอบการสอนวิชา วศย.334 วิศวกรรมฐานราก (ปรับปรุงครั้งที่ 2)*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร

พรพจน์ ดันเส็ง. (2554). *วิศวกรรมฐานราก*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. กรุงเทพมหานคร

มณฑิเยร์ กังศศิเทียม. (2533). *กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม*. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระราชูปถัมภ์

วรรณิ สุขศาสตร์. (2539). *วิศวกรรมฐานราก*. สำนักพิมพ์โฟร์เพลส. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยรังสิต. กรุงเทพมหานคร

CKST JV and SEAFCO Company Limited. (2561). *Diaphragm Wall Concrete Delivery and Casting Record*, MRT Orange Line (East Section) Project. Bangkok.

Fuchberger. M. (1994). *Improvement in Diaphragm Wall Execution-Possible Defects and Their Control*, XIII ICSMFE. New Delhi, India, Volume 5 pp. 315-316

Gaba, R. A., B. Simpson, et al. (2003). *Embedded Retaining Walls - Guidance for Economic Design*. London, CIRIA.

Xanthakos. P. P. (1994). *Slurry Walls as Structural Systems*. McGraw-Hill INC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ข้อมูลทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์ T_{Exc} ด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล Zone 1 และ Zone 2 ทั้งหมดของ 1st Bite

ทั้งหมด	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	ช่วงที่ 1	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	ช่วงที่ 2	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
110	0	0	110	0	0			
	90	32.4		90	32.4			
	360	90		360	90			
-	660	106.2	-	660	106.2			
	825	117.72					825	117.72
	995	129.6					995	129.6
	1295	151.2					1295	151.2
	1510	165.6					1510	165.6
	1795	186.84					1795	186.84
	2095	198					2095	198
	2275	206.28					2275	206.28
107	0	0	107	0	0			
	150	32.4		150	32.4			
-	625	97.2	-	625	97.2			
	1675	158.4					1675	158.4
	2125	183.6					2125	183.6
	2665	207.72					2665	207.72
102	0	0	102	0	0			
	130	54		130	54			
	220	64.8		220	64.8			
-	340	97.2	-	340	97.2			
	630	138.6					630	138.6
	720	144					720	144
	990	165.6					990	165.6
	1230	187.2					1230	187.2
	1350	203.76					1350	203.76
120	0	0	120	0	0			
	180	21.6		180	21.6			
	360	50.4		360	50.4			
	435	57.6		435	57.6			
	675	75.6		675	75.6			
-	975	97.2						
	1240	113.4					1240	113.4
	1450	128.16					1450	128.16
	1590	136.8					1590	136.8
	1860	154.8					1860	154.8
	2130	169.2					2130	169.2
	2310	181.44					2310	181.44
	2500	187.2					2500	187.2
	2680	194.4					2680	194.4
	2935	208.8					2935	208.8
125	0	0	125	0	0			
	90	39.6		90	39.6			
	390	61.2		390	61.2			
	615	83.16		615	83.16			
-	795	97.2	-	795	97.2			
	1055	118.8					1055	118.8
	1295	136.8					1295	136.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1455	147.6					1455	147.6
	1665	158.4					1665	158.4
	1845	169.2					1845	169.2
	2105	183.6					2105	183.6
	2255	190.8					2255	190.8
	2495	205.2					2495	205.2
	2675	212.4					2675	212.4
	2975	219.6					2975	219.6
	3090	237.6					3090	237.6
111	0	0	111	0	0			
	180	21.6		180	21.6			
	385	72		385	72			
-	565	86.4	-	565	86.4			
	865	106.2					865	106.2
	975	115.2					975	115.2
	1165	133.2					1165	133.2
	1315	144					1315	144
	1585	167.76					1585	167.76
	1810	189					1810	189
	1970	197.28					1970	197.28
	2090	205.2					2090	205.2
	2200	212.4					2200	212.4
	2360	222.48					2360	222.48
	2570	234					2570	234
126	0	0	126	0	0			
	240	61.2		240	61.2			
	320	79.2		320	79.2			
-	530	90	-	530	90			
	785	100.8					785	100.8
	905	108					905	108
	980	111.6					980	111.6
	1190	133.2					1190	133.2
	1400	144					1400	144
	1715	154.8					1715	154.8
	2135	175.68					2135	175.68
	2300	183.6					2300	183.6
	2545	199.8					2545	199.8
	2605	205.2					2605	205.2
	2755	213.12					2755	213.12
	2885	223.2					2885	223.2
	3170	239.04					3170	239.04
112	0	0	112	0	0			
	180	18		180	18			
	480	46.8		480	46.8			
	660	64.8		660	64.8			
	820	82.8		820	82.8			
-	1010	98.28						
	1310	115.2					1310	115.2
	1490	129.96					1490	129.96
	1620	136.8					1620	136.8
	1940	154.8					1940	154.8
	2150	172.8					2150	172.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	2400	191.52					2400	191.52
	2580	210.6					2580	210.6
	2800	219.6					2800	219.6
	2845	221.4					2845	221.4
	3065	228.6					3065	228.6
	3245	233.28					3245	233.28
	3345	238.32					3345	238.32
113	0	0	113	0	0			
	150	32.4		150	32.4			
	330	57.6		330	57.6			
-	520	75.6	-	520	75.6			
	820	108					820	108
	1030	118.8					1030	118.8
	1210	129.6					1210	129.6
	1420	147.6					1420	147.6
	1720	169.2					1720	169.2
	1960	180					1960	180
	2140	184.32					2140	184.32
	2350	198					2350	198
	2510	209.16					2510	209.16
104	0	0	104	0	0			
	300	25.2		300	25.2			
	360	34.92		360	34.92			
	530	57.6		530	57.6			
	650	82.8		650	82.8			
-	775	97.2	-	775	97.2			
	1015	115.92					1015	115.92
	1295	140.4					1295	140.4
	1425	153.72					1425	153.72
	1575	212.04					1575	212.04
	1795	223.2					1795	223.2
	2035	238.32					2035	238.32
128	0	0	128	0	0			
	45	18		45	18			
	285	54		285	54			
	470	79.2		470	79.2			
-	690	93.6	-	690	93.6			
	930	111.6					930	111.6
	1200	136.8					1200	136.8
	1350	151.2					1350	151.2
	1570	165.6					1570	165.6
	1810	176.4					1810	176.4
	2080	194.4					2080	194.4
	2260	208.44					2260	208.44
	2275	209.16					2275	209.16

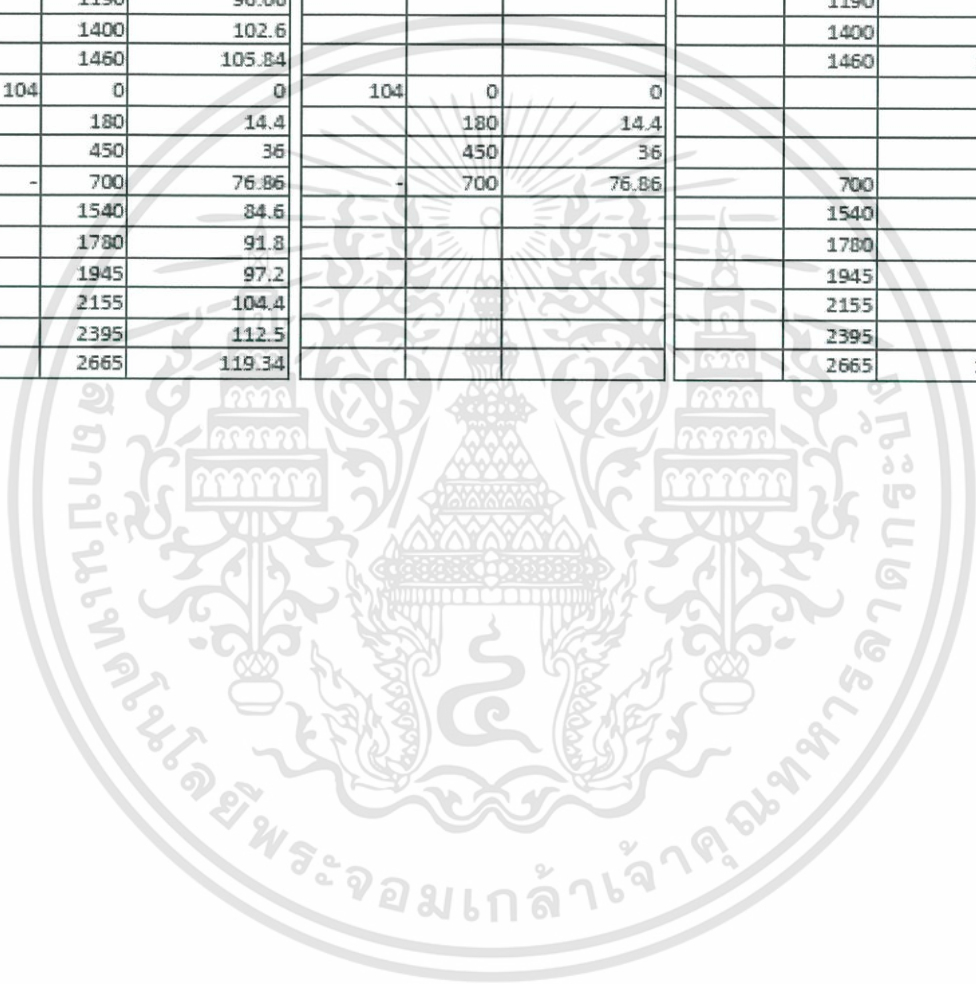
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล Zone 1 และ Zone 2 ทั้งหมดของ 2st Bite

ทั้งหมด	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	ช่วงที่ 1	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	ช่วงที่ 2	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
110	0	0	110	0	0			
	180	28.8		180	28.8			
	225	36		225	36			
-	405	73.26	-	405	73.26		405	73.26
	945	104.4					945	104.4
	970	104.94					970	104.94
107	0	0	107	0	0			
	670	64.8		670	64.8			
-	1105	84.6	-	1105	84.6		1105	84.6
	1625	105.84					1625	105.84
120	0	0	120	0	0			
	170	39.6		170	39.6			
	410	63		410	63			
-	590	77.4	-	590	77.4		590	77.4
	1085	95.4					1085	95.4
	1245	104.76					1245	104.76
125	0	0	125	0	0			
	300	63		300	63			
	760	84.6		760	84.6			
	1060	95.4		1060	95.4			
-	1150	99	-	1150	99		1150	99
	1880	106.2					1880	106.2
	2030	109.8					2030	109.8
	2390	117					2390	117
	2510	118.8					2510	118.8
	3580	119.7					3580	119.7
111	0	0	111	0	0			
	180	18		180	18			
	470	36		470	36			
	740	59.4		740	59.4			
-	910	73.8	-	910	73.8		910	73.8
	1515	117.36					1515	117.36
	3265	118.8					3265	118.8
106	0	0	106	0	0			
	70	30.6		70	30.6			
	330	54		330	54			
-	615	68.4	-	615	68.4		615	68.4
	1200	76.5					1200	76.5
	1950	105.12					1950	105.12
	2340	105.3					2340	105.3
126	0	0	126	0	0			
	240	27		240	27			
	465	41.94		465	41.94			
-	610	75.6	-	610	75.6		610	75.6
	1120	95.4					1120	95.4
	1300	112.32					1300	112.32
	1490	119.7					1490	119.7
	1590	119.7					1590	119.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

112	0	0	112	0	0			
	120	18		120	18			
	210	36		210	36			
-	330	66.6	-	330	66.6		330	66.6
	780	75.96					780	75.96
	1000	112.32					1000	112.32
	1180	119.16					1180	119.16
	1810	119.16					1810	119.16
113	0	0	113	0	0			
	170	39.24		170	39.24			
	410	61.2		410	61.2			
-	590	75.6	-	590	75.6		590	75.6
	750	79.2					750	79.2
	1020	88.2					1020	88.2
	1190	96.66					1190	96.66
	1400	102.6					1400	102.6
	1460	105.84					1460	105.84
104	0	0	104	0	0			
	180	14.4		180	14.4			
	450	36		450	36			
-	700	76.86	-	700	76.86		700	76.86
	1540	84.6					1540	84.6
	1780	91.8					1780	91.8
	1945	97.2					1945	97.2
	2155	104.4					2155	104.4
	2395	112.5					2395	112.5
	2665	119.34					2665	119.34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลเวลาปฏิบัติงาน (Working Time) และกราฟความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างแต่ละแผง



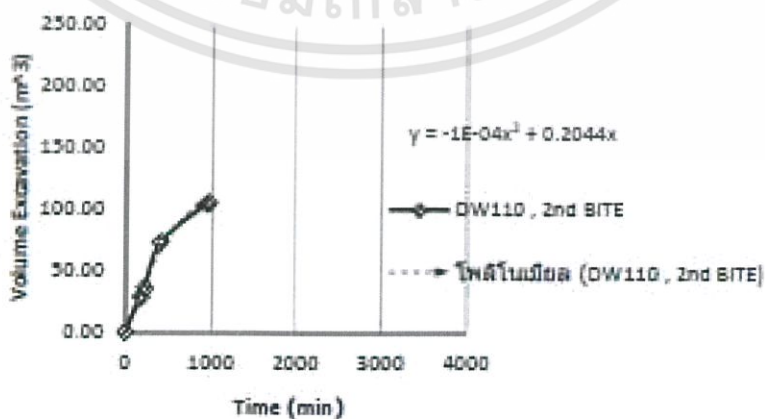
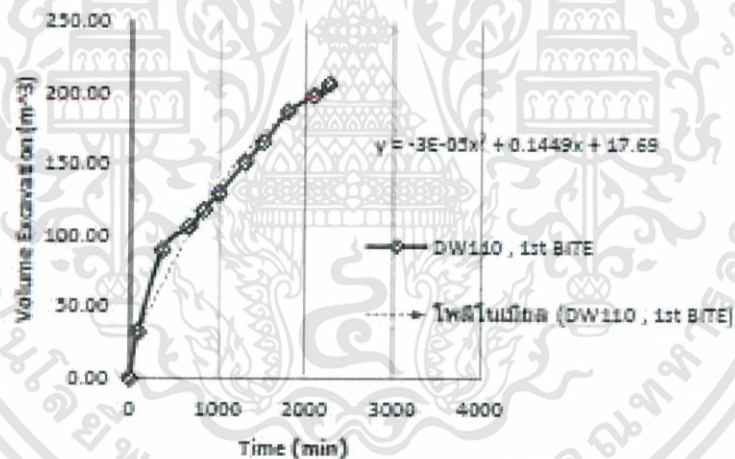
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	DW110	Crane No.	RIG.2
Thick	1.200 m		RIG.3
Length	4.500 m	Note	มีการหยุดทำงานนานในบางช่วง
Depth	58.30 m		เช่น ระหว่างรลปะะ Stop end

TABLE

NO.	DW110 , 1st BITE			DW110 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	9.00	90	32.40	16.00	180	28.80
3	25.00	360	90.00	20.00	225	36.00
4	29.50	660	106.20	40.70	405	73.26
5	32.70	825	117.72	58.00	945	104.40
6	36.00	995	129.60	58.30	970	104.94
7	42.00	1295	151.20			
8	46.00	1510	165.60			
9	51.90	1795	186.84			
10	55.00	2095	198.00			
11	57.30	2275	206.28			

GRAPH (Q-T)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Base (110)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW110 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
4/8/18 10:30	4/8/18 12:00	9.00	1:30	1:30:00	90	90	32.40
4/8/18 13:00	4/8/18 17:30	25.00	4:30	6:00:00	270	360	90.00
4/8/18 19:00	5/8/18 0:00	29.50	5:00	11:00:00	300	660	106.20
5/8/18 1:00	5/8/18 3:45	32.70	2:45	13:45:00	165	825	117.72
5/8/18 3:10	5/8/18 12:00	36.00	2:50	16:35:00	170	995	129.60
5/8/18 13:00	5/8/18 18:00	42.00	5:00	21:35:00	300	1295	151.20
6/8/18 8:25	6/8/18 12:00	46.00	3:35	25:10:00	215	1510	165.60
6/8/18 13:00	6/8/18 17:45	51.90	4:45	29:55:00	285	1795	186.64
6/8/18 19:00	7/8/18 0:00	55.00	5:00	34:55:00	300	2095	198.00
7/8/18 1:00	7/8/18 4:00	57.30	3:00	37:55:00	180	2275	206.28

DATA DW110 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00			0	0	0.00
7/8/18 9:00	7/8/18 12:00	16.00	3:00	40:55:00	180	180	28.80
7/8/18 13:00	7/8/18 13:45	20.00	0:45	41:40:00	45	225	36.00
8/8/18 15:00	8/8/18 18:00	40.70	3:00	44:40:00	180	405	73.26
Start Undercut Stop End							
9/8/18 15:00	9/8/18 18:00		3:00	47:40:00	180	585	
10/8/18 9:30	10/8/18 10:30		1:00	48:40:00	60	645	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
10/8/18 13:00	10/8/18 18:00	58.00	5:00	53:40:00	300	945	104.40
10/8/18 20:45	10/8/18 21:10	58.30	0:25	54:05:00	25	970	104.94

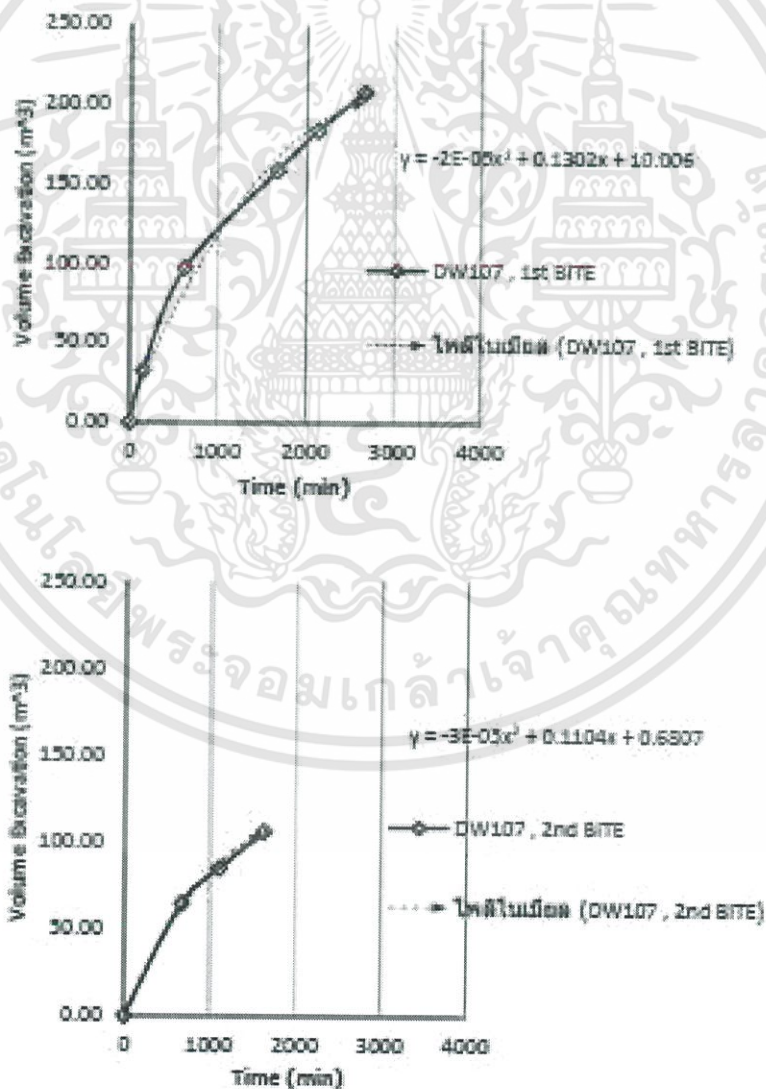
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. DW107 Crane No. RIG.2
 Thick 1.200 m
 Length 4.500 m Note ข้อมูลขนาดความตอเนื่อง
 Depth 58.80 m

TABLE

NO.	DW107 , 1st BITE			DW107 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	9.00	150	32.40	36.00	670	64.80
3	27.00	625	97.20	47.00	1105	84.60
4	44.00	1675	158.40	58.80	1625	105.84
5	51.00	2125	183.60			
6	57.70	2665	207.72			

GRAPH (Q-T)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 82 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Base (107)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW107 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
7/8/18 15:30	7/8/18 18:00	0.00	2:30	2:30:00	150	150	32.40
8/8/18 9:05	8/8/18 12:00	-	2:55	5:25:00	175	325	-
8/8/18 13:00	8/8/18 18:00	27.00	5:00	10:25:00	300	625	97.20
10/8/18 8:30	10/8/18 12:00	-	3:30	13:55:00	210	835	-
10/8/18 15:00	10/8/18 18:00	-	5:00	18:55:00	300	1135	-
10/8/18 19:00	11/8/18 4:00	44.00	9:00	27:55:00	540	1675	158.40
11/8/18 8:00	11/8/18 12:00	-	3:00	30:55:00	180	1855	-
11/8/18 13:30	11/8/18 18:00	51.00	4:30	35:25:00	270	2125	183.60
11/8/18 19:00	12/8/18 4:00	57.70	9:00	44:25:00	540	2665	207.72

DATA DW107 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
12/8/18 10:00	12/8/18 11:30	-	1:30	45:55:00	90	90	-
12/8/18 13:30	12/8/18 18:00	-	4:30	50:25:00	270	360	-
12/8/18 21:00	13/8/18 0:00	-	3:00	53:25:00	180	540	-
13/8/18 1:50	13/8/18 4:00	36.00	2:10	55:35:00	130	670	64.80
13/8/18 8:00	13/8/18 12:00	-	4:00	59:35:00	240	910	-
13/8/18 13:30	13/8/18 14:30	-	1:00	60:35:00	60	970	-
13/8/18 15:00	13/8/18 17:15	47.00	2:15	62:50:00	135	1105	84.60
Start Undercut Stop End							
13/8/18 17:30	13/8/18 18:10		0:40	63:30:00	40	1145	
14/8/18 1:30	14/8/18 3:30		2:00	65:30:00	120	1265	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
14/8/18 8:40	14/8/18 9:40	-	1:00	66:30:00	60	1325	-
14/8/18 10:00	14/8/18 12:00	-	2:00	68:30:00	120	1445	-
14/8/18 13:00	14/8/18 18:00	58.80	3:00	71:30:00	180	1625	105.84

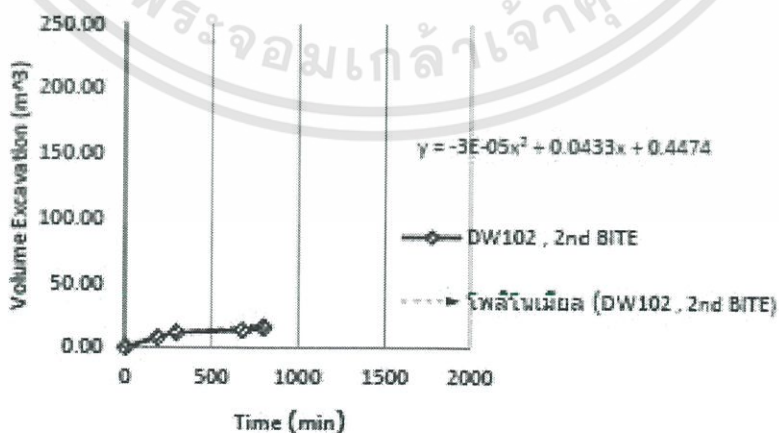
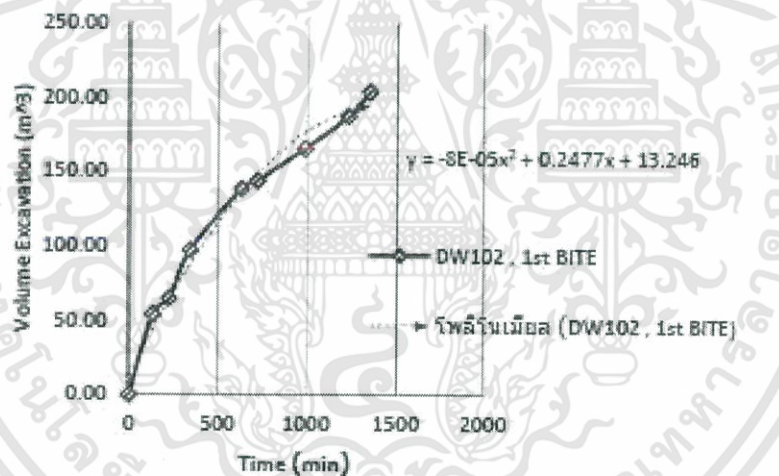
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. DW102* Crane No. RIG.3
 Thick 1.200 m
 Length 3.224 m Note Have change sling after uninstal
 Depth 58.50 m stop end , Biteแรก ทำงานเร็ว , Biteสอง
 ชุดเพิ่มแค่ 0.224 m แต่ใช้เวลานานมาก

TABLE

NO.	DW102 , 1st BITE			DW102 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	15.00	130	54.00	28.00	185	7.53
3	18.00	220	64.80	43.00	295	11.56
4	27.00	340	97.20	50.00	680	13.44
5	38.50	630	138.60	58.50	800	15.72
6	40.00	720	144.00	58.80	807	15.81
7	46.00	990	165.60			
8	52.00	1230	187.20			
9	56.60	1350	203.76			

GRAPH (Q-T)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 84 ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Base (102)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW102 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
11/8/18 14:00	11/8/18 16:10	15.00	2:10	2:10:00	130	130	54.00
11/8/18 16:30	11/8/18 18:00	18.00	1:30	3:40:00	90	220	64.80
11/8/18 20:00	11/8/18 22:00	27.00	2:00	5:40:00	120	340	97.20
11/8/18 22:30	12/8/18 3:20	38.50	4:50	10:30:00	290	630	138.60
12/8/18 10:30	12/8/18 12:00	40.00	1:30	12:00:00	90	720	144.00
12/8/18 13:00	12/8/18 17:30	46.00	4:30	16:30:00	270	990	165.60
12/8/18 20:00	13/8/18 0:00	52.00	4:00	20:30:00	240	1230	187.20
13/8/18 2:00	13/8/18 4:00	58.50	2:00	22:30:00	120	1350	203.76

DATA DW102 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
13/8/18 8:55	13/8/18 12:00	28.00	3:05	25:35:00	185	185	7.53
13/8/18 13:00	13/8/18 14:50	43.00	1:50	27:25:00	110	295	11.56
Start Undercut Stop End							
13/8/18 14:50	13/8/18 17:15		2:25	29:50:00	145	440	
14/8/18 8:00	14/8/18 10:40		2:40	32:30:00	160	600	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
14/8/18 10:40	14/8/18 12:00	50.00	1:20	33:50:00	80	680	13.44
14/8/18 13:00	14/8/18 15:00	58.50	2:00	35:50:00	120	800	15.72
14/8/18 21:33	14/8/18 21:40	58.80	0:07	35:57:00	7	807	15.81

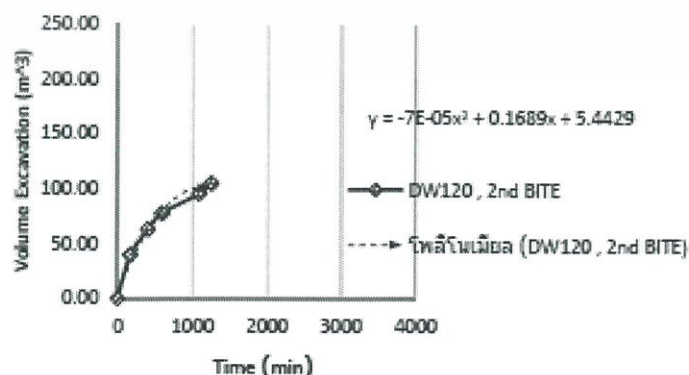
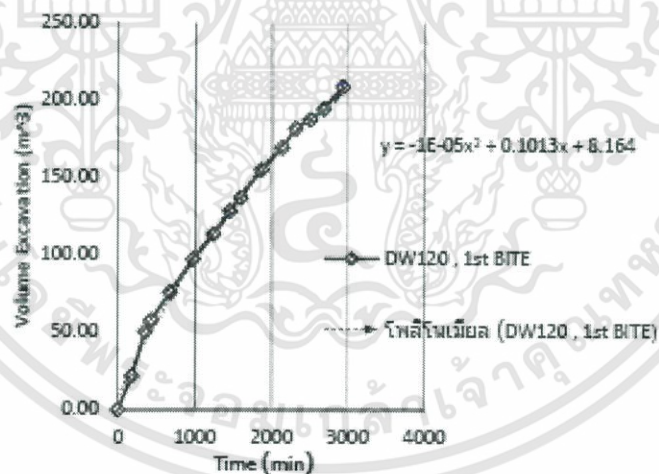
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 85 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. DW120 Crane No. RIG.1
 Thick 1.200 m
 Length 4.500 m Note การเก็บข้อมูลสมบรูณ์/ละเอียดมาก
 Depth 58.20 m

TABLE

NO.	DW120 , 1st BITE			DW120 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	6.00	180	21.60	22.00	170	39.60
3	14.00	360	50.40	35.00	410	63.00
4	16.00	435	57.60	43.00	590	77.40
5	21.00	675	75.60	53.00	1085	95.40
6	27.00	975	97.20	58.20	1245	104.76
7	31.50	1240	113.40			
8	35.60	1450	128.16			
9	38.00	1590	136.80			
10	43.00	1860	154.80			
11	47.00	2130	169.20			
12	50.40	2310	181.44			
13	52.00	2500	187.20			
14	54.00	2680	194.40			
15	58.00	2935	208.80			

GRAPH (Q-T)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 86 ึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Base (120)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW120 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m^3)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
13/8/18 9:00	13/8/18 12:00	6.00	3:00	3:00:00	180	180	21.60
13/8/18 13:00	13/8/18 16:00	14.00	3:00	6:00:00	180	360	50.40
13/8/18 16:15	13/8/18 17:30	16.00	1:15	7:15:00	75	435	57.60
14/8/18 8:00	14/8/18 12:00	21.00	4:00	11:15:00	240	675	75.60
14/8/18 13:00	14/8/18 18:00	27.00	5:00	16:15:00	300	975	97.20
14/8/18 19:35	15/8/18 0:00	31.50	4:25	20:40:00	265	1240	113.40
15/8/18 1:00	15/8/18 4:30	35.50	3:30	24:10:00	210	1450	128.16
15/8/18 9:40	15/8/18 12:00	38.00	2:20	26:30:00	140	1590	136.80
15/8/18 13:00	15/8/18 17:30	43.00	4:30	31:00:00	270	1860	154.80
15/8/18 19:30	16/8/18 0:00	47.00	4:30	35:30:00	270	2130	169.20
16/8/18 1:00	16/8/18 4:30	50.40	3:00	38:30:00	180	2310	181.44
16/8/18 8:50	16/8/18 12:00	52.00	3:10	41:40:00	190	2500	187.20
16/8/18 15:00	16/8/18 18:00	54.00	3:00	44:40:00	180	2680	194.40
16/8/18 19:45	17/8/18 0:00	58.00	4:15	48:55:00	255	2935	208.80

DATA DW120 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m^3)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
17/8/18 1:00	17/8/18 3:50	22.00	2:50	51:45:00	170	170	39.60
17/8/18 8:00	17/8/18 12:00	35.00	4:00	55:45:00	240	410	63.00
17/8/18 13:00	17/8/18 16:00	43.00	3:00	58:45:00	180	590	77.40
Start Undercut Stop End							
18/8/18 9:00	18/8/18 12:00		3:00	61:45:00	180	770	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
18/8/18 13:00	18/8/18 18:15	53.00	5:15	67:00:00	315	1085	95.40
18/8/18 19:20	18/8/18 22:00	58.20	2:40	69:40:00	160	1245	104.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

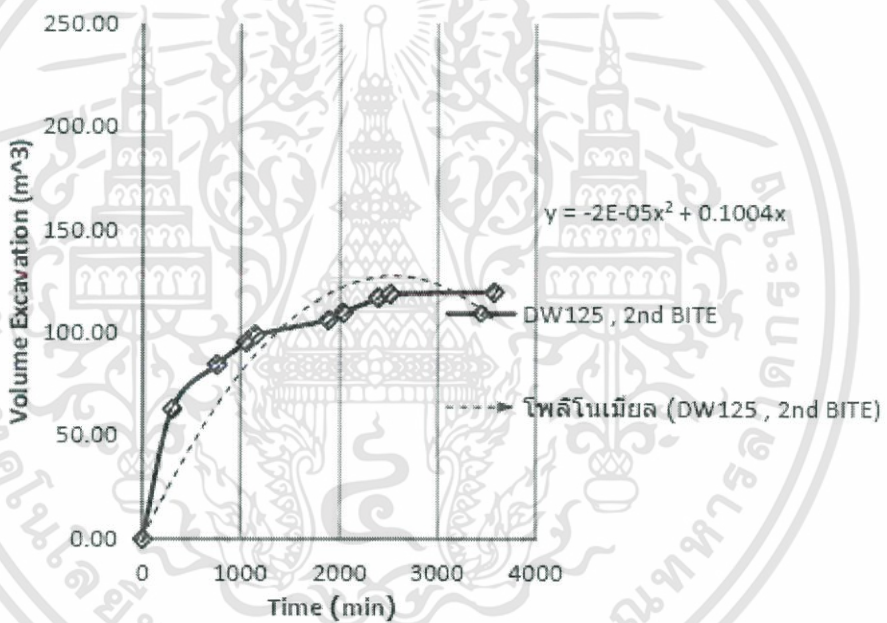
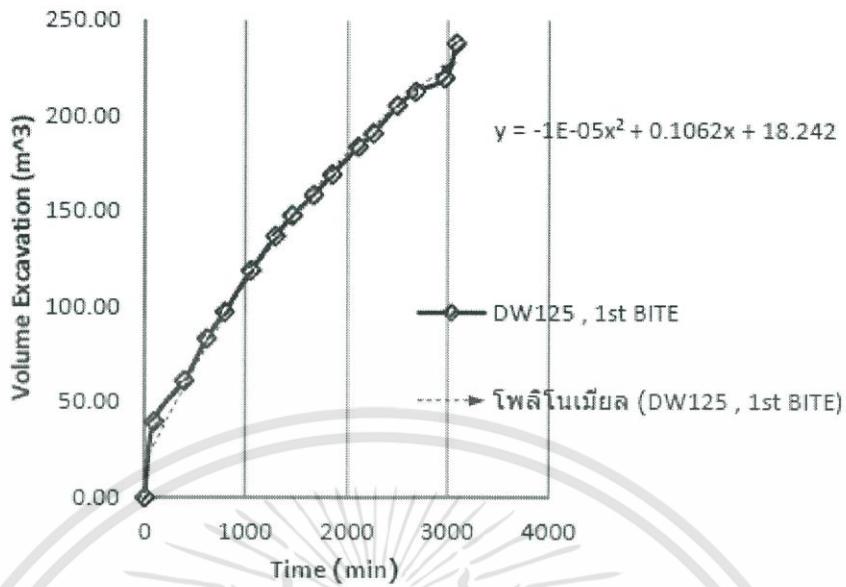
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. DW125* Crane No. RIG.2
 Thick 1.200 m
 Length 4.500 m Note 2stหลุมเอียงเกินกำหนด (1:100) ดังนั้นมี
 Depth 66.50 m เจาะแก้หลุม (Repair) เพื่อให้ยอมรับได้
 TABLE

NO.	DW125 , 1st BITE			DW125 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	11.00	90	39.60	35.00	300	63.00
3	17.00	390	61.20	47.00	760	84.60
4	23.10	615	83.16	53.00	1060	95.40
5	27.00	795	97.20	55.00	1150	99.00
6	33.00	1055	118.80	59.00	1880	106.20
7	38.00	1295	136.80	61.00	2030	109.80
8	41.00	1455	147.60	65.00	2390	117.00
9	44.00	1665	158.40	66.00	2510	118.80
10	47.00	1845	169.20	66.50	3580	119.70
11	51.00	2105	183.60			
12	53.00	2255	190.80			
13	57.00	2495	205.20			
14	59.00	2675	212.40			
15	61.00	2975	219.60			
16	66.00	3090	237.60			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRAPH (Q-T)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Base (125)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW125 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
14/8/18 16:30	14/8/18 18:00	11.00	1:30	1:30:00	90	90	39.60
14/8/18 19:00	15/8/18 0:00	17.00	5:00	6:30:00	300	390	61.20
15/8/18 1:00	15/8/18 4:45	23.10	3:45	10:15:00	225	615	83.16
15/8/18 9:00	15/8/18 12:00	27.00	3:00	13:15:00	180	795	97.20
15/8/18 13:00	15/8/18 17:20	33.00	4:20	17:35:00	260	1055	118.80
15/8/18 20:00	16/8/18 0:00	38.00	4:00	21:35:00	240	1295	136.80
16/8/18 1:00	16/8/18 3:40	41.00	2:40	24:15:00	160	1455	147.60
16/8/18 8:30	16/8/18 12:00	44.00	3:30	27:45:00	210	1665	158.40
16/8/18 15:00	16/8/18 18:00	47.00	3:00	30:45:00	180	1845	169.20
16/8/18 19:40	17/8/18 0:00	51.00	4:20	35:05:00	260	2105	183.60
17/8/18 1:00	17/8/18 3:30	53.00	2:30	37:35:00	150	2255	190.80
17/8/18 8:00	17/8/18 12:00	57.00	4:00	41:35:00	240	2495	205.20
18/8/18 9:00	18/8/18 12:00	59.00	3:00	44:35:00	180	2675	212.40
18/8/18 13:00	18/8/18 18:00	61.00	5:00	49:35:00	300	2975	219.60
19/8/18 1:00	19/8/18 2:55	66.00	1:55	51:30:00	115	3090	237.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA DW125 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
17/8/18 13:00	17/8/18 18:00	35.00	5:00	56:30:00	300	300	63.00
17/8/18 20:00	18/8/18 3:40	47.00	7:40	64:10:00	460	760	84.60
18/8/18 19:00	19/8/18 0:00	53.00	5:00	69:10:00	300	1060	95.40
19/8/18 9:30	19/8/18 11:00	55.00	1:30	70:40:00	90	1150	99.00
Start Undercut Stop End							
19/8/18 19:30	20/8/18 0:00		4:30	75:10:00	270	1420	
21/8/18 19:50	21/8/18 22:50		3:00	78:10:00	180	1600	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
21/8/18 22:50	22/8/18 3:30	59.00	4:40	82:50:00	280	1880	106.20
22/8/18 9:30	22/8/18 12:00	61.00	2:30	85:20:00	150	2030	109.80
22/8/18 13:00	22/8/18 19:00	65.00	6:00	91:20:00	360	2390	117.00
22/8/18 22:00	23/8/18 0:00	66.00	2:00	93:20:00	120	2510	118.80
Start Repair Hole Slope							
24/8/18 9:20	24/8/18 12:00		2:40	96:00:00	160	2670	
24/8/18 14:00	24/8/18 18:50		4:50	100:50:00	290	2960	
24/8/18 19:10	25/8/18 0:00		4:50	105:40:00	290	3250	
25/8/18 1:00	25/8/18 4:00		3:00	108:40:00	180	3430	
25/8/18 8:30	25/8/18 11:00	66.50	2:30	111:10:00	150	3580	119.70
Finish Repair Hole Slope							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

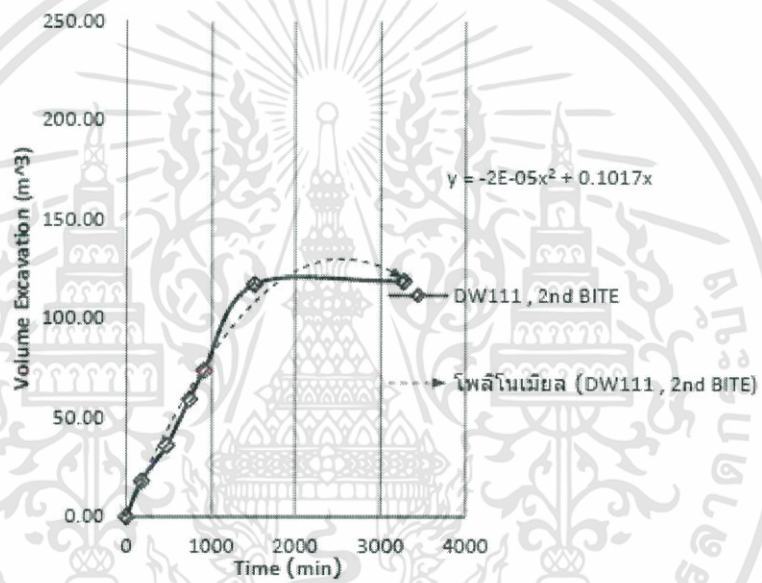
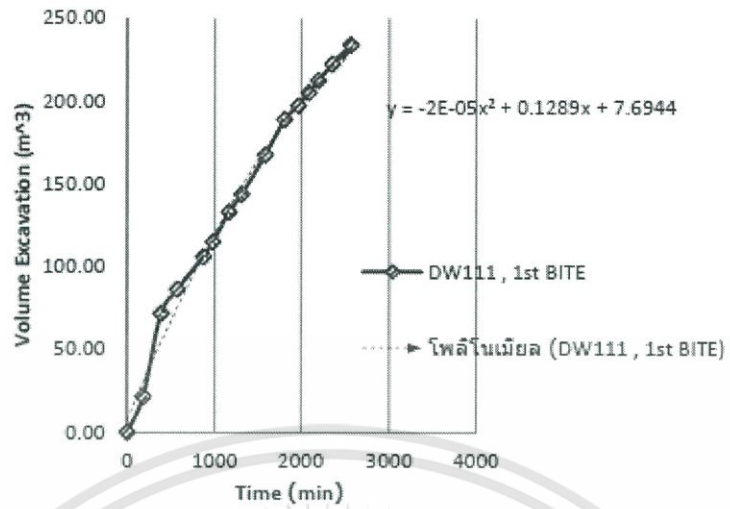
No. DW111* Crane No. RIG.3
 Thick 1.200 m
 Length 4.500 m Note 2stหลุมเอียงเกินกำหนด (1:100) ดังนั้นมี
 Depth 66.00 m เจาะแก้หลุม (Repair) เพื่อให้ยอมรับได้

TABLE

NO.	DW111 , 1st BITE			DW111 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	6.00	180	21.60	10.00	180	18.00
3	20.00	385	72.00	20.00	470	36.00
4	24.00	565	86.40	33.00	740	59.40
5	29.50	865	106.20	41.00	910	73.80
6	32.00	975	115.20	65.20	1515	117.36
7	37.00	1165	133.20	66.00	3265	118.80
8	40.00	1315	144.00			
9	46.60	1585	167.76			
10	52.50	1810	189.00			
11	54.80	1970	197.28			
12	57.00	2090	205.20			
13	59.00	2200	212.40			
14	61.80	2360	222.48			
15	65.00	2570	234.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRAPH (Q-T)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Base (111)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW111 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
17/8/18 8:00	17/8/18 11:00	6.00	3:00	3:00:00	180	180	21.60
17/8/18 23:00	18/8/18 2:25	20.00	3:25	6:25:00	205	385	72.00
18/8/18 8:00	18/8/18 12:00	24.00	3:00	9:25:00	180	565	86.40
18/8/18 13:00	18/8/18 18:00	29.50	5:00	14:25:00	300	865	106.20
18/8/18 22:10	19/8/18 0:00	32.00	1:50	16:15:00	110	975	115.20
19/8/18 0:40	19/8/18 3:50	37.00	3:10	19:25:00	190	1165	133.20
19/8/18 9:30	19/8/18 12:00	40.00	2:30	21:55:00	150	1315	144.00
19/8/18 13:00	19/8/18 17:30	46.80	4:30	26:25:00	270	1585	167.76
19/8/18 19:40	19/8/18 23:25	52.50	3:45	30:10:00	225	1810	189.00
20/8/18 1:00	20/8/18 3:40	54.80	2:40	32:50:00	160	1970	197.28
22/8/18 15:00	22/8/18 17:00	57.00	2:00	34:50:00	120	2090	205.20
22/8/18 22:10	23/8/18 0:00	59.00	1:50	36:40:00	110	2200	212.40
23/8/18 1:00	23/8/18 3:40	61.80	2:40	39:20:00	160	2360	222.48
23/8/18 8:30	23/8/18 12:00	65.00	3:30	42:50:00	210	2570	234.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA DW111 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m^3)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
20/8/18 9:00	20/8/18 12:00	10.00	3:00	45:50:00	180	180	18.00
20/8/18 13:00	20/8/18 17:50	20.00	4:50	50:40:00	290	470	36.00
20/8/18 19:30	21/8/18 0:00	33.00	4:30	55:10:00	270	740	59.40
21/8/18 1:00	21/8/18 3:50	41.00	2:50	58:00:00	170	910	73.80
Start Undercut Stop End							
22/8/18 9:00	22/8/18 11:50		2:50	60:50:00	170	1080	
22/8/18 13:00	22/8/18 15:00		2:00	62:50:00	120	1200	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
23/8/18 13:00	23/8/18 18:15	65.20	5:15	68:05:00	315	1515	117.36
Start Repair Hole Slope , Range 60.00-66.00m							
24/8/18 10:00	24/8/18 12:00		2:00	70:05:00	120	1635	
25/8/18 8:30	25/8/18 9:30		1:00	71:05:00	60	1695	
25/8/18 10:00	25/8/18 11:40		1:40	72:45:00	100	1795	
25/8/18 13:00	25/8/18 16:45		3:45	76:30:00	225	2020	
25/8/18 22:20	25/8/18 23:35		1:15	77:45:00	75	2095	
26/8/18 1:00	26/8/18 3:45		2:45	80:30:00	165	2260	
26/8/18 13:00	26/8/18 16:30		3:30	84:00:00	210	2470	
26/8/18 18:00	26/8/18 23:00		5:00	89:00:00	300	2770	
27/8/18 1:00	27/8/18 3:15		2:15	91:15:00	135	2905	
27/8/18 11:00	27/8/18 12:00		1:00	92:15:00	60	2965	
27/8/18 13:00	27/8/18 18:00	66.00	5:00	97:15:00	300	3265	118.80
Finish Repair Hole Slope							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

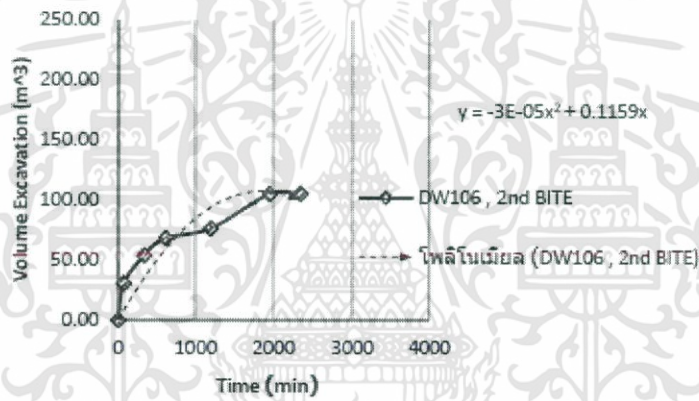
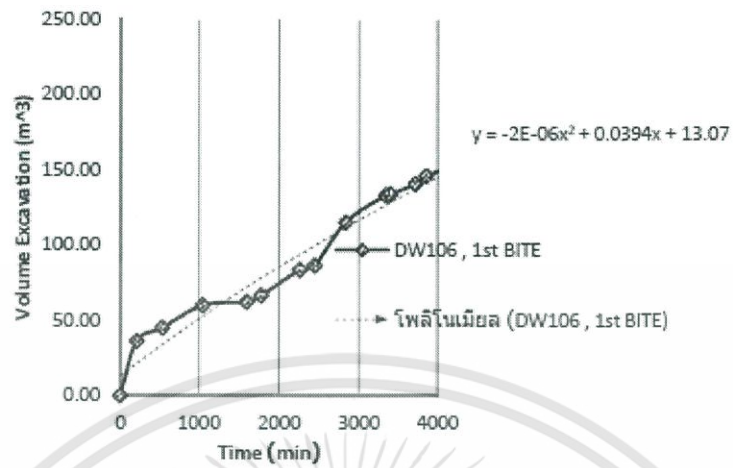
No. DW106* Crane No. RIG.1
 Thick 1.200 m RIG.3 (For repair)
 Length 4.500 m Note 1stหลุมเอียง เสียเวลาในการนำท่หลุมมาก
 Depth 58.50 m เวลาจริงนานผิดปกติ

TABLE

NO.	DW106 , 1st BITE			DW106 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	10.00	210	36.00	17.00	70	30.60
3	12.50	540	45.00	30.00	330	54.00
4	16.65	1050	59.94	38.00	615	68.40
5	17.30	1600	62.28	42.50	1200	76.50
6	18.50	1780	66.60	58.40	1950	105.12
7	23.20	2260	83.52	58.50	2340	105.30
8	24.00	2440	86.40			
9	32.00	2830	115.20			
10	37.00	3340	133.20			
11	37.20	3396	133.92			
12	39.00	3716	140.40			
13	40.50	3856	145.80			
14	42.00	4146	151.20			
15	44.00	4626	158.40			
16	49.30	5096	177.48			
17	51.00	5666	183.60			
18	53.50	6026	192.60			
19	54.20	6586	195.12			
20	58.00	6946	208.80			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRAPH (Q-T)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Base (106)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW106 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
19/8/18 0:30	19/8/18 4:00	10.00	3:30	3:30:00	210	210	36.00
19/8/18 11:00	19/8/18 12:00	-	1:00	4:30:00	60	270	-
19/8/18 13:00	19/8/18 17:30	12.50	4:30	9:00:00	270	540	45.00
19/8/18 19:30	20/8/18 4:00	16.65	8:30	17:30:00	510	1050	59.94
20/8/18 10:00	20/8/18 12:00	-	2:00	19:30:00	120	1170	-
20/8/18 13:00	20/8/18 17:30	-	4:30	24:00:00	270	1440	-
20/8/18 19:40	20/8/18 20:20	-	0:40	24:40:00	40	1480	-
20/8/18 22:00	21/8/18 0:00	17.30	2:00	26:40:00	120	1600	62.28
21/8/18 1:00	21/8/18 4:00	18.50	3:00	29:40:00	180	1780	66.60
21/8/18 9:00	21/8/18 12:00	-	3:00	32:40:00	180	1960	-
21/8/18 13:00	21/8/18 18:00	23.20	5:00	37:40:00	300	2260	83.52
22/8/18 14:00	22/8/18 17:00	24.00	3:00	40:40:00	180	2440	86.40
22/8/18 19:30	23/8/18 0:00	-	4:30	45:10:00	270	2710	-
23/8/18 1:00	23/8/18 3:00	32.00	2:00	47:10:00	120	2830	115.20
23/8/18 8:30	23/8/18 12:00	-	3:30	50:40:00	210	3040	-
23/8/18 13:00	23/8/18 18:00	37.00	5:00	55:40:00	300	3340	133.20
23/8/18 18:34	23/8/18 19:30	37.20	0:56	56:36:00	56	3396	133.92
24/8/18 8:00	24/8/18 12:00	-	4:00	60:36:00	240	3636	-
24/8/18 13:00	24/8/18 14:20	39.00	1:20	61:56:00	80	3716	140.40
24/8/18 14:40	24/8/18 17:00	40.50	2:20	64:16:00	140	3856	145.80
24/8/18 20:10	25/8/18 0:00	-	3:50	68:06:00	230	4086	-
25/8/18 3:00	25/8/18 4:00	42.00	1:00	69:06:00	60	4146	151.20
25/8/18 8:30	25/8/18 9:00	-	0:30	69:36:00	30	4176	-
25/8/18 9:30	25/8/18 12:00	-	2:30	72:06:00	150	4326	-
25/8/18 13:00	25/8/18 18:00	44.00	5:00	77:06:00	300	4626	158.40
25/8/18 19:00	26/8/18 0:00	-	5:00	82:06:00	300	4926	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

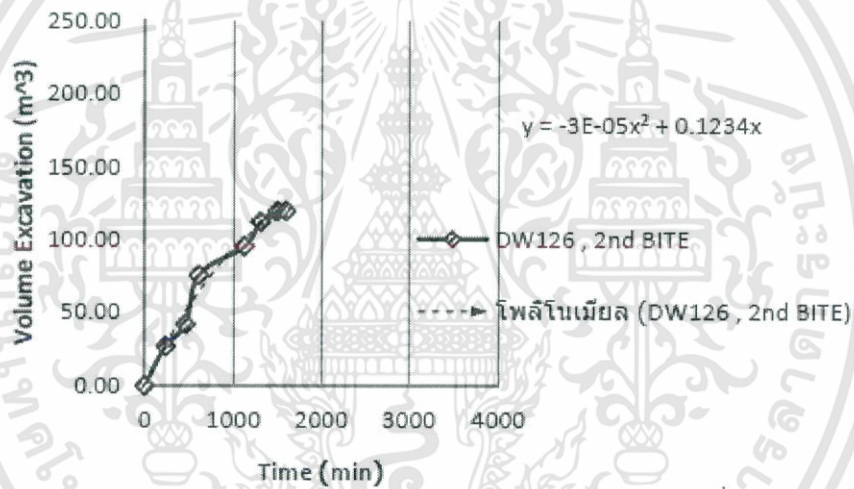
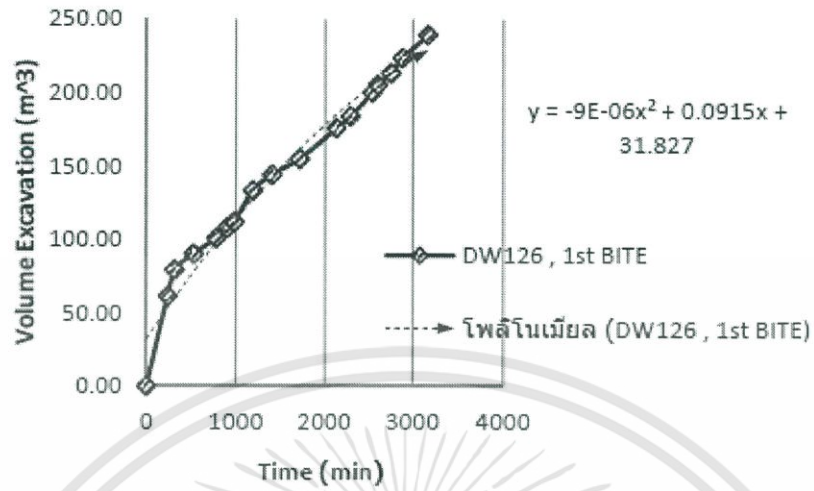
26/8/18 1:00	26/8/18 3:50	49.30	2:50	84:56:00	170	5096	177.48
26/8/18 9:00	26/8/18 9:30	-	0:30	85:26:00	30	5126	-
26/8/18 10:00	26/8/18 12:00	-	2:00	87:26:00	120	5246	-
26/8/18 13:00	26/8/18 17:00	-	4:00	91:26:00	240	5486	-
26/8/18 18:00	26/8/18 21:00	51.00	3:00	94:26:00	180	5666	183.60
27/8/18 21:00	28/8/18 0:00	-	3:00	97:26:00	180	5846	-
28/8/18 1:00	28/8/18 4:00	53.50	3:00	100:26:00	180	6026	192.60
28/8/18 9:00	28/8/18 12:00	-	3:00	103:26:00	180	6206	-
28/8/18 13:00	28/8/18 17:00	-	4:00	107:26:00	240	6446	-
29/8/18 1:15	29/8/18 3:35	54.20	2:20	109:46:00	140	6586	195.12
29/8/18 9:00	29/8/18 10:00	-	1:00	110:46:00	60	6646	-
29/8/18 13:00	29/8/18 18:00	58.00	5:00	115:46:00	300	6946	208.80

DATA DW106 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m^3)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
29/8/18 19:35	29/8/18 20:45	17.00	1:10	116:56:00	70	70	30.60
29/8/18 21:10	29/8/18 23:25	-	2:15	119:11:00	135	205	-
30/8/18 1:00	30/8/18 3:05	30.00	2:05	121:16:00	125	330	54.00
30/8/18 9:45	30/8/18 12:00	-	2:15	123:31:00	135	465	-
30/8/18 13:00	30/8/18 15:30	38.00	2:30	126:01:00	150	615	68.40
Start Undercut Stop End							
30/8/18 15:50	30/8/18 19:15		3:25	129:26:00	205	820	
30/8/18 20:00	30/8/18 21:50		1:50	131:16:00	110	930	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
30/8/18 22:00	31/8/18 0:00	-	2:00	133:16:00	120	1050	-
31/8/18 1:00	31/8/18 3:30	42.50	2:30	135:46:00	150	1200	76.50
31/8/18 9:00	31/8/18 12:00	-	3:00	138:46:00	180	1380	-
31/8/18 13:00	31/8/18 22:30	58.40	9:30	148:16:00	570	1950	105.12
Start Repair Hole Slope							
2/9/18 1:50	2/9/18 3:50		2:00	150:16:00	120	2070	
2/9/18 8:40	2/9/18 12:00		3:20	153:36:00	200	2270	
2/9/18 15:35	2/9/18 16:30		0:55	154:31:00	55	2325	
2/9/18 17:00	2/9/18 17:15	58.50	0:15	154:46:00	15	2340	105.30
Finish Repair Hole Slope							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 99 ก็ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRAPH (Q-T)



Data Base (126)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

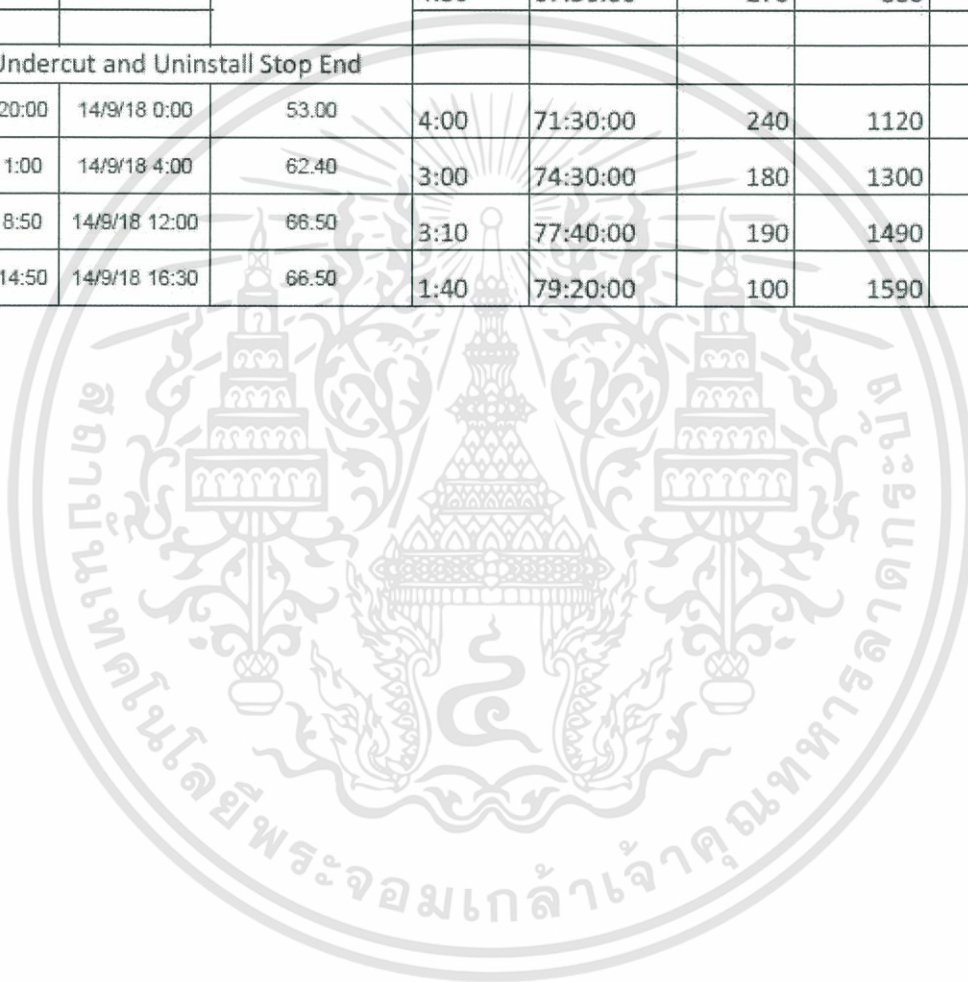
DATA DW126 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
7/9/18 11:00	7/9/18 12:00	-	1:00	1:00:00	60	60	-
7/9/18 13:00	7/9/18 16:00	17.00	3:00	4:00:00	180	240	61.20
8/9/18 2:40	8/9/18 4:00	22.00	1:20	5:20:00	80	320	79.20
8/9/18 8:30	8/9/18 12:00	25.00	3:30	8:50:00	210	530	90.00
8/9/18 13:00	8/9/18 17:15	28.00	4:15	13:05:00	255	785	100.80
9/9/18 10:00	9/9/18 12:00	30.00	2:00	15:05:00	120	905	108.00
9/9/18 13:00	9/9/18 14:15	31.00	1:15	16:20:00	75	980	111.60
9/9/18 14:30	9/9/18 18:00	37.00	3:30	19:50:00	210	1190	133.20
10/9/18 8:30	10/9/18 12:00	40.00	3:30	23:20:00	210	1400	144.00
10/9/18 13:00	10/9/18 18:15	43.00	5:15	28:35:00	315	1715	154.80
10/9/18 20:00	11/9/18 3:00	48.80	7:00	35:35:00	420	2135	175.68
11/9/18 9:15	11/9/18 12:00	51.00	2:45	38:20:00	165	2300	183.60
11/9/18 13:00	11/9/18 17:05	55.50	4:05	42:25:00	245	2545	199.80
11/9/18 19:00	11/9/18 20:00	57.00	1:00	43:25:00	60	2605	205.20
12/9/18 1:30	12/9/18 4:00	59.20	2:30	45:55:00	150	2755	213.12
12/9/18 9:50	12/9/18 12:00	62.00	2:10	48:05:00	130	2885	223.20
12/9/18 13:00	12/9/18 17:45	66.40	4:45	52:50:00	285	3170	239.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA DW126 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
12/9/18 20:00	13/9/18 0:00	15.00	4:00	56:50:00	240	240	27.00
13/9/18 1:00	13/9/18 4:45	23.30	3:45	60:35:00	225	465	41.94
13/9/18 9:35	13/9/18 12:00	42.00	2:25	63:00:00	145	610	75.60
Start Undercut Stop End							
13/9/18 13:00	13/9/18 17:30		4:30	67:30:00	270	880	-
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
13/9/18 20:00	14/9/18 0:00	53.00	4:00	71:30:00	240	1120	95.40
14/9/18 1:00	14/9/18 4:00	62.40	3:00	74:30:00	180	1300	112.32
14/9/18 8:50	14/9/18 12:00	66.50	3:10	77:40:00	190	1490	119.70
14/9/18 14:50	14/9/18 16:30	66.50	1:40	79:20:00	100	1590	119.70

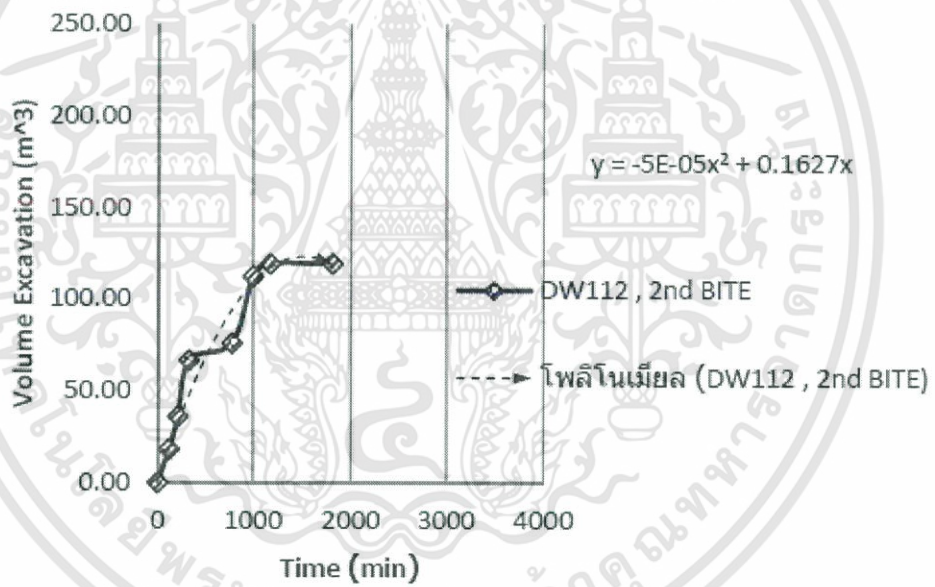
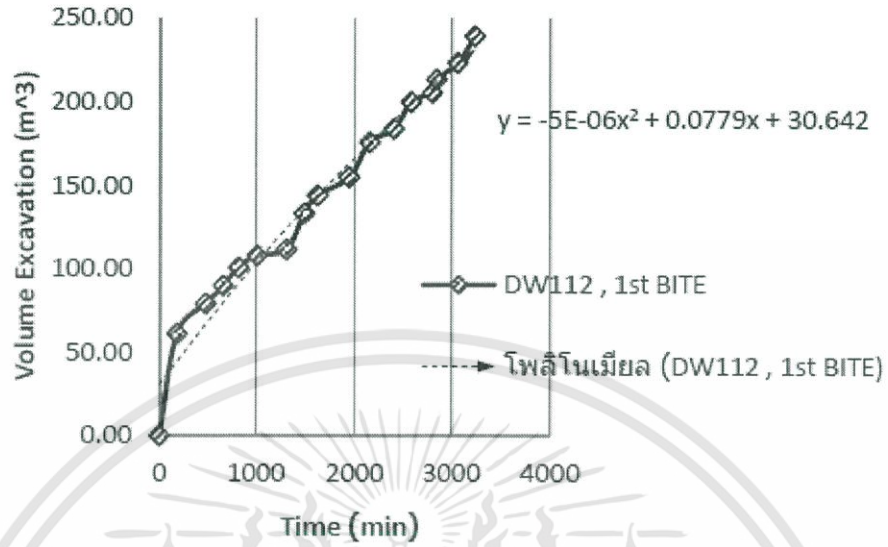


No. DW112 Crane No. RIG.1
 Thick 1.200 m
 Length 4.500 m Note OK
 Depth 66.20 m

TABLE

NO.	DW112 , 1st BITE			DW112 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	5.00	180	18.00	10.00	120	18.00
3	13.00	480	46.80	20.00	210	36.00
4	18.00	660	64.80	37.00	330	66.60
5	23.00	820	82.80	42.20	780	75.96
6	27.30	1010	98.28	62.40	1000	112.32
7	32.00	1310	115.20	66.20	1180	119.16
8	36.10	1490	129.96	66.20	1810	119.16
9	38.00	1620	136.80			
10	43.00	1940	154.80			
11	48.00	2150	172.80			
12	53.20	2400	191.52			
13	58.50	2580	210.60			
14	61.00	2800	219.60			
15	61.50	2845	221.40			
16	63.50	3065	228.60			
17	64.80	3245	233.28			
18	66.20	3345	238.32			

GRAPH (Q-T)



Data Base (112)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW112 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
6/9/18 15:00	6/9/18 18:00	5.00	3:00	3:00:00	180	180	18.00
6/9/18 19:00	7/9/18 0:00	13.00	5:00	8:00:00	300	480	46.80
7/9/18 1:00	7/9/18 4:00	18.00	3:00	11:00:00	180	660	64.80
7/9/18 9:20	7/9/18 12:00	23.00	2:40	13:40:00	160	820	82.80
7/9/18 13:20	7/9/18 16:30	27.30	3:10	16:50:00	190	1010	98.28
7/9/18 19:00	8/9/18 0:00	32.00	5:00	21:50:00	300	1310	115.20
8/9/18 1:00	8/9/18 4:00	36.10	3:00	24:50:00	180	1490	129.96
10/9/18 9:50	10/9/18 12:00	38.00	2:10	27:00:00	130	1620	136.80
10/9/18 13:00	10/9/18 18:20	43.00	5:20	32:20:00	320	1940	154.80
11/9/18 8:30	11/9/18 12:00	48.00	3:30	35:50:00	210	2150	172.80
11/9/18 13:00	11/9/18 17:10	53.20	4:10	40:00:00	250	2400	191.52
12/9/18 9:00	12/9/18 12:00	58.50	3:00	43:00:00	180	2580	210.60
12/9/18 13:00	12/9/18 16:40	61.00	3:40	46:40:00	220	2800	219.60
12/9/18 16:55	12/9/18 17:40	61.50	0:45	47:25:00	45	2845	221.40
12/9/18 20:00	12/9/18 23:40	63.50	3:40	51:05:00	220	3065	228.60
13/9/18 1:00	13/9/18 4:00	64.80	3:00	54:05:00	180	3245	233.28
13/9/18 8:20	13/9/18 10:00	66.20	1:40	55:45:00	100	3345	238.32

DATA DW112 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
13/9/18 10:00	13/9/18 12:00	10.00	2:00	57:45:00	120	120	18.00
13/9/18 13:00	13/9/18 14:30	20.00	1:30	59:15:00	90	210	36.00
13/9/18 16:00	13/9/18 18:00	37.00	2:00	61:15:00	120	330	66.60
Start Undercut Stop End							
13/9/18 19:00	13/9/18 23:30		4:30	65:45:00	270	600	-
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
14/9/18 1:00	14/9/18 4:00	42.20	3:00	68:45:00	180	780	75.96
14/9/18 8:20	14/9/18 12:00	62.40	3:40	72:25:00	220	1000	112.32
14/9/18 13:00	14/9/18 16:00	66.20	3:00	75:25:00	180	1180	119.16
Start Modify Slope Hole							
14/9/18 20:00	15/9/18 0:00		4:00	79:25:00	240	1420	
15/9/18 1:00	15/9/18 4:00		3:00	82:25:00	180	1600	
15/9/18 8:30	15/9/18 12:00	66.20	3:30	85:55:00	210	1810	119.16
Finish Modify Slope Hole							

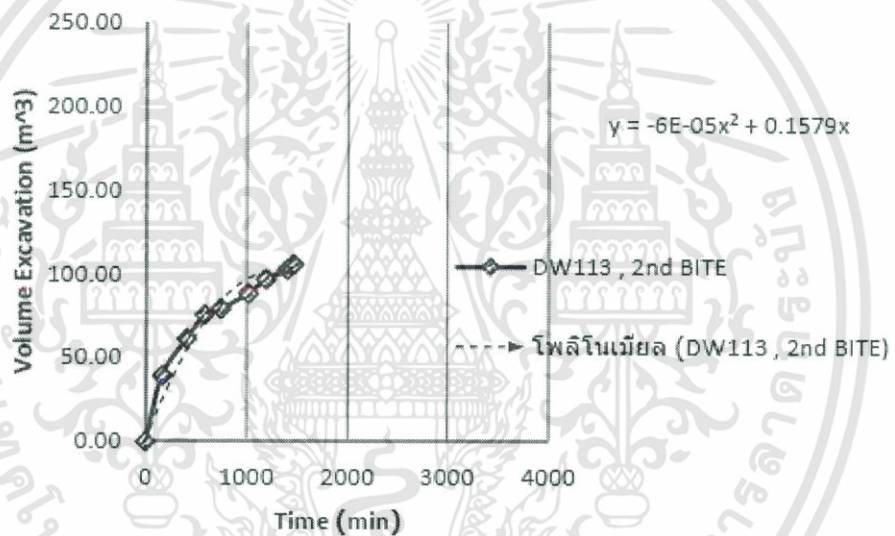
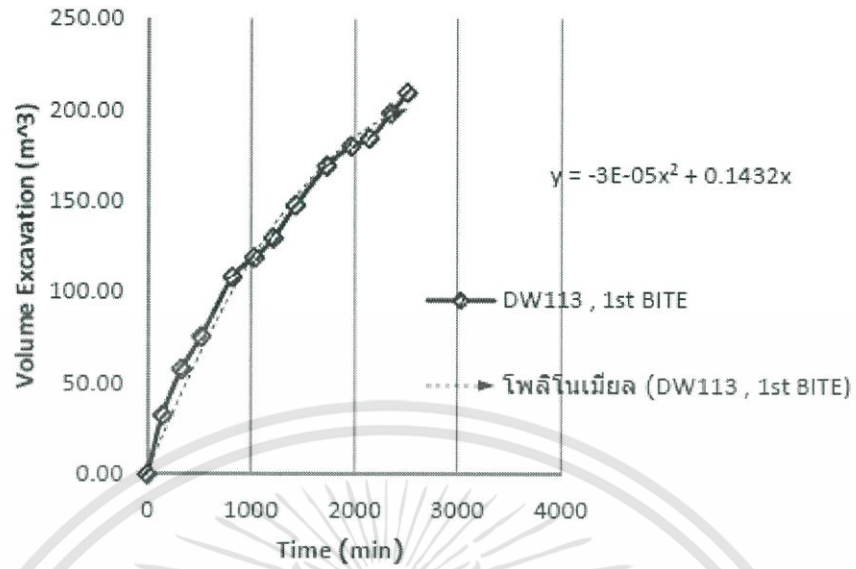
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. DW113 Crane No. RIG.2
 Thick 1.200 m
 Length 4.500 m Note ทำงานในเกณฑ์ปกติ / ดี
 Depth 58.80 m

TABLE

NO.	DW113 , 1st BITE			DW113 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	9.00	150	32.40	21.80	170	39.24
3	16.00	330	57.60	34.00	410	61.20
4	21.00	520	75.60	42.00	590	75.60
5	30.00	820	108.00	44.00	750	79.20
6	33.00	1030	118.80	49.00	1020	88.20
7	36.00	1210	129.60	53.70	1190	96.66
8	41.00	1420	147.60	57.00	1400	102.60
9	47.00	1720	169.20	58.80	1460	105.84
10	50.00	1960	180.00			
11	51.20	2140	184.32			
12	55.00	2350	198.00			
13	58.10	2510	209.16			

GRAPH (Q-T)



Data Base (113)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

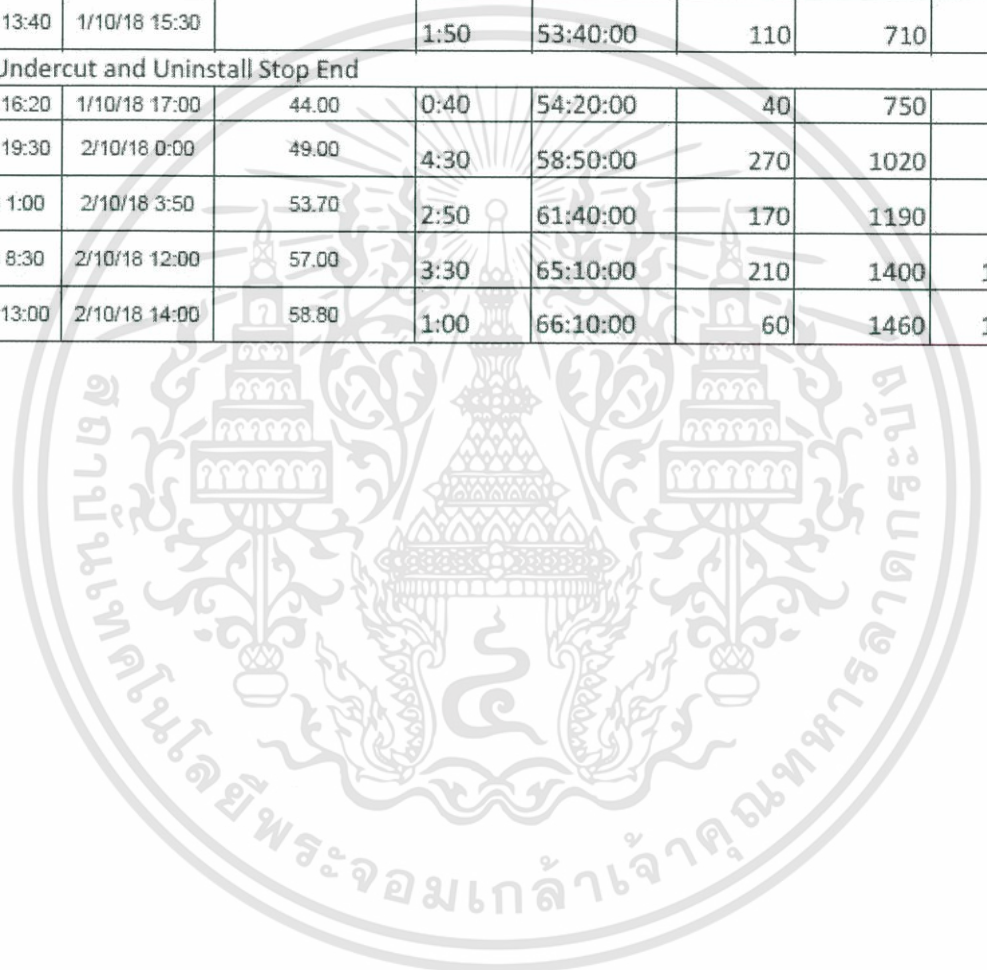
Min (B1-A1)*1440

DATA DW113 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m^3)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
27/9/18 22:00	28/9/18 0:30	9.00	2:30	2:30:00	150	150	32.40
28/9/18 1:00	28/9/18 4:00	16.00	3:00	5:30:00	180	330	57.60
28/9/18 8:50	28/9/18 12:00	21.00	3:10	8:40:00	190	520	75.60
28/9/18 13:00	28/9/18 18:00	30.00	5:00	13:40:00	300	820	108.00
28/9/18 20:30	29/9/18 0:00	33.00	3:30	17:10:00	210	1030	118.80
29/9/18 1:00	29/9/18 4:00	36.00	3:00	20:10:00	180	1210	129.60
29/9/18 8:30	29/9/18 12:00	41.00	3:30	23:40:00	210	1420	147.60
29/9/18 13:00	29/9/18 18:00	47.00	5:00	28:40:00	300	1720	169.20
29/9/18 20:00	30/9/18 0:00	50.00	4:00	32:40:00	240	1960	180.00
30/9/18 1:00	30/9/18 4:00	51.20	3:00	35:40:00	180	2140	184.32
30/9/18 8:30	30/9/18 12:00	55.00	3:30	39:10:00	210	2350	198.00
30/9/18 13:00	30/9/18 15:40	58.10	2:40	41:50:00	160	2510	209.16

DATA DW113 , 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
30/9/18 15:40	30/9/18 18:30	21.80	2:50	44:40:00	170	170	39.24
30/9/18 20:00	1/10/18 0:00	34.00	4:00	48:40:00	240	410	61.20
1/10/18 1:00	1/10/18 4:00	42.00	3:00	51:40:00	180	590	75.60
Start Undercut Stop End							
1/10/18 13:30	1/10/18 13:40		0:10	51:50:00	10	600	
1/10/18 13:40	1/10/18 15:30		1:50	53:40:00	110	710	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
1/10/18 16:20	1/10/18 17:00	44.00	0:40	54:20:00	40	750	79.20
1/10/18 19:30	2/10/18 0:00	49.00	4:30	58:50:00	270	1020	88.20
2/10/18 1:00	2/10/18 3:50	53.70	2:50	61:40:00	170	1190	96.66
2/10/18 8:30	2/10/18 12:00	57.00	3:30	65:10:00	210	1400	102.60
2/10/18 13:00	2/10/18 14:00	58.80	1:00	66:10:00	60	1460	105.84

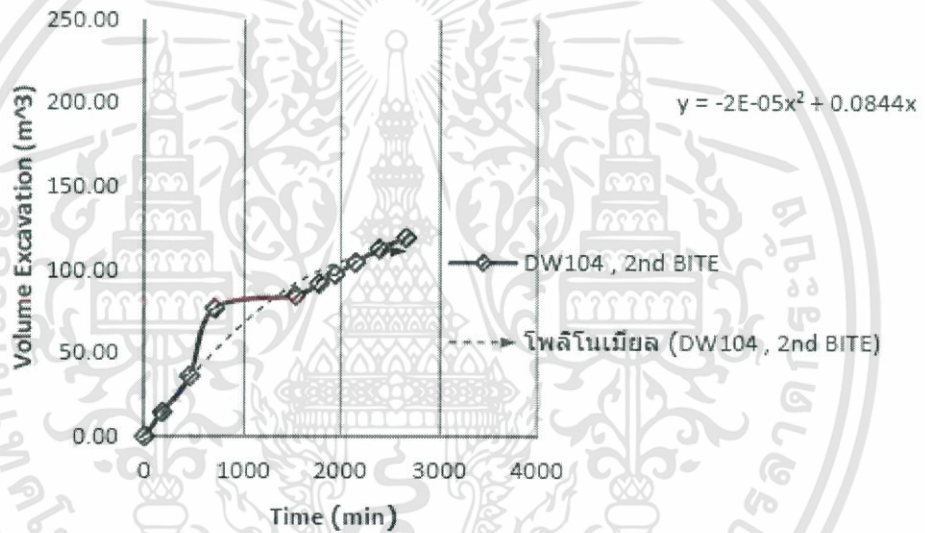
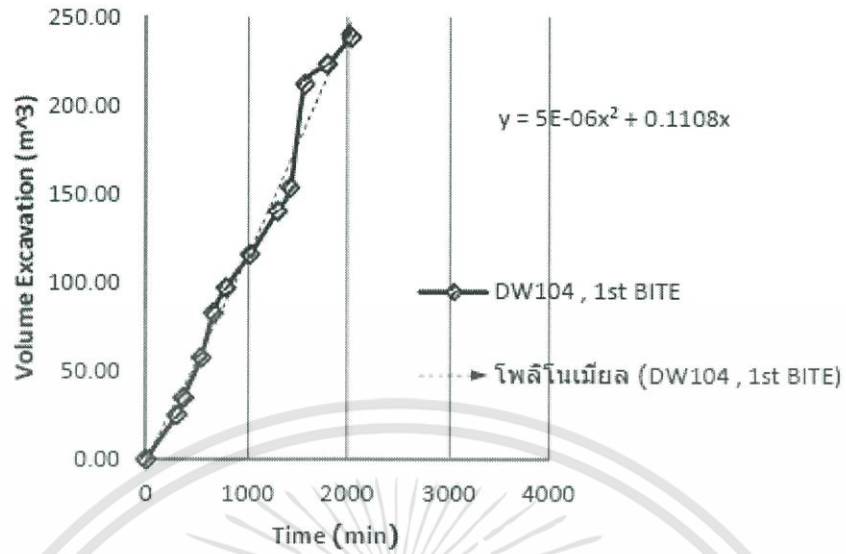


No. DW104 Crane No. RIG.1
 Thick 1.200 m
 Length 4.500 m Note
 Depth 66.20 m

TABLE

NO.	DW104 , 1st BITE			DW104 , 2nd BITE		
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
2	7.00	300	25.20	8.00	180	14.40
3	9.70	360	34.92	20.00	450	36.00
4	16.00	530	57.60	42.70	700	76.86
5	23.00	650	82.80	47.00	1540	84.60
6	27.00	775	97.20	51.00	1780	91.80
7	32.20	1015	115.92	54.00	1945	97.20
8	39.00	1295	140.40	58.00	2155	104.40
9	42.70	1425	153.72	62.50	2395	112.50
10	58.90	1575	212.04	66.30	2665	119.34
11	62.00	1795	223.20			
12	66.20	2035	238.32			

GRAPH (Q-T)



Data Base (104)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

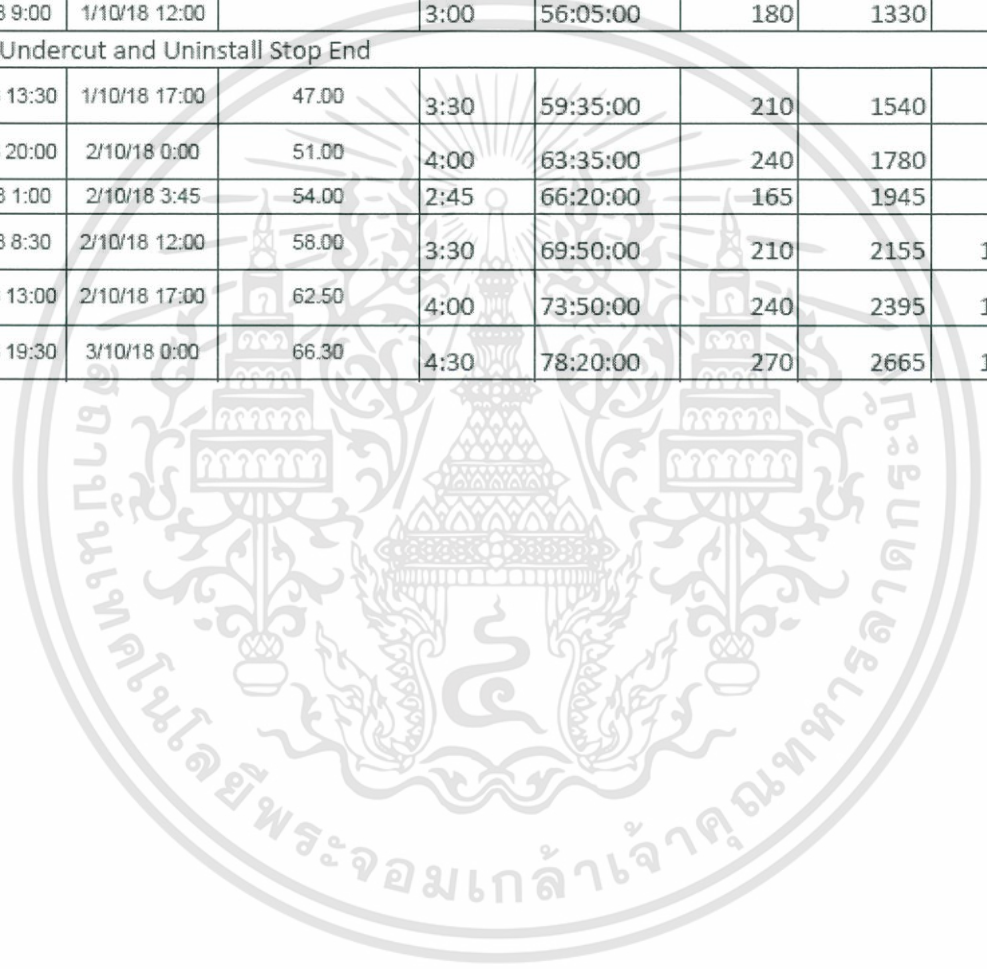
Min (B1-A1)*1440

DATA DW104 , 1st BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
25/9/18 13:00	25/9/18 18:00	7.00	5:00	5:00:00	300	300	25.20
25/9/18 20:00	25/9/18 21:00	9.70	1:00	6:00:00	60	360	34.92
25/9/18 21:10	26/9/18 0:00	16.00	2:50	8:50:00	170	530	57.60
26/9/18 2:00	26/9/18 4:00	23.00	2:00	10:50:00	120	650	82.80
26/9/18 9:55	26/9/18 12:00	27.00	2:05	12:55:00	125	775	97.20
26/9/18 13:00	26/9/18 17:00	32.20	4:00	16:55:00	240	1015	115.92
26/9/18 19:20	27/9/18 0:00	39.00	4:40	21:35:00	280	1295	140.40
27/9/18 1:50	27/9/18 4:00	42.70	2:10	23:45:00	130	1425	153.72
3/10/18 1:00	3/10/18 3:30	58.90	2:30	26:15:00	150	1575	212.04
3/10/18 8:20	3/10/18 12:00	62.00	3:40	29:55:00	220	1795	223.20
3/10/18 13:00	3/10/18 17:00	66.20	4:00	33:55:00	240	2035	238.32

DATA DW104, 2nd BITE

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	-	-	0	0	0.00
27/9/18 9:00	27/9/18 12:00	8.00	3:00	36:55:00	180	180	14.40
27/9/18 13:00	27/9/18 17:30	20.00	4:30	41:25:00	270	450	36.00
27/9/18 19:30	27/9/18 23:40	42.70	4:10	45:35:00	250	700	76.86
Start Undercut Stop End							
30/9/18 8:30	30/9/18 12:00		3:30	49:05:00	210	910	
30/9/18 13:00	30/9/18 17:00		4:00	53:05:00	240	1150	
1/10/18 9:00	1/10/18 12:00		3:00	56:05:00	180	1330	
Finish Undercut and Uninstall Stop End							
1/10/18 13:30	1/10/18 17:00	47.00	3:30	59:35:00	210	1540	84.60
1/10/18 20:00	2/10/18 0:00	51.00	4:00	63:35:00	240	1780	91.80
2/10/18 1:00	2/10/18 3:45	54.00	2:45	66:20:00	165	1945	97.20
2/10/18 8:30	2/10/18 12:00	58.00	3:30	69:50:00	210	2155	104.40
2/10/18 13:00	2/10/18 17:00	62.50	4:00	73:50:00	240	2395	112.50
2/10/18 19:30	3/10/18 0:00	66.30	4:30	78:20:00	270	2665	119.34

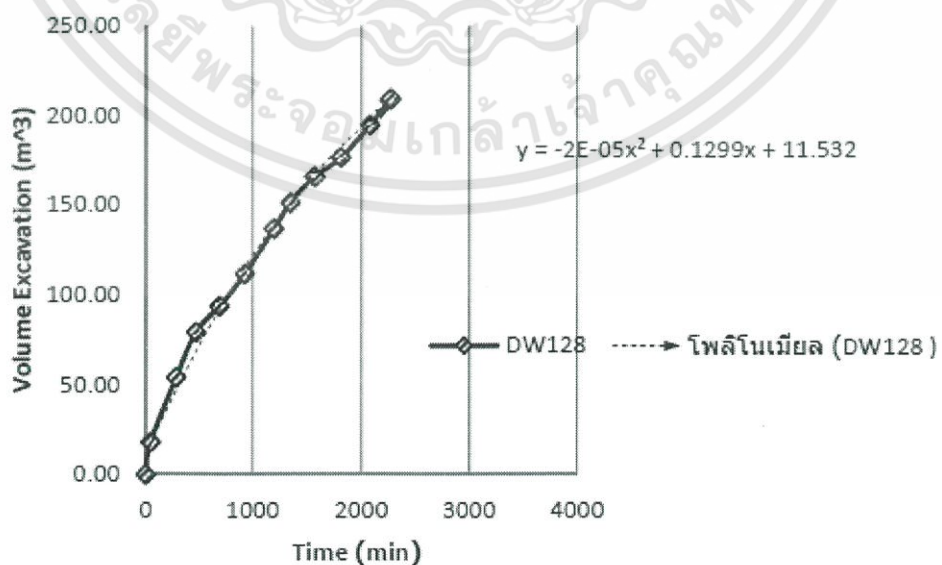


No. DW128 Crane No. RIG.1
 Thick 1.200 m
 Length 3.312 m Note
 Depth 58.10 m

TABLE

NO.	DW128					
	DEPTH(m)	ΣT(min)	VOLUME(m ³)			
1	0.00	0	0.00			
2	5.00	45	18.00			
3	15.00	285	54.00			
4	22.00	470	79.20			
5	26.00	690	93.60			
6	31.00	930	111.60			
7	38.00	1200	136.80			
8	42.00	1350	151.20			
9	46.00	1570	165.60			
10	49.00	1810	176.40			
11	54.00	2080	194.40			
12	57.90	2260	208.44			
13	58.10	2275	209.16			

GRAPH (Q-T)



Data Base (128)

สูตร

H : mm TEXT(B1-A1,"h:mm")

Min (B1-A1)*1440

DATA DW128

Start Exc.	Finish Exc.	Depth Exc.(m)	H : mm	Σ H : mm	T (MIN)	ΣT (MIN)	Q (m ³)
-	-	0.00	0:00	0:00:00	0	0	0.00
1/10/18 16:15	1/10/18 17:00	5.00	0:45	0:45:00	45	45	18.00
1/10/18 20:00	2/10/18 0:00	15.00	4:00	4:45:00	240	285	54.00
2/10/18 1:00	2/10/18 4:05	22.00	3:05	7:50:00	185	470	79.20
2/10/18 8:20	2/10/18 12:00	26.00	3:40	11:30:00	220	690	93.60
2/10/18 13:00	2/10/18 17:00	31.00	4:00	15:30:00	240	930	111.60
2/10/18 19:30	3/10/18 0:00	38.00	4:30	20:00:00	270	1200	136.80
3/10/18 1:00	3/10/18 3:30	42.00	2:30	22:30:00	150	1350	151.20
3/10/18 8:20	3/10/18 12:00	46.00	3:40	26:10:00	220	1570	165.60
3/10/18 13:00	3/10/18 17:00	49.00	4:00	30:10:00	240	1810	176.40
3/10/18 19:30	4/10/18 0:00	54.00	4:30	34:40:00	270	2080	194.40
4/10/18 1:00	4/10/18 4:00	57.90	3:00	37:40:00	180	2260	208.44
5/10/18 13:00	5/10/18 13:15	58.10	0:15	37:55:00	15	2275	209.16



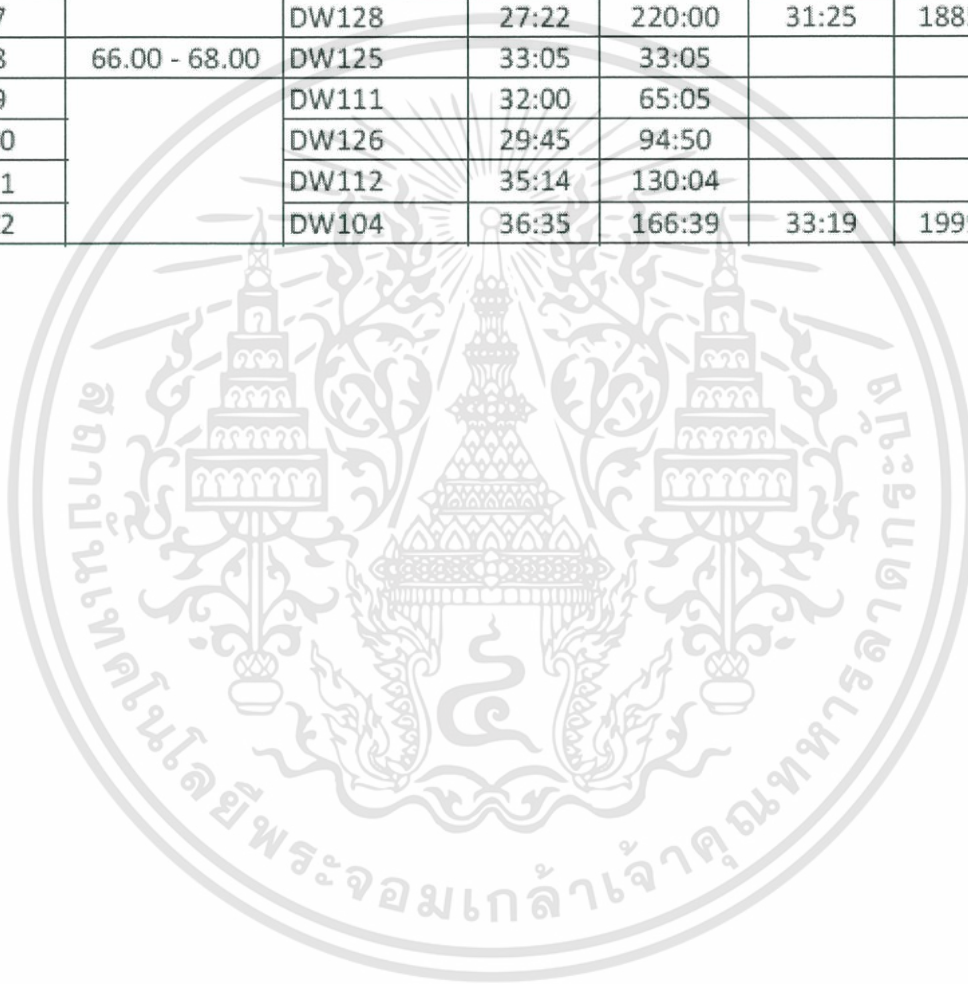
ภาคผนวก ค.

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ T_{AF}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาหลังชุดเสร็จจนถึงสิ้นสุดเทคอนกรีต (T_{Fi})

No.	Depth(m)	Pile No.	T_{Fi}	ΣT_{Fi}	ค่าเฉลี่ย	
					H:min	Min
1	57.00 - 59.00	DW110	36:20	36:20		
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	31:25	1885.71
8	66.00 - 68.00	DW125	33:05	33:05		
9		DW111	32:00	65:05		
10		DW126	29:45	94:50		
11		DW112	35:14	130:04		
12		DW104	36:35	166:39	33:19	1999.80



ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นายณกัฏฐ์ อาแวโต รหัสนักศึกษา 58010616 ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ร่วมเข้าฝึกงานสหกิจศึกษา ปีการศึกษา 2561 กับบริษัท ซีพีโก้ จำกัด มหาชน ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำในวงการก่อสร้างฐานรากเสาเข็มในประเทศไทย ได้รับงานที่เกี่ยวข้องกับเสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยม (Barrete Piles) และกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ หรือไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall) ของโครงการรถไฟฟ้าหลายโครงการด้วยกัน โดยบริษัท ซีพีโก้ จำกัด มหาชน ได้ให้โอกาสผู้วิจัยทำวิจัยโครงการสหกิจศึกษาที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สถานีราชมิ่งคลา (Orange Line Project OR18 Rajamangala Station) ทางบริษัทได้มอบหมายงานในตำแหน่งผู้ช่วย Site Engineer มีหน้าที่ควบคุมงานก่อสร้างกำแพง Diaphragm Wall ตั้งแต่ขุดดินไปจนถึงขั้นตอนการเทคอนกรีต และมีหน้าที่เป็นผู้ปฏิบัติการทดสอบความสมบูรณ์ของกำแพงกันดิน ด้วยวิธี Sonic Logging Test ถือเป็นประสบการณ์การทำงานที่ครั้งหนึ่งในชีวิตของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าหวังว่างานวิจัย สมการคาดการณ์เวลาการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดชุดและหล่อในที่ด้วยหัวเจาะเชิงกล (Predictable Construction Time's Equations of Diaphragm Wall Drilled by Mechanical Grab) ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้สนใจ ไม่ว่าจะเป็นนักศึกษา ผู้ประกอบการ หรือผู้ที่ต้องการนำไปศึกษาต่อ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่มากนักน้อย