การลดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึงหัวหิน

Reduction of Cost and Time of Large Boring Pile Construction: A Case Study of Double Track Railway Construction from Nakhon Pathom to Hua Hin

นายอาทิตย์ สินมา

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสยาม

ใบรับรองสารนิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ปริญญา

การจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย

(สาขาวิชา) (คณะ)

เรื่อง การลดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึงหัวหิน

Reduction of Cost and Time of Large Boring Pile Construction: A Case Study of Double Track Railway Construction from Nakhon Pathom to Hua Hin

ผู้แต่ง นายอาทิตย์ สินมา

Mr.Artir Sinma

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วีระกาจ ดอกจันทร์)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บรรเทิงจิตร)

ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

วันที่ 16 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การลดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึงหัวหิน

โดย : นายอาทิตย์ สินมา

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : การจัดการงานวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา : .....

(ดร.วีระกาจ ดอกจันทร์)

15 / 12 / 67

บทความนี้นำเสนอการปรับแผนการทำงานของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การลดต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะดังกล่าว โดยใช้โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึง หัวหิน (ช่วงหนองปลาไหลถึงหัวหิน) เป็นกรณีศึกษา โดยเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งกิจกรรมออกได้เป็น 7 กิจกรรม หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลเวลา และต้นทุนที่ใช้ในการทำงานของแต่ละกิจกรรม โดยจะต้องก่อสร้างเสาเข็มเจาะ จำนวน 1,080 ต้น จากนั้นจึงได้วางแผนการทำงานแบบเดิม คือการก่อสร้างเสาเข็มเจาะให้แล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น/วัน มีต้นทุนในการก่อสร้าง 200,294.00 บาท/ต้น ใช้เวลาในการทำงานตลอดทั้งโครงการ 1,080 วัน โดยใช้งบประมาณก่อสร้างทั้งหมด 216,317,520.00 บาท ภายหลังจากการพิจารณาการทำงานแบบเดิมอย่างรอบคอบ จึงวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการก่อสร้างเสาเข็มเจาะจำนวน 2 ต้น/วัน มีต้นทุนในการก่อสร้าง 297,308.12 บาท/2ต้น ดังนั้นจะมีต้นทุนในการก่อสร้างอยู่ที่ 148,654.10 บาท/ต้น ซึ่งการก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานแบบใหม่มีราคาถูกกว่าแบบเก่า 51,639.94 บาท/ต้น สามารถลดลดต้นทุนได้ 25.78% นอกจากนี้ยังลดระยะเวลาการทำงานได้ถึง 50%

คำสำคัญ: เสาเข็มเจาะระบบเปียก, การวางแผนการทำงาน, การจัดสรรทรัพยากร

ABSTRACT

Tile : Reduction of Cost and Time of Large Boring Pile Construction: A Case Study of Double Track Railway Construction from Nakhon Pathom to Hua Hin

By : Mr.Artit Sinma

Degree : Master of Engineering

Major Field : Engineering Management

IS Adviser : .....

(Dr.Weerakarj Dokchan)

15 / 12 / 24

This article presented adjustments to the work plan of wet process bored pile construction. The objective was to reduce costs and shorten time for the bored piles. The double track railway construction project from Nakhon Pathom to Hua Hin (Section Nong Pla Lai to Hua Hin) was used as a case study. The study was started by the consideration of construction process, which could be divided into 7 activities. This project had 1,080 bored piles. According to the original work plan, the bored pile was constructed 1 unit per day. The construction cost was 200,294.00 baht/pile. Therefore, it would take 1,080 days to complete the project, with the total cost of 216,317,520.00 baht. After analyzing the original working process carefully, the new process was reached. The new process was to construct 2 piles per day with the cost of 297,308.12 baht/2 piles. So, 1 pile was only 148,654.10 baht which was 51,639.94 baht cheaper than the old method per pile or 25.78% reduction. Also, the construction time was reduced to half or 50% reduction.

Keywords: Wet process bored pile, Work planning, Resource allocation

Approved by:

.....

Director

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยการได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่งจาก ดร.วีระกาจ ดอกจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทิงจิตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศ์พัฒน์ เพ็ชรรุ่งเรือง และคณาจารย์บัณฑิตวิทยาลัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ทุก ๆ ท่าน ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำให้ประโยชน์ให้ความรู้รวมไปถึงการติดตามคอยดูแลมาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติ พี่น้อง มิตรสหาย รวมถึงผู้แต่งหนังสือหรือเอกสารทางวิชาการ ที่ข้าพเจ้าได้ใช้เป็นเอกสารอ้างอิง รวมทั้งหัวหน้างาน เพื่อนร่วมงานทุกคนที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆ จนช่วยให้สามารถทำการศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อาทิตย์ สินมา

ผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญภาพ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของเสาเข็ม.....4
2.2 การออกแบบฐานรากเสาเข็ม (Design of Pile Foundation).....7
2.3 การประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม.....9
2.4 การประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์.....10
2.5 อัตราส่วนความปลอดภัยและค่าการทรุดตัวที่ยอมให้.....15
2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวางแผนงาน.....17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....31

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก.....36
3.2 การเสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก.....38

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง หน้าที่

3.3 วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก.....39
3.4 วิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า.....39

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลของการศึกษากระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก.....40
4.2 เสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก.....49
4.3 วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก.....49
4.4 การวิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า.....53

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย.....54
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....55
5.3 ข้อเสนอแนะ.....56

บรรณานุกรม.....57
ประวัติการศึกษา.....59

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....61

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้าที่

2-1 รูปแบบการต่อเสาเข็ม....7
2-2 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากอาคารลงดินโดยเสาเข็ม....8
2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็ม....11
2-4 การเปลี่ยนแปลงค่า Nq กับมุมเสียดทานภายใน....12
2-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง S กับ A....14
2-6 แสดงค่า ฉ ที่ได้จากการทดสอบกำลังเข็ม....15
2-7 ผังวงจรกำหนดก่อนของ 1 หน่วยก่อสร้าง....18
2-8 การวางแผนแบบ CPM ของโครงการ X....18
2-9 การวางแผนแบบ CPM (ES)....19
2-10 การวางแผนแบบ CPM (LS)....19
2-11 การจัดทำแผนกำหนการแบบแผนภูมิแกนต์....20
2-12 ตัวอย่างการวางแผนงานก่อสร้างโดยวิธี LOB....21
2-13 การวางแผนโดยวิธี LSM รูปแบบที่ 1....22
2-14 รูปแบบการวางแผนโดยวิธี LSM รูปแบบที่ 2....22
2-15 การเขียนกราฟแสดงแผนการทำงานที่มีลักษณะซ้ำๆ กันโดยวิธี RSM....23
2-16 กำหนดเวลาการดำเนินงานของกิจกรรม ก. ในรูปแบบ RSM....23
2-17 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTS และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน....24
2-18 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTS และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน....25
2-19 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ STS และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน....26
2-20 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ STS และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน....26
2-21 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTF และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน....27
2-22 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTF และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน....27
2-23 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรมแบบปกติและแบบเร่งรัด....28
2-24 ความสัมพันธ์แบบไม่ต่อเนื่องระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรมแบบปกติและแบบเร่งรัด..28
2-25 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับเวลาของโครงการ…….....29
2-26 กำหนดเวลาทำงานตามหลักการ even flow construction....30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้าที่

4-1 แบบแปลนของเสาเข็มเจาะระบบเปียก....41
4-2 ช่างสำรวจกำหนดตำแหน่งเสาเข็ม....42
4-3 การลงปลอกเหล็กชั่วคราว....42
4-4 การควบคุมไม่ให้ปลอกเหล็กเบี่ยงเบน....43
4-5 การเจาะเสาเข็ม....43
4-6 ใช้สลิงตรวจสอบความลึกก้นหลุม....44
4-7 การใช้เครื่องจักรติดตั้งถังทำความสะอาดหลุมเจาะ (Cleaning Bucket)....45
4-8 แสดงการติดตั้งเหล็กเสริม....45
4-9 ลูกปูนระยะหุ้มคอนกรีต....46
4-10 การติดตั้งท่อเทคอนกรีต (TREMIE TUBE)....46
4-11 การเทคอนกรีต....47
4-12 การตรวจสอบค่ายุบตัวอยู่ที่ 17.5±2.5 เซนติเมตร....47
4-13 การถอนปลอกเหล็กออกจากหลุมเจาะ....48
4-14 ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนเดิม....52
4-15 ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนใหม่....52

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้าที่

2-1 มุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มและทราย.....12
2-2 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง …….....12
2-3 ขอบเขตค่าความเค้นที่ผิวและที่ปลายเสาเข็มในชั้นทราย (API 1981).....13
2-4 ค่าอัตราส่วนปลอดภัย…….....15
2-5 ค่าการทรุดตัวแตกต่างกันสูงสุดที่ยอมให้ …….....16
2-6 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของการทรุดตัวสำหรับการออกแบบฐานราก.....17
4-1 การประมาณราคาค่าก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนเดิม…….....50
4-2 การประมาณราคาค่าก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนใหม่…….....51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

โครงการรถไฟทางคู่สายใต้ เป็นหนึ่งในโปรเจกต์เร่งด่วนที่การรถไฟแห่งประเทศไทย (ร.ฟ.ท.) ดำเนินการต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 2560 เพื่อสร้างโครงข่ายระบบขนส่งทางราง อำนวยความสะดวกในการเดินทางของประชาชน ตลอดจนการขนส่งสินค้าเชื่อมภูมิภาคและประเทศเพื่อนบ้าน เป็นจุดเริ่มต้นของการพลิกโฉมการคมนาคมขนส่งระบบรางของประเทศครั้งสำคัญ ให้กลายเป็นศูนย์กลางด้านคมนาคมของภูมิภาคอาเซียน สำหรับโครงการรถไฟทางคู่ ช่วงนครปฐม-หัวหิน มีระยะทางรวม 169 กิโลเมตร มีจำนวน 28 สถานี วงเงินก่อสร้าง 20,145 ล้านบาท (กรุงเทพธุรกิจออนไลน์, 2566)

ในงานทางวิศวกรรมโยธา ฐานรากเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงจากโครงสร้างลงไปสู่ชั้นดินลึก ที่มีความสามารถในการแบกรับน้ำหนักบรรทุกทำให้โครงสร้างคงอยู่ได้ โดยฐานรากที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ ฐานรากตื้นและฐานรากลึก (บุษยา สุวรรณจินดา และคณะ, 2565) โดยเฉพาะการออกแบบฐานรากลึกชนิดเสาเข็มที่ใช้ในการออกแบบสำหรับรับน้ำหนักโครงสร้างขนาดใหญ่หรือโครงสร้างที่ต้องรับภาระน้ำหนักสูงเป็นพิเศษเพื่อใช้ในการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างหลักลงสู่ชั้นดินอย่างปลอดภัย โดยหลักการออกแบบเสาเข็มเพื่อรับน้ำหนักและถ่ายน้ำหนักลงดินนั้นจะใช้ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ข้อมูลชั้นดินตามลักษณะภูมิประเทศ, ข้อมูลสำรวจเดิมที่มีอยู่ในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง, และจากการเจาะสำรวจชั้นดินขึ้นมาใหม่ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำของลักษณะชั้นดิน ณ บริเวณที่จะออกแบบเสาเข็มดังกล่าว (นพฤทธิ์ ทวีชัย และZhang Jiu Ming, 2566) โดยที่เสาเข็ม (Pile) ทำหน้าที่ในการถ่ายแรงจากโครงสร้างลงสู่ชั้นดิน กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของดินรอบเสาเข็ม (Skin friction) และความสามารถในการรับน้ำหนักของดินที่ปลายเสาเข็ม (End bearing) การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มนั้นสามารถพิจารณาได้จาก (i) วิธีสถิตศาสตร์ (Static Method) โดยประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินในสนาม (Soil Investigation) (ii) วิธีพลศาสตร์ (Dynamic Method) เป็นการประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในขณะที่ทำการตอกเสาเข็มโดยใช้ข้อมูลจากการตอกเสาเข็มได้แก่ น้ำหนักของตุ้ม ความสูงที่ยก และระยะที่เสาเข็มจมลงเมื่อตอก วัสดุรองหัวเสาเข็ม และ (iii) การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนาม ประกอบไปด้วยการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบสถิตย์ (Static

pile load test) และการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ (Dynamic pile load test) ขั้นตอนในการออกแบบ ผู้ออกแบบจะทำการพิจารณาข้อมูลชั้นดินเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม จากนั้นจะทำการระบุขนาดและความยาวของเสาเข็มที่เกิดความปลอดภัย (สิทธิภัสร์ เอื้ออภิวัชร์ และคณะ, 2563)

การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) เป็นงานอีกประเภทหนึ่ง ที่ต้องมีการจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงาน รวมไปถึงการเลือกใช้เทคนิคและวิธีการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการทำงาน เนื่องจากลักษณะของงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ที่มีลักษณะเฉพาะจึงไม่สามารถเลือกใช้วิธีการทำงานโดยการลองผิดลองถูก ดังนั้นในการบริหารการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการทำงานและกำหนดวิธีการก่อสร้างก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ ในการวางแผนงานก่อสร้างนั้น วิธีการคือทำการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ โดยผู้วิเคราะห์สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการจัดสรรทรัพยากรและการวางแผนงานก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านเวลาและต้นทุน โดยมีการจัดเก็บข้อมูลจากกิจกรรมย่อยในภาคสนาม และการวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่น่าเชื่อถือ (ภิรมย์ญา ถิ่นนุช และคณะ, 2563)

บทความนี้ผู้ศึกษาได้เลือกใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า ในโครงการ มาใช้เป็นเครื่องมือในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยที่วางแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น เปลี่ยนเป็นวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน โดยใช้โครงการรถไฟทางคู่ ช่วงนครปฐม-หัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) เป็นกรณีศึกษาเพื่อหาจำนวนเครื่องจักร และคนงานที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงต้นทุน เวลา และการจัดสรรทรัพยากร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการทำงานและการวางแผนในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน)

2. เพื่อลดต้นทุน ลดระยะเวลา และการจัดสรรทรัพยากร ของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาวิธีการทำงานและการวางแผนในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) โดยพื้นที่ที่ทำการวิจัยนั้นอยู่ในพื้นที่โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐม-หัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) งานเจาะเสาเข็มขนาด ø1.20 เมตร ความยาว 22.00 เมตร จำนวน 1,080 ต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาวิธีการทำงานและการวางแผนในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน)

2. ได้ลดต้นทุน ลดระยะเวลา และการจัดสรรทรัพยากร ของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน)

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการลดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึงหัวหิน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำงาน การวางแผนในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) และเพื่อลดต้นทุน ลดระยะเวลา และการจัดสรรทรัพยากร ของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารต่างๆ รวมทั้งแนวความคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเนื้อหาที่จำเป็นต่อการวิจัย ได้นำเสนอเอกสารและงานวิจัย ดังนี้

2.1 ลักษณะของเสาเข็ม

2.2 การออกแบบฐานรากเสาเข็ม (Design of Pile Foundation)

2.3 การประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

2.4 การประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์

2.5 อัตราส่วนความปลอดภัยและค่าการทรุดตัวที่ยอมให้

2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวางแผนงาน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของเสาเข็ม (โกสินทร์ แข่งขัน, 2559)

ประเภทของเสาเข็มอาจแบ่งได้ตามลักษณะการรับกำลัง ตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม และตามรูปแบบการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาการต่อเสาเข็มและการจัดรูปแบบของเสาเข็มในการรองรับอาคาร

2.1.1 การแบ่งประเภทของเสาเข็มตามลักษณะการรับกำลัง

2.1.1.1 เสาเข็มแรงต้านทานส่วนปลาย (End bearing pile) เป็นเสาเข็มที่ตอกลงถึงชั้นดินทรายหรือชั้นดินแข็ง เสาเข็มที่ลงถึงชั้นดินแข็งเพียงพอจะช่วยลดการทรุดตัว โดยเสาเข็มควรจมอยู่ในชั้นดินแข็ง 1-3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสา เหมาะกับงานขนาดใหญ่ เสาเข็มชนิดนี้มีแรงฝืดช่วยรับแรงด้วยแต่เป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับแรงด้านที่ปลาย

2.1.1.2 เสาเข็มแรงฝืด (Friction pile) เป็นเสาเข็มที่ไม่มีชั้นดินแข็งรองรับส่วนปลายเสาเข็ม อาศัยการเกิดแรงฝืดระหว่างผิวของเสาเข็มกับดิน โดยรอบเสาเข็ม เสาเข็มที่ตอกผ่านชั้นดินที่มีความเชื่อมแน่น (ดินเหนียว) จะเกิดแรงฝืดได้ดีกว่าดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (ดินทราย) เหมาะกับงานขนาดเล็ก เสาเข็มชนิดนี้มีแรงด้านที่ปลายช่วยรับแรงด้วยแต่เป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับแรงฝืด

2.1.2 การแบ่งประเภทของเสาเข็มตามชนิดของวัสดุ

2.1.2.1 เสาเข็มไม้ (Timber pile) เป็นเสาเข็มที่หาได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ราคาถูกขนส่งสะดวก มีความสามารถรับน้ำหนักค่อนข้างต่ำจึงจำเป็นต้องตอกเป็นกลุ่ม ส่งผลให้มีฐานรากขนาดใหญ่ ควรตอกให้ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เพื่อป้องกันการผุกร่อนจากปลวกและเห็ดรา ปัจจุบันนิยมใช้เสาเข็มไม้สนและยูคาลิปตัส ตามท้องตลาดระบุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นนิ้วและความยาวเป็นเมตร

2.1.2.2 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforce concrete pile) โดยมากเป็นเสาเข็มที่หล่อในหน่วยงาน ต้องออกแบบเหล็กเสริมตามยาวให้เพียงเพื่อรับโมเมนต์ดัด จากการเคลื่อนย้ายและการตอก ปัจจุบันไม่นิยมมากนักเนื่องจากไม่ประหยัด จึงใช้เข็มคอนกรีตอัดแรงแทน

2.1.2.3 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Prestressed concrete pile) เป็นเสาเข็มที่อาศัยเทคนิคการดึงลวดรับแรงดึงแล้วเทคอนกรีตลงในแบบเมื่อคอนกรีตแข็งจน ได้กำลังจึงทำการตัดลวดรับแรงดึงทำให้เกิดแรงอัดในเสาเข็ม ช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของเสาเข็ม เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรงหรือที่เรียกกัน ทั่วไปว่าเสาเข็มสปัน เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดพิเศษที่ผลิตที่ใช้กรรมวิธีการปั่นคอนกรีตในแบบหล่อซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นสูงกว่าคอนกรีตที่หล่อโดยวิธีธรรมดา จึงมีความแข็งแกร่งสูงรับน้ำหนักได้มาก เสาเข็มสปันมีลักษณะเป็นเสากลมตรงกลางกลวง มักใช้เป็นเสาเข็มเจาะเสียบ (Auger press pile)

2.1.2.4 เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place concrete pile) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเสาเข็มเจาะ เป็นเสาเข็มที่มุ่งเน้นให้เกิดผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงจากการสั่นสะเทือนน้อย สามารถทำความลึกได้มากกว่าเสาเข็มตอก และสามารถควบคุมตำแหน่งได้ดีกว่า แต่มีราคาสูงกว่าในกรณีรับน้ำหนักเท่ากัน

2.1.2.5 เสาเข็มเหล็ก (Steel pile) เป็นเสาเข็มที่ทำจากเหล็กทั้งท่อน ความสามารถรับน้ำหนักได้สูงกว่าเสาเข็มคอนกรีตและไม้ แต่มีราคาแพงและเกิดการผุกร่อนได้ง่ายจากสนิม นิยมใช้กับงานโครงสร้างชั่วคราวที่ต้องรับน้ำหนักมาก แต่ต้องทำการรื้อถอนในภายหลัง

2.1.2.6 เสาเข็มประกอบ (Composite pile) เป็นเสาเข็มที่ประกอบด้วยวัสดุสองชนิดในต้นเดียวกันจุดสำคัญของเสาเข็มชนิดนี้คือรอยต่อต้องแข็งแรงและสามารถถ่ายน้ำหนักจากท่อนบนสู่ท่อนล่างได้อย่างดี

2.1.3 การแบ่งประเภทของเสาเข็มตามรูปแบบการก่อสร้าง

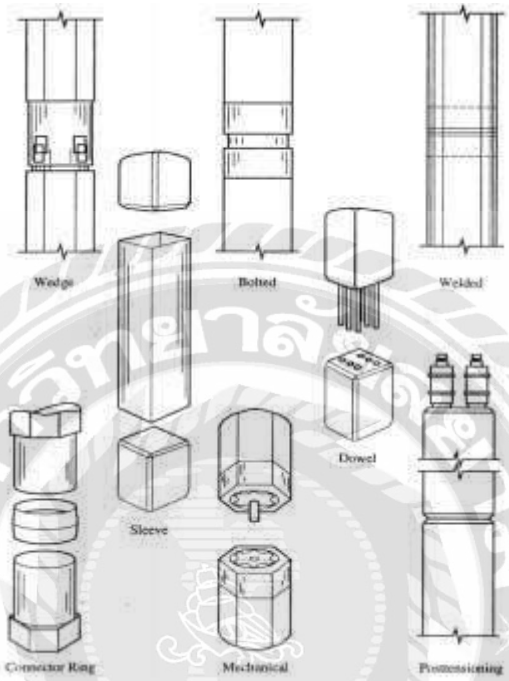
2.1.3.1 เสาเข็มตอก (Driven pile) คือการใช้ปั้นจั่นตอกเสาเข็มลงไปในดินจนได้ความลึกที่ต้องการเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากวิธีการก่อสร้างไม่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายไม่สูง แต่ในปัจจุบันมีปัญหาในการก่อสร้างในพื้นที่ที่มีอาคารรอบข้าง เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนในการตอก และการเคลื่อนตัวของดินที่ถูกแทนที่ด้วยเสาเข็ม เนื่องจากการตอกเสาเข็มมักกระทำโดยผู้รับจ้างซึ่งไม่ใช่วิศวกรการควบคุมการตอกจึงกระทำโดยวิศวกรผู้รับผิดชอบโครงการนั้นซึ่งมีประเด็นสำคัญที่ควรทราบหลายประการ

2.1.3.2 เสาเข็มเจาะหล่อในที่ (Bored pile) คือเสาเข็มที่ก่อสร้างโดยหล่อคอนกรีตลงไปในดินที่ถูกเจาะเป็นหลุมไว้ล่วงหน้าให้เต็ม เป็นวิธีก่อสร้างที่ช่วยแก้ปัญหาที่พบในการใช้เสาเข็มตอกทั้งการขนย้ายเสาเข็มเข้าพื้นที่ก่อสร้าง การรบกวนอาคารรอบข้างเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจากการตอก รวมทั้งการควบคุมตำแหน่งและแนวของเสาเข็ม การเจาะอาจกระทำโดยกระบวนการแห้ง (Dry process) คือการเจาะโดยไม่ต้องใช้น้ำช่วยสำหรับกรณีที่ดินข้างหลุมเจาะมีเสถียรภาพ หากดินข้างหลุมเจาะพังทลายต้องใส่น้ำผสมสารเบนโทไนท์หรือโพลิเมอร์ลงไปในหลุมเพื่อช่วยพยุงดินข้างหลุม เรียกว่ากระบวนการเปียก (Wet process) สำหรับการเจาะดินสามารถกระทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเจาะแบบหมุน (Rotary type) แบบขุด (Excavation type) และการเจาะแบบทุ่งกระแทก (Percussion type) ซึ่งเป็น วิธีที่ง่ายที่สุดเหมาะกับการก่อสร้างขนาดเล็กในพื้นที่แคบ การควบคุมคุณภาพของการก่อสร้างมีส่วนที่สำคัญคือการกำหนดตำแหน่งของเสาเข็ม การควบคุมแนวการเจาะให้ได้แนวดิ่ง ความสะอาดและเรียบร้อยของหลุมเจาะ การติดตั้งเหล็กเสริม และการเทคอนกรีต หากการก่อสร้าง เสาเข็มเจาะกระทำโดยบริษัทที่ดีและมีประสบการณ์แล้ว วิศวกรของบริษัทจะเป็นผู้ควบคุมดูแลคุณภาพของเสาเข็มเจาะ

2.1.3.3 เสาเข็มเจาะเสียบ (Auger press pile) เป็นการใช้เสาเข็มสำเร็จรูป ติดตั้งโดยการเจาะดินให้เป็นรูขนาดเล็กกว่าขนาดเสาเข็มเล็กน้อยแล้วกดเสาเข็มลงไปในรูเป็นการแก้ปัญหาการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวของดิน วิธีนี้สามารถใช้การตอกแทนกดได้ซึ่งนอกจากลดปัญหาการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวของดินแล้ว ยังช่วยในกรณีที่ต้องตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินที่แข็งแรงมาก นิยมใช้เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงซึ่งมีรูกลวงตรงกลาง โดยในระหว่างที่กดเสาเข็มลงไปนั้น สว่านซึ่งใส่

อยู่ในรูเสาเข็มก็จะหมุนเพื่อนำดินขึ้นมา เมื่อกดเสาเข็มพร้อมกับเจาะดินจนเสาเข็มจมลงใกล้ระดับที่ต้องการก็หยุดกด ดึงดอกสว่านออกแล้วตอกด้วยลูกตุ้มจนได้ระดับที่ต้องการ

2.1.4 การต่อเสาเข็ม



ภาพที่ 2-1 รูปแบบการต่อเสาเข็ม

2.1.5 การจัดรูปแบบของเสาเข็ม

เนื่องจากในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นเสาเข็มตอก เป็นไปไม่ได้เลยที่จะทำให้ศูนย์กลางของเสาเข็มอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง หากใช้เสาเข็มเดี่ยวเมื่อก่อสร้างตอม่อต่อจากเสาเข็มศูนย์กลางของตอม่อจะไม่ตรงกับศูนย์กลางของเสาเข็ม หากต้องการใช้เสาเข็มเดี่ยวหรือเข็มคู่ต้องทำคานยึดที่หัวเสาเข็ม

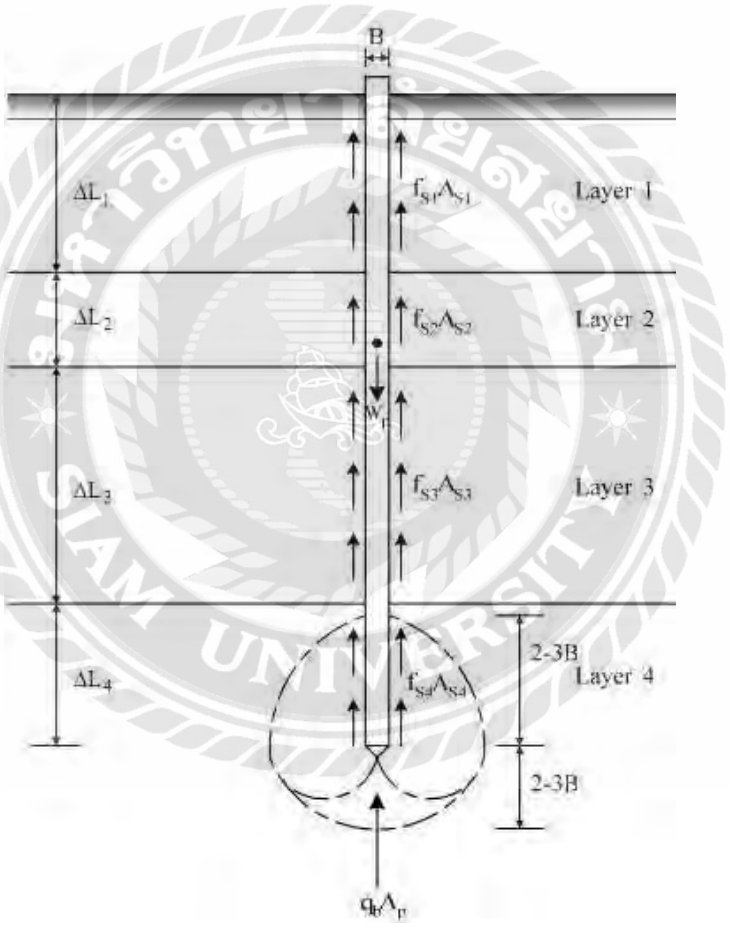
2.2 การออกแบบฐานรากเสาเข็ม (Design of Pile Foundation)

2.2.1 การถ่ายทอดน้ำหนักบรรทุก (Load Transfer)

ฐานรากเสาเข็มตอก คือฐานรากเสาเข็มที่มีความทนทาน เนื่องจากใช้การตอกลงไปในดิน โดยอาศัยความเสียดทานของดินและการแบกรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็มรับน้ำหนักของตัวอาคาร นิยมใช้ในพื้นที่ชั้นดินอ่อน

ฐานรากเสาเข็มเจาะ คือฐานรากเสาเข็มชนิดหนึ่งที่จะใช้วิธีการขุดลงไปในดิน แล้วทำการหย่อนเสาเข็มลงไปเป็นแบบ แล้วจึงเทคอนกรีตตามลงไป ซึ่งจะสามารถคำนวณการใช้เสาเข็มตามการรับน้ำหนักได้อย่างเหมาะสม

ในกรณีที่ชั้นดินในระดับตื้นมีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะรับน้ำหนักบรรทุกจากอาคาร ต้องใช้ฐานรากเสาเข็มแทนฐานรากแผ่เสาเข็มมีหลักการทำงานคือถ่ายทอดน้ำหนักบรรทุกลงสู่ชั้นดินลึกโดยอาศัยแรงเสียดทานที่ผิว (Skin Friction) และแรงด้านที่ปลาย (End Bearing) เสาเข็มดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากอาคารลงดินโดยเสาเข็ม

เสาเข็มเดี่ยวถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างสู่ดินโดยผ่านความเสียดทานระหว่างเสาเข็ม และดิน (Skin friction) และแรงแบกทานที่ปลายเข็ม (End ความเสียดทานระหว่างเสาเข็มและดิน คือผลรวมของแรงเสียดทานอันเกิดจากแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างเสาเข็มและดิน ตลอดความยาวเสาเข็มส่วนแรงแบกทานที่ปลายเข็มคือกำลังรับแรงแบกทานของดินที่ปลายเข็ม

2.3 การประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

มี 2 ลักษณะคือการวิบัติของวัสดุเสาเข็ม (Pile Material Failure) และการวิบัติของดิน (Soil Failure) การออกแบบที่ดีคือการออกแบบให้น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้เนื่องจากการวิบัติของวัสดุ และเนื่องจากการวิบัติของดินมีค่าใกล้เคียงกัน

2.3.1 การวิบัติของวัสดุเสาเข็ม

การคำนวณน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้อันเกิดจากการวิบัติของวัสดุพิจารณาน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มต้องไม่เกินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเหล็กและของคอนกรีต (หลังจากติดตั้งเสาเข็มเหล็กถูกกรอกด้วยคอนกรีตเพื่อเป็นการเสริมกำลังและป้องกันการกัดกร่อน) สำหรับกำลังของเสาเข็มเหล็กและกำลังของเสาเข็มเหล็กแกนคอนกรีต (concrete-filled steel pile) คำนวณจาก (Bowles, 1988 and Das, 2004 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 8)

$$P_{a(steel)} = f_s A_p \tag{2-1}$$

$$P_{a(com)} = f_s A_p + f_c A_c \tag{2-2}$$

เมื่อ $P_{a(steel)}$ และ $P_{a(com)}$ คือ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มเหล็กและเสาเข็มเหล็ก แกนคอนกรีต A_p และ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดเสาเข็มเหล็กและหน้าตัดของเสาเข็มเหล็กแกนคอนกรีต การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเหล็กและเสาเข็มเหล็กแกนคอนกรีตใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน (working stress) ภายใต้สมมติฐานดังนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นเส้นตรงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเหล็กและคอนกรีตไม่เกินความเค้นใช้งาน

2) เสาเข็มเหล็กแกนคอนกรีตเป็นวัสดุประกอบ (composite material) ที่มีการเหนี่ยวกันระหว่างเสาเข็มและคอนกรีตเป็นอย่างดี

3) น้ำหนักกระทำเป็นแรงอัดตามแนวแกนปราศจากการเยื้องศูนย์

4) ไม่เกิดการโก่งเคาะด้านข้าง (lateral buckling) ของเสาเข็ม

5) การหดตัวของเสาเข็มในขณะใช้งานมีน้อยมาก

การคำนวณพื้นที่หน้าตัดเสาเข็มเหล็กเพื่อเป็นการประมาณอายุการใช้งานของเสาเข็มเหล็กผู้วิจัยจะพิจารณาอัตราการสึกกร่อนของเสาเหล็กตามคำแนะนำของว.ส.ท. 1007-34 (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 8) เท่ากับ 0.05 มิลลิเมตรต่อปี (Camitz, 1994 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 8) f_s คือความเค้นที่ยอมให้ของเหล็กมีค่า

เท่ากับ $0.6f_y$ ตามข้อกำหนดของ ว.ส.ท.1015-40 (ทักษิณ, 2541 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 8) เมื่อ f_y คือความเค้นที่จุดครากของเหล็กและ f_c คือความเค้นที่ยอมให้ของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $0.25f_c'$ ตามมาตรฐานของว.ส.ท.1007-34 (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 8) เมื่อ f_c' คือ กำลังประลัยของคอนกรีต

2.3.2 การวิบัติของดิน

การประมาณความสามารถในการรับกำลังของเสาเข็มเนื่องจากการวิบัติของดินเพื่อใช้ในการเลือกหน้าตัดความยาวเสาเข็มและจำนวนเสาเข็มสามารถแบ่งได้ 3 วิธี คือ

1) การทดสอบเสาเข็มจริงในสนาม

2) การวิเคราะห์แบบสถิตศาสตร์ (static formula) โดยอาศัยผลการทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการและในสนาม

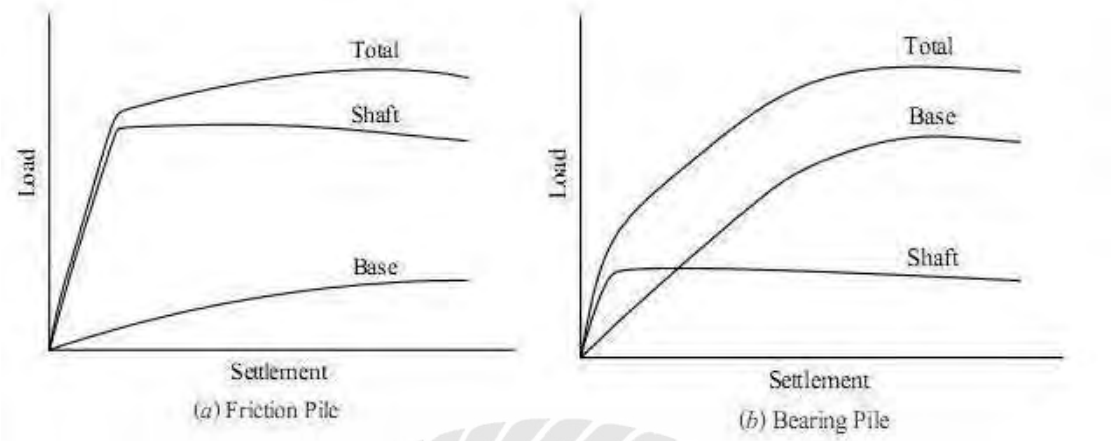
3) การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ (dynamic formula) ซึ่งคำนวณกำลังรับน้ำหนักจากการตอกเสาเข็ม

2.4 การประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์

วิธีการประมาณกำลังรับน้ำหนักของเข็มโดยวิธีสถิตศาสตร์ (static method) (U.S. Army, 1992 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 9) กล่าวคือกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มประกอบด้วยแรงเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม (skin friction) และแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม (end bearing) ซึ่งจะมีการกระจายของแรงทั้งสองที่แตกต่างกันจากหลักการพื้นฐานของการสมดุลจะได้ว่า

$$P_u = P_{skin} + P_{bearing} \tag{2-3}$$

P_u คือ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยสุทธิของเสาเข็ม P_{skin} คือ แรงเสียดทานประลัยระหว่างดินและเสาเข็มและ $P_{bearing}$ คือกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ปลายเสาเข็มเนื่องจากดินเป็นวัสดุที่มีสติฟเนส (stiffness) ต่ำดังนั้นจำเป็นต้องมีอัตราส่วนปลอดภัยที่สูงมากในการออกแบบเพื่อป้องกันการทรุดตัวที่มากเกินไปอัตราส่วนปลอดภัยจะมีค่าแตกต่างกันระหว่าง P_{skin} และ $P_{bearing}$ เนื่องจากแรงเสียดทานของเสาเข็มและดินสามารถเกิดได้อย่างเต็มที่เมื่อเกิดการเคลื่อนตัวเพียงแค่ประมาณร้อยละ 0.5 ของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มขณะที่กำลังรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็มจะเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่เมื่อเกิดการเคลื่อนตัวประมาณร้อยละ 15 ถึง 20 ของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ดังภาพ 2-3



ภาพที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็ม

ดังนั้นในการออกแบบน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มเดี่ยวจึงมักใช้อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.5 และ 3.0 สำหรับ P skin และ P bearing ตามลำดับ (Burland, 1973 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 10)

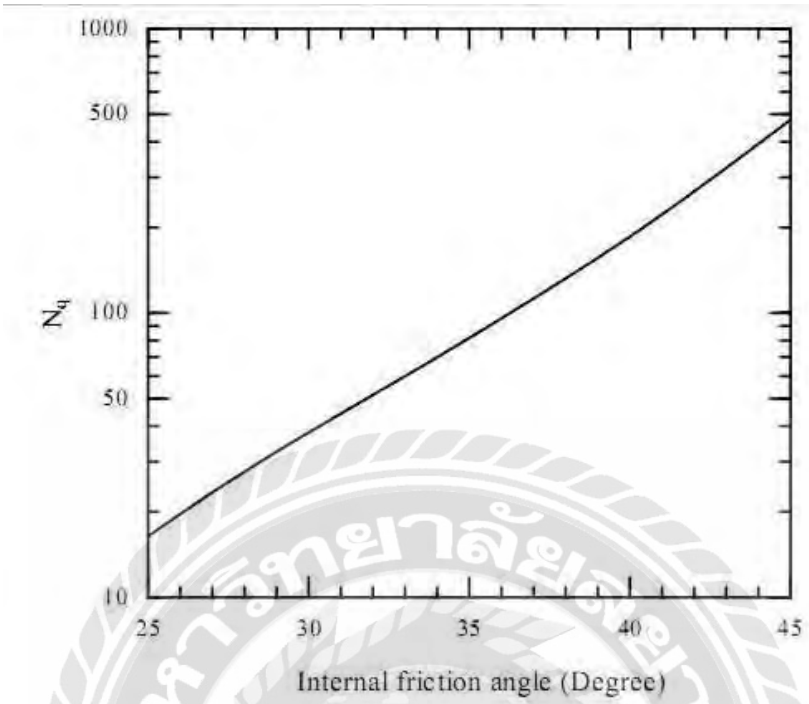
2.4.1 การออกแบบเสาเข็มในชั้นทราย

เสาเข็มในชั้นทรายส่วนมากจะมีพฤติกรรมเป็นเสาเข็มดาลซึ่งมีแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มการคำนวณน้ำหนักบรรทุกประลัย ของเสาเข็มสามารถกระทำได้โดยอาศัยทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานการทดสอบการทะลุทะลวง แบบใช้กรวยการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐานและสมการการตอกเสาเข็ม งานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มในชั้นดินที่เป็นชั้นดังสมการ

$$P_u = P_{skin} + P_{bearing} \tag{2-4}$$

$$P_u = K\sigma'_{v,ave}pLtan\delta + P_b\sigma'_v N_q \tag{2-5}$$

เมื่อ P_u คือกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยสุทธิของเสาเข็ม P_{skin} คือแรงเสียดทานประลัยระหว่างดิน และเสาเข็มในชั้นทราย $P_{bearing}$ คือกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ปลายเสาเข็มในชั้นทราย P คือ เส้นรอบรูป L คือความยาวของเสาเข็ม K คือสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง $\sigma'_{v,ave}$ คือความเค้นประสิทธิผลเฉลี่ย δ' คือมุมเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม A_b คือพื้นที่หน้าตัดปลายเสาเข็ม σ'_{vb} คือความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งที่ปลายเสาเข็มและ N_q คือตัวแปรกำลังรับแรงแบกทาน



ภาพที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงค่า Nq กับมุมเสียดทานภายใน

ตารางที่ 2-1 มุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มและทราย

ผิวสัมผัส	δ/ϕ'
ทราย/คอนกรีตผิวหยาบ	1.0
ทราย/คอนกรีตผิวเรียบ	0.8-1.0
ทราย/เหล็กผิวหยาบ	0.7-0.9
ทราย/เหล็กผิวเรียบ	0.5-0.7
ทราย/ไม้	0.8-0.9

ตารางที่ 2-2 สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง

ชนิดเสาเข็มและวิธีการติดตั้ง	K/K_0
เสาเข็มฉีดน้ำ	0.5-0.67
เสาเข็มหล่อในที่	0.67-1.00
เสาเข็มตอกชนิดเคลื่อนตัวน้อย	0.75-1.25
เข็มตอกชนิดเคลื่อนตัวน้อย	1.0-2.0

ตารางที่ 2-3 ขอบเขตค่าความเค้นที่ผิวและที่ปลายเสาเข็มในชั้นทราย (API 1981)

ชนิดของดิน	$f_{si}(Ton/m^2.)$	$q_{bl}(Ton/m^2.)$
ทรายและดินตะกอนหลวมถึงหลวมมาก	4.8	190
ดินตะกอนแน่น ทรายหลวม ทราย/ตะกอนแน่นปานกลาง	6.7	290
ดินตะกอนแน่น ทรายแน่นปานกลาง ทราย/ตะกอนแน่น	8.0	480
ทรายแน่น ทราย/ตะกอนแน่นมาก	9.6	960
กรวดแน่น ทรายแน่นปานกลาง	11.5	1200

2.4.2 การออกแบบเสาเข็มในชั้นดินเหนียว

การออกแบบน้ำหนักบรรทุกประลัยสิทธิของเสาเข็มในชั้นดินเหนียวแรงเสียดทานระหว่างเสาเข็มและดินและแรงแบกทานประลัยที่ปลายเสาเข็มในชั้นดินเหนียวแข็งคำนวณได้จากสมการ

$$P_u = P_{skin} + P_{bearing} \quad (2\text{-}6)$$

$$P_{skin} = \alpha s_u p L \quad (2\text{-}7)$$

$$P_{bearing} = N_c S_u A_p \quad (2\text{-}8)$$

เมื่อ S_u คือกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาพไม่ระบายน้ำ P คือเส้นรอบรูปของเสาเข็ม L คือความยาวของเสาเข็มส่วนที่สัมผัสกับดิน α คือแฟคเตอร์ความยึดเหนี่ยว (adhesion factor) A_b คือพื้นที่หน้าตัดปลายเสาเข็ม N_c คือพารามิเตอร์กำลังรับแรงแบกทาน (bearing capacity factor) มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้ประเมินค่าของ N_c อาทิเช่น

Skempton (1951) $6.14 \leq N_c \leq 9$ อัตราความยาวต่อความกว้างของเสาเข็ม ≥ 4

Skempton (1951) $N_c = 9$ ยืนยันด้วยผลการทดสอบของ London Clay

Sowers et al (1961) $5 \leq N_c \leq 8$ จากการทดสอบแบบจำลอง

Mohan & Jain (1961) $5.7 \leq N_c \leq 8.2$ ดินเหนียวขยายตัว (Expansive Clays)

Ladanyi (1963) $7.4 \leq N_c \leq 9.3$ ดินเหนียวที่มีความไวตัวต่ำ (Insensitive Clays)

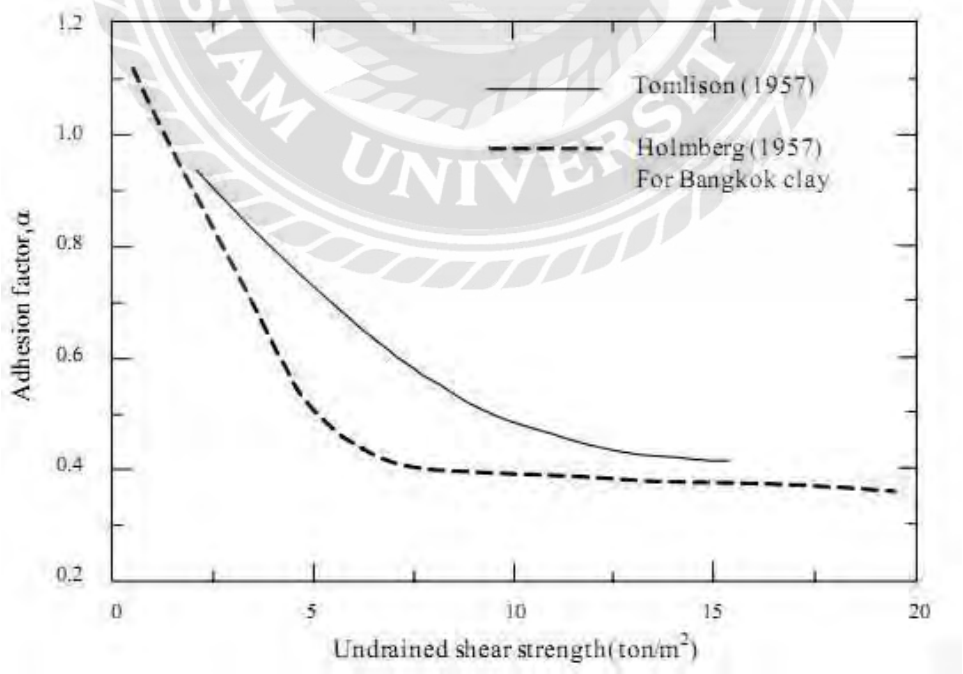
Bowles (1986) $N_c = 5.74$ เหมาะสมกับฐานรากตื้น

Tomlinson (1986) $N_c = 9$ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างที่ปลายเข็ม ≥ 5

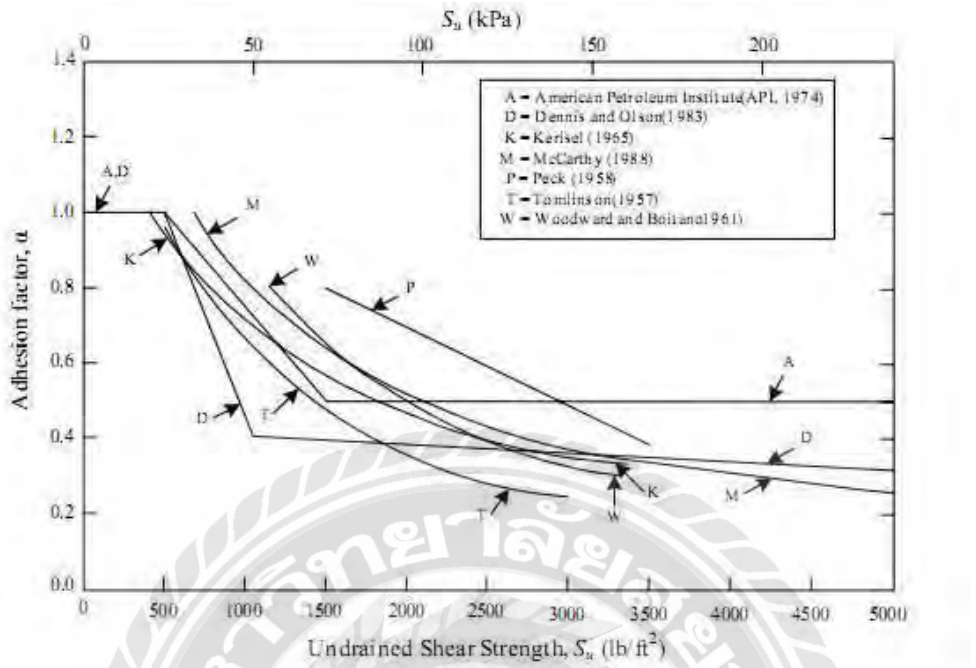
จากสมการประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะเห็นได้ว่าคำนวณได้ไม่ยากนัก เนื่องจาก ค่า N_c สามารถแทนค่าด้วย 9 ในกรณีเป็นดินเหนียวไร้พันธะเชื่อมประสานและอัดตัวมากกว่าปกติ และอัตราส่วนระหว่างความยาวของเสาเข็มกับขนาดของเสาเข็มมีค่าสูงประมาณ 30

2.4.3 แฟคเตอร์ยึดเกาะ

เสาเข็มเจาะ Skempton (1966 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 13) แนะนำให้ใช้ค่าแฟคเตอร์แรงยึด เกาะเท่ากับ 0.45 โดยไม่แปรผันตามค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ



ภาพที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง S กับ A



ภาพที่ 2-6 ค่า ณ ที่ได้จากการทดสอบกำลังเข็ม

2.5 อัตราส่วนความปลอดภัยและค่าการทรุดตัวที่ยอมให้

การออกแบบต้องพิจารณาการใช้อัตราความปลอดภัยและค่าการทรุดตัวที่ยอมให้ ดังนี้

1) เลือกใช้อัตราความปลอดภัยที่เหมาะสมตารางที่ 2-4 แสดงค่าอัตราส่วนปลอดภัย แนะนำไว้ในมาตรฐาน Engineer Manual 1110-1-1905 (U.S. Army., 1992) จะเห็นได้ ว่าอัตราส่วนปลอดภัยสามารถลดลงได้เมื่อใช้วิธีการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่มีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น

ตารางที่ 2-4 ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (U.S. Army, 1992 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 14)

ลักษณะของโครงสร้าง	ค่าอัตราส่วนปลอดภัย
กำแพงกันดิน	3.0
งานดินขุด	3.0
งานสะพานไฟ	4.0
ถนน ทางหลวง	3.5
อาคาร ไซโล	2.5
โกดัง คลังสินค้า	2.5
อาคารสำนักงาน	30

ตารางที่ 2-4 (ต่อ)

ลักษณะของโครงสร้าง	ค่าอัตราส่วนปลอดภัย
อาคารสาธารณะ	3.5
งานฐานรากตื้น	3.0
งานฐานรากแพ	3.0
งานฐานรากลึก การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม	2.0
การทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยวิธีวัดการสะท้อนกลับของคลื่น	2.5
การประเมินน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์	3.0
สำหรับชั้นดินหลายชั้น	4.0
สำหรับกลุ่มของเสาเข็ม	3.0

2) การทรุดตัวต้องไม่เกินค่าที่ยอมให้การทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน (differential settlement) ของฐานรากอาคารเป็นค่าผลต่างของการทรุดตัวระหว่างฐานรากที่อยู่ติดกันการทรุดสูงสุดของฐานราก (maximum total settlement) อาจไม่ก่อให้เกิดการทรุดตัวที่ต่างกันมากที่สุดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของฐานรากจะก่อให้เกิดการบิดตัวของอาคาร (distortion) ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวที่แตกต่างกันหารด้วยความยาวของช่วงเสาที่พิจารณาค่าการทรุดตัวที่แตกต่างกันสูงสุดที่ยอมให้แสดงในตารางที่ 2-5 และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างกันวิศวกรควรออกแบบให้ฐานรากแต่ละฐานมีการทรุดตัวไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ ดังแสดงในตารางที่ 2-6 ในส่วนของฐานรากแผ่ ฐานรากชนิดนี้เป็นฐานรากที่ก่อสร้างได้ง่ายที่สุด ไม่ซับซ้อน ลดขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มไป ทำให้การก่อสร้างรวดเร็วและประหยัดงบประมาณการก่อสร้าง แต่มีข้อจำกัดในการเลือกใช้ คือต้องก่อสร้างบนพื้นดินที่เป็นดินแข็ง ไม่ควรก่อสร้างบนชั้นดินอ่อน เพราะอาจทำให้โครงสร้างอาคารทรุดเสียหายได้ เหมาะสำหรับบริเวณพื้นที่ภาคเหนือภาคอีสาน

ตารางที่ 2-5 ค่าการทรุดตัวแตกต่างกันสูงสุดที่ยอมให้ (Skempton and McDonald , 1956 อ้างถึงในโกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 15)

ลักษณะของอาคาร	ค่าการทรุดตัวที่แตกต่างกันสูงสุดที่ยอมให้ (หน่วยตามความยาว)
งานสถาปัตยกรรม เช่น ผนัง	L/300
โครงสร้างหลัก เช่น เสา คาน	L/150

ตารางที่ 2-6 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของการทรุดตัวสำหรับการออกแบบฐานราก (Cuduto , 2001 อ้างถึงใน โกสินทร์ แข่งขัน, 2559, น. 16)

ลักษณะของโครงสร้าง	ค่าการทรุดตัวสูงสุดที่ยอมให้	
	(นิ้ว)	(มิลลิเมตร)
อาคารสำนักงาน อาคารโรงงานขนาดใหญ่ สะพาน	0.5-2.0 (1.0 เป็นค่าที่นิยมใช้) 1.0-3.0 2.0	12-50 (1.0 เป็นค่าที่นิยมใช้) 25-75 50

2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวางแผนงาน

2.6.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (เฉลิมพล พรมทอง, 2561)

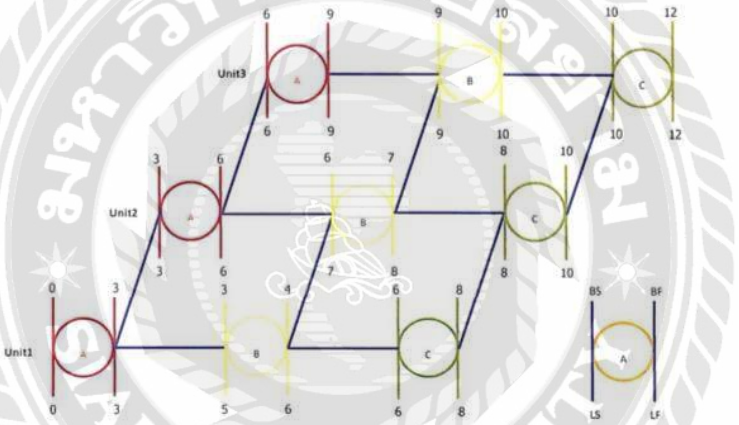
เทคนิคการวิเคราะห์การกำหนดเวลาการทำงาน มีผู้ที่เกี่ยวข้องหลากหลายตำแหน่ง เช่น ผู้จัดการโครงการ วิศวกร หรือแม้กระทั่งตำแหน่งโฟร์แมน จะมีการวางแผนการทำงานซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายเทคนิค คือ วิธี Critical Path Method (CPM) วิธี Gantt chart (Bar chart) วิธี Critical Chain Project Management (CCPM) วิธีLine-Of-Balance (LOB) วิธี Linear-Scheduling-Method (LSM) วิธีRepetitive-Scheduling-Method (RSM) และวิธี Time- cost trade-off (TCT) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1.1 วิธี Critical Path Method (CPM)

วิธี CPM มีพัฒนาขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2500 โดย เจ.อี. เคลลี (J.E. Kelly) แห่งบริษัทมิงตัน แรนด์ (Remington rand) ร่วมกับ เอ็ม. อาร์. วอล์กเกอร์ (M.R. Walker) แห่งบริษัทดูปองต์ (Dupont) เพื่อใช้ในโครงการก่อสร้าง และซ่อมบำรุงเครื่องจักรในโรงงานเคมี โดยเน้นในด้านการวางแผนและควบคุมเวลาตลอดจนค่าใช้จ่ายโครงการการวางแผนงานก่อสร้างที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีการวางแผน แบบ Critical Path Method (CPM) เมื่อนำมาใช้วางแผนในโครงการก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำๆ กัน โดยการกำหนดให้กลุ่มคนงานก่อสร้างแบ่งแยกหน้าที่อย่างชัดเจนขึ้นตามประเภทของกิจกรรม อาจทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของการทำงานในบางกิจกรรมขึ้น ยกตัวอย่างโครงการ X ประกอบไปด้วยหน่วยก่อสร้างจำนวน 3 หน่วย ในแต่ละหน่วยแบ่งออกเป็น 3 กิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรม A B และ C ความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมเป็น แบบ FTS (Finish to Start)

และระยะเวลาในการทำงานของแต่ละกิจกรรม (Duration) แสดงในผังวงจรกำหนดก่อน (Precedence Diagram Method: PDM) ดังภาพที่ 2-7 คำนวณวันเริ่มต้นและวันที่แล้วเสร็จของแต่ละกิจกรรมตามวิธีการวางแผนแบบ CPM โดยการเริ่มงานได้เร็วสุด (Early Start: ES) และ การเริ่มงานช้าสุด (Late Start : LS) แสดงดังภาพที่ 2-8

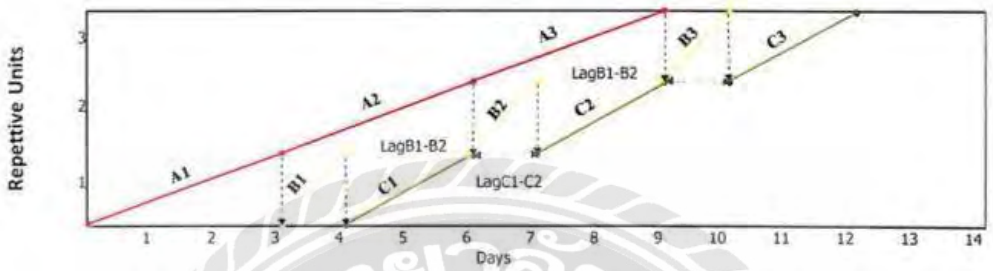
ภาพที่ 2-7 ผังวงจรกำหนดก่อนของ 1 หน่วยก่อสร้าง



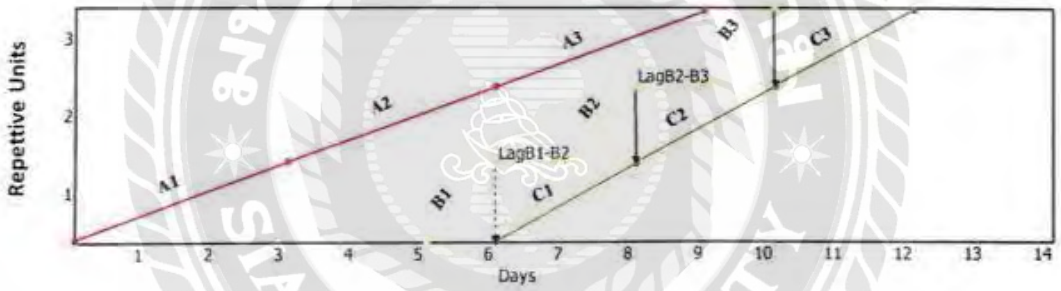
ภาพที่ 2-8 การวางแผนแบบ CPM ของโครงการ X

จากความสัมพันธ์และระยะเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรม ในโครงการ X สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบของกราฟเส้น โดยแกนตั้งแสดงปริมาณงานที่ทำได้และแกนนอนเป็นระยะเวลา กิจกรรมก่อสร้างแต่ ละกิจกรรมจะถูกแทนด้วย เส้นตรงที่มีความขันแสดงถึงอัตราการทำงานของกลุ่ม คนงานแต่ละกลุ่ม แผนการ ทำงานตามเงื่อนไขการทำงาน เกิดขึ้นเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Early Start : ES) แสดงได้ ดังภาพที่ 2-9 ซึ่งจะ เห็นความไม่ต่อเนื่องของกิจกรรม B เกิดขึ้น ระหว่างหน่วยการทำงานที่ 1 และ 2 (Lag B1-B2) และ ระหว่าง หน่วยการก่อสร้างที่ 2 และ 3 (Lag B2-B3) ส่วน กิจกรรม C เกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้นระหว่างหน่วยก่อสร้างที่ 1 และ 2 (Lag C1-C2) และระหว่างหน่วยก่อสร้างที่ 2 และ 3 (Lag C2-C3) ส่วนการวางแผนด้วยวิธี CPM ภายใต้เงื่องไข การเริ่มงานช้าสุด (Late Start : LS) แสดงในภาพที่ 2-10 ซึ่งจากรูปจะพบความไม่ต่อเนื่องของ กิจกรรม B ระหว่างหน่วยก่อสร้างที่ 1 และ 2 (Lag B1-B2) และระหว่างหน่วยก่อสร้าง ที่ 2 และ 3 (Lag B2-

B3) จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นว่า แผนงานที่ได้จากการวางแผนแบบ CPM ภายใต้ทั้งสองเงื่อนไขอาจก่อให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของการทำงานขึ้น ในกรณีที่ระยะเวลาการทำงานของแต่ละกิจกรรมมีค่าที่เท่ากันเส้นกราฟที่แสดงถึงอัตราการทำงานของทุกกิจกรรมขนานกันและจะมีความต่อเนื่องในทุกกิจกรรมของการก่อสร้าง



ภาพที่ 2-9 การวางแผนแบบ CPM (ES)



ภาพที่ 2-10 การวางแผนแบบ CPM (LS)

2.6.1.2 วิธีแผนภูมิแกนต์ (Gantt chart)

Gantt chart เป็นเทคนิคที่คิดขึ้นประมาณปี พ.ศ. 2461 โดยเฮนรี่ แอล.แกนต์ (Henry L, Gantt) เพื่อใช้ในการวางแผนเกี่ยวกับเวลา เป็นวิธีที่งานยอมรับและเป็นที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากจนถึงปัจจุบันนี้ทั้งในธุรกิจเอกชนและงานภาครัฐ โดยมีลักษณะเป็นแถบแนวนอนซึ่งเรียกกันว่า Bar Chart หรืออาจเรียกตามชื่อของผู้คิดค้นว่า Gantt Char โดยจะใช้เป็นเครื่องมือช่วยการปฏิบัติงานของผู้บริหาร ในการดำเนินการแก้ไขควบคุม การวางแผนที่เหมาะสม เพื่อช่วยสนับสนุนให้การ ดำเนินงานบรรลุเป้าหมาย และวัตถุประสงค์ของโครงการ อย่างมีประสิทธิภาพ ผังในลักษณะนี้จะแสดงถึง ปริมาณงานและกำหนดเวลาที่จะต้องใช้ เพื่อทำงานนั้นให้ลุล่วง เป็นแผนภูมิในรูปของกราฟแท่งที่ ประกอบด้วย แกนหลัก 2 แกน คือ แกนนอนแสดงถึงเวลาในการทำงานตลอดโครงการ และแกนตั้งแสดงถึงงานหรือกิจกรรมที่ต้องทำ แท่งกราฟวางตัวในแนวนอนความยาวของแท่งกราฟเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาในการทำงาน แต่อย่างไรก็ตาม แผนงานนี้

ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ไม่สามารถใช้วางแผนงานที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อนมาก ๆ ได้ ไม่สามารถระบุงานที่ต้องการควบคุมอย่างใกล้ชิดได้ ไม่สามารถแสดงรายละเอียดความสัมพันธ์ของแต่ละงานได้ และไม่สามารถแสดงให้ทราบล่วงหน้าได้ว่างานนั้นจะเสร็จตามเป้าหมายได้ แสดงดังภาพที่ 2-11

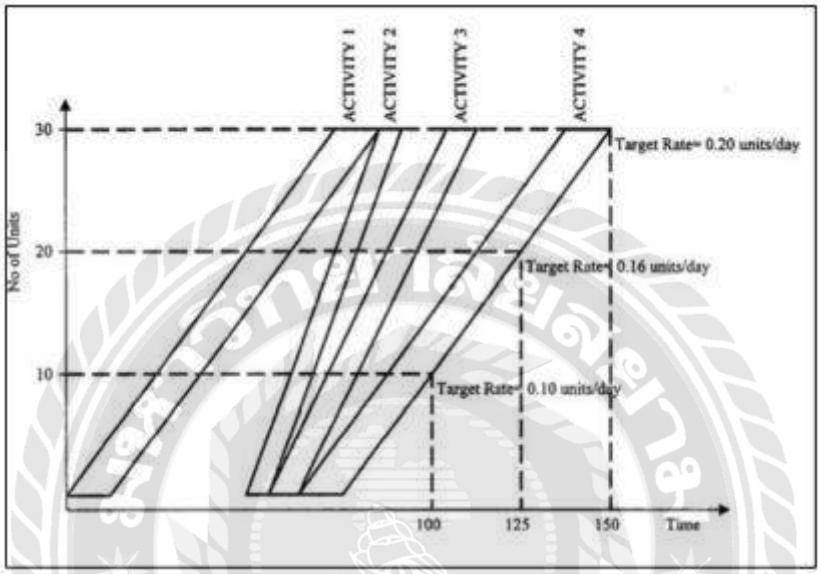
ภาพที่ 2-11 การจัดทำแผนกำหนดการแบบแผนภูมิแกนต์

จากแผนภูมิจะเห็นว่า แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้แสดงกิจกรรมแต่ละกิจกรรมนั้น จะบอกถึงระยะเวลาที่ใช้ จุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด ของกิจกรรมแต่ละกิจกรรม เช่น กิจกรรม ก. ใช้เวลาทำงาน 2 สัปดาห์ เริ่มต้นที่ สัปดาห์ที่ 1 และสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้น แต่ Gantt Chart ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆได้อย่างชัดเจน ข้อจำกัดคือ ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างงานย่อย ๆ ต่าง ๆ จึงบอกไม่ได้ว่ากิจกรรมใดบ้างที่ต้องทำให้เสร็จก่อนจะเริ่มต้นกิจกรรมอื่น กิจกรรมใดสามารถล่าช้าได้ เท่าใดโดยไม่กระทบต่อกิจกรรมอื่นหรือต่อความสำเร็จของโครงการและไม่สามารถบอกได้ว่าควรจะใช้ ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างไร ให้บริหารโครงการได้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นแผนภูมิแกนต์จึงใช้ทั่วไปในโครงการที่ไม่ซับซ้อนนัก

2.6.1.3 วิธี Line-Of-Balance (LOB)

การวางแผนโดยวิธี Line-of-Balandce (LOB) เป็นวิธีการวางแผนงานที่ถูกเริ่มต้นนำมาใช้โดยบริษัท Goodyear ในปี ค.ศ. 1940 จากนั้นในปี ค.ศ. 1950 ทางกองทัพเรือของประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาต่อโดยได้นำไปใช้ในการวางแผนและควบคุมการทำงานซ้ำๆ กัน ในการวางแผนงานก่อสร้างจะใช้ เส้นกราฟที่แสดงถึงอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม ดังภาพที่ 2-12 โดยใช้แนวความคิดพื้นฐานให้งานมีอัตรา การทำงานที่สม่ำเสมอซึ่งจะแสดงในรูปของความชันมีหน่วยเป็นหน่วยการทำงานต่อระยะเวลา โดยข้อดีของ LOB คือ จะแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมใดที่

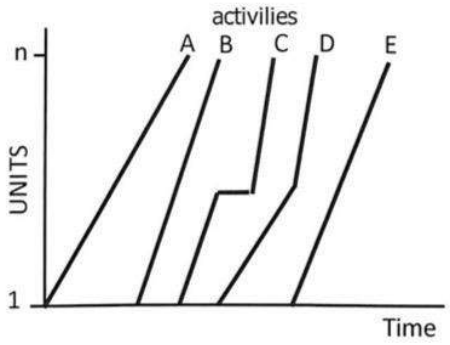
กำลังทำอยู่ ซึ่งทำให้ติดตามความก้าวหน้าได้สะดวกและสามารถ ทราบถึงปริมาณทรัพยากรที่ต้องใช้ในแต่ละช่วงเพื่อสามารถสร้างงานตามจำนวนที่ต้องการได้ อีกทั้งสามารถเขียนแผนการทำงานของงานที่มีจำนวนมากและหลายกิจกรรมให้มองเห็นในแผนภาพที่ชัดเจนได้ แต่ข้อจำกัด ของวิธี LOB คือ การที่ไม่สามารถที่จะแสดงให้เห็นถึงกิจกรรมที่วิกฤติของโครงการได้



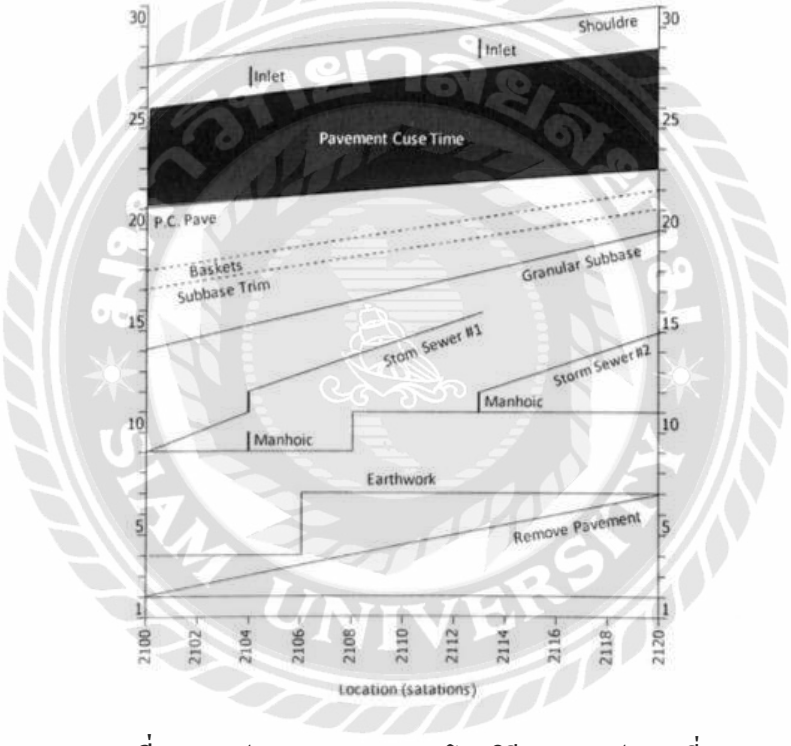
ภาพที่ 2-12 ตัวอย่างการวางแผนงานก่อสร้างโดยวิธี LOB

2.6.1.4 วิธี Linear-Scheduling-Method (LSM)

การวางแผนที่มีลักษณะซ้ำกันที่อาศัยกราฟเส้น บางครั้งอาจเรียกวิธี linear scheduling-method (LSM) การวางแผนด้วยวิธี LSM มีประโยชน์มากเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างเชิงเส้น (linear construction) อย่างไรก็ตามเนื่องจากเทคนิคการวางแผนนี้จำเป็นต้องอาศัยกราฟฟิกในการวางแผน ดังนั้นจึง ยากที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการวางแผนนี้สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ 1. แนวแกนนอนเป็นหน่วยของเวลา แนวแกนตั้งเป็นจำนวนหน่วยก่อสร้าง 2. แนวแกนนอนเป็นพื้นที่ก่อสร้าง แนวแกนตั้งเป็นหน่วยของเวลา ดังภาพที่ 2-13 และภาพที่ 2-14



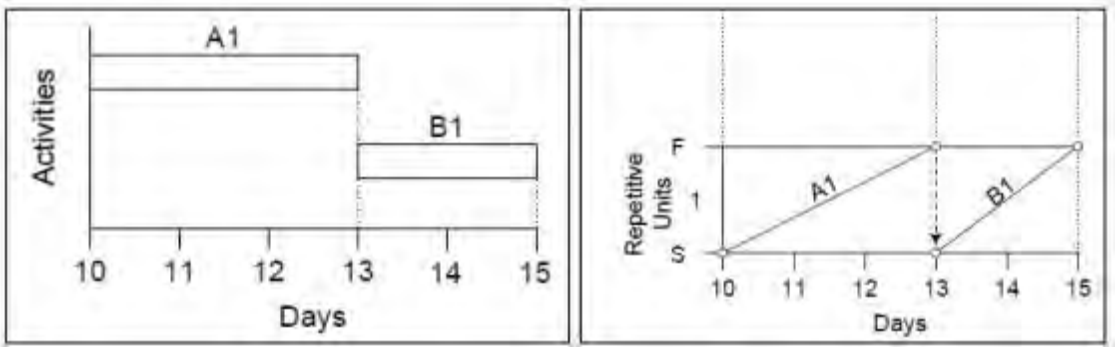
ภาพที่ 2-13 การวางแผนโดยวิธี LSM รูปแบบที่ 1



ภาพที่ 2-14 รูปแบบการวางแผนโดยวิธี LSM รูปแบบที่ 2

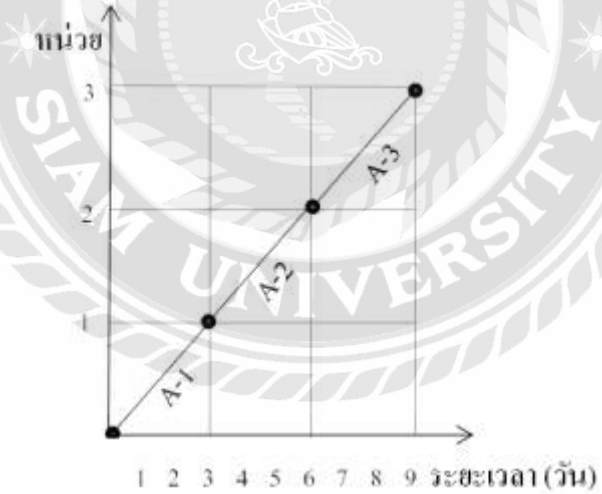
2.6.1.5 วิธี Repetitive-Scheduling-Method (RSM)

การวางแผนโดยวิธีการ RSM ได้ถูกคิดค้นโดย Robert B. และ Photios G. Ioannou มหาวิทยาลัยมิชิแกน ในปี ค.ศ. 1998 เพื่อใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างที่มีการทำงานที่ซ้ำๆกัน โดยมีวัตถุประสงค์คล้ายๆกับวิธีของ LOB แต่สามารถระบุกิจกรรมวิกฤตได้ แต่เนื่องจากวิธี RSM ใช้กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าปริมาณสะสมของหน่วยการทำงาน ณ เวลาใดๆ ตลอดระยะเวลาโครงการ ดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 การเขียนกราฟแสดงแผนการทำงานที่มีลักษณะซ้ำๆ กันโดยวิธี RSM

การวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานด้วยวิธี RSM จะอาศัยกราฟเส้นแทนการทำงานของกิจกรรม ภาพที่ 2-16 แสดงกำหนดเวลาของกิจกรรม ก. ที่เริ่มต้นพร้อมกับการเริ่มต้นโครงการ (วันที่ 0) แกน X แทนด้วยเวลา และแกน Y แทนด้วยหน่วยก่อสร้าง ความชันของเส้นกราฟเทียบได้กับอัตราการท้างาน โดยกิจกรรมที่มีการทำงานเร็ว หรือใช้เวลาในการทำงานต่อหน่วยน้อย เส้นกราฟจะมีความชันมาก ซึ่งคล้ายกับความชันของแท่งกิจกรรมตามหลักการ LOB

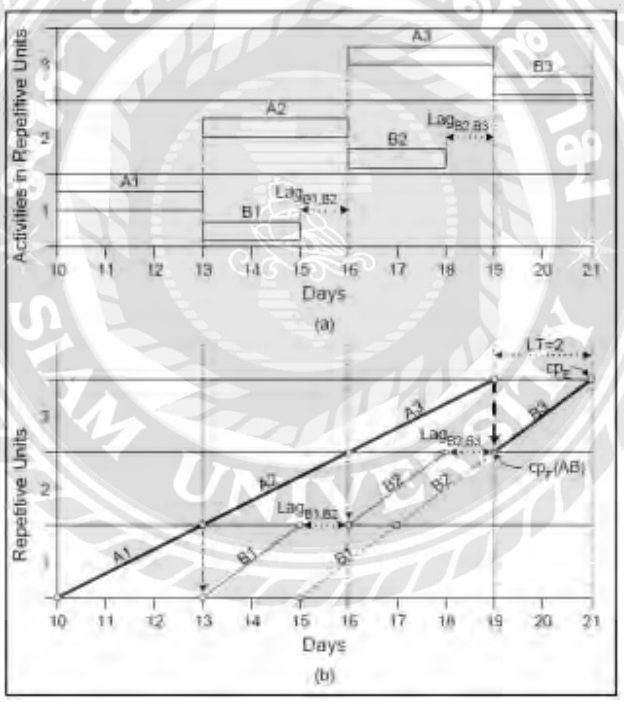


ภาพที่ 2-16 กำหนดเวลาการดำเนินงานของกิจกรรม ก. ในรูปแบบ RSM

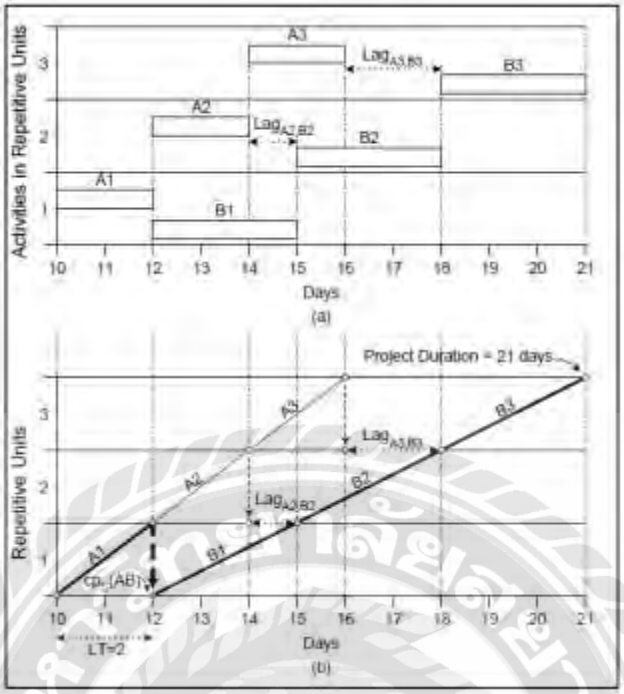
แนวความคิดที่ใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างด้วยวิธี RSM คือ การกำหนดจุดควบคุม (control point, CP) และหลักการจัดลำดับควบคุม (controlling sequence) การวางแผนด้วยวิธีนี้จะประกอบไปด้วย 3 ความสัมพันธ์ คือ กิจกรรมที่ตามมาจะเริ่มต้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าแล้วเสร็จ (finish-to-start หรือFTS), กิจกรรมที่ตามมาจะเริ่มต้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าเริ่มต้นไปก่อนแล้วระยะหนึ่ง (start-to-start หรือ STS) และกิจกรรมที่ตามมาจะแล้วเสร็จหลังจากที่กิจกรรม

ก่อนหน้าแล้วเสร็จไปแล้วไม่น้อยกว่าระยะเวลาหนึ่ง (finish-to-finish หรือ FTF) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความสัมพันธ์ของกิจกรรมแบบกิจกรรมที่ตามมาจะเริ่มต้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าหรือกิจกรรมเริ่มต้นแล้วเสร็จ (finish-to-start หรือ FTS) คือความสัมพันธ์ที่กิจกรรมที่ตามมาจะเริ่มทำได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมเริ่มต้นเสร็จสมบูรณ์แล้ว โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี 1.กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาการทำงาน (Duration) มากกว่ากิจกรรมที่ตามหลัง 2. กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาทำงาน (Duration) น้อยกว่ากว่ากิจกรรมที่ตามหลัง โดยจะสังเกตได้จากลักษณะของเส้นกราฟของทั้ง 2 กรณีที่มีความแตกต่างกัน โดยลักษณะเส้นกราฟของกรณีที่ 1 เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่เข้าหากันเมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 2-17 และลักษณะเส้นกราฟของกรณีที่ 2 เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่ออกจากกัน เมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 2-18

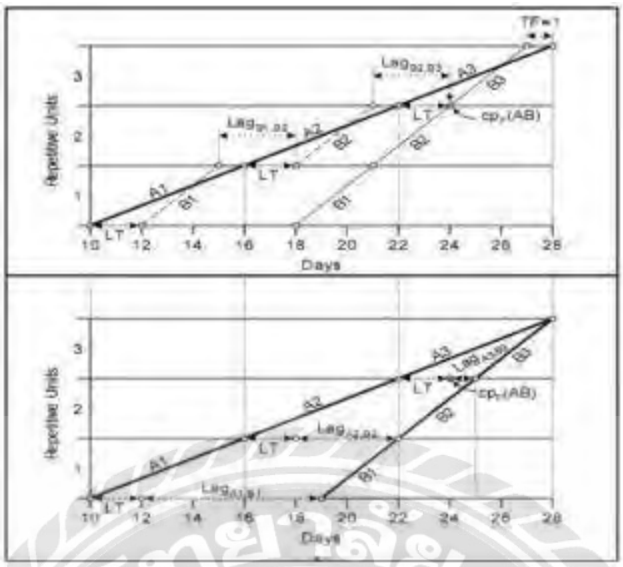


ภาพที่ 2-17 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTS และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน

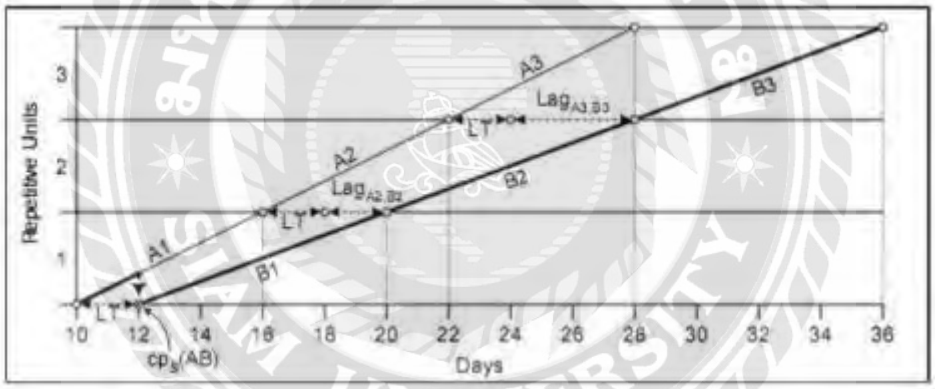


ภาพที่ 2-18 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTS และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน

2. ความสัมพันธ์ของกิจกรรมแบบกิจกรรมที่ตามหลังจะเริ่มต้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าหรือกิจกรรมเริ่มต้นได้ทำงานไปแล้วเท่านั้น (start-to-start หรือ STS) คือความสัมพันธ์ที่กิจกรรมที่ตามหลังจะเริ่มทำได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมเริ่มทำงานไปแล้ว โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี 1.กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาการทำงาน (Duration) มากกว่ากิจกรรมที่ตามหลัง 2. กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาทำงาน (Duration) น้อยกว่ากว่ากิจกรรมที่ตามหลัง โดยจะสังเกตได้จากลักษณะของเส้นกราฟของทั้ง 2 กรณีที่มีความแตกต่างกัน โดยลักษณะเส้นกราฟของกรณีที่ 1 เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่เข้าหากันเมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 2-19 และลักษณะเส้นกราฟของกรณีที่ 2 เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่ออกจากกัน เมื่อจ้านวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 2-20

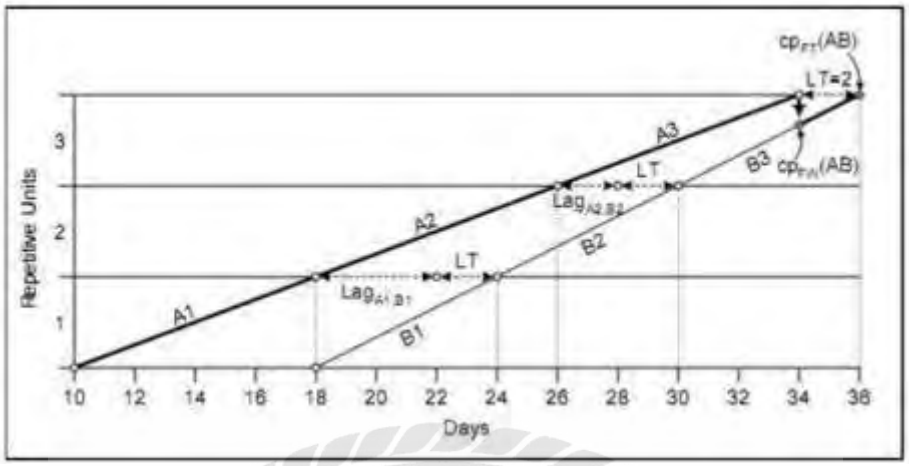


ภาพที่ 2-19 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ STS และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน

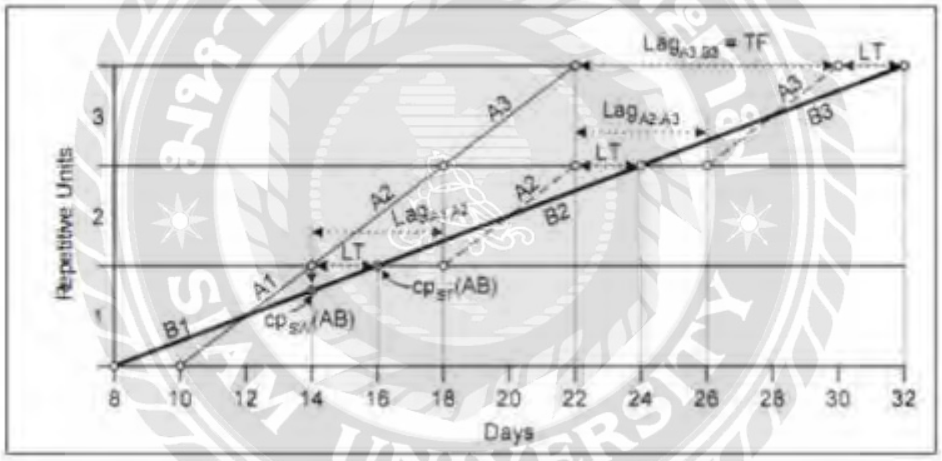


ภาพที่ 2-20 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ STS และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน

3. ความสัมพันธ์ของกิจกรรมที่ตามมาจะแล้วเสร็จหลังจากที่กิจกรรมก่อนหน้าแล้วเสร็จไปแล้วไม่น้อยกว่าระยะเวลาหนึ่ง (finish-to-finish หรือ FTF) คือความสัมพันธ์ที่กิจกรรมที่ตามหลังจะแล้วเสร็จได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมเริ่มต้นหรือกิจกรรมก่อนหน้าเสร็จสมบูรณ์แล้ว โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี 1.กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาการทำงาน (Duration) มากกว่ากิจกรรมที่ตามหลัง 2. กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาทำงาน (Duration) น้อยกว่ากว่ากิจกรรมที่ตามหลัง โดยจะสังเกตได้จากลักษณะของเส้นกราฟของทั้ง 2 กรณีที่มีความแตกต่างกัน โดยลักษณะเส้นกราฟของกรณีที่ 1 เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่เข้าหากันเมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 2-21 และลักษณะเส้นกราฟของกรณีที่ 2 เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่ออกจากกัน เมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 2-22



ภาพที่ 2-21 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTF และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน

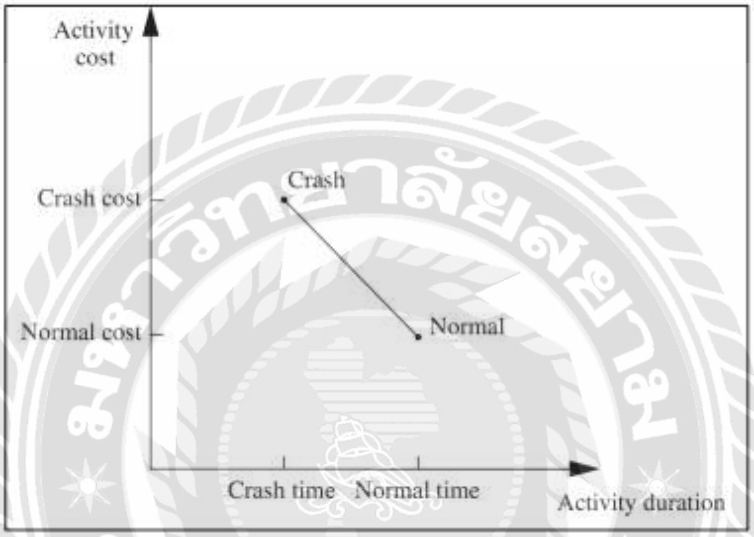


ภาพที่ 2-22 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTF และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน

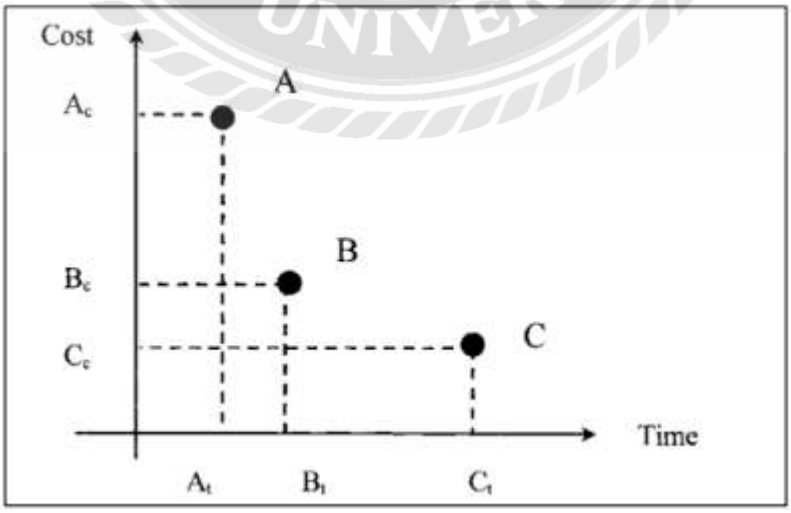
2.6.1.6 วิธี Time-cost trade-off: TCT

การวางแผนโดยวิธีการ Time Cost Trade Off เป็นการพิจารณาระหว่างเวลากับต้นทุน คือ ปัญหาที่เกี่ยวกับการกำหนดหาต้นทุนของโครงการที่น้อยที่สุดสำหรับค่าระยะเวลาหนึ่งของโครงการตามที่ต้องการ โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นคือ กิจกรรมก่อสร้างใด ๆ สามารถมีวิธีการดำเนินงาน (Execution methods) ได้หลายทางเลือก (Options) โดยทางเลือกปกติจะมีระยะเวลาปกติ (Normal duration) และต้นทุนปกติ (Normal cost) การเร่งรัดการทำกิจกรรมใด ๆให้แล้วเสร็จเร็วกว่าปกติจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นเป็นค่าทรัพยากรพิเศษ ที่นำมาใช้ ได้แก่ การเพิ่มแรงงาน การเพิ่มแรงงานเชี่ยวชาญ การใช้เครื่องจักรหรือการใช้เทคโนโลยีที่ดี ซึ่งจะทำให้ได้ระยะเวลาเร่งรัด (Crash duration) และต้นทุนเร่งรัด (Crash cost) ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรม

ในแบบ ปกติและแบบเร่งรัดอาจถูกกำหนดให้เป็นแบบต่อเนื่อง(continuous) หรือไม่ต่อเนื่อง (discrete) ดังแสดงในภาพที่ 2-23 และภาพที่ 2-24 ตามลำดับ เนื่องจากเฉพาะกิจกรรมวิกฤตเท่านั้นที่มีผลต่อระยะเวลาของโครงการ การเร่งรัดกิจกรรมด้วยต้นทุนที่แพงจึงควรเลือกทำกับบางกิจกรรม ในขณะที่กิจกรรมที่ไม่วิกฤตสามารถดำเนินการไปตามปกติที่ใช้ต้นทุนต่ำได้ ผู้วางแผนจึงต้องค้นหาส่วนผสมที่เหมาะสมนั้น

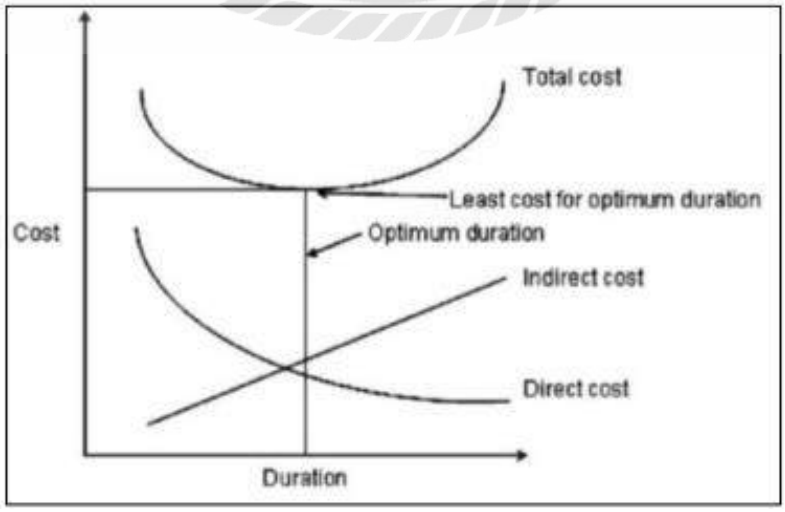


ภาพที่ 2-23 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรม ในแบบปกติและแบบเร่งรัด



ภาพที่ 2-24 ความสัมพันธ์แบบไม่ต่อเนื่องระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรม ในแบบปกติและแบบเร่งรัด

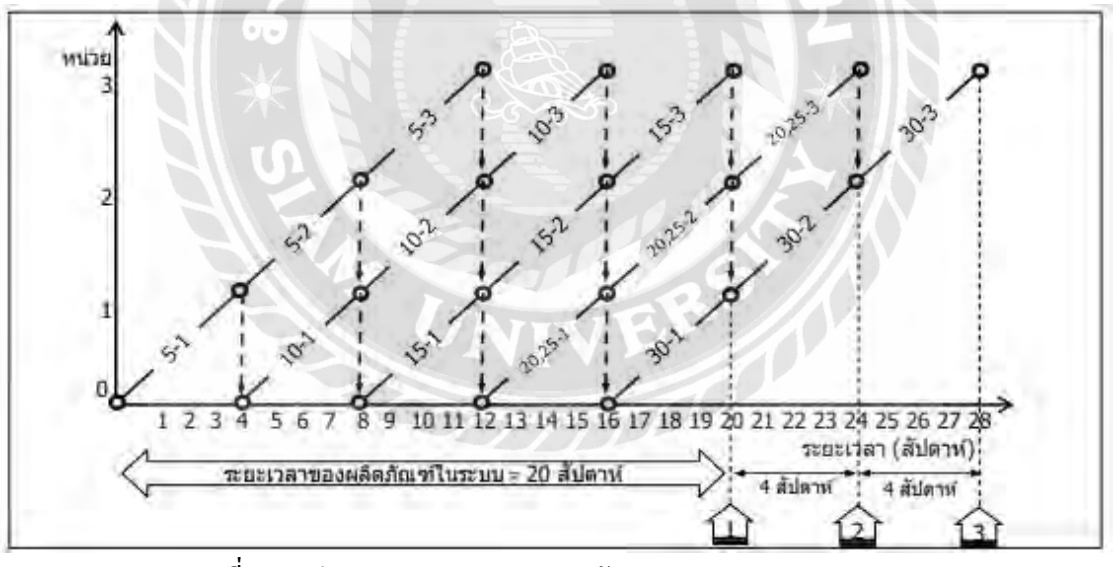
ต้นทุนของโครงการก่อสร้างนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ต้นทุนทางตรง (Direct cost) และต้นทุนทางอ้อม (Indirect cost) โดยที่ต้นทุนทางตรง คือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับตำแหน่งขององค์ประกอบทางกายภาพของสิ่งก่อสร้าง ชิ้นส่วนหรือเนื้อของสิ่งก่อสร้างนั้นได้แก่ ค่าแรงงาน วัสดุอุปกรณ์เครื่องจักร และค่าผู้รับเหมาช่วง มีลักษณะที่แปรผันตามกับปริมาณเนื้อ งานก่อสร้าง ที่ทำได้และทรัพยากรที่ใช้ไป หรือเป็นต้นทุนแปรผัน (Variable cost) แต่ต้นทุนทางอ้อม หมายถึงต้นทุนค่าดำเนินงานของโครงการ (Indirect costs or project overhead costs) คือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการดูแลกำกับและการควบคุมการดำเนินงานของโครงการที่หน้างาน ได้แก่ ค่าจ้างของพนักงานในระดับหัวหน้างานของโครงการ ค่าเช่าสำนักงานสนาม พนักงานธุรการที่หน้างาน ค่าสาธารณูปโภค ค่าใช้จ่ายที่หน้างาน ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่มีลักษณะโดยรวมที่ไม่แปรผันไปตามปริมาณเนื้อ งานก่อสร้างที่ทำได้ หรือเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ที่ต้องจ่ายตามกำหนดเวลา คือแปรผันตามระยะเวลาของโครงการจากลักษณะนี้เองที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับระยะเวลาของโครงการก่อสร้างกล่าวคือ ต้นทุนทางตรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาโครงการถูก เร่งรัดให้สั้นลง แต่ต้นทุนทางอ้อมอาจลดลงได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ต้นทุนโครงการที่ต่างกับระยะเวลา โครงการ ที่สั้นสามารถเกิดขึ้นพร้อมกัน กราฟความสัมพันธ์แสดง ในรูปที่ 2-25 สำหรับค่าระยะเวลาโครงการ ค่าหนึ่งจะสามารถใช้หาต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุดได้ ดังนั้นหากกำหนดค่าระยะเวลาโครงการหลาย ๆ ค่าจะทำ ให้ได้ต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุดสำหรับแต่ละค่าระยะเวลาโครงการ และจุดเหล่านี้จึงเป็นคำตอบของปัญหาที่ คล้ายกับ multi-objective optimization ที่มีเป้าหมายในการหา non-dominated solutions (คือคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับอย่างน้อยหนึ่ง objective) โดยที่ non-dominated solutions เหล่านี้จะเรียงตัวกันเป็นกลุ่มที่เรียกว่า Pareto front



รูปที่ 2-25 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับเวลาของโครงการ

2.6.1.7 วิธี Even Flow Construction

วิธี Even Flow Construction เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในวงการผู้รับเหมาก่อสร้างบ้าน (Home builders) ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยหัวใจของหลักการนี้ คือ การปรับอัตราการทำงานของทุก กิจกรรมให้เท่ากันหรือทำให้การทำงานเกิดความสมดุล โดยอธิบายถึงหลักการของ Even Flow Construction ไว้ว่าเป็นการนำเอาข้อดีด้านประสิทธิภาพของการทำงานตามแนวทางการผลิตแบบแรงงาน อุตสาหกรรมมาประยุกต์ในงานก่อสร้าง โดยการจัดสมดุลของระยะเวลาการทำงานในแต่ละกิจกรรมไม่มีความ สม่ำเสมอ เพื่อกำหนดการผลิตที่เหมาะสม งานก่อสร้างจะถูกดำเนินไปด้วยอัตราที่คงที่มีความแน่นอนและ แม่นยำ และมีประสิทธิภาพ หลักการ Even Flow Construction ส่วนมากจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้หลักการนี้กับการก่อสร้างบ้านจำนวนหลายๆ หลัง นอกจากงานก่อสร้างบ้านจัดสรรแล้ว Even Flow Construction ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันประเภทอื่น ๆ เช่น งานก่อสร้าง อาคารสูง งานวางท่อ งานถนน เป็นต้น สามารถอธิบายหลักผ่านแผนภาพกราฟเส้น แบบเดียวกันกับที่ใช้ วิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานด้วยวิธี RSM ดังภาพที่ 2-26



ภาพที่ 2-26 กำหนดเวลาทำงานตามหลักการ even flow construction
กรณีทุกกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานเท่ากับ 4 สัปดาห์ต่อหลัง

จากภาพที่ 2-26 แผนภาพกำหนดเวลาเวลาการทำงานของการก่อสร้างตามหลักการ even flow construction กรณีทุกกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานเท่ากับ 4 สัปดาห์ต่อหลังเท่ากันหมด จากรูปจะเห็นว่าเมื่อ ทุกกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานต่อหน่วยเท่ากัน ความชันของเส้นการทำงานจะขนานกันและทำให้ทุกกิจกรรม ของทุกหน่วยก่อสร้างเป็นกิจกรรมวิกฤต ผลที่ได้คือ

- ระยะเวลาโครงการ เท่ากับ 28 สัปดาห์ และเพิ่มขึ้น 4 สัปดาห์ทุก 1 หน่วยก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น

- การใช้ประโยชน์ทรัพยากรของทุกกิจกรรมเท่ากับ 100% เนื่องจากกลุ่มคนงานของทุกกิจกรรม ดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง

- ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบ เท่ากับ 20 สัปดาห์ในทุกหน่วยก่อสร้างไม่ว่าจำนวนหน่วย ก่อสร้างจะเป็นเท่าไร โดยทั้ง 20 สัปดาห์นี้เป็นระยะเวลาของการดำเนินงานทั้งหมด ไม่มีระยะเวลารอคอย

- เวลาครบรอบ เท่ากับ 4 สัปดาห์ หรือทุก 4 สัปดาห์จะมีบ้านแล้วเสร็จ 1 หลัง

2.6.1.8 วิศวกรรมคุณค่า (วีระพันธ์ หมอกมุงเมือง และคณะ, 2565)

วิศวกรรคุณค่า คือ การประยุกต์ใช้เทคนิคที่เป็นระบบ โดยเน้นหน้าที่การทำงาน (Function) ของผลิตภัณฑ์หรือบริการเป็นหลัก โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ยังคงคุณภาพและความน่าเชื่อถืออยู่ โดยมีกระบวนการทำงาน 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. Information Phase คือขั้นตอนรวบรวมข้อมูล ทบทวนสภาพปัจจุบันของโครงการ ระบุความต้องการในการปรับปรุงคุณค่า

2. Function Analysis Phase คือขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน (function) ของส่วนที่ต้องการปรับปรุง ส่วนใดจำเป็น ไม่จำเป็น เพื่อให้สอดคล้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

3. Creative Phase คือขั้นตอนการเสนอแนวคิด ทางเลือกอื่น ๆ ในส่วนที่ต้องการปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

4. Evolution Phase คือขั้นตอนประเมินทางเลือกต่าง ๆ จากขั้นตอนที่เสนอมา เพื่อคัดทางเลือกที่ดีที่สุด

5. Development Phase คือขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกที่ได้จากขั้นตอนประเมิน เพื่อพัฒนา ก่อนที่จะทำการนำเสนอ

6. Reporting Phase คือขั้นตอนการนำเสนอทางเลือก ให้ผู้อำนาจตัดสินพิจารณา

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โกสินทร์ แข่งขัน (2559) ได้นำเสนอการการออกแบบฐานรากเสาเข็มเจาะสำหรับอาคารขนาดใหญ่ กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยสูง 18 ชั้น อำเภอนาเกลือ จังหวัดชลบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบฐานรากเสาเข็มของอาคารพักอาศัยขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นอาคารอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 18 ชั้น ขนาดกว้าง 38 เมตร ยาว 69 เมตร สูง 69.10 เมตร เสาเข็มที่ศึกษามี 2 ขนาด คือ

ขนาด Ø 1.00 ม. และ Ø 1.20 ม. เสาเข็มขนาด Ø 1.00 ม.รับน้ำหนักปลอดภัย 450 ตัน และเสาเข็มขนาด Ø 1.20 ม. รับน้ำหนักปลอดภัยเท่ากับ 560 ตัน การออกแบบฐานรากของอาคารในการศึกษานี้มี 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 ใช้เฉพาะเสาเข็มขนาด Ø 1.00 ม. กรณีที่ 2 ใช้เฉพาะเสาเข็มขนาด Ø 1.20 ม. และกรณีที่ 3 ใช้ทั้งเสาเข็มขนาด Ø 1.00 ม. และ Ø 1.20 ม. ผลการศึกษาพบว่า กรณีที่ 1 ใช้เสาเข็มขนาด Ø 1.00 ม.จำนวน 123 ต้น กรณีที่ 2 ใช้เสาเข็มขนาด Ø 1.20 ม.จำนวน 111 ต้น และกรณีที่ 3 ใช้เสาเข็มขนาด Ø 1.00 ม.และ Ø 1.20 ม.จำนวน 20 และ 80 ต้น ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ราคาก่อสร้างฐานรากทั้งสามกรณี พบว่า กรณีที่ 3 มีค่าการก่อสร้างต่ำสุดเท่ากับ 42,357,600 บาท กรณีที่ 2 มีค่าการก่อสร้าง 43,605,960 บาท และกรณีที่ 3 มีค่าการก่อสร้าง 46,710,620 บาท การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เสาเข็มขนาด Ø 1.00 ม.และ Ø 1.20 ม. ร่วมกันในการออกแบบฐานรากของอาคารนี้สามารถประหยัดค่าการก่อสร้างฐานรากได้มากกว่าการใช้เสาเข็มเพียงขนาดใดขนาดหนึ่ง

จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และธนวัฒน์ สว่างงาม (2561) ได้ศึกษาการควบคุมเวลาล่าช้าของงานด้วยเทคนิค PERT/CPM บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) กรณีศึกษา : การติดตั้งระบบอินเตอร์เน็ตความเร็ว Fiber to the x (FTTx) ที่สถานีก๊าซ NGV ปตท. จ.ปทุมธานี มุ่งเน้นประยุกต์ใช้เทคนิค Program Evaluation and Review Technique (PERT) และ Critical Path Method (CPM) เข้าประยุกต์ใช้ในกลุ่มธุรกิจบริการด้านโทรคมนาคมติดตั้งระบบอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง การศึกษาประยุกต์ใช้เทคนิค PERT/CPM เข้ามาช่วยในการบริหารโครงการติดตั้งระบบอินเตอร์เน็ตความเร็ว Fiber to the x (FTTx) ที่สถานีก๊าซ NGV ปตท. จ.ปทุมธานี โดยการใช้เทคนิคดังกล่าวช่วยทำให้โครงการเป็นไปตามแผน มีประสิทธิภาพ เป็นระบบและยังทำให้ทราบถึงสถานะของโครงการส่งผลให้ผู้บริหารโครงการสามารถควบคุมระยะเวลา ทรัพยากร ในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี การประยุกต์ใช้เทคนิค PERT/CPM โดยใช้โปรแกรม QM for Windows Version 2.0 เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการจัดการการผลิตและการดำเนินงาน วิธีการเชิงปริมาณ วิทยาการจัดการ และการวิจัยการดำเนินงานเข้ามาช่วยในการคำนวณและสร้างโครงข่ายงานทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์และระยะเวลาในการดำเนินงานของบริษัทให้บริการด้านโทรคมนาคมและให้บริการด้านโครงข่ายระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีส่วนงานที่เกี่ยวข้องกันทำหน้าที่ลักษณะเป็นการประสานงานกัน อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ กิจกรรมบนลูกศรและกิจกรรมบนโหนด ซึ่งการใช้โปรแกรม QM for Windows Version 2.0 มาช่วยในการคำนวณทำให้ผลการคำนวณที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำและยังน่าเชื่อถือซึ่งจากการคำนวณใช้เวลาดำเนินโครงการทั้งสิ้นเป็นเวลาประมาณ 3,120 นาทีหรือ 6 วันครึ่งและโอกาสความน่าจะเป็นที่จะทำให้โครงการสามารถดำเนินการเสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด 7 วันนั้นมีค่ามากถึง 98.98% แต่เมื่อใช้

วิธีการคิดแบบวิธีปัดเศษวันเข้ามาด้วยนั้นทำให้พบว่าในโครงการติดตั้งระบบอินเตอร์เน็ตความเร็ว Fiber to the x (FTTx) ที่สถานีก๊าซ NGV ปตท. จ.ปทุมธานี ใช้เวลาในการดำเนินโครงการ 8 วัน ซึ่งมากกว่าเดิมถึง 1 วันครึ่ง

นครินทร์ ชิ่วนัส และรองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬารวิรัตณ์ (2563) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการประมาณระยะเวลากิจกรรมงานก่อสร้างแบบ PERT โดยกลุ่มตัวอย่างบริษัทสมาชิกสามัญของสมาคมธุรกิจรับสร้างบ้าน นี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการประมาณระยะเวลากิจกรรมงานก่อสร้าง โดยใช้วิธี PERT เพื่อสะท้อนถึงความน่าเชื่อถือ (reliability) ของทฤษฎีและการจัดระดับความสำคัญของปัจจัย ที่มีผลกระทบต่อการประมาณระยะเวลา กลุ่มตัวอย่างคือผู้วางแผนจากบริษัทรับสร้างบ้าน ที่เป็นสมาชิกสามัญของสมาคมธุรกิจรับสร้างบ้าน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ การสัมภาษณ์เชิงลึกและแบบสอบถาม โดยจำลองโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย 1 ชั้น ขนาดพื้นที่ใช้สอย 80 ตร.ม.ประกอบด้วย 20 กิจกรรม ให้ผู้วางแผนประมาณระยะเวลาแต่ละกิจกรรมด้วยวิธี PERT และให้ระบุระดับความสำคัญของปัจจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ 1) สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) 2)การจัดเรียงระดับความสำคัญ (Likert Ranking Scale) ผลการวิจัยพบว่า(1) ระยะเวลาแผนงานที่น้อยที่สุดและมากที่สุด ต่างกันเท่ากับ 43.25 วัน หรือประมาณ 1 เดือน 13 วัน (2) ค่าความน่าจะเป็นของแผนงานที่โครงการจะแล้วเสร็จ ภายในระยะเวลาที่กำหนด ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดต่างกันเท่ากับ 99.99 % (3) กิจกรรมที่ผู้วางแผนประมาณระยะเวลาต่างกันมากที่สุด คือ กิจกรรมงานฉาบผนัง (4) ค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญของปัจจัยสูงสุดจากทุกกิจกรรม โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ 1.ทักษะฝีมือช่าง 2.สภาพอากาศ 3.สภาพหน้างาน 4.วัสดุ 5.การขนส่ง 6.เครื่องจักร 7.อุบัติเหตุในการทำงาน

วศิน นันตสุข และคณะ (2566) ได้ศึกษาการประมาณระยะเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินงานสำหรับโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ด้วยวิธี PERT/CPM พบว่าสำหรับกรอบระยะเวลาในโครงการก่อสร้าง มักเป็นปัญหาให้กับทีมบริหารโครงการเสมอ โครงการก่อสร้างทั่วไปที่มีระยะเวลาในการดำเนินงานมากเกินความเป็นจริง ซึ่งขาดการบริหารจัดการโครงการที่ดีนั้น ทำให้ส่งผลเสียต่อเจ้าของโครงการ จากการที่จำเป็นจะต้องใช้สิ่งปลูกสร้างเหล่านั้นหาผลประโยชน์ ทำให้สูญเสียรายได้ในส่วนที่จะต้องได้จากส่วนระยะเวลาที่ใช้เกินความเป็นจริงในการก่อสร้าง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เทคนิควิธีประเมินผลงานและปรับปรุงแก้ไข (Project Evaluation and Review Technique ; PERT) และ วิธีเส้นทางวิกฤติ (Critical Path Method ; CPM) ศึกษาวิธีการวางแผนงานก่อสร้าง และเปรียบเทียบหาระยะเวลาในการดำเนินงานที่เหมาะสม จากโครงการตัวอย่างจำนวน 5 โครงการ ที่มีประเภทของงานก่อสร้างในลักษณะงานที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาโดยการจำลอง

แผนการดำเนินงานที่อ้างอิงจากแผนการดำเนินงานจริง พบว่า ทั้ง 5 โครงการ จากความน่าจะเป็นที่งานจะแล้วเสร็จคือ 50% , 70% และ 90% ได้ระยะเวลาในการดำเนินงานที่เหมาะสมเฉลี่ยจากระยะเวลาที่กำหนดตามสัญญา คือ 73.99%, 82.19% และ 89.52% ตามลำดับ

อาจอง สุขประเสริฐ (2559) ได้ศึกษาการประยุกต์เทคนิค PERT/ CPM ในการจัดการกิจกรรมโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร วัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค PERT และ CPM ในการวางแผนและควบคุมโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร โดยมุ่งเน้นให้ทราบงานวิกฤติในโครงการ จัดทำโครงสร้างการจัดแบ่งงาน (Work breakdown structure) และรายละเอียดของงาน (Work package) การศึกษาเริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลโครงการก่อสร้างจากใบแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) ประสบการณ์ของทีมช่าง และผู้วิจัย จากนั้นได้กำหนดลำดับของกิจกรรม ประมาณเวลาของกิจกรรม และจัดทำโครงสร้างการแบ่งงาน จากการวิเคราะห์ CPM พบว่า โครงการมีงานวิกฤตจำนวน 10 งาน จากการวิเคราะห์ PERT พบว่า ความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จใน 130 วันมีค่าเท่ากับ 71.81% ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดความล่าช้าได้ จึงวิเคราะห์ด้วยการเร่งงาน พบว่าความน่าจะเป็นที่งานจะแล้วเสร็จเพิ่มขึ้นเป็น 96.02% แต่จะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการเร่งงานเกิดขึ้น และจัดทำรายละเอียดของงาน เพื่อควบคุมความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นและสร้างมาตรฐานในการปฏิบัติงานก่อสร้าง

นพฤทธิ์ ทวีชัย และ Zhang Jiu Ming (2559) ได้ศึกษาการออกแบบฐานรากเสาเข็มเจาะโดยใช้มาตรฐานการออกแบบของประเทศจีนในโครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงไทย-จีน ระยะที่1 (กรุงเทพ-นครราชสีมา) สัญญา 4-3 นวนคร – บ้านโพ โดยใช้วิธีการอ้างอิงตามมาตรฐาน TB10002-2017 Code for Design on Railway Bridge and Culvert และ TB10093-2017 Code for Design Subsoil and Foundation for Railway Bridge and Culvert ซึ่งเป็นมาตรฐานเฉพาะด้านในการออกแบบโครงสร้างทางรถไฟของประเทศจีนในการออกแบบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มร่วมกับการใช้ข้อมูลดินจากการเจาะสำรวจชั้นดินในบริเวณพื้นที่โครงการก่อสร้างรวมไปถึงการวิเคราะห์และประยุกต์รวมของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างตามมาตรฐานและกฎหมายในประเทศไทยได้แก่ แรงลมและแรงแผ่นดินไหวของบริเวณพื้นที่ก่อสร้างดังกล่าวเพื่อให้ได้แรงกระทำที่มีนัยสำคัญตามข้อกำหนดของมาตรฐานในการวิเคราะห์หาแรงกระทำทั้งหมดที่กระทำต่อโครงสร้างเพื่อถ่ายลงสู่ฐานรากเสาเข็มได้อย่างปลอดภัย และเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างในการเลือกใช้มาตรฐานดังกล่าวข้างต้นในการออกแบบจึงดำเนินการเปรียบเทียบกับหลักการออกแบบที่ใช้ในประเทศไทยโดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเสาเข็มเดียวกันกับที่ใช้ออกแบบในโครงการ จากผลการเปรียบเทียบของการออกแบบพบว่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อสรุปผล

การออกแบบพบความแตกต่างในการใช้งานออกแบบมาจากปัจจัยหลักสองส่วนได้แก่มาตรฐานหรือหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์และค่าสัดส่วนความปลอดภัยในการออกแบบ

วีระพันธ์ หมอกมุงเมือง และคณะ (2565) ได้ศึกษาการใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าในการเลือกใช้ฐานรากแบบปรับปรุงแทนที่ฐานรากแผ่แบบดั้งเดิม สำหรับบ้านพักอาศัย 1 ชั้นในพื้นที่ชุมชน พบว่าในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการก่อสร้าง เพื่อพัฒนาให้การก่อสร้างนั้นใช้ต้นทุนลดลง ระยะเวลาในการก่อสร้างลดลง แต่ยังคงคุณภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมือนเดิม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบการใช้ฐานรากแผ่แบบดั้งเดิมกับฐานรากที่ปรับปรุง ในโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย 1 ชั้น ซึ่งจะสามารถลดขั้นตอนการก่อสร้างได้ และยังสามารถทำงานในพื้นที่ชุมชนที่มีความแออัดและพื้นที่ในการทำงานน้อย โดยงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการสำรวจข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบฐานรากของบ้าน จากนั้นจึงทำแบบสอบถามจากวิศวกรและผู้รับเหมาเพื่อหาปัจจัยที่สำคัญของการก่อสร้างฐานราก แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มานั้นมาวิเคราะห์ตามกระบวนวิเคราะห์วิศวกรรมคุณค่าทั้ง 6 ขั้นตอน ซึ่งจากการเปรียบเทียบด้านราคาและระยะเวลาในการก่อสร้างสำหรับบ้านพักอาศัย 1 ชั้น พบว่าการใช้ฐานรากแบบปรับปรุงมีต้นทุนการก่อสร้างน้อยกว่า และใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าการก่อสร้างฐานรากแผ่

เฉลิมพล พรมทอง (2561) ได้ศึกษาวิธีกำหนดเวลางานแบบลูปสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง พบว่าโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน จะต้องมีแผนการทำงานที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรม ก่อสร้าง มีกลุ่มคนงานเฉพาะที่รับผิดชอบเฉพาะงานนั้น ๆ ซึ่งจะคล้ายกับสายการผลิตในโรงงาน อุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน และความสามารถในการควบคุมงาน รวมถึง ลดความซับซ้อนของขั้นตอนการจัดซื้อวัสดุก่อสร้าง การกระจาย บนผัง WBS เรียกว่า ลูปมีทางเลือกที่ เป็นไปได้ในหลายแนวทาง ดังนั้นจึงต้องพิจารณาไตร่ตรองและคัดสรร เพื่อให้ได้ชุดกิจกรรมที่ เหมาะสมที่สุดระยะเวลา การใช้ทรัพยากร การลำดับก่อนหลังของกิจกรรมและค่าใช้จ่ายของ ทั้ง โครงการเปรียบเทียบหาความเหมาะสมในการจัดลูปแบบต่าง ๆ การพิจารณาระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-cost trade-off: TCT) เพื่อหาต้นทุน ของโครงการที่น้อยที่สุด สำหรับค่าระยะเวลาหนึ่งของ โครงการตามที่ต้องการอาคารก่อสร้าง คอนโดมีเนียม เมโทรลักซ์รัชดา ในการศึกษาการวางแผนงาน ก่อสร้างอาคาร โดยเลือกกรณีศึกษา แบบเฉพาะเจาะจงในส่วนของกิจกรรม งานก่อสร้างสถาปัตยกรรม รวมลูป ที่ได้กำหนดขึ้น คือ กลุ่ม Optimize Time Cost Tradeoff ที่มีจำนวนลูป 12 ลูป, 14 ลูป, 16 ลูป, 18 ลูป และ 21 ลูปพบว่าค่าได้จะความเหมาะสม

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง การลดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึงหัวหิน ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า ในการลดต้นทุนการก่อสร้าง และระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) ซึ่งมีลักษณะการก่อสร้าง คือเป็นเสาเข็มเจาะระบบเปียกขนาดใหญ่ ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. จำนวน 1,080 ต้น ทรัพยากรที่ใช้ในการทำงานประกอบไปด้วย Drilling Rig พร้อมคนขับ Service Crawler crane พร้อมคนขับ Vibro Hammer พร้อมคนขับ รถแบ็คโฮ พร้อมคนขับ คนงาน 7 คนต่อ 1 ชุด โดยที่งานวิจัยนี้มีทรัพยากรที่ใช้ในการทำงาน จำนวน 2 ชุด มีขั้นตอนในการก่อสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 กิจกรรมย่อยดังนี้ เริ่มจากเคลียร์พื้นที่ ติดตั้งปลอกเหล็ก ผสมน้ำยาเบนโทไนท์ เจาะเสาเข็ม ลงเหล็กเสริม เทคอนกรีต และถอดปลอกเหล็ก จึงแล้วเสร็จ ซึ่งมีขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้ ดังนี้

3.1 ศึกษาการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก
3.2 เสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก
3.3 วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก
3.4 วิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า

3.1 ศึกษาการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ก่อนที่จะมีการเลือกใช้เสาเข็มเจาะแบบเปียกนั้นจะต้องผ่านการออกแบบวิเคราะห์ และต้องมีการเจาะสำรวจชั้นดินเข้ามาเป็นเอกสารประกอบการพิจารณา เพราะการเจาะเสาเข็มผ่านชั้นดินทรายหรือชั้นดินที่มีน้ำไหลในระดับชั้นดินนั้น ๆ จำเป็นต้องใช้เสาเข็มเจาะแบบเปียก เพราะเสาเข็มเจาะแบบแห้งนั้น ไม่สามารถเจาะถึงระดับความลึกตามที่ต้องการได้ เพราะเวลาเจาะเสาเข็มแบบแห้งนั้นจะมีน้ำไหลเข้าหลุมเจาะ และจะทำให้เสาเข็มเจาะแบบแห้งต้นนั้นไม่สมบูรณ์ได้ และเพื่อเป็นการยืนยันว่าชั้นดินที่หน่วยงานนั้นจำเป็นต้องใช้เสาเข็มเจาะแบบเปียก ผลการเจาะสำรวจชั้นดินนั้นเป็นอีกหนึ่งส่วนที่สำคัญมาก เพราะกว่าจะผ่านขั้นตอนการเจาะสำรวจชั้นดินและอบดินจนกระทั่งถึงการออกรายงาน พร้อมวิศวกรโยธาระดับสามัญ เซ็นรับรองรายงาน จำเป็นต้องใช้

เวลานานพอสมควร เพื่อพิจารณาเลือกใช้เป็นเสาเข็มเจาะแบบเปียกตลอดจนอีกประเด็นที่สำคัญคือการนำผลเจาะสำรวจชั้นดินนั้น มาประเมินราคาเสาเข็มเจาะแบบเปียก

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานเข็มเจาะ

1. รถยกเครนเซอร์วิส (Service Crane) ที่มีขนาด 55 ตัน
2. รถแบ็คโฮ (Excavator)
3. เครนติดหัวเจาะระบบกับระบบไฮดรอลิค (Hydraulic Crane)
4. ปลอกเหล็กชั่วคราวป้องกันดินอ่อนพังทลาย (TEMPORARY CASING)
5. เครื่องกดและถอนปลอกเหล็กชั่วคราว (VIBBRO HAMMER)
6. อุปกรณ์ขุดเจาะ (Auger)
7. หัวเจาะแบบหมุน (BUCKET)
8. ท่อเทคอนกรีตใต้น้ำ (TREMIE TUBE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว
9. สารละลายเบนโทไนท์ (BENTONITE)
10. แผ่นเหล็ก (PLATE)
11. ถังผสมและถังเก็บน้ำยาเบนโทไนท์ (BENTONITE MIXER TANK)

3.1.2 ขั้นตอนและกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ขั้นตอนที่ 1 การติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราว (Temporary Casing) เมื่อระบุตำแหน่งของเสาเข็มแล้วจึงทำการลงปลอกเหล็ก โดยใช้ Vibro Hammer กดปลอกเหล็กลงไปในดินตามตำแหน่งที่กำหนด เช็คระยะในแนวราบ โดยวัดระยะจากจุดศูนย์กลางทั้งสองแนวแกน และตรวจสอบระยะในแนวดิ่งโดยจะต้องผิดพลาดได้ไม่เกิน 1 ต่อ 100 ของความยาวเสาเข็ม ในกรณีดินแข็งแน่นที่ไม่มีน้ำใต้ดินหรือมีน้อยมาก อาจไม่จำเป็นจะต้องใช้ปลอกเหล็กก็ได้ ในการที่จะทำให้ปลอกเหล็กวางได้ตรงตำแหน่งที่กำหนดไว้ ใช้วิธีการ off set หมุดแกนไม้ไว้ทั้งสองแกน และใช้ไม้หรือเหล็ก ทิ่มไปที่ปลอกเหล็กและดูระยะจากปลอกเหล็กถึงหมุดว่าได้ระยะ off set ตามที่กำหนดหรือไม่ โดยให้ทำการตรวจสอบตลอดการติดตั้งเหล็กปลอก

ขั้นตอนที่ 2 นำดินออกด้วยวิธี Dry Process เมื่อลงปลอกเหล็กเสร็จเรียบร้อยแล้วจะใช้หัวเจาะแบบสว่าน Auger ในการเจาะ เพราะในช่วงแรกยังไม่มีน้ำทลายเข้ามาในดินและเมื่อเจาะถึงระดับดินอ่อนหรือระดับที่น้ำสามารถเข้ามาได้ให้ทำการเติม slurry (สารละลาย) เพื่อช่วยในการพยุงหลุม

ขั้นตอนที่ 3 นำดินออกด้วยวิธี Wet Process เปลี่ยนหัวเจาะแบบ Bucket โดยเมื่อเจาะหลุมความลึกเพิ่มขึ้น ให้เติมสารช่วยพยุงโดยพยายามรักษาระดับสารช่วยพยุงให้อยู่สูงกว่าระดับดิน (Existing Ground) และเมื่อเจาะได้ถึงระดับที่กำหนดแล้วให้ทำความสะอาดก้นหลุมด้วย Cleaning Bucket ให้แน่ใจว่าก้นหลุมสะอาดและมีความเรียบได้ระดับ

ขั้นตอนที่ 4 การตรวจสอบหลุมเจาะ หลังจากทำความสะอาดก้นหลุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบหลุมเจาะ หาความลึกที่แท้จริงโดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนักผูกติดกับเทปวัดมาตรฐาน หย่อนลงไปในหลุมแล้วอ่านค่าความลึกของหลุม และตรวจสอบการพังทลายของหลุมเจาะ หากตรวจพบการพังทลายให้ทำความสะอาดก้นหลุมอีกครั้งจนกว่าจะเรียบร้อย

ขั้นตอนที่ 5 การลงเหล็กเสริมและท่อ เพื่อเตรียมเทคอนกรีต ตรวจสอบเหล็กเสริมให้ตั้งฉาก จากนั้นเชื่อมต่อโครงเหล็กแต่ละท่อนเข้าด้วยกันโดยมีระยะทาบไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม ตรวจสอบระยะหุ้มของคอนกรีต โดยที่ในเหล็กเสริมจะมีลูกปูนที่ใช้สำหรับหนุนให้เกิดระยะหุ้มและประคองเหล็กให้ทรงตัวอยู่ในรูเจาะ

ขั้นตอนที่ 6 ติดตั้งท่อ Tremie นำท่อ Tremie ลงไปในโครงเหล็กที่เตรียมไว้ ต่อกันลงไปทีละท่อนด้วยเกลียว ส่วนปลายของท่อ จะอยู่สูงจากก้นหลุมประมาณ 2-3 เมตร ซึ่งพอที่จะให้คอนกรีตไหลออกได้สะดวก จากนั้นติดตั้งกรวยรับคอนกรีตที่ปลายท่อด้านบน

ขั้นตอนที่ 7 การเทคอนกรีต ขั้นตอนการเทคอนกรีตผ่าน ท่อ Tremie โดยก่อนการเทคอนกรีตให้เทโฟม (Plug) ลงไปในท่อ Tremie ก่อนเพื่อกั้นระหว่าง Slurry กับคอนกรีต เมื่อเทคอนกรีต slurry จะถูกคอนกรีตดันให้ล้นออกจากปากหลุม และคอนกรีตจะเข้าไปแทนที่ ในขณะที่ทำการเท ท่อ Tremie จะต้องอยู่ในคอนกรีตตลอด และต้องเทอย่างต่อเนื่อง เมื่อปริมาณคอนกรีตเพิ่มขึ้นจะต้องตัดท่อ Tremie เป็นระยะๆเพื่อให้ท่ออยู่ในคอนกรีตประมาณ 2 เมตร หรือ 3-5 เมตร ขึ้นอยู่กับสถานการณ์บริเวณหน้างาน จนกว่า Slurry จะถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตจนหมด

ขั้นตอนที่ 8 การถอนปลอกเหล็ก เมื่อเทคอนกรีตจนเต็มแล้ว ให้ถอนปลอกเหล็กขึ้นก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัวโดยใช้ Vibro hammer ในการถอน ในขณะที่ทำการถอนต้องควบคุมปลอกเหล็กให้อยู่ในแนวดิ่งเพื่อป้องกันการพังทลายของดิน หลังจากนั้นหลุมต้นถัดไปจะต้องอยู่ห่างจากต้นที่เสร็จแล้วเป็นระยะ 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มและเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2 เสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. ของโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) จากการวางแผนการ

ทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น และวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน

3.3 วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก

เมื่อกำหนดแผนการทำงานในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียกได้แล้ว จากนั้นจะประเมินทางเลือกและแผนการทำงาน และทำการเปรียบเทียบระหว่างแผนการทำงานแบบเดิม และแผนการทำงานแบบใหม่ ซึ่งจะเปรียบเทียบทั้งต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้าง ว่าแผนการทำงานใดเหมาะสมที่สุด

3.4 วิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า

ทำการหาแผนการทำงานที่เหมาะสม ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก เพื่อใช้เป็นทางเลือกตามหลักวิศวกรรมคุณค่า โดยต้องการให้คุณภาพแล้วการใช้งานของเสาเข็มเจาะยังอยู่เหมือนเดิม แต่ต้องการลดต้นทุนและลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ที่สำคัญคือสอดคล้องกับพื้นที่ทำงาน

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง การลดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึงหัวหิน ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก และการวิเคราะห์ประเมินค่าผลิตภาพ 2 แผนงาน คือวางแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น และวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน นำข้อมูลที่เก็บมาได้มาวิเคราะห์ และนำค่าทั้ง 2 แผนงานมาเปรียบเทียบหาความเหมาะสมของแต่ละวิธี แล้วทำการสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบ่งเป็น 4 ตอนดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการศึกษากระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก

4.2 เสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก

4.3 วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก

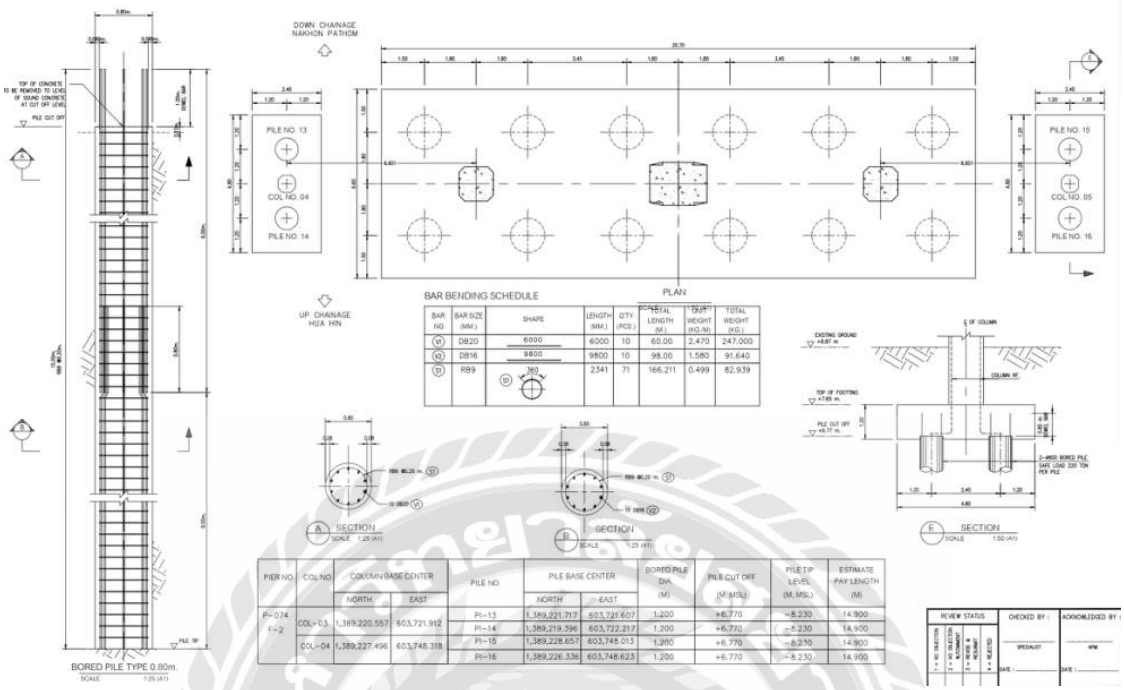
4.4 การวิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า

4.1 ผลของการศึกษากระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก

การก่อสร้างจำพวกอาคารสูง สะพาน รถไฟฟ้า อุโมงค์และโครงสร้างอื่น ๆ เป็นต้น จำเป็นต้องมีโครงสร้างฐานรากที่เหมาะสมเพียงพอต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้าง ในการก่อสร้างฐานราก มักจะใช้ระยะเวลามาก อีกทั้งการก่อสร้างภายในพื้นที่ชุมชน ที่มีพื้นที่แคบ การจราจรที่หนาแน่น และผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง จึงเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่ต้องคำนึงถึง วิศวกรผู้ออกแบบจึงต้องการข้อมูลของผลการวิเคราะห์ชั้นดิน เพื่อทำการออกแบบเสาเข็มและฐานราก แล้วจึงทำการก่อสร้างตามแบบและหลักวิศวกรรม

4.1.1 รายละเอียดโครงการ

โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) มีระยะทางรวม 169 กิโลเมตร มีจำนวน 28 สถานี วงเงินก่อสร้าง 20,145 ล้านบาท ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวางแผนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. จำนวน 1,080 ต้น



ภาพที่ 4-1 แบบแปลนของเสาเข็มเจาะระบบเปียก

4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานเข็มเจาะ

1. รถยกเครนเซอร์วิส (Service Crane) ที่มีขนาด 55 ตัน
2. รถแบ็คโฮ (Excavator)
3. เครนติดหัวเจาะระบบกับระบบไฮดรอลิค (Hydraulic Crane)
4. ปลอกเหล็กชั่วคราวป้องกันดินอ่อนพังทลาย (TEMPORARY CASING)
5. เครื่องกดและถอนปลอกเหล็กชั่วคราว (VIBBRO HAMMER)
6. อุปกรณ์ขุดเจาะ (Auger)
7. หัวเจาะแบบหมุน (BUCKET)
8. ท่อเทคอนกรีตใต้น้ำ (TREMIE TUBE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว
9. สารละลายเบนโทไนท์ (BENTONITE)
10. แผ่นเหล็ก (PLATE)
11. ถังผสมและถังเก็บน้ำยาเบนโทไนท์ (BENTONITE MIXER TANK)

4.1.3 ขั้นตอนและกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ในการศึกษาวิธีการประเมินและปรับปรุงค่าผลิตภาพในส่วนงานก่อสร้างเสาเข็มระบบเปียก ได้แบ่งการทำงานหลัก ๆ เป็น 8 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางตำแหน่งเสาเข็มเจาะ เริ่มจากทำการกำหนดตำแหน่งเสาเข็มโดยช่างสำรวจ เมื่อได้ตำแหน่งแล้วจึงทำการวางหมุด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางของเข็มเจาะ โดยที่ทำการระบุตำแหน่งเสาเข็มออกเป็น 2 แกนตั้งฉากกัน เพื่อใช้สำหรับตรวจวัดตำแหน่งที่แน่นอนในขั้นตอนการติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราว ดังภาพ 4-2

ภาพที่ 4-2 ช่างสำรวจกำหนดตำแหน่งเสาเข็ม

ขั้นตอนที่ 2 การติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราวหลังจากช่างสำรวจและกำหนดตำแหน่งเสาเข็มเจาะแล้ว ก็จะทำการติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราวก่อนที่จะทำการขุดเจาะ เพื่อป้องกันดินชั้นบนที่เป็นดินอ่อนพังทลายลงในหลุมเจาะ ความยาวของปลอกเหล็กชั่วคราวประมาณ 15 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางจะเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มเจาะ ดังภาพ 4-3

ภาพที่ 4-3 การลงปลอกเหล็กชั่วคราว

เครื่องมือที่ใช้ตอกปลอกเหล็กชั่วคราวจะเป็นเครื่องตอกระบบไฮโดรลิคโดยเครื่องตอกปลอกเหล็กจะมีปากคีบสำหรับหนีบปลายหรือส่วนบนสุดของปลอกเหล็กชั่วคราวแล้วยกขึ้นมาติดตั้งลงในหลุมเจาะโดยรถเครนบริการสมรรถนะเพียงพอ

การติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราวนั้น ต้องทำการติดตั้งในตำแหน่งหมุดที่วางไว้ โดยใช้ก้านเหล็กที่กำหนดตำแหน่งไว้ เป็นตัวควบคุมตำแหน่งและทิศทาง และใช้ลูกดิ่งควบคุมความเอียงของปลอกเหล็กทั้ง 2 แกนระหว่างการตอกปลอกเหล็กชั่วคราว

ทำการตรวจตำแหน่งของปลอกเหล็กชั่วคราวโดยช่างสำรวจ ทั้งนี้ตำแหน่งที่ยอมรับได้นั้นต้องไม่เกิน 75 มิลลิเมตร ในเสาเข็มเจาะเดี่ยว และ 100 มิลลิเมตรในเสาเข็มกลุ่ม ดังภาพ 4-4

ภาพที่ 4-4 การควบคุมไม่ให้ปลอกเหล็กเบี่ยงเบน

ขั้นตอนที่ 3 การขุดเจาะปลอกเหล็กชั่วคราวที่ตอกไว้ก่อนที่จะขุดนั้นจะป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะในดินอ่อนชั้นบน ทำการเจาะโดยใช้สว่านเจาะจนความลึก 22 เมตร ดังภาพ 4-5

ภาพที่ 4-5 การเจาะเสาเข็ม

เมื่อพบน้ำใต้ดินจึงเติมสารละลายโพลีเมอร์หรือสารละลายที่คุณสมบัติเท่าเทียมกันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพผนังของหลุดเจาะไม่ให้พังทลายลงมา หลังจากเติมสารละลายแล้วเปลี่ยนจากการเจาะด้วยสว่านมาเป็นถังเก็บดินรูปทรงกระบอก และดำเนินการขุดเจาะจนถึงระดับความลึกที่เราต้องการได้และระดับของสารละลายโพลีเมอร์ในหลุมเจาะต้องอยู่สูงพอที่จะมีแรงดันมากกว่าแรงดันน้ำใต้ดิน

ในกระบวนการขุดเจาะหัวสว่าน หรือถังเก็บดินจะหมุนพร้อมกับถูกกดลงในดิน ดินที่ขุดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในถังเก็บดิน และเมื่อดินเต็มถัง ก้านเจาะก็จะยกตัวสูงขึ้นจากหลุมเจาะ และนำดินที่ขุดเจาะมาทิ้งไว้ที่ปากหลุม และจึงหย่อนหัวสว่านหรือถังเก็บดินลงไปในหลุมเจาะเพื่อขุดดินขึ้นมาทิ้งอีก ในขั้นตอนนี้ต้องเพิ่มความระมัดระวังเป็นพิเศษกับตัวรถเครนที่ติดตั้งแท่นเจาะซึ่งจะต้องอยู่ในแนวราบ และก้านเจาะต้องอยู่ในแนวดิ่งเพื่อให้หลุมเจาะได้ดิ่งตามความต้องการ การวัดความลึกก้นหลุมเจาะนั้น จะใช้สลิงวัดหลุมตรวจสอบความลึกของหลุมเจาะ ดังภาพ 4-6

ภาพที่ 4-6 ใช้สลิงตรวจสอบความลึกก้นหลุม

ขั้นตอนที่ 4 การทำความสะอาดก้นหลุม สารละลายโพลิเมอร์และสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการใส่สารผสมเพิ่ม ถ้าใช้สารละลายโพลิเมอร์และสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการใส่สารผสมเพิ่มแล้วดินตะกอนจากก้นหลุมจะถูกเก็บขึ้นมาโดยใช้ถังตะกอนที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกรองตะกอนทราย ดังภาพ 4-7

กรณีใช้สารละลายเบนโทไนท์จะต้องใช้เครื่องกรองตะกอนทรายในการทำความสะอาดของหลุมเจาะจากสารละลายโพลีเมอร์จะจับตะกอนแขวนลอยในสารละลายเป็นก้อนใหญ่ขึ้นด้วยการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นจึงทำให้ตะกอนที่จับตัวก้อนตกลงถึงก้นหลุม

ภาพที่ 4-7 การใช้เครื่องจักรติดตั้งถังทำความสะอาดหลุมเจาะ (Cleaning Bucket)

ขั้นตอนที่ 5 การติดตั้งเหล็กเสริมนำเหล็กเสริมที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วติดตั้งลงไปในหลุมเจาะดังรูป 4-8 โครงเหล็กเสริมแต่ละท่อนจะต่อกันโดยเชื่อมด้วยไฟฟ้าทาบไม่น้อยกว่า 40 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่โครงเหล็กจะมีลูกปูนร้อยอยู่ในเหล็กปลอก โดยรอบ ๆ เพื่อจะทำให้ระยะหุ้มคอนกรีตไม่น้อยกว่า 7 เซนติเมตร ดังภาพ 4-9

ภาพที่ 4-8 แสดงการติดตั้งเหล็กเสริม

ภาพที่ 4-9 ลูกปูนระยะหุ้มคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 6 การติดตั้งท่อเทคอนกรีต (TREMIE TUBE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว มาใส่ในหลุมเจาะทีละท่อนต่อกันด้วยการหมุนเกลียว และปลายด้านบนมีกรวยรับคอนกรีตส่วนปลายด้านล่างจะอยู่สูงกว่าก้นหลุมประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อให้คอนกรีตเทอย่างสะดวก ดังภาพ 4-10

ภาพที่ 4-10 การติดตั้งท่อเทคอนกรีต (TREMIE TUBE)

ขั้นตอนที่ 7 การเทคอนกรีต ขั้นตอนการเทคอนกรีตถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องให้ความสำคัญมากในการทำเสาเข็มเจาะ การเทคอนกรีตต้องเทอย่างต่อเนื่องดังภาพ 4-11 ท่อเทคอนกรีตต้องจมอยู่ในเนื้อที่เทคอนกรีตที่เทลงในหลุมเจาะอย่างน้อย 3-5 เมตร

ภาพที่ 4-11 การเทคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ต้องเป็นคอนกรีตผสมเสร็จมีคุณสมบัติและคุณภาพตามข้อกำหนดรายละเอียด มีค่ายุบตัวระหว่าง 17.5±2.5 เซนติเมตร ดังภาพ 4-12 ระดับคอนกรีตเมื่อเทเสร็จจะอยู่ระดับตัดหัวเข็มตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ เพื่อว่าหลังจากการตัดหัวเข็มในระดับที่กำหนดไว้แล้วจะได้พบแต่เนื้อคอนกรีตที่ดีเท่านั้น

ภาพที่ 4-12 การตรวจสอบค่ายุบตัวอยู่ที่ 17.5±2.5 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 8 การถอนปลอกเหล็กออกจากหลุมเจาะต้องทำการถอดปลอกเหล็กออกจากหลุมก่อนคอนกรีตแข็งตัว โดยใช้เครื่องมือชุดเดียวกับการกดปลอกเหล็กดังภาพ 4-13 ค่อย ๆ ดึงปลอกเหล็กขึ้นโดยพยามให้ปลอกเหล็กอยู่ในแนวดิ่ง เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน ภายใน 24 ชั่วโมง จะต้องไม่กระทบกระเทือนกับเสาเข็มต้นนั้นเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ระยะห่างระหว่างเสาเข็มต้นใหม่กับต้นเพิ่งเทเสร็จต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม

ภาพที่ 4-13 การถอนปลอกเหล็กออกจากหลุมเจาะ

4.1.4 เทคนิคการก่อสร้าง

เสาเข็มเจาะระบบเปียกเป็นส่วนสำคัญที่รับน้ำหนักทั้งหมดของตัวโครงสร้างทุกขั้นตอนการทำงานจึงมีความสำคัญมากจึงมีเทคนิคในการทำงานเพื่อให้ออกมามีคุณภาพถูกต้องตามหลักวิศวกรรม มีเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

1. การทาบเหล็กต้องมีระยะทาบไม่น้อยกว่า 40 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก

2. เสาเข็มเจาะต้องมีระยะหุ้มคอนกรีตเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร

3. การลงปลอกเหล็กชั่วคราวต้องตรวจสอบแนวดิ่งเพื่อป้องกันเสาเข็มเยื้องศูนย์

4. เมื่อเจาะเสาเข็มถึงระดับน้ำใต้ดินใส่สารพยุงดินทันทีเพื่อป้องการการพังทลายของดินก่อนการเทคอนกรีตต้องเทเม็ดโฟมใส่ลงไปหลุมหนาประมาน 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันคอนกรีตไหลเข้ามาผสมกับสารละลายโพลิเมอร์

5. ในการเทคอนกรีตต้องเทให้หมดก่อนเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อรักษาคุณภาพของคอนกรีต

6. สารละลายต้องใส่ให้ได้ตามมาตรฐาน การผสมเบนโทไนท์ 10 - 15 กก.ต่อ ลบ.ม ลงในน้ำที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมโดยใช้เครื่องที่ผสมที่เหมาะสมเพื่อให้สารละลายไม่จับตัวเป็นก้อนการผสมโพลิเมอร์ 0.5 - 1.2 กก. ต่อ ลบ.ม ในส่วนผสมข้างต้นแล้วกวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

7. เมื่อเทปูนเสร็จห้ามกระทบกระเทือนเสาเข็มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือหากมีความจำเป็นที่จะทำการเจาะต้นต่อไปควรมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง

8. ก่อนการเทคอนกรีตต้องเทเม็ดโฟมใส่ลงไปหลุมหนาประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันคอนกรีตไหลเข้ามาผสมกับสารละลายโพลิเมอร์

4.2 เสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. จำนวน 1,080 ต้น ของโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) จากการวางแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น ใช้ระยะเวลาในการทำงาน จำนวน 2 วัน/ต้น ต้นทุนในการก่อสร้าง 200,294.00 บาท และวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน ทำให้ระยะเวลาการทำงานลดลงคงเหลือ จำนวน 1วัน/ต้น ต้นทุนในการก่อสร้าง 297,308.12 บาท/2ต้น ผู้วิจัยจึงเสนอทางเลือกในการก่อสร้างคือ วางแผนการทำงานแบบใหม่ โดยการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน

4.3 วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก

จากการประเมินทางเลือกและแผนการทำงาน พบว่าการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกจะทำการเปรียบเทียบระหว่างแผนการทำงานแบบเดิม และแผนการทำงานแบบใหม่ ซึ่งจะเปรียบเทียบทั้งต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้าง

การเปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้าง โดยคำนวณจากราคาวัสดุค่าแรงและเครื่องจักร ของการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. พบว่าเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น ซึ่งจะมีต้นทุนในการ

ก่อสร้าง 200,294.00 บาท/ต้น และการก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน จะมีต้นทุนในการก่อสร้าง 297,308.12 บาท/2ต้น ดังตารางที่ 4-1 และ 4-2

ตารางที่ 4-1 การประมาณราคาค่าก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนเดิม

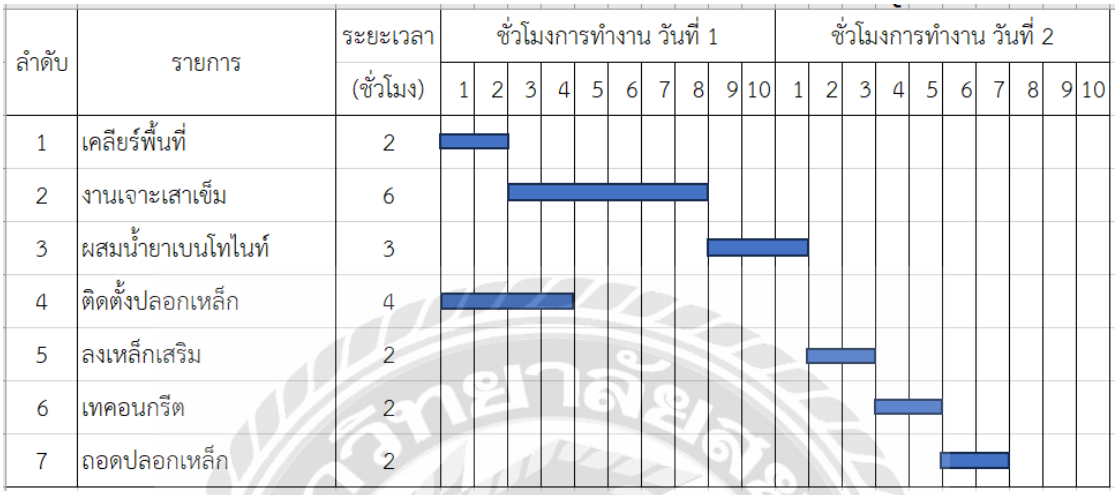
ลำดับที่	รายละเอียดงาน	หน่วย	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย (บาท/หน่วย)		รวมเป็นเงิน (บาท)
				วัสดุ	ค่าแรง	
1	งานเสาเข็ม ขนาด Dia 1.20 x 22.00 เมตร 1 ต้น					
1.1	ค่าวัสดุงานเสาเข็มเจาะ (Bored Pile)					
1.11	ค่าน้ำมันโซล่า	ลิตร	200	29.90		5,980.00
1.12	ค่าสารละลายเบนโทไนท์	กก.	250	7.70		1,925.00
1.13	เหล็กเส้นขนาด DB25*12.00m.	เส้น	28	924.72		25,892.16
1.14	คอนกรีตผสมเสร็จ (กำลังอัด 300 ksc.)	คิว	25	2,195.64		54,891.00
1.15	ยูกิฟขนาด 28mm.	ตัว	28	14.50		406.00
	รวมราคาค่าวัสดุ					89,094.16
1.2	ค่าแรงบุคลากร					
1.21	วิศวกร	ชม.	16		125.00	2,000.00
1.22	โฟร์แมน	ชม.	16		100.00	1,600.00
1.23	พนง.ขับเครนเจาะ	ชม.	16		95.00	1,520.00
1.24	พนง.ขับเครนเซอร์วิส	ชม.	16		95.00	1,520.00
1.25	พนง.ขับแบ็คโฮ	ชม.	16		95.00	1,520.00
1.26	ช่างผูกเหล็ก 3 คน	ชม.	48		45.00	2,160.00
1.27	คนงานทั่วไป 4 คน	ชม.	64		45.00	2,880.00
	รวมราคาค่าแรงบุคลากร					13,200.00
1.3	ค่าเช่าเครื่องจักร					
1.31	เครนเจาะ ED6500 No.01 (อุปกรณ์เจาะDia1.20m.)	ชม.	16		2,291.66	36,666.56
1.32	เครนเซอร์วิส BM700 (70ตัน)	ชม.	16		1,250.00	20,000.00
1.33	ไวโบร์ (Vibro Hammer 38M)	ชม.	16		750.00	12,000.00
1.34	แบ็คโฮ CAT320D	ชม.	16		333.33	5,333.28
	รวมราคาค่าเช่าเครื่องจักร					73,999.84
1.4	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ					
1.41	ค่าเช่าเทเลอร์ขนย้ายเครื่องจักร (1Rigs.)	เหมา	1		24,000.00	24,000.00
1.42	Standby Charge / Day	ชุด	1		50,000.00	Rate Only
	รวมราคาค่าใช้จ่ายอื่น ๆ					24,000.00
	รวมราคางานเสาเข็มเจาะ					200,294.00

ตารางที่ 4-2 การประมาณราคาค่าก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนใหม่

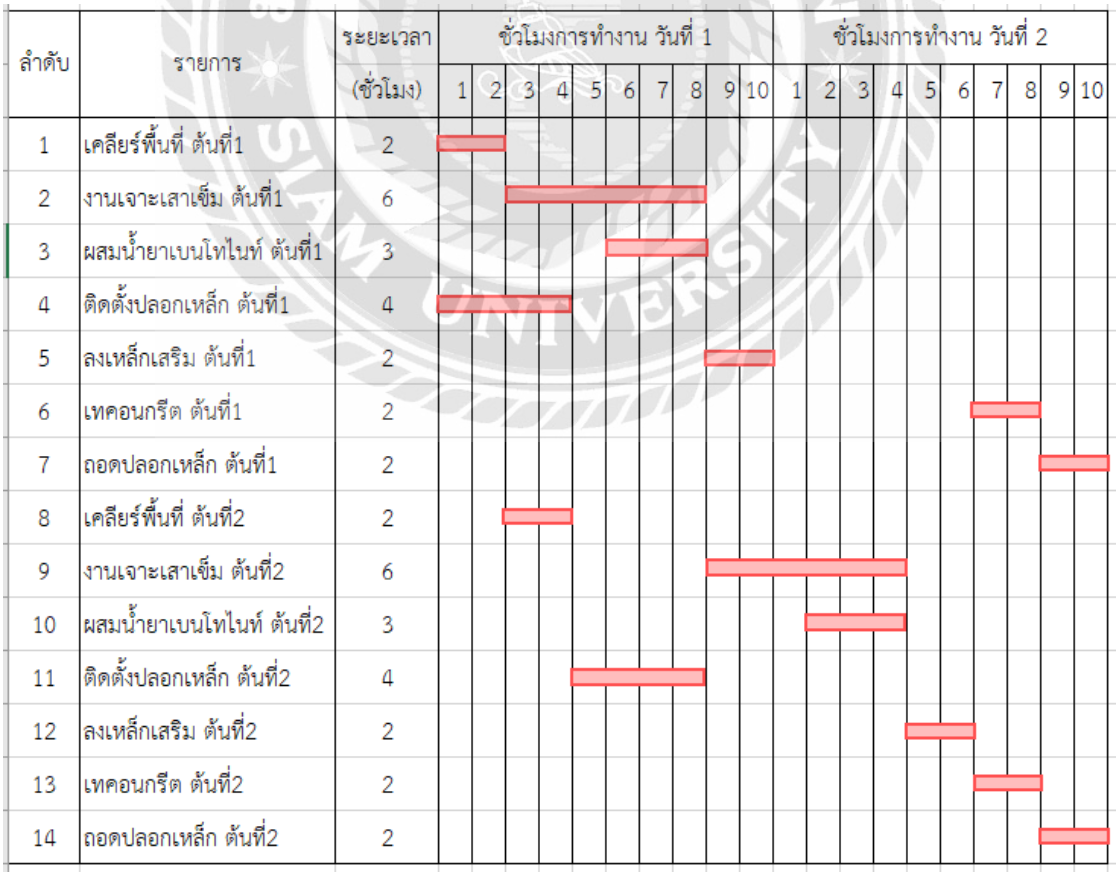
ลำดับที่	รายละเอียดงาน	หน่วย	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วย (บาท/หน่วย)		รวมเป็นเงิน (บาท)
				วัสดุ	ค่าแรง	
1	งานเสาเข็ม ขนาด Dia 1.20 x 22.00 เมตร 2 ต้น					
1.1	ค่าวัตถุดิบงานเสาเข็มเจาะ (Bored Pile)					
1.11	ค่าน้ำมันโซล่า	ลิตร	350	29.90		10,465.00
1.12	ค่าสารละลายเบนโทไนท์	กก.	450	7.70		3,465.00
1.13	เหล็กเส้นขนาด DB25*12.00m.	เส้น	56	924.72		51,784.32
1.14	คอนกรีตผสมเสร็จ (กำลังอัด 300 ksc.)	คิว	50	2,195.64		109,782.00
1.15	ยูกิ้ฟขนาด 28mm.	ตัว	56	14.50		812.00
	รวมราคาค่าวัตถุดิบ					176,308.32
1.2	ค่าแรงบุคลากร					
1.21	วิศวกร	ชม.	20		125.00	2,500.00
1.22	โฟร์แมน	ชม.	20		100.00	2,000.00
1.23	พนง.ขับเครนเจาะ	ชม.	20		95.00	1,900.00
1.24	พนง.ขับเครนเซอร์วิส	ชม.	20		95.00	1,900.00
1.25	พนง.ขับแบ็คโฮ	ชม.	20		95.00	1,900.00
1.26	ช่างผูกเหล็ก 3 คน	ชม.	60		45.00	2,700.00
1.27	คนงานทั่วไป 4 คน	ชม.	80		45.00	3,600.00
	รวมราคาค่าแรงบุคลากร					16,500.00
1.3	ค่าเช่าเครื่องจักร					
1.31	เครนเจาะ ED6500 No.01 (อุปกรณ์เจาะDia1.20m.)	ชม.	20		2,291.66	45,833.20
1.32	เครนเซอร์วิส BM700 (70ตัน)	ชม.	20		1,250.00	25,000.00
1.33	ไวโบร์ (Vibro Hammer 38M)	ชม.	20		750.00	15,000.00
1.34	แบ็คโฮ CAT320D	ชม.	20		333.33	6,666.60
	รวมราคาค่าเช่าเครื่องจักร					92,499.80
1.4	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ					
1.41	ค่าเช่าเทเลอร์ขนย้ายเครื่องจักร (1Rigs./2ย้าย	เหมา	1		24,000.00	12,000.00
1.42	Standby Charge / Day	ชุด	1		50,000.00	Rate Only
	รวมราคาค่าใช้จ่ายอื่นๆ					12,000.00
	รวมราคางานเสาเข็มเจาะ 2 ต้น					297,308.12

การเปรียบเทียบระยะเวลาการก่อสร้าง เสาเข็มเจาะระบบเปียก ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. โดยคำนวณจากระยะเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอน ตามแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น พบว่าการก่อสร้างเสาเข็มเจาะจะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 2 วัน ตามภาพที่ 4-14 และเมื่อปรับแผนการทำงานเป็นแบบใหม่ คือการเท

คอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน พบว่าการก่อสร้างเสาเข็มเจาะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 2 วัน (20 ชั่วโมง) ตามภาพที่ 4-15



ภาพที่ 4-14 ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนเดิม



ภาพที่ 4-15 ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนใหม่

4.4 การวิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า

จากการหาแผนการทำงานแบบใหม่ ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก เพื่อใช้เป็นทางเลือกตามหลักวิศวกรรมคุณค่า โดยต้องการให้คุณภาพแล้วการใช้งานของเสาเข็มเจาะยังอยู่เหมือนเดิม แต่ต้องการลดต้นทุนและลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ที่สำคัญคือสอดคล้องกับพื้นที่ทำงาน ซึ่งพบว่าการใช้เสาเข็มเจาะแบบปรับปรุงจะช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้าง ลดระยะเวลาในการก่อสร้างและเหมาะสมกับพื้นที่ทำงาน ทำให้สอดคล้องกับแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า ในขั้นตอนที่ 2-6 คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน ขั้นตอนการเสนอแนวคิด ขั้นตอนการประเมินทางเลือกต่าง ๆ ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกที่ได้จากขั้นตอนประเมิน และขั้นตอนการนำเสนอทางเลือก

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเรื่อง การลดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จากนครปฐมถึงหัวหิน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำงานและการวางแผนในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) และเพื่อลดต้นทุน ลดระยะเวลา และการจัดสรรทรัพยากร ของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า ซึ่งมีลักษณะการก่อสร้าง คือเป็นเสาเข็มเจาะระบบเปียกขนาดใหญ่ ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. จำนวน 1,080 ต้น ซึ่งในที่นี้จะสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อหาแผนการทำงาน ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก จากแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น เปลี่ยนมาเป็นวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน ซึ่งแผนการทำงานแบบใหม่นั้น สามารถใช้ต้นทุนลดลง และระยะเวลาในการก่อสร้างลดลง แต่ยังคงคุณภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมือนเดิม โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า ในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) จากนั้นได้เสนอแผนการทำงานแบบใหม่ โดยทำการเปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้างและระยะเวลาการก่อสร้าง ซึ่งเสาเข็มเจาะระบบเปียกตามแผนการทำงานเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น มีต้นทุนในการก่อสร้าง 200,294.00 บาท/ต้น ในด้านระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก จำนวน 1,080 ต้น ใช้เวลาในการทำงาน 1,080 วัน โดยมีต้นทุนทั้งหมด 216,317,520.00 บาท และเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน มีต้นทุนในการก่อสร้าง 297,308.12 บาท/2ต้น ซึ่งเสาเข็มเจาะระบบเปียกตามแผนการทำงานแบบใหม่มีราคาถูกกว่า 51,639.94 บาท/ต้น ในด้านระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก จำนวน 1,080 ต้น ใช้เวลาในการทำงาน 540 วัน โดยมีต้นทุนทั้งหมด 160,546,348.80 บาท สามารถลดระยะเวลาการทำงานได้ 50% และลดต้นทุนได้ 25.78% ทำให้สอดคล้องกับแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า ในขั้นตอนที่ 2-6 คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์

หน้าที่การทำงาน ขั้นตอนการเสนอแนวคิด ขั้นตอนการประเมินทางเลือกต่าง ๆ ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกที่ได้จากขั้นตอนประเมิน และขั้นตอนการนำเสนอทางเลือก

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ปัจจุบันจะเห็นได้ว่าการก่อสร้างอาคารสูง สะพาน รถไฟฟ้า อุโมงค์ และโครงสร้างอื่น ๆ มีมากขึ้น วิศวกร หรือผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องนี้ควรติดตามการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดอื่น ๆ ของกฎกระทรวง และหมั่นศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม อาทิ เช่น การอบรมด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นด้านการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวหรือด้านการซ่อมแซมหรือปรับปรุงเสริมกำลังให้กับโครงสร้างอาคาร การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) มีความสำคัญมากเพราะเป็นโครงสร้างสำคัญที่ใช้ในการรองรับน้ำหนักทั้งหมดที่มาจากโครงสร้าง ซึ่งงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ในเรื่องของการวางแผนการทำงาน การลดต้นทุน การลดระยะเวลาการก่อสร้าง การจัดสรรทรัพยากรและอัตราผลผลิต ผลการวิจัยสามารถลดระยะเวลาการทำงาน และลดต้นทุนได้ ทำให้ความสอดคล้องกับแนวคิดของ ภิรมย์ญา ถิ่นนุช, ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง, และวิสูตร จิระดำเกิง (2563) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การจำลองสถานการณ์การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก สรุปว่าการจำลองสถานการณ์เสาเข็มเจาะระบบเปียกนั้น พบว่าการจำลองสถานการณ์สามารถนำมาใช้ในการวางแผนงานจัดรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการทั้งในระยะเวลา ต้นทุน และอัตราผลผลิต ซึ่งผลที่ได้จากการประมวลผลนั้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าจะจัดสรรทรัพยากรอย่างไร ทั้งนี้ในการทำงานจริงนั้นผู้วางแผนจะต้องเลือกว่า ในการตัดสินใจนั้นจะให้ความสำคัญเรื่องใด ระยะเวลา หรือ ต้นทุน อย่างไรก็ตามการวางแผนการจำลองสถานการณ์นั้นจะต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลระยะเวลาของกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อนำมาหาการแจกแจงที่เหมาะสม โดยการเก็บข้อมูลจะต้องเก็บจากสถานที่จริง หรือถ้าหากไม่มีก็ต้องใช้ข้อมูลในอดีตของลักษณะกิจกรรมที่มีลักษณะใกล้เคียงกันกับกิจกรรมที่จะดำเนินการ อีกส่วนหนึ่งจะต้องคำนึงถึงคือ หากทำการวางแผนกระบวนการใด ๆ ด้วยการจำลองสถานการณ์ที่จะต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานหลายวันแล้ว จะต้องคำนวณถึงผลของความไม่ต่อเนื่องจนแล้วเสร็จกระบวนการ ดังนั้นก่อนที่จะนำผลไปใช้จะต้องมีการปรับแก้ตามความเหมาะสมสอดคล้องกับความเป็นจริงให้มากที่สุด และสอดคล้องกับแนวคิดของ วีระพันธ์ หมอกมุงเมือง, เดชดำรงค์ สุปินะ และมานพ แก้วโมราเจริญ ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าในการเลือกใช้ฐานรากแบบปรับปรุงแทนที่ฐานรากแผ่แบบดั้งเดิมสำหรับบ้านพักอาศัย 1 ชั้นในพื้นที่ชุมชน พบว่าการก่อสร้างฐานรากที่ปรับปรุง

ในโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย 1 ชั้นนั้น มีต้นทุนการก่อสร้างน้อยกว่าและใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าการก่อสร้างฐานรากแผ่

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เน้นไปที่การสร้างเครื่องมือ เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดในการวางแผนงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) ซึ่งไม่ได้ศึกษาความแปรผันของปริมาณวัสดุ และราคาวัสดุ รวมถึงค่าเสื่อม ค่าน้ำมันเครื่องจักรอื่น ๆ หรือการปรับขึ้นค่าแรงในอนาคตมาเป็นเงื่อนไขของโครงการ หากต้องการนำไปใช้กับโครงการอื่น ๆ ควรจะนำข้อมูลเหล่านี้มาพิจารณาต่อไปด้วย ในกรณีที่โครงการนั้นมีการใช้พนักงานจากหลายแผนกมาทำงานร่วมกัน ควรมีการปรึกษาหรือประชุมแผนงานก่อนที่จะมีการเริ่มงาน เพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจถึงภาพรวมของงานถึงแม้จะไม่ใช่ในส่วนที่รับผิดชอบ เพื่อให้โครงการนั้นมีข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การเปรียบเทียบเรื่องความคุ้มค่าก็วิเคราะห์อย่างง่ายด้วยการเปรียบเทียบมูลค่าในการก่อสร้างงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกเท่านั้น หากจะพิจารณาเรื่องของความคุ้มค่าในองค์รวมทั้งหมดจะต้องใช้ความรู้เชิงเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับความรู้เชิงวิศวกรรมศาสตร์ด้วย

บรรณานุกรม

กรุงเทพธุรกิจออนไลน์. (2566, 2 ธันวาคม). *ส่องรถไฟทางคู่สายใต้ "นครปฐม – หัวหิน" ทยอยเปิดใช้ 15 ธ.ค.นี้.* https://www.bangkokbiznews.com/business/economic/1101651

โกสินทร์ แข่งขัน. (2559). *การออกแบบฐานรากเสาเข็มเจาะสำหรับอาคารขนาดใหญ่ กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยสูง 18 ชั้น อำเภอนาเกลือ จังหวัดชลบุรี*. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี). ฐานข้อมูลงานวิจัย (sutir.sut.).

จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และ ธนวัฒน์ สว่างงาม. (2561). การควบคุมเวลาล่าช้าของงานด้วยเทคนิค PERT/CPM บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) กรณีศึกษา : การติดตั้งระบบอินเตอร์เน็ตความเร็ว Fiber to the x (FTTx) ที่สถานีก๊าซ NGV ปตท. จ.ปทุมธานี. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 13*(1), 13-26. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/sej/article/view/140208/103972

เฉลิมพล พรมทอง. (2561). *วิธีกำหนดเวลางานแบบลูปสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง*. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม). ฐานข้อมูลงานวิจัย (dspace.spu.).

นครินทร์ ซิ่วนัส, และ วชรภูมิ เบญจโอฬาร. (2563). การเปรียบเทียบการประมาณระยะเวลากิจกรรมงานก่อสร้างแบบ PERT โดยกลุ่มตัวอย่างบริษัทสมาชิกสามัญของสมาคมธุรกิจรับสร้างบ้าน. ใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่อง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25* (น. CEM04-1-CEM04-9). มหาวิทยาลัยบูรพา.

นพฤทธิ์ ทวีชัย, และ Zhang Jiu Ming. (2566). การออกแบบฐานรากเสาเข็มเจาะโดยใช้มาตรฐานการออกแบบของประเทศจีนในโครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงไทย-จีน ระยะที่ 1 (กรุงเทพ-นครราชสีมา) สัญญา 4-3 นวนคร – บ้านโพ. ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่อง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28* (น. GTE10-1-GTE10-8). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

บุษยา สุวรรณจินดา, วิวรรธน์ วชิรภูมิภักดิ์, ศุภกฤษ เฟื่องฟู, และ วรัช ก้องกิจกุล. (2565). การศึกษาทางทฤษฎีและวิธีการเชิงตัวเลขถึงอิทธิพลของน้ำหนักกดทับต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะขยายลำต้น. ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่อง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27* (น. GTE43-1-GTE43-8). มหาวิทยาลัยพะเยา.

ภิรมย์ญา ถิ่นนุช, ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง, และ วิสูตร จิระดำเกิง. (2563). การจำลองสถานการณ์การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก. ใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่อง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25* (น. GTE43-1-GTE43-4). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วศิน นันตสุข, นัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์, และ พิทักษ์ ปักษานนท์. (2566). การประมาณระยะเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินงานสำหรับโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ด้วยวิธี PERT/CPM. ใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่อง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28* (น. CEM05-1- CEM05-7). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วีระพันธ์ หมอกมุงเมือง, เดชดำรงค์ สุปินะ, และ มานพ แก้วโมราเจริญ. (2565). การใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าในการเลือกใช้ฐานรากแบบปรับปรุงแทนที่ฐานรากแผ่แบบดั้งเดิมสำหรับบ้านพักอาศัย 1 ชั้นในพื้นที่ชุมชน. ใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่อง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27* (น. CEM26-1-CEM26-5). มหาวิทยาลัยพะเยา.

สิทธิภัสร์ เอื้ออภิวัชร์, เรืองวิทย์ โชติวิทยาธานินทร์, และ นิพันธ์ แสงศรี. (2563). การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการคำนวณด้วยวิธีสถิตศาสตร์ และจากผลการทดสอบแบบพลศาสตร์สำหรับชั้นดินจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. ใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่อง การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25* (น. GTE40-1-GTE40-7). มหาวิทยาลัยบูรพา.

อาจอง สุขประเสริฐ. (2559). *การประยุกต์เทคนิค PERT/ CPM ในการจัดการกิจกรรมในงานก่อสร้างบ้านจัดสรร*. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา). ฐานข้อมูลงานวิจัย (buuir.buu.).

ประวัติการศึกษา

ชื่อ-สกุล	นายอาทิตย์ สินมา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสยาม
	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
สถานที่ทำงาน	บริษัท เอ็นเท็ค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
	20 หมู่ 10 ถ.สุขุมวิท ต.สำโรงเหนือ อ.เมืองสมุทรปราการ
	จ.สมุทรปราการ 10270

มหาวิทยาลัยสยาม SIAM UNIVERSITY

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทความที่เผยแพร่ตีพิม

Classic Kameo
Ayutthaya
15th
CIOD 2024
PROCEEDING
CIOD 2024
Conference on Industrial Operations Development
"Intelligent Industrial and Management Transformation"
ประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการ
ดำเนินงานทางอุตสาหกรรม ครั้งที่ 15 ประจำปี 2567
(The 15th Conference on Industrial Operations Development 2024)
22-23 May 2024
Venue :Classic Kameo Hotel Ayutthaya
SIAM

รายชื่อบทความ แยกตามห้องบรรยายย่อย ช่วงที่ 2 (13:00 – 16:00 น.)

ห้องบรรยาย A (13:00 – 16:00 น.) Production and Quality Management			
เวลานำเสนอ	**รหัสบทความ**	**ชื่อบทความ / ผู้แต่ง**	**หน้า**
13.00 - 13.15	5	การปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรกรณีศึกษาโรงงานผลิตกะทิกระป๋อง *ตำรงเกียรติ์ ปานบำรุง, พงศ์พัฒน์ เพ็ชรรุ่งเรือง และ ยุทธชัย บรรเทิงจิตร*	234
13.15 - 13.30	6	การศึกษาขั้นตอนการทำงานเพื่อลดต้นทุนและลดระยะเวลาการทำงานของฟาร์มปลาคาร์ป : กรณีศึกษาฟาร์มปลาคาร์ป เขตหนองจอก *กนกกาญจน์ ขวัญนวล, ยาชวินท์ อนันตกูล, ณัฐสุดา มูซา, โชเรดา ทองเจือ และ ณัฐธิดา มะโมดี*	242
13.30 - 13.45	7	แนวทางการปรับปรุงแผนผังคลังสินค้า เพื่อลดระยะเวลาในการค้นหา อะไหล่รถจักรยานยนต์ กรณีศึกษาผู้ประกอบการจำหน่ายอะไหล่รถจักรยานยนต์ จ. ฉะเชิงเทรา *ชิดชนก อินทอง, อโยฤทัย สิงห์สา, อริสรา หวังมี, วรรณชนก บินสลาม และ สิรินยา หมัดลัง*	249
13.45 - 14.00	15	การศึกษาวิธีการเจาะเสาเข็มขนาดใหญ่ให้มีประสิทธิภาพ กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหลถึงหัวหิน) *อาทิตย์ สินมา และ วีระภาพ ดอกจันทร์*	256
14.00 - 14.15	41	การพยากรณ์และการวางแผนการผลิตรวมสำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ *นฤมล หลางกลาง และ บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์*	264
14.15 - 14.30	58	การพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตโครงสร้างสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างและโครงสร้างเหล็ก *เพชรลดา แซ่ฉุกอี้, เอมิกา เลิศสุขเกษม และ ปาริชาต ชีนวัฒนกุล*	270
14.15 - 14.45	พักเบรก 15 นาที		
14.45 - 15.00	61	การลดปริมาณการใช้กระดาษสำหรับเอกสารประกอบการผลิตในแผนกประกอบรถยนต์ *ศิวกร บุญยะทัศน์, สุริยพงศ์ นิลสังข์, เจษฎา จันทวงษ์โส และ พร้อมพงษ์ ปานดี*	276
15.00 - 15.15	62	การศึกษาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในสายการประกอบรถบรรทุก *ณสิทธา ดอกไม้, สุริยพงศ์ นิลสังข์, เจษฎา จันทวงษ์โส และ พร้อมพงษ์ ปานดี*	282

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรม ครั้งที่ 15 (CIOD 2024)
The 15th National Conference of Industrial Operations Development 2024
23 พฤษภาคม 2567 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การศึกษาวิธีการเจาะเสาเข็มขนาดใหญ่ให้มีประสิทธิภาพ กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหลถึงหัวหิน)

Study of Procedures for Efficiently Boring Large Piles Case Study of the Project on Double Track Railway Construction Nakhon Pathom to Hua Hin (Section Nong Pla Lai to Hua Hin)

อาทิตย์ สินมา[1*] วีระกาจ ดอกจันทร์[2*]
[1-2]บัณฑิตวิทยาลัย หลักสูตรการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสยาม 10160
E-mail: artit.sinma@gmail.com[1*], pump@wpthai.com[2*]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับแผนการทำงานของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำงานและการวางแผน เพื่อลดต้นทุน ลดระยะเวลา และการจัดสรรทรัพยากร ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยใช้โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหลถึงหัวหิน) เป็นกรณีศึกษา โดยเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งกิจกรรมออกได้เป็น 7 กิจกรรม หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลเวลา และต้นทุนที่ใช้ในการทำงานของแต่ละกิจกรรม จากนั้นมาวางแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น และวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน พร้อมทั้งปรับเปลี่ยนรูปแบบให้เหมาะสมเพื่อหาค่าอัตราผลผลิตโดยคำนึงถึงทั้งด้านต้นทุนและเวลา จากการวางแผนการทำงานและการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก พบว่าการจัดสรรทรัพยากรที่ส่งผลให้ได้ระยะเวลาและต้นทุนที่เหมาะสมของการก่อสร้าง คือใช้ แผนการทำงานแบบใหม่ ซึ่งใช้เวลาในการทำงาน 540 วัน โดยมีต้นทุนทั้งหมด 160,546,384.80 บาท สามารถลดระยะเวลาการทำงานได้ 50% และลดต้นทุนได้ 25.78%

คำสำคัญ : เสาเข็มเจาะระบบเปียก, การวางแผนการทำงาน, การจัดสรรทรัพยากร

Abstract

This article presented adjustments to the work plan of wet process bored pile construction. The objective was to study the procedures for working and planning to reduce costs, shorten time and resource allocation for wet process bored pile construction. The project on double track railway construction Nakhon Pathom to Hua Hin (Section Nong Pla Lai to Hua Hin) was used as a case study. The study started by the construction process, which could be divided into 7 activities. After that, data on time and costs used in the

performance of each activity were collected, followed by traditional work planning, namely pouring concrete of one bored pile completed and new work planning, that is pouring concrete of two bored piles completed at the same time, along with adjusting the design accordingly to find the production rate by taking into account both cost and time. From planning work and construction of wet-process bored piles, it was found that resource allocation resulting in the optimal duration and cost of construction was the use of a new work plan by taking 540 working days with a total cost of 160,546,384.80 baht, being able to reduce working time by 50% and reducing cost by 25.78%.

Keywords: Wet process bored pile, Work planning, Resource allocation

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรม ครั้งที่ 15 (CIOD 2024)
The 15th National Conference of Industrial Operations Development 2024
23 พฤษภาคม 2567 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. บทนำ

โครงการรถไฟทางคู่สายใต้ เป็นหนึ่งในโปรเจกต์เร่งด่วนที่การรถไฟแห่งประเทศไทย (ร.ฟ.ท.) ดำเนินการต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 2560 เพื่อสร้างโครงข่ายระบบขนส่งทางราง อำนวยความสะดวกในการเดินทางของประชาชน ตลอดจนการขนส่งสินค้าเชื่อมภูมิภาคและประเทศเพื่อนบ้าน เป็นจุดเริ่มต้นของการพลิกโฉมการคมนาคมขนส่งระบบรางของประเทศครั้งสำคัญ ให้กลายเป็นศูนย์กลางด้านคมนาคมของภูมิภาคอาเซียน สำหรับโครงการรถไฟทางคู่ ช่วงนครปฐม-หัวหิน มีระยะทางรวม 169 กิโลเมตร มีจำนวน 28 สถานี วงเงินก่อสร้าง 20,145 ล้านบาท [1]

ในงานทางวิศวกรรมโยธา ฐานรากเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงจากโครงสร้างลงไปสู่ชั้นดินลึกที่มีความสามารถในการแบกรับน้ำหนักบรรทุกทำให้โครงสร้างคงอยู่ได้ โดยฐานรากที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ ฐานรากตื้นและฐานรากลึก [2] โดยเฉพาะการออกแบบฐานรากลึกชนิดเสาเข็มที่ใช้ในการออกแบบสำหรับรับน้ำหนักโครงสร้างขนาดใหญ่หรือโครงสร้างที่ต้องรับภาระน้ำหนักสูงเป็นพิเศษเพื่อใช้ในการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างหลักลงสู่ชั้นดินอย่างปลอดภัย โดยหลักการออกแบบเสาเข็มเพื่อรับน้ำหนักและถ่ายน้ำหนักลงดินนั้นจะใช้ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ข้อมูลชั้นดินตามลักษณะภูมิประเทศ, ข้อมูลสำรวจเพิ่มที่มีอยู่ในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง, และจากการเจาะสำรวจชั้นดินขึ้นมาใหม่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำของลักษณะชั้นดิน ณ บริเวณที่จะออกแบบเสาเข็มดังกล่าว [3] โดยที่เสาเข็ม (Pile) ทำหน้าที่ในการถ่ายแรงจากโครงสร้างลงสู่ชั้นดิน กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของดินรอบเสาเข็ม (Skin friction) และความสามารถในการรับน้ำหนักของดินที่ปลายเสาเข็ม (End bearing) การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มนั้นสามารถพิจารณาได้จาก (i) วิธีสถิตศาสตร์ (Static Method) โดยประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินในสนาม (Soil Investigation) (ii) วิธีพลศาสตร์ (Dynamic Method) เป็นการประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในขณะที่ทำการตอกเสาเข็มโดยใช้ข้อมูลจากการตอกเสาเข็ม ได้แก่ น้ำหนักของตุ้ม ความสูงที่ยก และระยะที่เสาเข็มจมลงเมื่อตอก วัสดุรองหัวเสาเข็ม และ (iii) การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในสนาม ประกอบไปด้วยการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบสถิตย์ (Static pile load test) และการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบพลศาสตร์ (Dynamic pile load test) ขั้นตอนในการออกแบบ ผู้ออกแบบจะทำการพิจารณาข้อมูลชั้นดินเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม จากนั้นจะทำการระบุขนาดและความยาวของเสาเข็มที่เกิดความปลอดภัย [4]

การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) เป็นงานอีกประเภทหนึ่ง ที่ต้องมีการจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงาน รวมไปถึงการเลือกใช้เทคนิคและวิธีการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการทำงาน เนื่องจากลักษณะของงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ที่มีลักษณะเฉพาะจึงไม่สามารถเลือกใช้วิธีการทำงานโดยการลองผิดลองถูก ดังนั้นในการบริหารการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการทำงานและกำหนดวิธีการก่อสร้างก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ ในการวางแผนงานก่อสร้างนั้น วิธีการคือทำการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ โดยผู้วิเคราะห์สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการจัดสรรทรัพยากรและการวางแผนงานก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านเวลาและต้นทุน โดยมีการจัดเก็บข้อมูลจากกิจกรรมย่อยในภาคสนาม และการวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่น่าเชื่อถือ [5]

บทความนี้ผู้ศึกษาได้เลือกใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า ในโครงการ มาใช้เป็นเครื่องมือในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยที่วางแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น เปลี่ยนเป็นวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน โดยใช้โครงการรถไฟทางคู่ ช่วงนครปฐม-หัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) เป็นกรณีศึกษาเพื่อหาจำนวนเครื่องจักร และคนงานที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงต้นทุน เวลา และการจัดสรรทรัพยากร

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการทำงานและการวางแผนในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน)

2. เพื่อลดต้นทุน ลดระยะเวลา และการจัดสรรทรัพยากรของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน)

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ฐานรากอาคาร

ฐานรากแผ่ คือฐานรากที่เราใช้กันทั่วไปสามารถรับน้ำหนักบ้านหรืออาคาร เหมาะสำหรับดินที่สามารถรับน้ำหนักได้มาก บริเวณพื้นที่ภาคเหนือภาคอีสาน

ฐานรากเสาเข็มตอก คือฐานรากเสาเข็มที่มีความทนทาน เนื่องจากใช้การตอกลงไปในดิน โดยอาศัยความเสียดทานของดินและการแบกรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็มรับน้ำหนักของตัวอาคาร นิยมใช้ในพื้นที่ชั้นดินอ่อน

ฐานรากเสาเข็มเจาะ คือฐานรากเสาเข็มชนิดหนึ่งที่จะใช้วิธีการขุดลงไปในดิน แล้วทำการหย่อนเสาเข็มลงไปเป็นแบบแล้วจึงเทคอนกรีตตามลงไป ซึ่งจะสามารถคำนวณการใช้เสาเข็มตามการรับน้ำหนักได้อย่างเหมาะสม

3.2 วิศวกรรมคุณค่า

วิศวกรรมคุณค่า คือ การประยุกต์ใช้เทคนิคที่เป็นระบบ โดยเน้นหน้าที่การทำงาน (Function) ของผลิตภัณฑ์หรือบริการเป็นหลัก โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ยังคงคุณภาพและความน่าเชื่อถืออยู่ โดยมีกระบวนการทำงาน 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. Information Phase คือขั้นตอนรวบรวมข้อมูล ทบทวนสภาพปัจจุบันของโครงการ ระบุความต้องการในการปรับปรุงคุณค่า

2. Function Analysis Phase คือขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน (function) ของส่วนที่ต้องการปรับปรุง ส่วนใดจำเป็น ไม่จำเป็น เพื่อให้สอดคล้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

3. Creative Phase คือขั้นตอนการเสนอแนวคิด ทางเลือกอื่น ๆ ในส่วนที่ต้องการปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

4. Evolution Phase คือขั้นตอนประเมินทางเลือกต่าง ๆ จากขั้นตอนที่เสนอมา เพื่อคัดทางเลือกที่ดีที่สุด

5. Development Phase คือขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกที่ได้จากขั้นตอนประเมิน เพื่อพัฒนา ก่อนที่จะทำการนำเสนอ

6. Reporting Phase คือขั้นตอนการนำเสนอทางเลือก ให้ผู้มีอำนาจตัดสินพิจารณา [6]

3.3 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart)

Gantt chart เป็นเทคนิคที่คิดขึ้นประมาณปี พ.ศ. 2461 โดยเฮนรี แอล.แกนต์ (Henry L. Gantt) เพื่อใช้ในการวางแผนเกี่ยวกับเวลา เป็นวิธีที่งานยอมรับและนิยมใช้กันมาก โดยจะใช้เป็นเครื่องมือช่วยการปฏิบัติงานของผู้บริหาร ในการดำเนินการแก้ไขควบคุม การวางแผนที่เหมาะสม เพื่อช่วยสนับสนุนให้การ ดำเนินงานบรรลุเป้าหมาย และวัตถุประสงค์ของโครงการ อย่างมีประสิทธิภาพ ผังในลักษณะนี้จะแสดงถึงปริมาณงานและกำหนดเวลาที่จะต้องใช้ เพื่อทำงานนั้นให้ลุล่วง เป็นแผนภูมิในรูปของกราฟแท่งที่ ประกอบด้วย แกนหลัก 2 แกน คือ แกนนอนแสดงถึงเวลาในการทำงานตลอดโครงการ และแกนตั้งแสดงถึงงานหรือกิจกรรมที่ต้องทำ แท่งกราฟวางตัวในแนวนอน ความยาวของแท่งกราฟเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาในการทำงาน [7] ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การจัดทำแผนกำหนดการแบบแผนภูมิแกนต์

4. วิธีดำเนินการวิจัย

โครงงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า ในการลดต้นทุนการก่อสร้าง และระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) ซึ่งมีลักษณะการก่อสร้าง คือเป็นเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. จำนวน 1,080 ต้น ทรัพยากรที่ใช้ในการทำงานประกอบไปด้วย Drilling Rig พร้อมคนขับ Service Crawler crane พร้อมคนขับ Vibro Hammer พร้อมคนขับ รถแบ็คโฮ พร้อมคนขับ คนงาน 7 คนต่อ 1 ชุด โดยที่งานวิจัยนี้มีทรัพยากรที่ใช้ในการทำงาน จำนวน 2 ชุด โดยขั้นตอนในการก่อสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 กิจกรรมย่อยดังนี้ เริ่มจากเคลียร์พื้นที่ ติดตั้งปลอกเหล็ก ผสมน้ำยาเบนโทไนท์ เจาะเสาเข็ม ลงเหล็กเสริม เทคอนกรีต และถอดปลอกเหล็ก จึงแล้วเสร็จ ซึ่งมีขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

1.เริ่มทำการศึกษาการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก

2.เสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสีย

3.วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก

4.วิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า

5. ผลการวิจัย

5.1 การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก

การก่อสร้างจำพวกอาคาร สะพาน จำเป็นต้องมีโครงสร้างฐานรากที่เหมาะสมเพียงพอต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้าง ในการก่อสร้างฐานราก มักจะใช้ระยะเวลามาก อีกทั้งการก่อสร้างภายในพื้นที่ชุมชน ที่มีพื้นที่แคบ การจราจรที่หนาแน่น และผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง จึงเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่ต้องคำนึงถึง วิศวกรผู้ออกแบบจึงต้องการข้อมูลของผลการวิเคราะห์ชั้นดิน เพื่อทำการออกแบบเสาเข็มและฐานราก แล้วจึงทำการก่อสร้างตามแบบและหลักวิศวกรรม ในงานวิจัยนี้เป็นการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. จำนวน 1,080 ต้น

5.2 เสนอทางเลือกและวางแผนในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ในการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. ของโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) จากการวางแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น ใช้ระยะเวลาในการทำงานจำนวน 2 วัน/ต้น ต้นทุนในการก่อสร้าง 200,294.00 บาท และวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน ทำให้ระยะเวลาการทำงานลดลงคงเหลือ จำนวน 1วัน/ต้น ต้นทุนในการก่อสร้าง 297,308.12 บาท/2ต้น ผู้วิจัยจึงเสนอทางเลือกในการก่อสร้างคือ วางแผนการทำงานแบบใหม่

5.3 วิเคราะห์การเปรียบเทียบต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้างของเสาเข็มเจาะระบบเปียก

จากการประเมินทางเลือกและแผนการทำงาน พบว่าการก่อสร้างเสาเข็มเจาะจะทำการเปรียบเทียบระหว่างแผนการทำงานแบบเดิมและแผนการทำงานแบบใหม่ ซึ่งจะเปรียบเทียบทั้งต้นทุน และระยะเวลาการก่อสร้าง

รูปที่ 2 การประมาณราคาค่าก่อสร้างเสาเข็มเจาะตามแผนเดิม

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรม ครั้งที่ 15 (CIOD 2024)
The 15th National Conference of Industrial Operations Development 2024
23 พฤษภาคม 2567 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

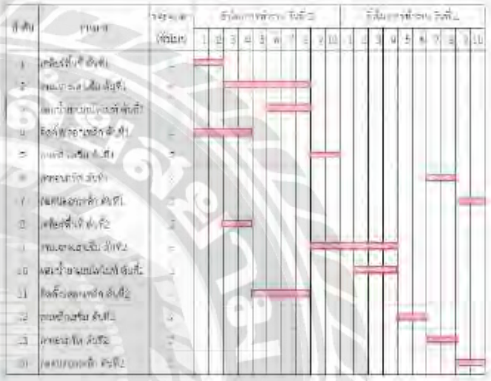
รูปที่ 3 การประมาณราคาค่าก่อสร้างเสาเข็มตามแผนใหม่

การเปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้าง โดยคำนวณจากราคาวัสดุค่าแรงและเครื่องจักร ของการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียกขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. พบว่าเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานเดิมมีต้นทุนในการก่อสร้าง 200,294 บาท/ต้น และเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานแบบใหม่มีต้นทุนในการก่อสร้าง 297,308.12 บาท/2ต้น

การเปรียบเทียบระยะเวลาการก่อสร้าง เสาเข็มเจาะระบบเปียกขนาด ø 1.20 ม. ความยาว 22.00 ม. โดยคำนวณจากระยะเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอน จำนวน 1 ต้น ตามแผนการทำงานเดิม พบว่าเสาเข็มเจาะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 2 วัน ตามรูปที่ 4

รูปที่ 4 ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มตามแผนเดิม

เมื่อปรับแผนการทำงานเป็นแบบใหม่ ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ จำนวน 2 ต้น ตามแผนการทำงานใหม่ พบว่าเสาเข็มเจาะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 2 วัน (20 ชั่วโมง) ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มตามแผนใหม่

5.4 การวิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า

จากการหาแผนการทำงานแบบใหม่ ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก เพื่อใช้เป็นทางเลือกตามหลักวิศวกรรมคุณค่า โดยต้องการให้คุณภาพแล้วการใช้งานของเสาเข็มเจาะยังอยู่เหมือนเดิม แต่ต้องการลดต้นทุนและลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ที่สำคัญคือสอดคล้องกับพื้นที่ทำงาน ซึ่งพบว่าการใช้เสาเข็มเจาะแบบปรับปรุงจะช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้าง ลดระยะเวลาในการก่อสร้างและเหมาะสมกับพื้นที่ทำงาน ทำให้สอดคล้องกับแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า ในขั้นตอนที่ 2-6

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อหาแผนการทำงาน ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ จากแผนการทำงานแบบเดิม คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 1 ต้น เปลี่ยนมาเป็นวางแผนการทำงานแบบใหม่ คือการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ จำนวน 2 ต้นพร้อมกัน ซึ่งแผนการทำงานแบบใหม่นั้น สามารถใช้ต้นทุนลดลง และระยะเวลาในการก่อสร้างลดลง แต่ยังคงคุณภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมือนเดิม โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า ใน

โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) จากนั้นได้เสนอแผนการทำงานแบบใหม่ โดยทำการเปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้างและระยะเวลาการก่อสร้าง ซึ่งเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานเดิมมีต้นทุนในการก่อสร้าง 200,294 บาท/ต้น และเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานแบบใหม่มีต้นทุนในการก่อสร้าง 297,308.12 บาท/2ต้น ซึ่งเสาเข็มเจาะตามแผนการทำงานแบบใหม่มีราคาถูกกว่า 51,639.94 บาท/ต้น ในด้านระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ จำนวน 1,080 ต้น ใช้เวลาในการทำงาน 540 วัน โดยมีต้นทุนทั้งหมด 160,546,384.80 บาท สามารถลดระยะเวลาการทำงานได้ 50% และลดต้นทุนได้ 25.78% ทำให้สอดคล้องกับแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า ในขั้นตอนที่ 2-6 คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน ขั้นตอนการเสนอแนวคิด ขั้นตอนการประเมินทางเลือกต่าง ๆ ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกที่ได้จากขั้นตอนประเมิน และขั้นตอนการนำเสนอทางเลือก

7. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การศึกษานี้เน้นไปที่การสร้างเครื่องมือ เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดในการวางแผนงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นครปฐมถึงหัวหิน (ช่วงหนองปลาไหล-หัวหิน) ซึ่งไม่ได้ศึกษาความแปรผันของปริมาณวัสดุ และราคาวัสดุ รวมถึงค่าเสื่อม ค่าน้ำมันเครื่องจักรอื่น ๆ หรือการปรับขึ้นค่าแรงในอนาคตมาเป็นเงื่อนไขของโครงการ หากต้องการนำไปใช้กับโครงการอื่น ๆ ควรจะนำข้อมูลเหล่านี้มาพิจารณาต่อไปด้วย ในกรณีที่โครงการนั้นมีการใช้พนักงานจากหลายแผนกมาทำงานร่วมกัน ควรมีการปรึกษาหารือประชุมแผนงานก่อนที่จะมีการเริ่มงาน เพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจถึงภาพรวมของงานถึงแม้จะไม่ใช่ในส่วนที่รับผิดชอบ เพื่อให้โครงการนั้นมีข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

8. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติ พี่น้อง มิตรสหาย และคณาจารย์บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรการจัดการงานวิศวกรรมมหาวิทยาลัยสยาม ทุก ๆ ท่าน ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำให้ประโยชน์ให้ความรู้รวมไปถึงการติดตามดูแลมาโดยตลอด รวมถึงผู้แต่งหนังสือหรือเอกสารทางวิชาการ ที่ข้าพเจ้าได้ใช้เป็นเอกสารอ้างอิง รวมทั้งหัวหน้างาน เพื่อนร่วมงานทุกคนที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่าง ๆ ทำให้สามารถทำการศึกษานี้ได้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

1. ข่าวทั่วไป, กรุงเทพธุรกิจ, ข้อมูลจาก https://www.bangkokbiznews.com/business/economic/1101651, วันที่สืบค้นข้อมูล 9 มีนาคม 2567.
2. บุษยา สุวรรณจินดา, วิวรรธน์ วิชิรภูมิภักดิ์, ศุภกฤษ เฟื่องฟู, และวรัช ก้องกิจกุล, (2565), "การศึกษาทางทฤษฎีและวิธีการเชิงตัวเลขถึงอิทธิพลของน้ำหนักกดทับต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะขยายลำต้น", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2565, หน้า GTE43-1 - GTE43-8.
3. นพฤทธิ์ ทวีชัย, และ Zhang Jiu Ming, (2566), "การออกแบบฐานรากเสาเข็มเจาะโดยใช้มาตรฐานการออกแบบของประเทศจีนในโครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงไทย-จีน ระยะที่ 1 (กรุงเทพ-นครราชสีมา) สัญญา 4-3 นวนคร - บ้านโพ", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 ประจำปี 2566, หน้า GTE10-1 – GTE10-8.
4. สิทธิภัสร์ เอื้ออภิวัชร์, เรืองวิทย์ โชติวิทยาธานินทร์, และนิพันธ์ แสงศรี, (2563), "การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการคำนวณด้วยวิธีสถิตศาสตร์ และจากผลการทดสอบแบบพลศาสตร์สำหรับชั้นดินจังหวัดประจวบคีรีขันธ์", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 ประจำปี 2563, หน้า GTE40-1 – GTE10-7.
5. ภิรมย์ญา ถิ่นนุช, ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง, และวิสูตร จิระดำเกิง, (2563), "การจำลองสถานการณ์การก่อสร้าง

เสาเข็มเจาะระบบเปียก", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 ประจำปี 2563, หน้า GTE43-1 - GTE43-4.

6. วีระพันธ์ หมอกมุงเมือง, เดชดำรงค์ สุปินะ, และมานพ แก้วโมราเจริญ, (2565), "การใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าในการเลือกใช้ฐานรากแบบปรับปรุงแทนที่ฐานรากแผ่แบบดั้งเดิมสำหรับบ้านพักอาศัย 1 ชั้นในพื้นที่ชุมชน", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2565, หน้า CEM26-1 - CEM26-5.
7. เฉลิมพล พรมทอง, (2561), "วิธีกำหนดเวลางานแบบลูปสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง" วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม.