



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นที่มีผลจากปัญหาเสาเข็มเยื้อง
ศูนย์ด้วยทฤษฎีฐานรากยืดหยุ่นและแข็งเกร็งกับวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

**Comparison Analysis of Load Distribution on Piles Caused by Pile
Deviation Using Flexible and Rigid Foundation Theory
with Finite Element Method**

โดย

ผศ.ดร. เณลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี

อาจารย์ สมศักดิ์ ชินวิกัย

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสยาม

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

การตอกเสาเข็มหรือเจาะเสาเข็มมักจะมีปัญหาการเอียงศูนย์ วิศวกรหรือผู้ก่อสร้างจำเป็นต้องคำนวณวิเคราะห์แรงในเสาเข็มแต่ละต้นเพื่อพบทวนการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์หาแรงในเสาเข็มแต่ละต้นที่มีแรงภายนอกทั้งแรงในแนวดิ่ง

การวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีการคำนวณตามทฤษฎีฐานรากแข็งแกร็งและยึดหยุ่น โดยนำเสนอการประยุกต์ใช้โปรแกรม PileDiv MS. Excel ที่ทางทีมผู้วิจัยเป็นผู้พัฒนา ซึ่งสามารถหาแรงในเสาเข็มแต่ละต้นได้ โดยมีการดำเนินการตามแผนการทดลองเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมที่ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์

ผลการวิจัยพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม PileDiv MS. Excel เปรียบเทียบกับโปรแกรม DRMK, AFES 3.0 มีค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันในทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรม STAAD.Pro ที่ใช้ทฤษฎีฐานรากยึดหยุ่นแบบ Strut-Tie Model และ เสาเข็มแบบสปริง(K_{pile}) พบว่าค่าแรงของเสาเข็มจาก PileDiv MS. Excel แตกต่างกับ STAAD.Pro ซึ่งมีแรงถ่ายสู่เสาเข็มที่อยู่ในช่วงกลางฐานมาก และกระจายแรงสู่เสาเข็มต้นอื่น ๆ มากขึ้น เมื่อเสาเข็มเป็นแบบสปริงคู่เข้าค้ำยันฐานรากแข็งแกร็ง

Abstract

Pile driving or drilling rigs are often misaligned and expected moves from the required position. Engineers and/or builders need to calculate the force analysis of each pile to review the design in accordance with actual conditions. Therefore, this research is intended to offer guidance to determine each pile force within the external vertical force.

The research is done by using theoretical calculations based on the flexibility and rigidity principles. In addition, PileDiv. MS. Excel application has been created developed by Research Team to determine the reaction of piles that had to compare with an analysis program using finite element method as experiment plan.

It was found that the research results from DRMK, AFES 3.0. was same as PileDiv. MS. Excel. However, The results from STAAD.Pro based on Strut-Tie Model and Spring Pile (Kpile) was different. The results were more distribute to piles near foundation center. Moreover, the distribution of piles seems to be convergence to rigid foundation when applied spring piles.

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยสยาม ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยฉบับนี้ และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการจัดทำงานวิจัยเล่มนี้

ขอขอบคุณ TumCivil.com และ Gooshared.com ที่ทางผู้วิจัยได้นำโปรแกรมไปให้เพื่อการศึกษา ทำให้มีผู้สนใจจำนวนมากมา Download ผลงานนี้เพื่อใช้ประโยชน์ในวงการวิชาการ และวิชาชีพอย่างกว้างขวางมากขึ้น เป็นบริการวิชาการแก่สังคม สุดท้ายขอขอบพระคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องและใช้ประโยชน์จากผลงานนี้เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี

อาจารย์สมศักดิ์ ชินวิกภัย

9 สิงหาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	7
1.3. ขอบเขตการวิจัย.....	7
1.4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	7
1.5. ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	8
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1. ปัญหาฐานรากเสาเข็มรับแรงกระทำเชิงศูนย์ และ/หรือเสาเข็มเชิงศูนย์.....	9
2.2. การวิเคราะห์แรงในเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีฐานรากแข็งแกร็ง.....	11
2.3. การวิเคราะห์แรงกระทำในเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีฐานรากยืดหยุ่น.....	15
2.3.1 การวิเคราะห์แรงแบบคานฐานรากยืดหยุ่น	15
2.3.2 การวิเคราะห์แรงแบบเสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง.....	15
2.3.3. การวิเคราะห์แรงแบบ Strut-Tie Model (STM.)	17
2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.4.1 โปรแกรม PDMS. Excel	19
2.4.2 โปรแกรม DRMK.....	21
2.4.3 โปรแกรม AFES 3.0.....	22

2.4.4 โปรแกรม STADD. Pro	23
บทที่ 3 เปรียบวิธีวิจัย.....	24
3.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบตรงศูนย์.....	24
3.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบเอียงศูนย์.....	26
3.3 การเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามแผนการทดลองต่าง ๆ.....	28
บทที่ 4 ผลการวิจัย	29
4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบตรงศูนย์.....	31
4.1.1 กรณีฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น.....	31
4.1.2 กรณีเสาเข็ม 5 ต้น	36
4.1.3 กรณีเสาเข็ม 6 ต้น	31
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบเอียงศูนย์.....	42
4.2.1 กรณีฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น และ 5 ต้น	42
4.2.2 กรณีฐานรากเสาเข็ม 6 ต้น.....	42
4.2.3 กรณีเสาเข็ม 6 ต้น.....	42
4.3 การเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามแผนการทดลองต่าง ๆ.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
บรรณานุกรม.....	53
ประวัติผู้จัดทำ.....	54

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างสาเหตุของปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์และเสาเข็มบกพร่อง.....	7
ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองกรณีเสาเข็มตรงศูนย์ และ ความหนาของฐานรากเท่ากัน 0.30 ม...	25
ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองกรณีเสาเข็มตรงศูนย์ และ ความหนาของฐานรากเท่ากัน 0.90 ม...	25
ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองกรณีเสาเข็มเอียงศูนย์ และ ความหนาของฐานรากเท่ากัน 0.30 ม...	27
ตารางที่ 3.4 แผนการทดลองกรณีเสาเข็มเอียงศูนย์ และ ความหนาของฐานรากเท่ากัน 0.90 ม...	28
ตารางที่ 4.1 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละโปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบตรงศูนย์.....	41
ตารางที่ 4.2 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละโปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบตรงศูนย์	41
ตารางที่ 4.3 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละโปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบเอียงศูนย์.....	46
ตารางที่ 4.4 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละโปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบเอียงศูนย์	46

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ประเภทของฐานราก ฐานรากคานและฐานรากเสาเข็ม.....	1
ภาพที่ 1.2 เสาเข็มเสียบนชั้นในหน้างานก่อสร้าง.....	3
ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างรายงานตำแหน่งเสาเข็มจากหน้างานก่อสร้าง.....	4
ภาพที่ 1.4 ระยะค้ำยันฐานรากเดี่ยวหรือที่สามารถประยุกต์ใช้กับเสาเข็มเดี่ยว.....	5
ภาพที่ 1.5 ฐานรากเสาเข็มที่มีเสาเข็ม 4 ต้น 5 ต้น และ 6 ต้น.....	6
ภาพที่ 1.6 ฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น ที่จำลองตัวแบบ Truss หรือ Strut-Tie Model ผ่านการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์คำนวณแบบ Finite Element.....	6
ภาพที่ 2.1 ฐานรากที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์จากเสาและฐานรากที่มีโมเมนต์กระทำกับฐานราก..	10
ภาพที่ 2.2 เสาตอม่อที่เยื้องศูนย์ และเสาเข็มที่เกิดการหนีศูนย์ร่วมด้วย.....	10
ภาพที่ 2.3 เสาเข็มเกิดชำรุดต้องตอก/ทำเสริมหรือแซม ฐานรากอาจจะมีเสาตอม่อมากกว่า 1 ต้นหรือฐานรากใกล้เคียงกันต้องทำฐานร่วมกัน.....	11
ภาพที่ 2.4 แรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น เมื่อรับแรงในแนวดิ่งและโมเมนต์.....	12
ภาพที่ 2.5 ฐานรากเสาเข็มที่มีการรับแรงในแนวแกนและโมเมนต์ 2 ทิศทาง.....	14
ภาพที่ 2.6 ฐานรากแบบคานฐานรากยึดหุ่น.....	15
ภาพที่ 2.7 ฐานรากที่สมมติให้เสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง.....	16
ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์เสาเข็มที่มีพฤติกรรมแบบสปริง.....	16
ภาพที่ 2.9 องค์ประกอบของ Strut-Tie Model (STM.)	17
ภาพที่ 2.10 การจำลองภาพฐานรากแบบ Strut-Tie Model (STM.)	17
ภาพที่ 2.11 องค์ประกอบของ Strut-Tie Model (STM.)	18

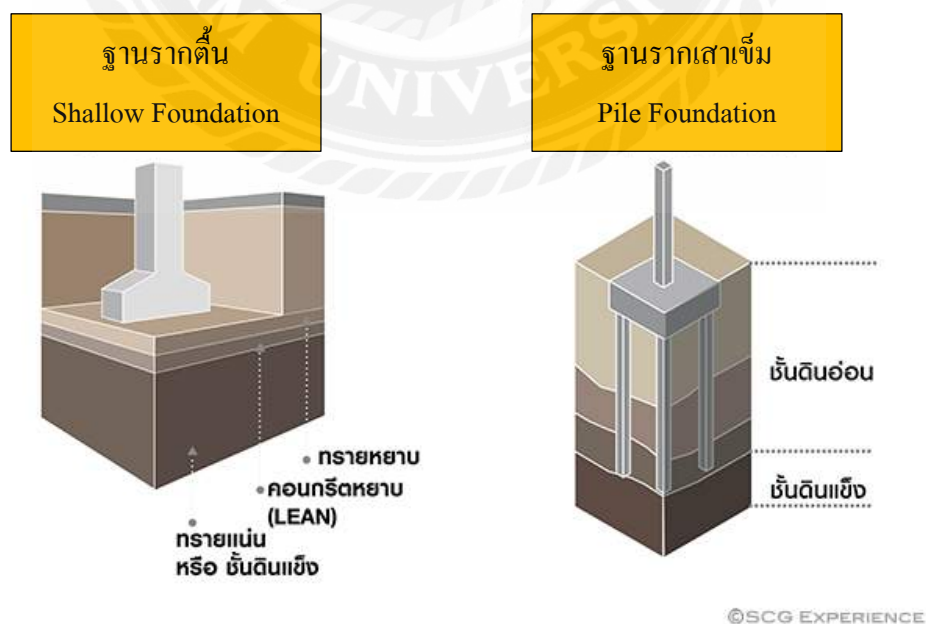
ภาพที่ 2.12 Strut-Tie Model ของฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น.....	18
ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มที่มีการรับโมเมนต์ 2 ทิศทางและเสาเข็มเอียงศูนย์.....	19
ภาพที่ 2.14 ผลการคำนวณตามตัวอย่างฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์.....	20
ภาพที่ 2.15 ผลการคำนวณตามตัวอย่างฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์ ด้วย PDMS.Excel.....	20
ภาพที่ 2.16 ข้อมูลนำเข้าสำหรับฐานรากเสาเข็ม.....	21
ภาพที่ 2.17 ตารางป้อนข้อมูลสำหรับการเอียงศูนย์ของเสาเข็ม.....	21
ภาพที่ 2.18 หน้าต่างโปรแกรม AFES 3.0 และ ฐานราก 3D.....	22
ภาพที่ 2.19 หน้าต่างโปรแกรม STAAD. Pro และ แบบจำลองฐานราก 3D.....	23
ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างหน้าต่าง PDMS. Excel สำหรับการวิเคราะห์แรงของเสาเข็มที่ตรงศูนย์.....	25
ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างหน้าต่าง PDMS. Excel สำหรับการวิเคราะห์แรงของเสาเข็มที่เอียงศูนย์.....	27
ภาพที่ 4.1. เสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์.....	29
ภาพที่ 4.2. เสาเข็ม 4 ต้น เอียงศูนย์.....	29
ภาพที่ 4.3. เสาเข็ม 5 ต้น ตรงศูนย์.....	30
ภาพที่ 4.4. เสาเข็ม 5 ต้น เอียงศูนย์.....	30
ภาพที่ 4.5. เสาเข็ม 6 ต้น ตรงศูนย์.....	30
ภาพที่ 4.7. เสาเข็ม 6 ต้น เอียงศูนย์.....	30
ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย PDMS.Execl แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์.....	31
ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย DRMK แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์.....	32
ภาพที่ 4.9 การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วยAFES3.0 แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์	33

ภาพที่ 4.10 ตย.การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรง ศูนย์ จุติรองรับแบบจุดหมุน (Hinge)	34
ภาพที่ 4.11 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรง ศูนย์ จุติรองรับแบบสปริง (Spring)	35
ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย PDMS.Execl แบบเสาเข็ม 5 ต้น ตรงศูนย์.....	36
ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย DRMK แบบเสาเข็ม 5 ต้น ตรงศูนย์.....	37
ภาพที่ 4.14 การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย AFES 3.0 แบบเสาเข็ม 5 ต้นตรงศูนย์..	38
ภาพที่ 4.15 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 5 ต้น ตรง ศูนย์ จุติรองรับแบบจุดหมุน (Hinge)	39
ภาพที่ 4.16 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 5 ต้น ตรงศูนย์ จุติรองรับแบบสปริง (Spring)	40
ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย PDMS.Execl แบบเสาเข็ม 6 ต้น เขื่องศูนย์.....	42
ภาพที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย DRMK แบบเสาเข็ม 6 ต้น เขื่องศูนย์.....	43
ภาพที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย AFES 3.0 แบบเสาเข็ม 6 ต้น เขื่องศูนย์.....	44
ภาพที่ 4.20 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 5 ต้น เขื่องศูนย์ จุติรองรับแบบจุดหมุน (Hinge) และแบบสปริง.....	45
ภาพที่ 5.1 การเผยแพร่โปรแกรม ผ่านทาง GooShared.com.....	51
ภาพที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณวิเคราะห์จากฐานรากเสาเข็มจากโปรแกรม Midas Gen.	52

บทที่ 1

บทนำ

ฐานรากเป็นองค์ประกอบหลักของอาคารที่รับน้ำหนักของอาคารลงสู่พื้นดินโดยผ่านฐานราก ซึ่งโดยปกติสามารถแบ่งชนิดของฐานรากเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ 1) แบบฐานรากตื้น (Shallow Foundation) และ 2) แบบฐานรากลึก (Deep Foundation) :ซึ่งส่วนใหญ่เป็นฐานรากเสาเข็ม(Pile Foundation) ดังแสดงในภาพที่ 1.1 โดยทั่วไปแล้วฐานรากตื้นมักซึ่งมักจะใช้กำลังแบกทานของดิน หรือใช้เสาเข็มสั้นที่ตอกในชั้นดินอ่อน(ปกติจะยาวนานน้อยกว่า 6.00 ม.) จะมีความคลาดเคลื่อนน้อย หรือถ้าคลาดเคลื่อนก็ไม่มาก เนื่องจากการก่อสร้างฐานรากนี้โดยทั่วไปจะทำการเปิดหรือขุดหน้าดินตามตำแหน่งและระดับตามต้องการ เพื่อทำการก่อสร้างฐานและองค์อาคารอื่น ๆ ต่อไป สำหรับฐานรากแบบลึกที่ใช้เสาเข็มประเภทต่าง ๆ เช่น เสาเข็มตอก เสาเข็มเจาะระบบแห้ง และเสาเข็มระบบเปียก อาจมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ต้องการ หรืออาจมีปัญหาระหว่างการก่อสร้างเสาเข็ม เช่น เสาเข็มหักชำรุด หรือการพบความไม่สมบูรณ์เป็นเสาเข็ม วิธีการแก้ไขอาจมีด้วยกันหลายวิธีการ ซึ่งแต่ละวิธีต้องการข้อมูล หรือข้อมูลจากการวิเคราะห์แรงแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้น เพื่อที่จะพิจารณาตัดสินใจในการใช้เสาเข็มนั้น หรือวิธีการแก้ไขปรับปรุงฐานรากที่มีปัญหาต่อไป



ภาพที่ 1.1 ประเภทของฐานราก ฐานรากตื้นและฐานรากเสาเข็ม

1.1. ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

งานก่อสร้างฐานรากแบบเสา มักมีปัญหาค่าที่จะต้องพบเจอเป็นส่วนใหญ่ คือ เสาเข็มคาคดเคลื่อนและเอียงศูนย์ (Pile Deviation) จากตำแหน่งเดิมในแบบแปลน หรือ เสาเข็มไม่สมบูรณ์บกพร่องทำให้อาจต้องมีการเสริมเสาเข็มต้นใหม่ หรือต้องปรับปรุงฐานรากทำให้ศูนย์กลางน้ำหนัก (Center of Gravity) ของเสาเข็มและฐานรากคาคดเคลื่อนไม่ตรงกับที่วิเคราะห์คำนวณออกแบบไว้ ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นเสาเข็มตอก หรือแม้แต่เสาเข็มเจาะ ซึ่งพบความคาคดเคลื่อนน้อยกว่า สาเหตุของปัญหานี้เกิดจากปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ทั้งเสาเข็มตอก และเสาเข็มเจาะ ตามกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มแสดงในตารางที่ 1.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างสาเหตุของปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์และเสาเข็มบกพร่อง

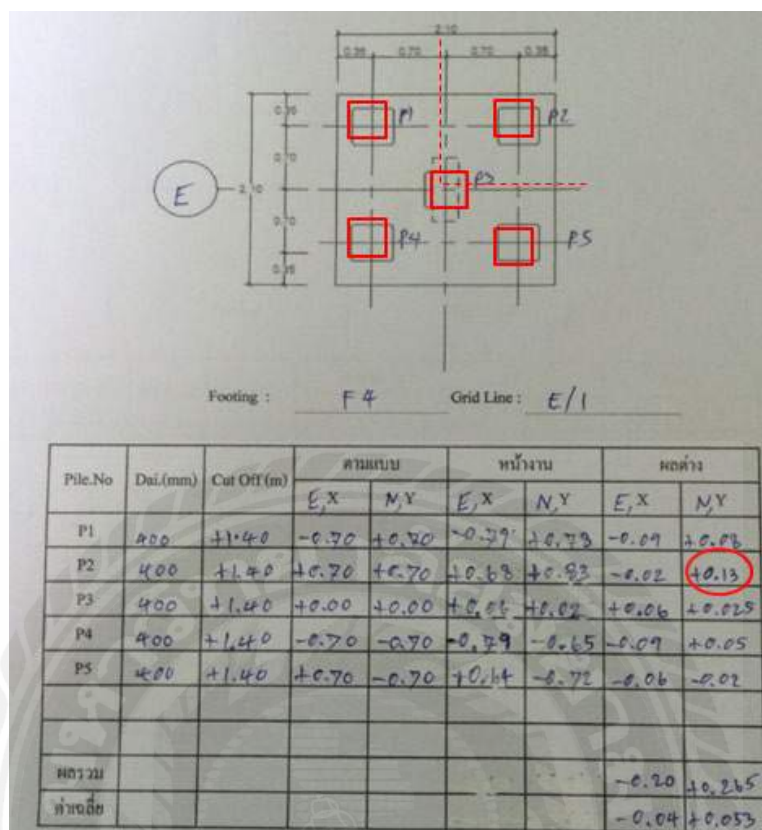
	เสาเข็มตอก	เสาเข็มเจาะ
ก่อนการก่อสร้าง	-การวางหมุดเสาเข็มผิดตำแหน่ง -หมุดเคลื่อนตัวระหว่างการทำงานของเครื่องจักร -เสาเข็มตอกเสาเข็มผิดขนาด -การวัด Offset เสาเข็มคาคดเคลื่อน	-การวางหมุดเสาเข็มผิดตำแหน่ง -หมุดเคลื่อนตัวระหว่างการทำงานของเครื่องจักร -ความคาคดเคลื่อนจากการตอกปลอก ทั้งตื้น -การวัด Offset เสาเข็มคาคดเคลื่อน
ระหว่างการก่อสร้าง	-การเคลื่อนตัว หรือหลุดตำแหน่งของเสาเข็ม ซึ่งอาจเกิดจากอุปสรรคขวางการตอกเสาเข็ม เช่น ฐานเดิม หรือหินขนาดใหญ่ -หัวเสาเข็มเสียหายจากการตอกที่ทำให้เสาเข็มเกิดความเค้นสูงเกิน -รอยต่อ หรือหมวกเสาเข็มชำรุด -เสาเข็มเอียงมาก -เสาเข็มไม่ได้ Blow Count	-การเคลื่อนตัว หรือหลุดตำแหน่งของเสาเข็ม ซึ่งอาจเกิดจากตอกปลอกเสาเข็มเคลื่อนตำแหน่ง เอียง หรือ ปลอกเสียดังระหว่างการทำเสาเข็มจากอุปสรรคด้านล่าง -หลุมเจาะพังระหว่างการก่อสร้าง
หลังจากก่อสร้าง	-การเคลื่อนตัวของเสาเข็มระหว่างการตอกเสาเข็มข้างเคียง	-การเคลื่อนตัวของเสาเข็มระหว่างการเจาะเสาเข็มข้างเคียงที่ยังไม่แข็งแรงพอ

	เสาเข็มตอก	เสาเข็มเจาะ
	-การเกิดแรงด้านข้าง เช่น การขุดเปิดทำให้เกิดการสไลด์ของดิน หรือ ถูกดินดันเสียด้านหนึ่งเนื่องจากเสาเข็มตอกโดยเพิ่มแรงดันดินเนื่องด้วยปริมาตรเสาเข็มเบียดดินโดยรอบ -การทดสอบแล้วความสามารถในการรับน้ำหนักไม่ผ่าน	-คอนกรีตไม่มีคุณภาพเพียงพอ -เกิดการพังทลายของหลุมเจาะทำให้เสาเข็มขาดความต่อเนื่อง หรือ เสาเข็มคอคด -การทดสอบแล้วความสามารถในการรับน้ำหนักไม่ผ่าน

ปัจจัยและสาเหตุที่ทำให้เสาเข็มเกิดความคลาดเคลื่อนเชิงศูนย์ ดังที่แสดงในตารางที่ 1.1 แล้วนั้น จึงจำเป็นต้องให้ผู้เกี่ยวข้อง ต้องหาวิธีแก้ไขปัญห วิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น เพื่อพิจารณาการปรับปรุง หรือ ต้องทำเสาเข็มใหม่ โดยปกติหน่วยงานก่อสร้างจะมีการรายงานตำแหน่งเสาเข็มที่ทำจริง หรือ อาจต้องรายงานด่วน เมื่อเกิดปัญหาเสาเข็มเพื่อพิจารณาปรับปรุงให้ทันท่วงที ตัวอย่างการรายงานตำแหน่งเสาเข็มจากหน่วยงานทั้งขณะกำลังก่อสร้าง และเมื่อทำการก่อสร้างเสร็จสิ้นเตรียมทำฐานราก ต่อมาต่อไป แสดงดังภาพที่ 1.2 และ 1.3

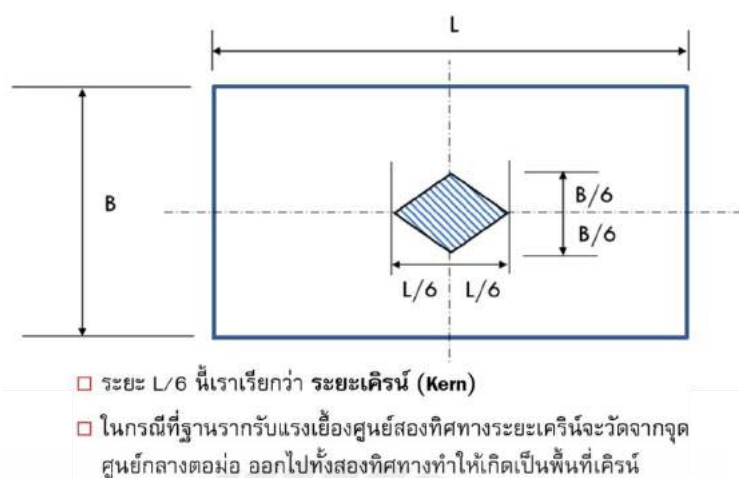


ภาพที่ 1.2. เสาเข็มเสียศูนย์ในหน้างานก่อสร้าง



ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างรายงานตำแหน่งเสาเข็มจากหน้างานก่อสร้าง
ที่มา เฉลิมเกียรติ วงศ์วิชทวี.(2559)

ค่าการยอมรับการเอียงศูนย์ บางหน่วยงานกำหนดเป็นค่าในเชิงปฏิบัติ ค่าการเอียงศูนย์ที่ยอมให้อาจยึดถือค่าการเอียงศูนย์ที่ยอมให้เท่ากับ 0.075 ม. หรือ 0.10 ม. เป็นการใช้ข้อมูลแบบกำปั้นทุบดิน(Rule of Thumb) หรืออาจจะมีการกำหนดให้ระยะเอียงศูนย์ที่ยอมให้เท่ากับความกว้างเสาเข็มส่วนหก($L/6$ หรือ $D/6$) ซึ่งเป็นระยะ Kern จริง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณากับฐานรากเดี่ยว หรือ สามารถประยุกต์ใช้กับเสาเข็มเดี่ยว ดังภาพที่ 1.4 อมร พิมานมาศ(2557) แล้วค่าต่าง ๆ ดังกล่าวที่ใช้นั้น อาจจะมีการยอมรับ หรือไม่เพียงพอต่อการขออนุมัติการดำเนินงานต่อไปในขั้นตอนต่อไปขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมงานหรือที่ปรึกษาหน่วยงานนั้น ๆ อีกกรณีที่มีโอกาสเกิดขึ้น เช่นกัน คือมีการชำรุดของเสาเข็มเสาเข็มหัก หรือไม่ได้คุณภาพตามกำหนด ทำให้ไม่สามารถตอกเสาเข็มในตำแหน่งเดิม ๆ ได้ หรือ เสาตอม่อก็อาจมีความคดเคี้ยว หรืออาจมีแรงดัดจากโครงสร้างด้านบนเข้าสู่ตอม่อ เมื่อเกิดปัญหาเหล่านี้ขึ้น ทำให้ผู้เกี่ยวข้องต้องหาวิธีการแก้ปัญหา อันได้แก่ การพิจารณาว่าเสาเข็มที่มีอยู่สามารถรับน้ำหนักหรือแรงต่าง ๆ อย่างปลอดภัย โดยทั้งนี้ อาจต้องมีการปรับปรุงฐานราก เช่น การขยายฐานราก เพิ่มเหล็กเสริมฐานราก



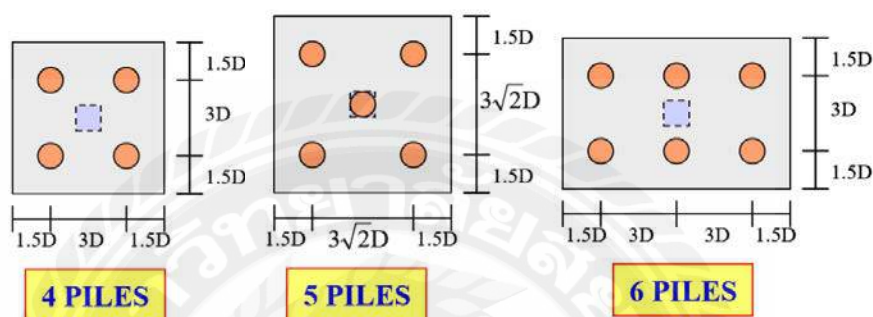
ภาพที่ 1.4 ระยะเคิร์นฐานรากเดี่ยวหรือที่สามารถประยุกต์ใช้กับเสาเข็มเดี่ยว

ที่มา: <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/PileEccentricity/ch2.pdf>

แต่อย่างไรกรณีมีค่าเกินข้อกำหนด หรือมีต้องการวิเคราะห์แรงในเสาเข็มให้แม่นยำขึ้น วิศวกรหรือผู้ก่อสร้างจำเป็นต้องคำนวณวิเคราะห์แรงในเสาเข็มแต่ละต้นเพื่อทบทวนการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพจริง ข้อมูลการคำนวณทำให้พบว่าในความเป็นจริงนั้นจะพบเจอปัญหาต่าง ๆ มากมาย เช่น โดยการวิเคราะห์น้ำหนักหรือแรงต่าง ๆ ใหม่ว่าสามารถรับแรงต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ หรืออาจเป็นการขยายขนาดฐานราก การเพิ่มเหล็กเสริมฐานราก ดังนั้นเราจึงต้องมีข้อมูลจากผลการวิเคราะห์การรับน้ำหนักเสาเข็มแต่ละต้น เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจและออกแบบต่อไป

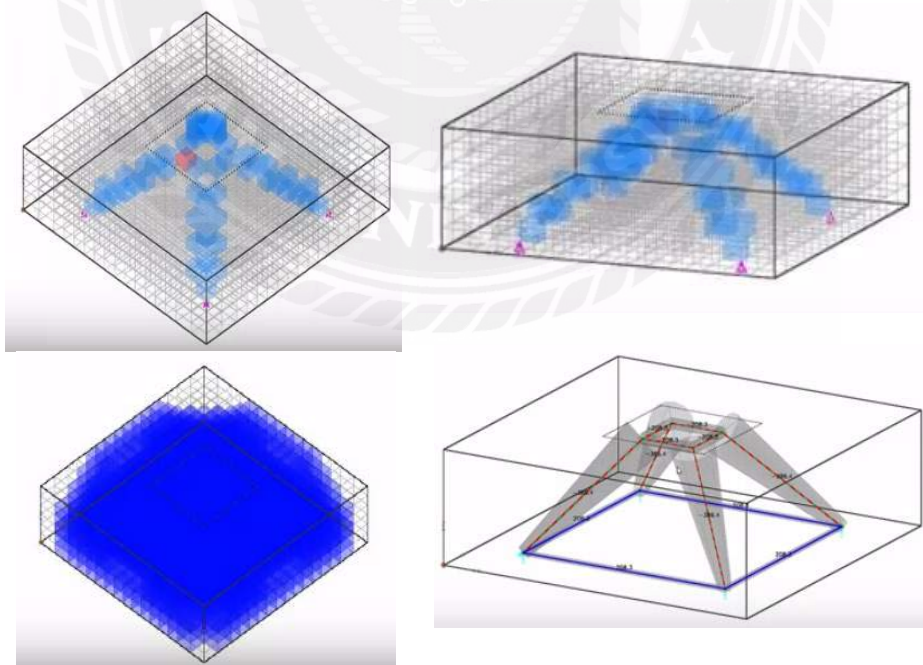
ทีมผู้วิจัย ได้ดำเนินการประยุกต์ใช้ตารางคำนวณ MS. Excel มาสร้างเป็นโปรแกรมการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้น ที่ช่วยให้ทำงานง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับงานที่จะต้องคำนวณซ้ำ ๆ จากปัญหาการเอียงศูนย์ หรือปัญหาเสาเข็มบกพร่องดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ยังสามารถยังสามารถวิเคราะห์แรงในรูปแบบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นซึ่งแปลงเป็นแรงแนวตั้งและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นทั้งสองแนวแกน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ตามทฤษฎี และการประยุกต์ใช้ MS. Excel มีข้อสมมติฐานการคำนวณว่าฐานรากเป็นฐานรากแข็งแกระง (Rigid Foundation) ซึ่งความเป็นจริงแล้วฐานรากที่ใช้อาจไม่เป็นแข็งแกระง อาจเป็นฐานรากยืดหยุ่น (Flexible Foundation) โดยมีข้อโต้แย้งจากที่ปรึกษาว่าฐานรากที่มีเสากลาง เช่น ฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น ดังภาพที่ 1.5 ว่าถ้าสมมติว่าฐานรากแข็งแกระงเสาเข็มทั้ง 5 ต้น ผลการคำนวณได้ว่า เสาเข็มทุกต้นรับน้ำหนักเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักอาคารที่ลงสู่ฐานราก(P)หารด้วยจำนวนต้นของเสาเข็ม ในทางกลับกัน ถ้าฐานรากเป็นฐานรากที่มีความยืดหยุ่นสูง น้ำหนักของอาคารจะถ่ายลงสู่ต้นกลางเกือบหมด ส่วนอีก 4 ต้นอาจมีค่าแรงปฏิกิริยาเข้าใกล้ศูนย์ เช่นเดียวกันถ้าเป็นเสาเข็ม 6 ต้น ต้นที่อยู่ใกล้ตอม่อจะมีแรงปฏิกิริยามากกว่าต้นที่มีตำแหน่งที่มีระยะจากศูนย์กลางตอม่อ

มากกว่า เพื่อเป็นข้อพิสูจน์ข้อโต้แย้งข้างต้น เพื่อหาทฤษฎีมาสนับสนุนดังกล่าว ทางทีมผู้วิจัยได้นำทฤษฎี Truss และ Strut-Tie Model ดังภาพที่ 1.6 ตัวอย่างโปรแกรมวิเคราะห์คำนวณโครงสร้างที่เป็น Finite Element ที่คาดว่าเมื่อทำการเปลี่ยนตัวแปรความหนาของฐานรากจะทำให้แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นได้ค่าแรงเปลี่ยนไปตามความหนาฐานราก หรือ ความแข็งแรง (Stiffness) ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มที่เป็นฐานรากแบบแข็งเกร็ง (Rigid Foundation) และ ยืดหยุ่น (Flexible Foundation)



ภาพที่ 1.5 ฐานรากเสาเข็มที่มีเสาเข็ม 4 ต้น 5 ต้น และ 6 ต้น

ที่มา: http://eng.sut.ac.th/ce/CE_homework/T06%20Footing%20New.pdf



ภาพที่ 1.6 ฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น ที่จำลองด้วยแบบ Truss หรือ Strut-Tie Model

ผ่านการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์คำนวณแบบ Finite Element

ที่มา: <https://www.youtube.com/watch?v=lxjkZmqMsj0>

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีดังนี้

1. เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยา และ รูปแบบการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรม ในการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นที่มีผลจากปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์ ด้วยทฤษฎีแบบฐานรากแข็งเกร็ง(Rigid Foundation) โดยการประยุกต์ใช้ตารางคำนวณ MS. Excel
3. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มด้วยทฤษฎีแบบฐานรากแข็งเกร็ง (วิธีการคำนวณมือที่ประยุกต์ใช้โดย MS. Excel) ด้วยโปรแกรมอื่น ๆ และทฤษฎีแบบฐานรากยืดหยุ่น(Flexible Foundation) ด้วยโปรแกรมทาง Finite Element Method

1.3. ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการดำเนินการวิจัยมีดังนี้

การวิเคราะห์ใช้ทฤษฎีความยืดหยุ่น และแข็งเกร็ง (Rigid and Flexible Foundation Theory) จะมีการตั้งสมมติฐานประกอบการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1. ฐานรากที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นฐานรากที่แข็งเกร็ง (Rigid Foundation) และฐานรากยืดหยุ่น(Flexible Foundation)
2. เสาเข็มที่ใช้เสมือนเป็นจุดยึดหมุน(Hinge Support) พิจารณาเฉพาะแรงในแนวค้ำ ไม่มีการถ่ายโมเมนต์จากฐานรากลงสู่เสาเข็ม
3. ตัวอย่างการคำนวณเป็นฐานรากเดี่ยวจำนวนเสาเข็ม 4, 5 และ 6 ต้น โดยมีการวิเคราะห์ใช้โปรแกรม PDMS.Excel พัฒนาโดยกลุ่มผู้วิจัย โปรแกรม DRMK, AFES 3.0 และ STAAD.Pro ที่ใช้วิธีการคำนวณแบบไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) ในการคำนวณวิเคราะห์เปรียบเทียบ ใช้โปรแกรมตามท้องตลาดที่หาได้อย่างถูกกฎหมาย (Free Program or Student Edition)

1.4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมีดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีประกอบการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม
2. พัฒนาปรับปรุงโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบฐานรากแข็งเกร็ง(Rigid Foundation Using MS.Excel Application)

3. ศึกษาโปรแกรม DRMK, AFES 3.0 และ STAAD.Pro ที่ใช้วิธีการคำนวณแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) สำหรับการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามเงื่อนไขการทดลอง

4. สร้างกรณีศึกษาจำลองการหาค่าแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นด้วยวิธีต่าง ๆ
5. แสดงผลการศึกษาวิจัยตามกรณีศึกษาจำลองที่วางแผนของวิธีการวิเคราะห์แบบต่าง ๆ
6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม
7. สรุปผลการวิจัย

1.5. ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยมีดังนี้

1. สามารถนำผลการวิจัย มาบูรณาการการเรียนการสอนวิชาทางวิศวกรรมโยธา
2. สามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาแรงในเสาเข็มแต่ละต้นได้อย่างรวดเร็วและยังสามารถจำลองแรงต่าง ๆ ที่ถ่ายจากเสาของอาคารเพื่อศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้
3. ใช้เพื่อเผยแพร่ในวงการวิศวกรรมโยธาและสาขาที่เกี่ยวข้องอันเป็นประโยชน์ในการบริการวิชาการแก่สังคม

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยา และ รูปแบบการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยา การพัฒนาปรับปรุงการประยุกต์ใช้ MS. Excel และ โปรแกรมการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) โดยมีทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องดังนี้

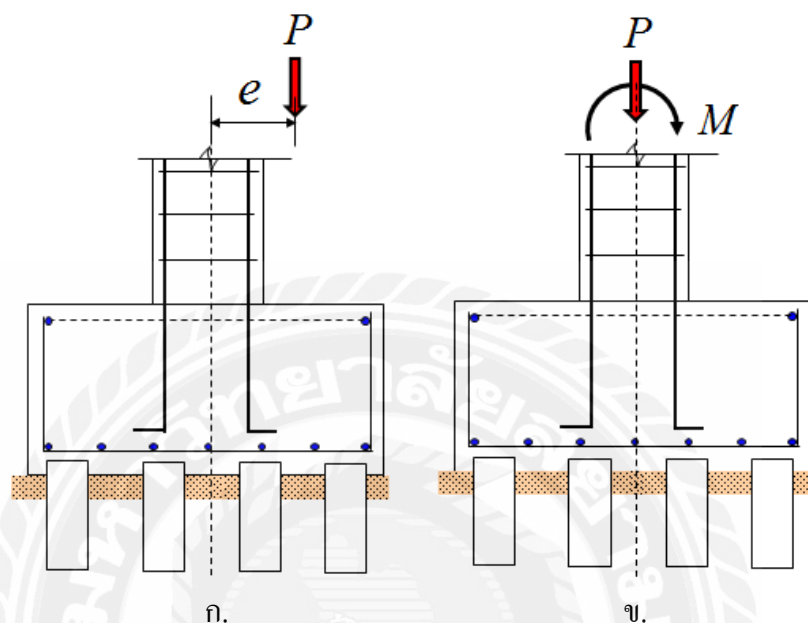
1. ปัญหาฐานรากเสาเข็มรับแรงกระทำเยื้องศูนย์ และ/หรือเสาเข็มเยื้องศูนย์
2. การวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีแข็งเกร็ง
3. การวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีความยืดหยุ่น
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ปัญหาฐานรากเสาเข็มรับแรงกระทำเยื้องศูนย์ และ/หรือเสาเข็มเยื้องศูนย์

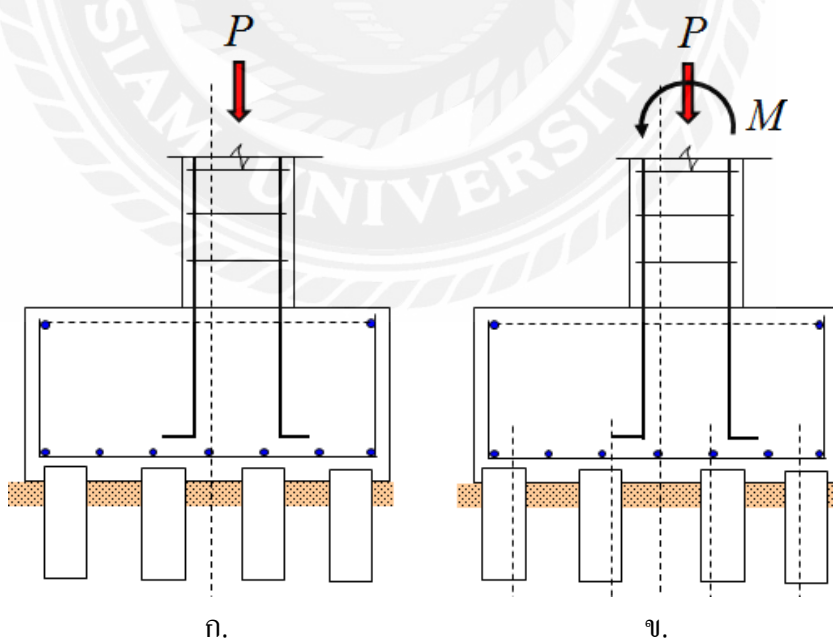
ในการก่อสร้างฐานรากเสาเข็ม มีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของงาน เช่น คุณภาพเสาเข็ม ชนิดของเสาเข็ม การแม่นยำในการวางผังปักตำแหน่งหมุดเสาเข็ม คุณภาพของคอนกรีต ชนิดประเภทเครื่องจักร การเข้าถึงพื้นที่ทำงาน สภาพใต้ดิน การอุปสรรคหน้างาน เงื่อนไขหน้างาน และความผิดพลาดอื่น ๆ เป็นต้น ปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นมีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพการก่อสร้างเสาเข็ม อย่างไรก็ตามธรรมชาติของงานโครงการก่อสร้าง มักจะมีปัญหาต่าง ๆ เกิดขึ้นในงานฐานรากเสาเข็ม ซึ่งสามารถอธิบายได้คร่าว ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ฐานรากที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์จากเสา ดังภาพที่ 2.1 ก.
- 2) ฐานรากที่มีโมเมนต์กระทำกับฐานราก ดังภาพที่ 2.1 ข.
- 3) เสาตอม่อที่เยื้องศูนย์ ดังภาพที่ 2.2 ก.
- 4) เสาเข็มที่เกิดการหนีศูนย์ร่วมด้วย ดังภาพที่ 2.2 ข.
- 5) เสาเข็มเกิดชำรุดต้องตอกเสริมหรือแซม ดังภาพที่ 2.3 ก.
- 6) ฐานรากอาจจะมีเสา ตอม่อมากกว่า 1 ต้นหรือฐานรากใกล้เคียงกันจนต้องทำฐานร่วมกัน ดังภาพที่ 2.3 ข.
- 7) ฐานรากที่มาจากผลต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นร่วมกัน

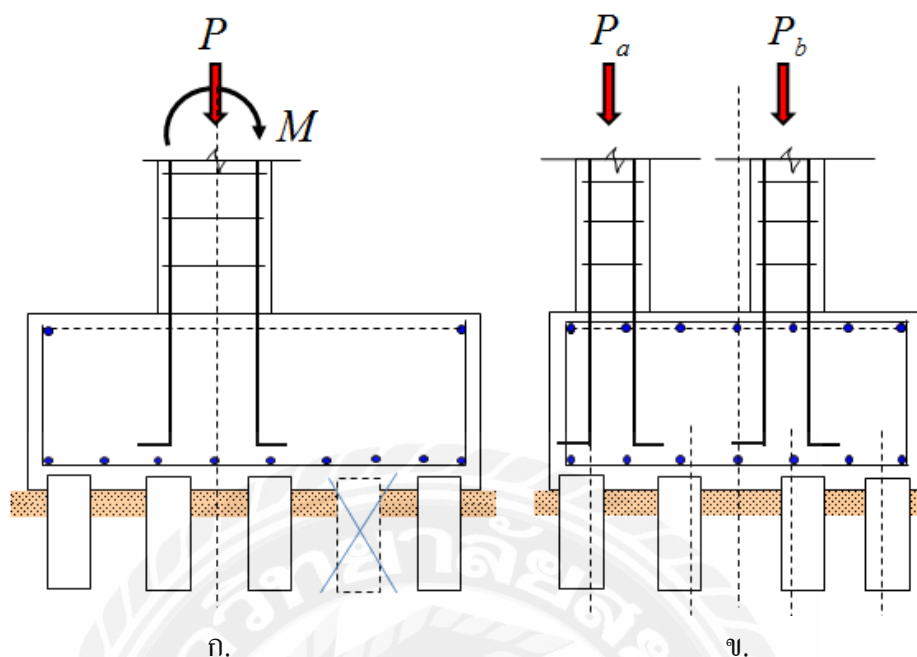
จากเหตุปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากจะรับแรงแตกต่างกัน วิศวกรจึงต้องการทราบว่าแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อเสาเข็มมีค่าเท่าใด เพื่อพิจารณาใช้งานเสาเข็มและฐานรากเดิม หรือพิจารณาออกแบบตัดแปลงฐานรากต่อไป



ภาพที่ 2.1 ฐานรากที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์กลางจากเสา และฐานรากที่มีโมเมนต์กระทำกับฐานราก



ภาพที่ 2.2 เสาตอม่อที่เยื้องศูนย์กลาง และเสาเข็มที่เกิดการหนีศูนย์กลางร่วมด้วย



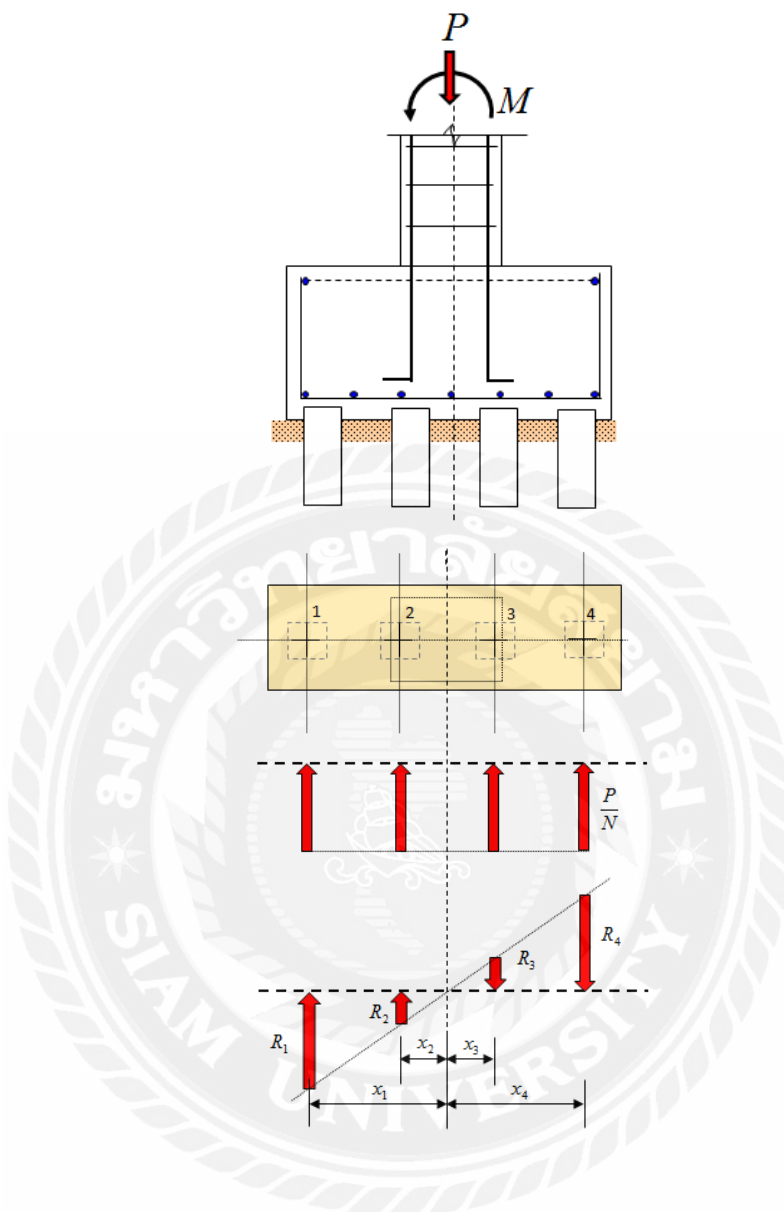
ภาพที่ 2.3 เสาเข็มเกิดชำรุดต้องตอก/ทำเสริมหรือแซมฐานรากอาจจะมีเสาต่อม่อมากกว่า 1 ต้น หรือฐานรากใกล้กันจนต้องทำฐานร่วมกัน

2.2. การวิเคราะห์แรงในเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีฐานรากแข็งเกร็ง

อมร พิมานมาศ(2557), สนิท พิพิธสมบัติ. (2552), และ พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกุล. (2558) กล่าวถึงการวิเคราะห์แรงกระทำในเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีฐานรากแข็งเกร็ง (Rigid Theory) ในที่นี้จะเรียกว่า ทฤษฎีฐานรากแข็งเกร็ง (Rigid Foundation Theory) วิธีการนี้มีการตั้งสมมติฐานประกอบการวิเคราะห์

- ฐานรากที่ใช้เป็นฐานรากที่แข็งเกร็ง (Rigid Foundation)
- เสาเข็มที่ใช้เสมือนเป็นจุดยึดหมุน (Hinge Support) พิจารณาเฉพาะแรงในแนวดิ่ง ไม่มีการถ่ายโมเมนต์จากฐานรากลงสู่เสาเข็ม
- เสาเข็มมีสภาพการรับน้ำหนักแบบยืดหยุ่น ดังนั้นหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระนาบเดียวกัน การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้นสามารถหาโดยสมการ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ดัง

ภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น เมื่อรับแรงในแนวตั้งและโมเมนต์

ส่วนที่ 1 รับน้ำหนักจากแรงแนวตั้งที่กระทำต่อฐานราก ซึ่งถือว่าแรงส่วนนี้ถ่ายเข้าเสาเข็มแต่ละต้นเท่า ๆ กัน ดังสมการด้านล่าง

$$\frac{P}{N} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ P = แรงที่กระทำต่อฐานรากในแนวตั้ง, ตัน

N = จำนวนเสาเข็ม, ต้น

ส่วนที่ 2 รับน้ำหนักจากโมเมนต์ที่ถ่ายลงสู่ฐานรากทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม ดังสมการ

$$M = R_1x_1 + R_2x_2 + R_3x_3 + \dots + R_nx_n \dots(2)$$

เมื่อ M = โมเมนต์ที่กระทำต่อฐานราก, ตัน-ม.

R_n = แรงปฏิกิริยาที่เสาเข็มต้นที่ n , ตัน

x_n = ระยะจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มไปยังเข็มต้นที่ n , ม.

จากทฤษฎีความยืดหยุ่น

$$\frac{R_1}{x_1} = \frac{R_2}{x_2} = \frac{R_3}{x_3} = \dots = \frac{R_n}{x_n} \dots\dots\dots(3)$$

แทนค่า R_1 ลงในสมการ (2)

$$M = R_1x_1 + R_2 \frac{x_2^2}{x_1} + R_3 \frac{x_3^2}{x_1} + \dots + R_n \frac{x_n^2}{x_1} \dots\dots\dots(4)$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{R_1}{x_1} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2) \\ &= \frac{R_1}{x_1} \sum x_n^2 \end{aligned}$$

เมื่อ R_1 = แรงปฏิกิริยาของเสาต้นที่ 1รับเนื่องจากโมเมนต์, ตัน

$\sum x_n^2$ = ผลรวมของระยะทางยกกำลังสองจากศูนย์กลางของกลุ่มเสาไปยัง
ศูนย์กลางของเสาแต่ละต้น

เมื่อรวมแรงทั้งสองส่วนจะเท่ากับแรงปฏิกิริยาที่เสาต้นนั้นรับ ดังสมการ

$$R_i = \frac{P}{N} \pm \frac{Mx_i}{\sum x^2} \dots\dots\dots(5)$$

การคำนวณในสมการที่ 5 ต้องพิจารณาเครื่องหมายบวกและลบให้ถูกต้องตามทิศทางที่กำหนด

กรณีที่พิจารณาที่มีโมเมนต์ 2 ทิศทาง ทั้งแกน x และ y ดังภาพที่ 2.5 สมการที่ใช้หาแรงปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ คือ

$$R_i = \frac{P}{N} \pm \frac{M_y x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y}{\sum y^2} \dots\dots\dots(6)$$

จากสมการที่ 6

$$R_i = \frac{P}{N} \pm mx \pm ny$$

$$m = \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$$

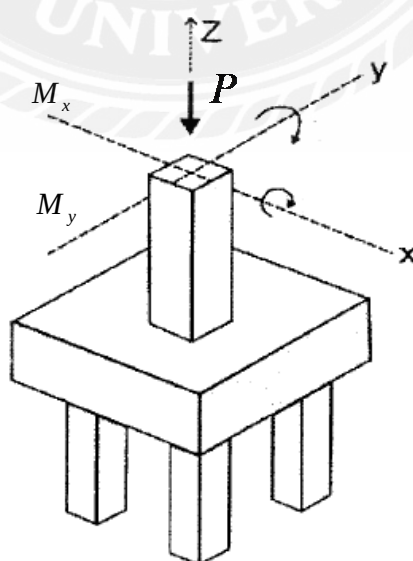
$$n = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$$

$$I_x = \sum y^2, \quad I_y = \sum x^2, \quad I_{xy} = \sum xy$$

$$\bar{x} = \frac{\sum Ax}{\sum A}, \quad \bar{y} = \frac{\sum Ay}{\sum A}$$

$$M_x = M_{xo} + Pe_y$$

$$M_y = M_{yo} + Pe_x$$



ภาพที่ 2.5 ฐานรากเสาเข็มที่มีการรับแรงในแนวแกนและโมเมนต์ 2 ทิศทาง

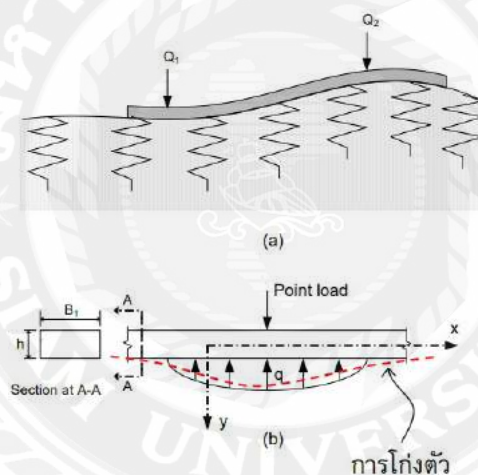
2.3. การวิเคราะห์แรงกระทำในเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีฐานรากยืดหยุ่น

ในส่วนนี้การวิเคราะห์แรงโดยใช้ทฤษฎีฐานรากยืดหยุ่น มีหัวข้อดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์แรงแบบคานฐานรากยืดหยุ่น
- การวิเคราะห์แรงแบบเสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง
- การวิเคราะห์แรงแบบ Strut-Tie Model (STM.)

2.3.1 การวิเคราะห์แรงแบบคานฐานรากยืดหยุ่น

คานฐานรากยืดหยุ่น ตามทฤษฎีของ Winkler Model ดินใต้ฐานรากจะถูกสมมุติให้มีพฤติกรรมเป็นสปริง โดยค่าความยืดหยุ่นของสปริงสามารถคำนวณได้จาก สัมประสิทธิ์ต้านทางแรงกดของชั้นดิน (Modulus of subgrade reaction , k_s)

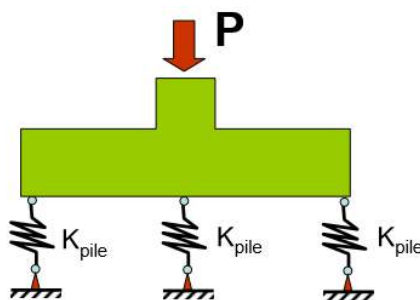


ภาพที่ 2.6 ฐานรากแบบคานฐานรากยืดหยุ่น

ที่มา: <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH5.pdf>

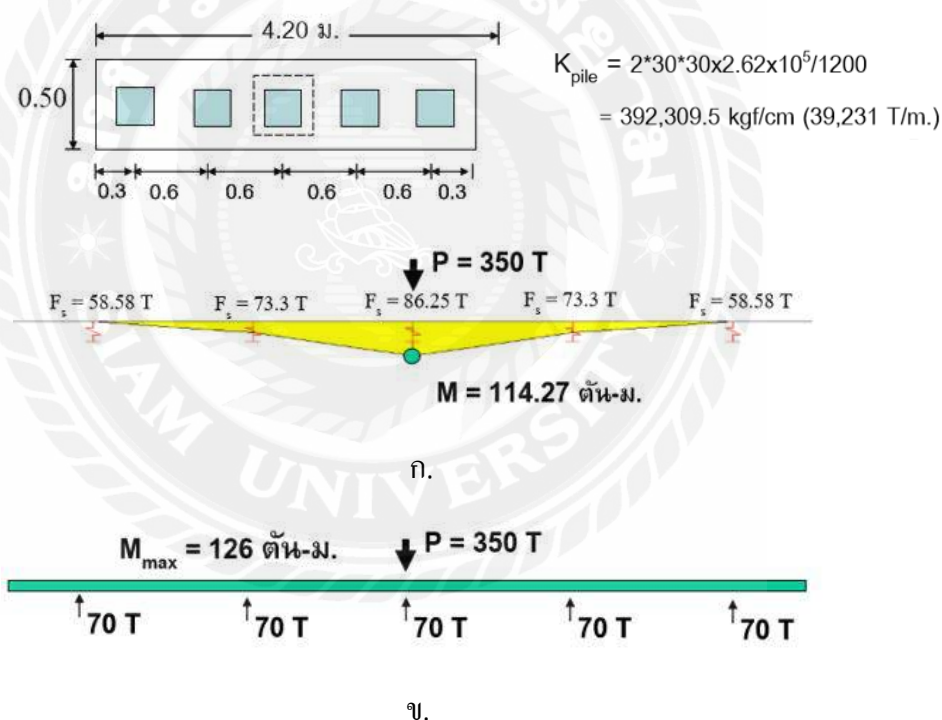
2.3.2 การวิเคราะห์แรงแบบเสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง

เสาเข็มจะถูกสมมุติให้มีพฤติกรรมเป็นสปริง การคำนวณค่าสปริงของเสาเข็มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น จากข้อมูลกราฟ Pile Load Test หรือ สูตรที่แนะนำ $K_{pile} = 2AE/L$ เมื่อ A,E และ L คือ พื้นที่โมดูลัส และความยาวของเสาเข็ม ตามลำดับ ดังตัวอย่างด้านล่าง



ภาพที่ 2.7 ฐานรากที่สมมติให้เสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง

ตัวอย่าง ฐานรากเสาเข็มวางขวางลำนํ้าโดยกำหนดให้มีความกว้าง 50 ซม. ลึก 100 ซม. รับน้ำหนักกด 350 ตัน มีเข็มสี่เหลี่ยมขนาด 30 ซม. ยาว 12 ม. $E = 2.62 \times 10^5$ กก./ซม.² จงคำนวณโมเมนต์คดสูงสุด



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์เสาเข็มที่มีพฤติกรรมแบบสปริง

ที่มา: <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH5.pdf>

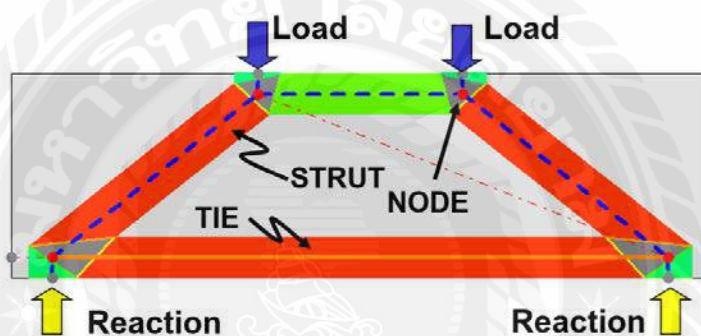
จากภาพที่ 2.8 ก แสดงให้เห็นว่าค่าของแรงปฏิกิริยาต้นที่ใกล้แรงกระทำมีค่ามากและน้อยลงเมื่อห่างจากแรงกระทำ ค่าดังกล่าวเกิดจากการสมมติเสาเข็มที่มีพฤติกรรมแบบสปริงโดยมิได้ใช้ความแข็งของฐานรากมาพิจารณาเป็นหลัก ซึ่งตรงกันข้ามเมื่อพิจารณาให้ฐานรากเป็นฐานรากแข็งแรงแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นจะมีค่าเท่า ๆ กัน ดังภาพที่ 2.8 ข.

2.3.3. การวิเคราะห์แรงแบบ Strut-Tie Model (STM.)

ฐานรากที่มีพฤติกรรมการถ่ายแรงแบบ คานลึก (Deep beam) จำลองการรับแรงแบบ Truss Analogy Method ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม และ นำแบบจำลองของ โครงสร้างฐานรากสู่การคำนวณโปรแกรม Finite Element แบบ -3D.

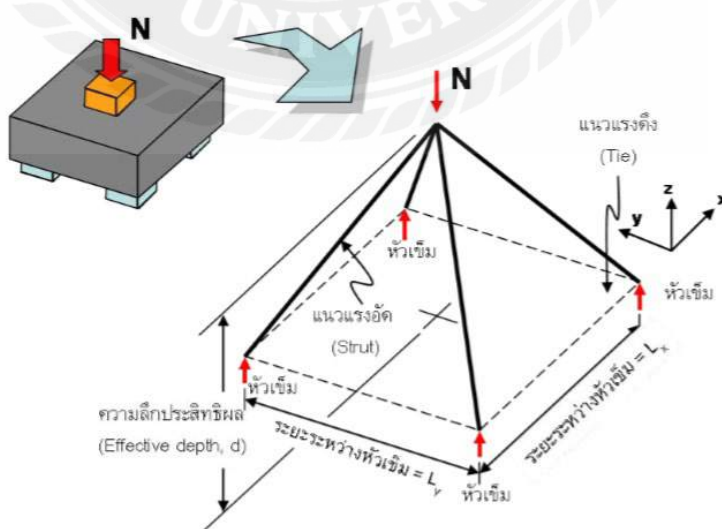
STM ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ

- STRUT= แนวรับแรงอัด (คอนกรีต)
- TIE= แรงดึง (เหล็กเสริม)
- NODE= จุดต่อ (คอนกรีต)



ภาพที่ 2.9 องค์ประกอบของ Strut-Tie Model (STM.)

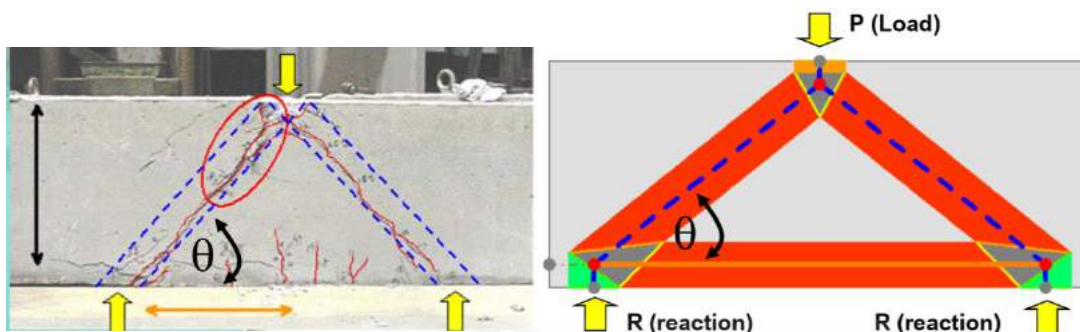
ที่มา: <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH4.pdf>



ภาพที่ 2.10 การจำลองภาพฐานรากแบบ Strut-Tie Model (STM.)

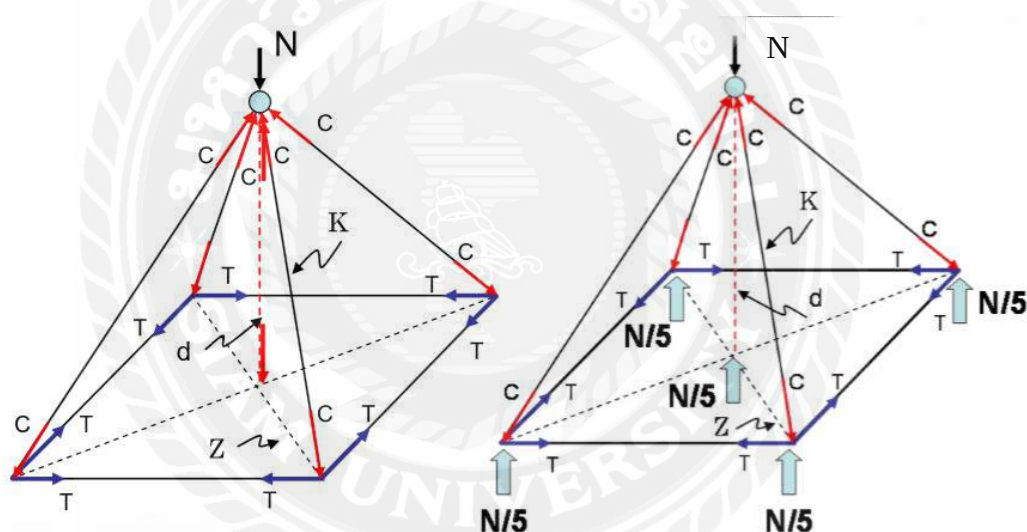
ที่มา: <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH4.pdf>

มุมของ Strut จะถูกกำหนดตามมิติของฐานราก ซึ่งจะเป็นไปตามแนวของรอยร้าวที่อาจเกิดขึ้น เป็นเส้นที่ลากเชื่อมระหว่าง P และ R ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 องค์ประกอบของ Strut-Tie Model (STM.)

ที่มา: <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH4.pdf>



ภาพที่ 2.12 Strut-Tie Model ของฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น

ที่มา: <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH4.pdf>

พิจารณากรณีฐานรากเข็ม 5 ต้น ในเบื้องต้นเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ กำหนดให้แรงกระจายลงเข็มอย่างสม่ำเสมอ (ฐานรากแข็งแรง) แรงปฏิกิริยาที่เสาเข็มจะมีค่าเท่ากับ $N/5$

อย่างไรก็ตามการสมมติว่าแรงปฏิกิริยาแบบฐานรากแข็งแรงซึ่งสามารถหาค่าได้ง่าย แต่เมื่อพิจารณาถึงความสูงของฐานถึงยอด Truss (Strut-Tie Model) ส่งผลถึงแรงปฏิกิริยา ดังตัวอย่างเช่น ความสูงของฐานถึงยอด Truss มีค่าน้อย แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มต้นกลางจะมาก ในขณะที่ความสูงของฐานถึงยอด Truss มีค่ามาก ค่าแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มจะเข้าใกล้เท่ากัน คือ $N/5$

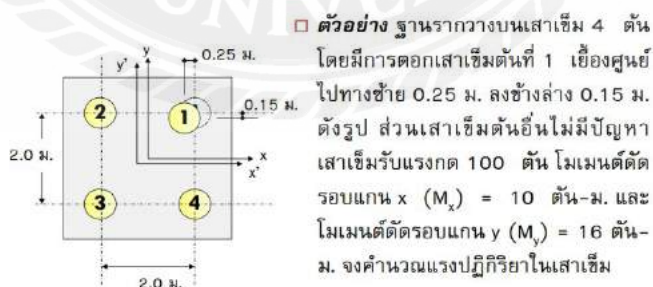
2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้เป็นการนำเสนองานหรือผลงานที่มีการศึกษาวิจัยเขียนเป็นโปรแกรม ซึ่งมีในตลาดมากมายทั้งที่ทำแจกจ่าย ไม่ได้มีการตีพิมพ์ หรือ โปรแกรมที่จำหน่าย สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ นำเสนอผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากโปรแกรมที่เผยแพร่แบบเพื่อการศึกษา หรือฟรี โปรแกรมในการศึกษาวิจัยนี้ มีงานวิจัยหรือโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ในการหาแรงปฏิกิริยา ดังต่อไปนี้

- โปรแกรม PDMS.Excel (พัฒนาโดยทีมผู้วิจัย)
- โปรแกรม DRMK
- โปรแกรม AFES
- โปรแกรม Staad Pro

2.4.1 โปรแกรม PDMS. Excel

จากการวิเคราะห์หาแรงในเสาเข็มตามทฤษฎีฐานรากแบบแข็งเกร็ง การคำนวณต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก และกรณีมีฐานรากและเสาเข็มเชิงซ้อนจำนวนมากยิ่งลำบากและง่ายต่อการคำนวณผิดพลาด ดังนั้นการเขียนโปรแกรม MS. Excel ที่สามารถคำนวณซ้ำ ๆ และแปรผันค่าตัวแปรต่าง ๆ และหาคำตอบได้เร็ว ทำให้ผู้คำนวณออกแบบฐานรากสามารถประยุกต์ในการตัดแปลงฐานรากได้รวดเร็วขึ้น

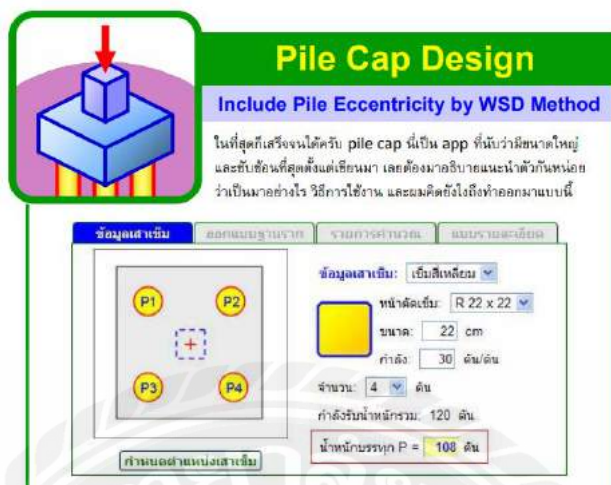


ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มที่มีการรับโมเมนต์ 2 ทิศทางและเสาเข็มเชิงซ้อน

ที่มา: www.coe.or.th/e_engineers/km/fd2/CH01.pdf

โปรแกรมได้ถูกนำมาทดลองการคำนวณหาแรงในเสาเข็มแต่ละต้น กับโจทย์ตัวอย่าง ดังภาพที่ 2.13 ผลการคำนวณหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น การคำนวณด้วยมือตามระเบียบวิธีการ

2.4.2 โปรแกรม DRMK



ภาพที่ 2.16 ข้อมูลนำเข้าสำหรับฐานรากเสาเข็ม

ที่มา: https://www.tumcivil.com/DRMK/RC_WSD/PileCap/aboutPileCap.pdf

โปรแกรม DRMK เป็นรวบรวมการวิเคราะห์และออกแบบฐานรากที่ครอบคลุมไว้ในโปรแกรมเดียว ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน (ผู้พัฒนาโปรแกรม ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช)

โปรแกรมนี้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ ข้อมูลเสาเข็ม ออกแบบฐานราก รายการคำนวณ และแบบรายละเอียด โดยทำเป็นแถบตัวเลือกอยู่ด้านบน การใช้งานจะเป็นไปที่ละขั้นตอน พอผ่านขั้นตอนหนึ่งแล้วก็จะไปขั้นตอนต่อไปได้เป็นลำดับ เช่น ต้องใส่ข้อมูลเข็มแล้ววิเคราะห์ก่อน จึงจะไปออกแบบฐานรากได้ และสามารถย้อนกลับไปแก้ไขซ้ำได้ ในแต่ละขั้นตอนจะมีข้อมูลใส่ไว้ให้เป็นตัวอย่าง เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น โปรแกรมนี้ยังสามารถออกแบบระยะเชิงศูนย์ได้ โดยการป้อนค่าระยะเชิงศูนย์ในช่อง dy หรือ dx

ตำแหน่งเข็ม		ระยะเชิงศูนย์		น้ำหนักลงเข็ม	
	X (cm)	Y (cm)	dx (cm)	dy (cm)	(ton)
P1	-33	33	-3	0	24.4
P2	33	33	0	2	28.6
P3	-33	-33	-9	0	24.8
P4	33	-33	0	0	29.4

วิธีอย่างง่าย

คำนวณเชิงศูนย์

ออกแบบ

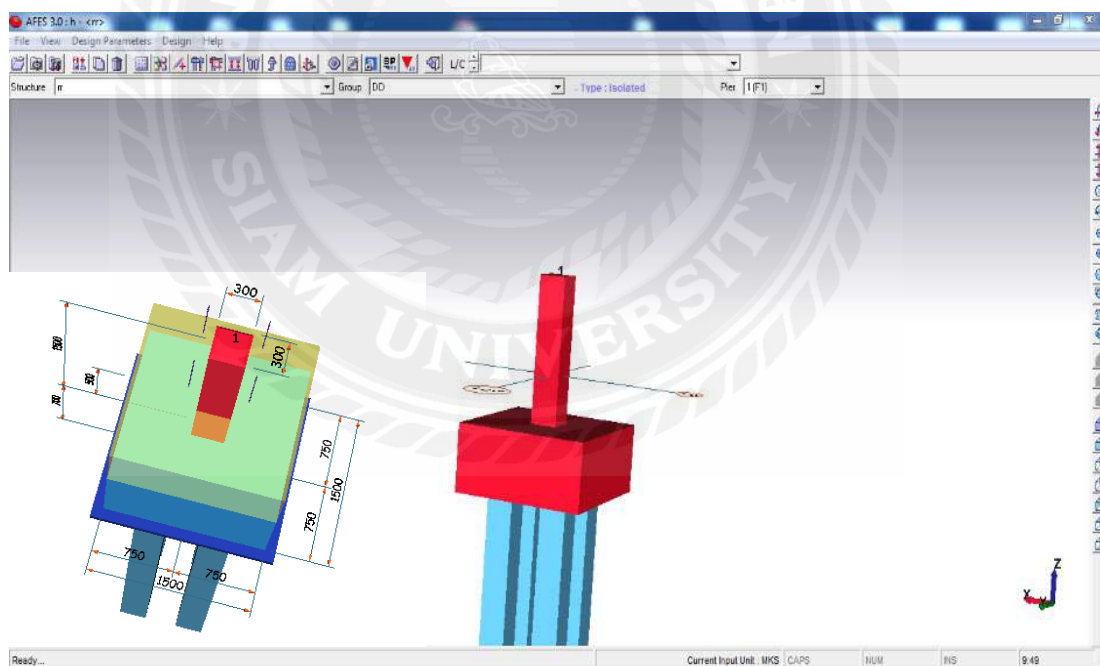
ภาพที่ 2.17 ตารางป้อนข้อมูลสำหรับการเชิงศูนย์ของเสาเข็ม

ที่มา: https://www.tumcivil.com/DRMK/RC_WSD/PileCap/aboutPileCap.pdf

โดยโปรแกรมสามารถคำนวณแรงแต่ละตัวของเสาเข็มแต่ละต้น ดังภาพที่ 2.17 อีกทั้งโปรแกรมยังออกแบบ จนถึงรายละเอียดของเหล็กเสริมได้และมีแบบการจัดเหล็กเสริมให้ด้วย หารายละเอียดเพิ่มเติมที่ https://www.tumcivil.com/DRMK/RC_WSD/PileCap/aboutPileCap.pdf

2.4.3 โปรแกรม AFES 3.0

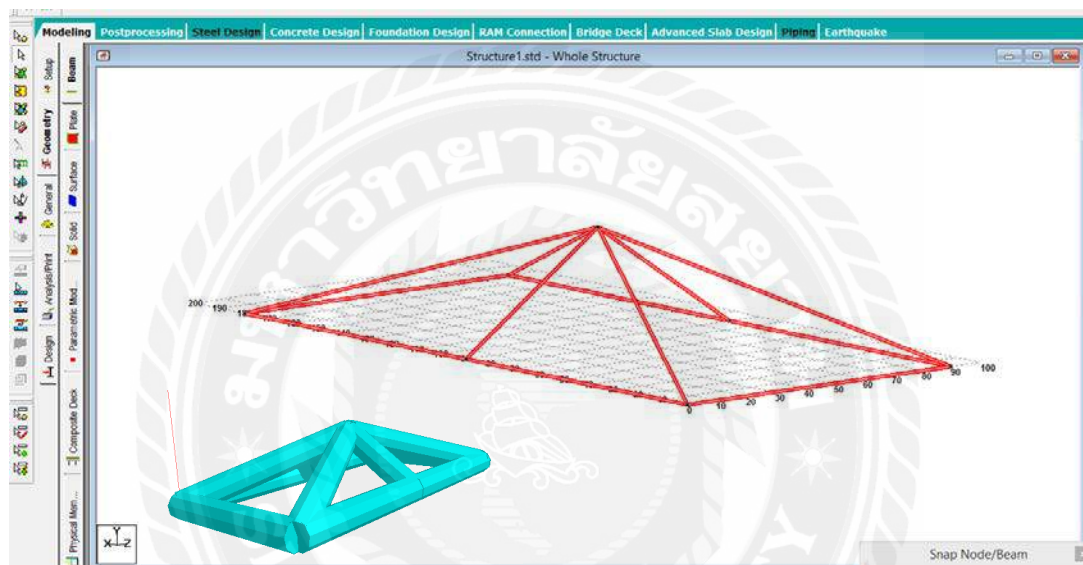
โปรแกรม AFES(Automatic Foundation Engineering System) นั้น เป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับออกแบบฐานรากโดยเฉพาะโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบฐานรากแข็งเกร็ง และ Finite Element Method เป็นการคำนวณโดยไม่คำนึงการทรุดตัวของดินและเสาเข็มที่รองรับแรงจากฐานราก ซึ่งในตัวโปรแกรมออกแบบให้สามารถเขียนภาพ 3 มิติได้ สามารถวิเคราะห์คำนวณแรงปฏิกิริยาในเสาเข็ม และคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมในฐานรากได้อย่างละเอียด ดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 หน้าต่างโปรแกรม AFES 3.0 และ ฐานราก 3D
ที่มา: Civil & Architecture Team(2006).

2.4.4 โปรแกรม STADD. Pro

STAAD. Pro (Structural analysis and design) เป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างที่ใช้ทฤษฎีทาง Finite Element และสามารถออกแบบโครงสร้างตามมาตรฐานต่าง ๆ เป็นโปรแกรมที่ถูกเลือกใช้โดยมืออาชีพในการออกแบบโครงสร้างทั่วโลก ในงานศึกษาวิจัยนี้จะใช้ โปรแกรม STAAD. Pro วิเคราะห์ในการออกแบบการกระจายแรงของฐานรากใน รูปแบบ Strut and Tie Model ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 หน้าต่างโปรแกรม STAAD. Pro และ แบบจำลองฐานราก 3D

ที่มา: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/structural-analysis-software/staadpro>

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง(Experimental Research) โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎี ประกอบการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม และการพัฒนาปรับปรุงโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบฐานรากแข็งแกร็ง (Rigid Foundation Using MS. Excel Application) ให้สามารถคำนวณได้ทั้ง ฐานราก 4 ต้น 5 ต้น และ 6 ต้น เพื่อที่จะเตรียมพร้อมทดลอง จากนั้นศึกษาโปรแกรมที่วงการวิศวกรรมใช้ ประกอบด้วย DRMK, AFES 3.0 และ STAAD.Pro สำหรับการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามเงื่อนไขการทดลอง สร้างกรณีศึกษาจำลองการหาค่าแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อศึกษาวิจัยตาม การวางแผนทดลองด้วยโปรแกรมแบบต่าง ๆ ตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบตรงศูนย์
2. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบเอียงศูนย์
3. การเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามแผนการทดลองต่าง ๆ

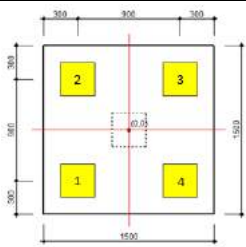
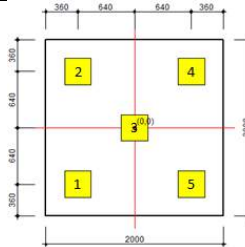
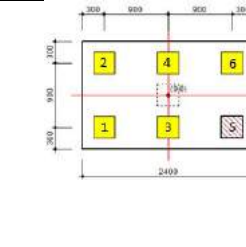
3.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบตรงศูนย์

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น ของฐานรากที่ใช้ เสาเข็ม 4 ต้น 5 ต้น และ 6 ต้น โดยใช้โปรแกรม 4 โปรแกรม ดังต่อไปนี้

1. PDMS.Excel พัฒนาโดยกลุ่มผู้วิจัย
2. DRMK
3. AFES 3.0
4. STAAD.Pro

ซึ่งได้ศึกษาในส่วนทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ PDMS.Excel (Pile Deviation MS.Excel) ที่พัฒนาโดยทีมผู้วิจัย ดังภาพที่ 3.1 สำหรับการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาตาม แผนการทดลองที่ให้เสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด 0.30x0.30 ม. มีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้เท่ากับ 30 ตัน โดยการวิเคราะห์นี้จะไม่นำน้ำหนักของฐานรากมาคำนวณ น้ำหนักที่ลงฐานรากในการทดลอง เท่ากับ 120 ตัน สำหรับฐานเสาเข็ม 4 ต้น ส่วนฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น ใช้น้ำหนักลงฐานรากเท่ากับ 150 ตัน และ ฐานรากเสาเข็ม 6 ต้น ใช้น้ำหนักลงฐานรากเท่ากับ 180 ตัน

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองกรณีเสาเข็มตรงศูนย์ และความหนาของฐานรากเท่ากับ 0.90 ม.

ฐานรากหนา 0.90 ม. โปรแกรม	 เสา 4 เข็มต้น (T)				 เสา 5 เข็มต้น (T)					 เสา 6 เข็มต้น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMS. Excel															
2.DRMK															
3.AFES 3.0															
4.STAAD.Pro															
5.STAAD.Pro K10															
6.STAAD.Pro K20															

3.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบเยื้องศูนย์

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น ของฐานรากที่ใช้เสาเข็ม 4 ต้น 5 ต้น และ 6 ต้น โดยใช้โปรแกรม 4 โปรแกรม ดังต่อไปนี้

1. PDMS.Excel
2. DRMK
3. AFES 3.0
4. STAAD.Pro

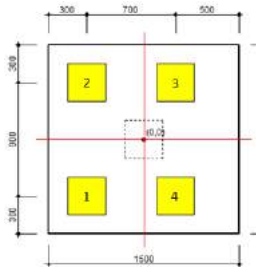
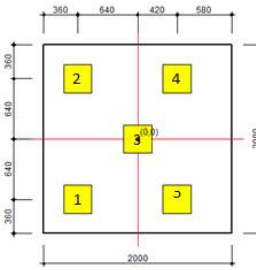
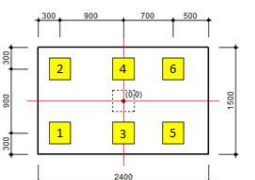
ซึ่งในส่วนการทดลองกรณีเสาเข็มเยื้องศูนย์ กำหนดให้เสาเข็มด้านขวามือเยื้องเข้าสู่ศูนย์กลางฐานราก เท่ากับ 0.20 ม. ดังภาพที่ 3.2 มุมขวาด้านบน สำหรับการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาตามแผนการทดลองที่ให้เสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด 0.30x0.30 ม. มีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้เท่ากับ 30 ตัน โดยการวิเคราะห์นี้จะไม่นำน้ำหนักของฐานรากมาคำนวณ น้ำหนักที่ลงฐานรากในการทดลองเท่ากับ 120 ตัน สำหรับฐานเสาเข็ม 4 ต้น ส่วนฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น ใช้น้ำหนักลงฐานรากเท่ากับ 150 ตัน และ ฐานรากเสาเข็ม 6 ต้น ใช้น้ำหนักลงฐานรากเท่ากับ 180 ตัน เช่นเดียวกันกับเสาเข็มตรงศูนย์

นอกจากการทดลองโดยการแปรผันน้ำหนักที่กระทำต่อฐานรากแล้วยังมีการแปรผันความหนาฐานรากเพื่อคำนวณหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มตามแผนการทดลอง ดังตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองกรณีเสาเข็มเชิงศูนย์ และ ความหนาของฐานรากเท่ากับ 0.30 ม.

ฐานรากหนา 0.30 ม. โปรแกรม	เสา 4 เข็มต้น (T)	เสา 5 เข็มต้น (T)	เสา 6 เข็มต้น (T)												
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
	1.PDMS. Excel														
	2.DRMK														
	3.AFES 3.0														
	4.STAAD.Pro														
	5.STAAD.Pro K ₁₀														
6.STAAD.Pro K ₂₀															

ตารางที่ 3.4 แผนการทดลองกรณีเสาเข็มเอียงศูนย์ และความหนาของฐานรากเท่ากับ 0.90 ม.

ฐานรากหนา 0.90 ม. โปรแกรม	 เสา 4 เข็มต้น (T)				 เสา 5 เข็มต้น (T)					 เสา 6 เข็มต้น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMS. Excel															
2.DRMK															
3.AFES 3.0															
4.STAAD.Pro															
5.STAAD.Pro K ₁₀															
6.STAAD.Pro K ₂₀															

3.3 การเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามแผนการทดลองต่าง ๆ

ในส่วนหัวข้อนี้จะนำผลการทดลองตามแผนการทดลองที่มีการแปรผันน้ำหนักที่กระทำต่อฐานราก จำนวนเสาเข็มที่ตรงศูนย์ และเอียงศูนย์ โดยความหนาฐานรากที่ 0.30 ม. และ 0.90 ม. โดยคำนวณหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มตามแผนการทดลองของทั้ง 4 โปรแกรมที่กล่าวมาแล้ว มาเปรียบเทียบเชิงร้อยละ โดยใช้ค่าที่ได้จากโปรแกรม PDMS. Excel เป็นฐานเท่ากับ 100% และบรรยายเชิงพรรณนาถึงผลการทดลองเพื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมของค่าแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มในแต่ละกรณี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการงานวิจัย ที่ได้พัฒนาโปรแกรม PDMS, Excel และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มของโปรแกรม PDMS, Excel กับโปรแกรมและเงื่อนไขอื่น ๆ ตามแผนการทดลอง เพื่อให้ทราบถึงการบรรลุวัตถุประสงค์ ดังหัวข้อต่อไปนี้

1.สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

2. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

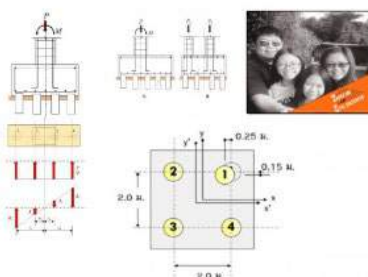
สรุปตามวัตถุประสงค์ที่ 1. สรุปผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยา และ รูปแบบการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น ค่าการยอมรับการเยื้องศูนย์ บางหน่วยงานกำหนดเป็นค่าในเชิงปฏิบัติ ค่าการเยื้องศูนย์ที่ยอมให้อาจยึดถือค่าการเยื้องศูนย์ที่ยอมให้เท่ากับ 0.075 ม. หรือ 0.10 ม.เป็นการใช้ข้อมูลแบบกำปั้นทุบดิน(Rule of Thumb) หรืออาจจะมีการกำหนดให้ระยะเยื้องศูนย์ที่ยอมให้เท่ากับความกว้างเสาเข็มส่วนหกล(6 หรือ D/6) ซึ่งเป็นระยะ Kern จริง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณากับฐานรากเดี่ยว หรือ สามารถประยุกต์ใช้กับเสาเข็มเดี่ยว ซึ่งการพิจารณาการยอมรับตามดุลพินิจของวิศวกร อย่างไรก็ตามในโครงการก่อสร้างที่มีระบบที่ปรึกษาส่วนใหญ่จะต้องมีการรายงานการเยื้องศูนย์ ต้องการวิชาการมีสนับสนุนการพิจารณา ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ทฤษฎีฐานรากแข็งแกร็ง ซึ่งจะอาจจะใช้การคำนวณโดยมือ(โปรแกรม PDMS, Excel ใช้ทฤษฎีเดียวกันนี้) หรือ ใช้โปรแกรม DRMK เป็นฟรีโปรแกรม นอกจากจะสามารถวิเคราะห์แรงในเสาเข็มยังสามารถออกแบบโครงสร้าง หรือ โปรแกรม AFS 3.0 สำหรับการวิเคราะห์ออกแบบฐานราก อย่างไรก็ตามโปรแกรมนี้นี้มีความซับซ้อนและต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และยังมีค่าใช้จ่าย สำหรับการใช้ทฤษฎีฐานรากยึดหยุ่น สามารถใช้โปรแกรม STAAD.Pro พื้นฐานการคำนวณทางไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) ด้วยการจำลองแบบ Strut-Tie Method ซึ่งมีความสูงจากจุดรองรับซึ่งแทนเสาเข็ม ส่วนระยะสูงของ 3D Truss แทนความสูงของฐานสำหรับจุดรองรับมีการจำลองแบบเสาเข็มเป็นสปริงซึ่งมีพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริง

สรุปตามวัตถุประสงค์ที่ 2. สรุปผลการพัฒนาโปรแกรม ในการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นที่มีผลจากปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์ ด้วยทฤษฎีแบบฐานรากแข็งเกร็ง (Rigid Foundation) โดยการประยุกต์ใช้ตารางคำนวณ MS. Excel จากทฤษฎีฐานรากแข็งเกร็ง ทีมผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม PDMS.Excel ให้มีความสามารถในการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มจำนวน 4, 5 และ 6 ตามขอบเขตการวิจัย และเพิ่มการแสดงตำแหน่งเสาเข็มเพื่อป้องกันการกรอกข้อมูล และทบทวนความถูกต้องด้วยโปรแกรม DRMK และ AFES 3.0 เมื่อพร้อมเผยแพร่ ผู้วิจัยได้นำไปเผยแพร่ ตัวโปรแกรม และบทความ ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ผ่านทาง GooShared.com โดยมียอดการ Download เท่ากับ 1,203 ครั้ง และมียอดการเข้าดูเท่ากับ 4,305 ครั้ง ตามข้อมูลวันที่ 29 กค. 2562 โดยมีการ Upload เมื่อ 13 พค. 2562 แสดงให้เห็นว่าก็ได้รับการตอบรับดี

สรุปตามวัตถุประสงค์ที่ 3. สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มด้วยทฤษฎีแบบฐานรากแข็งเกร็ง (วิธีการคำนวณมือที่ประยุกต์ใช้โดย MS. Excel) ด้วยโปรแกรม และทฤษฎีแบบฐานรากยืดหยุ่น (Flexible Foundation) ด้วยโปรแกรมทาง Finite Element Method พบว่า โปรแกรม PDMS.Excel DRMK และ AFES 3.0 ให้ค่าตรงและใกล้เคียงกันโดยน้ำหนักลงฐานราก เสาเข็มจะรับแรงเท่าๆกันทุกต้น เท่ากับ น้ำหนักลงฐานหารด้วยจำนวนต้นของเสาเข็ม สำหรับ โปรแกรม STAAD.Pro นั้น ใช้การวิเคราะห์แบบ Strut-Tie Model เสมือน 3D Truss การกระจายแรงขึ้นอยู่กับความหนาฐานรากและจุดรองรับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.8

Spreadsheet การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาของ
เสาเข็มแต่ละต้นที่มีผลจากปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์

ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์นิษฐ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม



ดาวน์โหลด 1 ท่านได้ดาวน์โหลดไฟล์นี้ไปแล้วเมื่อ 13 พฤษภาคม 2562 21:13

ดูประวัติ

0 (1คอมเมนต์) + 1ไลค์

เพิ่มไว้ในรายการโปรด

แจ้งเตือน/แจ้งเตือน

สถิติ :

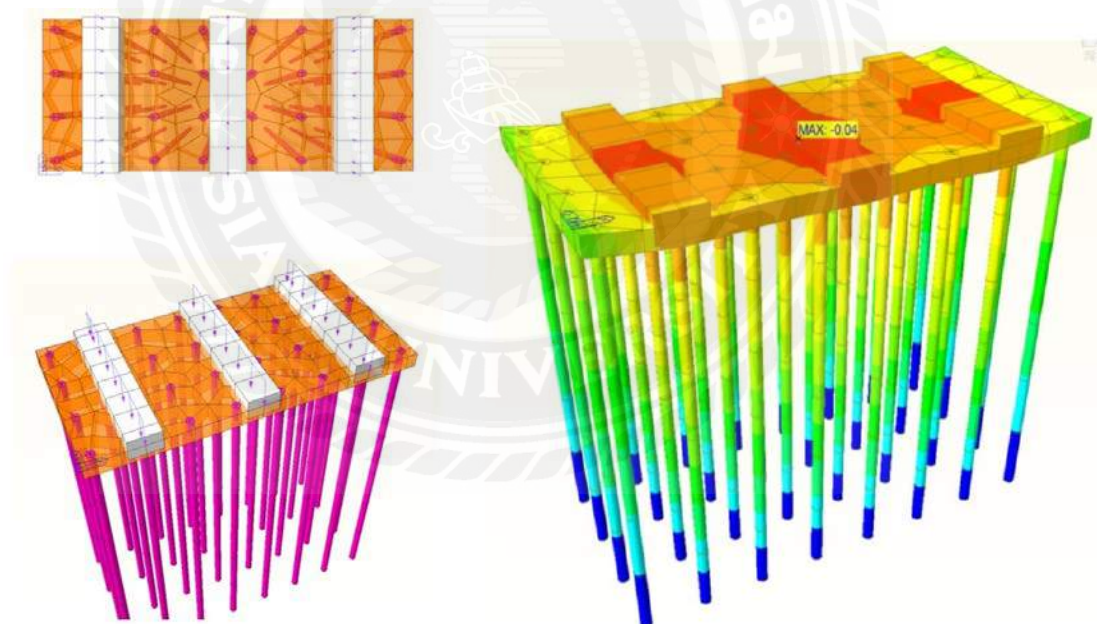
(รหัส : 7663)
ขนาดไฟล์ 945.13 KB
(By : tumcivil)
เมื่อ 13 พฤษภาคม 2562 18:14

โหลดแล้ว 1,203 ครั้ง (รายละเอียด)
ดูแล้ว 4,305 ครั้ง
2 ความเคลื่อนไหว 4
คะแนน 1

ภาพที่ 5.1 การเผยแพร่โปรแกรม ผ่านทาง GooShared.com

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ต่อยอดโปรแกรม PDMS.Excel ให้สามารถคำนวณเสาเข็มมากขึ้น เพื่อประโยชน์ต่อผู้ที่ไม่ถนัดหรือมีความรู้ในการปรับปรุงเพิ่มลดจำนวนเสาเข็ม สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น
2. พัฒนาโปรแกรม PDMS.Excel. ให้สามารถออกแบบโครงสร้างฐานรากได้
3. การวิจัยที่เปรียบเทียบกับ โปรแกรมระดับสูง ตัวอย่างดังภาพที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณวิเคราะห์จากฐานรากเสาเข็มจากโปรแกรม Midas Gen.
4. การวิจัยต่อยอดในการหาค่าแรงในสนาม เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลที่วัดได้จากหน้างาน และจากการวิเคราะห์คำนวณจาก โปรแกรม PDMS.Excel
อย่างไรก็ตาม



ภาพที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณวิเคราะห์จากฐานรากเสาเข็มจากโปรแกรม Midas Gen.

ที่มา: <https://www.facebook.com/chay.sangsawai.16>

บทที่ 4

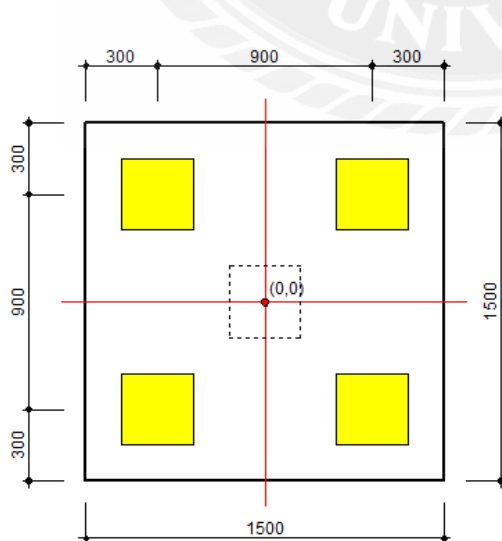
ผลการวิจัย

จากแผนการทดลองการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม ในการเปรียบเทียบ. PDMS.Excel กับ DRMK, AFES 3.0, STAAD.Pro ตามแผนการทดลองด้วยวิธีต่าง ๆ ตามหัวข้อต่อไปนี้

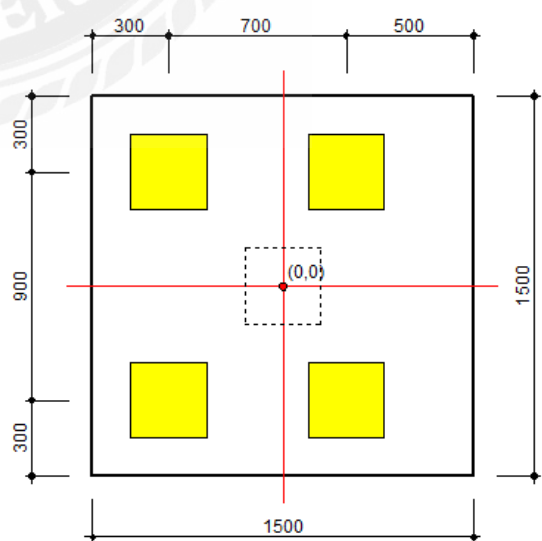
1. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบตรงศูนย์
2. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบเอียงศูนย์
3. ผลการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามแผนการทดลองต่าง ๆ

โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ป้อนใส่ในโปรแกรมต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

สำหรับฐานรากที่มีเสาเข็ม 4 ต้น กำหนดน้ำหนักลงฐาน 120 ตัน มีระยะระหว่างเสาแต่ละต้น 0.90 ม.(3D สามเท่าของหน้าตัดเสา) และ ระยะจากศูนย์กลางเสาเข็มไปยังริมฐานรากเท่ากับ 0.30 ม. ทุกด้านทุกแบบ โดยมีความหนาฐานรากเท่ากับ 0.30 ม.และ 0.90 ม. มีการเอียงศูนย์เสาเข็มฝังขวเข้าหาแนวศูนย์กลางฐานรากกับ 0.20 ม. ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2

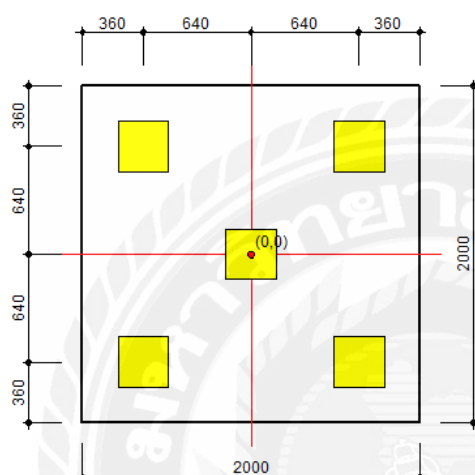


ภาพที่ 4.1. เสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์

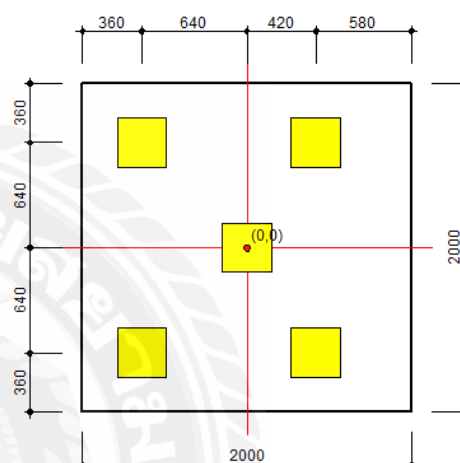


ภาพที่ 4.2. เสาเข็ม 4 ต้น เอียงศูนย์

สำหรับฐานรากที่มีเสาเข็ม 5 ต้น กำหนดน้ำหนักกลฐาน 150 ตัน ระยะระหว่างเสาแต่ละต้นจะอยู่ห่างจากศูนย์กลางในทั้งแกนแนวน X และ Y ระยะ 0.64 ม. มีระยะระหว่างเสาแต่ละต้นทั้งความหนา 0.30 ม. และ 0.90 ม. มีการเอียงศูนย์เสาเข็มฝังขวาเข้าหาแนวศูนย์กลางฐานรากกับ 0.20 ม. ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4

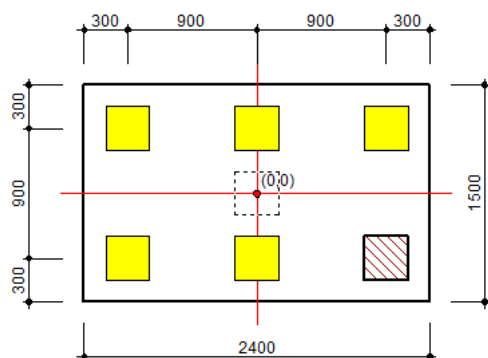


ภาพที่ 4.3. เสาเข็ม 5 ต้น ตรงศูนย์

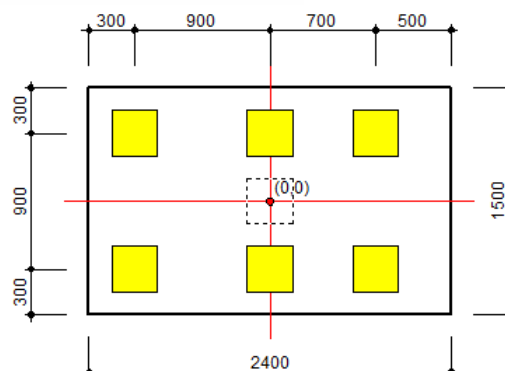


ภาพที่ 4.4. เสาเข็ม 5 ต้น เอียงศูนย์

สำหรับฐานรากที่มีเสาเข็ม 6 ต้น กำหนดน้ำหนักกลฐาน 180 ตัน มีระยะระหว่างเสาแต่ละต้น 0.90 ม. ทั้งความหนา 0.30 ม. และ 0.90 ม. มีการเอียงศูนย์เสาเข็มฝังขวาเข้าหาแนวศูนย์กลางฐานรากกับ 0.20 ม. ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6



ภาพที่ 4.5. เสาเข็ม 6 ต้น ตรงศูนย์



ภาพที่ 4.6 เสาเข็ม 6 ต้น เอียงศูนย์

4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบตรงศูนย์

4.1.1 กรณีฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น

1. การทดลองโดยใช้โปรแกรม PDMS.Execel

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม PDMS.Excel จะทำการป้อนตำแหน่งเสาเข็ม ระยะเชิงศูนย์และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.7

รายการคำนวณวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มรับแรงกระทำเชิงศูนย์และ/หรือเสาเข็มเชิงศูนย์

โครงการ..... วิศวกร.....

Footing No.

P = 120 ตัน

Mx = 0 ตัน-ม.

My = 0 ตัน-ม.

R=แรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม, ตัน
P = แรงที่กระทำต่อฐานราก, ตัน
Mx, My = โมเมนต์รอบแกน x,y ตามลำดับ, ตัน-ม.
x,y = ระยะพิกัด x,y จากจุดศูนย์กลางของฐานรากถึงตำแหน่งเสาเข็ม, ม.
 $\Delta x, \Delta y$ = ระยะที่คาดเคลื่อน(ระยะเชิงศูนย์), ม.
 x', y' = ระยะพิกัดใหม่จากจุดศูนย์กลางของฐานรากถึงตำแหน่งเสาเข็ม, ม.



Pile No.	A	Coordinate		Deviation		New Coordinate				$I_x - \sum y^2$		$I_y - \sum x^2$		$I_{xy} - \sum xy$	R
		x	y	Δx	Δy	x'	y'	X	Y	X^2	Y^2				
1	1	-0.45	0.45	0	0	-0.45	0.45	-0.450	0.450	0.203	0.203	-0.203	30.000		
2	1	0.45	0.45	0	0	0.45	0.45	0.450	0.450	0.203	0.203	0.203	30.000		
3	1	-0.45	-0.45	0	0	-0.45	-0.45	-0.450	-0.450	0.203	0.203	0.203	30.000		
4	1	0.45	-0.45	0	0	0.45	-0.45	0.450	-0.450	0.203	0.203	-0.203	30.000		
sum	4					0	0			0.810	0.810	0.000	120 OK.		

New CG. = 0.000 0.000

$$M_x = M_{xo} + P e_y$$

$$M_y = M_{yo} + P e_x$$

$$m = \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$$

$$n = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$$

Mxo + Pey = Mx,y

Mx= 0 + 0 = 0 T.m. m = 0

My= 0 + 0 = 0 T.m. n = 0.0000

ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย PDMS.Execel แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น ทั้งความหนา 0.30 ม.และ 0.90 ม. (โปรแกรมมิได้พิจารณาความหนาฐานราก)

2. การทดสอบโดยใช้โปรแกรม DRMK

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม DRMK จะทำการป้อนขนาดหน้าตัดเสาเข็ม และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.8 ในที่นี้เลือกใช้วิธีคำนวณแบบอย่างง่าย

ข้อมูลเสาเข็ม:

หน้าตัดเข็ม:

ขนาด: cm

กำลัง: ตัน/ตัน

จำนวน: ตัน

กำลังรับน้ำหนักรวม: 120 ตัน

น้ำหนักบรรทุกทุก P = **120** ตัน

กำหนดตำแหน่งเสาเข็ม

	ตำแหน่งเข็ม		ระยะเยื้องศูนย์กลาง		น้ำหนักลงเข็ม (ton)
	X (cm)	Y (cm)	dx (cm)	dy (cm)	
P1	-45	45	0	0	30
P2	45	45	0	0	30
P3	-45	-45	0	0	30
P4	45	-45	0	0	30

วิธีอย่างง่าย

คำนวณเยื้องศูนย์กลาง

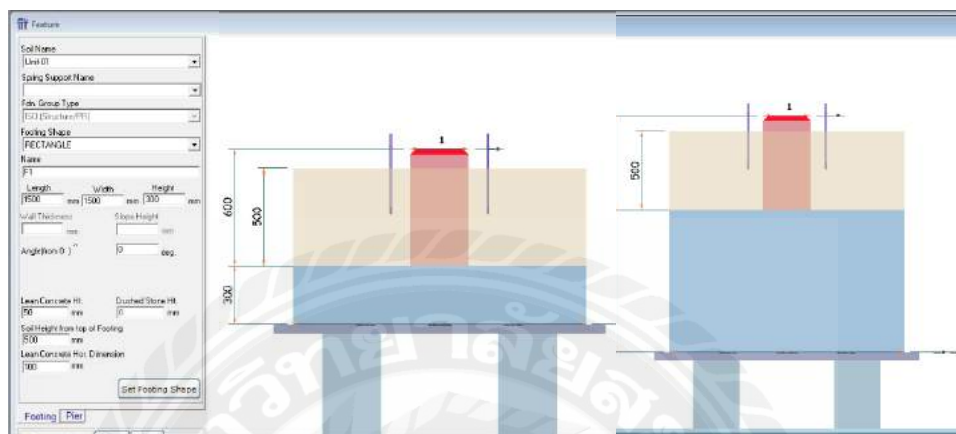
ออกแบบ

ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย DRMK แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น ทั้งความหนา 0.30 ม. และ 0.90 ม. (โปรแกรมมิได้พิจารณาความหนาฐานราก)

3. การทดลองโดยใช้โปรแกรม AFES 3.0

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม AFES 3.0 จะทำการป้อนขนาดหน้าตัดเสาเข็ม มิติของฐานราก และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.9



2/4/2562

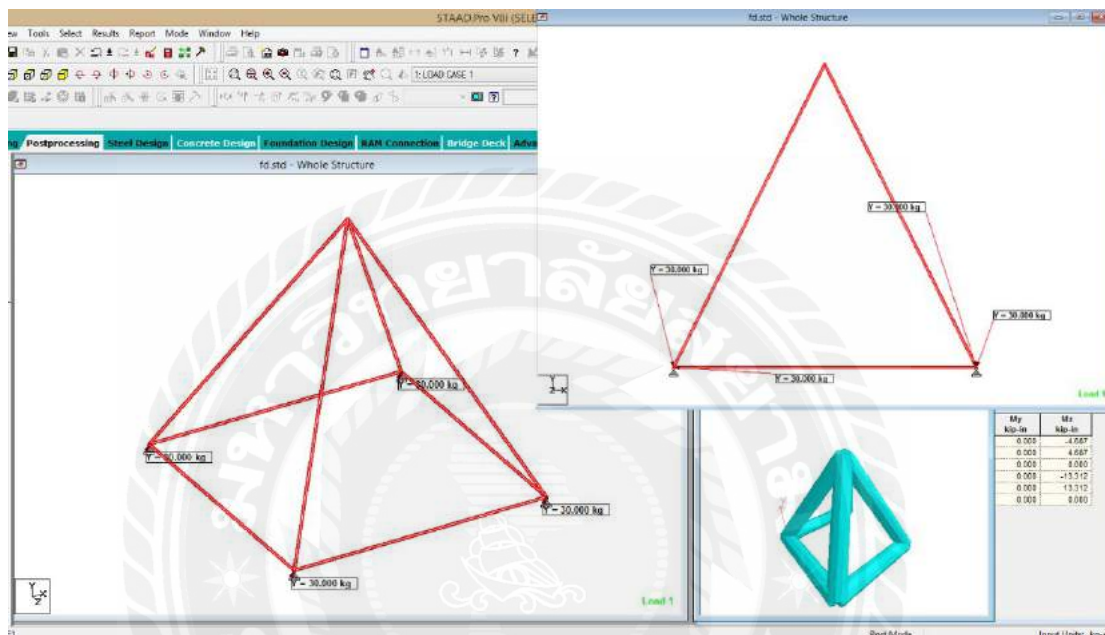
AFES		Calculation Sheet of Foundation		Project No. : q														
				Project No. : h														
		Client : q	Page 1															
Pile Reaction Table (Uni-Axial)																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Footing Name</th> <td>F1</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Section Name</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Pile Name</td> <td>PHC-12</td> </tr> <tr> <td>Pile Shape</td> <td>Square</td> </tr> <tr> <td>Pile Number</td> <td>4 EA</td> </tr> <tr> <td>Pile Diameter</td> <td>300 mm</td> </tr> <tr> <td>LC Type</td> <td>Stability</td> </tr> </tbody> </table> --- Origin Point (0,0) mm — The Center of Gravity & Pile (0,0) mm			Footing Name	F1	Section Name	-	Pile Name	PHC-12	Pile Shape	Square	Pile Number	4 EA	Pile Diameter	300 mm	LC Type	Stability
Footing Name	F1																	
Section Name	-																	
Pile Name	PHC-12																	
Pile Shape	Square																	
Pile Number	4 EA																	
Pile Diameter	300 mm																	
LC Type	Stability																	
• LC : 99, (1.0 DL) Unit (mm,tonf)																		
No.	Name	Pile Geometry		Uni-Axial (Ver)		Shear (Hor)		Ra	Ua	Ha								
		X	Y	X-Dir.	Y-Dir.	X-Dir.	Y-Dir.											
1	PHC-12	450	-450	30	30	0	0	133.33	0	0								
2	PHC-12	450	450	30	30	0	0	133.33	0	0								
3	PHC-12	-450	450	30	30	0	0	133.33	0	0								
4	PHC-12	-450	-450	30	30	0	0	133.33	0	0								

ภาพที่ 4.9 การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย AFES 3.0 แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น ทั้งความหนา 0.30 ม.และ 0.90 ม. (โปรแกรมพิจารณาความหนาฐานราก)

4. การทดลองโดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro (Hinge)

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม STAAD.Pro (Hinge) จะทำการป้อนขนาดหน้าตัดของ 3D Truss ตามมิติของฐานราก และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.10



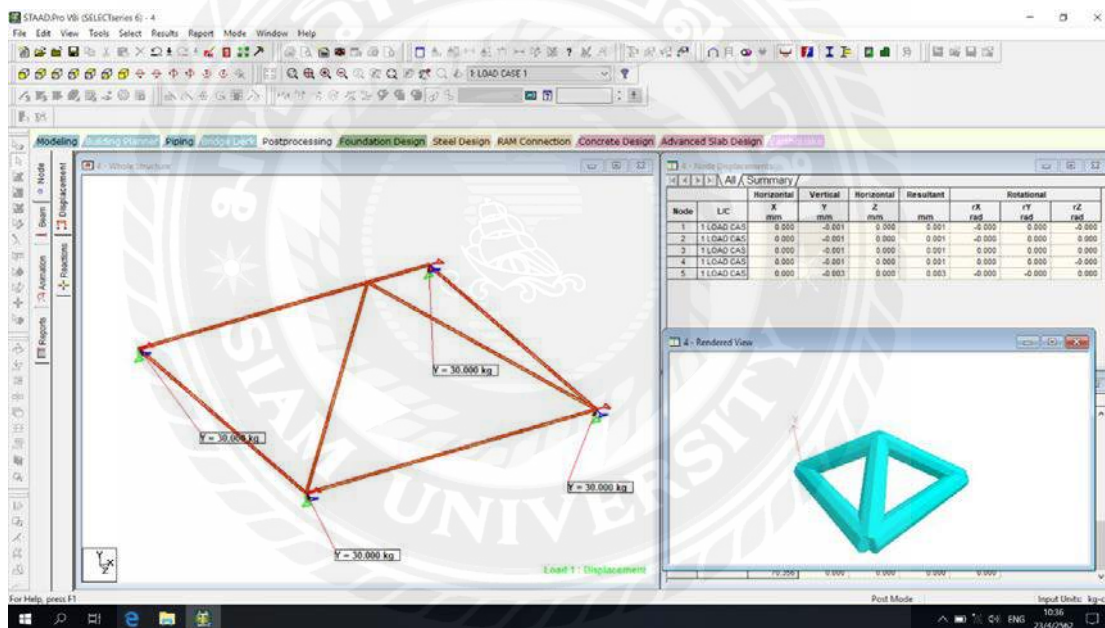
ภาพที่ 4.10 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรงศูนย์ จุดรองรับแบบจุดหมุน (Hinge)

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น ทั้งความหนา 0.30 ม.และ 0.90 ม. (พิจารณาความหนาฐานราก)

ผลที่ได้ คือ แรงที่ลงเสาเข็มทั้ง 4 ต้น ไม่แปรผันตามความสูง(ความหนาฐานราก) ในกรณีเสาไม่มีการเชื่อมศูนย์ เสาเข็มทุกต้นรับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น

5. การทดสอบโดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro (Spring)

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม STAAD.Pro (Spring) จะทำการป้อนขนาดหน้าตัดของ 3D Truss ตามมิติของฐานราก กำหนดฐานรองรับเป็นแบบ Spring โดยกำหนดค่า $K_{pile} = 2AE/L$ ดังที่กล่าวในบทที่ 2 เสาเข็มสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด(A)เท่ากับ $0.30 \times 0.30 = 0.09$ ตรม. และ ค่ายัง โมดูลัส (E) เท่ากับ $300,000$ กก./ชม.² โดยการทดลองนี้ใช้ และ ความยาวเสาเข็ม(L) เท่ากับ 10 และ 20 ม. เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า K_{pile} ดังนี้ STAAD.Pro K_{10} หมายถึง ใช้เสาเข็มยาว 10 ม. และ STAAD.Pro K_{20} ใช้เสาเข็มยาว 20 ม. ส่วนน้ำหนักที่ลงฐานราก เสาเข็มตรงศูนย์และ เสาเข็มเอียงศูนย์ตามแผนการทดลอง และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 4 ต้น ตรง ศูนย์ จุครองรับแบบสปริง (Spring)

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น ทั้งความหนา 0.30 ม.และ 0.90 ม. (พิจารณาความหนาฐานราก) โดยแรงที่ลงเสาเข็มทั้ง 4 ต้น ไม่แปรผันตามความสูง(ความหนาฐานราก) ในกรณีเสาไม่มีการเอียงศูนย์ เสาเข็มทุกต้นรับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น

4.1.2. กรณีฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น

1. การทดลองโดยใช้โปรแกรม PDMS.Excl

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม PDMS.Excel จะทำการป้อนตำแหน่งเสาเข็ม ระยะเยื้องศูนย์และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.12

รายการคำนวณวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มรับแรงกระทำเยื้องศูนย์และ/หรือเสาเข็มเยื้องศูนย์

โครงการ..... วิศวกร.....

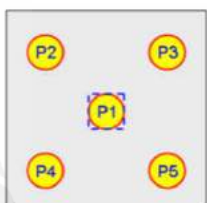
Footing No.....

P = 150 ตัน

Mx = 0 ตัน-ม.

My = 0 ตัน-ม.

R = แรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม, ตัน
P = แรงที่กระทำต่อฐานราก, ตัน
Mx, My = โมเมนต์รอบแกน x, y ตามลำดับ, ตัน-ม.
x, y = ระยะที่วัด x, y จากจุดศูนย์ถ่วงของฐานรากถึงตำแหน่งเสาเข็ม, ม.
 $\Delta x, \Delta y$ = ระยะที่วัดเคลื่อน(ระยะเยื้องศูนย์), ม.
 x', y' = ระยะที่วัดใหม่จากจุดศูนย์ถ่วงของฐานรากถึงตำแหน่งเสาเข็ม, ม.



File No.	A	Coordinate		Division		New Coordinate				$I_x - \sum y^2$	$I_y - \sum x^2$	$I_{xy} = \sum xy$	R
		x	y	Δx	Δy	x'	y'	X	Y	X^2	Y^2	XY	
1	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000
2	1	-0.6364	0.6364	0	0	-0.6364	0.6364	-0.636	0.636	0.405	0.405	-0.405	30.000
3	1	0.6364	0.6364	0	0	0.6364	0.6364	0.636	0.636	0.405	0.405	0.405	30.000
4	1	-0.6364	-0.6364	0	0	-0.6364	-0.6364	-0.636	-0.636	0.405	0.405	0.405	30.000
5	1	0.6364	-0.6364	0	0	0.6364	-0.6364	0.636	-0.636	0.405	0.405	-0.405	30.000
sum	5					0	0			1.620	1.620	0.000	150 OK.

New CG, = 0.000 0.000

$M_x = M_{xo} + P e_y$
Mxo + Pey = Mx,y
Mx= 0 + 0 = 0 T.m.
My= 0 + 0 = 0 T.m.

$M_y = M_{yo} + P e_x$
Myo + Pex = My,x
My= 0 + 0 = 0 T.m.

$m = \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$
m = 0

$n = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$
n = 0.0000

ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย PDMS.Excl แบบเสาเข็ม 5 ต้น ตรงศูนย์

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น ทั้งความหนา 0.30 ม.และ 0.90 ม. (โปรแกรมมิได้พิจารณาความหนาฐานราก)

2. การทดลองโดยใช้โปรแกรม DRMK

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม DRMK จะทำการป้อนขนาดหน้าตัดเสาเข็ม และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.13 ในที่นี้เลือกใช้วิธีคำนวณแบบอย่างง่าย

ข้อมูลเสาเข็ม: เข็มสี่เหลี่ยม ▾

หน้าตัดเข็ม: R 30 x 30 ▾

ขนาด: 30 cm

กำลัง: 30 ตัน/ตัน

จำนวน: 5 ▾ ตัน

กำลังรับน้ำหนักรวม: 150 ตัน

น้ำหนักบรรทุกทุก P = 150 ตัน

กำหนดตำแหน่งเสาเข็ม

	ตำแหน่งเข็ม		ระยะเยื้องศูนย์กลาง		น้ำหนักลงเข็ม (ton)
	X (cm)	Y (cm)	dx (cm)	dy (cm)	
P1	0	0	0	0	30
P2	-63.6	63.6	0	0	30
P3	63.6	63.6	0	0	30
P4	-63.6	-63.6	0	0	30
P5	63.6	-63.6	0	0	30

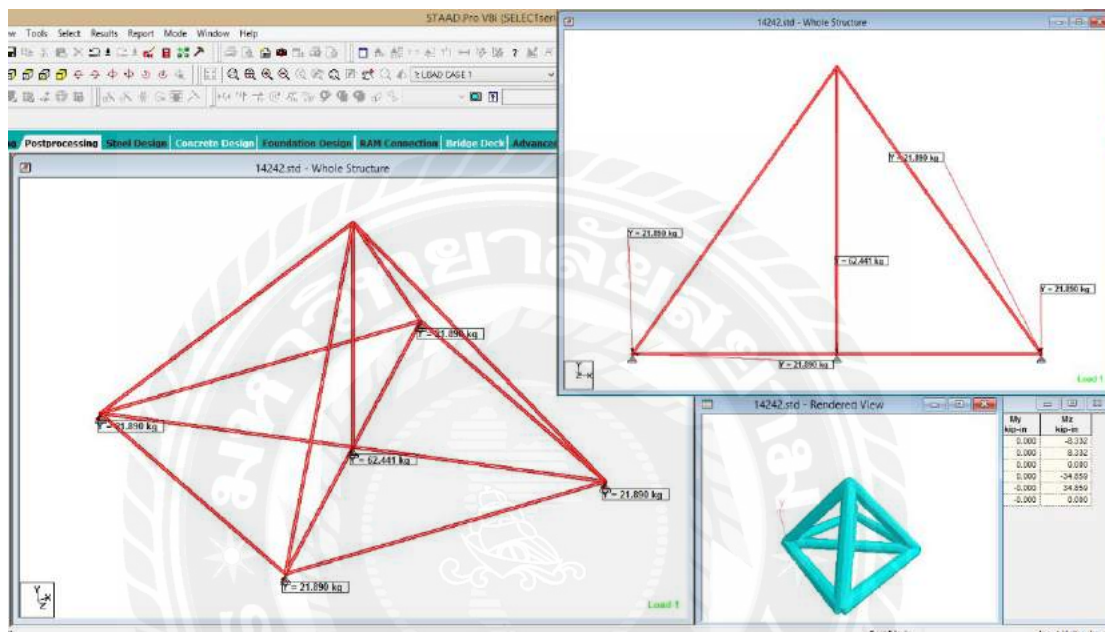
วิธีอย่างง่าย ▾ คำนวณเยื้องศูนย์กลาง ออกแบบ

ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย DRMK แบบเสาเข็ม 5 ต้น ตรงศูนย์

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 30 ตัน เท่ากันทุกต้น ทั้งความหนา 0.30 ม. และ 0.90 ม. (โปรแกรมมิได้พิจารณาความหนาฐานราก)

4. การทดลองโดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro (Hinge)

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม STAAD.Pro (Hinge) จะทำการป้อนขนาดหน้าตัดของ 3D Truss ตามมิติของฐานราก และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.15

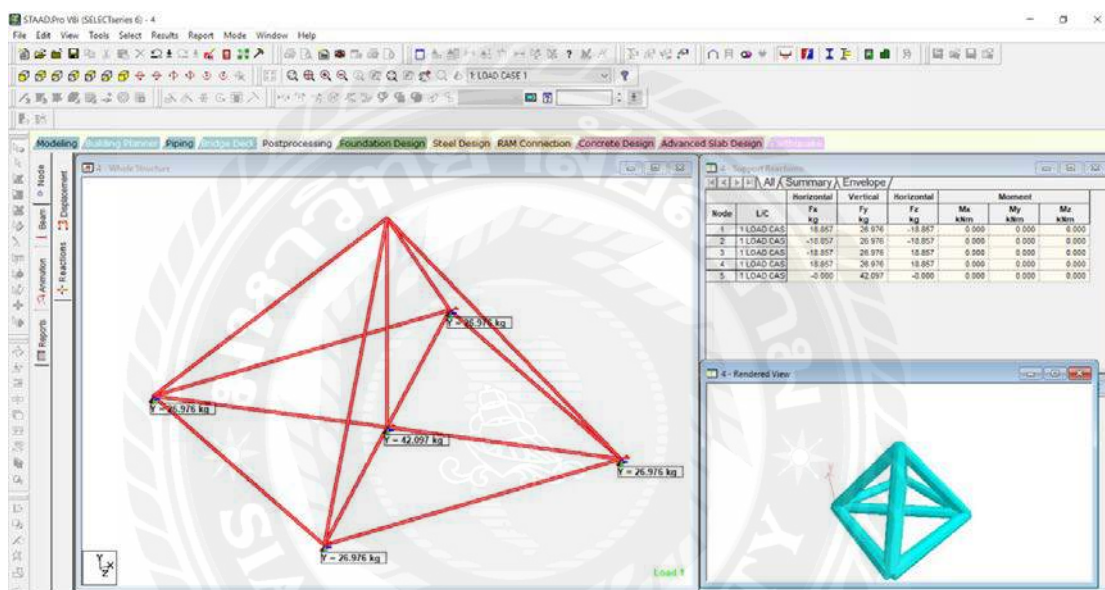


ภาพที่ 4.15 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 5 ต้น ตรง ศูนย์ จุฬารองรับแบบจุดหมุน (Hinge)

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็ม สำหรับความหนาฐานราก 0.30 ม.เสาเข็มต้นกลางรับแรงเท่ากับ 133 ตัน และ ต้นโดยรอบรับแรงเท่ากับ 4.2 ตันเท่ากันทุกต้น และ สำหรับความหนาฐานราก 0.90 ม. เสาเข็มต้นกลางรับแรงเท่ากับ 62.4 ตัน และ เสาเข็มต้นโดยรอบรับแรงเท่ากับ 21.9 ตันเท่ากันทุกต้น

5. การทดสอบโดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro (Spring)

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม STAAD.Pro (Spring) จะทำการป้อนขนาดหน้าตัดของ 3D Truss ตามมิติของฐานราก กำหนดฐานรองรับเป็นแบบ Spring โดยกำหนดค่า $K_{pile} = 2AE/L$ ดังที่กล่าวในบทที่ 2 โดยการทดลองนี้ใช้ K_{pile} สองค่า คือ STAAD.Pro K_{10} หมายถึง ใช้เสาเข็มยาว 10 ม. และ STAAD.Pro K_{20} ใช้เสาเข็มยาว 20 ม. ส่วนน้ำหนักที่ลงฐานราก เสาเข็มตรงศูนย์ และ เสาเข็มเยื้องศูนย์ตามแผนการทดลอง ตามตัวอย่าง ดังภาพที่ 4.16



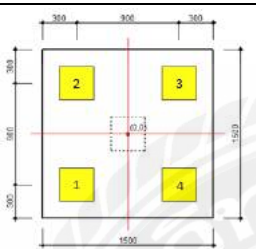
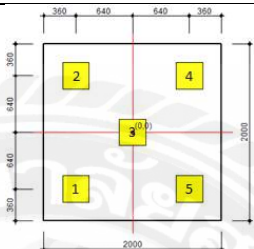
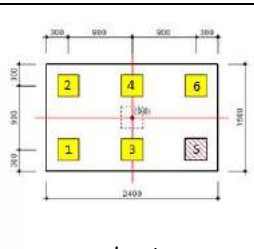
ภาพที่ 4.16 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 5 ต้น
ตรงศูนย์ จุกรองรับแบบสปริง (Spring)

ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็ม สำหรับความหนาฐานราก 0.30 ม. แบบ STAAD.Pro K_{10} เสาเข็มยาว 10 ม. ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 97.6 ตัน และ ต้นโดยรอบรับแรงเท่ากับ 13.1 ตันเท่ากันทุกต้น ส่วนแบบ STAAD.Pro K_{20} เสาเข็มยาว 20 ม. ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 80.4 ตัน และ ต้นโดยรอบรับแรงเท่ากับ 17.4 ตันเท่ากันทุกต้น และ

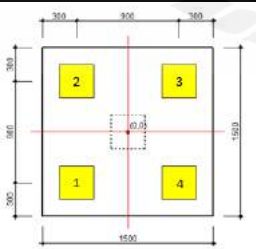
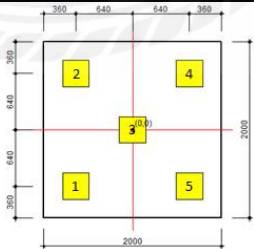
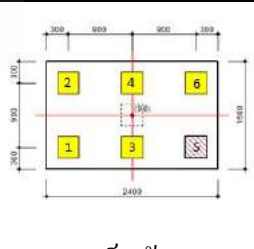
สำหรับความหนาฐานราก 0.90 ม. ที่มีจุกรองรับแบบ K_{10} เสาเข็มยาว 10 ม. ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 47.7 ตัน และ ต้นโดยรอบรับแรงเท่ากับ 25.6 ตันเท่ากันทุกต้น ส่วนแบบ K_{20} เสาเข็มยาว 20 ม. ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 42.1 ตัน และ ต้นโดยรอบรับแรงเท่ากับ 27 ตันเท่ากันทุกต้น

ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงการสรุปผลการวิเคราะห์ของเสาเข็ม 4, 5 และ 6 ต้น (สำหรับส่วน 6 ต้นไม่แสดงรายละเอียดในการคำนวณ จะยกตัวอย่างในส่วนของฐานรากเมื่อมีการเยื้องศูนย์ในหัวข้อถัดไป)

ตารางที่ 4.1 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละ โปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบตรงศูนย์

ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบตรงศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มต้น (T)				 เสา 5 เข็มต้น (T)					 เสา 6 เข็มต้น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMs.Execl	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
2.DRMK	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3.AFES 3.0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
4.STAAD.Pro	30	30	30	30	4.2	4.2	133	4.2	4.2	9.7	9.7	70.6	70.6	9.7	9.7
5.STAAD.Pro K ₁₀	30	30	30	30	13.1	13.1	97.6	13.1	13.1	13.0	13.0	64.0	64.0	13.0	13.0
6.STAAD.Pro K ₂₀	30	30	30	30	17.4	17.4	80.4	17.4	17.4	15.5	15.5	59.0	59.0	15.5	15.5

ตารางที่ 4.2 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละ โปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบตรงศูนย์

ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบตรงศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มต้น (T)				 เสา 5 เข็มต้น (T)					 เสา 6 เข็มต้น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMs.Execl	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
2.DRMK	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3.AFES 3.0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
4.STAAD.Pro	30	30	30	30	21.9	21.9	62.4	21.9	21.9	20.4	20.4	49.7	49.7	20.4	20.4
5.STAAD.Pro K ₁₀	30	30	30	30	25.6	25.6	47.7	25.6	25.6	23.7	23.7	42.5	42.5	23.7	23.7
6.STAAD.Pro K ₂₀	30	30	30	30	27.0	27.0	42.1	27.0	27.0	25.4	25.4	39.2	39.2	25.4	25.4

4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแบบเยื้องศูนย์

4.2.1 กรณีฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น และ 5 ต้น

การป้อนข้อมูลและการเปรียบเทียบในที่นี้ขอไม่แสดงรายละเอียดในรายการคำนวณ แต่สามารถศึกษาการค่าเปรียบเทียบเพิ่มเติมได้จากตารางที่ 4.3 และ 4.4.....

4.2.2 กรณีฐานรากเสาเข็ม 6 ต้น

1. การทดลองโดยใช้โปรแกรม PDMS.Execel

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม PDMS.Excel จะทำการป้อนตำแหน่งเสาเข็ม ระยะเยื้องศูนย์และน้ำหนักที่ลงฐานราก ดังภาพที่ 4.17

รายการคำนวณวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มรับแรงกระทำเยื้องศูนย์และ/หรือเสาเข็มเยื้องศูนย์

โครงการ..... วิศวกร.....

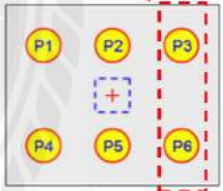
Footing No.....

P = 180 ตัน

Mx = 0 ตัน-ม.

My = 0 ตัน-ม.

R = แรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม, ตัน
P = แรงที่กระทำต่อฐานราก, ตัน
Mx, My = โมเมนต์รอบแกน x, y ตามลำดับ, ตัน-ม.
x, y = ระยะพิกัด x, y จากจุดศูนย์ถ่วงของฐานรากถึงตำแหน่งเสาเข็ม, ม.
 $\Delta x, \Delta y$ = ระยะที่คาดเคลื่อน (ระยะเยื้องศูนย์), ม.
 x', y' = ระยะพิกัดใหม่จากจุดศูนย์ถ่วงของฐานรากถึงตำแหน่งเสาเข็ม, ม.



Pile No.	A	Coordinate		Deviation		New Coordinate				$I_x - \sum y^2$		$I_y - \sum x^2$		$I_{xy} - \sum xy$	R
		x	y	Δx	Δy	x'	y'	X	Y	X^2	Y^2				
1	1	-0.9	0.45	0	0	-0.9	0.45	-0.833	0.450	0.694	0.203	-0.375	26.114		
2	1	0	0.45	0	0	0	0.45	0.067	0.450	0.004	0.203	0.030	30.311		
3	1	0.9	0.45	-0.2	0	0.7	0.45	0.767	0.450	0.588	0.203	0.345	33.575		
4	1	-0.9	-0.45	0	0	-0.9	-0.45	-0.833	-0.450	0.694	0.203	0.375	26.114		
5	1	0	-0.45	0	0	0	-0.45	0.067	-0.450	0.004	0.203	-0.030	30.311		
6	1	0.9	-0.45	-0.2	0	0.7	-0.45	0.767	-0.450	0.588	0.203	-0.345	33.575		
sum	6					-0.4	0			2.573	1.215	0.000	180.000 OK.		

New CG. = -0.067 0.000

$$M_x = M_{xo} + P e_y$$

$$M_x = 0 + 0 = 0 \text{ T.m}$$

$$M_y = M_{yo} + P e_x$$

$$M_y = 0 + 12 = 12 \text{ T.m}$$

$$m = \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$$

$$m = 4.66321$$

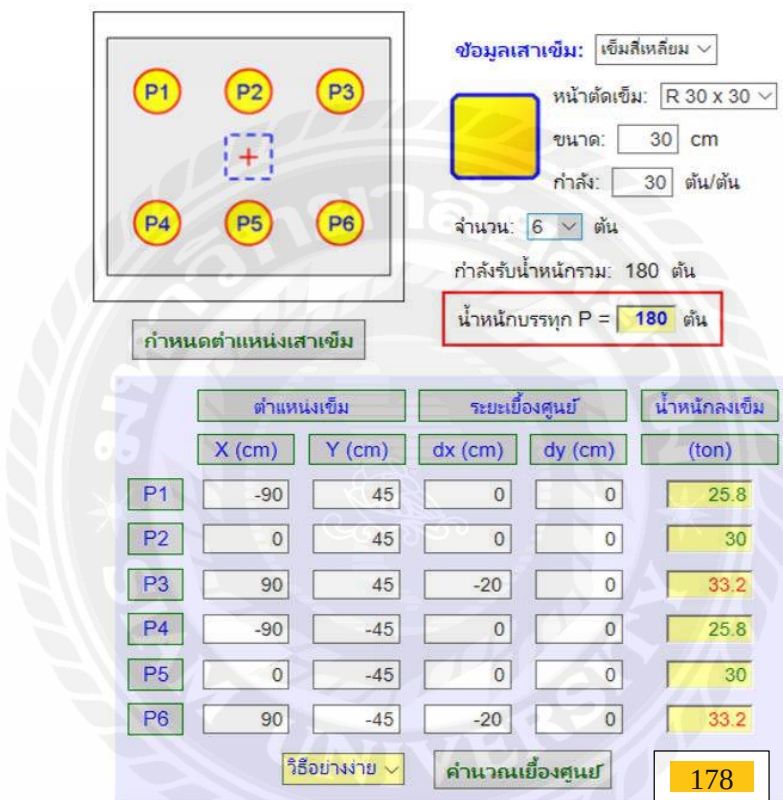
$$n = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$$

$$n = 0.0000$$

ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย PDMS.Execel แบบเสาเข็ม 6 ต้น เยื้องศูนย์

ภาพที่ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็ม ทั้งความหนา 0.30 ม.และ 0.90 ม. เสาเข็มต้นที่รับแรงมากที่สุดได้ 33.6 ตัน สำหรับต้นเชิงศูนย์ เสาเข็มกลางรับแรงเท่ากับ 30.3 ตัน และเสาเข็มที่รับน้อยสุดต้นริมที่ไม่เชิงศูนย์ รับแรงเท่ากับ 26.1 ตัน

2. การทดลองโดยใช้โปรแกรม DRMK



The screenshot shows the DRMK software interface. At the top left is a diagram of a pile layout with six piles labeled P1 through P6 arranged in a hexagonal pattern around a central point marked with a '+'. To the right of the diagram are input fields for pile parameters: 'ข้อมูลเสาเข็ม' (Pile Information) with a dropdown menu set to 'เข็มสี่เหลี่ยม' (Square pile), 'หน้าตัดเข็ม' (Pile cross-section) set to 'R 30 x 30', 'ขนาด' (Size) set to '30 cm', 'กำลัง' (Capacity) set to '30 ตัน/ต้น' (ton/pile), 'จำนวน' (Quantity) set to '6 ต้น' (piles), and 'กำลังรับน้ำหนักรวม' (Total load capacity) set to '180 ตัน'. Below these is a red-bordered box containing 'น้ำหนักบรรทุกทุก P = 180 ตัน'. At the bottom left is a button labeled 'กำหนดตำแหน่งเสาเข็ม'. Below this is a table with columns for pile position, eccentricity, and load.

	ตำแหน่งเข็ม		ระยะเชิงศูนย์		น้ำหนักลงเข็ม
	X (cm)	Y (cm)	dx (cm)	dy (cm)	
P1	-90	45	0	0	25.8
P2	0	45	0	0	30
P3	90	45	-20	0	33.2
P4	-90	-45	0	0	25.8
P5	0	-45	0	0	30
P6	90	-45	-20	0	33.2

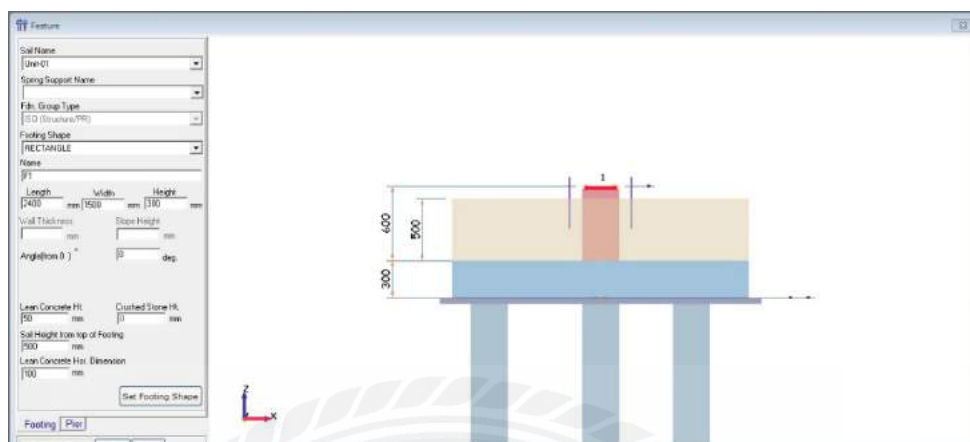
At the bottom right, there is a button labeled 'วิธีอย่างง่าย' and a box showing 'คำนวณเชิงศูนย์' with the value '178'.

ภาพที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย DRMK แบบเสาเข็ม 6 ต้น เชิงศูนย์

ภาพที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็ม ทั้งความหนา 0.30 ม. และ 0.90 ม. เสาเข็มต้นที่รับแรงมากที่สุดได้ 33.2 ตัน สำหรับต้นเชิงศูนย์ เสาเข็มกลางรับแรงเท่ากับ 30 ตัน และเสาเข็มที่รับน้อยสุดต้นริมที่ไม่เชิงศูนย์ รับแรงเท่ากับ 25.8 ตัน

กรณีที่มีการเชิงศูนย์มากทางโปรแกรม DRMK แนะนำให้คำนวณแบบ Strut and Tie Model เพราะ มีคลาดเคลื่อนสูง เสาเข็มรับน้ำหนักมากจนเกินไป อย่างไรก็ตาม โปรแกรมก็ยังสามารถให้ค่าแรงในเสาเข็มได้ แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนแรงที่กระทำ และ แรงปฏิกิริยาไม่เท่ากัน

3. การทดลองโดยใช้โปรแกรม AFES 3.0



2/4/2562

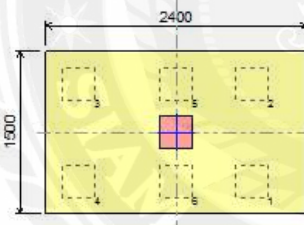


**Calculation Sheet
of
Foundation**

Project No. : q
 Project No. : h
 Client : q

Page 1

Pile Reaction Table (Uni-Axial)



Footing Name	F1
Section Name	-
Pile Name	PHC-12
Pile Shape	Square
Pile Number	6 EA
Pile Diameter	300 mm
LC Type	Stability

--- Origin Point (0,0) mm
 --- The Center of Gravity (0,0) mm
 --- The Center of Pile (-66.67,0) mm

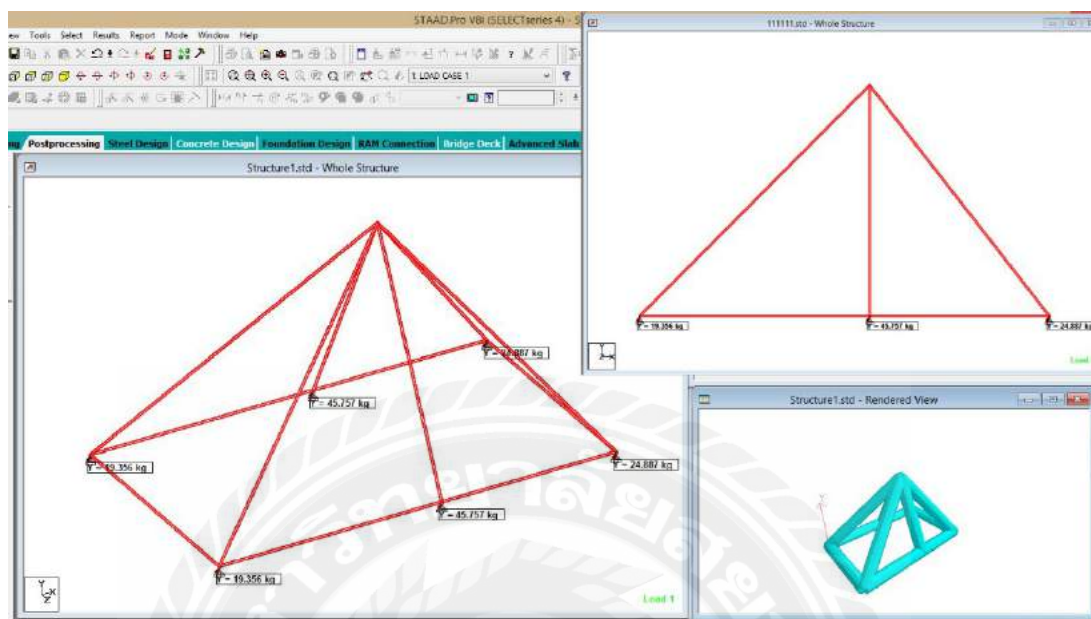
• LC : 89, (1.0 DL)
 Unit (mm,tonf)

No.	Name	Pile Geometry		Uni-Axial (Ver)		Shear (Hor)		Ra	Ua	Ha
		X	Y	X-Dir.	Y-Dir.	X-Dir.	Y-Dir.			
1	PHC-12	700	-450	33.58	30	0	0	133.33	0	0
2	PHC-12	700	450	33.58	30	0	0	133.33	0	0
3	PHC-12	-900	450	26.11	30	0	0	133.33	0	0
4	PHC-12	-900	-450	26.11	30	0	0	133.33	0	0
5	PHC-12	0	450	30.31	30	0	0	133.33	0	0
6	PHC-12	0	-450	30.31	30	0	0	133.33	0	0

ภาพที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์แรงด้วย AFES 3.0 แบบเสาเข็ม 6 ต้น เอียงศูนย์

ภาพที่ 4.19 แสดงผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็ม ทั้งความหนา 0.30 ม.และ 0.90 ม. เสาเข็มต้นที่รับแรงมากที่สุดได้ 33.6 ตัน สำหรับต้นเอียงศูนย์ เสาเข็มกลางรับแรงเท่ากับ 30.3 ตัน และเสาเข็มที่รับน้อยสุดคือนิมที่ไม่เอียงศูนย์ รับแรงเท่ากับ 26.1 ตัน

4. การทดลองโดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro



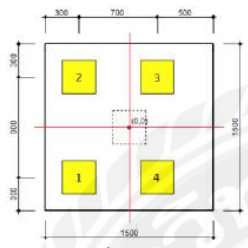
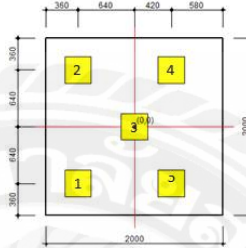
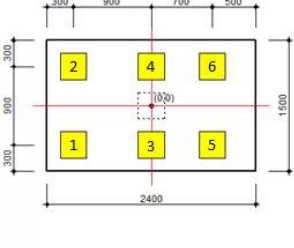
ภาพที่ 4.20 ตย. การป้อนข้อมูลและผลการวิเคราะห์แรงด้วย STAAD.Pro แบบเสาเข็ม 5 ต้น เชื้องศูนย์ จุครองรับแบบจุดหมุน (Hinge) และแบบสปริง

ภาพที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็ม สำหรับความหนาฐานราก 0.30 ม.แบบจุครองรับแบบจุดหมุน(Hinge) ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 66.2 ตัน และ ต้นเชื้องศูนย์รับแรงเท่ากับ 13.4 และต้นที่ไม่เชื้องศูนย์รับแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 10.4 ตัน ส่วนแบบจุครองรับแบบสปริง STAAD.Pro K₁₀เสาเข็มยาว 10 ม. ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 59.2 ตัน และ ต้นเชื้องศูนย์รับแรงเท่ากับ 17.3 ตันและต้นที่ไม่เชื้องศูนย์รับแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 13.5 ตัน ส่วนแบบ STAAD.Pro K₂₀ เสาเข็มยาว 20 ม. ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 54.2 ตัน และ ต้นโคยรอบรับแรงเท่ากับ 20.1 ตัน เท่ากันทุกต้น และ ต้นที่ไม่เชื้องศูนย์รับแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 15.6 ตัน

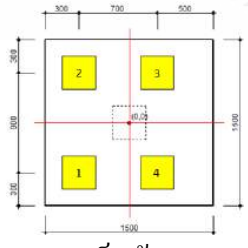
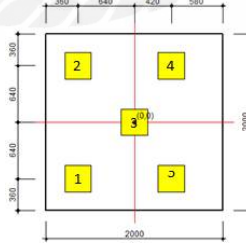
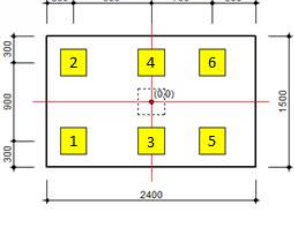
ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่ลงเสาเข็ม สำหรับความหนาฐานราก 0.90 ม.แบบจุครองรับแบบจุดหมุน(Hinge) ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 45.8 ตัน และ ต้นเชื้องศูนย์รับแรงเท่ากับ 24.9 และต้นที่ไม่เชื้องศูนย์รับแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 19.4 ตัน ส่วนแบบจุครองรับแบบสปริง STAAD.Pro K₁₀เสาเข็มยาว 10 ม. ต้นกลางรับแรงเท่ากับ 40 ตัน และ ต้นเชื้องศูนย์รับแรงเท่ากับ 28.1 ตัน และ

ดันทันที่ไม่เยื้องศูนย์รับแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 21.9 ตัน ส่วนแบบ STAAD.Pro K₂₀ เสาเข็มยาว 20 ม. ดันกลางรับแรงเท่ากับ 37.3 ตัน และ ดันโดยรอบรับแรงเท่ากับ 29.6 ตันเท่ากันทุกดัน และ และดันที่ไม่เยื้องศูนย์รับแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 23 ตัน

ตารางที่ 4.3 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละโปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบเยื้องศูนย์

ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบเยื้องศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มตัน (T)				 เสา 5 เข็มตัน (T)					 เสา 6 เข็มตัน (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMS.Execl	21.4	21.4	38.6	38.6	24.2	24.2	30.8	35.3	35.3	26.1	26.1	30.3	30.3	33.6	33.6
2.DRMK	19.8	19.8	35.7	35.7	23.6	23.6	30	34.4	34.4	25.8	25.8	30	30	33.2	33.2
3.AFES 3.0	21.4	21.4	38.6	38.6	23.6	23.6	31	36	36	26.1	26.1	30.3	30.3	33.6	33.6
4.STAAD.Pro	21.4	21.4	38.6	38.6	4.1	4.1	129	6	6	10.4	10.4	66.2	66.2	13.4	13.4
5.STAAD.Pro K ₁₀	21.4	21.4	38.6	38.6	12.1	12.1	90.8	17.5	17.5	13.5	13.5	59.2	59.2	17.3	17.3
6.STAAD.Pro K ₂₀	21.4	21.4	38.6	38.6	15.5	15.5	74.0	22.5	22.5	15.6	15.6	54.2	54.2	20.1	20.1

ตารางที่ 4.4 สรุปการวิเคราะห์แรงแต่ละโปรแกรม ที่ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบเยื้องศูนย์

ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบเยื้องศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มตัน (T)				 เสา 5 เข็มตัน (T)					 เสา 6 เข็มตัน (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMS.Execl	21.4	21.4	38.6	38.6	24.2	24.2	30.8	35.3	35.3	26.1	26.1	30.3	30.3	33.6	33.6
2.DRMK	19.8	19.8	35.7	35.7	23.6	23.6	30	34.4	34.4	25.8	25.8	30	30	33.2	33.2
3.AFES 3.0	21.4	21.4	38.6	38.6	23.6	23.6	31	36	36	26.1	26.1	30.3	30.3	33.6	33.6
4.STAAD.Pro	21.4	21.4	38.6	38.6	18.6	18.6	58.6	27	27	19.4	19.4	45.8	45.8	24.9	24.9
5.STAAD.Pro K ₁₀	21.4	21.4	38.6	38.6	21.3	21.3	45.5	31.0	31.0	21.9	21.9	40.0	40.0	28.1	28.1
6.STAAD.Pro K ₂₀	21.4	21.4	38.6	38.6	22.2	22.2	40.8	32.6	32.6	23.0	23.0	37.3	37.3	29.6	29.6

4.3 การเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มตามแผนการทดลองต่าง ๆ

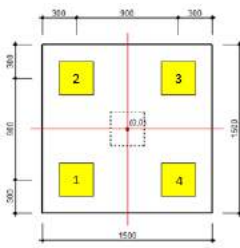
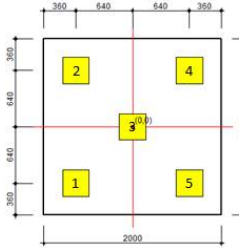
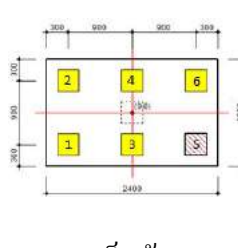
ผลจากการวิจัยตามแผนการทดลองด้วยโปรแกรมต่าง ๆ นั้น พบว่า โปรแกรม PDMS.Excel DRMK และ AFES 3.0 ทั้ง 3 โปรแกรมนี้ มีค่าตรงและใกล้เคียงกันมาก นั้น แสดงได้ว่า PDMS.Excel คำนวณค่าถูกต้องเชื่อถือได้เมื่อเปรียบกันหลายกรณี บนพื้นฐานการคำนวณวิเคราะห์แบบฐานรากแข็งเกร็ง (Rigid Foundation) ทั้ง 3 โปรแกรม เมื่อนำหนักลงฐานราก เสาเข็มจะรับแรงเท่าๆกันทุกต้น เท่ากับ น้ำหนักลงฐานรากด้วยจำนวนเสาเข็ม

ส่วนโปรแกรม STAAD.Pro นั้น ใช้การวิเคราะห์แบบ Strut-Tie Model เสมือน 3D Truss ระยะความสูงเสมือนความหนาของฐานราก โดยมีการให้เสาเข็มเป็นจุดรองรับแบบจุดหมุน (Hinge) หรือ จุดรองรับแบบเสาเข็มสปริงที่เสาเข็มยาวต่างกัน ซึ่งคาดว่าน่าจะมีค่าแรงปฏิกิริยาที่ต่างกันบ้างในแต่ละโปรแกรมที่ทดลอง ผลปรากฏว่ามีค่าทั้งเหมือน และแตกต่าง เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกรณีต่าง ๆ ตามแผนการทดลอง ดังตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8

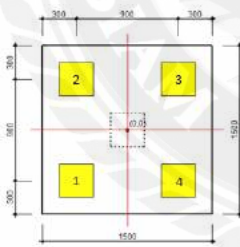
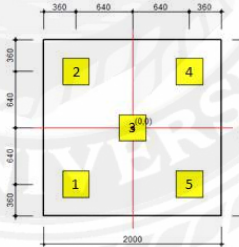
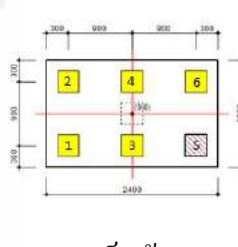
สำหรับฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น ไม่ว่าความหนาฐานรำน้อยหรือมาก ฐานรากจะแข็งเกร็งหรือยืดหยุ่น ที่ใช้ Strut-Tie Model ระยะความสูงของ 3DTruss ไม่ว่าจุดรองรับแบบจุดหมุน หรือ จุดรองรับแบบเสาเข็มสปริงทั้งเสาเข็มยาวสั้นต่างกัน จะมีแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มเท่ากันทุกต้นสำหรับตรงศูนย์ ส่วนเยื้องศูนย์ ค่าไม่เท่ากันแต่ก็เหมือนกันทุกรูปแบบการทดลอง

สำหรับกรณีเสาเข็ม 5 และ 6 ต้น พบว่าโปรแกรม PDMS.Excel DRMK และ AFES 3.0 ทั้ง 3 โปรแกรม จะค่ามีร้อยละความแตกต่างเมื่อเทียบค่าจากโปรแกรม PDMS.Excel เป็นค่าฐาน พบว่าค่าเท่ากันหรือใกล้เคียง 100% ทั้งตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ รวมถึงความหนาของฐานราก ซึ่งทั้ง 3 โปรแกรมใช้ทฤษฎีแบบฐานรากแข็งเกร็งมิได้คำนึงถึง เมื่อเปรียบเทียบกันกับ ค่าที่ได้จากโปรแกรม STAAD.Pro แบบเสาเข็มตรงศูนย์ พบว่า ร้อยละของความแตกต่างสำหรับต้นกลางหรือต้นที่ใกล้จุดศูนย์กลางฐานราก (Centroid) เสาเข็มจะมีค่าแรงปฏิกิริยามากกว่า ต้นที่ตำแหน่งเดียวกันของค่าที่ได้จาก PDMS.Excel สำหรับฐานรากที่ความหนา 0.30 ม. สำหรับเสาเข็ม 5 ต้น ค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มต้นกลาง สูงถึง 445% ในขณะที่ความหนาฐานรากหนา 0.90 ม. ค่าแรงในเสาเข็มสูงเป็น 208% เมื่อเทียบกับค่าฐาน เมื่อพิจารณาถึงฐานรากแบบสปริงที่ความหนาฐานราก 0.90 ม. ซึ่งเป็นความหนาที่ใกล้เคียงกันหน้างานจริง แบบเสาเข็มตรงศูนย์ พบว่าค่าแรงในเสาเข็มตรงกลางลดลง 159% สำหรับเมื่อกำหนดให้เสาเข็มยาว 10 ม. และ ลดลงเหลือ 140%

ตารางที่ 4.5 ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบตรงศูนย์

ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบตรงศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มคั่น (T)				 เสา 5 เข็มคั่น (T)					 เสา 6 เข็มคั่น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMs.Execl	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.DRMK	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3.AFES 3.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.STAAD.Pro	100	100	100	100	14	14	445	14	14	32	32	235	235	32	32
5.STAAD.Pro K ₁₀	100	100	100	100	44	44	325	44	44	43	43	213	213	43	43
6.STAAD.Pro K ₂₀	100	100	100	100	58	58	268	58	58	52	52	197	197	52	52

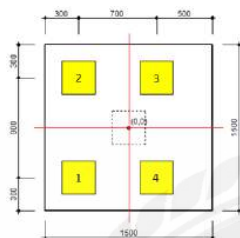
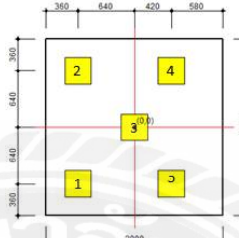
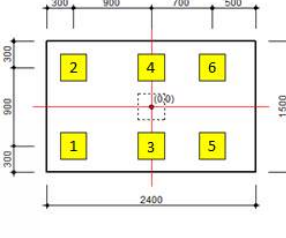
ตารางที่ 4.6 ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบตรงศูนย์

ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบตรงศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มคั่น (T)				 เสา 5 เข็มคั่น (T)					 เสา 6 เข็มคั่น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMS.Execl	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.DRMK	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3.AFES 3.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.STAAD.Pro	100	100	100	100	73	73	208	73	73	68	68	166	166	68	68
5.STAAD.Pro K ₁₀	100	100	100	100	85	85	159	85	85	79	79	142	142	79	79
6.STAAD.Pro K ₂₀	100	100	100	100	90	90	140	90	90	85	85	131	131	85	85

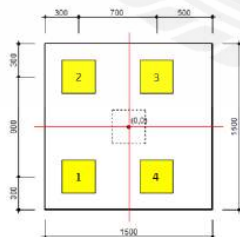
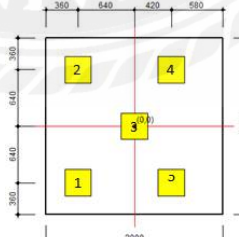
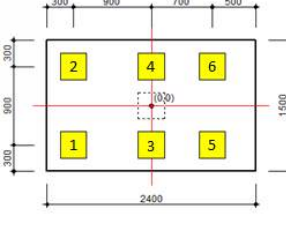
ฐานรากที่เสาเข็ม 6 คั่น ทั้งตรงศูนย์และเอียงศูนย์ พบว่า มีพฤติกรรมลักษณะไปทางทิศทางที่คล้ายคลึงของเสาเข็มเอียงศูนย์ และ ตรงนี้อาจกล่าวได้ว่า ฐานรากแข็งแรงแรงนอกจากจะ

ขึ้นอยู่กับความหนาของฐานราก และ ยังขึ้นอยู่กับความเป็นสปริงของเสาเข็ม ซึ่งมีความซับซ้อนทั้งของตัวแปรต่างๆ ของดิน ของชั้นดิน ตลอดจนเวลา รวมถึงการถ่ายแรงเสาสู่เสาเข็มแต่ละต้นด้วย

ตารางที่ 4.7 ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบเอียงศูนย์

ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.30 ม. แบบเอียงศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มต้น (T)				 เสา 5 เข็มต้น (T)					 เสา 6 เข็มต้น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMS.Execl	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.DRMK	93	93	93	93	98	98	97	98	98	99	99	99	99	99	99
3.AFES 3.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.STAAD.Pro	100	100	100	100	17	17	419	17	17	40	40	219	219	40	40
5.STAAD.Pro K ₁₀	100	100	100	100	50	50	295	50	50	52	52	195	195	52	52
6.STAAD.Pro K ₂₀	100	100	100	100	64	64	240	64	64	60	60	179	179	60	60

ตารางที่ 4.8 ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบเอียงศูนย์

ค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ ฐานรากหนา 0.90 ม. แบบเอียงศูนย์															
โปรแกรม	 เสา 4 เข็มต้น (T)				 เสา 5 เข็มต้น (T)					 เสา 6 เข็มต้น (T)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PDMS.Execl	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.DRMK	93	93	93	93	98	98	97	98	98	99	99	99	99	99	99
3.AFES 3.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.STAAD.Pro	100	100	100	100	79	79	189	75	75	74	74	151	151	74	74
5.STAAD.Pro K ₁₀	100	100	100	100	88	88	148	88	88	84	84	132	132	84	84
6.STAAD.Pro K ₂₀	100	100	100	100	92	92	133	92	92	88	88	123	123	88	88

บรรณานุกรม

เฉลิมเกียรติ วงศ์นิขทวิ. (2559). การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นที่มีผลจากปัญหา

เสาเข็มเอียงศูนย์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 33.

พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกุล. (2558). คู่มือวิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

มงคล จิรวัชรเดช. (ม.ป.ป.). โปรแกรม *DRMK*. เข้าถึงได้จาก

https://www.tumcivil.com/DRMK/RC_WSD/PileCap/aboutPileCap.pdf

มงคล จิรวัชรเดช. (ม.ป.ป.). *CE Homework*. เข้าถึงได้จาก

http://eng.sut.ac.th/ce/CE_homework/T06%20Footing%20New.pdf

สนิท พิพิธสมบัติ. (2552). วิศวกรรมฐานราก.มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ (พิมพ์ครั้งที่ 3).

เชียงใหม่: กรองช่างพริ้นติ้ง.

อมร พิมานมาศ. (2557). การคำนวณแก้ไขฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์. เข้าถึงได้จาก

www.coe.or.th/e_engineers/km/fd2/CH01.pdf

อมร พิมานมาศ. (2557). การออกแบบแท่นหัวเข็มด้วยวิธี *strut and tie model*. เข้าถึงได้จาก

<http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH4.pdf>

อมร พิมานมาศ, ปรีดา ไชยมหาวัน ภาณุวัฒน์ จ้อยกัตต์. (2557). คานบนฐานรากยึดหย่อน. เข้าถึงได้จาก

<http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH5.pdf>

Bentley Systems. *STAAD. Pro*. (n.d.). Retrieve from [https://www.bentley.com/en/products/product-](https://www.bentley.com/en/products/product-line/structural-analysis-software/staadpro)

[line/structural-analysis-software/staadpro](https://www.bentley.com/en/products/product-line/structural-analysis-software/staadpro)

Civil & Architecture Team. (2006). *AFES 3.0[Automated Foundation Engineering System] One-*

Stop Solution for Foundation Design Jbchoe@gsconst.co.kr 2006.11.02.

Chay Sangsawai. (n.d.). *Sewaged foundation analysis*. Retrieve from [https://www.facebook.](https://www.facebook.com/chay.sangsawai.16)

[com/chay.sangsawai.16](https://www.facebook.com/chay.sangsawai.16)

HanGil IT Co.,LTD. (n.d.). *Strut and Tie model Pro. AStrutTie3D Pilecap*. Retrieve from [https://](https://www.youtube.com/watch?v=lxjkZmqMsj)

www.youtube.com/watch?v=lxjkZmqMsj

ประวัติส่วนตัวหัวหน้าโครงการวิจัย



ชื่อ-สกุล

ผศ.ดร. เนลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี

โทรศัพท์มือถือ: 086-3841567

E-mail: Pommy90@hotmail.com

วันเดือนปีเกิด

6 กุมภาพันธ์ 2513

วุฒิการศึกษา

-วศ.บ.(วิศวกรรมโยธา) เกียรตินิยมอันดับสอง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2534

-Master of Construction Management, Faculty of Built Environment, The University of New South Wales, Australia, 1998

-ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ มหาวิทยาลัยสยาม 2550

ประสบการณ์และผลงานวิชาการ

กรรมการบริหารหลักสูตร หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาการจัดการ

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสยาม

วิศวกรโยธา ออกแบบและก่อสร้างอาคาร มากกว่า 25 ปี

สามัญวิศวกรโยธา สภาวิศวกร (สย.8303)

ภาคีวิศวกรสิ่งแวดล้อม สภาวิศวกร (ภส.838)

อดีต อนุกรรมการวิศวกรอาวุโส วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ

สมาชิก Asian Productivity Organization (APO Alumni)

บทความวิชาการและบทความวิจัยจำนวนมากกว่า 70 บทความ

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

กรรมการหลักสูตร หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาการจัดการ

มหาวิทยาลัยสยาม

ประวัติส่วนตัวผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล

นายสมศักดิ์ ชินวิกัย

โทรศัพท์มือถือ: 081-3182446

E-mail: Chinvikkai@hotmail.com

วันเดือนปีเกิด

25 มกราคม 2503

วุฒิการศึกษา

-วศ.บ.(วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2525

-ป.บัณฑิต (วิศวกรรมเทคนิคธรณี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2543

ประสบการณ์และผลงานวิชาการ

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสยาม

วิศวกรโยธา ออกแบบและก่อสร้างอาคาร มากกว่า 30 ปี

สามัญวิศวกรโยธา สภาวิศวกร (สย.5648)

สมาชิกสมาคม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

สมาชิกสภาวิศวกรแห่งประเทศไทย

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยสยาม