การหาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มเยื้องศูนย์ด้วย PileDiv.MS.Excel เปรียบเทียบกับโปรแกรมต่าง ๆ

Determination of Reaction on Deviated Piles by Comparing PileDiv.MS.Excel with Others Programs

เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี[1] สมศักดิ์ ชินวิกกัย[2] ธนวัต วชิรลีลากุล[3] และ ภาณุพงศ์ ป่าไม้ทอง[4]

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม[1, 2, 3, 4]

35 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160[1, 2, 3, 4]

E-mail: chalermkiat.won@siam.edu[1]

บทคัดย่อ

การตอกเสาเข็มหรือเจาะเสาเข็มมักจะมีปัญหาการเยื้องศูนย์ วิศวกรหรือผู้ก่อสร้างจำเป็นต้องคำนวณวิเคราะห์แรงในเสาเข็มแต่ละต้นเพื่อทบทวนการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพจริง ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์หาแรงในเสาเข็มแต่ละต้นที่มีแรงภายนอกทั้งแรงในแนวดิ่ง โดยใช้ระเบียบวิธีการคำนวณตามสมมุติฐานแบบฐานรากแข็งเกร็งและยืดหยุ่น โดยใช้โปรแกรม PileDiv MS. Excel ที่ใช้สมมุติฐานแบบฐานรากแข็งเกร็ง ซึ่งสามารถหาแรงในเสาเข็มแต่ละต้นได้ โดยมีการดำเนินการตามแผนการทดลองเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมอื่น ๆ พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม PileDiv MS. Excel เปรียบเทียบกับโปรแกรม DRMK, AFES 3.0 มีค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันในทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรม STAAD.Pro ที่ใช้สมมุติฐานฐานรากยืดหยุ่นแบบ Strut-Tie Model และเสาเข็มแบบสปริง(K_{pile}) พบว่าค่าแรงของเสาเข็มจาก PileDiv MS. Excel แตกต่างกันกับ STAAD.Pro ซึ่งมีแรงถ่ายสู่เสาเข็มที่อยู่ในช่วงกลางฐานมาก และกระจายแรงสู่เสาเข็มต้นอื่น ๆ มากขึ้น เมื่อเสาเข็มเป็นแบบสปริงลู่เข้าคล้ายฐานรากแข็งเกร็ง

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 article is intended to offer guidance to determine each pile force within the external vertical force by using theoretical calculations based on the flexibility and rigidity principles. In addition, PileDiv. MS. Excel application has been developed by using rigid foundation assumption to determine the reaction of piles that had to compare with others as experiment plan. It was found that the 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 (K_{pile}) 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.

1. บทนำ

เสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะเกิดการเยื้องศูนย์จากตำแหน่งเดิมเป็นปัญหาที่หน้างานก่อสร้างพบกันเป็นประจำ เนื่องด้วยธรรมชาติของหน้างานก่อสร้างที่มีความคลาดเคลื่อนในการทำงานค่อนข้างมากอาจต้องมีการปรับปรุงฐานราก เช่น การขยายฐานราก เพิ่มเหล็กเสริมฐานรากอันมีผลเนื่องจากการเยื้องศูนย์ของเสาเข็ม[2] อย่างไรตามทางทีมผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม MS. Excel สำหรับการวิเคราะห์การรับน้ำหนักเสาเข็มแต่ละต้นเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในคำตอบและเปรียบเทียบโปรแกรมอื่น ๆ ที่ใช้ระเบียบวิธีการคำนวณแบบสมมุติฐานฐานรากแข็งเกร็งและฐานรากยืดหยุ่น กับโปรแกรมในตลาด และโปรแกรมทาง Finite Element Method ที่เป็นฟรีโปรแกรมหรือรุ่นทดลองใช้ บทความนี้มีวัตถุประสงค์นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มจากโปรแกรมตารางคำนวณ ชื่อ PileDiv. MS. Excel และ เปรียบเทียบผลที่ได้โปรแกรมอื่น ๆ ดังต่อไปนี้ DRMK, AFES 3.0 และ STAAD.Pro ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้มีผู้ใช้กันอย่างแพร่หลาย

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 การวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในเสาเข็มโดยใช้สมมุติฐานแข็งเกร็ง

การวิเคราะห์แรงในเสาเข็มโดยใช้สมมุติฐานแข็งเกร็ง มีการตั้งสมมติฐาน ประกอบการวิเคราะห์ [3,5,6]

- ฐานรากที่ใช้เป็นฐานรากที่แข็งเกร็ง
- เสาเข็มที่ใช้เสมือนเป็นจุดยึดหมุน(Hinge Support) พิจารณาเฉพาะแรงในแนวดิ่ง ไม่มีการถ่ายโมเมนต์จากฐานรากลงสู่เสาเข็ม
- เสาเข็มมีสภาพการรับน้ำหนักแบบยืดหยุ่น

ดังนั้นหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มจะอยู่ในระนาบเดียวกัน

การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มสามารถหาโดยสมการ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ แรงในแนวแกนและโมเมนต์ 2 ทิศทาง ทั้งแกน x และ y ดังรูปที่ 1 สมการที่ใช้หาแรงปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ คือ

$$R_i = \frac{P}{N} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y^2}$$

เมื่อ P = แรงแนวดิ่งที่กระทำต่อฐานราก, ตัน

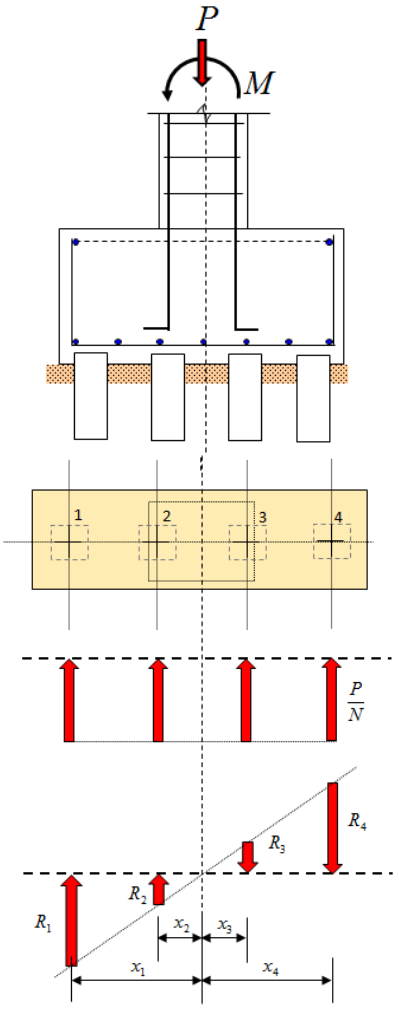
N = จำนวนเสาเข็ม, ต้น

M = โมเมนต์ที่กระทำต่อฐานราก, ตัน.ม.

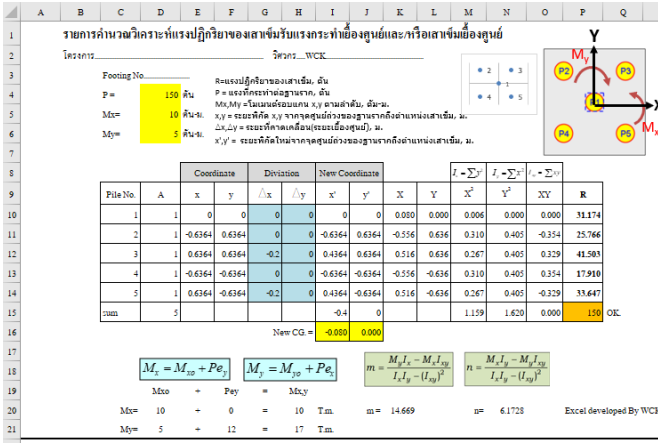
R_i = แรงปฏิกิริยาที่เสาเข็มต้นที่ i, ตัน

x_i , y_i = ระยะจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มไปยังเข็มต้นที่ i ในแนวแกน x และ y ม.

รูปที่ 2 แสดงหน้าต่างโปรแกรม PileDiv. MS. Excel เพื่อวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น โดยโปรแกรมนี้พัฒนาโดยกลุ่มผู้วิจัย ที่ต้องการให้โปรแกรมสามารถใส่ตำแหน่งเสาเข็มโดยง่ายไม่จำกัดรูปแบบ และยังสามารถใส่จำนวนต้นของเสาเข็มมากกว่าที่กำหนดให้ในโปรแกรมอื่น ๆ และยังสามารถใส่โมเมนต์ที่ลงฐานรากได้ทั้งแกน x และแกน y ซึ่งทำงานง่ายขึ้นสำหรับงานที่จะต้องคำนวณซ้ำ ๆ ตามปัญหาการเยื้องศูนย์ โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ให้ผู้เกี่ยวข้องตรวจสอบและอนุมัติในการดำเนินการต่อไป [2]



รูปที่ 1 แรงในเสาเข็มเมื่อรับแรงในแนวดิ่งและโมเมนต์[2,6]



รูปที่ 2 หน้าต่างโปรแกรม PileDiv. MS. Excel สำหรับการวิเคราะห์หาแรงในเสาเข็มแต่ละต้น (ดัดแปลงจาก[1,2])

2.2 การวิเคราะห์แรงกระทำในเสาเข็มโดยใช้สมมุติฐานความยืดหยุ่น

ในส่วนนี้การวิเคราะห์แรงโดยใช้สมมุติฐานฐานรากยืดหยุ่น มีหัวข้อดังต่อไปนี้ [6,7,8]

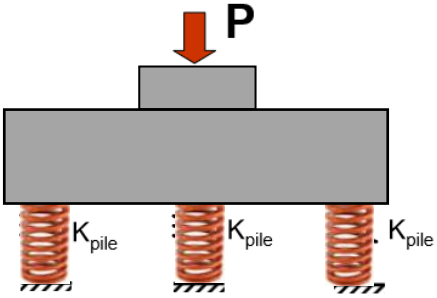
- การวิเคราะห์แรงแบบคานฐานรากยืดหยุ่น
- การวิเคราะห์แรงแบบเสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง
- การวิเคราะห์แรงแบบ Strut-Tie Model (STM.)

2.2.1 การวิเคราะห์แรงแบบคานฐานรากยืดหยุ่น

คานฐานรากยืดหยุ่น ตามทฤษฎีของ Winkler Model ดินใต้ฐานรากจะถูกสมมุติให้มีพฤติกรรมเป็นสปริงโดยค่าความยืดหยุ่นของสปริงสามารถคำนวณได้จาก สัมประสิทธิ์ต้านทางแรงกดของชั้นดิน [8] (Modulus of subgrade reaction , k_s)ซึ่งไม่ขอกล่าวรายละเอียดในที่นี้

2.2.2 การวิเคราะห์แรงแบบเสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง

เสาเข็มจะถูกสมมุติให้มีพฤติกรรมเป็นสปริง การคำนวณค่าสปริงของเสาเข็มสามารถทำได้ หลายวิธี เช่น จากข้อมูลกราฟ Pile Load Test หรือ สูตรที่แนะนำ K_{pile}= 2AE/L เมื่อ A,E และ L คือ พื้นที่,โมดูลัส และความยาวของเสาเข็ม ดังตัวอย่างด้านล่าง [7,8]

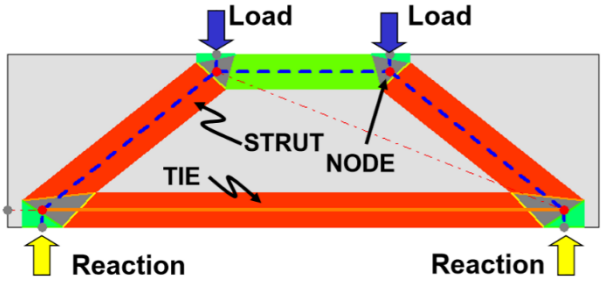


รูปที่ 3 ฐานรากที่สมมติให้เสาเข็มมีพฤติกรรมแบบสปริง (ดัดแปลงจาก[8])

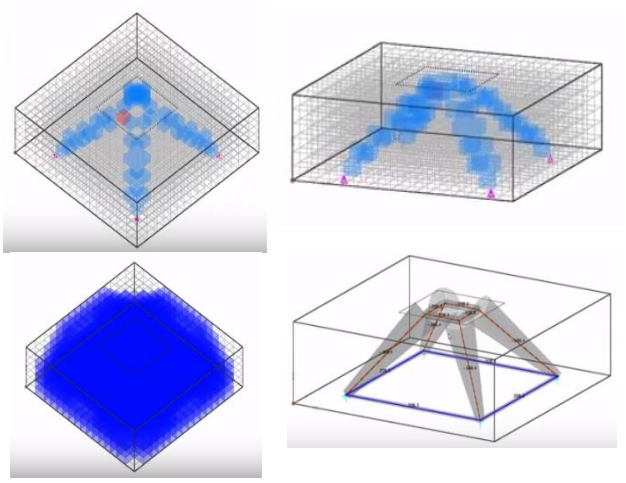
2.2.3 การวิเคราะห์แรงแบบ Strut-Tie Model (STM.)

ฐานรากที่มีพฤติกรรมการถ่ายแรงแบบ คานลึก (Deep beam) จำลองการรับแรงแบบ Truss Analogy Model ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม และ นำแบบจำลองของโครงสร้างฐานรากสู่การคำนวณโปรแกรม Finite Element แบบ -3D. [7] STM ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 4 คือ

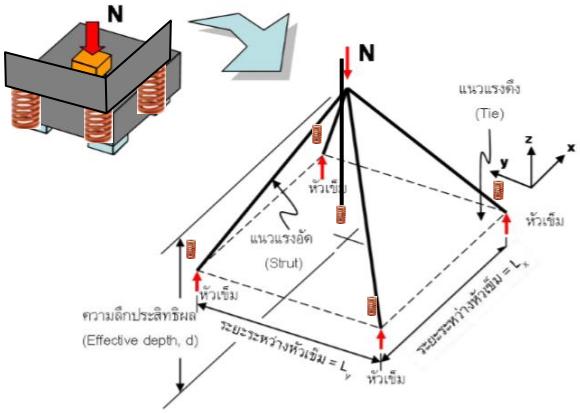
- STRUT= แนวรับแรงอัด (คอนกรีต)
- TIE= แรงดึง (เหล็กเสริม)
- NODE= จุดต่อ (คอนกรีต)



รูปที่ 4 องค์ประกอบของ Strut-Tie Model (STM.)[7]



รูปที่ 5 การจำลองแรงกระทำที่ฐานรากลงสู่เสาเข็มแบบ Strut-Tie Model (STM.)[12]



รูปที่ 6 การจำลองภาพฐานรากแบบ Strut-Tie Model (STM.) (ดัดแปลงจาก[7])

รูปที่ 5 เป็นการจำลองการถ่ายแรงจากเสาลงสู่เสาเข็มแบบ 3D ทำให้เห็นภาพจำลองแบบ Strut-Tie Model (STM.) ได้ชัดเจน เบื้องต้นจะให้เสาเข็มเป็น Hinge โดยความสูงของ Truss นี้ จะเสมือนฐานรากแข็งเกร็งเมื่อความสูงของ 3D Truss (ฐานราก)สูงขึ้นตรงกันข้ามฐานรากจะยืดหยุ่นมากเมื่อ Truss (ฐานราก)มีความสูงน้อยลง

พิจารณากรณี ฐานรากเข็ม 5 ต้น เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ กำหนดให้แรงกระจายลงเข็มอย่าง

สม่ำเสมอ (ฐานรากแข็งเกร็ง) แรงปฏิกิริยาที่เสาเข็มจะมีค่าเท่ากับ N/5 [7]

อย่างไรก็ตามการสมมติว่าแรงปฏิกิริยาแบบฐานรากแข็งเกร็งซึ่งสามารถหาค่าได้ง่ายกว่าทั้ง ๆ ที่ไม่ได้พิจารณาถึงความหนาของฐานรากในสมการเลย ในขณะวิธีฐานรากยืดหยุ่นที่มีการพิจารณาถึงความลึกของฐาน เสมือนระยะหัวเสาเข็มถึงยอด Truss (Strut-Tie Model) ซึ่งตรงนี้จะส่งผลถึงแรงปฏิกิริยาด้วย ดังตัวอย่างเช่น ความสูงของฐานถึงยอด Truss มีค่าน้อย แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มต้นกลางมีค่ามาก ในขณะที่ความสูงของฐานถึงยอด Truss มากขึ้น ค่าแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มจะลู่เข้าใกล้ค่าแรงแบบฐานรากแข็งเกร็ง

กรณีสมมติให้เสาเข็มใต้ฐานมีพฤติกรรมแบบสปริง ซึ่งสามารถหาค่าสปริงอย่างง่ายโดยให้ค่าคุณสมบัติหน้าตัดเสาเข็มและความยาวแทนค่าในสูตร K_{pile}= 2AE/L และนำค่าของสปริงไปใส่ในโปรแกรม Finite Element Method ซึ่งในบทความนี้ใช้ STAAD.Pro จากสูตรสามารถกล่าวได้ว่าความยาวเสาเข็มมีความผกผันกับค่าสปริงของเสาเข็ม K_{pile} โดยเสาเข็มยาวจะให้ค่า K_{pile} น้อยกว่าเสาเข็มสั้น

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิเคราะห์แรงกระทำในเสาเข็มในกรณีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ใช้วิธีการคำนวณจากสมมุติฐานฐานรากแข็งเกร็ง(Rigid Foundation) และ สมมุติฐานฐานรากยืดหยุ่น(Flexible or Non Rigid Foundation) สำหรับแผนการทดลองนี้ใช้ฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น 5 ต้น และ 6 ต้น ขนาดหน้าตัดเสาเข็มเท่ากับ []0.30x0.30xความยาว เมตร รับน้ำหนักปลอดภัยที่ 30 ตันต่อต้น เท่ากันหมดทุกต้นทุกฐาน โดยไม่คิดน้ำหนักฐานราก

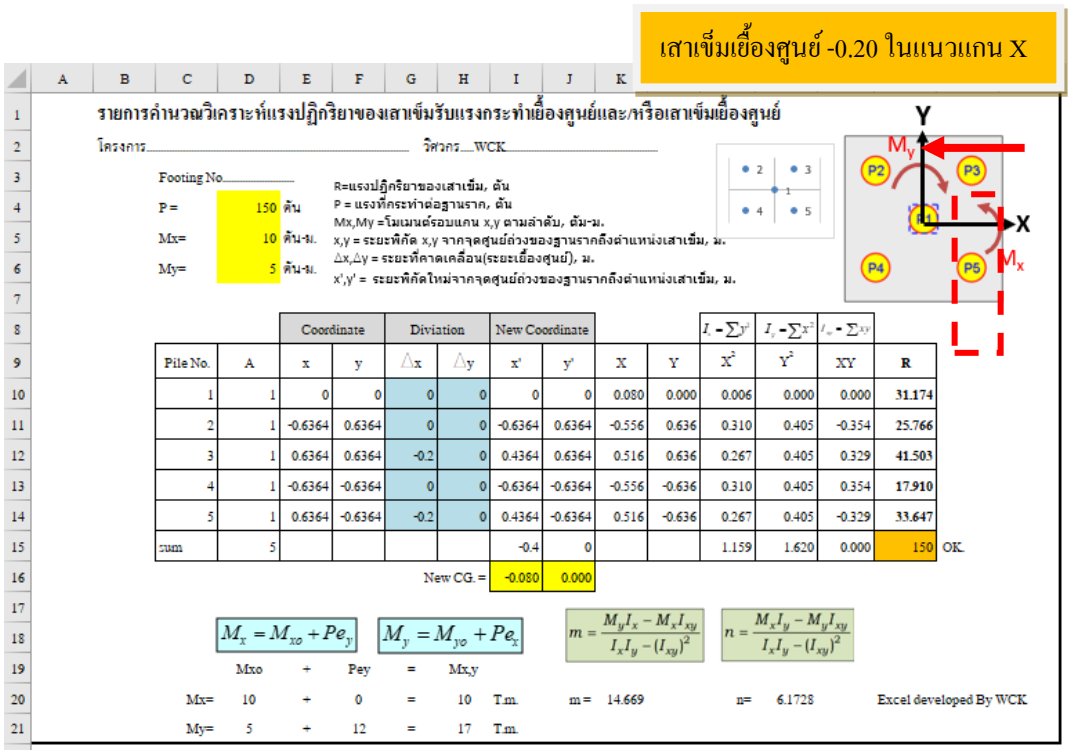
สำหรับฐานรากที่มีเสาเข็มตรงศูนย์ โปรแกรมที่ใช้สมมุติฐานฐานรากแข็งเกร็ง สูตรในการคำนวณไม่พิจารณาถึงความหนาของฐาน แต่โปรแกรมที่ใช้สมมุติฐานฐานรากยืดหยุ่น จะกำหนดความหนาฐานรากในการทดลองเท่ากับ 0.30 และ 0.90 เมตร โดยใช้วิธี Strut -Tie Method เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อฐานรากหนาไม่เท่ากัน และมีการสมมติให้เสาเข็มของฐานเป็นแบบจุดรองรับแบบ Hinge และ แบบสปริง K_{pile} ที่มีความยาวที่ 10 และ 20 เมตร

สำหรับการเยื้องศูนย์กำหนดให้เสาเข็มต้นด้านขวาเยื้องเข้ามาที่ศูนย์กลางฐานเท่ากับ -0.20 เมตร ดังรูปที่ 6 ทุกกรณีเหมือนกับเสาเข็มตรงศูนย์

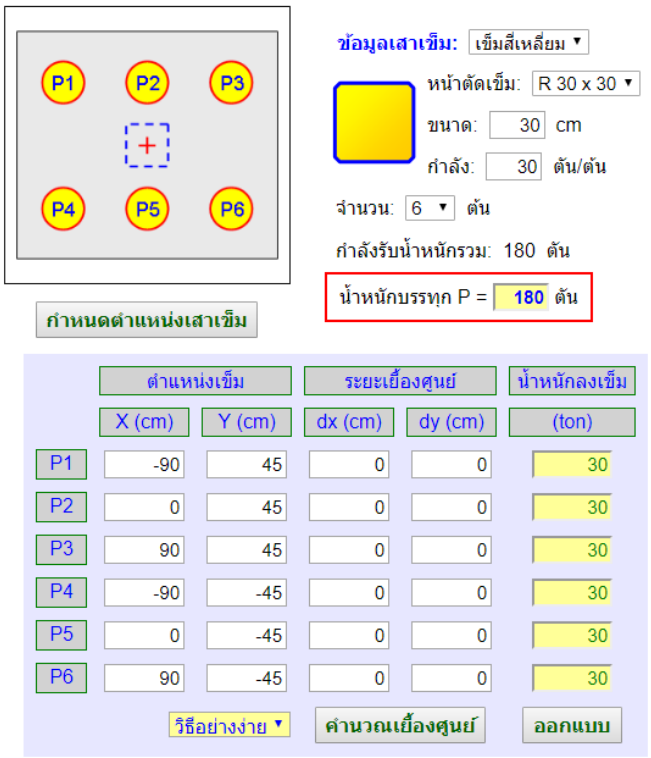
อย่างไรก็ตามบทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในฐานรากเฉพาะที่ความหนา 0.90 เมตร ตามแผนการทดลอง โดยใช้โปรแกรมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการทดลองโปรแกรมต่าง ๆ

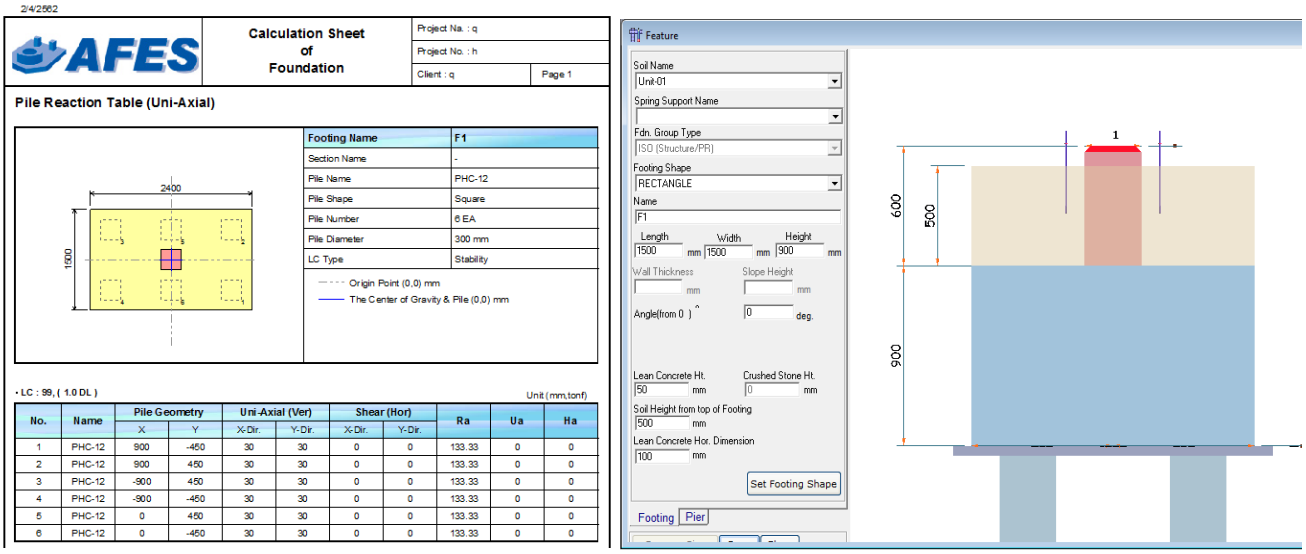
โปรแกรม	**ระเบียบวิธีการทดลอง**
สมมุติฐานแบบฐานรากแข็งเกร็ง	
PileDiv.MS.Excel	ตรงศูนย์และเยื้องศูนย์
DRMK	ตรงศูนย์และเยื้องศูนย์
AFES 3.0	ตรงศูนย์และเยื้องศูนย์
สมมุติฐานแบบฐานรากยืดหยุ่น	
STAAD.Pro	ตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ -ฐานรากทั่วไป Strut Tie Model -ฐานรากสปริง K_{10}(เสาเข็มยาว 10 ม.) -ฐานรากสปริง K_{20}(เสาเข็มยาว 20 ม.)



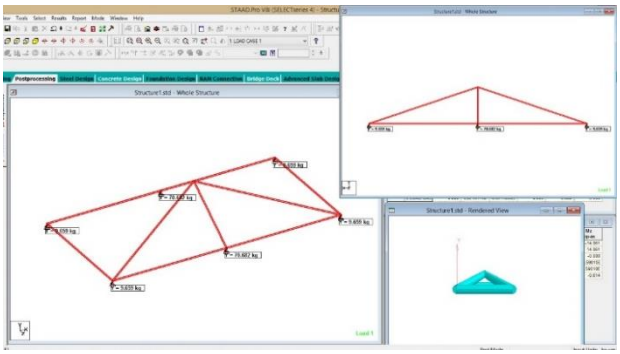
รูปที่ 6 หน้าต่างโปรแกรม PileDiv. MS. Excel สำหรับการวิเคราะห์หาแรงหรือน้ำหนักลงเสาเข็มที่เยื้องศูนย์ (ดัดแปลงจาก[1,2])



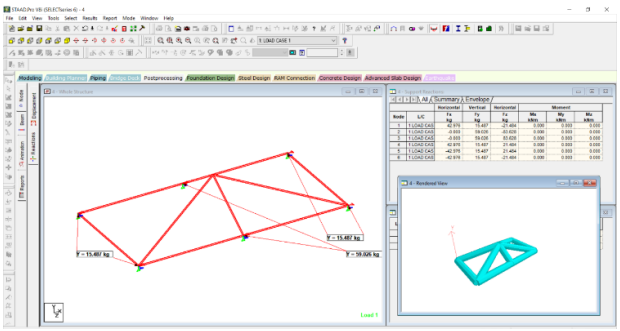
รูปที่ 7 ตัวอย่างการหาน้ำหนักลงเสาเข็มของโปรแกรม DRMK[4]



รูปที่ 8 ตัวอย่างการหาน้ำหนักลงเสาเข็มของโปรแกรม AFES 3.0[10]



รูปที่ 9 ตัวอย่างการหาน้ำหนักลงเสาเข็มของโปรแกรม STAAD.Pro แบบเสาเข็มจุดหมุน Hinge [9]



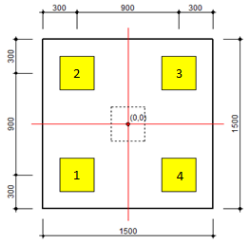
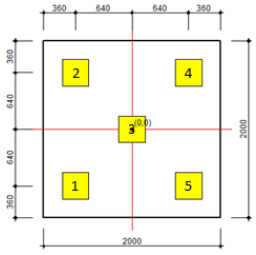
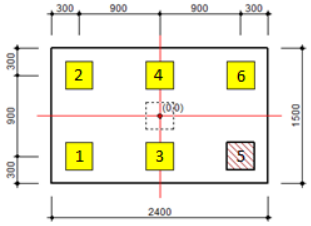
รูปที่ 10 ตัวอย่างการหาน้ำหนักลงเสาเข็มของโปรแกรม STAAD.Pro แบบเสาเข็มสปริง K_{pile} [9]

4. ผลการวิจัย

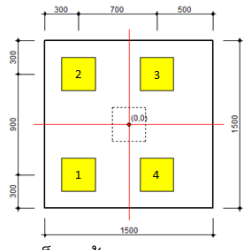
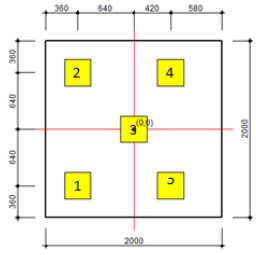
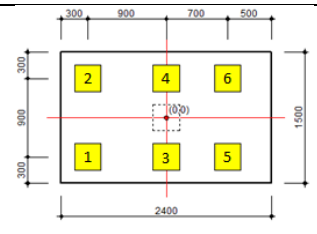
จากการวิเคราะห์หาแรงตามแผนการทดลองของฐานรากหนา 0.90 ม.ใกล้เคียงกับงานก่อสร้างทั่วไป จากโปรแกรมต่าง ๆ ดังรูปที่ 7-10 พบว่า

- สำหรับฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น ทุกโปรแกรมทุกเงื่อนไขให้ค่าแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มเท่ากันหรือใกล้เคียงกันทั้งแบบตรงศูนย์ และเยื้องศูนย์ ดังรูปที่ 11,12
- สำหรับฐานรากเสาเข็ม 5 ต้น PileDiv MS.Excel , DRMK, AFES 3.0 ได้ค่าแรงในเสาเข็มเท่ากันคือ น้ำหนักรวมที่กระทำต่อฐานรากหารด้วยจำนวนเสาเข็ม (P/n) ส่วน STAAD.Pro ได้ค่าแรงในเสาเข็มต้นกลางมากที่สุด กรณีปรับฐานรากให้เป็นรูปแบบสปริงที่แข็งกรณีใช้เสาเข็มยาว 10.00 ม. ค่าแรงเสาเข็มต้นกลางจะกระจายไปสู่เสาเข็มต้นที่อยู่โดยรอบ และยิ่งสปริงมีค่าอ่อนลงมากขึ้น ซึ่งในกรณีนี้คือ เสาเข็มยาว 20 ม. การกระจายแรงไป

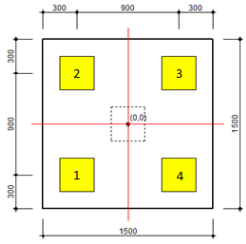
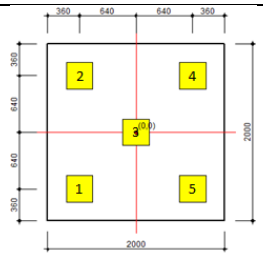
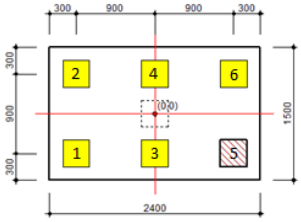
ยังต้นโดยรอบมากขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกัน
ทั้งตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ดังรูปที่ 11, 12

แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากหนา 0.90 ม. แบบตรงศูนย์															
โปรแกรม	 เสาเข็ม 4 ต้น นน.รวม 120T.				 เสาเข็ม 5 ต้น นน.รวม 150 T.					 เสาเข็ม 6 ต้น นน.รวม 180 T					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PileDiv MS.Excel	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

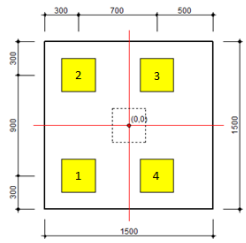
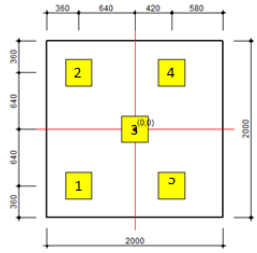
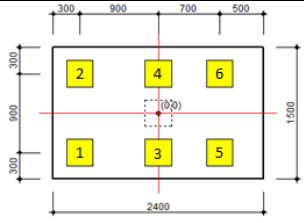
รูปที่ 11 สรุปแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแบบตรงศูนย์ ในแต่ละโปรแกรมที่ฐานรากหนา 0.90 ม.(หน่วย ตัน)

แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากหนา 0.90 ม. แบบเยื้องศูนย์															
โปรแกรม	 เสาเข็ม 4 ต้น นน.รวม 120T.				 เสาเข็ม 5 ต้น นน.รวม 150 T.					 เสาเข็ม 6 ต้น นน.รวม 180 T					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PileDiv MS.Excel	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

รูปที่ 12 สรุปแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแบบเยื้องศูนย์ ในแต่ละโปรแกรมที่ฐานรากหนา 0.90 ม. (หน่วย ตัน)

หาค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากหนา 0.90 ม. แบบตรงศูนย์															
โปรแกรม	 เสาเข็ม 4 ต้น นน.รวม 120T.				 เสาเข็ม 5 ต้น นน.รวม 150 T.					 เสาเข็ม 6 ต้น นน.รวม 180 T					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PileDiv MS.Excel	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2.DRMK	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3.AFES 3.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4.STAAD.Pro	100.0	100.0	100.0	100.0	73.0	73.0	208.0	73.0	73.0	68.0	68.0	165.7	165.7	68.0	68.0
5.STAAD.Pro K_{10}	100.0	100.0	100.0	100.0	85.3	85.3	159.0	85.3	85.3	79.0	79.0	141.7	141.7	79.0	79.0
6.STAAD.Pro K_{20}	100.0	100.0	100.0	100.0	90.0	90.0	140.3	90.0	90.0	84.7	84.7	130.7	130.7	84.7	84.7

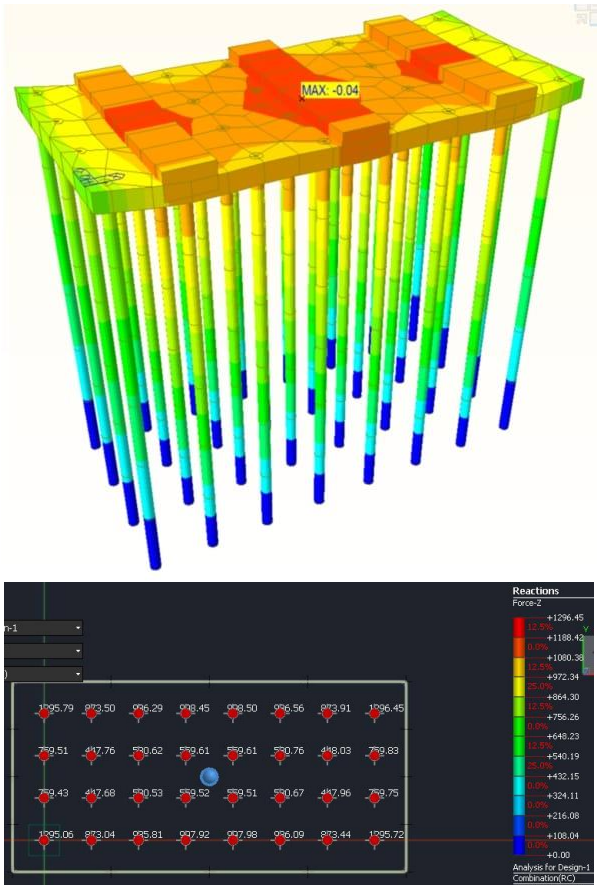
รูปที่ 13 สรุปแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแบบตรงศูนย์ ในแต่ละโปรแกรมที่ฐานรากหนา 0.90 ม. เปรียบเทียบเชิงร้อยละ

หาค่าเปรียบเทียบเชิงร้อยละ แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากหนา 0.90 ม. แบบเยื้องศูนย์															
โปรแกรม	 เสาเข็ม 4 ต้น นน.รวม 120T.				 เสาเข็ม 5 ต้น นน.รวม 150 T.					 เสาเข็ม 6 ต้น นน.รวม 180 T					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1.PileDiv MS.Excel	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2.DRMK	92.5	92.5	92.5	92.5	97.5	97.5	97.4	97.5	97.5	98.9	98.9	99.0	99.0	98.8	98.8
3.AFES 3.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.5	97.5	100.6	102.0	102.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4.STAAD.Pro	100.0	100.0	100.0	100.0	76.9	76.9	190.3	76.5	76.5	74.3	74.3	151.2	151.2	74.1	74.1
5.STAAD.Pro K_{10}	100.0	100.0	100.0	100.0	88.0	88.0	147.7	87.8	87.8	83.9	83.9	132.0	132.0	83.6	83.6
6.STAAD.Pro K_{20}	100.0	100.0	100.0	100.0	91.7	91.7	132.5	92.4	92.4	88.1	88.1	123.1	123.1	88.1	88.1

รูปที่ 14 สรุปแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแบบเยื้องศูนย์ ในแต่ละโปรแกรมที่ฐานรากหนา 0.90 ม. เปรียบเทียบเชิงร้อยละ

- สำหรับฐานรากเสาเข็ม 6 ต้น ผลที่ได้จาก PileDiv MS.Excel , DRMK, AFES 3.0 ให้ค่าแรงในเสาเข็มเท่ากันคือ น้ำหนักรวมที่กระทำต่อฐานรากหารด้วยจำนวนเสาเข็ม(P/n) ส่วน

STAAD.Pro ให้ค่าแรงในเสาเข็มต้นคู่กลางมากที่สุด และกรณีปรับเสาเข็มให้เป็นรูปแบบสปริงที่กรณีโดยกำหนดให้เสาเข็มยาว 10.00 ม. ค่าแรงเสาเข็มต้นคู่กลางจะกระจายไปสู่ต้นโดยรอบ และยิ่งสปริงมีค่าอ่อนลงในกรณีนี้คือใช้เสาเข็มยาว 20 ม. การกระจายแรงไปยังต้นโดยรอบมากขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกันทั้งตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ ดังรูปที่ 11, 12



รูปที่ 15 ตัวอย่างแสดงแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้นจากโปรแกรมระดับสูง[11]

จากผลทดลองของการวิเคราะห์หาแรงด้วยวิธี Strut-Tie Model ยังพบว่าแรงที่เสาเข็มที่เยื้องศูนย์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีฐานรากแข็งเกร็ง PileDiv MS.Excel , DRMK., AFES 3.0 ทั้ง 3 โปรแกรม เนื่องจากการวิเคราะห์การจะจายแรงในรูปแบบ 3D Truss ความสูงและระยะห่างจากจุด Centroid เสาเข็มแต่ละต้นนั้นคือมุมของแรงที่กระทำถ่ายลงสู่เสาเข็มเสมือนการแตกแรง ค่าความสูงและระยะห่างจะมีผลต่อแรงที่ถ่ายลงสู่เสาเข็ม แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี Strut-Tie Model ที่ใช้จุดรองรับแบบจุดหมุน (Hinge Support) ทำให้เสาเข็มต้นกลาง หรือต้นใกล้กึ่งกลางฐานรากจะมีแรงถ่ายลงสู่เสาเข็มมาก เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างสมจริงมากขึ้น ผู้วิจัยสมมติให้เสาเข็มเป็นจุดรองรับแบบสปริง ใน Strut-Tie Model โดยกำหนดความยาวของเสาแต่ละต้นไว้ที่ 10 และ 20 เมตร ซึ่งด้วยวิธีนี้ ทำให้ค่าแรงมีแนวโน้มใกล้เคียงกับแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงในเสาเข็มแบบฐานรากแข็งเกร็งมากขึ้น

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น สามารถคำนวณหาได้รวดเร็วและสามารถทำซ้ำ ๆ ได้ตามต้องการ ตารางคำนวณ PileDiv MS. Excel นอกจากใช้ง่ายและ สะดวกต่อดัดแปลง ผู้ใช้สามารถเพิ่มจำนวนเสาเข็มโดยทำการแทรกตารางและกรอกข้อมูลเพิ่มเติมได้ โดยจากการเปรียบเทียบกับโปรแกรมอื่น ๆ พบว่ามีค่าที่เชื่อถือได้ สามารถนำไปทดแทนโปรแกรมขนาดใหญ่และซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตามข้อสมมติฐานในการคำนวณวิเคราะห์กับความเป็นจริงอาจไม่เหมือนกัน ดังเช่นได้แสดงเมื่อใช้ Strut-Tie Model ก็สามารถทราบถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการคำนวณมีความสัมพันธ์กับความยาวเสาเข็มและคุณสมบัติดินโดยรอบที่เสาเข็มตอก แต่อย่างน้อยโปรแกรม PileDiv

MS. Excel เป็นข้อมูลที่ช่วยในการแก้ปัญหา และ เป็นตัวช่วยในการทำให้ทราบว่า ระยะเยื้องศูนย์มีผลกระทบต่อการรับน้ำหนักเสาเข็มในแต่ละต้น ที่ยอมรับได้ หรือ ต้องปรับแก้ฐานราก อย่างไรก็ตามบทความนี้ ยังมิได้มีการเปรียบเทียบกับโปรแกรมชั้นสูง ดังรูปที่ 15 ซึ่งก็ต้องการพารามิเตอร์ดินที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linier) อีกทั้งโปรแกรม PileDiv MS. Excel ยังไม่ได้ต่อยอดให้พิจารณาถึงการออกแบบฐานรากเพื่อหาเหล็กเสริม และมิติความกว้าง ความยาวและความลึกของฐานราก หรือ เทคนิคการปรับแก้หน้างานในกรณีต่าง ๆ สำหรับผู้สนใจสามารถติดต่อผู้เขียนได้

เอกสารอ้างอิง

[1] เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี. (2559). รายงานนำเสนอการวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มเยื้องศูนย์โครงการอาคารพักอาศัยรวม 7 ชั้น แห่งหนึ่ง (อ. ภายใน)

[2] เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี. (2559). การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นที่มีผลจากปัญหาเสาเข็มเยื้องศูนย์ วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. เล่มที่ 33 ปี 2559

[3] พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกุล. (2558). คู่มือวิศวกรรมฐานราก. พิมพ์ครั้งที่ 1. ซีเอ็ดยูเคชั่น.กรุงเทพ.

[4] มงคล จิรวัชรเดช. โปรแกรม DRMK. เข้าถึงจาก https://www.tumcivil.com/DRMK/RC_WSD/PileCap/aboutPileCap.pdf

[5] สนิท พิพิธสมบัติ. (2552). วิศวกรรมฐานราก. มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา. พิมพ์ครั้งที่ 3. ครองช่างพริ้นติ้ง. เชียงใหม่.

[6] อมร พิมานมาศ. การคำนวณแก้ไขฐานรากเสาเข็มเยื้องศูนย์. เข้าถึงจาก https://www.coe.or.th/e_ engineers/ km/fd2/CH01.pdf

[7] อมร พิมานมาศ. การออกแบบแท่นหัวเข็มด้วยวิธี strut and tie model. เข้าถึงจาก http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH4.pdf

[8] อมร พิมานมาศ, ปรีดา ไชยมหาวัน, ภาณุวัตน์ จ้อยกลัด. คานบนฐานรากยืดหยุ่น. เข้าถึงจาก http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Amorn/Foundation/CH5.pdf

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

[10] Civil & Architecture Team (2006). AFES 3.0[Automated Foundation Engineering System] One-Stop Solution for Foundation Design Jbchoe@gsconst.co.kr 2006.11.02

[11] Chay Sangsawai. Sewaged Foundation Analysis. Retrieve from https://www.facebook.com/chay.sangsawai.16

[12] HanGil IT Co.,LTD. Strut and Tie Model Pro. AStrutTie3D Pilecap. Retrieve from https://www.youtube.com/watch?v=lxjkZmqMsj