

การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มแต่ละต้นที่มีผลจากปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์

Determination of Load Distribution on Piles Caused by Pile Deviation

เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

E-mail: chalermkiat.won@siam.edu

บทคัดย่อ

การตอกเสาเข็มหรือการเจาะเสาเข็มมักจะมีปัญหาการเอียงศูนย์และความคาดเคลื่อนจากตำแหน่งเสาเข็มที่ต้องการเนื่องจากปัจจัยต่างๆของหน้างานก่อสร้าง โดยปกติจะมีค่าความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ซึ่งเป็นค่าในเชิงปฏิบัติ แต่อย่างไรกรณีมีค่าเกินข้อกำหนดหรือมีต้องการวิเคราะห์แรงในเสาเข็มให้แม่นยำขึ้น วิศวกรหรือผู้ก่อสร้างจำเป็นต้องคำนวณวิเคราะห์แรงในเสาเข็มแต่ละต้นเพื่อทบทวนการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพจริง ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์หาแรงในเสาเข็มแต่ละต้นที่มีแรงภายนอกทั้งแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ทั้งแกน x และ y โดยใช้ระเบียบวิธีการคำนวณตามทฤษฎีความยืดหยุ่นและแข็งเกร็ง อีกทั้งนำเสนอการประยุกต์โปรแกรม MS Excel ให้สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง สุดท้ายผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมได้นำมาตรวจสอบกับคำตอบของตัวอย่างคำนวณ

Abstract

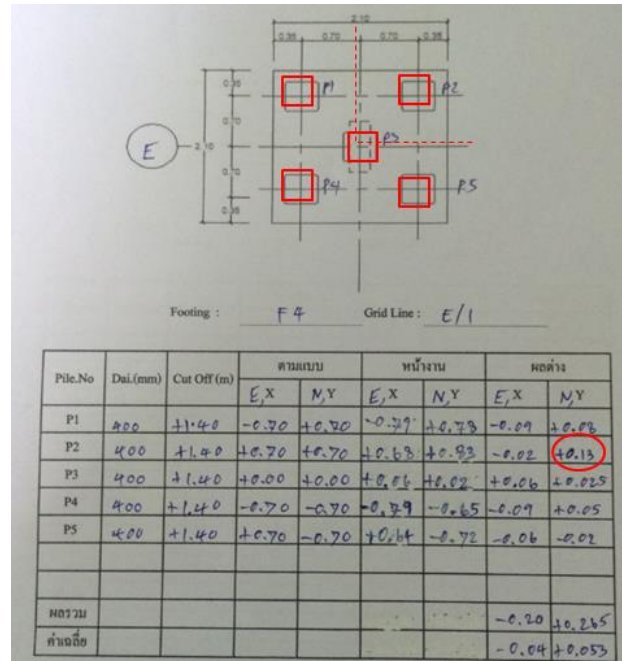
Pile driving or drilling rigs are often misaligned and expected moves from the required position due to various construction site

factors. In construction practice, allowable deviation of piles typically has an expected value as engineering requirements. However, if the value exceeds or is required to more accurately analyze in each pile. 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 the each pile force within the external vertical force and moment in both x and y axes by using theoretical calculations based on the flexibility and rigidity principles. In addition, MS Excel application has been created to determine quickly and accurately the results. Finally, the results from the program have been checked with answers by manual calculation.

1. บทนำ

เสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะเกิดการเอียงศูนย์จากตำแหน่งเดิมเป็นปัญหาที่คลาสสิกที่หน้างานก่อสร้างพบกันเป็นประจำจนกลายเป็นเรื่องปกติ เนื่องด้วยธรรมชาติของหน้างานก่อสร้างที่มีความ

คลาดเคลื่อนในการทำงานค่อนข้างมาก จากตัวอย่างการรายงานตำแหน่งเสาเข็มจากหน้างาน ดังรูปที่ 1 ค่าการเยื้องศูนย์ที่ยอมให้อาจยึดถือค่าการเยื้องศูนย์ที่ยอมให้เท่ากับ 0.075 ม. หรือ 0.10 ม. เป็นการให้ข้อมูลแบบกำปั้นทุบดิน (Rule of Thumb) หรืออาจจะมีการกำหนดให้ระยะเยื้องศูนย์ที่ยอมให้เท่ากับความกว้างเสาเข็มส่วนทก ($L/6$ หรือ $D/6$) ซึ่งเป็นระยะ Kern จริงๆ แล้วค่าดังกล่าวอาจจะได้รับการยอมรับหรือไม่เพียงพอต่อการขออนุมัติการดำเนินงานต่อในขั้นตอนนี้ต่อไป อีกกรณีที่พบบ่อยคือมีการชำรุดของเสาเข็มเสาเข็มหัก หรือไม่ได้คุณภาพตามกำหนด ทำให้ไม่สามารถตอกเสาเข็มในตำแหน่งเดิมๆ ได้ หรือ เสาตอม่อก็อาจมีความคลาดเคลื่อน หรืออาจมีแรงดัดจากโครงสร้างด้านบนเข้าสู่ตอม่อ เมื่อเกิดปัญหาเหล่านั้นขึ้น ทำให้ผู้เกี่ยวข้องต้องหาวิธีการแก้ปัญหาอัน ได้แก่ การพิจารณาว่าเสาเข็มที่มีอยู่สามารถรับน้ำหนักหรือแรงต่างๆ อย่างปลอดภัย โดยทั้งนี้ อาจต้องมีการปรับปรุงฐานราก เช่น การขยายฐานราก เพิ่มเหล็กเสริมฐานราก ดังนั้นข้อมูลที่ต้องการคือ ผลการวิเคราะห์การรับน้ำหนักเสาเข็มแต่ละต้นเป็นเท่าไร ซึ่งค่านี้นำไปสู่การตัดสินใจหรือออกแบบฐานรากต่อไป บทความนี้มีวัตถุประสงค์นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยา และ แนวทางการวิเคราะห์แรงในรูปแบบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น โดยใช้การประยุกต์ใช้ตารางคำนวณ MS Excel มาเป็นโปรแกรมช่วยให้ทำงานง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับงานที่จะต้องคำนวณซ้ำๆ ตามปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ประกอบกับต้องทำรายงานเกี่ยวกับปัญหาเรื่องการเยื้องศูนย์นี้โดยทำการวิเคราะห์ออกแบบให้ผู้เกี่ยวข้องตรวจสอบและอนุมัติในการดำเนินการต่อไป

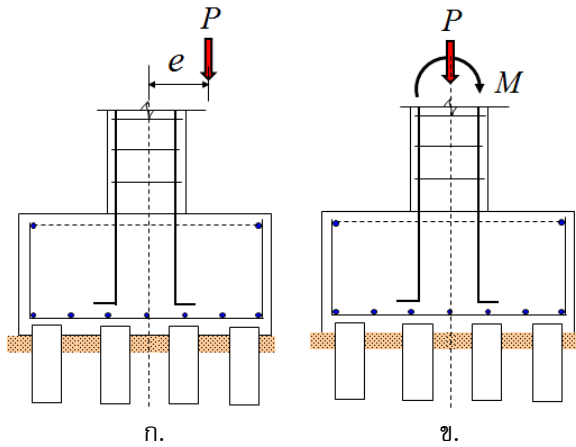


รูปที่ 1 ตย.รายงานตำแหน่งเสาเข็มจากหน้างานก่อสร้าง [1]

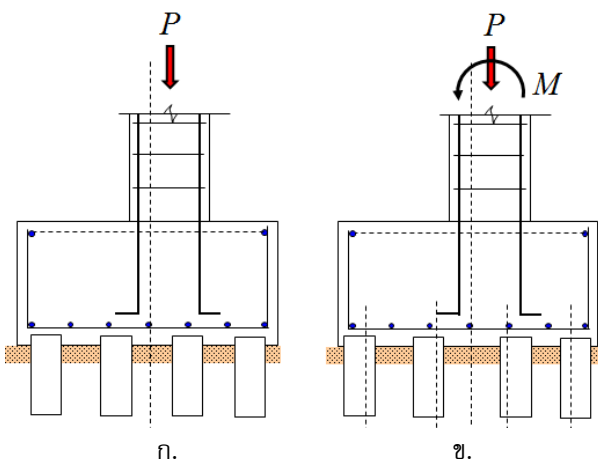
2. ปัญหารูปร่างเสาเข็มรับแรงกระทำเยื้องศูนย์และ/หรือเสาเข็มเยื้องศูนย์

ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในงานสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

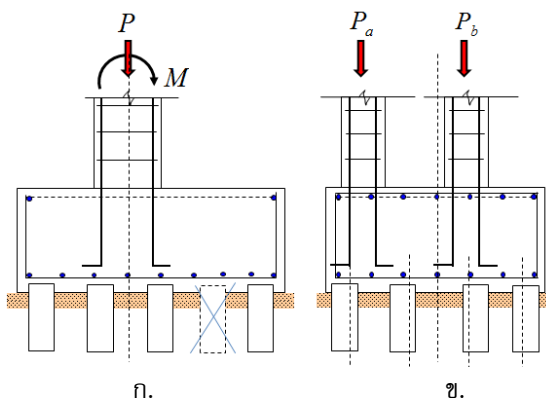
- 1) ฐานรากที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์จากเสา ดังรูปที่ 2 ก.
- 2) ฐานรากที่มีโมเมนต์กระทำกับฐานราก ดังรูปที่ 2ข.
- 3) เสาตอม่อที่เยื้องศูนย์ ดังรูปที่ 3ก.
- 4) เสาเข็มที่เกิดการหนีศูนย์ร่วมด้วย ดังรูปที่ 3ข.
- 5) เสาเข็มเกิดชำรุดต้องตอกเสริมหรือแซม ดังรูปที่ 4 ก.
- 6) ฐานรากอาจจะมีเสาตอม่อมากกว่า 1 ต้นหรือฐานรากใกล้กันจนต้องทำฐานร่วมกัน ดังรูปที่ 4ข.
- 7) ฐานรากที่มาจากผลต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นร่วมกัน



รูปที่ 2 ฐานรากที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์กลางจากเสา และฐานรากที่มีโมเมนต์กระทำกับฐานราก



รูปที่ 3 เสาตอม่อที่เยื้องศูนย์กลาง และเสาเข็มที่เกิดการหนีศูนย์กลางร่วมด้วย



รูปที่ 4 เสาเข็มเกิดชำรุดต้องตอกเสริมหรือแซม ฐานราก อาจจะมีเสาตอม่อมากกว่า 1 ต้น หรือฐานรากใกล้กันจนต้องทำฐานร่วมกัน

จากเหตุต่างๆเหล่านี้ทำให้เสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากจะรับแรงแตกต่างกัน วิศวกรจึงต้องการทราบว่าแรงต่างๆที่กระทำต่อเสาเข็มมีค่าเท่าใด เพื่อพิจารณาใช้งานเสาเข็มและฐานรากเดิม หรือพิจารณาออกแบบตัดแปลงฐานรากต่อไป

3. การวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มรับแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง

การวิเคราะห์แรงกระทำในเสาเข็มในกรณีที่กำลังกล่าวมาแล้วข้างต้น ใช้ทฤษฎีความยืดหยุ่นและแข็งแกร็ง (Deformation and Conventional Rigid Method) จะมีการตั้งสมมติฐาน ประกอบการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้ [2,3]

- ฐานรากที่ใช้เป็นฐานรากที่แข็งแกร็ง (Rigid Footing)
- เสาเข็มที่ใช้เสมือนเป็นจุดยึดหมุน (Hinge Support) พิจารณาเฉพาะแรงในแนวตั้ง ไม่มีการถ่ายโมเมนต์จากฐานรากลงสู่เสาเข็ม
- เสาเข็มมีสภาพการรับน้ำหนักแบบยืดหยุ่น ดังนั้นหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระนาบเดียวกัน

การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้นสามารถหาโดยสมการ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 5 ส่วนที่ 1 รับน้ำหนักจากแรงแนวตั้งที่กระทำต่อฐานราก ซึ่งถือว่าแรงส่วนนี้ถ่ายเข้าเสาเข็มแต่ละต้นเท่าๆกัน ดังสมการด้านล่าง

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

เมื่อ P = แรงที่กระทำต่อฐานรากในแนวดิ่ง, ตัน
 N = จำนวนเสาเข็ม, ตัน

ส่วนที่ 2 รับน้ำหนักจากโมเมนต์ที่ถ่ายลงสู่ฐานรากทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม ดังสมการ

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

เมื่อ M = โมเมนต์ที่กระทำต่อฐานราก, ตัน-ม.
 R_n = แรงปฏิกิริยาที่เสาเข็มต้นที่ n , ตัน
 x_n = ระยะจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มไปยังเข็มต้นที่ n , ม.

จากทฤษฎีความยืดหยุ่น

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

แทนค่า R_1 ลงในสมการ (2)

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

$$M = \frac{R_1}{x_1} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2)$$

$$= \frac{R_1}{x_1} \sum x_n^2$$

เมื่อ R_1 = แรงปฏิกิริยาของเสาต้นที่ 1 รับ
 เนื่องจากโมเมนต์, ตัน
 $\sum x_n^2$ = ผลรวมของระยะทางยกกำลังสองจากศูนย์กลางของกลุ่มเสาไปยังศูนย์กลางของเสาแต่ละต้น

เมื่อรวมแรงทั้งสองส่วนจะเท่ากับแรงปฏิกิริยาที่เสาต้นนั้นรับ ดังสมการ

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

การคำนวณในสมการที่ 5 ต้องพิจารณาเครื่องหมายบวกและลบให้ถูกต้องตามทิศทางที่กำหนด

กรณีที่พิจารณาที่มีโมเมนต์ 2 ทิศทาง ทั้งแกน x และ y ดังรูปที่ 6 สมการที่ใช้หาแรงปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ คือ

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

จากสมการที่ 6

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

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

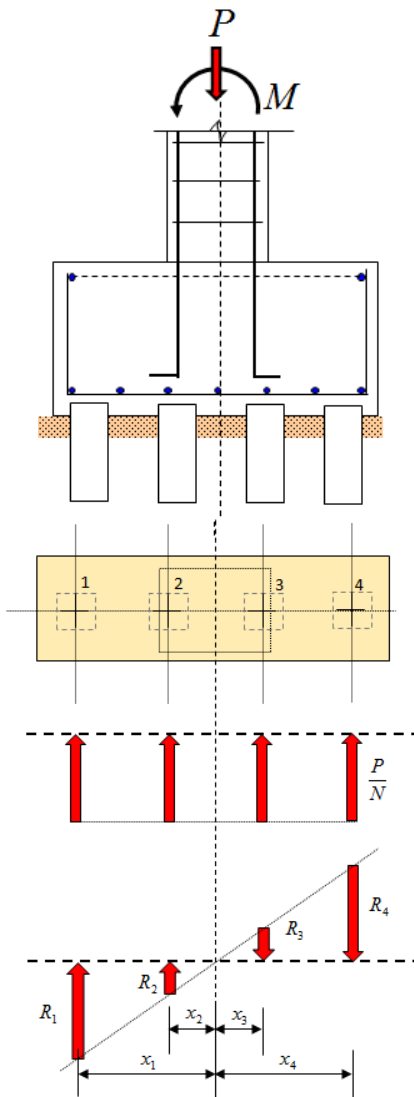
$$n = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$$

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

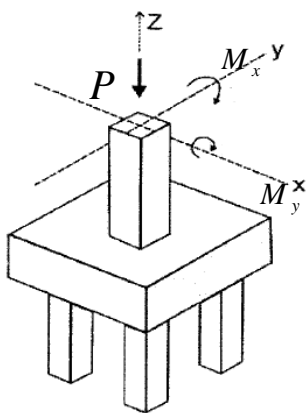
$$\bar{x} = \frac{\sum Ax}{\sum A}, \quad \bar{y} = \frac{\sum Ay}{\sum A}$$

$$M_x = M_{x_0} + Pe_y$$

$$M_y = M_{y_0} + Pe_x$$



รูปที่ 5 แรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น
เมื่อรับแรงในแนวตั้งและโมเมนต์



รูปที่ 6 ฐานรากเสาเข็มที่มีการรับโมเมนต์ 2 ทิศทาง [3]

จากนั้นสร้างโปรแกรมตารางคำนวณ MS Excel ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป เขียนตามระเบียบวิธีการคำนวณ และทำการทดสอบโปรแกรมต่อไป

4. ตัวอย่างการวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มรับแรงกระทำเอียงศูนย์และ/หรือเสาเข็มเอียงศูนย์

จากการวิเคราะห์หาแรงในเสาเข็มตามทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3 ต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก และกรณีมีฐานรากและเสาเข็มเอียงศูนย์จำนวนมากยิ่งลำบากและง่ายต่อการคำนวณผิดพลาด ดังนั้นการเขียนโปรแกรม MS Excel ที่สามารถคำนวณซ้ำๆ และแปรผันค่าตัวแปรต่างๆ และหาคำตอบได้เร็ว ทำให้ผู้คำนวณออกแบบฐานรากสามารถประยุกต์ในการตัดแปลงฐานรากได้รวดเร็วขึ้น

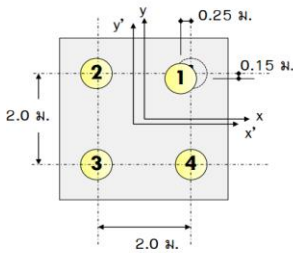
โปรแกรมได้ถูกนำมาทดลองการคำนวณหาแรงในเสาเข็มแต่ละต้น ซึ่งเป็นฐานราก 4 ต้น ที่รับแรงในแนวตั้ง 100 ตัน โมเมนต์ทั้งแกน x 10 ตัน-เมตร และ แกน y 16 ตัน-เมตร อีกทั้งเสาเข็มต้นที่ 1 มีตำแหน่งที่เอียงศูนย์ตามแนวแกน x เท่ากับ -0.25 เมตร และ ตามแนวแกน y เท่ากับ -0.15 เมตร ตัวอย่างดังรูปที่ 7

ผลการคำนวณหาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น การคำนวณด้วยมือตามระเบียบวิธีการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 8 และ ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นผ่านทาง MS Excel ดังรูปที่ 9 ซึ่งได้ผลลัพธ์ตรงกัน

ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้น สำหรับเสาเข็ม 6 ต้น หรือ X ต้น ผู้ใช้สามารถเพิ่มจำนวนเสาเข็มโดยทำการแทรกตารางและกรอกข้อมูลเพิ่มเติมได้ ดังรูปที่ 10 ได้ทำการแทรก

แถวเพิ่มให้เป็น 6 ต้น และ เปลี่ยนค่าแรงในแนวดิ่ง และโมเมนต์ทั้งสองทิศทาง รวมถึงตำแหน่งของ เสาเข็มที่เอียงศูนย์ไป โปรแกรมนี้สามารถประยุกต์ คำนวณหาได้รวดเร็วและสามารถทำซ้ำๆได้ตาม ต้องการ

□ ตัวอย่าง ฐานรากวางบนเสาเข็ม 4 ต้น โดยมีการตอกเสาเข็มต้นที่ 1 เอียงศูนย์ ไปทางซ้าย 0.25 ม. ลงข้างล่าง 0.15 ม. ดังรูป ส่วนเสาเข็มต้นอื่นไม่มีปัญหา เสาเข็มรับแรงกด 100 ตัน โมเมนต์ตัด รอบแกน x (M_x) = 10 ตัน-ม. และ โมเมนต์ตัดรอบแกน y (M_y) = 16 ตัน-ม. จงคำนวณแรงปฏิกิริยาในเสาเข็ม



รูปที่ 7 ตัวอย่างฐานรากเสาเข็มที่มีการรับโมเมนต์ 2 ทิศทาง และเสาเข็มเอียงศูนย์ [4]

หรือ กรณีมีเสาตอม่ออาคารมากกว่า 1 ต้น บนฐาน รากเสาเข็ม ดังเช่นฐานราก รูปที่ 4ข. ก็สามารถรวม แรงต่างๆและกรอกข้อมูลใส่ลงในโปรแกรมก็สามารถ หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้นได้

แรงปฏิกิริยาเสาเข็มแต่ละต้นคำนวณจากสมการ $R_i = \frac{P}{n} \pm mx \pm ny$

- เข็มต้นที่ 1: $R_1 = \frac{100}{4} + 6.731(0.8125) + 4.373(0.8875) = 34.35$ ตัน
- เข็มต้นที่ 2: $R_2 = \frac{100}{4} + 6.731(-0.9375) + 4.373(1.0375) = 23.23$ ตัน
- เข็มต้นที่ 3: $R_3 = \frac{100}{4} + 6.731(-0.9375) + 4.373(-0.9625) = 14.48$ ตัน
- เข็มต้นที่ 4: $R_4 = \frac{100}{4} + 6.731(1.0625) + 4.373(-0.9625) = 27.94$ ตัน

ตรวจสอบ!! $34.35 + 23.23 + 14.48 + 27.94 = 100$ ตัน

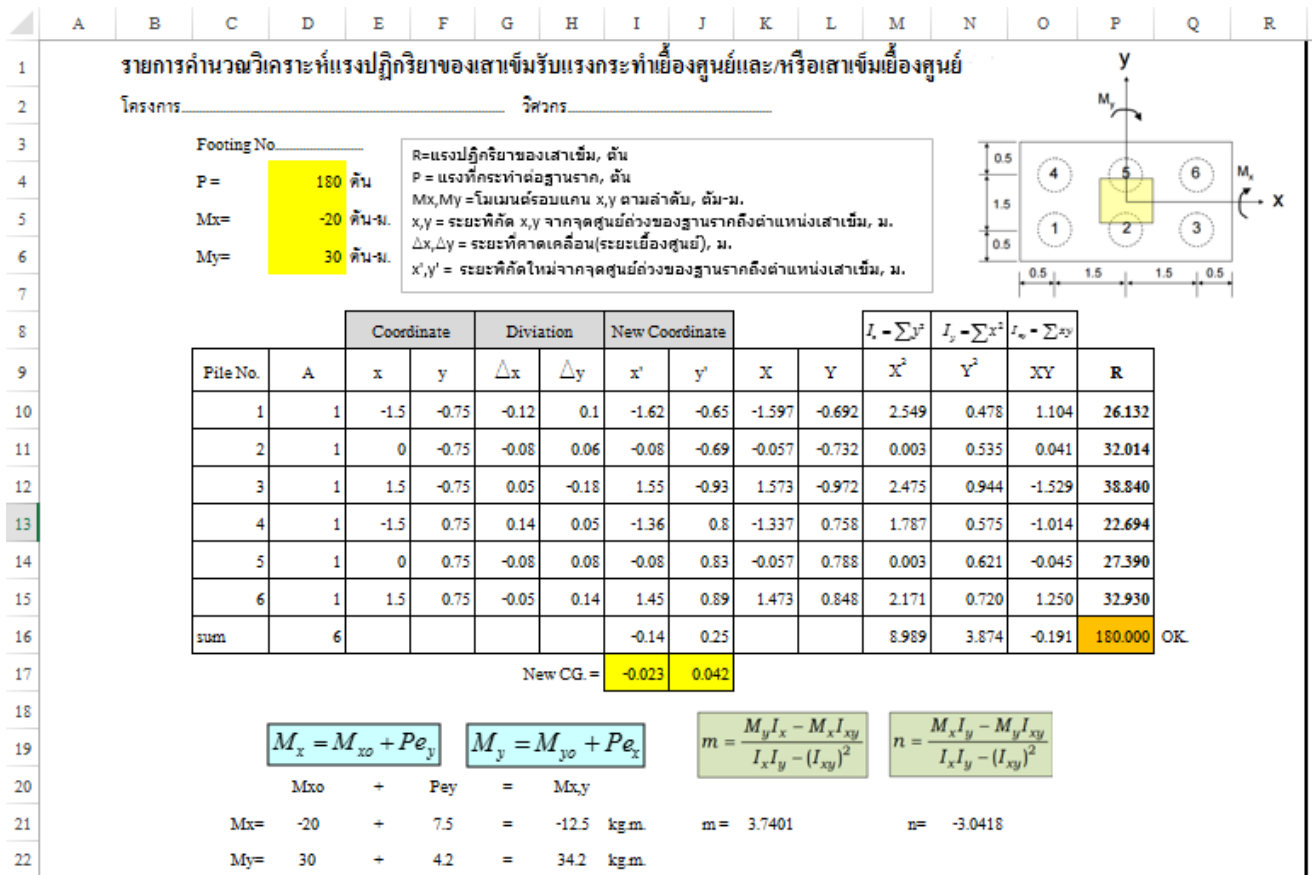
ใช้ได้

รูปที่ 8 ผลการคำนวณตามตัวอย่างฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์

[4]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R																																																																																																			
1	รายการคำนวณวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาของเสาเข็มรับแรงกระทำเอียงศูนย์และ/หรือเสาเข็มเอียงศูนย์																																																																																																																				
2	โครงการ..... วิศวกร.....																																																																																																																				
3	Footing No.....																																																																																																																				
4	P =	100	ตัน																																																																																																																		
5	Mx =	10	ตัน-ม.																																																																																																																		
6	My =	16	ตัน-ม.																																																																																																																		
7	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>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(ระยะเอียงศูนย์), ม. x', y' = ระยะพิกัดใหม่จากจุดศูนย์ถ่วงของฐานรากถึงตำแหน่งเสาเข็ม, ม.</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> </div> </div>																																																																																																																				
8	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Coordinate</th> <th colspan="2">Deviation</th> <th colspan="2">New Coordinate</th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">$I_x = \sum y^2$</th> <th colspan="2">$I_y = \sum x^2$</th> <th colspan="2">$I_{xy} = \sum xy$</th> </tr> <tr> <th>Pile No.</th> <th>A</th> <th>x</th> <th>y</th> <th>Δx</th> <th>Δy</th> <th>x'</th> <th>y'</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>X²</th> <th>Y²</th> <th>XY</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>-0.25</td> <td>-0.15</td> <td>0.75</td> <td>0.85</td> <td>0.813</td> <td>0.888</td> <td>0.660</td> <td>0.788</td> <td>0.721</td> <td>34.350</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-1</td> <td>1</td> <td>-0.938</td> <td>1.038</td> <td>0.879</td> <td>1.076</td> <td>-0.973</td> <td>23.226</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-1</td> <td>-1</td> <td>-0.938</td> <td>-0.963</td> <td>0.879</td> <td>0.926</td> <td>0.902</td> <td>14.480</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>-1</td> <td>1.063</td> <td>-0.963</td> <td>1.129</td> <td>0.926</td> <td>-1.023</td> <td>27.943</td> </tr> <tr> <td>sum</td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-0.25</td> <td>-0.15</td> <td></td> <td></td> <td>3.547</td> <td>3.717</td> <td>-0.372</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>																			Coordinate		Deviation		New Coordinate				$I_x = \sum y^2$		$I_y = \sum x^2$		$I_{xy} = \sum xy$		Pile No.	A	x	y	Δx	Δy	x'	y'	X	Y	X ²	Y ²	XY	R	1	1	1	1	-0.25	-0.15	0.75	0.85	0.813	0.888	0.660	0.788	0.721	34.350	2	1	1	-1	0	0	-1	1	-0.938	1.038	0.879	1.076	-0.973	23.226	3	1	1	-1	0	0	-1	-1	-0.938	-0.963	0.879	0.926	0.902	14.480	4	1	1	1	0	0	1	-1	1.063	-0.963	1.129	0.926	-1.023	27.943	sum		4				-0.25	-0.15			3.547	3.717	-0.372	100
	Coordinate		Deviation		New Coordinate				$I_x = \sum y^2$		$I_y = \sum x^2$		$I_{xy} = \sum xy$																																																																																																								
Pile No.	A	x	y	Δx	Δy	x'	y'	X	Y	X ²	Y ²	XY	R																																																																																																								
1	1	1	1	-0.25	-0.15	0.75	0.85	0.813	0.888	0.660	0.788	0.721	34.350																																																																																																								
2	1	1	-1	0	0	-1	1	-0.938	1.038	0.879	1.076	-0.973	23.226																																																																																																								
3	1	1	-1	0	0	-1	-1	-0.938	-0.963	0.879	0.926	0.902	14.480																																																																																																								
4	1	1	1	0	0	1	-1	1.063	-0.963	1.129	0.926	-1.023	27.943																																																																																																								
sum		4				-0.25	-0.15			3.547	3.717	-0.372	100																																																																																																								
14	sum OK.																																																																																																																				
15	New CG. = -0.063 -0.038																																																																																																																				
16																																																																																																																					
17	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> $M_x = M_{x0} + P e_y$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> $M_y = M_{y0} + P e_x$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> $m = \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> $n = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - (I_{xy})^2}$ </div> </div>																																																																																																																				
18	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Mx0</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">Pe_y</td> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: center;">Mx,y</td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;">m =</td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;">n =</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">3.75</td> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: center;">13.75 kg.m.</td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;">6.7316</td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;">4.3728</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">6.25</td> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: center;">22.25 kg.m.</td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;"></td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>																		Mx0	+	Pe _y	=	Mx,y		m =		n =	10	+	3.75	=	13.75 kg.m.		6.7316		4.3728	16	+	6.25	=	22.25 kg.m.																																																																												
Mx0	+	Pe _y	=	Mx,y		m =		n =																																																																																																													
10	+	3.75	=	13.75 kg.m.		6.7316		4.3728																																																																																																													
16	+	6.25	=	22.25 kg.m.																																																																																																																	
19																																																																																																																					
20																																																																																																																					

รูปที่ 9 ผลการคำนวณตามตัวอย่างฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์ ด้วย MS Excel



รูปที่ 10 ผลการคำนวณฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์กลาง ที่มีเสาเข็ม 6 ต้น ด้วย MS Excel

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มแต่ละต้นสามารถคำนวณหาได้รวดเร็วและสามารถทำซ้ำได้ตามต้องการ ตารางคำนวณ MS Excel เป็นซอฟต์แวร์ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป ผู้ใช้สามารถเพิ่มจำนวนเสาเข็มโดยทำการแทรกตารางและกรอกข้อมูลเพิ่มเติมได้ อย่างไรก็ตามข้อสมมติฐานในการคำนวณวิเคราะห์กับความ เป็นจริงอาจไม่เหมือนกัน แต่อย่างน้อยก็เป็นข้อมูล ที่ช่วยในการแก้ปัญหา และ เป็นตัวช่วยในการทำให้ทราบว่า ระยะเอียงศูนย์กลางมีผลกระทบต่อ การรับน้ำหนักเสาเข็มในแต่ละต้น ที่ยอมรับได้ หรือ ต้องปรับแก้ฐานราก อย่างไรก็ตามบทความนี้ยังไม่ได้ต่อยอดให้พิจารณาถึงการออกแบบฐานรากเพื่อหาเหล็กเสริม

และมิติความกว้าง ความยาวและความลึกของฐานราก หรือ เทคนิคการปรับแก้หน้างานในกรณีต่างๆ สำหรับผู้สนใจสามารถติดต่อผู้เขียนได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เฉลิมเกียรติ วงศ์นิชทวิ. 2559. รายงานนำเสนอ การวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์กลาง โครงการอาคารพักอาศัยรวม 7 ชั้น แห่งหนึ่ง (เอกสารภายใน)
- [2] พัลลภ วิสุทธิเมธานุกุล. 2558. คู่มือวิศวกรรมฐานราก. พิมพ์ครั้งที่ 1. ซีเอ็ดดูเคชั่น. กรุงเทพฯ.
- [3] สนิท พิพิธสมบัติ. 2552. วิศวกรรมฐานราก. มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ครองช่างพริ้นติ้ง. เชียงใหม่.

[4] อมร พิมาณมาศ การคำนวณแก้ไขฐานรากเสาเข็ม
เยื้องศูนย์.

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

{วันที่สืบค้นข้อมูล 2 มิถุนายน 2559}