

## การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานราก ก่อนและหลังปรับปรุงเสริมกำลัง Reliability Analysis of Foundation Before and After Strengthening

ภาสกร บุญญาวิจิตร\*  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สทริฐ พุทธวรรณะ

สาขาวิ ชาวิ ศวกรรมโยธา คณะวิ ศวกรรมศาสตร์ มหาวิ ทยาลั ยธรรมศาสตร์ ศุ นย์ รัง สี ต

\*Corresponding Author. Email : Passaworn.b@gmail.com

(Received: August 8, 2018; Revised: September 28, 2018; Accepted: October 12, 2018)

**บทคัดย่อ :** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากก่อนและหลังการปรับปรุงเสริมกำลังโดยใช้ เสาค้ำเหล็กไมโครไพล์ โดยมีกรณีศึกษาเป็นอาคารเรียนรวมกลุ่มสังคมศาสตร์ (อาคาร A) ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ซึ่งโครงสร้างฐานรากของอาคารก่อนการปรับปรุงเสริมกำลัง มีฐานรากจำนวน 15 ฐานราก (P1-P15) ไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุก ( $\phi_{DL}DL + \phi_{LL}LL$ ) ได้ ทำให้ต้องมีการปรับปรุงเสริมกำลังโครงสร้างฐานรากให้มีความแข็งแรงและสามารถใช้งานได้ตามปกติ การวิเคราะห์ใช้วิธีการคำนวณหาแรงกระทำ (Load, Q) และความต้านทาน (Resistance, R) ของฐานรากที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุงเสริมกำลัง เพื่อนำมาหาค่าดัชนีความน่าเชื่อถือ ก่อนและหลังการปรับปรุงเสริมกำลัง นำมาเปรียบเทียบกับค่าความแตกต่างกันเพียงใด จากนั้นจึงนำค่าดัชนีความน่าเชื่อถือหลังจากการปรับปรุงเสริมกำลังโครงสร้างฐานราก มาเทียบกับค่าดัชนีความน่าเชื่อถือเป้าหมาย ผลของการปรับปรุงเสริมกำลังโครงสร้างฐานราก นั้นทำให้โครงสร้างฐานรากมีค่าดัชนีความน่าเชื่อถือหลังเสริมกำลังมากกว่าค่าดัชนีความน่าเชื่อถือก่อนเสริมกำลัง อีกทั้งยังมีบางฐานรากที่มีค่ามากกว่าค่าดัชนีความน่าเชื่อถือเป้าหมาย การเสริมกำลังโครงสร้างฐานรากในครั้งนี้ จะทำให้โครงสร้างฐานรากสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ออกแบบและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** เสาค้ำเหล็กไมโครไพล์ โครงสร้างฐานราก ค่าดัชนีความปลอดภัย ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือเป้าหมาย

**Abstract :** The purpose of this research is the analysis of the structural reliability of the case study building foundations prior and posterior the improvement and strengthening by using Steel Micropile. The case study building is the Building A of Social Science Complex Building (SC2), Thammasat University, Rangsit Campus. From the calculation recheck, there are 15 foundations (P1-P15) of this building that must be repaired because their capacities cannot resist the factored design load ( $\phi_{DL}DL + \phi_{LL}LL$ ) from the building. So, the foundations improvement and strengthening are required to guarantee that this building can be used effectively. By the reliability analysis process, both loads (Q) and resistances (R) of building foundations have to be calculated (prior and posterior the strengthening) and then the reliability indexes have been calculated in order to evaluate and compare the reliability indexes of building foundations (before and after improvement) each other and target reliability index and compute foundations safety as well. The results show that the structural reliability indexes after strengthening are more than target reliability index or not. The strengthening results the reliability indexes which improve after strengthening. Furthermore, there are some foundations which have their reliability indexes more than target reliability index as well, this structural strengthening method improves the foundation performance that can handle all loads occurred in real situation and make it safer.

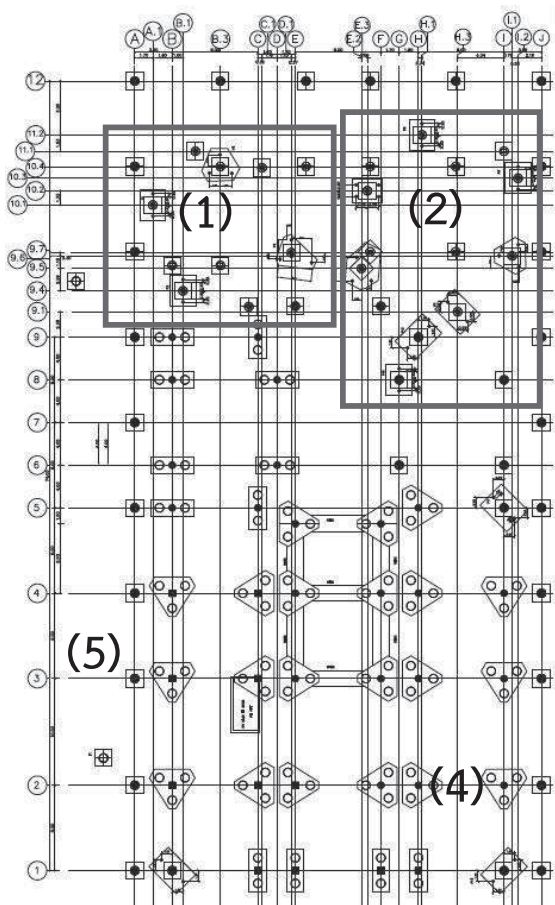
**Keywords:** Steel Micropile, Building Foundation, Structural Reliability, Reliability Index

## 1. บทนำ

บทความนี้ผู้เขียนได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินหาความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานราก โดยมีอาคารกรณีศึกษาคือ อาคารสังคมศาสตร์ (อาคาร A) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ซึ่งฐานรากของอาคารกรณีศึกษาไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำได้ จึงได้ทำการคำนวณและหาวิธีเสริมกำลังโดย มีฐานรากทั้งหมด 15 ฐานด้วยกันที่ต้องทำปรับปรุงเสริมกำลังและทำการเสริม Steel Micropile ซึ่งฐานรากทั้ง 15 ฐานเดิมที่ล้วนเป็นฐานรากเดี่ยวทั้งสิ้น ซึ่งฐานราก F1 มีขนาด 1.6 m. x 1.6 m.

ใช้เสาเข็มเจาะเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m. ความยาว 30 m. และสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยได้ไม่น้อยกว่า 130 ตัน/ตัน ดังภาพที่ 2 และฐานราก P1 – P15 คือ ฐานรากที่ทำการคำนวณออกแบบและทำการเสริมกำลังด้วยการใช้ Steel Micropile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 m. ความยาว 30 m. และสามารถรับน้ำหนักปลอดภัย (Safe Load) ได้ไม่น้อยกว่า 40 ตัน/ตัน แล้วทำการขยายฐานรากเพื่อเสริมกำลังด้วย

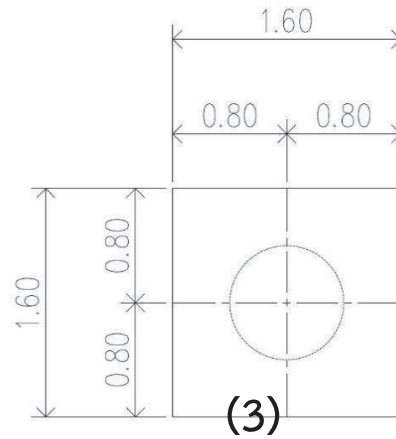
โดยภาพที่ 1 จะแสดงตำแหน่งของฐานราก P1 - P15 ที่ได้รับการปรับปรุงเสริมกำลัง [7]



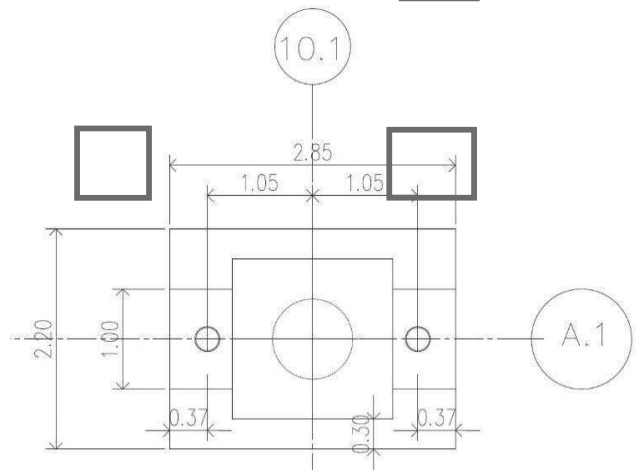
ภาพที่ 1 Foundation Plan ของอาคารกรณีศึกษา

- โดย
- (1) คือตำแหน่งของ P1, P2, P3 และ P4
  - (2) คือตำแหน่งของ P5, P6, P7, P8, P9, P10, P12 และ P13
  - (3) คือตำแหน่งของ P11
  - (4) คือตำแหน่งของ P14
  - (5) คือตำแหน่งของ P15

โดยรายละเอียดของฐานราก P1 - P15 ก่อนและหลังเสริมกำลังปรับปรุงจะแสดงดังต่อไปนี้

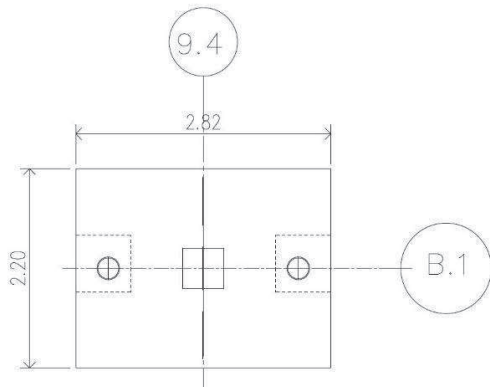


ภาพที่ 2 ฐานราก F1



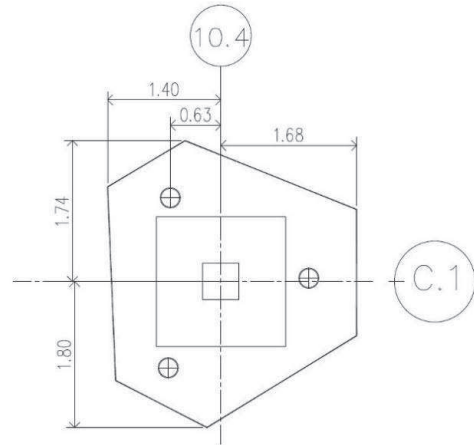
ภาพที่ 3 ฐานราก P1, P5, P12

P1, P5, P12 ได้ทำการ ใช้ 2-Steel Micropiles ในการเสริมกำลัง และขยายฐานรากเป็น 2.85 m. x 2.20 m. ดังภาพที่ 3



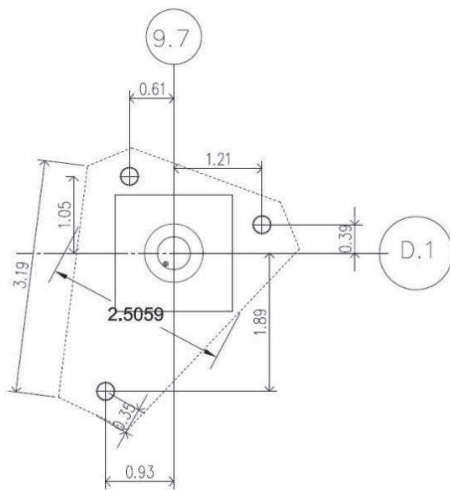
ภาพที่ 4 ฐานราก P2

P2 ได้ทำการ ใช้ 2-Steel Micropiles ในการ เสริมกำลังและขยายฐานรากเป็น 2.82 m. x 2.20 m. ดังภาพที่ 4



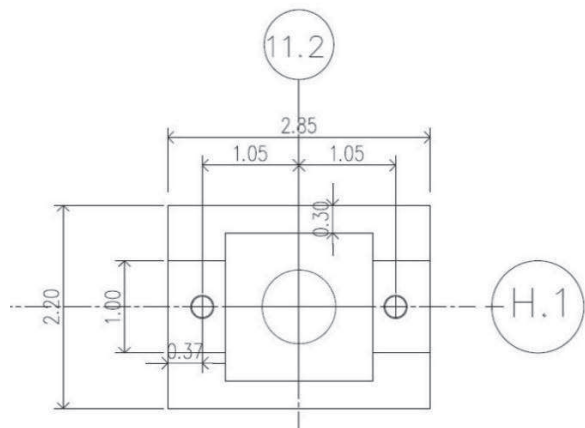
ภาพที่ 6 ฐานราก P4

P4 ได้ทำการ ใช้ 3-Steel Micropiles ในการ เสริมกำลัง และขยายฐานรากเป็น 3.04 m. x 3.54 m. ดังภาพที่ 6



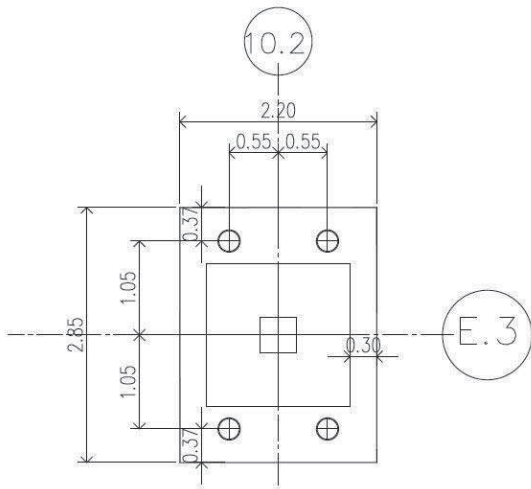
ภาพที่ 5 ฐานราก P3

P3 ได้ทำการ ใช้ 3-Steel Micropiles ในการ เสริมกำลัง และขยายฐานรากเป็น 2.50 m. x 3.19 m. ดังภาพที่ 5



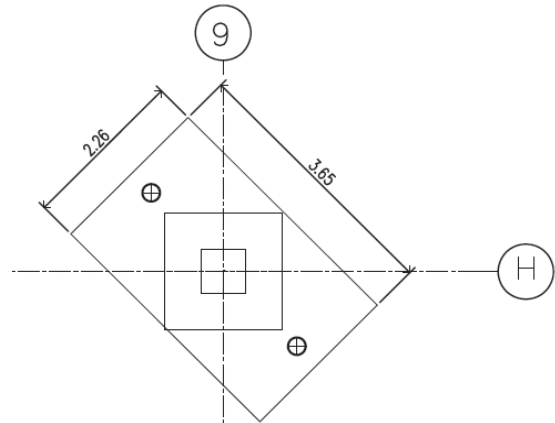
ภาพที่ 7 ฐานราก P6

P6 ได้ทำการ ใช้ 2-Steel Micropiles ในการ เสริมกำลัง และขยายฐานรากเป็น 2.85 m. x 2.20 m. ดังภาพที่ 7



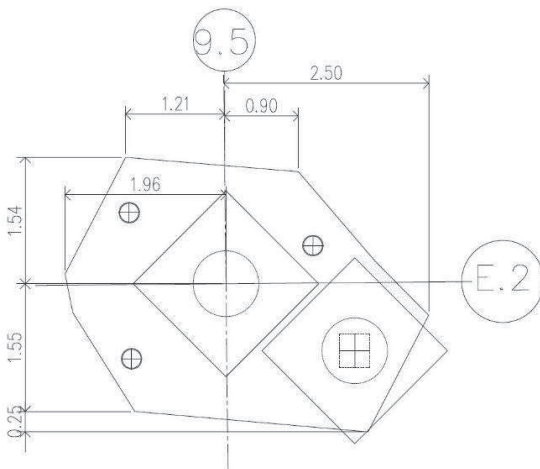
ภาพที่ 8 ฐานราก P7

P7 ได้ทำการ ใช้ 4-Steel Micropiles ในการ เสริมกำลัง และขยายฐานรากเป็น 2.85 m. x 2.20 m. ดังภาพที่ 8



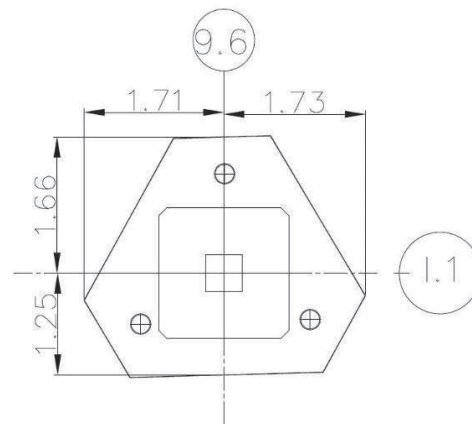
ภาพที่ 10 ฐานราก P9, P11, P13, P14, P15

P9, P11, P13, P14, P15 ได้ทำการ ใช้ 2-Steel Micropiles ในการเสริมกำลังและขยายฐานรากเป็น 2.26 m. x 3.65 m. ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ฐานราก P8

P8 ได้ทำการ ใช้ 3-Steel Micropiles ในการ เสริมกำลัง และขยายฐานราก ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 11 ฐานราก P10

P10 ได้ทำการ ใช้ 3-Steel Micropiles ในการ เสริมกำลัง และขยายฐานรากเป็น 3.45 m. x 2.91 m. ดังภาพที่ 11

## 2. มาตรฐาน ACI (American Concrete Institute)

### 2.1 Dead Load (DL: น้ำหนักบรรทุกคงที่)

หมายถึงน้ำหนักบรรทุกที่กระทำอยู่กับที่ คงที่ตายตัว ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนัก หรือ น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง

### 2.2 Live Load (LL: น้ำหนักบรรทุกจร)

หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่เป็นลักษณะมีการเคลื่อนย้าย เคลื่อนที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักอยู่ตลอดเวลา หรืออยู่ชั่วคราว

โดยทางผู้ทำวิจัยได้ใช้ Load Factor ของน้ำหนักบรรทุกทั้ง 2 ประเภทซึ่งจะได้ค่าน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับโครงสร้าง (ACI 318-89) [6] เป็นดังนี้

$$\text{Total Load} = 1.4\text{DL} + 1.7\text{LL} \quad (1)$$

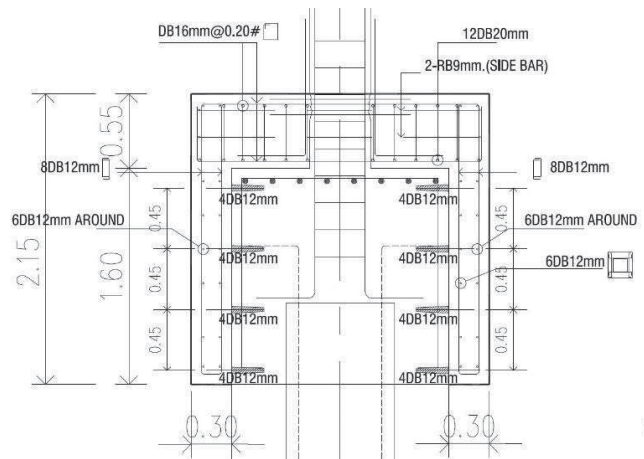
## 3. วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานราก

### 3.1 น้ำหนักบรรทุก (Load Effects: Q)

ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือค่า แรงเฉือน (Shear) และ โมเมนต์ดัด (Moment)

### 3.2 ความต้านทานเชิงโครงสร้าง (Structural Resistance : R)

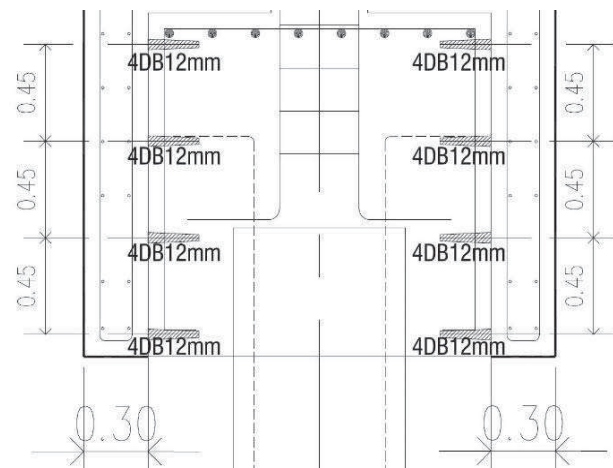
ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณจะเป็น ค่าความต้านทานระบุที่คำนวณได้ตามทฤษฎี (Nominal Resistance : Rn) และมีการเสริมกำลังของโครงสร้างฐานราก 2 แบบ คือความต้านทานของ แรงเฉือน [6] และ ความต้านทานของ โมเมนต์ดัด [6] ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงเหล็กเสริมรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

### 3.2.1 กำลังต้านแรงเฉือน (Shear Resistance)

โดยจะหาค่าความต้านทานจากเหล็กเสริมดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (4x2-4DB12)

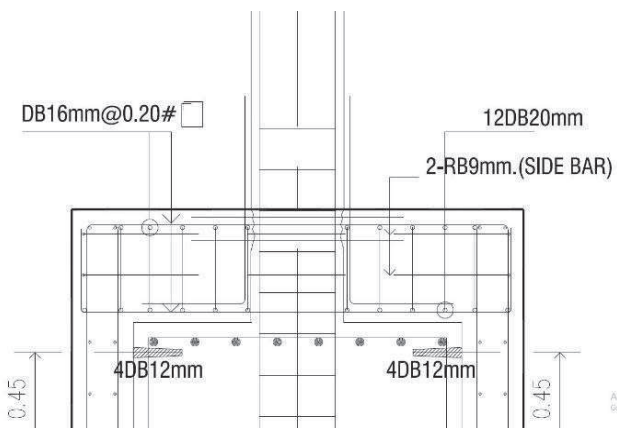
โดยจะหาค่าได้จากสูตร (2)

$$V_u = \phi \mu A_s f_y \quad (2)$$

โดย ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย,  $\phi$  (Shear) = 0.85  
 $A_s$  คือพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเสริมรับแรง  
 เเฉือน  
 $f_y$  คือกำลังครากของเหล็กเสริม (ACI 318-89) [6]

### 3.2.2 กำลังต้านโมเมนต์ดัด (Moment Resistance)

ดยจะหาค่าความต้านทานจากเหล็กเสริม  
 ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด(DB16@0.20#)

หาค่าได้จากสมการที่ (3) และค่า a จากสมการ (4)

$$M_u = \phi A_s f_y (d-a/2) \quad (3)$$

$$a = (A_s f_y) / (0.85 b f_c') \quad (4)$$

โดย d คือความลึกประสิทธิภาพ

a คือระยะรับแรงอัดของคอนกรีต

b คือความกว้างของหน้าตัด

ค่า  $\phi$  (Moment) = 0.90

$\mu = 1$

$f_y = 4,000$  ksc

ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน,  $f_c' = 320$  ksc

### 3.3 ดรรชนีความน่าเชื่อถือ (Reliability Index, $\beta$ )

พิจารณาให้ R และ Q เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจาย  
 ตัวแบบปกติ (Normal Distribution) โดยเราจะสามารถ  
 หาค่า ความโน้มเอียงของน้ำหนักบรรทุก (Bias Factor  
 for load) ดังสมการที่ (5) และ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน  
 (Coefficient of Variation: COV) ดังสมการที่ (6) และ  
 สามารถคำนวณค่าดรรชนีความปลอดภัยได้จากสมการที่  
 (7) [5]

$$\text{Bias Factor, } \lambda = \frac{\bar{x}}{x_n} \quad (5)$$

$$\text{Coefficient of Variation, } COV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (6)$$

$$\text{Reliability Index, } \beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_Q^2}} \quad (7)$$

โดย  $\bar{x}$  คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$x_n$  คือค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี

$\bar{R}$  คือค่าเฉลี่ยของกำลังต้านของโครงสร้าง

(Structural Resistance)

$\bar{Q}$  คือค่าเฉลี่ยของผลกระทบน้ำหนักบรรทุก (Load  
 Effect)

$\sigma_R$  คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Structural  
 Resistance

$\sigma_Q$  คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Load Effect

### 3.4 ความน่าจะเป็นความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (Probability of Structural Safety)

โดยความปลอดภัยเชิงโครงสร้างนั้นค่าความน่าจะเป็น  
 ของน้ำหนักบรรทุก (Q) จะมีค่าไม่เกินกว่าค่าความ  
 น่าจะเป็นความต้านทานเชิงโครงสร้าง (R) จะเรียกว่า



(Probability of Survival:  $P_s$ ) (Barker Puckett , 1997)  
[5] ดังสมการที่ (8)

$$P_s = P(R > Q) \quad (8)$$

และค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติของโครงสร้าง  
(Probability of Failure:  $P_f$ ) (Nowak and Collins,  
2000) [2] ดังสมการที่ (9)

$$P_f = 1 - P_s \quad (9)$$

#### 4. ผลจากการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกและกำลัง ต้านทาน (Load and Resistance, Q and R)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบ Load & Resistance ของ  
เสาเข็ม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 m.  
ความยาว 30 m.

Footing	Q ก่อนทำการ ขยายฐานราก (T)	Q หลังทำการ ขยายฐานราก (T)	R (T)
P1	175.49	130	130
P2	208.12	130	130
P3	239.78	130	130
P4	245.81	130	130
P5	214.60	130	130
P6	223.59	130	130
P7	272.85	130	130
P8	246.88	130	130
P9	225.62	130	130
P10	239.48	130	130
P11	164.72	130	130
P12	172.95	130	130
P13	161.47	130	130
P14	184.46	130	130
P15	182.62	130	130

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่า Shear ที่เกิดขึ้นกับค่าความ  
ต้านทาน Shear ของฐานรากหลังจาก  
ปรับปรุงเสริมกำลัง

Footing	Q (T)	R (T)
P1	70.51	353.78
P2	121.09	230.72
P3	170.16	230.72
P4	179.51	392.23
P5	131.13	353.78
P6	145.06	353.78
P7	221.42	538.36
P8	181.16	346.09
P9	95.62	107.45
P10	169.69	323.01
P11	34.72	107.45
P12	66.57	353.78
P13	31.47	107.45
P14	54.46	107.45
P15	52.62	107.45

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่า Moment ที่เกิดขึ้นกับ  
ค่าความต้านทาน Moment ของฐาน  
รากหลังจากปรับปรุงเสริมกำลัง

Footing	Q (T-m)	R (T-m)
P1	31.73	68.76
P2	57.52	90.88
P3	106.63	292.17
P4	56.25	85.28
P5	59.01	68.76
P6	65.28	68.76
P7	99.64	123.29
P8	74.88	182.19
P9	85.22	123.45
P10	56.00	85.34
P11	33.37	127.44
P12	29.96	68.76
P13	31.22	127.44
P14	54.02	127.44
P15	52.20	127.44



### 5. ผลการวิเคราะห์หาตรรกษีความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง

ตารางที่ 4 ค่า Bias Factor และ COV. ของ Load [1,3,4,6]

Load	Bias Factor	COV
Dead Load	1.05	0.16
Live Load	1.05	0.30

ตารางที่ 5 ค่า Bias Factor, COV และ ค่าเป้าหมาย Reliability Index,  $\beta_{Target}$  ของ Resistance [1,3,4,6]

Resistance	Bias Factor	COV	$\beta_{Target}$
Moment	1.14	0.15	3.0
Shear	1.10	0.21	3.5
Compression (Pile)	1.14	0.16	2.0

ตารางที่ 6 ค่า Reliability Index ( $\beta$ ) ของทุก Limit States

Footing	Limit States	$\beta$		$P_f$	
		ก่อนเสริมกำลัง	หลังเสริมกำลัง	ก่อนเสริมกำลัง	หลังเสริมกำลัง
P1	Compression	-1.30	0	0.90	0.5
	Shear	-	3.74	-	9.20E-05
	Moment	-	3.26	-	5.57E-04
P2	Compression	-1.99	0	0.97	0.5
	Shear	-	2.0	-	2.28E-02
	Moment	-	2.07	-	1.92E-02
P3	Compression	-2.52	0	0.99	0.5
	Shear	-	1.01	-	1.56E-01
	Moment	-	3.98	-	3.45E-05

ตารางที่ 6 ค่า Reliability Index ( $\beta$ ) ของทุก Limit States (ต่อ)

Footing	Limit States	$\beta$		$P_f$	
		ก่อนเสริมกำลัง	หลังเสริมกำลัง	ก่อนเสริมกำลัง	หลังเสริมกำลัง
P4	Compression	-2.60	0	0.99	0.5
	Shear	-	2.35	-	9.39E-03
	Moment	-	1.89	-	2.94E-02
P5	Compression	-2.11	0	0.98	0.5
	Shear	-	2.81	-	2.48E-03
	Moment	-	0.72	-	2.36E-01
P6	Compression	-2.26	0	0.98	0.5
	Shear	-	2.60	-	4.66E-03
	Moment	-	0.24	-	4.05E-01
P7	Compression	-2.95	0	0.99	0.5
	Shear	-	2.59	-	4.80E-03
	Moment	-	0.99	-	1.61E-01
P8	Compression	-2.62	0	0.99	0.5
	Shear	-	2.01	-	2.22E-02
	Moment	-	3.63	-	1.42E-04
P9	Compression	-2.30	0	0.98	0.5
	Shear	-	0.39	-	3.48E-01
	Moment	-	1.7	-	4.46E-02
P10	Compression	-2.51	0	0.99	0.5
	Shear	-	2.00	-	2.28E-02
	Moment	-	1.92	-	2.74E-02
P11	Compression	-1.03	0	0.84	0.5
	Shear	-	3.07	-	1.07E-03
	Moment	-	4.76	-	9.68E-07

ตารางที่ 6 ค่า Reliability Index ( $\beta$ ) ของทุก Limit States (ต่อ)

Footings	Limit States	$\beta$	$\beta$	$P_f$	$P_f$
		ก่อนเสริมกำลัง	หลังเสริมกำลัง	ก่อนเสริมกำลัง	หลังเสริมกำลัง
P12	Compression	-1.24	0	0.89	0.5
	Shear	-	3.80	-	7.23E-05
	Moment	-	3.45	-	2.80E-04
P13	Compression	-0.95	0	0.82	0.5
	Shear	-	3.23	-	6.19E-04
	Moment	-	4.89	-	5.04E-07
P14	Compression	-1.51	0	0.93	0.5
	Shear	-	2.09	-	1.83E-02
	Moment	-	3.54	-	2.00E-04
P15	Compression	-1.47	0	0.92	0.5
	Shear	-	2.18	-	1.46E-02
	Moment	-	3.64	-	1.36E-04

หมายเหตุ – หมายถึงไม่มีค่าในช่วงนั้น

## 6. สรุปผล

จากการศึกษาการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานราก ก่อนและหลังปรับปรุงเสริมกำลัง พบว่าความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากก่อนปรับปรุงนั้นมีค่าน้อยมาก โดยที่ฐานราก P3 P4 P7 P8 P10 มีค่า Probability of Failure มากที่สุดอยู่ที่ 0.99 เนื่องจากเป็นฐานรากที่มีน้ำหนักที่มากกระทำมากหากเทียบกับฐานรากอื่น โดยหากไม่ทำการปรับปรุงเสริมกำลังจะทำให้มีโอกาสในการวิบัติมาก ซึ่งหลังจากการปรับปรุงเสริมกำลังแล้ว

พบว่าค่า Probability of Failure น้อยที่สุดคือ P13 มีความน่าเชื่อถืออยู่ที่  $5.04 \times 10^{-7}$  และฐานรากอื่นๆ ที่ได้รับการเสริมกำลังปรับปรุงยังมีค่าความน่าเชื่อถือของโครงสร้างที่มากขึ้น ซึ่งทำให้โครงสร้างโดยรวมของอาคารมีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอความขอบคุณ บริษัท แปลน คอนซัลแตนท์ส จำกัด บริษัท ปฐม เฟอร์นิเจอร์ (1994) จำกัด เป็นอย่างสูงสำหรับข้อมูลต่างๆที่ครบถ้วน และขอบคุณ นายสันต์ แสงศรี และ นายพัฒนา ภูผาสวรรณ และรวมถึงบุคลากรทุกท่านของบริษัทที่ให้ความรู้ต่างๆ มากมายซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องทำให้บทความฉบับนี้สมบูรณ์ และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## 8. บรรณานุกรม

- (1) AASHTO, 1994. LRFD Bridge Design Specifications, 1st ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- (2) Andrzej Nowak, Kevin Collins, 2000. Reliability of Structures. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- (3) Bruce Ellingwood, Development of a probability based load criterion for American national standard a58.
- (4) B. Scott, B. J. Kim, R. Solgado M.ASCE, 2003. Assessment of Current Load Factors for Use in Geotechnical Load and Resistance Factor Design.
- (5) Richard M. Barker, Jay A. Puckett, 1997. Design of Highway Bridges. John Wiley & Sons, Inc.
- (6) Portland Cement Association. Notes on ACI 318-89, building code requirements for reinforced concrete Dissertation-Doctor of Philosophy, The Univ.
- (7) พันเอก วิ นัน ธิ นทรานุ วรณ, 2548. การใช้ เข็ม ไมโคร แก๊ บี้ ญญาการ ทรุ ดตั วของฐานราก (Solving Foundation Settlement Problem by Using Micro Piles), วารสารวิ ชาการ กองวิ ชาวิ ศวกรรมโยธา สั วนการศึ กษา โรงเรี ยนนายร อยพระจุ ลจอมเกล้า , ปี ที่ 3, พ 2548.