

บทที่ 4

การหาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับชั้นดินเชียงใหม่

ในการตอกเสาเข็มโดยทั่วไปการที่จะตัดสินใจว่าจะตอกเสาเข็มลงไปที่ความลึกเท่าใด เสาเข็มจึงจะสามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบไว้ ในทางปฏิบัติจะใช้การวัดระยะทรุดตัวของเสาเข็มเนื่องจากการตอกครั้งสุดท้าย ซึ่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมักวัดผลการการตอก 10 ครั้งสุดท้าย และเรียกวิธีการนี้ว่าวิธี Blow Count (วสท,2521) โดยสมารถที่จะใช้ระยะการทรุดตัวจากการตอกครั้งสุดท้ายนี้ไปคำนวณหาลำกำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มได้ จากสูตรการตอกเสาเข็มต่างๆที่มีผู้แนะนำไว้มากมายหลายสูตร แต่เนื่องจากสูตรการตอกเสาเข็มเหล่านี้จะใช้ได้เหมาะสมในที่เฉพาะแห่งตามสภาพของชั้นดินบริเวณแต่ละแห่งเท่านั้นเนื่องจากความแปรปรวนของชั้นดินทั้งในทางด้านลึกและทางด้านข้าง แต่สำหรับจังหวัดเชียงใหม่ นั้น การใช้สูตรการตอกเสาเข็มในการหาลำกำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มยังเป็นส่วนสำคัญในขั้นตอนของการควบคุมงานการตอกเสาเข็มอยู่ แต่ยังมีได้มีผู้ทำการวิจัยว่าสูตรการตอกเสาเข็มที่มีผู้แนะนำไว้มากมายหลายสูตรนั้น สูตรใดที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับชั้นดินในเชียงใหม่

สำหรับงานวิจัยในบทนี้มุ่งเน้นที่จะหาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมที่จะใช้สำหรับชั้นดินเชียงใหม่ โดยอาศัยข้อมูลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามกับข้อมูลการตอกเสาเข็มที่มีการบันทึกไว้ และเป็นการทดสอบเสาเข็มในจังหวัดเชียงใหม่ มาทำการวิจัยเชิงสถิติเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับเชียงใหม่ต่อไป

4.1 รายละเอียดต่างๆของข้อมูลที่จะนำมาทำการวิเคราะห์สูตรการตอกเสาเข็ม

4.1.1 จำนวน ชนิด รูปร่างหน้าตัด ขนาด ความยาวของเสาเข็มตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์

จากข้อมูลที่รวบรวมมาในงานวิจัยบทนี้ มีจำนวน 25 ตัวอย่าง ซึ่งทั้งหมดเป็นเสาเข็มหล่อสำเร็จหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดตั้งแต่ 0.26 x 0.26 เมตร ไปจนถึงขนาด 0.40 x 0.40 เมตร และมีความยาวตั้งแต่ 6.5 เมตร ไปจนถึงความยาว 21 เมตร

4.1.2 ชนิดและน้ำหนักของค้อนตอกที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม

ค้อนตอกสำหรับการตอกเสาเข็มโดยส่วนใหญ่ที่ใช้กันในจังหวัดเชียงใหม่ จะใช้ค้อนตอกแบบปล่อย(Drop Hammer) ทั้งหมด รวมถึงเสาเข็มตัวอย่างทั้ง 25 ต้น ที่รวบรวมมาได้ก็จะใช้ค้อนตอกแบบ

ปล่อยทั้งหมดเหมือนกันและจากข้อมูลของการดอกเส้าเข็มตัวอย่างพบว่า น้ำหนักของคัมดอกจะอยู่ระหว่าง 3 ต้น ถึง 6.9 ต้น

4.1.3 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเส้าเข็มในสนามกับกำลังรับน้ำหนักพืดของเส้าเข็มที่จะนำมาทำการวิเคราะห์

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเส้าเข็มในสนามในที่นี้ก็คือการทดสอบเส้าเข็มเพื่อรับแรงสถิตย์กคในแนวตั้งเท่านั้น และจะเป็นการทดสอบแบบพืดฐานที่นิยมใช้กันในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนกำลังรับน้ำหนักพืดของเส้าเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามนี้จะเป็ค่าน้ำหนักที่ได้จากการประเมินตามวิธีการของ Marzulkiewicz ที่ได้ทำการวิเคราะห์ในบทที่ผ่านมาแล้วว่ามีวามเหมาะสมสำหรับการประเมินหาค่ากำลังรับน้ำหนักพืดของเส้าเข็มคอกจากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเส้าเข็มในสนามสำหรับชั้นดินเชียงใหม่

รายละเอียดต่างๆของเส้าเข็มทดสอบ,คัมดอกเส้าเข็ม,ระยะขยของคัมดอกเส้าเข็ม,ระยะทรุดตัวของเส้าเข็มจากการคอกครั้งสุดท้ายและกำลังรับน้ำหนักพืดของเส้าเข็มที่ประเมินได้ จะแสดงในตารางที่ 4.1

4.2 สูตรการคอกเส้าเข็มที่นำมาทำการวิเคราะห์

สูตรการคอกเส้าเข็มมีผู้แนะนำไว้มากมายหลายสูตร โดยได้ดัดแปลงค่าตัวแปรที่ใช้ในแต่ละสูตรต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการคอกเส้าเข็ม ซึ่งในงานวิจัยในบทนี้จะเลือกสูตรที่มีผู้นิยมใช้มาทำการวิเคราะห์จำนวนทั้งหมด 9 สูตร ซึ่งรายละเอียดต่างๆของทั้ง 9 สูตรจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

4.2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่นำมาแทนค่าในสูตรการคอกเส้าเข็ม

จากสูตรการคอกเส้าเข็มทั้ง 9 สูตรที่ได้กล่าวมาแล้วแต่ละสูตรก็จะมีตัวแปรต่างๆที่จะต้องนำไปใช้ในการแทนค่าสูตร แต่โดยส่วนใหญ่ค่าตัวแปรต่างๆนั้นล้วนเป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปของเส้าเข็มและคัมที่ใช้ในการคอกเส้าเข็ม เช่น ความยาวเส้าเข็ม, พื้นที่หน้าตัดของเส้าเข็ม, น้ำหนักของเส้าเข็ม, น้ำหนักของคัมที่ใช้ในการคอกเส้าเข็ม ฯลฯ ซึ่งค่าของตัวแปรเหล่านี้สามารถที่จะทราบได้จากข้อมูลของการคอกเส้าเข็ม แต่ยังมีตัวแปรอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งจะเลือกค่าตามความเหมาะสมของสภาพหน้างานในการคอกเส้าเข็ม รวมไปถึงลักษณะและชนิดของคัมที่ใช้ในการคอกเส้าเข็ม โดยค่าตัวแปรเหล่านี้ในการแทนค่าในสูตรการคอกเข็มทั้ง 9 สูตร จะใช้ค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของเสาเข็ม, ดั้มตอกเสาเข็ม และระยะขะทุรคตจากการตอกครั้งสุดท้ายของเสาเข็ม

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	เสาเข็ม					ดันทอกเสาเข็ม			s(m)
		Pile Dimension	A(m ²)	L(m)	W _p (t)	E(y _m ²)	W _t (t)	h(m)	E _s (t-m)	
1	เขต.อาร์ คอนโดมิเนียม	0.35	0.1225	11.00	3.234	3000000	4.20	0.60	2.520	0.0011
2	แฟลตตำรวจ อ.เรียงดาว	0.26	0.0676	9.00	1.460	3000000	3.00	0.60	1.800	0.0066
3	โรงพยาบาลโรกหีน	0.35	0.1225	16.00	4.704	3000000	6.00	0.60	3.600	0.0013
4	แฟลตตำรวจอ.เมือง	0.26	0.0676	12.00	1.947	3000000	4.70	0.60	2.820	0.0095
5	ตึกอชิการ ม.แม่ไร่	0.40	0.1600	12.00	4.608	3000000	4.80	1.00	4.800	0.0020
6	ศูนย์การศึกษาแม่ไร่	0.40	0.1600	6.00	2.304	3000000	5.30	0.40	2.120	0.0035
7	โครงการเตรียมปริมเขต1	0.40	0.1600	13.50	5.184	3000000	4.70	1.00	4.700	0.0010
8	โครงการเตรียมปริมเขต2	0.40	0.1600	16.00	6.144	3000000	6.20	0.80	4.960	0.0035
9	โกดัง บริษัทสหพาณิชย์ จำกัด	0.40	0.1600	17.00	6.528	3000000	6.20	0.80	4.960	0.0039
10	โรงแรมเซงกริตา	0.40	0.1600	15.00	5.760	3000000	4.70	1.20	5.640	0.0015
11	แฟลตตำรวจอ.แม่แตง	0.26	0.0676	9.00	1.460	3000000	3.00	0.60	1.800	0.0030
12	อาคาร 3 ชั้น แม่ไร่	0.26	0.0676	10.00	1.622	3000000	4.60	0.40	1.840	0.0053
13	โรงพยาบาลตี่เซียงใหม่ราม1	0.40	0.1600	16.00	6.144	3000000	5.80	0.80	4.640	0.0014
14	ตึกคมี 4 ชั้น ม.เรียงใหม่	0.35	0.1225	9.00	2.646	3000000	6.00	0.40	2.400	0.0080
15	โครงการประปาแม่กวท1	0.35	0.1225	6.50	1.911	3000000	4.80	0.40	1.920	0.0060
16	โครงการประปาแม่กวท2	0.35	0.1225	6.50	1.911	3000000	4.80	0.40	1.920	0.0035
17	โครงการประปาแม่กวท3	0.35	0.1225	6.50	1.911	3000000	4.80	0.40	1.920	0.0020
18	โครงการประปาแม่กวท4	0.35	0.1225	9.00	2.646	3000000	4.80	0.40	1.920	0.0030
19	โครงการประปาแม่กวท5	0.35	0.1225	9.00	2.646	3000000	4.80	0.40	1.920	0.0020

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของเสาเข็ม, ดั้มตอกเสาเข็มและระยะระหว่างจากการตอกครั้งสุดท้ายของเสาเข็ม(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ โครงการ	เสาเข็ม					ดัมตอกเสาเข็ม			s(m)
		Pile Dimension	A(m ²)	L(m)	W _f (t)	E(v/m ²)	W _t (t)	h(m)	E _n (t-m)	
20	โครงการประปาแม่หลวงT6	0.35	0.1225	9.00	2.646	3000000	4.80	0.40	1.920	0.0030
21	โครงการประปาแม่หลวงT7	0.35	0.1225	12.00	3.528	3000000	5.80	0.50	2.900	0.0098
22	โครงการประปาแม่หลวงT8	0.35	0.1225	12.00	3.528	3000000	5.80	0.50	2.900	0.0090
23	อาคารสำนักงานบริษัท นิยมพานิช	0.40	0.1600	13.60	5.222	3000000	6.90	0.80	5.520	0.0060
24	ลิตส์คอน โดมิเนียม	0.40	0.1600	21.00	8.064	3000000	5.50	0.80	4.400	0.0015
25	อิกปาร์คคอน โดมิเนียม	0.40	0.1600	12.00	4.608	3000000	4.70	0.60	2.820	0.0070

ตารางที่ 4.2 แสดงสูตรการตอกเสาเข็ม 9 สูตรที่จะนำมาแทนค่า

ลำดับ ที่	ชื่อสูตรการตอกเสา เข็ม	สูตรการตอกเสาเข็ม	หมายเหตุ
1	Danish Formula	$P_u = \frac{e_h E_h}{s + C_1}$ $C_1 = \sqrt{\frac{e_h E_h}{2AE}}$	S หน่วยเป็นเมตร A หน่วยเป็นเมตร ² E=3x10 ⁶ ตัน/เมตร ²
2	Eytelwein Formula	$P_u = \frac{e_h E_h}{s + 0.00254 \left(\frac{W_p}{W_r} \right)}$	S หน่วยเป็นเมตร W _r , W _p หน่วยเป็น ตัน
3	Gate Formula	$P_u = 104.5 \sqrt{e_h E_h} (2.4 - \log s)$	P _u หน่วยเป็นกิโลนิว ตัน S หน่วยเป็น มิลลิเมตร
4	Janbu Formula	$P_u = \frac{e_h E_h}{K_u s}$ $C_d = 0.75 + 0.15 \frac{W_p}{W_r}$ $K_u = C_d \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}} \right)$ $\lambda = \frac{e_h E_h}{AEs^2}$	S หน่วยเป็นเมตร A หน่วยเป็นเมตร ² E=3x10 ⁶ ตัน/เมตร ² W _r , W _p หน่วยเป็น ตัน L หน่วยเป็นเมตร
5	Modified ENR Formula	$P_u = \frac{1.25 e_h E_h}{s + 0.00254} \times \left(\frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \right)$	S หน่วยเป็นเมตร W _r , W _p หน่วยเป็น ตัน
6	Navy - McKay Formula	$P_u = \frac{e_h E_h}{s(1.0 + 0.3 C_1)}$ $C_1 = \frac{W_p}{W_r}$	S หน่วยเป็นเมตร W _r , W _p หน่วยเป็น ตัน

ตารางที่ 4.2 แสดงสูตรการตอกเสาเข็ม 9 สูตรที่จะนำมาแทนค่า(ต่อ)

7	Canadian Nation Building Code	$P_u = \frac{e_h E_h C_1}{s + C_2 C_3}$ $C_1 = \frac{W_r + n^2(0.5W_p)}{W_r + W_p}$ $C_2 = \frac{3P_u}{2A}$ $C_3 = \frac{L}{E} + (3.61 \times 10^{-9})$	S หน่วยเป็นเมตร A หน่วยเป็นเมตร ² E=3x10 ⁶ คืบ/เมตร ² W _r , W _p หน่วยเป็นคืบ L หน่วยเป็นเมตร
8	Pacific Coast Uniform Building Code	$P_u = \frac{e_h E_h C_1}{s + C_2}$ $C_1 = \frac{W_r + 0.1W_p}{W_r + W_p}$ $C_2 = \frac{P_u L}{AE}$	S หน่วยเป็นเมตร A หน่วยเป็นเมตร ² E=3x10 ⁶ คืบ/เมตร ² W _r , W _p หน่วยเป็นคืบ L หน่วยเป็นเมตร
9	Hiley Equation	$P_u = \frac{e_h E_h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \times \left(\frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \right)$	S หน่วยเป็นเมตร W _r , W _p หน่วยเป็นคืบ k ₁ , k ₂ , k ₃ คือค่าการยุบตัวของดิน (Elastic Deformation)

- ค่าประสิทธิภาพของค้ำคอกเสาเข็ม, e_h สำหรับค่าประสิทธิภาพของค้ำคอกเสาเข็มนี้จะพิจารณาจากตารางที่ 4.3 ซึ่งจะแสดงค่าประสิทธิภาพของค้ำคอกเสาเข็มตามชนิดของค้ำที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม ซึ่งในจังหวัดเชียงใหม่จะใช้ค้ำคอกแบบปล่อยแบบที่อาศัยรอกและสลิงในการบังคับระยะยกค้ำ ซึ่งในที่นี้จะใช้ค่าประสิทธิภาพของค้ำคอกเสาเข็มเท่ากับ 0.75 ในการแทนค่าสูตรการตอกเสาเข็มทั้ง 9 สูตร

- ค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัว(Value of Coefficient of Restitution), n สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัวที่จะใช้ในการแทนค่าสูตรนี้จะใช้ค่าตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะพิจารณาจาก ชนิดของเสาเข็ม, สภาพการรองที่หัวเสาเข็มและชนิดของค้ำคอกเสาเข็ม ซึ่งถ้าพิจารณาตามสภาพที่รองหัวเสาเข็มที่นิยมทำกันในเชียงใหม่ที่จะมีการใช้หมวกครอบหัวเสาเข็มและมีการใช้ไม้อัดรอง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัวที่จะนำไปใช้ในการแทนค่าสูตรก็คือ 0.25

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพของค้อนที่ใช้ตอกเสาเข็ม

ที่มา:Poulos และ Davis (1980)

Hammer Type	e_f
Drop hammer released by trigger	1.00
Drop hammer actuated by rope and friction winch	0.75
McKiernan-Terry single-acting hammers	0.85
Warrington-Vulcan single-acting hammers	0.75
Differential-acting hammers	0.75
McKiernan-Terry, Industrial Brownhoist, National & Union double-acting hammers	0.85
Diesel hammers	1.00

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัว

ที่มา:Poulos และ Davis (1980)

Pile Type	Head Condition	Drop, Single-acting, or Diesel Hammers	Double-acting Hammers
Reinforced concrete	Helmet with composite plastic or greenheart dolly and packing on top of pile	0.4	0.5
	Helmet with timber dolly, and packing on top of pile	0.25	0.4
	Hammer direct on pile with pad only	—	0.5
Steel	Driving cap with standard plastic or greenheart dolly	0.5	0.5
	Driving cap with timber dolly	0.3	0.3
	Hammer direct on pile	—	0.5
Timber	Hammer direct on pile	0.25	0.4

- ค่าการยุบตัวยืดหยุ่น (Value of Elastic Compression), k_1 ที่ใช้ในสมการของ Hiley สำหรับค่าการยุบตัวยืดหยุ่นที่ใช้ในสูตรของ Hiley นี้จะมีอยู่ 3 ส่วนคือ

ให้

k_1 = ค่าการยุบตัวยืดหยุ่นของที่รองหัวเสาเข็ม

k_2 = ค่าการยุบตัวยืดหยุ่นของเสาเข็ม

k_3 = ค่าการยุบตัวยืดหยุ่นของดิน

ซึ่งค่าการยุบตัวยืดหยุ่นทั้ง 3 ค่านี้ ในการนำไปใช้แทนค่าในสมการของ Hiley ได้มีการใช้ที่แตกต่างกันซึ่ง Bowles(1988) และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้แนะนำไว้ดังตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการยุบตัวยืดหยุ่นที่ใช้ใน Hiley Equation

ที่มา: Bowles(1988)

A) k_1

For driving stresses larger than 14 MPa use k_1 in last column

	Driving stresses P/A on pile head or cap, MPa (ksi)			
	3.5(0.5)	7.0(1.0)	10.5(1.5)	14(2.0)
Pile material	k_1 , mm (in)			
Steel piling or pipe				
Directly on head	0	0	0	0
Directly on head of timber pile	1.0(0.05)	2.0(0.10)	3.0(0.15)	5.0(0.20)
Precast concrete pile with 75–100 mm packing inside cap	3.0(0.12)	6.0(0.25)	9.0(0.37)	12.5(0.50)
Steel-covered cap containing wood packing for steel H or pipe piling	1.0(0.04)	2.0(0.05)	3.0(0.12)	4.0 (0.16)
5-mm fiber disk between two 10-mm steel plates	0.5(0.02)	1.0(0.04)	1.5(0.06)	2.0(0.08)

B) $k_2 = \frac{P_u L}{AE}$

C) $k_3 = 0.0$ for hard soil (rock, very dense sand, and gravel)

= 0.1 to 0.2 in or 2.5 to 5 mm for other suits

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการยุบตัวยึดหยุ่นที่ใช้ใน Hiley Equation ตามคำแนะนำของ วสท.(2521)

k_1 (เซนติเมตร)	$\frac{1.8P_u L_2}{A}$
k_2 (เซนติเมตร)	$\frac{0.72P_u L}{A}$
k_3 (เซนติเมตร)	$\frac{3.60P_u}{A}$

หมายเหตุ: ค่า L_2 คือความหนาของกระสอบที่รองหัวเสาเข็ม(เมตร)

เมื่อทำการพิจารณาเงื่อนไขตามตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 จากข้อมูลการดักเสาเข็มที่มีอยู่พบว่า ความเค้น(Stress) ที่เกิดจากการดักเสาเข็มจะมีค่าไม่เกิน 3.5 MPa และจากผลการเจาะสำรวจดิน ณ บริเวณที่มีการดักเสาเข็มตัวอย่าง พบว่าปลายเสาเข็มส่วนใหญ่วางอยู่บนชั้นทรายแน่น ซึ่งตามเงื่อนไขดังกล่าว ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นที่จะนำไปใช้ในการแทนค่าในสมการของ Hiley จะแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการยุบตัวยึดหยุ่นที่จะนำไปแทนค่าในสมการของ Hiley

ที่มาของค่าการยุบตัวยึดหยุ่น	ค่าการยุบตัวยึดหยุ่น (เมตร)		
	k_1	k_2	k_3
Bowles(1988)	0.003	$\frac{P_u L}{AE}$	0.000
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(2521)	$\frac{0.18P_u}{100A}$	$\frac{0.72P_u L}{100A}$	$\frac{3.6P_u}{100A}$

หมายเหตุ: เมื่อให้ L_2 มีค่าเท่ากับ 10 เซนติเมตรและ A มีหน่วยเป็น เซนติเมตร²

-ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเนื่องจากการดักครั้งสุดท้าย,s สำหรับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มจากการดักครั้งสุดท้าย ที่ใช้ในการแทนค่าสูตรการดักเข็มในบทนี้คือค่าที่ได้จากการดัก 10 ครั้งสุดท้ายที่มีการบันทึกไว้ในข้อมูลการดักเสาเข็มทั้ง 25 ตัวอย่าง

4.3 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับชั้นดินเชิงใหม่

ในการวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับดินเชิงใหม่นี้จะพิจารณาจากค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็มต่างๆว่ามีความใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามมากหรือน้อยเพียงใด โดยจะอาศัยทฤษฎีทางสถิติมาช่วยในการตัดสินใจ

ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามในแกน Y และ X ตามลำดับ จะได้จุดความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักทั้งสองบนระนาบ XY จากจุดความสัมพันธ์ดังกล่าวก็จะสร้างเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของจุดความสัมพันธ์เหล่านั้น ตามสมการ $Y=BX$ ซึ่งค่า B ดังกล่าวจะเป็นค่าความชัน (Slope) ของเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของจุดความสัมพันธ์เหล่านั้น โดยที่ถ้าค่า B มีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง 1 จะแสดงถึงค่ากำลังรับน้ำหนักที่คำนวณได้จากสูตรกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อใช้เส้นตรงเป็นตัวแทนของจุดความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักทั้งสองก็จะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มทั้งสองค่าโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (Coefficient of Determination), R^2 ซึ่งในกรณีที่ข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดี ค่า R^2 ควรจะมีค่าระหว่าง 0.8 ถึง 1.0 และเส้นตรงตัวแทนนั้นจะเป็นตัวแทนของจุดความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดีเพียงใดจะพิจารณาจากการกระจายของจุดความสัมพันธ์รอบๆเส้นตรงตัวแทนนั้น โดยจะพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), σ ซึ่งถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังกล่าวมีค่าน้อยก็จะแสดงถึงเส้นตรงตัวแทนสามารถเป็นตัวแทนของจุดความสัมพันธ์ได้ดี

ในการพิจารณาหาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับชั้นดินเชิงใหม่นี้จะอาศัยค่าตัวแปรทางสถิติคือค่า B, R^2 และ σ ช่วยในการพิจารณาเลือกสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม

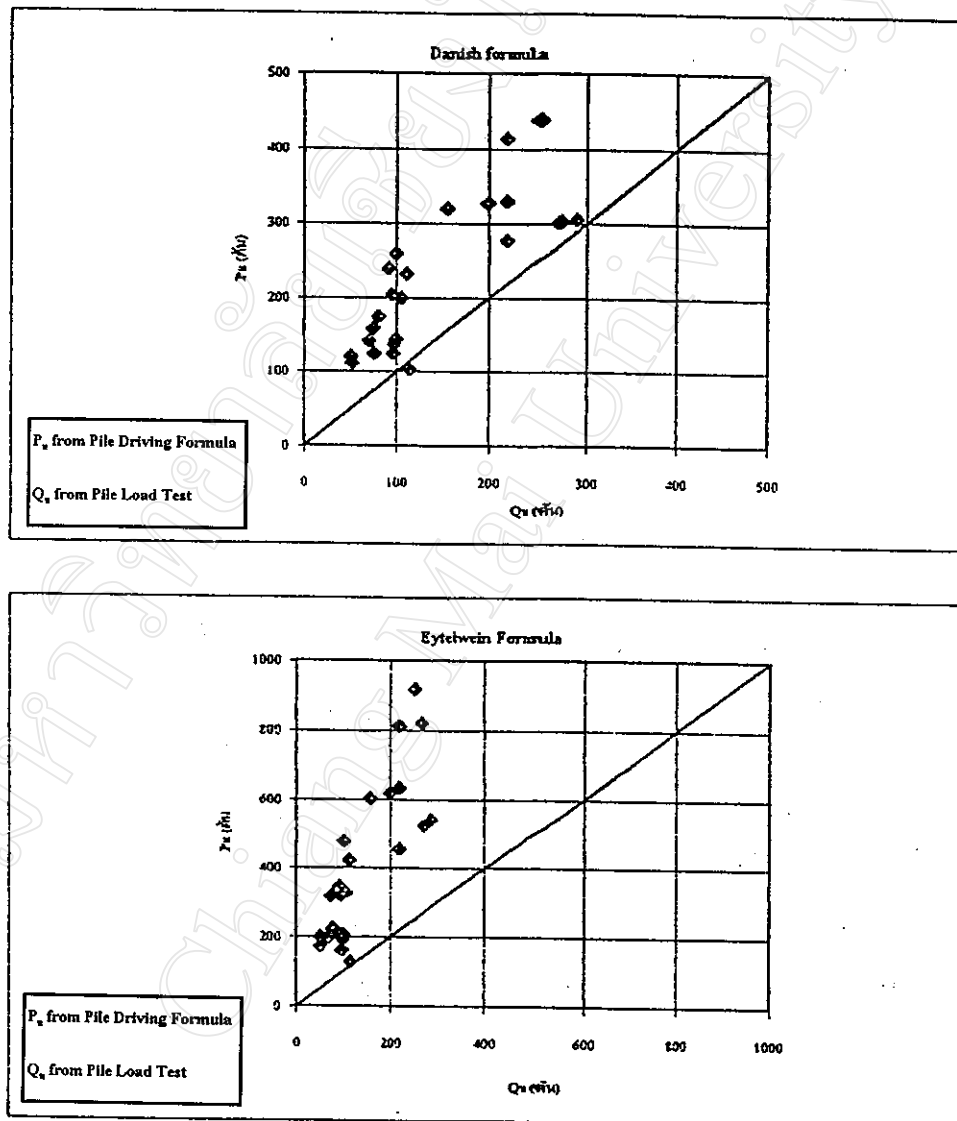
จากข้อมูลทั้ง 25 ตัวอย่างที่รวบรวมได้ เมื่อทำการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากสูตรการตอกเสาเข็มต่างๆทั้ง 9 สูตร รวมถึงค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ประเมินได้จากการทดสอบในสนาม แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และนำค่าจากตารางที่ 4.8 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักทั้งสองในรูปแบบกราฟกระจาย จะแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรของ Danish Formula, Eyskelwein Formula, Modified Engineering News และ Navy-McKay Formula จะให้ค่าที่คำนวณได้ส่วนใหญ่สูงกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักที่ได้จากการ

ทดสอบในสนามมาก ดังพิจารณาได้จากกลุ่มของจุดความสัมพันธ์ที่อยู่เหนือเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับหนึ่งอยู่มาก โดยเฉพาะสูตรของ Navy-McKay Formula นั้นจะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบมากที่สุด จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น สูตรต่างๆที่กล่าวมาแล้วเมื่อนำไปใช้ในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มสำหรับเชิงใหม่จะให้ค่าที่ไม่ปลอดภัยอย่างมาก ดังนั้นสำหรับสูตรการออกแบบเสาเข็มเหล่านี้จึงไม่น่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาลำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มสำหรับเชิงใหม่

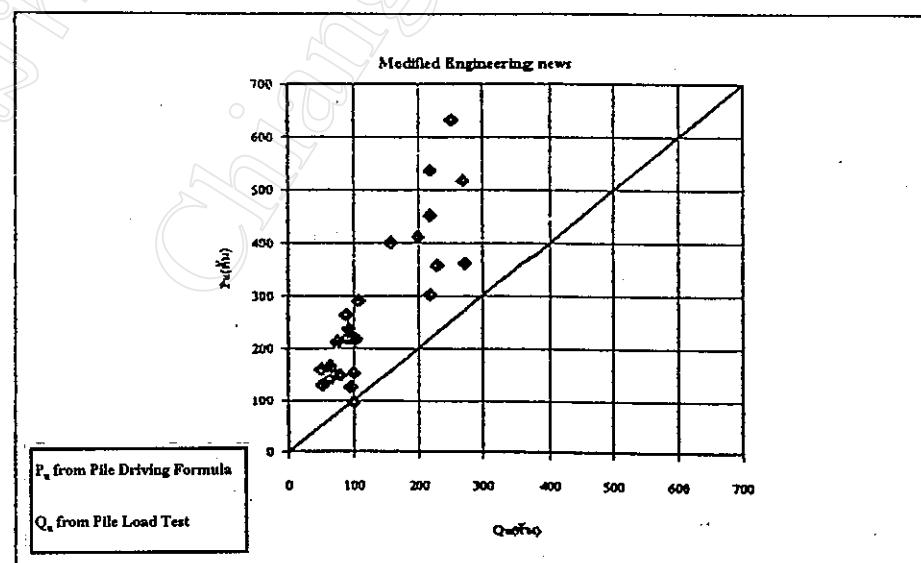
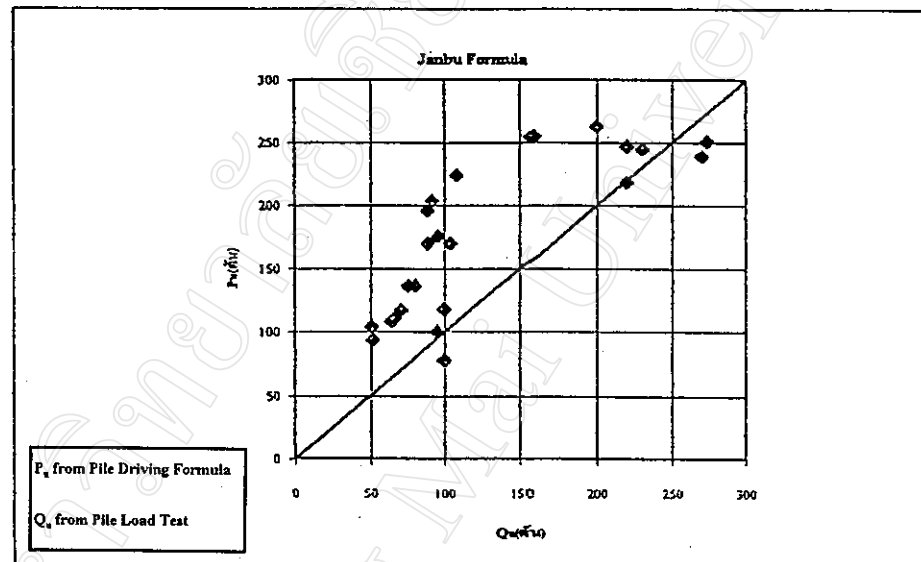
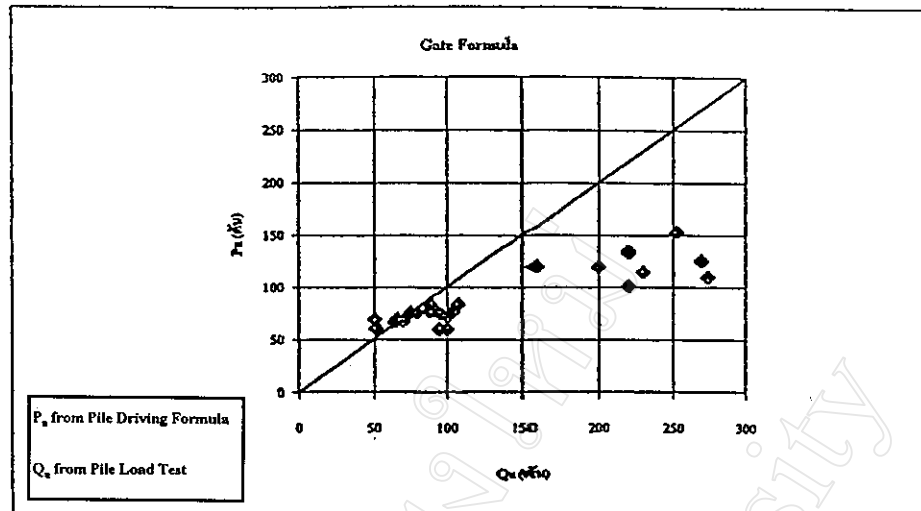
ในส่วนของสูตร Gate Formula, Janbu Formula, Canadian National Building Code, Pacific Coast Uniform Building Code และ Hiley Equation จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้กระจายอยู่บริเวณเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับหนึ่ง โดยสูตรของ Janbu Formula จะมีลักษณะการกระจายของจุดความสัมพันธ์ส่วนใหญ่กระจายอยู่เหนือเส้นตรงที่มีความสัมพันธ์เท่ากับหนึ่งอยู่ไม่มากนัก ส่วนสูตรของ Gate Formula ลักษณะการกระจายของจุดความสัมพันธ์จะอยู่ต่ำกว่าเส้นตรงความชันเท่ากับหนึ่ง โดยเมื่อค่าเสาเข็มมีกำลังรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นลักษณะของจุดความสัมพันธ์จะยิ่งอยู่ต่ำกว่าเส้นความชันเท่ากับหนึ่งมากขึ้นด้วย สูตรของ Canadian National Building Code และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยืดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521) จะมีลักษณะการกระจายของจุดความสัมพันธ์คือ ถ้ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มมีค่าน้อยกว่า 150 ตันค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม ส่วนในกรณีที่มีมากกว่า 150 ตัน จะให้ค่าที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม ส่วนสูตรของ Pacific Coast Uniform Building Code และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยืดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) จะมีการกระจายของจุดความสัมพันธ์ที่กระจายรอบๆเส้นตรงความชันเท่ากับหนึ่ง โดยจะมีค่ามากบ้างน้อยบ้างแตกต่างกันไป

สำหรับสูตรการออกแบบเสาเข็มที่ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่คำนวณได้กระจายรอบๆเส้นตรงเท่ากับหนึ่งนี้ ถ้าพิจารณาเฉพาะจุดความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.1 ยังไม่สามารถที่จะสรุปได้ว่าสูตรไหนมีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในเชิงใหม่ จะต้องอาศัยทฤษฎีทางสถิติมาช่วยในการพิจารณาเลือก ดังจะแสดงในหัวข้อต่อไป สำหรับค่าตัวแปรทางสถิติที่จะช่วยในการพิจารณาหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลทั้งหมด 25 ตัวอย่าง จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 จากรูปที่ 4.1 พบว่าจุดความสัมพันธ์ที่แสดงสามารถที่จะแยกข้อมูลออกได้เป็นสองชุดได้อย่างชัดเจน คือข้อมูลที่มีค่ากำลังการรับน้ำหนักพิสัยของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามมีค่าน้อยกว่า 150 ตัน จำนวน 16 ตัวอย่าง และที่มากกว่า 150 ตันจำนวน 9 ตัวอย่าง และเนื่องจากสูตรการออกแบบที่มีความเหมาะสมนั้นต้องสามารถที่จะคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ในทุกๆน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้ทำการออกแบบไว้ จึงได้ทำการแยกการพิจารณาข้อมูลทั้งสองส่วนดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 แสดงค่าตัวแปรทางสถิติของข้อมูลที่มีค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

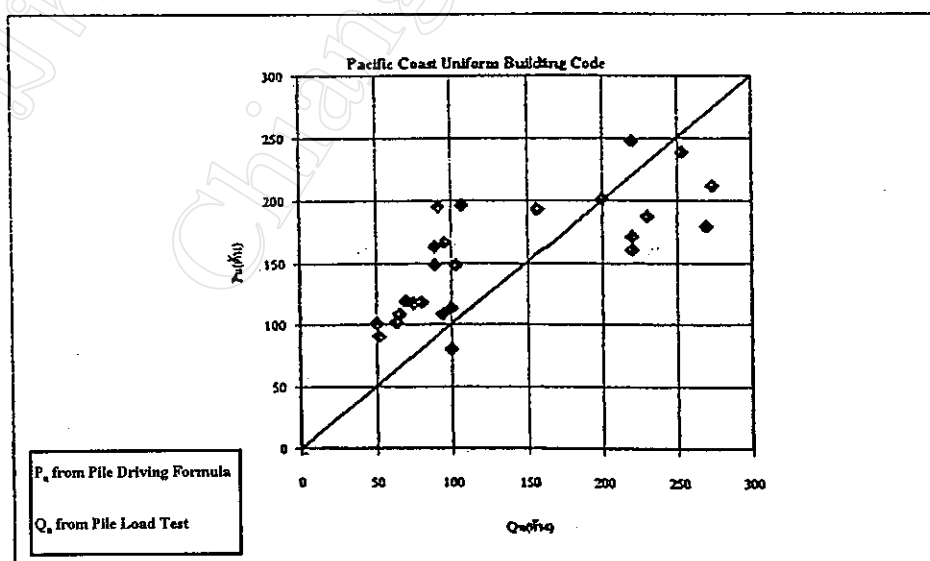
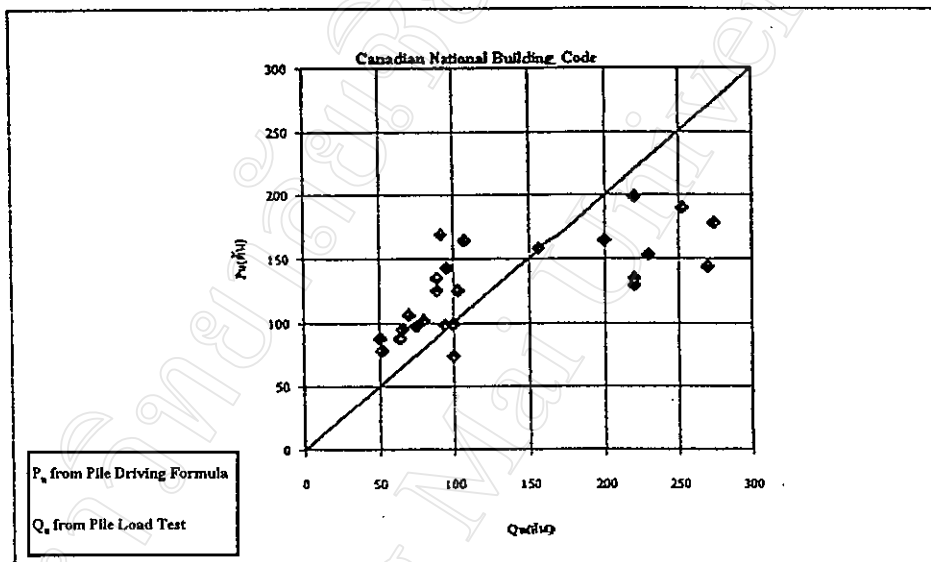
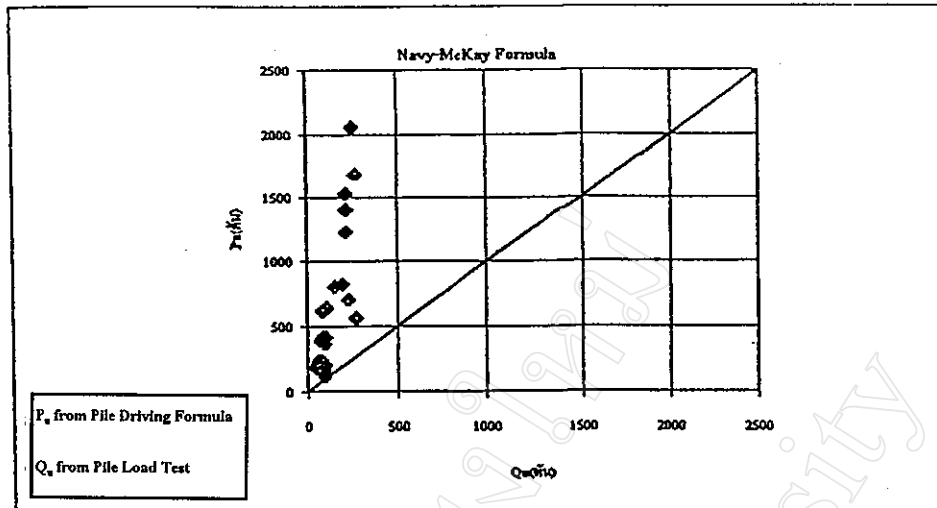
น้อยกว่า 150 ตันและตารางที่ 4.11 จะแสดงค่าตัวแปรทางสถิติของข้อมูลที่มีค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มมากกว่า 150 ตัน



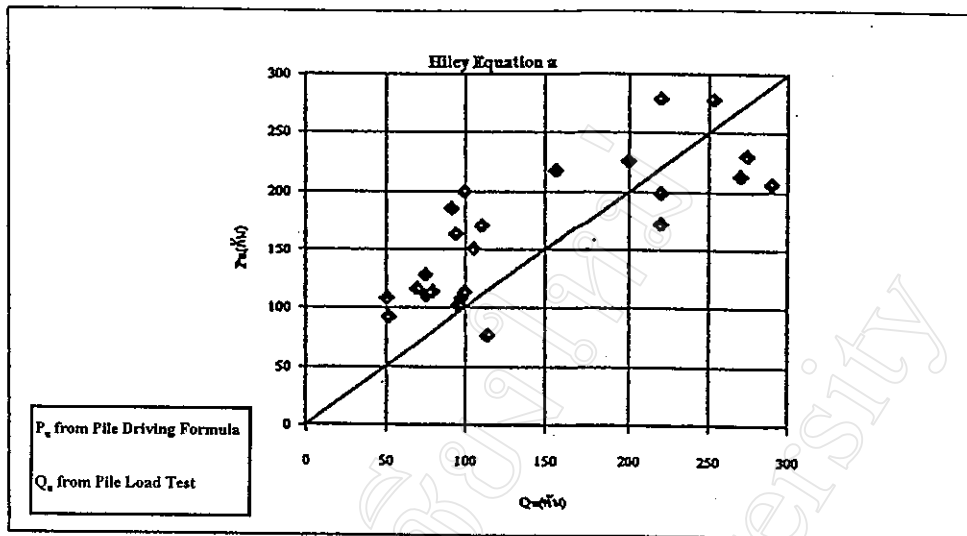
รูปที่ 4.1 a แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Danish กับ Eytelwein Formula กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม



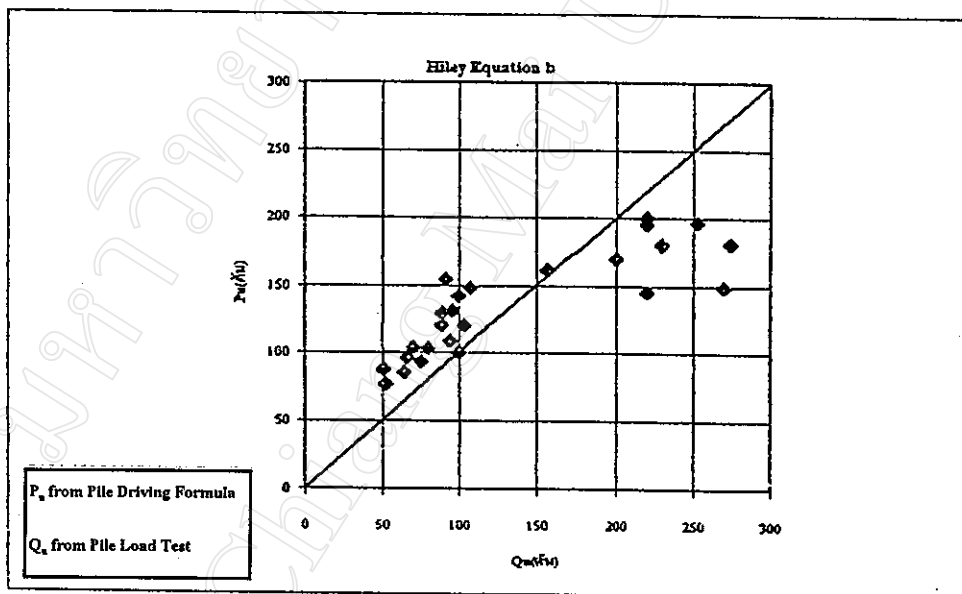
รูปที่ 4.1 บ แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Gate, Janbu และ Modified Engineering News Formula กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.1 c แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Navy-McKay, Canadian และ PCUBC Formula กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม



หมายเหตุ Hiley Equation a คือ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการขุดตัวขีดยึดตามคำแนะนำของ Bowles(1988)



หมายเหตุ Hiley Equation b คือ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการขุดตัวขีดยึดตามคำแนะนำของ วสท(2521)

รูปที่ 4.1 d แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Hiley Equation a และ Hiley Equation b กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตรการตอกเสาเข็มต่างๆ กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม

ตารางที่ 4.8 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกที่คำนวณได้จากสูตรเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และการที่ได้ออกจากการทดสอบเสาเข็มในสนาม

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้ออกจากการทดสอบเสาเข็ม(ตัน)										กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้ออกจากการทดสอบในสนาม (ตัน)	
		Danish	Eysalwein	Ortle	Junbu	Mod. ENR	Navy-McKay	Canadian	PCUBC	Hileya	Hileyb		
1	เขตรองก่อนโตมเนียม	333	873	120	207	515	1793	169	209	242	142	115	
2	แหล่งสำรวจ ด.เชียงดาว	112	172	61	94	128	178	78	90	92	76	52	
3	โรงพยาบาลท.โกสุมพิสัย	301	820	125	239	517	1681	144	179	213	149	270	
4	แหล่งสำรวจเมือง	121	200	69	104	159	198	88	101	108	87	51	
5	โครงการ ม.แม่ใจ	413	811	133	329	536	1398	199	247	279	200	220	
6	ศูนย์การศึกษาแม่ใจ	239	345	78	204	236	402	169	195	185	154	92	
7	โครงการเตรียมปรับเขต 1	278	456	101	218	301	1229	129	160	173	195	220	
8	โครงการเตรียมปรับเขต 2	327	618	119	263	411	819	164	201	226	170	200	
9	โคกขี้เหล็ก 4 ชั้น ม.เชียงใหม่	310	566	116	247	375	725	155	189	211	161	157	
10	โรงพยาบาลท.โกสุมพิสัย	439	917	153	336	633	2062	190	238	278	196	253	
11	โรงพยาบาลท.แม่แตง	159	319	75	136	211	393	97	117	128	93	75	
12	อาคาร 3 ชั้น แม่ใจ	124	223	66	108	166	235	88	102	110	85	76	
13	โรงพยาบาลท.เชียงใหม่	386	851	140	300	572	1886	173	217	253	180	280	
14	สถานี 4 ชั้น ม.เชียงใหม่	142	197	67	117	152	199	106	119	117	104	70	
15	โครงการปรับปรุงอาคาร 1	150	205	65	125	155	241	115	129	123	108	96	
16	โครงการปรับปรุงอาคาร 2	204	319	74	176	218	368	143	166	164	131	95	
17	โครงการปรับปรุงอาคาร 3	259	478	84	224	291	643	164	196	200	148	100	
18	โครงการปรับปรุงอาคาร 4	200	327	77	170	217	412	125	148	151	120	106	
19	โครงการปรับปรุงอาคาร 5	232	424	84	196	264	618	135	163	171	129	112	
20	โครงการปรับปรุงอาคาร 6	200	327	77	170	217	412	125	148	151	120	106	
21	โครงการปรับปรุงอาคาร 7	178	192	69	111	142	188	95	108	108	96	98	
22	โครงการปรับปรุงอาคาร 8	145	206	71	118	152	204	99	113	114	100	100	
23	อาคารทำนบกั้นน้ำบริเวณหนองน้ำ	303	523	110	251	361	562	178	211	230	181	274	
24	ลิ้นชักดินโตมเนียม	330	632	135	247	452	1528	135	171	199	145	220	
25	อาคารพักคนโตมเนียม	174	223	75	136	149	233	102	118	114	103	80	

หมายเหตุ: : a หมายเลขการใช้ Basic Deformation ตามที่ Bowles(1988) แนะนำ

: b หมายเลขการใช้ Basic Deformation ตามที่ ากท.(2521) แนะนำ

: Canadian หมายเลขสูตร Canadian National Building Code

: PCUBC หมายเลขสูตร Pacific Coast Uniform Building Code

4.3.2 วิเคราะห์ สูตรการดอกเสาเข็มที่เหมาะสมจากค่าตัวแปรทางสถิติ

พิจารณาจากข้อมูลทั้งหมด 25 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.9 พบว่าสูตรของ Pacific Coast Uniform Building Code กับ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles (1988) จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ ใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม โดยค่า B มีค่า 1.0392 และ 0.9803 ตามลำดับ โดยค่า R^2 ก็อยู่ในเกณฑ์ที่สูงมากและค่า C ก็มีค่า 56.5448 ดัน กับ 58.7153 ดัน สำหรับสูตร Pacific Coast Uniform Building Code และ Hiley Equation ตามลำดับ ซึ่งสูตรของ Danish Formula, Eytelwein Formula, Modified Engineering News และ Navy-McKay Formula จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่คำนวณได้สูงเกินจริง และสูตรของ Gate Formula, Canadian National Building Code และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521) จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ต่ำกว่าความเป็นจริงซึ่ง Gate Formula จะให้ค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริงมาก

พิจารณาข้อมูล 16 ตัวอย่างที่ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม น้อยกว่า 150 ดัน จากตารางที่ 4.10 พบว่าถ้าพิจารณาจากความชันของเส้นตรงตัวแทนสูตรของ Gate Formula, Canadian National Building Code และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521) จะให้ค่าความชัน, B เท่ากับ 0.0831, 1.2249 และ 1.249 ตามลำดับซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับ 1.000 ดังแสดงจุดความสัมพันธ์ของสูตรทั้ง 3 ในรูปที่ 4.2 และยังพบว่าสูตรการดอกเสาเข็มเกือบทุกสูตรให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่สูงเกินจริงจึงจะพิจารณาได้จากค่าความชันของเส้นตรงตัวแทน, B ที่ได้มีค่าเกิน 1.000 ยกเว้น Gate Formula ที่ให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อยคือให้ค่า B เท่ากับ 0.8318 และถ้าพิจารณาค่า R^2 มีค่าสูงถึง 0.9702 ในส่วนของค่า C ของ Gate Formula ที่ได้มีค่าเพียง 10.8330 ซึ่งจะมีค่าน้อยที่สุดจากทุกๆสูตรการดอกเสาเข็มที่พิจารณา จากลักษณะดังกล่าว ในกรณีที่ค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ออกแบบไว้มีค่าน้อยกว่า 150 ดัน สำหรับเชิงใหม่ต้องมีความระมัดระวังในการใช้สูตรการดอกเข็มต่างๆให้มากเพราะค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จะให้ค่าที่สูงเกินจริง ซึ่งถ้านำไปใช้งานจะไม่ปลอดภัย ซึ่งในกรณีนี้ควรจะใช้สูตรของ Gate Formula ในการคำนวณเพราะจะมีแนวโน้มการประมาณค่าต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย และยังให้ค่า R^2 สูงมากและมีค่า C ต่ำกว่าทุกสูตร เมื่อทำการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่ากำลังรับน้ำหนักเสาเข็มที่ได้จากสูตรของ Gate Formula กับค่ากำลังรับน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบในสนาม ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุดประมาณ +35.29 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

พิจารณาข้อมูล 9 ตัวอย่างที่ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม มากกว่า 150 ดัน จากตารางที่ 4.11 พบว่า ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จาก Danish

Formula, Eytelwein Formula, Modified Engineering News และ Navy-McKay Formula ยังให้ค่าที่สูงเกินจริงอยู่ ส่วนค่าที่คำนวณได้จากสูตรของ Gate Formula, Canadian National Building Code และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521) จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ส่วนสูตรของ Janbu Formula, Pacific Coast Uniform Building Code และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามโดยจะมีค่า B เท่ากับ 1.1003, 0.8267 และ 0.9802 ตามลำดับ ดังได้แสดงจุดความสัมพันธ์ของสูตรทั้ง 3 ในรูปที่ 4.3 แต่เมื่อพิจารณาค่า R^2 และ σ จะพบว่า สูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) จะมีความเหมาะสมมากกว่าคือให้ค่า R^2 สูงกว่า และ σ ต่ำกว่า สูตรของ Janbu Formula และ Pacific Coast Uniform Building Code ซึ่งในกรณีนี้ สูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) มีความเหมาะสมในการนำไปคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ที่มีค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติสูงกว่า 150 ตัน และเมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดดังกล่าวมากที่สุดเพียง + 34.39 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า B, R^2 และค่า σ ของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 25 ตัวอย่าง

ลำดับที่	ชื่อสูตรการคอกเสาเข็ม	B	R^2	σ (ตัน)
1	Danish Formula	1.4863	0.9287	67.1893
2	Eytelwein Formula	2.7831	0.9224	131.6598
3	Gate Formula	0.5673	0.9269	25.9841
4	Janbu Formula	1.1926	0.9198	57.4354
5	Modified Engineering News	1.8735	0.9273	91.4718
6	Navy-McKay Formula	4.6960	0.8314	344.9029
7	Canadian National Building Code	0.7861	0.8765	48.1287
8	Pacific Coast Uniform Building Code	1.0392	0.9113	56.5448
9	Hiley Equation ^a	0.9803	0.9031	58.7153
10	Hiley Equation ^b	0.8370	0.9138	44.8345

หมายเหตุ: Hiley Equation^a คือสูตรที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988)

Hiley Equation^b คือสูตรที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท(2521)

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า B , R^2 และค่า σ ของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 16 ตัวอย่าง ที่เสาเข็มที่ทำการทดสอบ
ในสนามมีกำลังน้อยกว่า 150 ตัน

ลำดับที่	ชื่อสูตรการตอกเสาเข็ม	B	R^2	σ (ตัน)
1	Danish Formula	1.8455	0.9328	36.8108
2	Eytelwein Formula	2.9256	0.8559	76.1767
3	Gate Formula	0.8318	0.9702	10.8330
4	Janbu Formula	1.5450	0.9216	33.4780
5	Modified Engineering News	2.0001	0.9157	48.2178
6	Navy-McKay Formula	3.4696	0.8297	116.8053
7	Canadian National Building Code	1.2249	0.9385	23.2945
8	Pacific Coast Uniform Building Code	1.4222	0.9331	30.2630
9	Hiley Equation ^a	1.4330	0.9314	30.8911
10	Hiley Equation ^b	1.2490	0.9755	15.6518

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า B , R^2 และค่า σ ของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่างที่เสาเข็มที่ทดสอบใน
สนามมีกำลังมากกว่า 150 ตัน

ลำดับที่	ชื่อสูตรการตอกเสาเข็ม	B	R^2	σ (ตัน)
1	Danish Formula	1.3922	0.9476	47.5410
2	Eytelwein Formula	2.7458	0.9331	106.7240
3	Gate Formula	0.5126	0.9592	15.3415
4	Janbu Formula	1.1003	0.9511	36.2294
5	Modified Engineering News	1.8403	0.9324	76.9044
6	Navy-McKay Formula	5.0174	0.8484	307.9445
7	Canadian National Building Code	0.6712	0.9565	20.8870
8	Pacific Coast Uniform Building Code	0.8267	0.9560	27.6881
9	Hiley Equation ^a	0.9802	0.9666	27.5284
10	Hiley Equation ^b	0.7307	0.9666	21.2866

จากการพิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มทั้ง 3 กรณีข้างต้นพบว่าไม่มีสูตรการตอกเสาเข็มใดจากทั้ง 9 สูตรที่จะเหมาะสมใช้ได้ครอบคลุมสำหรับชั้นดินเชิงใหม่และในทุกๆค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติ แต่สามารถที่จะบอกได้ว่า ในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มมีค่าไม่มากคือไม่มากกว่า 150 ตัน Gate Formula มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ส่วนกรณีที่กำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มมีค่ามากกว่า 150 ตัน สูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวขีดหุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) จะมีความเหมาะสมในการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

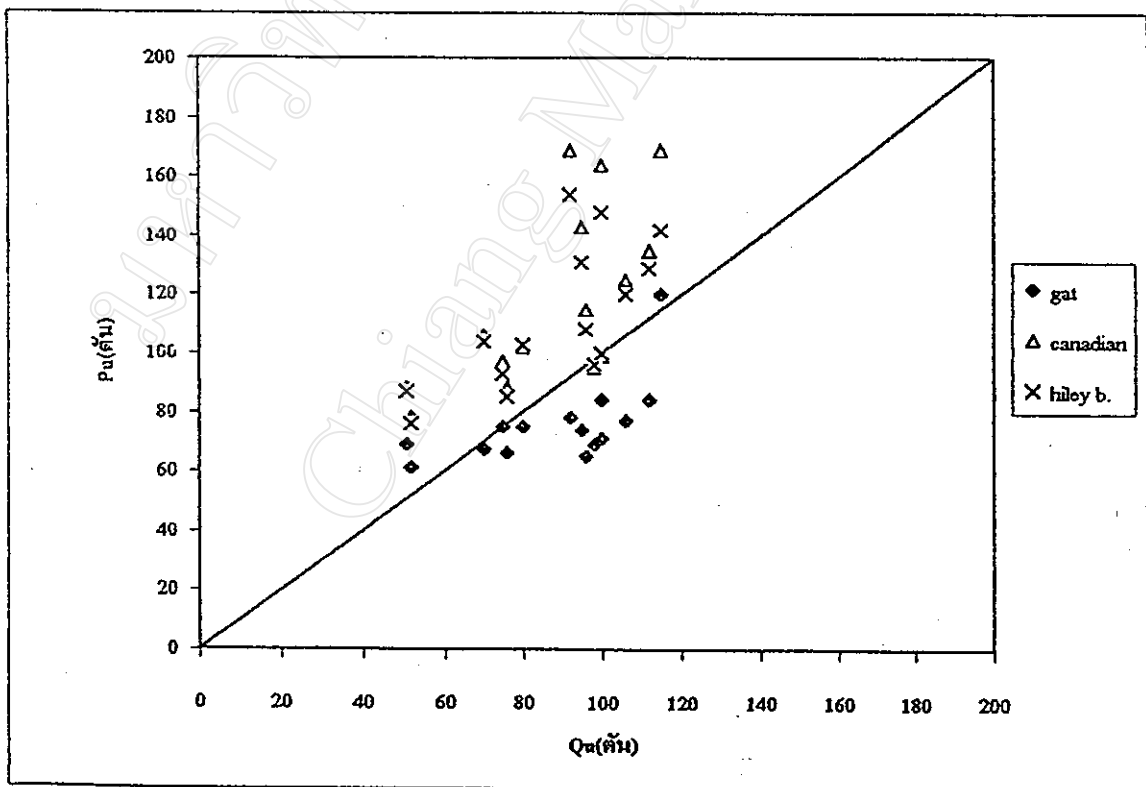
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการคำนวณของ Gate Formula กรณีที่กำลังรับน้ำ

หนักของเสาเข็มในสนามมีค่าน้อยกว่า 150 ตัน

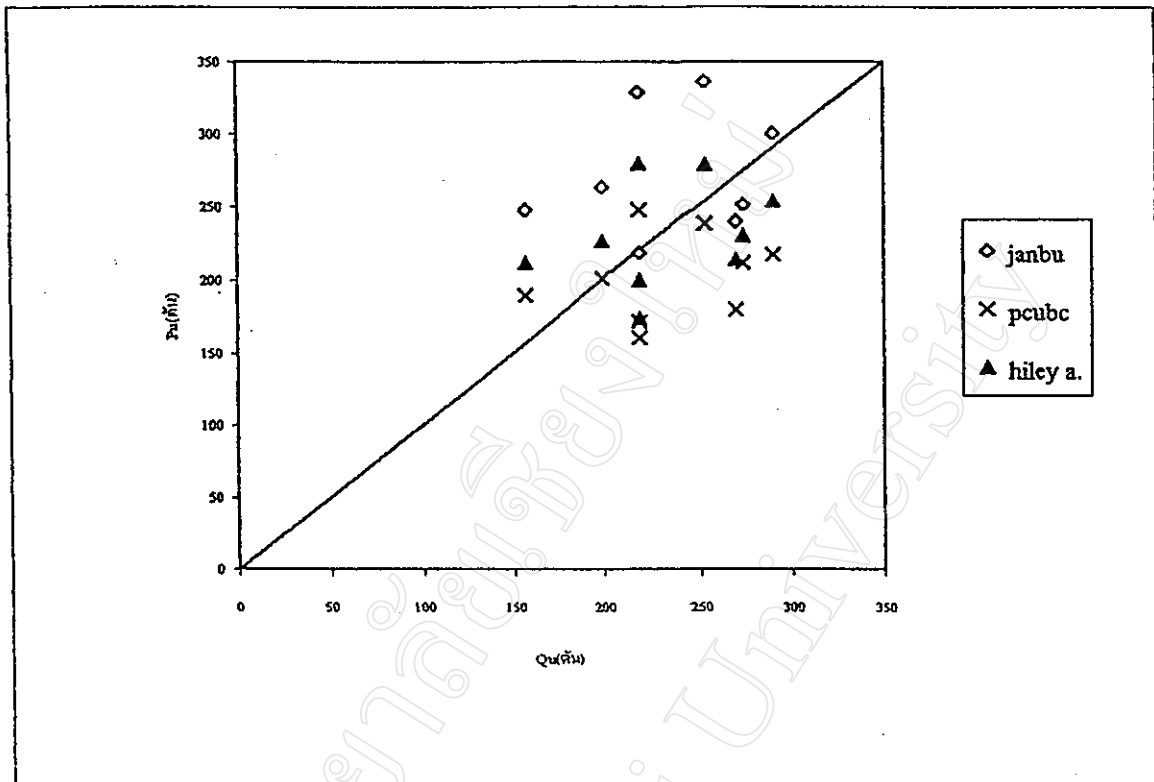
ลำดับที่	ชื่อโครงการ	ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตร(ตัน)	ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในสนาม(ตัน)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(%)
1	เอส.อาร์ คอนโดมิเนียม	120	115	+4.35
2	แฟลตตำรวจ อ.เชียงดาว	61	52	+17.31
3	แฟลตตำรวจ อ.เมือง	69	51	+35.29
4	ศูนย์การศึกษา แม่โจ้	78	92	-15.22
5	แฟลตตำรวจ อ.แม่แตง	75	75	0.00
6	อาคาร 3 ชั้น แม่โจ้	66	76	+13.13
7	ตึกเคมี 4 ชั้น ม.เชียงใหม่	67	70	-4.29
8	โครงการประปาแม่กง T1	65	96	-32.29
9	โครงการประปาแม่กง T2	74	95	-22.11
10	โครงการประปาแม่กง T3	84	100	-16.00
11	โครงการประปาแม่กง T4	77	106	-27.36
12	โครงการประปาแม่กง T4	84	112	-25.00
13	โครงการประปาแม่กง T6	77	100	-27.36
14	โครงการประปาแม่กง T7	69	98	-29.59
15	โครงการประปาแม่กง T8	71	100	-29.00
16	ฮิลล์ปาร์ค คอนโดมิเนียม	75	80	-6.25

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการคำนวณของ Hiley Equation^a กรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามมีค่ามากกว่า 150 ตัน

ลำดับ ที่	ชื่อโครงการ	ค่ากำลังรับน้ำหนัก ของเสาเข็มที่คำนวณ ได้จากสูตร(ตัน)	ค่ากำลังรับน้ำหนักของ เสาเข็มที่ได้จากการ ทดสอบเสาเข็มในสนาม (ตัน)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(%)
1	โรงพยาบาลโรคฟัน	213	270	-21.11
2	ตึกอริการบตี ม.แม่โจ้	279	220	+26.82
3	โครงการแมริมปรีนเซสส์1	173	220	-21.36
4	โครงการแมริมปรีนเซสส์2	226	157	+13.00
5	โกดัง บริษัท สหพานิช จำกัด	211	253	+34.39
6	โรงแรมแซงกรีตา	278	230	+9.88
7	โรงพยาบาลเชียงใหม่ราม1	253	290	-12.76
8	อาคารสำนักงานบริษัทนิคมพานิช	230	274	-16.06
9	ลิกลี คอนโดมิเนียม	199	220	-9.55



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็มที่ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามกรณีที่เสาเข็มรับน้ำหนักน้อยกว่า 150 ตัน



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็ม
ที่ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามกรณีที่เสาเข็มรับน้ำหนักมากกว่า 150 ตัน

4.3.3 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มจากลักษณะชั้นดินเชียงใหม่

ลักษณะชั้นดินในจังหวัดเชียงใหม่เป็นชั้นดินซึ่งเกิดขึ้นจากตะกอนของกลุ่มแม่น้ำในบริเวณ
แอ่งระหว่างเทือกเขาจะมีความสลับซับซ้อน คุณสมบัติทางวิศวกรรมมีการเปลี่ยนแปลงมาก ไม่มีหลัก
เกณฑ์ที่แน่นอน ดินบริเวณที่ใกล้เคียงกันที่ระดับความลึกเท่ากันอาจจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่แตกต่าง
กันมาก ชั้นดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยชั้นทรายซึ่งจะมีดินจำพวก Silt บนอยู่บ้าง และในชั้นดินบาง
ชั้นอาจจะมีชั้นกรวดปนอยู่ด้วย และในดินชั้นบนที่ความลึกประมาณ 0.5 ถึง 4.0 เมตร มักจะเป็นดิน
จำพวก Silty Sand ในบริเวณลานตะพัก(Terrace)อาจจะเป็นดินพวก Sandy Silt หรือ Silty Clay ใน
บริเวณที่ราบกลุ่มแม่น้ำ(จิตชัยและจิรพรรณ,2531)

จากข้อมูลที่ทำกรรวบรวมมาจากเสาเข็ม จำนวน 25 ต้น มีผลการเจาะสำรวจดินที่ทราบ
ลักษณะการวางตัวของชั้นดินจำนวน 11 ต้นจาก 4 โครงการดังแสดงในตารางที่ 4.14 จากลักษณะชั้นดิน
ดังกล่าวที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกพบว่าจากทั้ง 4 โครงการในที่นี้สามารถที่จะแบ่งลักษณะของชั้นดิน
ออกเป็น 2 ประเภทคือ

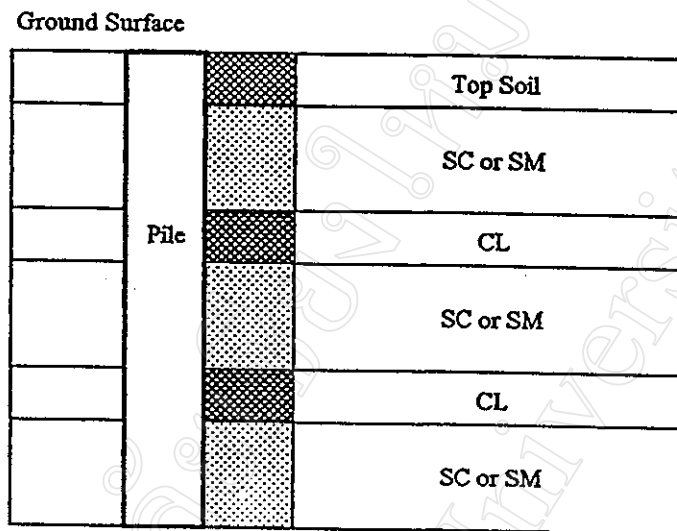
ประเภทที่ 1 ชั้นดินที่ตลอดความยาวของเสาเข็มส่วนใหญ่เป็นชั้นดินทรายแต่จะมีชั้นดินเหนียววางตัวสลับอยู่ระหว่างชั้นทรายนั่น ซึ่งชั้นดินเหนียวนี้จะมีจำนวน 1 ถึง 2 ชั้นแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ โดยปลายเสาเข็มจะวางอยู่บนชั้นทรายแน่น ซึ่งชั้นดินประเภทนี้ประกอบด้วยโครงการประปาเขื่อนแม่กวง, และโครงการฮิลล์ปาร์คคอนโดมิเนียม ตารางที่ 4.14 แสดงโครงการที่มีข้อมูลผลการเจาะสำรวจดินและจำนวนเสาเข็มทดสอบในโครงการ ซึ่งลักษณะชั้นดินประเภทที่ 1 นี้จะแสดงในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.14 แสดงโครงการที่มีข้อมูลผลการเจาะสำรวจดินและจำนวนเสาเข็มทดสอบในโครงการ

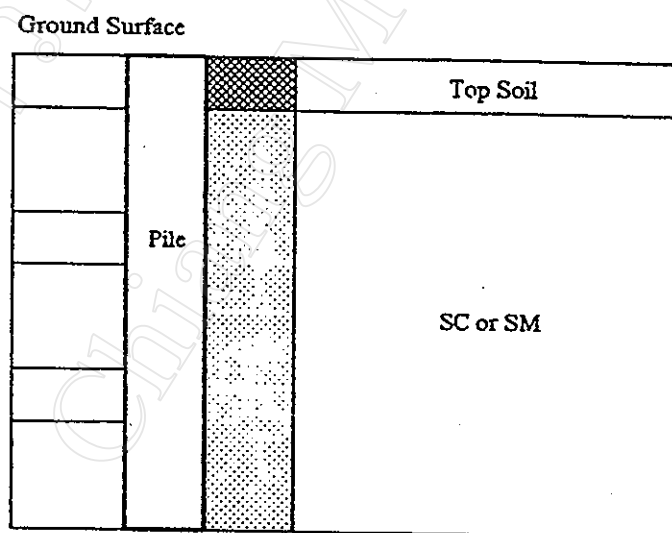
ลำดับที่	ชื่อโครงการ	จำนวนเสาเข็มทดสอบ(ต้น)
1	โครงการประปาเขื่อนแม่กวง	8
2	ฮิลล์ปาร์คคอนโดมิเนียม	1
3	โรงพยาบาลเชียงใหม่ราม 1	1
4	ลิลลี่คอนโดมิเนียม	1

ประเภทที่ 2 ชั้นดินตลอดความยาวของเสาเข็มส่วนใหญ่เป็นชั้นดินทรายและจะมีดินเหนียวหรือกรวดปนบ้างในแต่ละชั้นโดยปลายเสาเข็มจะวางอยู่บนชั้นทรายแน่น ซึ่งลักษณะของชั้นดินประเภทนี้ประกอบด้วยโครงการโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม 1 และโครงการลิลลี่คอนโดมิเนียม โดยลักษณะชั้นดินประเภทที่สองจะแสดงในรูปที่ 4.5

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 ถ้าทำการพิจารณาแยกตามประเภทชั้นดินทั้งสองประเภทที่กล่าวมาแล้ว สามารถที่จะเขียนกราฟการกระจายของกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรที่ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม พบว่าในดินประเภทที่ 1 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณจาก Gate Formula ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ใกล้เคียงกับเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1 โดยมีจุดความสัมพันธ์ส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้นตรงดังกล่าวเล็กน้อยแสดงในรูปที่ 4.6 จะแสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรของ Gate Formula เปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆที่คำนวณได้ และในชั้นดินประเภทที่ 2 แม้ว่าจากข้อมูลที่มีอยู่จะมีเพียง 2 โครงการเท่านั้นที่มีลักษณะชั้นดินประเภทนี้ แต่เมื่อทำการพิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามพบว่าสูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยืดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) จะให้ค่าที่ใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นสูตรของ Hiley ชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่วางอยู่ในชั้นทรายที่มีชั้นดินเหนียววางตัวสลับอยู่ได้ดีดังแสดงในรูปที่ 4.7

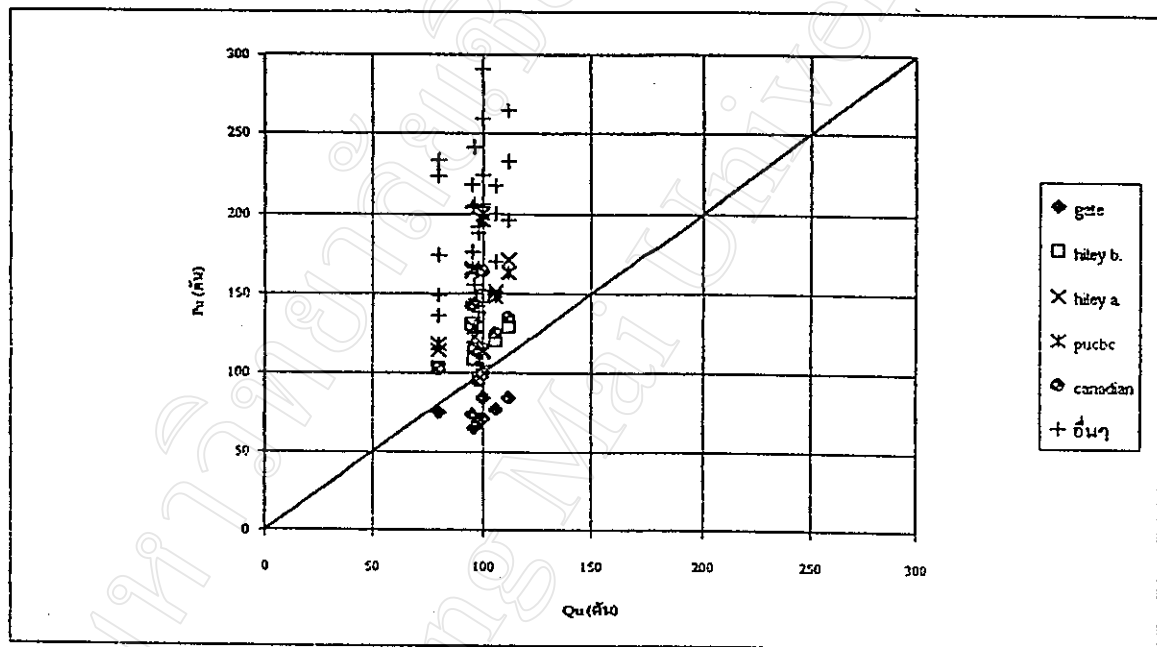


รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะชั้นดินประเภทที่ 1 ชั้นทรายสลับดินเหนียว

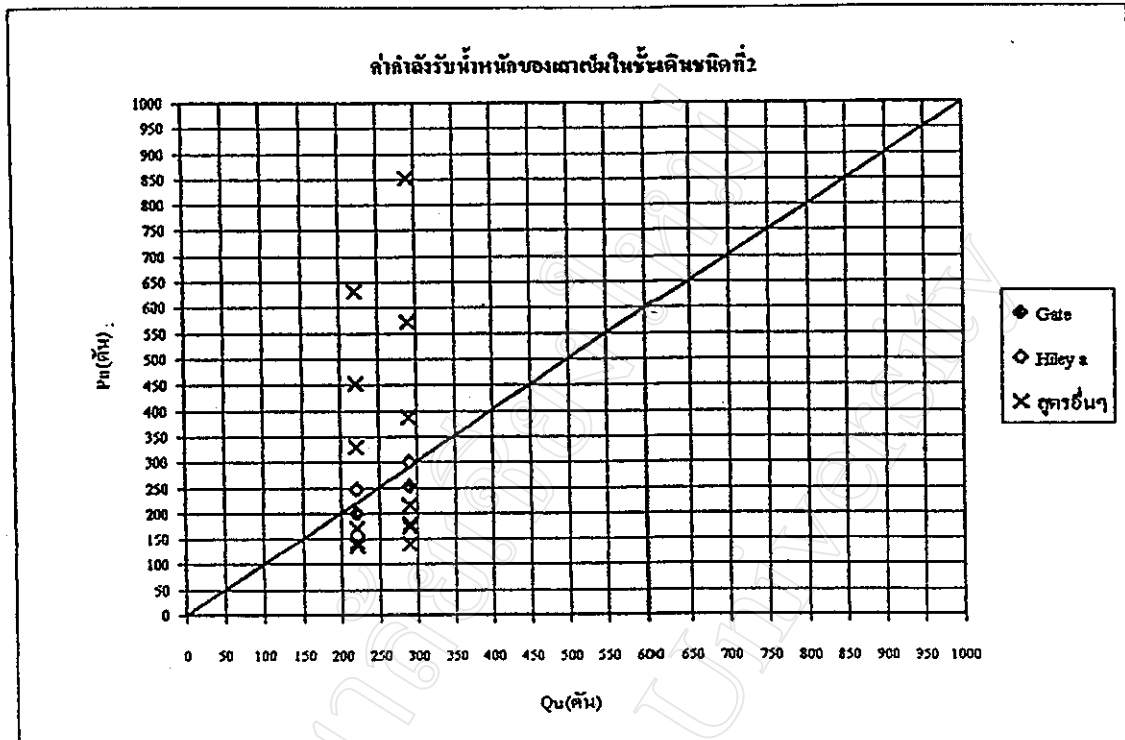


รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะชั้นดินประเภทที่ 2 ชั้นทราย

จากลักษณะของชั้นดินทั้งสองประเภทพอจะสรุปได้ว่า ชั้นดินประเภทที่มีดินทรายอยู่เป็นส่วนใหญ่ ถ้าใช้สูตร Gate Formula ในการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม ส่วนชั้นดินประเภทที่เป็นดินทรายและมีดินเหนียววางตัวสลับอยู่ ค่าที่ได้จากการใช้สูตร Hiley Formula ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) มีแนวโน้มที่จะใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในสนาม



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟการกระจายของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรของ Gate Formula และสูตรต่างๆกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามที่เสาเข็มอยู่ในชั้นดินประเภทที่ 1



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟการกระจายของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าขุดตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) และสูตรต่างๆ กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามที่เสาเข็มอยู่ในชั้นดินประเภทที่ 2

4.3.4 วิเคราะห์สูตรการตอกเสาเข็มจากความยาวของเสาเข็ม

ข้อมูลการตอกเสาเข็มทั้ง 25 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาถึงความยาวของเสาเข็มจะพบว่าในกลุ่มของข้อมูลที่กำลังรับน้ำหนักพิสัยของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามน้อยกว่า 150 ตันจะพบว่าเสาเข็มจะมีความยาวอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 12 เมตร และในกรณีที่มีมากกว่า 150 ตันเสาเข็มจะมีความยาวระหว่าง 12 ถึง 21 เมตร จากหัวข้อที่ 4.3.2 พบว่าสูตรของ Gate Formula และสูตรของ Hiley Formula ที่ใช้ค่าการขุดตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้ในสนาม ในกรณีที่เสาเข็มมีกำลังรับน้ำหนักน้อยกว่า 150 ตันและมากกว่า 150 ตันตามลำดับ

จากลักษณะดังกล่าวจะพิจารณาและสามารถที่จะสรุปได้ว่ากรณีที่เสาเข็มมีความยาวน้อยกว่า 12 เมตรสูตร Gate Formula จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามส่วนกรณีที่เสาเข็มมีความยาวมากกว่า 12 เมตร สูตร Hiley Formula ที่ใช้ค่า

การยุบตัวยืดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม

4.4 การวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เหมาะสมของสูตรการตอกเสาเข็มแต่ละสูตรที่นำมาทำการวิเคราะห์

4.4.1 การวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็มแต่ละสูตร

จากค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆดังได้ทำการวิเคราะห์มาแล้วนั้นพบว่าเป็นค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็ม(Failure Load) ซึ่งจะมีค่ามากบ้างน้อยบ้างตามลักษณะเฉพาะของสูตรการตอกเสาเข็มแต่ละสูตรและลักษณะชั้นดินในแต่ละแห่ง โดยการที่จะจัดสูตรการตอกเสาเข็มต่างๆเหล่านี้ให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ในรูปของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้(Allowable Load) นั้น วิธีการหนึ่งที่จะทำให้ก็คือ การหาตัวคงที่ที่เหมาะสมในรูปของตัวประกอบความปลอดภัยไปหารค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรเหล่านั้น แต่โดยทั่วไปในการออกแบบค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มส่วนใหญ่จะใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 2 ถึง 3 ในการออกแบบ ในหัวข้อนี้จะพิจารณาค่าตัวประกอบความปลอดภัยเท่ากับ 2.5 สำหรับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการทดสอบในสนาม ซึ่งค่าตัวประกอบความปลอดภัยสำหรับสูตรการตอกเสาเข็มนี้จะเป็ค่าที่ทำให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการทดสอบในสนามหารด้วย 2.5 โดยค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เหมาะสมในแต่ละสูตรการตอกเสาเข็มนี้สามารถเขียนเป็นสมการ ได้จากสมการที่ 4.1

$$FS = \frac{P_u}{Q_a} \quad (4.1)$$

$$\text{ซึ่ง} \quad Q_a = \frac{Q_u}{FS_t}$$

ให้

FS = ตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็ม

P_u = กำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตร

Q_u = กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในสนาม

Q_u = กำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในสนาม

FS_t = ตัวประกอบความปลอดภัยจริง(True Factor of Safety)ของการทดสอบเสาเข็มในสนาม

= 2.5

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของคาน้ำหนักพิบัติที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็มกับคาน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	ตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็ม										FS _s	ค่ารับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม (ตัน)
		Danish	Byelwein	Gate	Jumbo	Mod. ENR	Navy-McKay	Canadian	PCUBC	Elleya	Elleyb		
1	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	7.2	19.0	2.6	4.5	11.2	39.0	3.7	4.5	5.2	3.1	2.50	115
2	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	5.4	8.3	2.9	4.5	6.2	3.6	3.8	4.3	4.4	3.7	2.50	52
3	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	2.8	7.6	1.2	2.2	4.8	15.6	1.3	1.7	2.0	1.4	2.50	270
4	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	5.9	9.8	3.4	5.1	7.8	9.7	4.3	5.0	5.3	4.3	2.50	51
5	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	4.7	9.2	1.5	3.7	6.1	15.9	2.3	2.8	3.2	2.3	2.50	220
6	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	6.5	9.4	2.1	5.5	6.4	10.9	4.6	5.3	5.0	4.2	2.50	92
7	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	3.2	5.2	1.1	2.5	3.4	14.0	1.5	1.8	2.0	2.2	2.50	220
8	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	4.1	7.7	1.5	3.3	5.1	10.2	2.1	2.5	2.8	2.1	2.50	200
9	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	4.9	9.0	1.8	3.9	6.0	11.5	2.5	3.0	3.4	2.6	2.50	157
10	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	4.3	9.1	1.5	3.3	6.3	20.4	1.9	2.4	2.7	1.9	2.50	253
11	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	5.3	10.6	2.5	4.5	7.0	13.1	3.2	3.9	4.3	3.1	2.50	75
12	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	4.1	7.3	2.2	3.6	5.5	7.7	2.9	3.4	3.6	2.8	2.50	76
13	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	3.3	7.3	1.2	2.6	4.9	16.3	1.5	1.9	2.2	1.6	2.50	290
14	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	5.1	7.0	2.4	4.2	5.4	7.1	3.8	4.3	4.2	3.7	2.50	70
15	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	3.9	5.3	1.7	3.3	4.0	6.3	3.0	3.4	3.2	2.8	2.50	96
16	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	5.4	8.4	1.9	4.6	5.7	9.7	3.8	4.4	4.3	3.4	2.50	95
17	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	6.5	12.0	2.1	5.6	7.3	16.1	4.1	4.9	5.0	3.7	2.50	100
18	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	4.7	7.7	1.8	4.0	5.1	9.7	2.9	3.5	3.6	2.8	2.50	106
19	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง	5.2	9.5	1.9	4.4	5.9	13.3	3.0	3.6	3.8	2.9	2.50	112

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของคาน้ำหนักพิบัติที่คำนวณได้จากสูตรการหักเหที่เพิ่มกับคาน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	ตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการหักเหเพิ่ม										FS _s	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม (สัม)
		Danish	Eykelwein	Gate	Jumbo	Mod. ENR	Navy-McKay	Canadian	PCUBC	HDays	HDaysb		
20	โครงการชลประทานแควท6	4.7	7.7	1.8	4.0	5.1	9.7	2.9	3.5	3.6	2.8	2.50	106
21	โครงการชลประทานแควท7	3.5	4.9	1.8	2.8	3.6	4.8	2.4	2.8	2.8	2.4	2.50	98
22	โครงการชลประทานแควท8	3.6	5.2	1.8	3.0	3.8	5.1	2.5	2.8	2.9	2.5	2.50	100
23	อาคารสำนักงานบริษัทนิคมพานิช	2.8	4.8	1.0	2.3	3.3	5.1	1.6	1.9	2.1	1.7	2.50	274
24	ลิ้นชักคอนกรีตนิคม	3.8	7.2	1.5	2.8	5.1	17.4	1.5	1.9	2.3	1.6	2.50	220
25	อู่ประมงคอนกรีตนิคม	5.4	7.0	2.3	4.3	4.7	7.3	3.2	3.7	3.6	3.2	2.50	80
ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบความปลอดภัย		5	8	2	4	6	12	3	3	3.5	3		
ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ		3.0-4.0*	6*	3*	3.0-4.0*	6*	6*	3*	4*	4*	4*		

หมายเหตุ : a หมายเหตุการใช้ค่า Elastic Deformation ตามที่ Bowles(1988) แนะนำ

: b หมายเหตุการใช้ค่า Elastic Deformation ตามที่ วรท.(2521) แนะนำ

: Canadian หมายเหตุสูตร Canadian National Building Code

: PCUBC หมายเหตุสูตร Pacific Coast Uniform Building Code

: * จาก Bowles(1988)

: # จาก วรท.(2521)

ซึ่งค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็มแต่ละสูตรที่หาได้จากสมการที่ 4.1 ของเสาเข็มทั้ง 25 ตัวอย่าง แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 และ 4.16 รวมถึงค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่มีผู้แนะนำไว้ก็แสดงไว้ในตารางที่ 4.16 เช่นกัน จากค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็มที่หาได้สามารถที่จะสรุปได้ในตารางที่ 4.15 ซึ่งจะแสดงพิสัย(Range)ของค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็มในแต่ละสูตร และค่าตัวประกอบความปลอดภัยของแต่ละสูตรการตอกเสาเข็มที่หาได้โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบความปลอดภัยจากเสาเข็มทั้ง 25 ตัวอย่าง

จากค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เหมาะสมสำหรับดินเชิงใหม่ que แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าค่าตัวประกอบความปลอดภัยสำหรับสูตร Eytelwein Formula, Modified Engineering News และ Navy-McKay Formula ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9, 6 และ 13 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวเหล่านี้เป็นค่าที่ไม่ดีนักเนื่องจาก พิสัยของค่าตัวประกอบความปลอดภัยจากสูตรการตอกเสาเข็มทั้ง 3 สูตรมีค่ามาก ดังนั้นค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นค่าตัวประกอบความปลอดภัยของทั้ง 3 สูตรจึงไม่อาจจะเป็นตัวแทนที่ดีของค่าตัวประกอบความปลอดภัยในแต่ละสูตรได้ และสำหรับค่าตัวประกอบความปลอดภัยสำหรับสูตรการตอกเสาเข็มอื่นๆ นอกจากทั้ง 3 สูตรดังกล่าว เป็นค่าที่เชื่อถือได้และยังเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่มีผู้แนะนำไว้ในตารางที่ 4.16 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็มต่างๆ สำหรับเชิงใหม่

ลำดับที่	ชื่อสูตรการตอกเสาเข็ม	พิสัย(Range)ของค่าตัวประกอบความปลอดภัย	ค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็มในเชิงใหม่
1	Danish Formula	2.8-7.2	5.0
2	Eytelwein Formula	4.8-19.0	8.0
3	Gate Formula	1.0-3.4	2.0
4	Janbu Formula	2.2-5.5	4.0
5	Modified Engineering News	3.3-11.2	6.0
6	Navy-McKay Formula	5.1-39.0	12.0
7	Canadian National Building Code	1.3-4.6	3.0
8	Pacific Coast Uniform Building Code	1.7-5.3	3.0
9	Hiley Equation ^a	2.0-5.3	3.5
10	Hiley Equation ^b	1.4-4.2	3.0

หมายเหตุ: Hiley Equation^a คือสูตรที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988)

Hiley Equation^b คือสูตรที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521).

4.4.2 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ

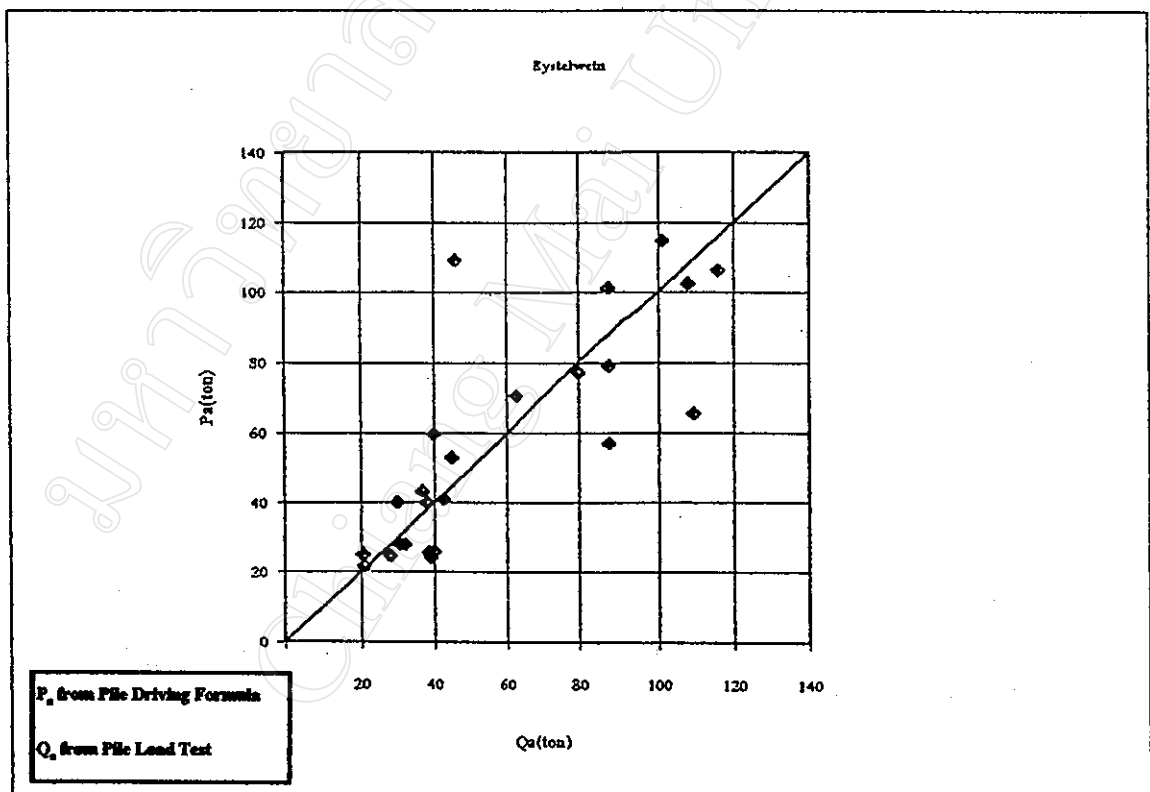
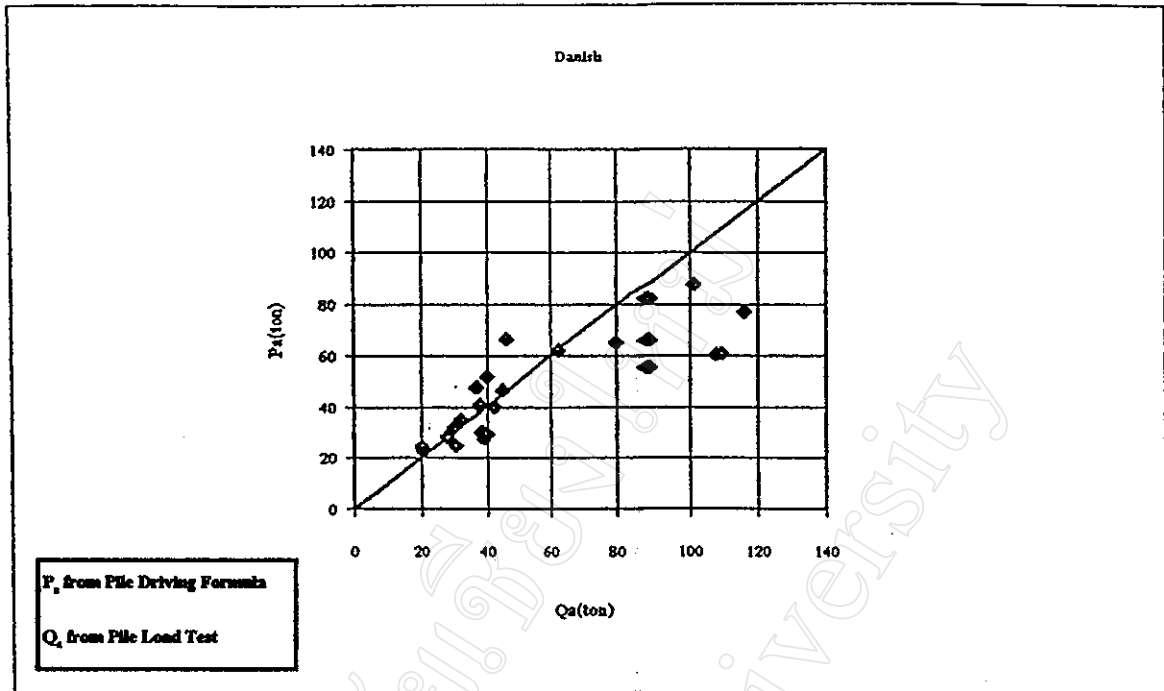
จากค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำสำหรับสูตรการตอกเสาเข็มที่จะนำมาใช้ในเชิงใหม่ดังแสดงในตารางที่ 4.16 นั้น เป็นค่าเฉลี่ยจากพิสัยของค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่หาได้ในแต่ละสูตร ดังนั้นการพิจารณาค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เหมาะสมจริงๆ นั้นต้องทำการพิจารณาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมจากสูตรการตอกเสาเข็มกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ได้จากการทดสอบในสนาม ว่าทั้งสองค่านี้มีค่าที่ใกล้เคียงและให้ความปลอดภัยมากหรือน้อยเพียงใดในแต่ละสูตรการตอกเสาเข็ม ค่าของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ทั้งสองค่าแสดงไว้ในตารางที่ 4.17 และเมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์จะได้ในรูปที่ 4.8

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.8 แล้วพบว่า ในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยคือน้อยกว่า 80 ตัน ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำไว้ในตารางที่ 4.16 ก็ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม จะเห็นว่าจุดความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.8 จะอยู่ไม่ห่างจากเส้นตรงความชันเท่ากับหนึ่งอยู่ไม่มากนัก ส่วนในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการทดสอบในสนามมีค่ามากกว่า 80 ตัน โดยส่วนใหญ่จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้จากการใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ น้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม ยกเว้นสูตรของ Navy-McKay Formula ที่ให้ค่าสูงและจุดความสัมพันธ์กระจายมาก แต่สำหรับสูตรอื่นๆ ถือว่าให้ค่าที่ปลอดภัยสำหรับกรณีนี้

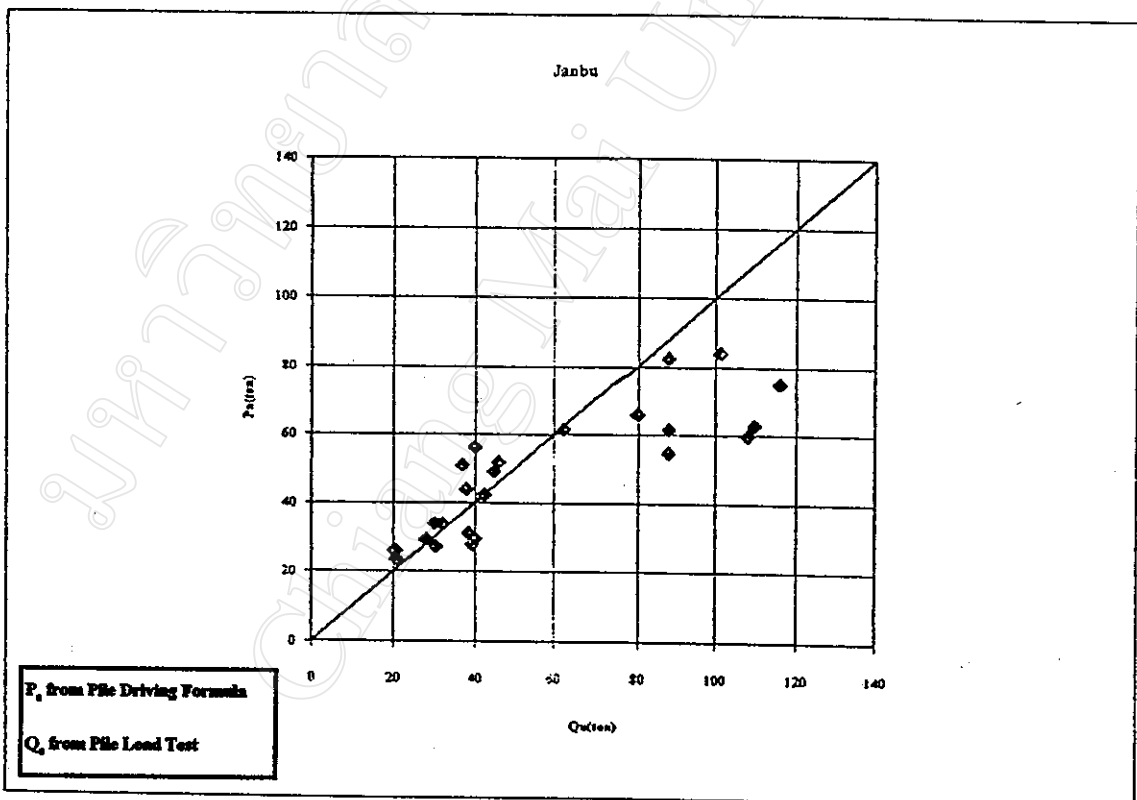
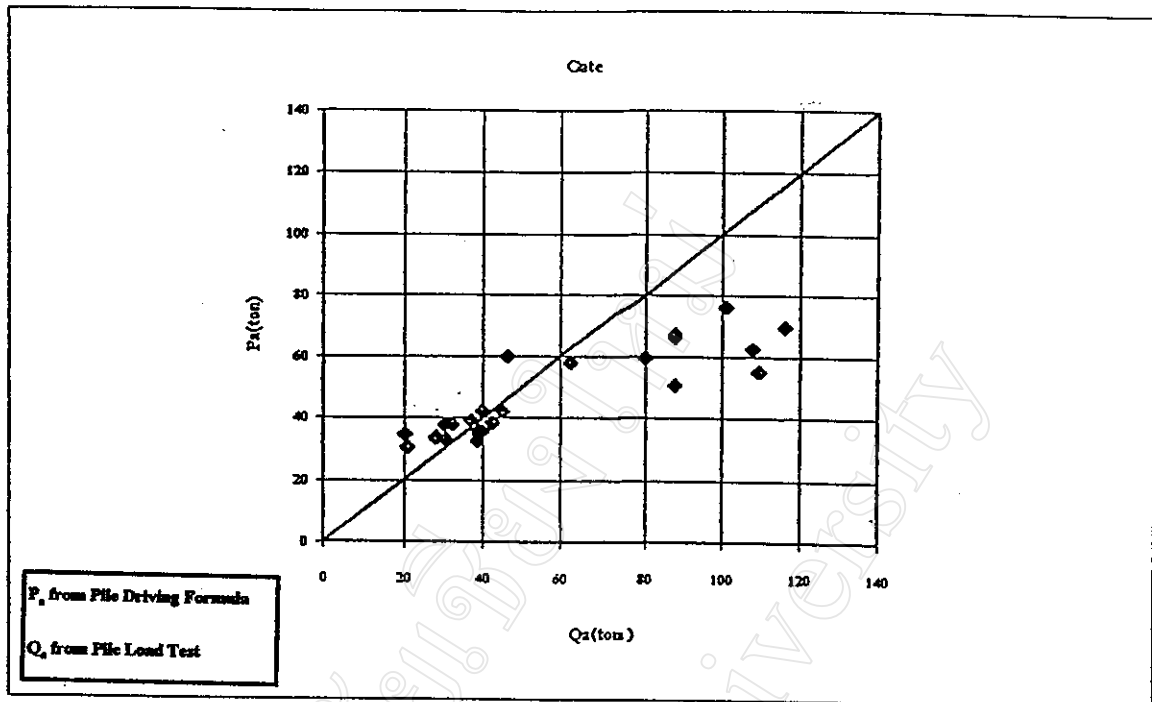
แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.8 จะพบว่า สูตรของ Gate Formula, Janbu Formula และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวตามคำแนะนำของ Bowles(1988) กับ วสท(2521) จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มจากสูตรการตอกเสาเข็มใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม ในช่วงที่ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้จากการทดสอบในสนามมีค่าน้อยกว่า 80 ตัน ส่วนในกรณีที่มากกว่า 80 ตันจะให้ค่าที่ต่ำ และเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าตัวประกอบความปลอดภัยในตารางที่ 4.15 จะพบว่าค่าตัวประกอบความปลอดภัยของทั้ง 4 สูตรจะมีพิสัยที่ค่าแสดงถึงค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่นำมาใช้มีความน่าเชื่อถือ และจากทั้ง 4 สูตรดังกล่าวจะสังเกตว่าในกรณีที่ กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามมีค่ามากกว่า 80 ตัน ค่าที่คำนวณกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ที่คำนวณได้จะน้อยกว่า เมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่หาได้ในตารางที่ 4.15 พบว่าในส่วนข้อมูลนี้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่หาได้น้อยกว่าค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำจึงทำให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ที่หาได้น้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นในกรณีทั้ง 4 สูตรดังกล่าวถ้าทำการปรับค่าตัวประกอบความปลอดภัยให้เหมาะสมขึ้นโดยให้อยู่ในพิสัยของแต่ละสูตรตามตารางที่ 4.15 ก็จะทำ

ตารางที่ 4.17 แสดงกำลังน้ำหนักของเสาเข็มตอกที่ยอมรับได้จากกำลังประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ และที่ได้จากข้อมูลการทดสอบ PLT

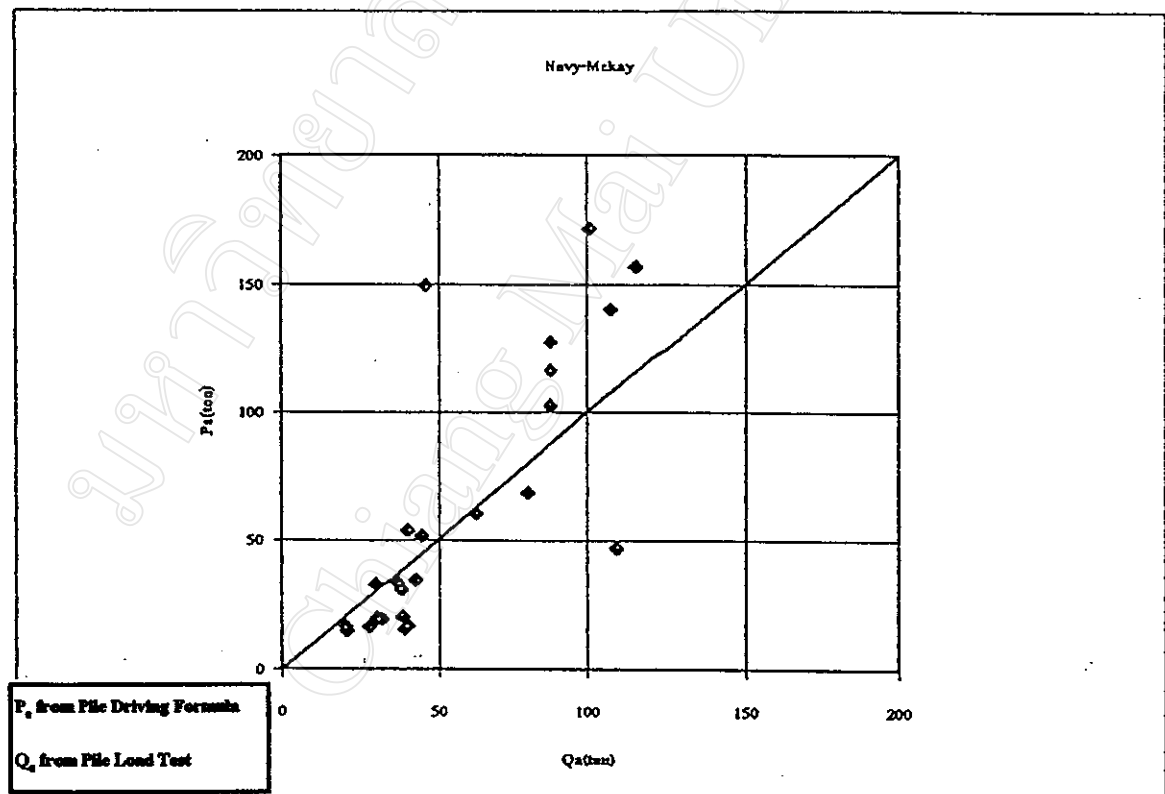
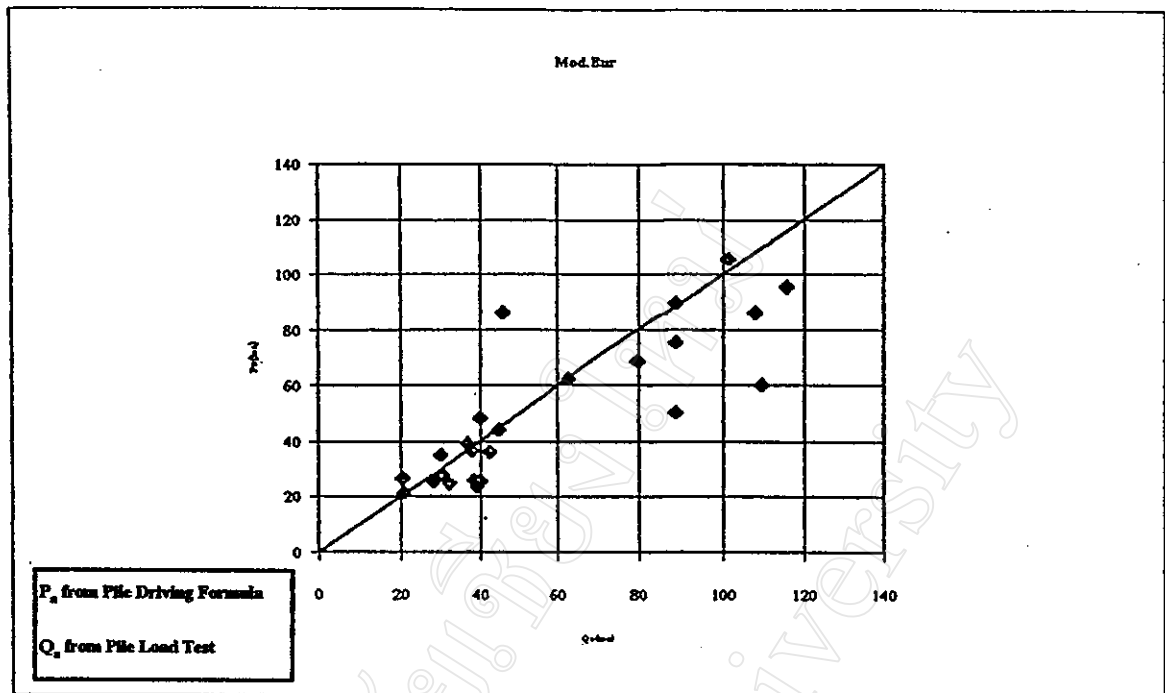
No.	Project Name	Allowable Capacity Load of Pile, P_a (ton)										Qa(ton) PLT
		danish	eythwein	gate	jumbo	mod. ENR	navy	camadian	pube	hleya	hleyb	
1	SR.CONDO	67	109	40	52	86	149	56	70	69	47	46
2	เขตการค้า อ.เจียงดาว	22	22	31	24	21	15	26	30	26	25	21
3	รพ. โรคพื้น	60	103	43	60	86	140	48	60	61	50	108
4	เขตการค้า อ.เมือง	24	25	35	26	27	17	29	34	31	29	20
5	กิจการแม่ไข่	33	101	47	82	89	117	66	82	80	67	88
6	ศูนย์การศึกษาแม่ไข่	48	43	39	51	39	34	56	65	53	51	37
7	แม่ริมปิ่นทศ1	56	57	51	55	50	102	43	53	49	65	88
8	แม่ริมปิ่นทศ2	65	77	60	66	69	68	55	67	65	57	80
9	โคก บ.สาพานิช	62	71	58	62	63	60	52	63	60	54	63
10	ร.ร.เชษฐา	38	115	77	84	106	172	63	79	79	65	101
11	เขตการค้า อ.แม่เมาะ	32	40	38	34	35	33	32	39	37	31	30
12	อาคาร 3 ชั้น แม่ไข่	25	28	33	27	28	20	29	34	31	28	30
13	รพ. เวียงป่าเป้า	77	106	70	75	95	157	58	72	72	60	116
14	ที่ดิน 4 ชั้น ม.ข.	28	25	34	29	25	17	35	40	33	35	28
15	ประปาแม่ทอง T1	30	26	33	31	26	20	38	43	35	36	38
16	ประปาแม่ทอง T2	41	40	37	44	36	31	48	55	47	44	38
17	ประปาแม่ทอง T3	52	60	42	56	49	54	55	65	57	49	40
18	ประปาแม่ทอง T4	40	41	39	43	36	34	42	49	43	40	42
19	ประปาแม่ทอง T5	46	53	42	49	44	52	45	54	49	43	45
20	ประปาแม่ทอง T6	40	41	39	43	36	34	42	49	43	40	42
21	ประปาแม่ทอง T7	28	24	35	28	24	16	32	36	31	32	39
22	ประปาแม่ทอง T8	29	26	36	30	25	17	33	38	33	33	40
23	อาคารสำนักงาน.นิคม	61	65	55	63	60	47	59	70	66	60	110
24	ตลาดจอนโดมนิคม	66	79	48	62	75	127	45	57	57	48	88
25	ตลาดจอนโดมนิคม	35	28	38	34	25	19	34	39	33	34	32



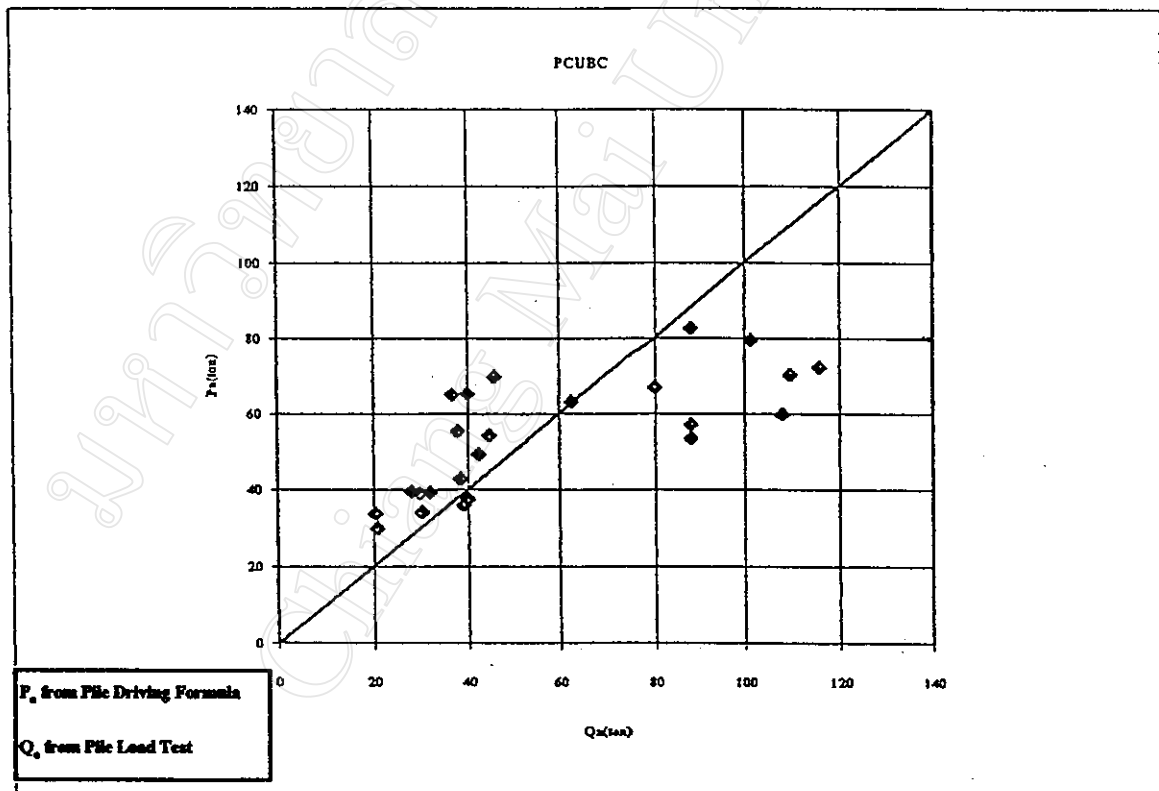
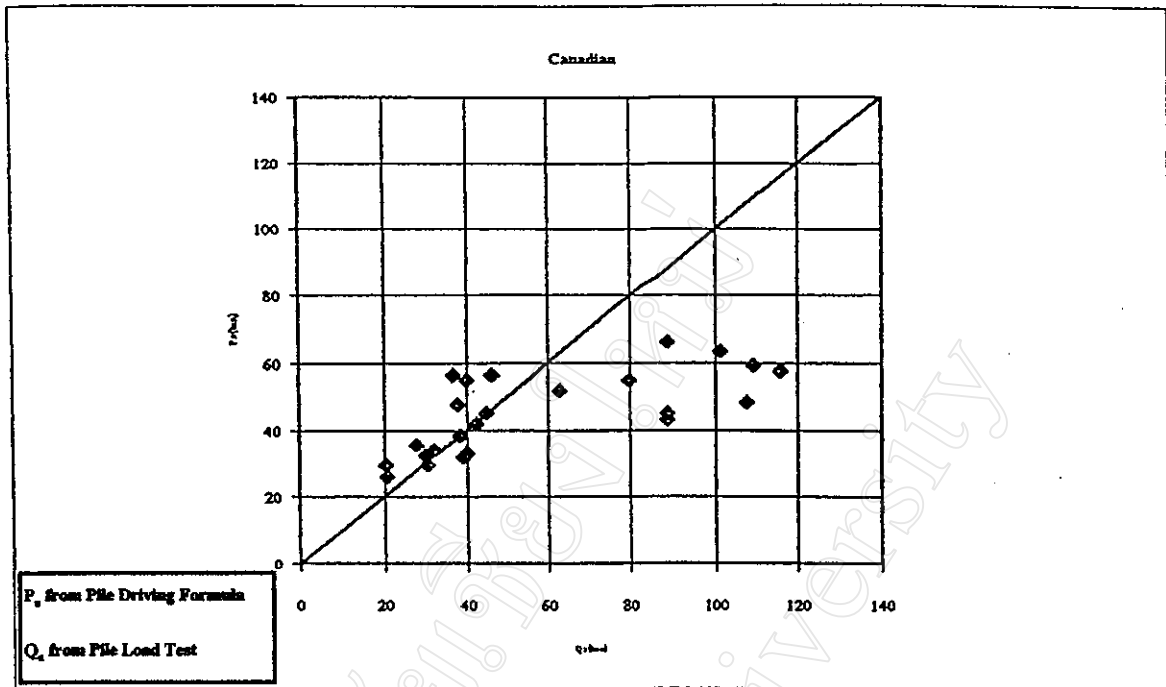
รูปที่ 4.8a แสดงกราฟค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ขอมให้จากการใช้ตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ



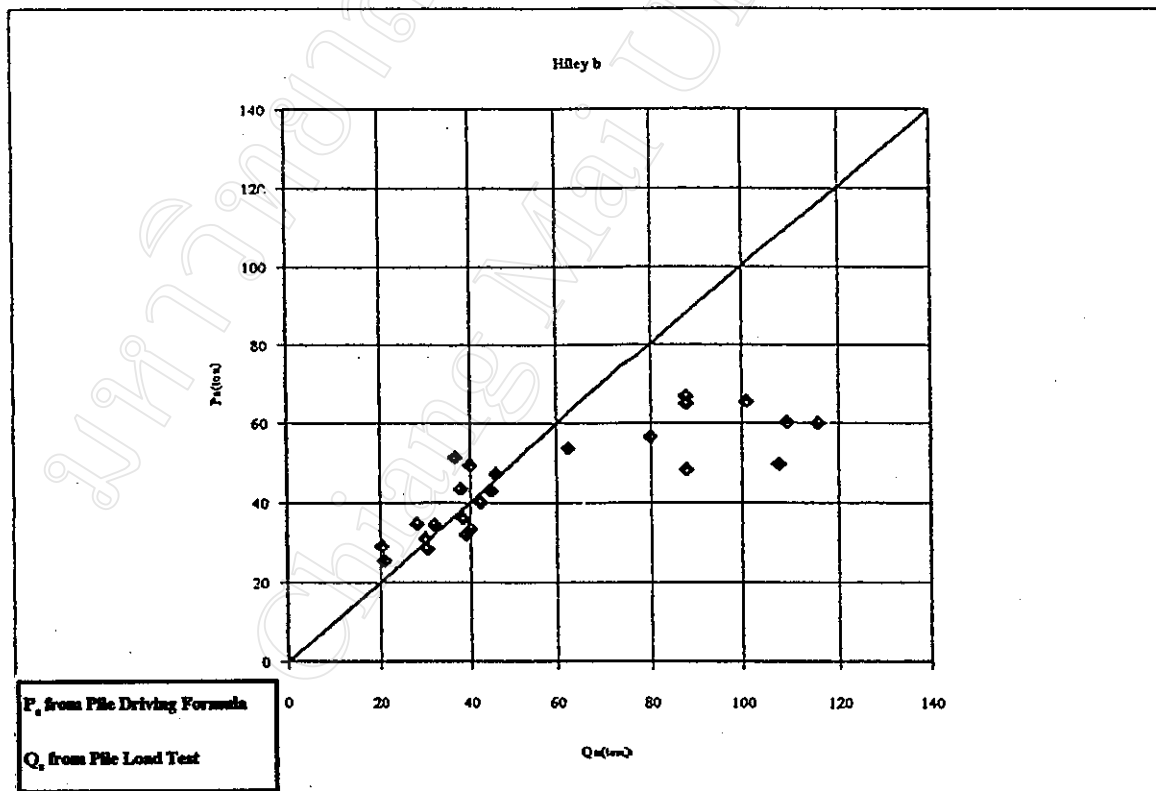
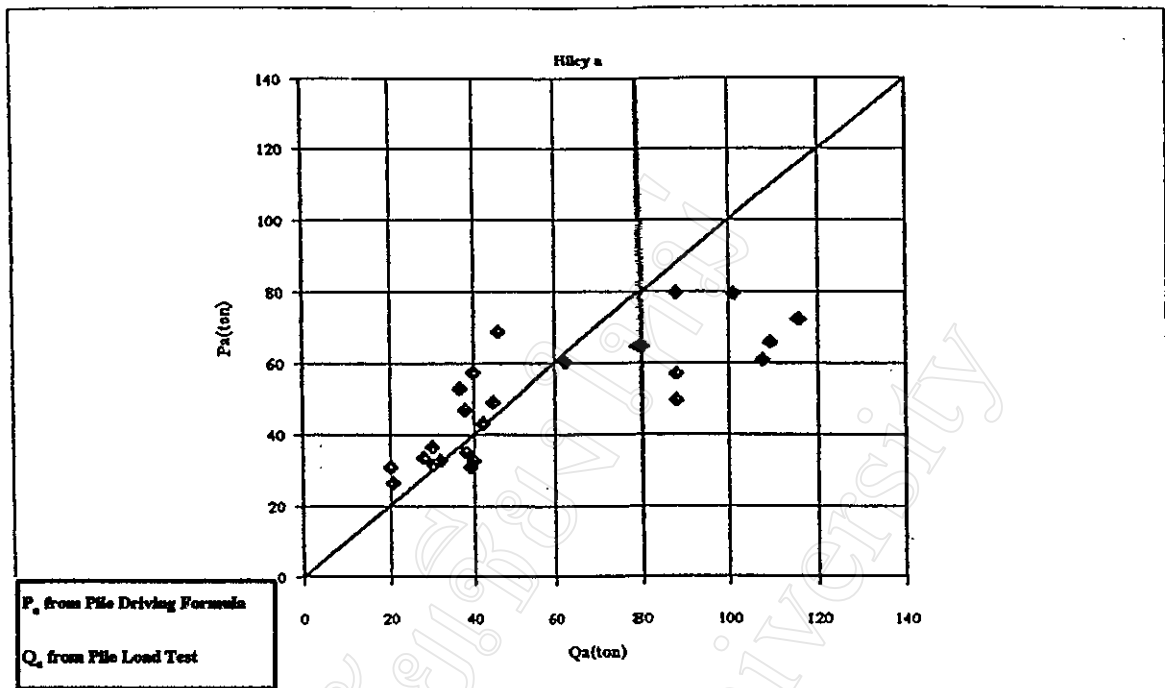
รูปที่ 4.8b แสดงกราฟค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมรับให้จากการใช้ตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ



รูปที่ 4.8c แสดงกราฟค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่บอมให้จากการใช้ตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ



รูปที่ 4.8d แสดงกราฟค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ขอมให้จากการใช้ตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ



รูปที่ 4.8e แสดงกราฟค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ขอมให้จากการใช้ตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ

ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามมากยิ่งขึ้น

จากการพิจารณาปรับค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็ม สูตรของ Gate Formula, Janbu Formula และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการขุดตัวตามคำแนะนำของ Bowles(1988) กับ วสท(2521) ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่ปรับแก้แล้ว

ลำดับที่	ชื่อสูตรการตอกเสาเข็ม	ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ	
		Q_u น้อยกว่า 80 ตัน	Q_u มากกว่า 80 ตัน
1	Gate Formula	2.5	1.5
2	Janbu Formula	5.0	3.5
3	Hiley Equation ^a	4.0	2.5
4	Hiley Equation ^b	4.0	2.5

หมายเหตุ: Hiley Equation ^a คือสูตรที่ใช้ค่าการขุดตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988)

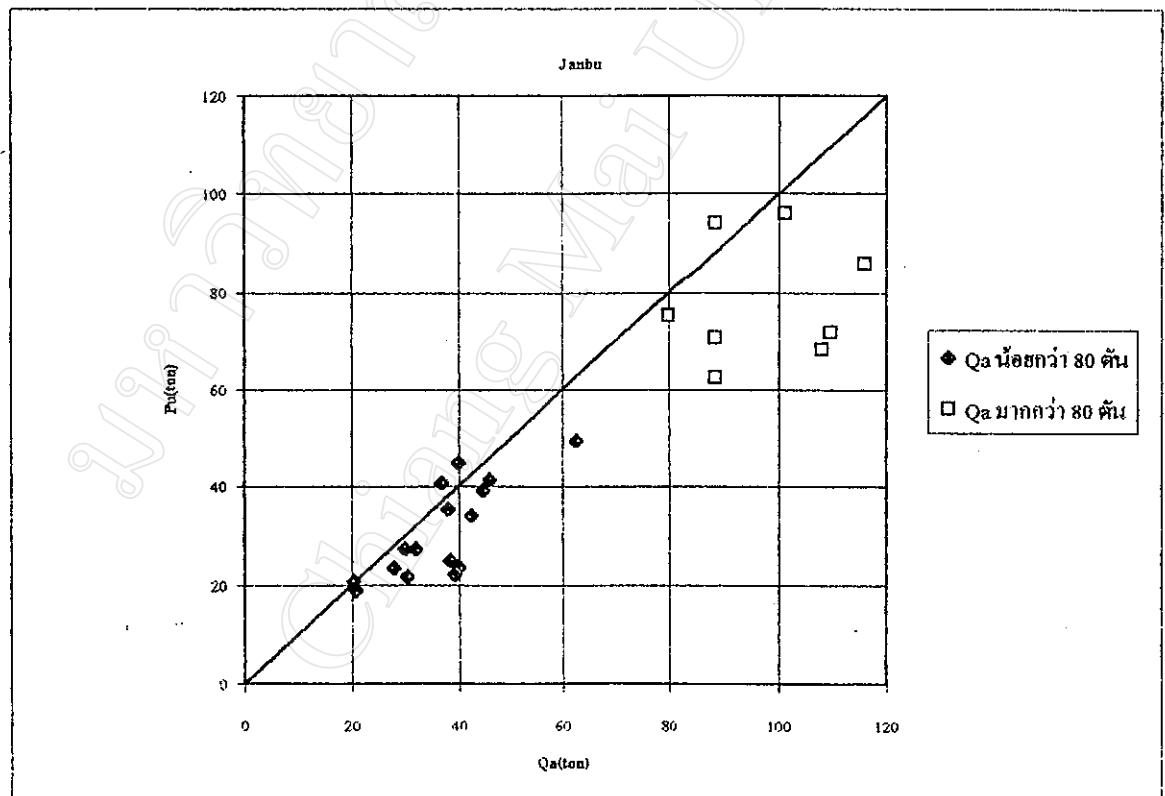
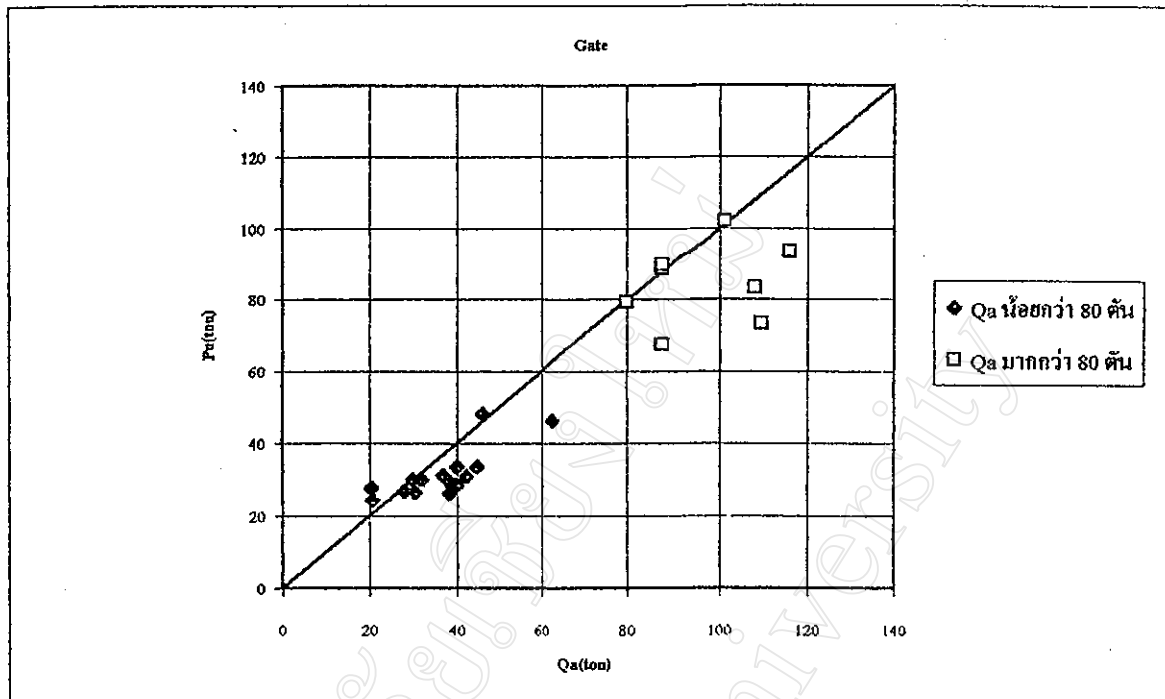
Hiley Equation ^b คือสูตรที่ใช้ค่าการขุดตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำไว้ในตารางที่ 4.18 จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามและค่าโดยส่วนใหญ่เป็นค่าที่ปลอดภัย

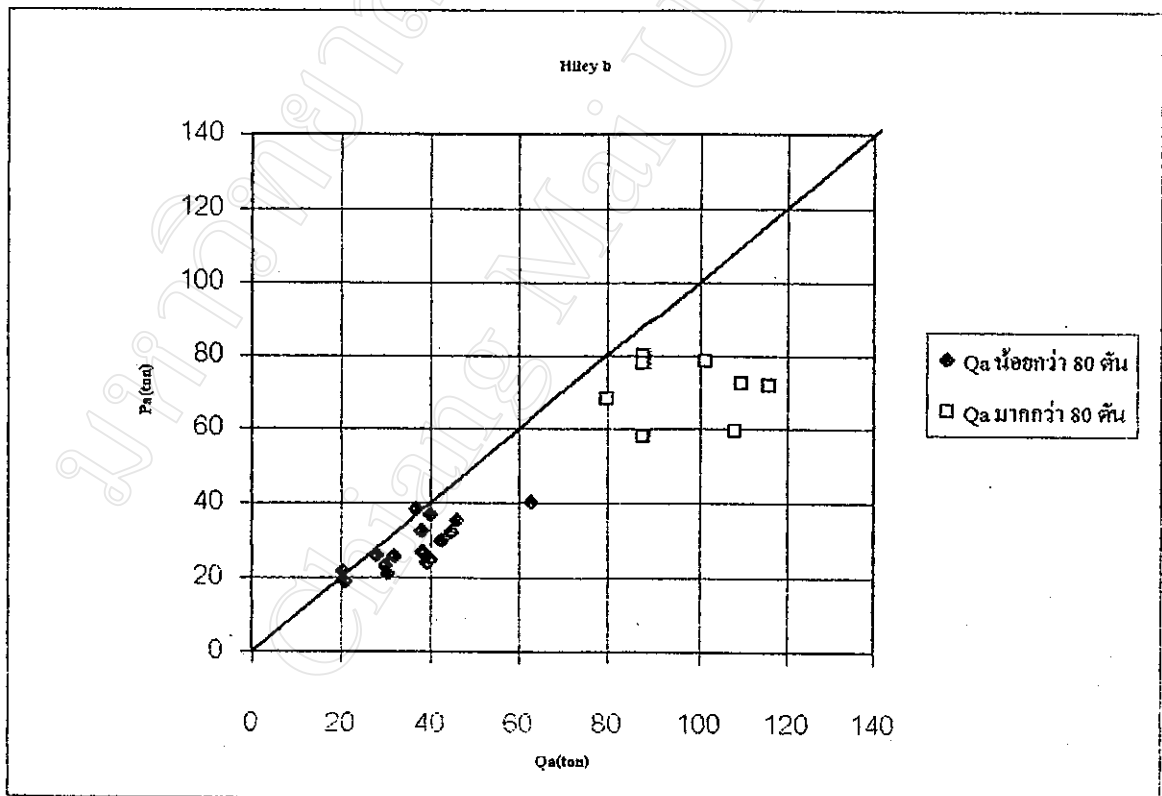
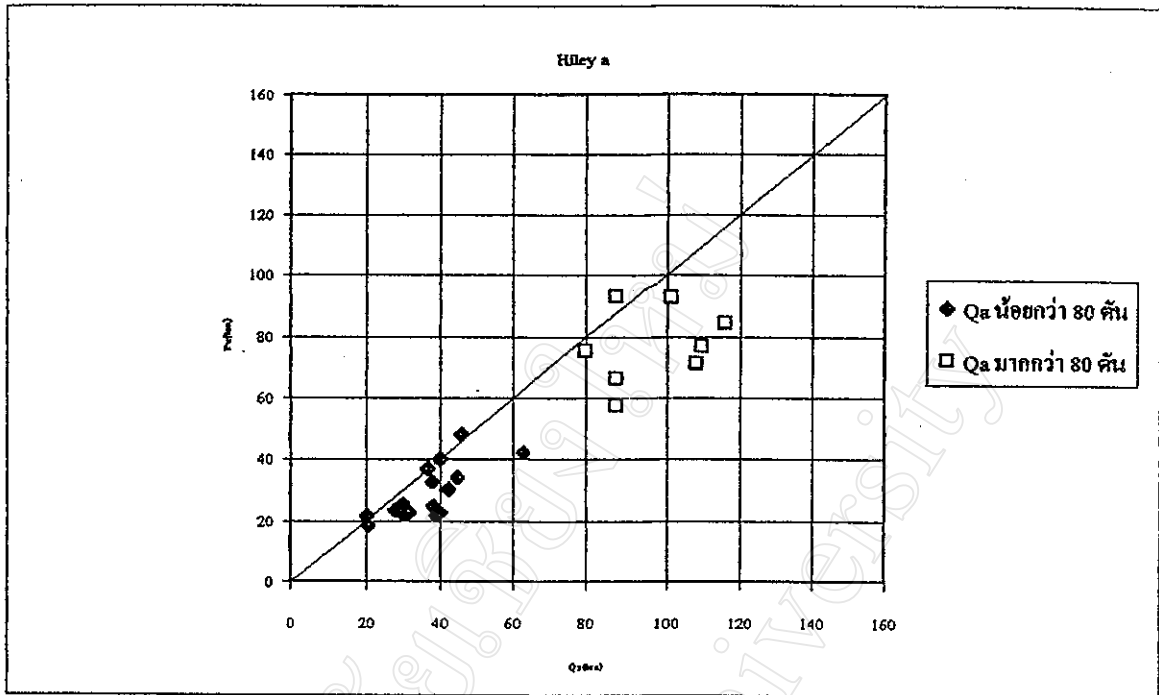
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นพอจะบอกได้ว่าสูตรการตอกเสาเข็มสำหรับเชิงใหม่ที่สามารถจะหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ได้ปลอดภัยและใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยเท่ากับ 2.5 คือสูตรของ Gate Formula, Janbu Formula และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการขุดตัวตามคำแนะนำของ Bowles(1988) กับ วสท(2521) ซึ่งค่าตัวประกอบความปลอดภัยของแต่ละสูตรและในแต่ละกรณีแสดงไว้ในตารางที่ 4.18

4.5 สรุป

จากการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลการตอกเสาเข็มเพื่อหาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับดินเชิงใหม่โดยใช้ตัวแปรทางสถิติช่วยในการตัดสินใจประกอบกับการวิเคราะห์ผลโดยพิจารณาจากกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำ



รูปที่ 4.9a แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมรับได้จากทั้งสองกรณี



รูปที่ 4.9 b แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติที่ขอมให้ของทั้งสองกรณี

หนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็มต่างๆกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามสามารถที่จะให้ข้อสรุปได้ดังนี้

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตรของ Danish Formula, Eytelwein Formula, Modified Engineering News และ Navy-McKay Formula จะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มสูงกว่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามมาก โดยค่าที่คำนวณได้จากสูตรของ Navy-McKay Formula จะให้ค่าสูงเกินมากที่สุดซึ่งต้องใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่มีค่าถึง 13 ส่วนในสูตรของ Danish Formula, Eytelwein Formula, Modified Engineering News จะใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยเป็น 5, 8 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งค่าตัวประกอบความปลอดภัยจากทั้ง 4 สูตรนี้มีเพียงค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่ใช้กับสูตรของ Danish Formula เท่านั้นที่พอจะเชื่อถือได้ ดังนั้นหากใช้สูตรการตอกเสาเข็มทั้ง 4 สูตรข้างต้นนี้มาทำการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในเชิงใหม่จะให้ค่าที่ไม่ปลอดภัยจึงไม่แนะนำให้ใช้ทั้ง 4 สูตรนี้

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตรของ Janbu Formula ในกรณีที่หาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติจะให้ค่าสูงกว่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามเล็กน้อย ซึ่งถ้าใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำไว้ที่มีค่าเท่ากับ 5 ในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการทดสอบในสนามมีค่าน้อยกว่า 80 ตันและ 3.5 ในกรณีที่ค่าดังกล่าวมากกว่า 80 ตัน ซึ่งจากการใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยในสูตรนี้ทั้งสองค่าใน 2 กรณีได้ว่า ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มที่ได้จากการใช้สูตรของ Janbu Formula ใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามและมีแนวโน้มในการให้ค่าที่ปลอดภัย ดังนั้นหากใช้สูตร Janbu Formula มาใช้คำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในเชิงใหม่ร่วมกับตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำก็จะให้ค่าที่เชื่อถือในระดับหนึ่ง

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตรของ Canadian Uniform Building Code และ Pacific Coast Uniform Building Code และ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการขุดตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท. (2521) ในส่วนของการหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มพบว่าค่าที่ได้จะน้อยกว่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนามในกรณีที่เสาเข็มมีกำลังรับน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบในสนามน้อยกว่า 150 ตัน และจะให้ค่าที่มากกว่า 150 ตัน จึงมีความไม่แน่นอนในการใช้สูตรทั้ง 3 สูตรนี้ แม้ว่าค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่ใช้กับทั้ง 3 สูตรนี้จะเป็นค่าที่น่าเชื่อถือก็ตามเพราะการกระจายของข้อมูลมีมาก แต่สำหรับในกรณีที่ต้องการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้สูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการขุดตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521) โดยใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 4 ในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการทดสอบในสนามมีค่าน้อยกว่า 80 ตันและ 2.5 ในกรณีที่ค่าดังกล่าวมากกว่า 80 ตัน ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้

ที่คำนวณได้จากตัวประกอบความปลอดภัยดังกล่าวจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากในสนามและมีแนวโน้มในการให้ค่าที่ปลอดภัย ดังนั้นหากใช้สูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ วสท.(2521)ร่วมกับตัวประกอบความปลอดภัยทั้งสองกรณีดังกล่าวค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มจะเป็นค่าที่น่าเชื่อถือได้

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตรของ Gate Formula ในกรณีที่หาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบในสนาม ในกรณีที่เสาเข็มจากการทดสอบในสนามมีกำลังน้อยกว่า 150 ตัน และจะให้ค่าน้อยกรณีที่มากกว่า 150 ตัน และนอกจากนี้สูตรของ Gate Formula ยังมีแนวโน้มที่ดีในการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่มีความยาวน้อยกว่า 12 เมตร และฝังอยู่ในชั้นทรายสลับกับชั้นดินเหนียว สำหรับตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำสำหรับ Gate Formula นี้ที่มีค่าเท่ากับ 2.5 ในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการทดสอบในสนามมีค่าน้อยกว่า 80 ตันและ 1.5 ในกรณีที่ค่าดังกล่าวมากกว่า 80 ตัน ก็มีความเชื่อถือได้ และมีแนวโน้มในการให้ค่าที่ปลอดภัย ดังนั้นหากใช้สูตร Gate Formula มาคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มในเชิงใหม่จะมีความเหมาะสมกรณีที่กำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มในสนาม ในกรณีที่น้ำหนักที่ให้ออกแบบมีค่าน้อยกว่า 150 ตัน

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988)ในกรณีที่หาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามในกรณีที่เสาเข็มจากการทดสอบในสนามมีกำลังมากกว่า 150 ตัน และจะให้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่คำนวณได้มากกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามเล็กน้อย ในกรณีที่น้ำหนักของเสาเข็มที่รับได้จากการทดสอบในสนามน้อยกว่า 150 ตัน และนอกจากนี้สูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) ยังมีแนวโน้มในการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่มีความยาวมากกว่า 12 เมตรได้ดีและในกรณีที่เสาเข็มอยู่ในชั้นทรายก็ยังมีแนวโน้มในการประมาณค่าน้ำหนักพิบัติได้ดี สำหรับค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำสำหรับสูตรนี้ที่มีค่าเท่ากับ 4.0 ในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการทดสอบในสนามมีค่าน้อยกว่า 80 ตันและ 2.5 ในกรณีที่ค่าดังกล่าวมากกว่า 80 ตัน ก็มีความเชื่อถือได้ และให้ค่าที่ปลอดภัย ดังนั้นหากใช้สูตร Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวยึดหยุ่นตามคำแนะนำของ Bowles (1988) มาคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในเชิงใหม่จะมีความเหมาะสมในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มในสนามในกรณีที่น้ำหนักที่ให้ออกแบบมีค่ามากกว่า 150 ตัน

จากข้อสรุปต่างๆในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าสำหรับชั้นดินเชิงใหม่สูตรการออกแบบเสาเข็มที่มีความเหมาะสมจะนำมาหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มมีอยู่ 2 สูตร คือ สูตรของ Gate Formula มีความเหมาะสมในกรณีที่เสาเข็มมีความสามารถในการรับน้ำหนักพิบัติน้อยกว่า 150 ตัน โดยความยาว

ของเสาเข็มน้อยกว่า 12 เมตรและฝังอยู่ในชั้นดินที่เป็นชั้นทรายสลับกับชั้นดินเหนียว โดยใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำให้ใช้สำหรับชั้นดินเชิงใหม่มีค่าเท่ากับ 2.5 ซึ่งค่าตัวประกอบความปลอดภัยนี้สอดคล้องกับค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำให้ใช้สำหรับสูตรของ Gate Formula ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 3 (Bowles,1988) ส่วนในกรณีที่เสาเข็มมีกำลังรับน้ำหนักพิบัติสูงกว่า 150 ตัน โดยความยาวเสาเข็มมากกว่า 12 เมตรและฝังอยู่ในชั้นทราย สูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าขุมตัวยึดหุ่่นตามคำแนะนำของ Bowles(1988) มีแนวโน้มในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ดี โดยใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำให้ใช้สำหรับชั้นดินเชิงใหม่มีค่าเท่ากับ 2.5