

ขั้นตอนวิธีการดำเนินการ และผลการวิจัย

4.1 ขั้นตอนการวิจัย

การศึกษาและการวิจัยมีขั้นตอนและวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

i) เก็บรวบรวมรายการผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม พร้อมทั้งข้อมูลการเจาะสำรวจ คุณสมบัติของดินทางวิศวกรรม ในบริเวณที่ทำการทดสอบเสาเข็ม และ บริเวณใกล้เคียงรวมทั้งเก็บตัวอย่างของดิน ในบริเวณที่ทำการทดสอบเสาเข็ม มาทดสอบหาคุณสมบัติด้านการรับกำลังรับแรงเฉือน (Direct Shear Test) และสมบัติชั้นพื้นฐานตลอดจน ความหนาแน่นสัมพัทธ์ในห้องปฏิบัติการ

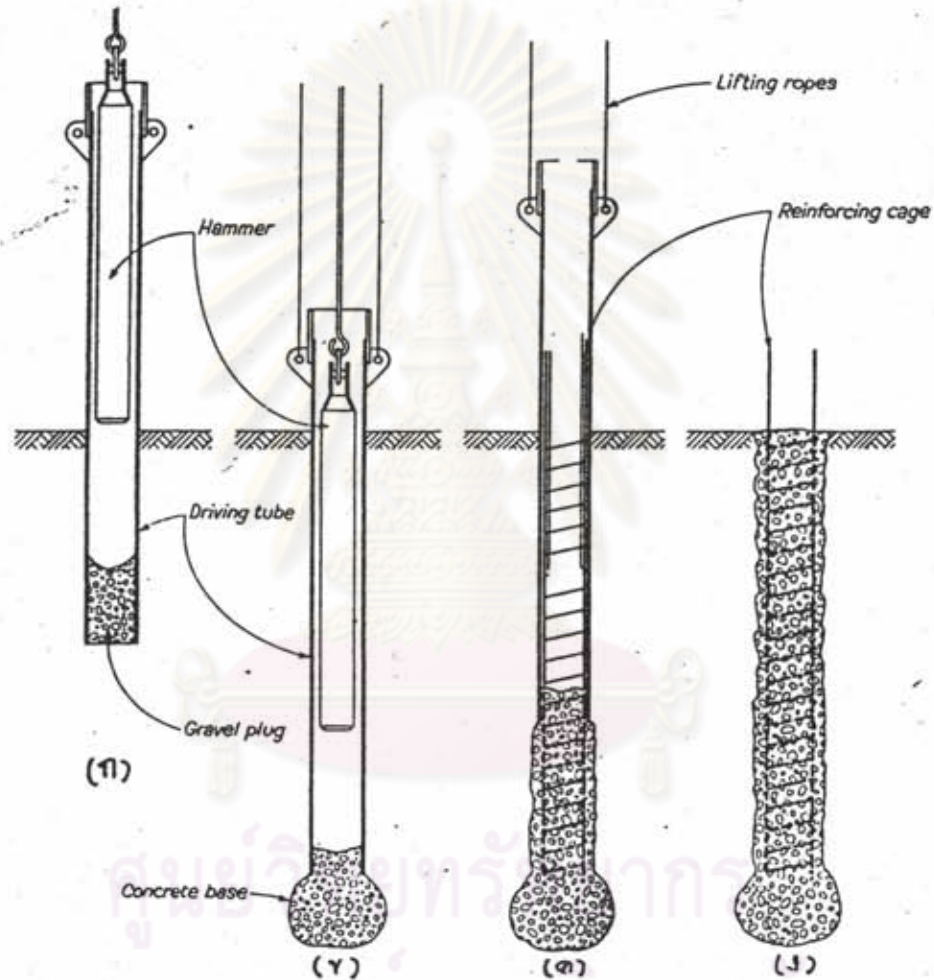
ii) หาค่า failure load ของเสาเข็ม Franki ทั้ง 8 ต้น ในสามสถานที่ ที่ทำการทดลอง และเสาเข็มเจาะอีก 1 ต้น ในบริเวณใกล้เคียงกับเสาเข็มหมายเลข 5 (P-5) ในหน่วยงานการไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ระยอง โดยในการทดสอบเสาเข็ม Franki นั้น ทดสอบจนวิบัติจำนวน 4 ต้น ส่วนเสาเข็มที่ทดสอบไม่ถึงวิบัตินั้น ใช้วิธีการของ Chin.1970 ในการหาน้ำหนักบรรทุกที่จุลวิบัติโดยอาศัยผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ทั้งนี้วิธีการหา failure load โดยวิธีการอื่นๆรวมทั้ง ข้อมูลของเสาเข็ม แสดงไว้ในตารางที่ 4.5, รูปที่ 4.23 ถึง 4.36

iii) จากผลการวิเคราะห์ค่า กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยแยกเป็นกำลังรับแรงจร (End Bearing) และกำลังรับแรงเสียดทาน (Skin Friction) โดยใช้วิธีการตามที่ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 จากนั้นจึงวิเคราะห์กลับ (Back Analysis) เพื่อหาค่าตัวประกอบรับแรงจร,  $N_q$  ที่ปลายเสาเข็ม และ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน,  $K_s \tan \phi'_a$  เกลี่ย

iv) จากค่า  $N_q$  และ  $K_s \tan \phi'_a$  ที่ได้ นำมาหาความสัมพันธ์ ร่วมกับค่า  $\phi'$  ที่ได้ จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อเลือกใช้ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับ เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบเสาเข็มชนิดนี้

รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการตอก และหล่อ เสาเข็ม Franki

- ก. ตอกหิน เพื่อจุดปลูกเหล็ก ลงสู่ระดับความลึกที่ต้องการ
- ข. ตอกคอนกรีตแห้ง (dry mixed concrete) ในปลอกเหล็กเพื่อขยายฐาน
- ค. หล่อตัวเสาเข็ม (pile shaft) พร้อมกับถอนปลอกเหล็กขึ้น
- ง. เสาเข็มที่ตอก และหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ศูนย์วิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2 การตอกเสาเข็ม Franki

ปั้นจั่นสำหรับตอกเสาเข็ม Franki นำมาจากประเทศ สหราชอาณาจักร โดย บริษัท KINSUN ประเทศไทย จำกัด โดยปั้นจั่นนี้มีความสูงของราง 15 เมตร และปลอกเหล็กที่ใช้สำหรับการตอกนี้ ยาว 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 60 ซม. ความหนาของปลอกเหล็ก 0.625 นิ้ว ขนาดของค้ำตอก (ตอกภายในปลอกเหล็ก) เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 33 ซม. ยาว ประมาณ 5.5 เมตร น้ำหนักค้ำตอกรวมทั้งสิ้น 3,800 กก. กระบะ (hopper) สำหรับเทคอนกรีตแห้ง (dry mixed concrete) มีความจุ 0.165 ลูกบาศก์เมตร

ส่วนประกอบของเสาเข็ม Franki มีสองส่วนคือ

1. ส่วนปลาย (Expanded Base)
2. ส่วนตัวเสาเข็ม (Shaft)

ขั้นตอนในการตอก และหล่อเสาเข็มแสดงไว้ในรูปที่ 4.1

### 4.2.1 ขั้นตอนวิธีการตอกทดลอง

1. เมื่อเคลื่อนย้ายปั้นจั่นมายังตำแหน่งที่ต้องการตอกแล้ว ปลอกเหล็กปลายเปิดทั้งสองข้าง จะถูกวางลงยังตำแหน่งที่ผิวดิน หิน (Selected Material) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย ประมาณ 1 นิ้ว จะถูกเทลงไปในปลอกเหล็ก ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นค้ำเหล็กจะถูกยกเข้าไปในปลอกเหล็ก และปล่อยให้ตกกระทบกับหินซึ่งอยู่ภายใน เมื่อหินถูกตอก แรงส่วนหนึ่งจะทำให้หินแตกออก (ตอนบนๆ) แรงอีกส่วนหนึ่งจะดันหินออก และจุดให้ปลอกเหล็กทะลุลงไปในดินได้ หินซึ่งอยู่ภายในปลอกเหล็ก เมื่อถูกตอกมากเข้าจะแตกจนละเอียด เรียกว่า plug บางส่วน หลุดออกจากปลอกเหล็กต้องเติมหินเข้าไปเพิ่ม โดยสังเกตจากขีดที่ขีดไว้บนสลิง เมื่อปลอกเหล็กถูกตอกตามขั้นตอนดังกล่าว จนกระทั่งถึงระดับความลึกที่กำหนด หรือจนกระทั่งถึงชั้นความลึกที่คาดว่ามีความหนาแน่นของดินเพียงพอ ปลอกเหล็กจะถูกแขวนโดยยึดติดกับตัวปั้นจั่น ทำให้ไม่สามารถทะลุลงไปในดินได้อีก ดังนั้นจากการตอกในครั้งต่อมาจึงเป็นการตอก plug ซึ่งอยู่ภายในให้หลุดออกจากปลอกเหล็ก ในอีกทางหนึ่ง plug ที่หลุดออกจะไปดันดินที่อยู่ใต้ปลอกเหล็กลงไป ทำให้เกิดแรงอัดอย่างมากและขยายตัวออก plug ส่วนหนึ่งจะไปแทนที่ดิน และในอีกส่วนหนึ่งจะยังคงค้างอยู่ในปลอกเหล็ก เพื่อกันน้ำใต้ดินไม่ให้ไหลเข้ามาในปลอกเหล็ก

2. เมื่อตอก plug เรียบร้อยแล้วจึงนำ dry mixed concrete (คือคอนกรีต ซึ่งผสมตามส่วนคล้าย lean concrete โดยไม่ผสมน้ำ แต่อาศัยความชื้นจากส่วนผสมของหิน และทรายที่มีอยู่ (โดยคำแนะนำของบริษัท Franki จะต้องบีบได้โดยไม่ร่วน และมีความแน่น) มาเทลงในปลอกเหล็ก



และใช้ค้ำคอกให้ concrete นั้นหลุด และขยายออกจากปลอกเหล็ก การยกค้ำคอกในชั้นคอนกรีตนี้ต้องไม่ยกสูงเกินไป ต้องอาศัยความชำนาญเพราะไม่เช่นนั้น หินและทราย ที่เป็นส่วนประกอบของ dry mixed concrete จะแตกละเอียดไม่มีสภาพภายหลังการคอกเป็นคอนกรีต ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเสาเข็มชนิดนี้ ขนาด และรูปร่างของ expanded base จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของดิน ก็จะมีส่วนกว้างมากกว่าส่วนลึกเมื่อคอกขยายฐานในชั้นดินที่มีค่าความหนาแน่นสูง และจะมีส่วนลึกมากกว่าส่วนกว้างถ้าดินชั้นที่ทำการขยายฐานมีค่าความหนาแน่นต่ำ จากสมมุติฐานเหล่านี้ ประกอบกับลักษณะที่ทำการขุดเสาเข็มขึ้นมาเพื่อตรวจสอบ จะทำให้สามารถประเมินขนาดของพื้นที่ที่รับน้ำหนักในส่วนปลายของเสาเข็มได้ (projectd area at the base)

3. เมื่อขยายฐานจนกระทั่งถึงความหนาแน่นที่คอกไม่ลงแล้ว (สังเกตจากขีดบนสลิง) เหล็กเสริมจะถูกใส่ลงไปในปลอกเหล็กเป็นชั้นคอนกรีตต่อมา พร้อมทั้งจะทำการหล่อตัวเสาเข็ม เมื่อคอนกรีตตัวเสาเข็ม (ใช้คอนกรีตธรรมดาที่มีค่า strength 280 ksc.cube strength) ถูกเทลงไปในปลอกเหล็กจะค่อยๆถูกยกขึ้น จนกระทั่งหลุดขึ้นจากผิวดิน เสาเข็ม Franki ที่ทำการคอกทดลองในจังหวัดระยอง จะมีความแตกต่างจากเสาเข็ม Franki ที่มีใช้ในบางพื้นที่ คือตัวของเสาเข็มจะไม่ใช้การหล่อคอนกรีต แต่จะใช้ dry mixed concrete เช่นเดียวกับส่วนปลายเสาเข็ม และจะค่อยๆคอกพร้อมๆกับการยกปลอกเหล็กขึ้น ซึ่งวิธีการเช่นนี้ภายหลังไม่ค่อยเป็นที่นิยม เพราะเหล็กเสริมที่อยู่ภายในมักเกิดการเสียหายและ ชั้นคอนกรีตดังกล่าวกินเวลามากกว่า

#### 4.2.2 สภาพภายหลังการคอกและหล่อเสาเข็ม Franki

##### สภาพของเสาเข็มภายหลังการคอก

จากผลการทดสอบ seismic ของเสาเข็ม ทุกต้น ณ.พื้นที่ทำการทดลองทั้ง 3 แห่ง (ตำแหน่งและที่ตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ถึง 3.3) ไม่พบความผิดปกติในการทดสอบน้ำหนักของเสาเข็มทั้งหมด

##### เสาเข็มที่โครงการ ทู่น คอนโดมิเนียม

เสาเข็มหมายเลข P-2 ความยาว 6 เมตรได้ทำการคอกและหล่อ ก่อนเป็นต้นแรก โดยที่เสาเข็มหมายเลข P-1 ความยาว 9 เมตรทำการคอกหลังจากนั้น 6 ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างเสาเข็มทั้งสอง 4 เมตร เพื่อจะสังเกตผลกระทบจากการคอกเสาเข็มต้นถัดไป

ผลปรากฏว่าไม่พบความผิดปกติในตัวของเสาเข็ม P-2 หลังจากนั้น ได้ทำการขุดเสาเข็ม P-2 ขึ้นมาเพื่อตรวจสอบอีกครั้ง พบว่าทั้งตัวเสาเข็ม และส่วนฐาน (expanded base) ยังคงสภาพสมบูรณ์

เสาเข็มที่โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง

เสาเข็ม หมายเลข P-4 และ P-5 ได้ถูกตอกและหล่อโดยเสาเข็ม P-4 ทำการตอกหลังจากเสาเข็ม P-5 แล้วเสร็จ ประมาณ 1 วัน ทั้งนี้ระยะห่างของเสาเข็มทั้งสองห่างกัน 4 เมตร ไม่พบความผิดปกติในการทดสอบน้ำหนักของเสาเข็มทั้งสอง

เสาเข็มที่โครงการ ICI PTA Plant

เสาเข็มที่โครงการ ICI PTA Plant หมายเลข P-6 และ P-7 เสาเข็ม P-6 ความยาว 12 เมตร และเสาเข็ม P-7 ความยาว 9 เมตร ได้ทำการตอกและหล่อทันที โดยมีระยะห่างของเสาเข็มทั้งสองเท่ากับ 4 เมตร ภายหลังจาก ที่ตอกและหล่อเสาเข็ม P-7 เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบ seismic และผลจากการทดสอบ น้ำหนักเสาเข็ม (ดูรูป load-settlement ในภาคผนวก ก.) ไม่พบความผิดปกติ ในการรับน้ำหนัก และที่ตัวเสาเข็ม ผลการทดสอบ น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม P-7 ยังคงสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามปกติ การตอกเสาเข็ม Franki ที่ระยะห่างประมาณ 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ทันทีที่เสาเข็มต้นก่อนหน้าได้ตอกไปแล้ว ในดินสภาพเช่นนี้ จึงไม่มีผลกระทบต่อ กับเสาเข็มต้นที่ได้ตอก และหล่อไปแล้ว

#### 4.3 การหาการกระจายตัวของเม็ดดิน

การหาขนาดของเม็ดดิน โดยวิธี sieve analysis จะเหมาะกับดินตัวอย่างที่เก็บจากโครงการ พยุหะ คอนโดมิเนียม และ โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง เพราะดินเป็นพวกเม็ดหยาบ การหาขนาดของเม็ดดินทำได้โดยนำดินที่ได้ใส่ลงในตะแกรงมาตรฐาน แล้วเขย่าตะแกรงที่ใช้ร่อนมีหลายขนาด และจัดเป็นชั้นๆ โดยค่าที่ต้องการใช้ในการคำนวณคือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักของดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักของดินทั้งหมด}} \times 100$$

เปอร์เซ็นต์ที่วงกลม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่า



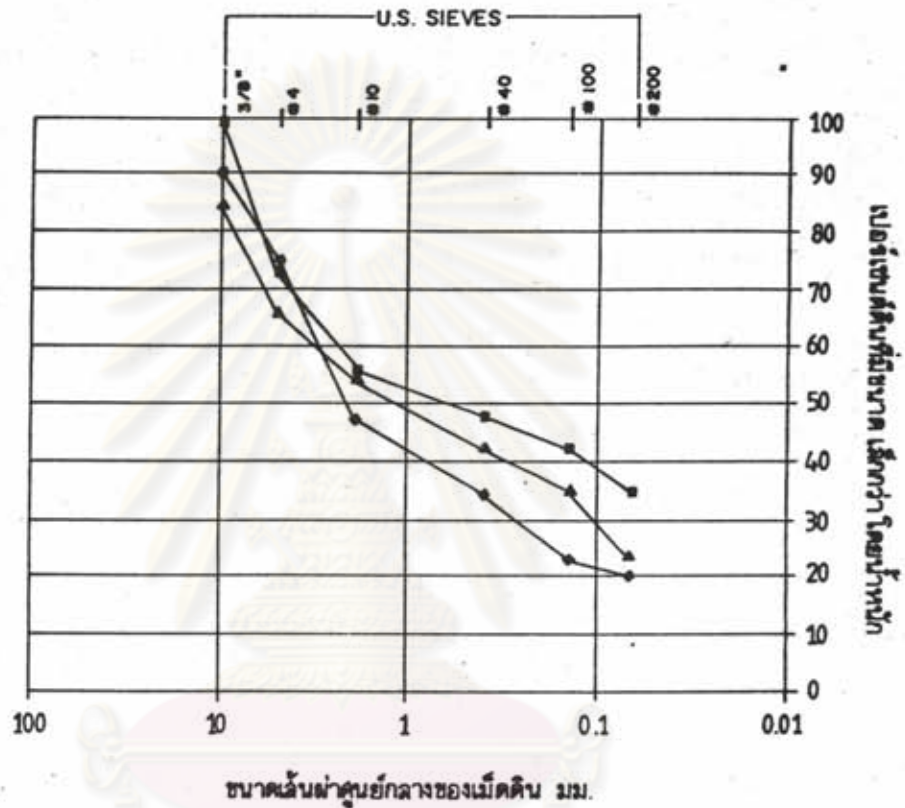
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจำแนกประเภทของดินตัวอย่าง โครงการพูน คอนโดมิเนียม และ  
โครงการก่อสร้าง โรงไฟฟ้า พลังความร้อนร่วมระยอง

ตัวอย่างเลขที่	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง					
	โครงการ พูนฯ			โครงการโรงไฟฟ้า		
	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่
	2.0-2.5 เมตร	4.0-4.5 เมตร	6.0-6.3 เมตร	2.0-2.3 เมตร	4.0-4.25 เมตร	4.0-4.3 เมตร
	PYN-2	PYN-4	PYN-6	EGAT-2	EGAT-4	EGAT-4
ตะแกรงมาตรฐาน สหรัฐ (นิ้ว)						
3/8 "	100	85	90	83	95	84
# 4	72	66	74	68	63	75
# 10	55	54	48	32	55	40
# 40	48	42	35	22	53	25
# 100	42	35	22	20	35	15
# 200	35	23	20	12	20	12
Liquid Limit, LL	39	32	40	38	35	34
Plastic Limit, PL	27	25	29	20	24	24
Unified Soil Classification	SM	SM	SM	SM-SC	SM-SC	SM

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของดินตัวอย่าง โครงการ พยุหะ คอนโดมิเนียม



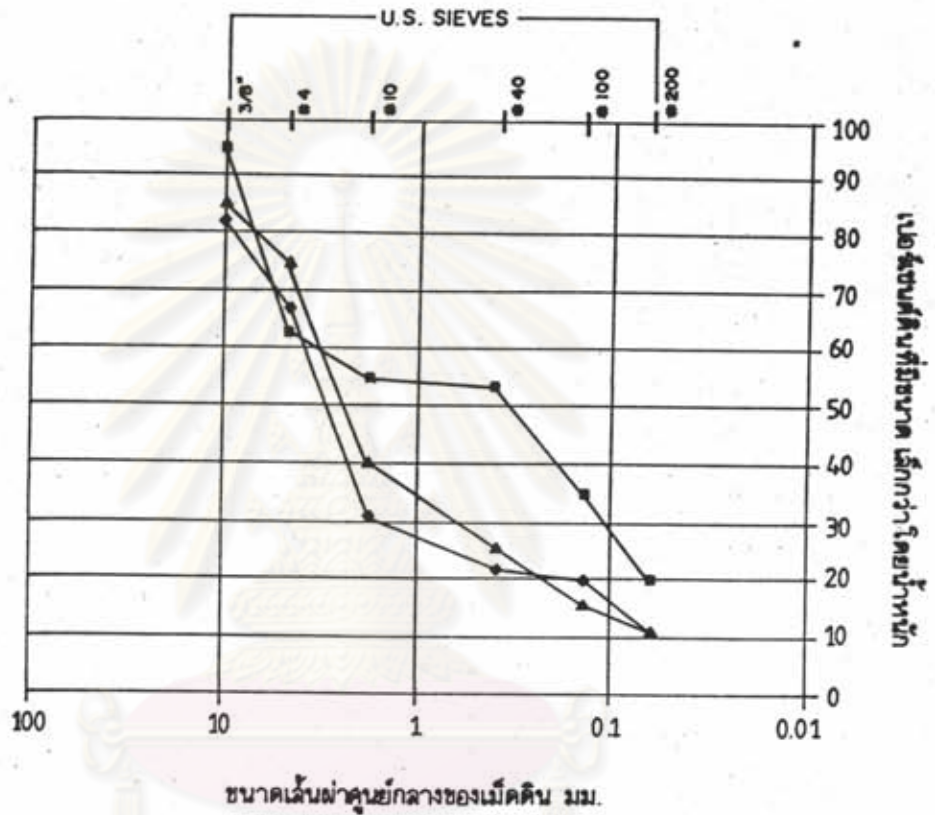
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดิน มม.

—●— ระดับความลึก - 2 เมตร จากผิวดิน

—■— ระดับความลึก - 4 เมตร จากผิวดิน

—▲— ระดับความลึก - 6 เมตร จากผิวดิน

รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวของดินตัวอย่าง โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม



- ระดับความลึก -2 เมตร จากผิวดิน
- ระดับความลึก -4 เมตร จากผิวดิน
- ▲— ระดับความลึก -4 เมตร จากผิวดิน



และ เปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% Passing หรือ % Finer) = 100- เปอร์เซนต์ค้างตะสม

สำหรับผลของดินที่นำมาทำการทดลองนั้น โครงการ พูนคอนโดมิเนียม เป็นดินประเภท SM และ โครงการโรงไฟฟ้าฯ เป็นดินประเภท SM และ SM-SC (ดูตารางที่ 4.2) ดังมีรายละเอียดในการทดสอบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการกระจายของเม็ดดินอยู่ในรูปที่ 4.1, 4.2 และตารางที่ 4.2 แสดงผลสรุปของสมบัติชั้นพื้นฐานของดิน และค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์

#### 4.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Dr) ในห้องปฏิบัติการ

จากการทดลอง และหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Dr) ดินตัวอย่างที่ได้จากโครงการ พูนคอนโดมิเนียม ที่ระดับความลึก 2 ถึง 6 เมตร โดยดินตัวอย่างเก็บได้จากการเปิดดินเพื่อขุดเสาเข็มแต่ทั้งนี้ระยะห่างจากเสาเข็ม และ ตำแหน่งในการเก็บแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ซึ่งมีระยะห่างจากเสาเข็มมากพอ ที่จะเป็นตัวอย่างไม่ถูกรบกวนน้อยที่สุด และโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง ที่ระดับความลึก 2 ถึง 4 เมตรโดยตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างนั้น อยู่ห่างจากที่ทำการตอกเสาเข็ม P-5 ประมาณ 10 เมตร ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่น ที่ทำการทดสอบ โดยค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Dr) ที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Dr) ที่ได้จากค่า N(SPT) โดยวิธีการของ Gibbs&Holtz(1957) และวิธีของ Schultze&Menzenbach(1967) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ค่าที่ได้จากวิธีของ Gibbs&Holtz(1957) และวิธีของ Schultze&Menzenbach(1967) จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง โดยค่าที่ได้จากวิธีของ Gibb&Holtz(1957) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ 10% และค่าที่ได้จากวิธีของ Schultze&Menzenbach(1967) มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ 10 %

#### 4.5 ผลการทดสอบ Direct Shear

ผลจากการทดสอบ Direct Shear ของดินตัวอย่างจากตัวอย่างดินที่ได้จาก โครงการ พูนคอนโดมิเนียม และ โครงการโรงไฟฟ้าฯ แสดงไว้ในรูปที่ 4.5.ก ถึง 4.5.ง ค่ามุม  $\phi'$  ที่ได้นำมาเขียนความสัมพันธ์ กับค่า  $D_r$  ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6.1 ถึง 4.6.4 ค่ามุม  $\phi'$  จากการทดลองนี้จะต่ำกว่าค่ามุม  $\phi'$  ที่ได้จากการทดสอบค่า N(SPT) โดยวิธีการของ Kishida (1967) (สมการที่ 2.13) ประมาณ 4 องศา ที่ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ เดียวกัน

ตารางที่ 4.2 การหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ ของดินระยองโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โครงการ พยุห คอนโดมิเนียม และโครงการก่อสร้าง โรงไฟฟ้า พลังความร้อนร่วมระยอง

บริเวณ เจาะสำรวจ	ตัวอย่าง เลขที่	ความ ลึก (ม.)	$\gamma_t$	$W_n$ %	$\gamma_d$	$\gamma_d$ max	$\gamma_d$ min	Rel. dens. %	Sp.Gr.	$e_n$	$e_{min}$	$e_{max}$	degree of sat.
PYN-2	1	2	2.050	10.000	1.966	1.983	1.421	83.805	2.600	0.391	0.307	0.824	66.51
	2		2.000	9.800	1.956	1.987	1.352	80.654	2.600	0.423	0.305	0.917	60.22
PYN-4	1	4	2.110	9.780	1.922	2.001	1.389	90.674	2.600	0.349	0.295	0.866	72.93
	1	6	2.150	11.130	1.931	1.953	1.386	97.684	2.600	0.340	0.327	0.870	85.14
EGAT-2	1	2	2.080	11.130	1.952	1.988	1.420	84.463	2.600	0.385	0.304	0.825	75.17
	2		2.110	11.140	1.965	1.985	1.451	87.621	2.600	0.365	0.306	0.786	79.27
EGAT-4	1	4	2.100	9.420	1.922	2.000	1.231	93.261	2.600	0.351	0.296	1.106	69.85
	2		2.080	10.570	1.916	1.950	1.311	92.492	2.600	0.378	0.329	0.977	72.71

ตารางที่ 4.3 แสดงการหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) โดยวิธีการต่างๆ โครงการพูน คอนโดมิเนียม และโครงการก่อสร้าง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง

หลุมเจาะ หมายเลข	ตัวอย่าง เลขที่	N blows/0.3 m	$\sigma'_{vo}$ kg/cm <sup>2</sup>	Relative Density %				
				Gibbs & Holtz for general sand (1)	Schultze & Menzenbach (2)	Schultze & Melzer (3)	Thornburn (4)	From Lab Test (5)
EGAT-2	1-1	18	0.424	85	85	65	70	84.46
EGAT-2	1-2	18	0.424	85	85	65	70	87.60
PYN-2	2-1, 2-2	20	0.420	90	87	67	73	82.20
PYN-4	2-3	30	0.840	92	90	72	74	90.70
PYN-6	2-4	35	1.060	96	93	98	89	97.70
EGAT-4	1-3, 1-4	32	0.848	95	92	86	76	92.90

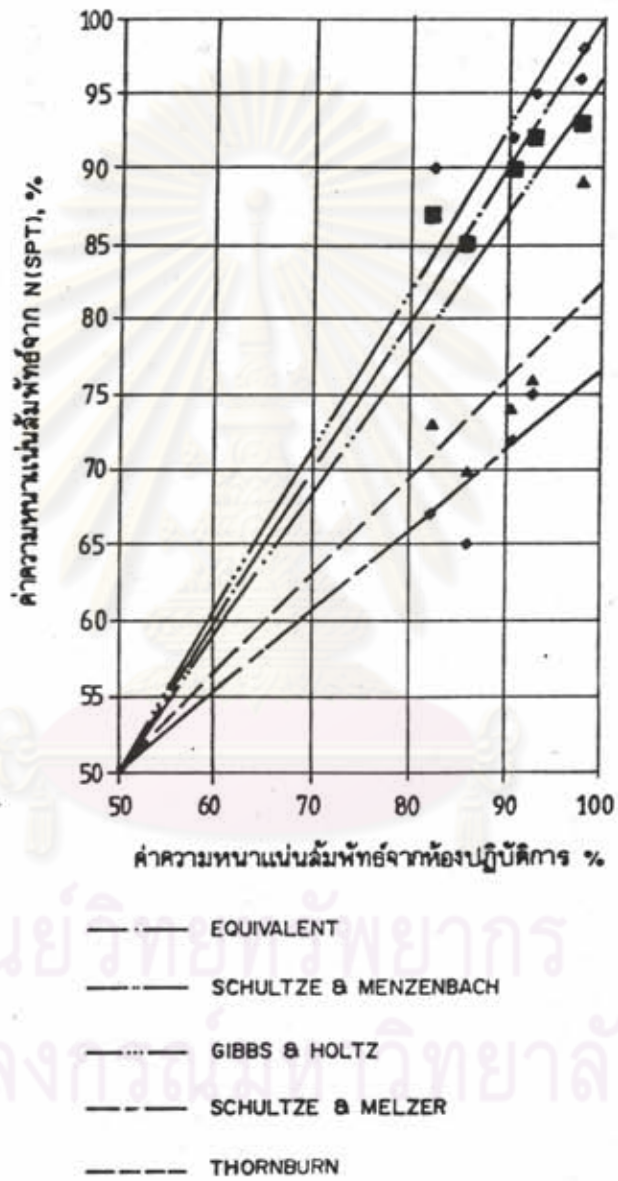
ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์

(1) ,(2) ,(3) และ (4) จากค่า SPT

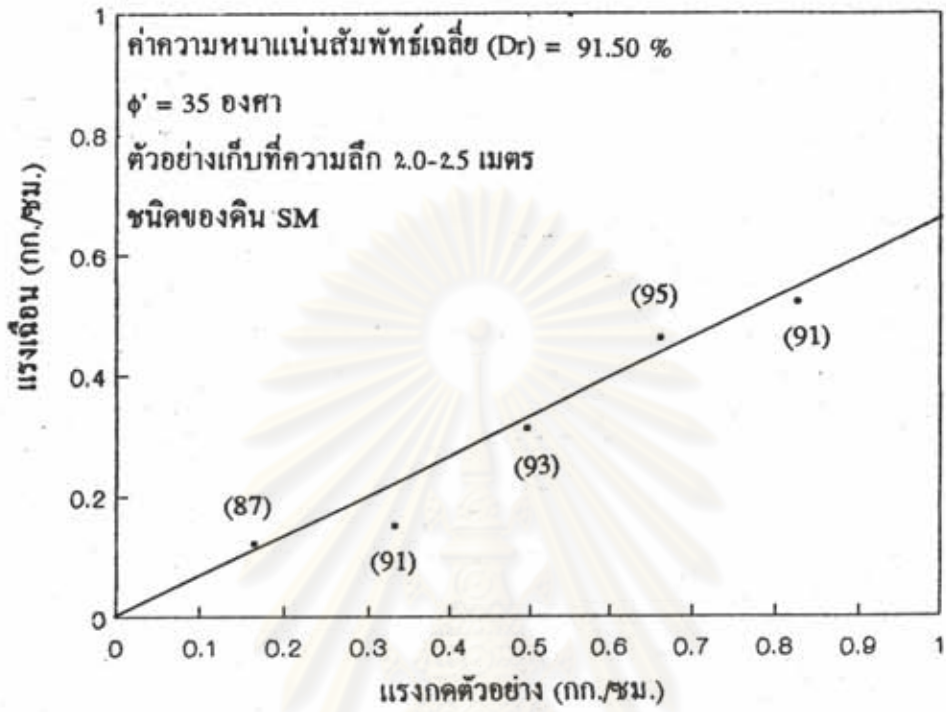
(5) จาก ห้องปฏิบัติการ



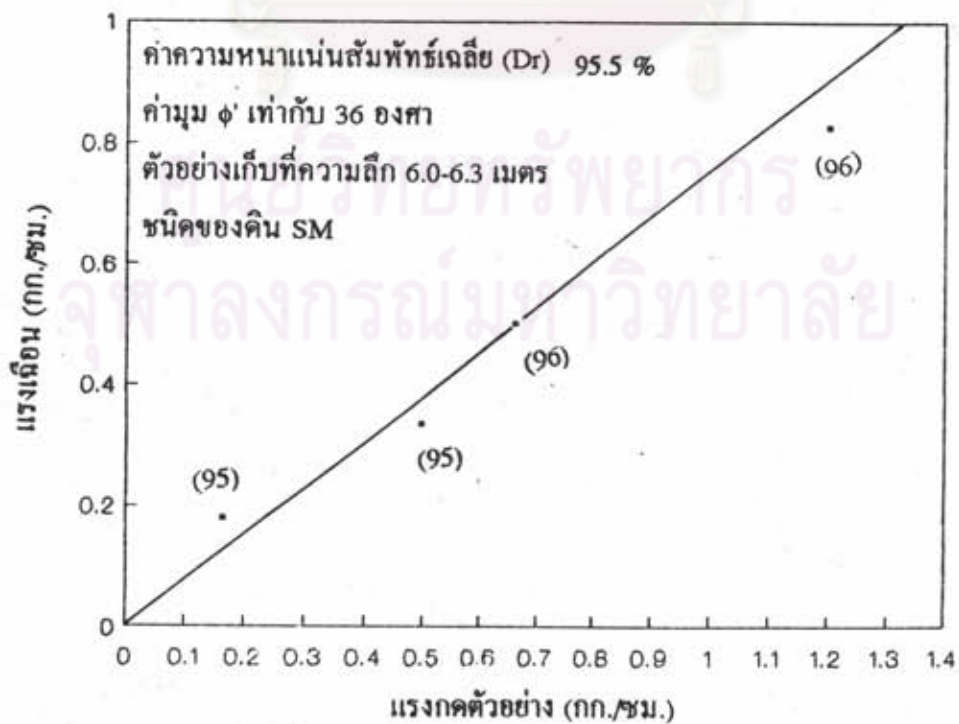
รูปที่ 4.4 แสดงการหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ โดยวิธีการต่างๆ โครงการ โรงไฟฟ้า  
พลังความร้อนร่วม และ โครงการ พูนคอนโคมิเนียม



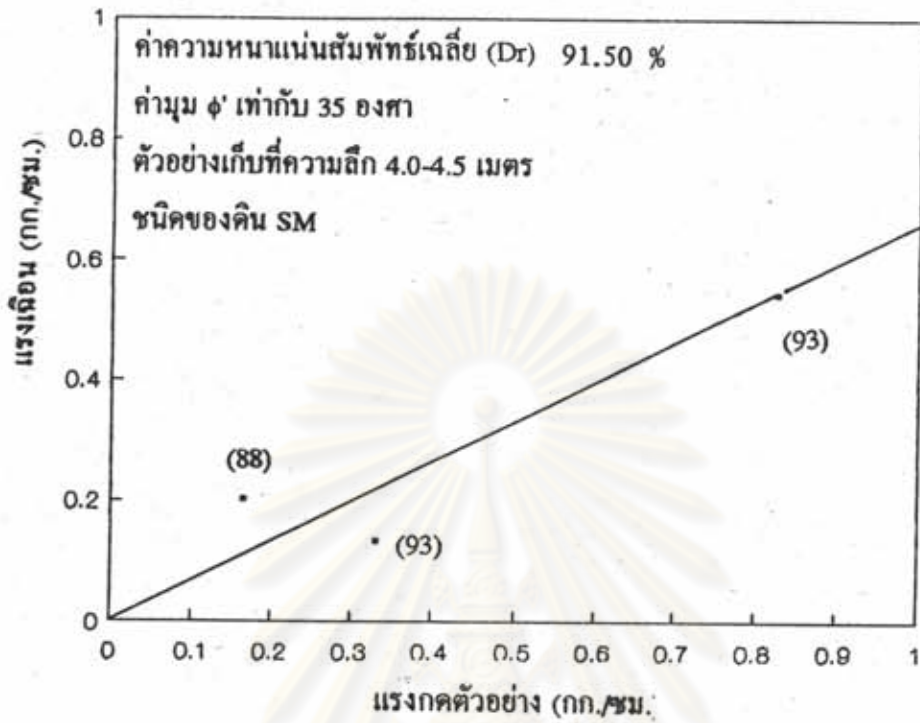
รูปที่ 4.5 (ก) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ พูน คอนโดมิเนียม



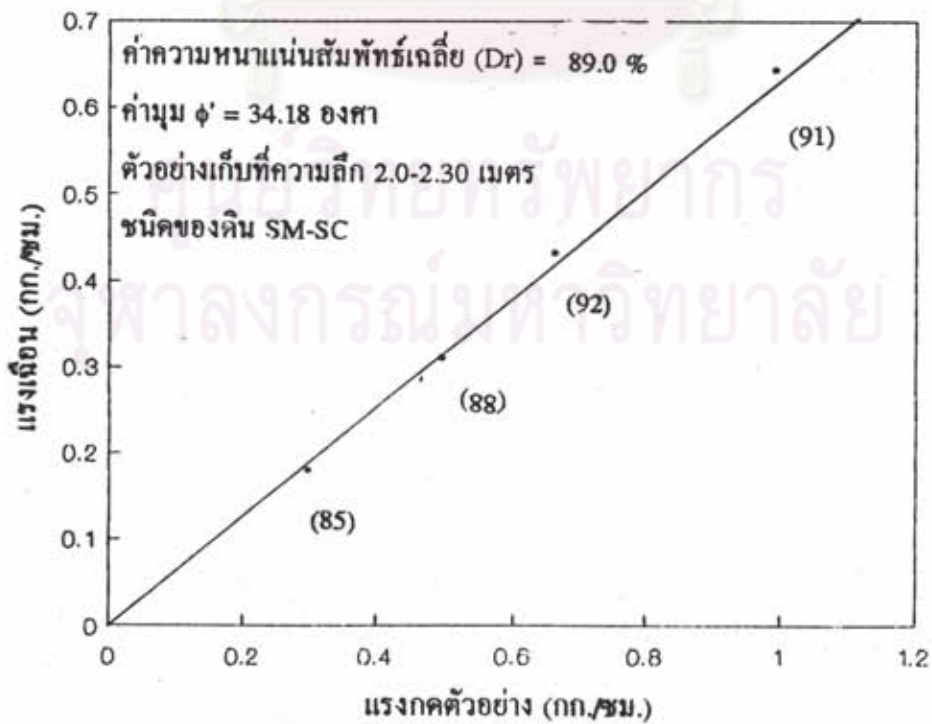
รูปที่ 4.5 (ข) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ พูน คอนโดมิเนียม



รูปที่ 4.5 (ค) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ พูน คอนโดมิเนียม

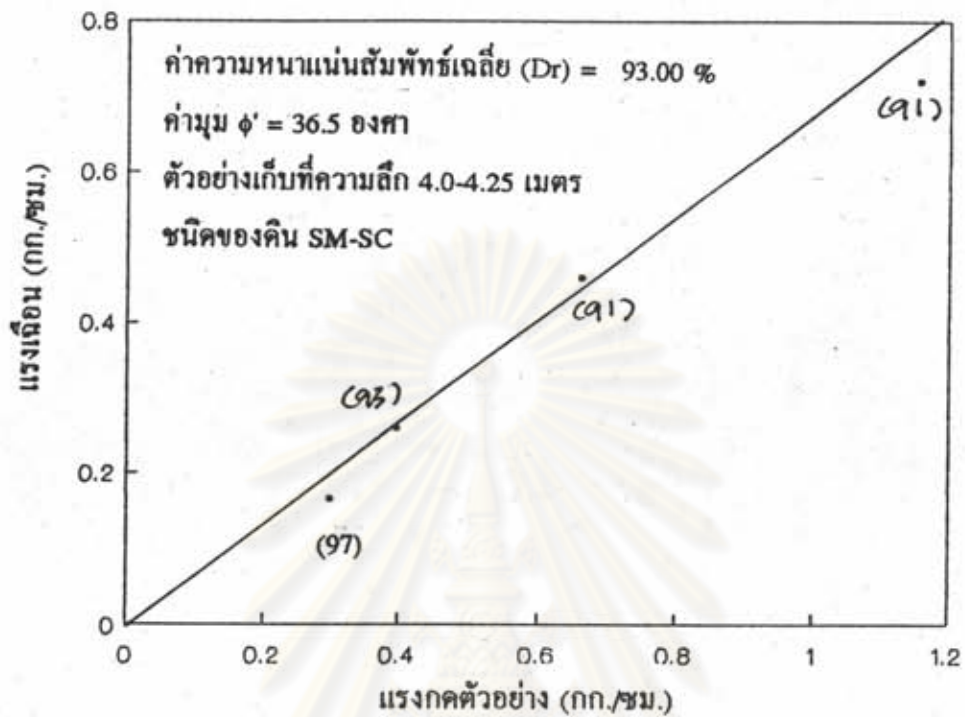


รูปที่ 4.5 (ง) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง

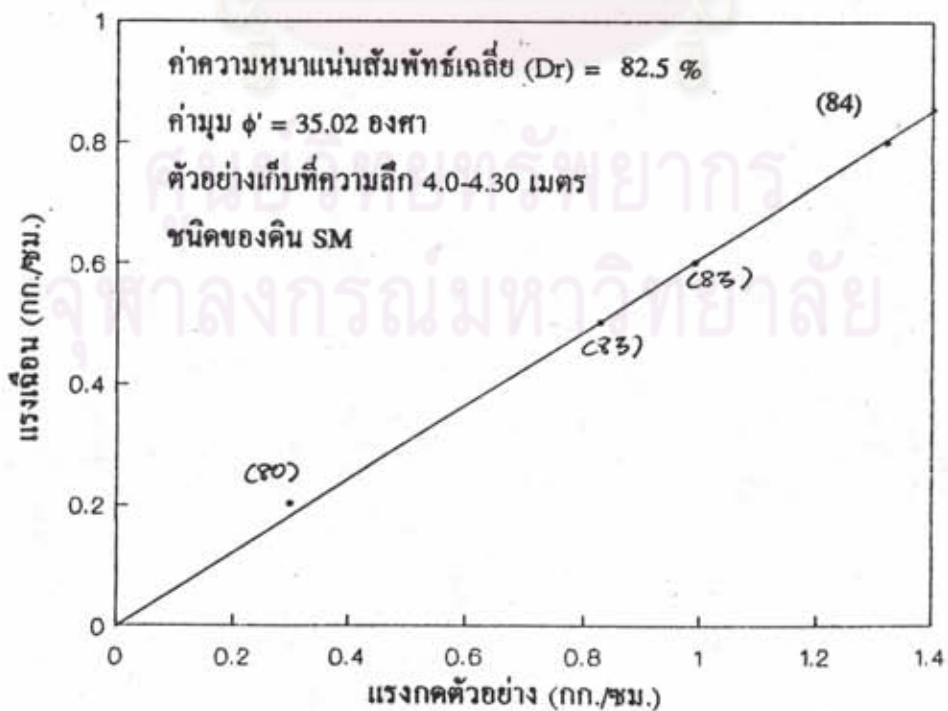




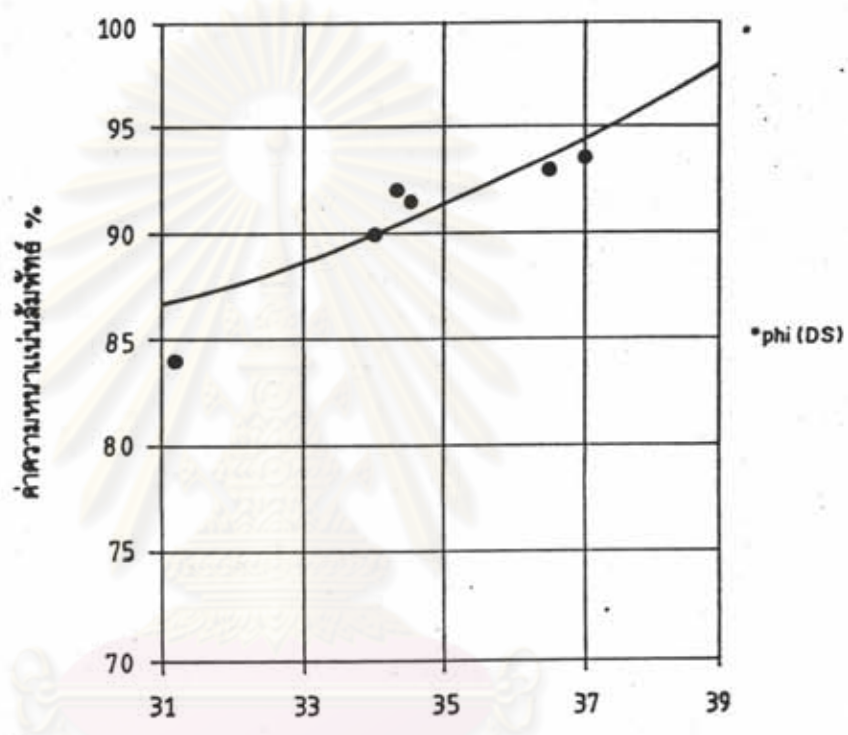
รูปที่ 4.5 (จ) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง



รูปที่ 4.5 (ฉ) ผลการทดสอบ Direct Shear โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง



รูปที่ 4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม  $\phi'$  กับค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

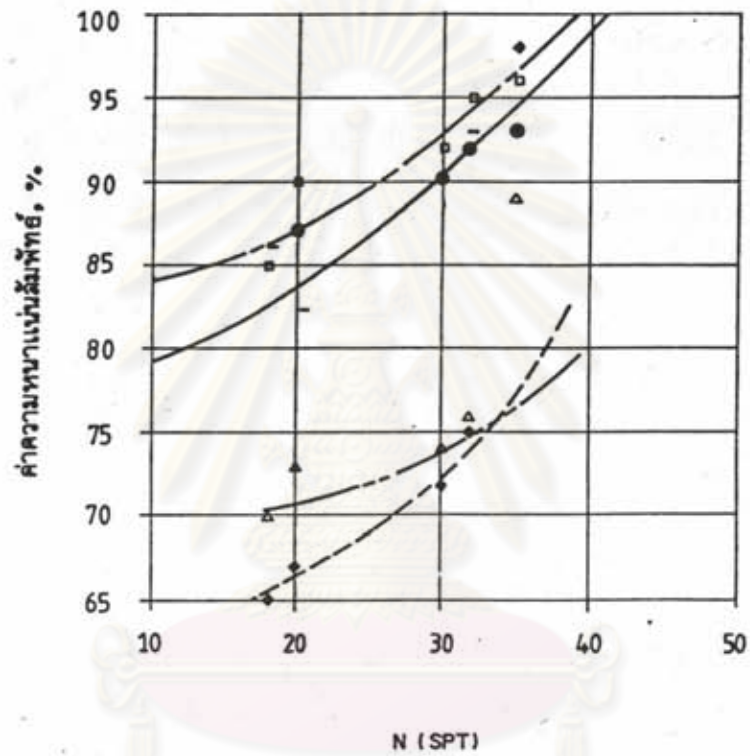


ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
อุทกศาสตร์มหาวิทยาลัย

—●—  $\phi'$  จากผล DIRECT SHEAR

รูปที่ 4.6.2 แสดงการหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์จากค่า N (SPT) โดยวิธีการต่างๆ

โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง และ โครงการ พูน คอนโดมิเนียม



● SCHULTZE & MENZENBACH

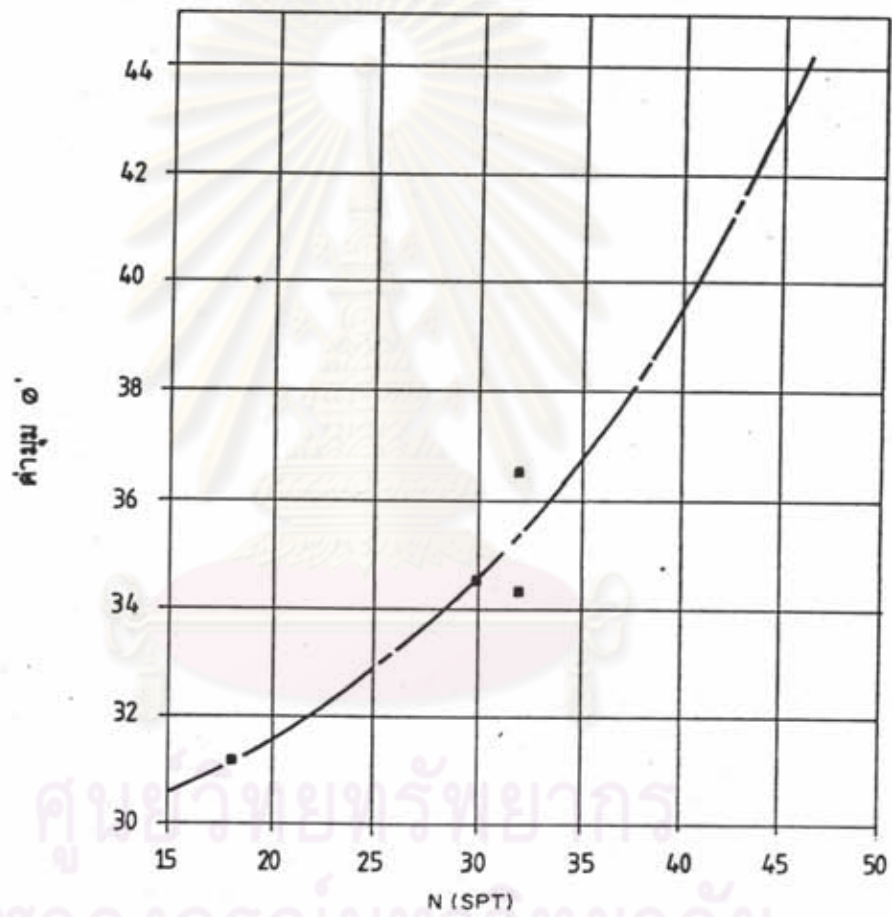
□ GIBBS & HOLTZ

◆ SCHULTZE & MELZER

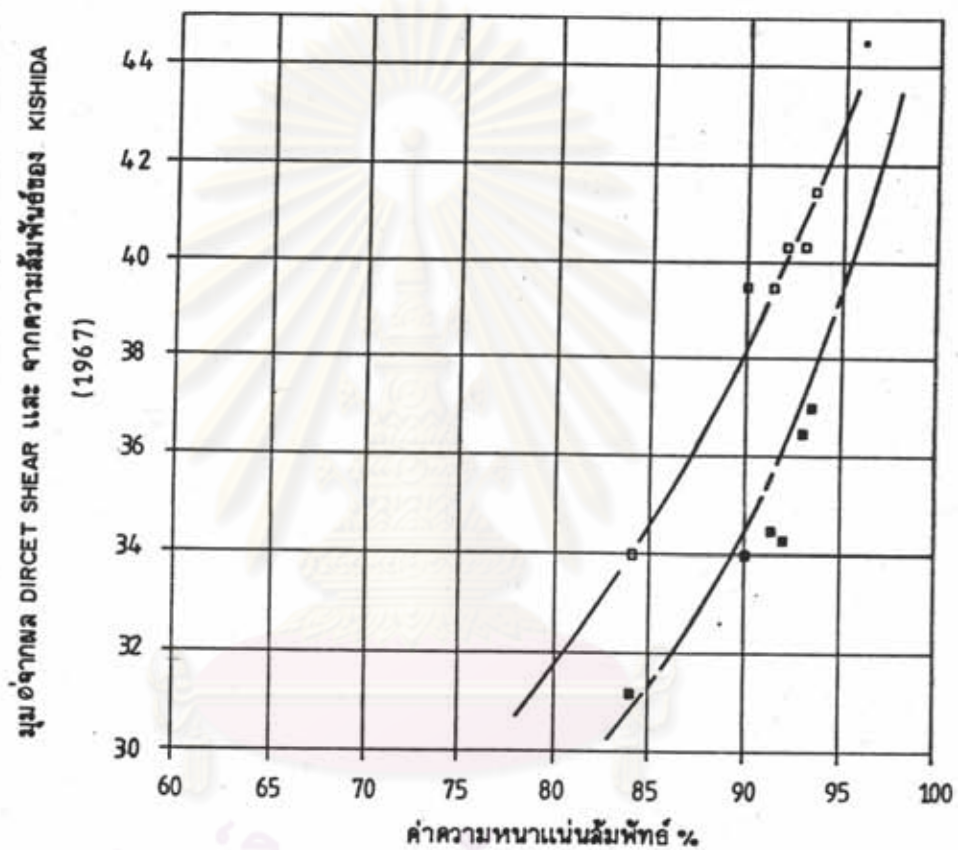
△ THORNBURN

- จากผลการทดลอง



รูปที่ 4.6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N (SPT) กับค่ามุม  $\phi$ 

คู่มือวิทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $D_r$  กับค่ามุม  $\phi'$ 

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 สรุปผลน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดลอง

เสาเข็มเลขที่	ความยาวของเสาเข็ม (ม.)	สถานที่ทดสอบ	น้ำหนักทดสอบสูงสุด (ตัน)
P-1	9	พูน คอนโดมิเนียม	400
P-2	6		400
P-4	12	โรงไฟฟ้าพลังงาน- ความร้อนร่วม ระยอง	390
P-5	9		450
P-6 *	12	ICI PTA Plant	360
P-7 *	9		420
P-8 *	9		450
P-9 *	12		510

\* ทดสอบจนถึงจุดวิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.6 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจากผลการทดสอบเสาเข็ม

การหาค่ากำลังรับน้ำหนักจากผลการทดสอบเสาเข็ม สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้แยกเป็นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดวิบัติ (test to failure or plunging failure) และทดสอบไม่ถึงวิบัติ (test not to failure) การทดสอบน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดวิบัติ เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม และสภาพดินที่พิจารณา เนื่องจากสภาพดินมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แม้ว่าในสภาพการทดสอบเสาเข็ม จนวิบัติไม่ได้กระทำในทุกสถานที่ แต่การได้ข้อมูลจากการทดสอบเสาเข็มที่เพียงพอ และทราบสภาพของดินที่พิจารณา ก็อาจเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้สามารถ ประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ในสภาพดิน ที่ทำการศึกษาได้ ตารางที่ 4.4 แสดงสรุปผลการทดสอบของเสาเข็ม ข้อมูลการทดสอบ ของเสาเข็มแสดงอยู่ในภาคผนวก ก. จะเห็นได้ว่า เสาเข็มบางต้นทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติน้ำหนัก ที่จุดวิบัติจึงต้องหาโดยการคาดคะเน วิธีที่เลือกใช้คือวิธีที่ให้ผลได้ใกล้เคียงที่สุด โดยคุณภาพกรรม ของเสาเข็มที่ทดสอบจนถึงจุดวิบัติ วิธีคาดคะเนที่พิจารณา คือวิธีของ Chin (1970) De Beer (1967), Davisson (1972), และ Mazerkiewicz (1972) กรณีสำหรับการศึกษานี้ ที่โครงการ ICI PTA Plant เสาเข็มหมายเลข P-6, P-7, P-8 และ P-9 ได้ถูกทดสอบจนถึงวิบัติ ส่วนเสาเข็ม ในอีกสองโครงการ คือโครงการ พูน คอนโดมิเนียม และโครงการโรงไฟฟ้า การทดสอบหยุด ก่อนถึงจุดวิบัติรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกที่ จุดวิบัติของเสาเข็มโดยวิธีการของ Chin (1970), De-Beer (1967), Davisson(1972) และ Mazerkiewicz (1972), จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าวิธีการของ Chin (1970) ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเสาเข็มที่ทราบน้ำหนักที่จุดวิบัติ (P-6 ถึง P-9) การศึกษาจึงใช้วิธีของ Chin (1970) เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ และทำการปรับแก้โดยหาค่าปรับแก้ จากข้อมูลของเสาเข็ม ที่โครงการ ICI PTA Plant ที่ได้ทำการทดสอบจนถึงจุดวิบัติ ค่าคำนวณโดย Chin (1970) แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

จากการศึกษาวิธีการคาดคะเนค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของเสาเข็มวิธีต่างๆ ดังแสดงไว้แล้วนั้น วิธีการของ Chin (1970) จะให้ค่าที่สูงกว่าค่า กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ โดยมีค่าตัวประกอบ 1.14 เท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ ส่วนวิธีการอื่นๆ จะให้ค่าที่ต่ำกว่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ โดยที่ค่าที่ได้จากวิธีการของ Mazurkiewicz (1972) และ วิธีการของ Davisson (1972) ให้ค่าที่มีแนวโน้มสม่ำเสมอและต่ำกว่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ โดยในการทดลองนี้ มีค่าตัวประกอบ 0.92 และ 0.93 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.5 แสดงการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกที่จุดวัด และเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดโดยวิธีการต่าง ๆ

หมายเลข เซกเมนต์	วิธีการทดสอบ					เปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกทุกที่จุดวัด				
	Ultimate Load	De-Beer	Chin	Davison	Marzurkiewicz	Ultimate Load	De-Beer	Chin	Davison	Marzurkiewicz
คันที่ 1 P-1	-	400	487.8	-	-	-	-	-	-	-
คันที่ 2 P-2	-	395	475.1	-	-	-	-	-	-	-
คันที่ 3 P-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
คันที่ 4 P-4	-	408	490.6	-	-	-	-	-	-	-
คันที่ 5 P-5	-	368	442.3	423	460	-	-	-	-	-
คันที่ 6 P-6	360	350	407.3	335	326	1	0.972	1.131	0.931	0.906
คันที่ 7 P-7	380	320	417	375	355	1	0.842	1.097	0.987	0.934
คันที่ 8 P-8	390	340	450	352	360	1	0.872	1.154	0.903	0.923
คันที่ 9 P-9	480	380	560	440	450	1	0.792	1.167	0.917	0.938
					ค่าเฉลี่ย	1	0.869	1.137	0.934	0.925

#### 4.7 การแยกค่าแรงเสียดทาน และค่ากำลังรับแรงทรา

ในการวิเคราะห์ค่าแรงเสียดทาน และค่ากำลังรับแรงทรา สำหรับเสาเข็มที่ทำการทดสอบในงานวิจัยฉบับนี้ ใช้วิธีดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ก็คือการวัดโดยอ้อม (indirect measurement) สำหรับเสาเข็ม ที่โครงการโรงไฟฟ้าฯ และที่โครงการ ICI PTA Plant (P-4,5 และ P-6,7,8,9 ตามลำดับ) และการประเมินจาก วิธีการของ Jain & Kumar (1963) สำหรับเสาเข็มที่ โครงการพูน คอนโดมิเนียม (P-1,2) ค่าแรงเสียดทาน และ ค่ากำลังรับแรงทราที่ได้ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

#### 4.8 การวิเคราะห์หาสูตร Empirical สำหรับประเมินค่าตัวประกอบกำลังรับแรงทรา $N_q$ ในรูปของค่า $\phi'$ สำหรับเสาเข็ม Franki ในดินจังหวัดระยอง

##### 4.8.1 วิธีการวิเคราะห์

ในการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม จากคุณสมบัติของดิน และเสาเข็ม โดยใช้สูตรทางสถิตยศาสตร์ (static formula) จำเป็นต้องแยกการคำนวณแรงต้าน ของเสาเข็มเป็นสองส่วนคือ แรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม (skin friction) และ แรงต้านที่ปลาย เสาเข็ม (end resistance) โดยที่ค่าแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม สามารถหาได้จากการติดเครื่อง มิวัดในตัวเสาเข็ม (strain rod or strain gage) และในกรณีที่ตัวเสาเข็มไม่ได้ติดเครื่องมิวัดก็สามารถหาได้โดยใช้วิธีการที่ได้ศึกษาโดย Jain and Kumar (1963) ในขณะที่ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุก ของเสาเข็มที่จุดวิบัติ สามารถทราบได้จากการทดสอบเสาเข็มจนถึงวิบัติ (plunging failure) ถ้าในกรณีที่ไม่ได้ทดสอบเสาเข็มจนถึงจุดวิบัติ จะสามารถประเมินค่าได้โดยวิธีการของ Chin (1970) และวิธีการอื่นๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.7 จากข้อมูลดังกล่าวและค่าพื้นที่ที่ส่วนปลายที่ขยายขึ้น 1.8 เท่า (เส้นผ่าศูนย์กลางส่วนปลายเข็มเพิ่มจาก 0.60 ม. เป็น 0.80 ม. รูปถ่ายของปลายเสาเข็มในภาคผนวก ง.) จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ สามารถหาแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม และ ประเมินค่าตัวประกอบกำลังรับแรงทรา  $N_q$  ได้

ภายหลังจากที่ได้ค่า  $N_q$  ของเสาเข็มทดสอบคันต่างๆ แล้วจึงนำมาหาความสัมพันธ์กับค่ามุม  $\phi'$  และค่า  $N(SPT)$  ของดินที่ปลายเสาเข็ม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6.3

จากข้อมูลของแรงเสียดทาน และน้ำหนักบรรทุกทุกสูงสุดทำให้สามารถคำนวณ กำลังรับแรงทราที่ปลายเข็มได้ รูปที่ 4.9 ถึง 4.14 แสดงผลของการกระจายของน้ำหนักในเสาเข็มที่จัดให้จาก tell-tale rod จากรูปดังกล่าวทำให้สามารถแยกแรงเสียดทานและ กำลังรับแรงทรา

ตารางที่ 4.6 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

หมายเลข เสาเข็ม Franki ขนาด $\phi$ 0.60 ม.	$Q_{ult}$ (ตัน)	$Q_s$ (ตัน)	$W_p$ (ตัน)	$Q_e$ (ตัน)	$q_e$ (ตัน/ตร.ม.)	$f_s$ (avg) (ตัน/ตร.ม.)
P-1	431	80	8.513	359.5	714.7	4.351
P-2	355	55	6.475	377.5	750.5	4.487
P-4	455	90	10.55	375.6	746.6	3.671
P-5	465	60	8.513	348.5	692.9	3.263
P-6	360	82	10.55	288.6	573.7	3.345
P-7	380	60	8.513	328.5	653.1	3.263
P-8	390	60	8.513	338.5	673	3.263
P-9	460	80	10.55	390.6	776.4	3.263
เสาเข็ม เจาะขนาด $\phi$ 0.60						
T-1	265	110	15	170	546	2.94
T-2	250	85	10.55	176	564	3.47
T-3	300	120	16	196	629	3.01
T-4	240	115	15	140	449	3.13
T-5	312	120	14	206	664	3.32
T-6	270	100	14	184	593	2.77



ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงการหาค่าตัวประกอบรับแรงชาร  $N_q$ 

หมายเลข เสาเข็ม	D (ม.)	$A_p$ (ตร.ซม.)	$Z_c/d$	$Z_c$ (ม.)	$\sigma'_{vp}$ (ตัน/ตร.ม.)	$q_p$ (ตัน/ตร.ม.)	$\phi'$ (องศา)	$N_q$
P-1	0.65	5,030	11	7.15	11.87	714.7	35	60
P-2	0.65	5,030	8	5.2	9.7	609.5	36	63
P-4	0.65	5,030	10	6.5	11.28	716.8	37	66
P-5	0.65	5,030	10	6.5	11.28	692.9	38	43
P-6	0.65	5,030	8	5.2	9.46	573.7	35	61
P-7	0.65	5,030	8	5.2	9.46	653.1	37	69
P-8	0.65	5,030	8	5.2	9.46	673	36	71
P-9	0.65	5,030	8	5.2	9.46	776.4	39	82
เสาเข็ม เจาะขนาด $\phi$ 0.60								
T-1	0.60	3,110	11	7.2	10.28	546	40	53
T-2	0.60	3,110	10	6.5	11	564	37	50
T-3	0.60	3,110	8	5.2	11	629	39	55
T-4	0.60	3,110	10	6.5	8.6	449	36	52
T-5	0.60	3,110	11	7.2	12	664	40	58
T-6	0.60	3,110	8	5.2	9.9	593	40	60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



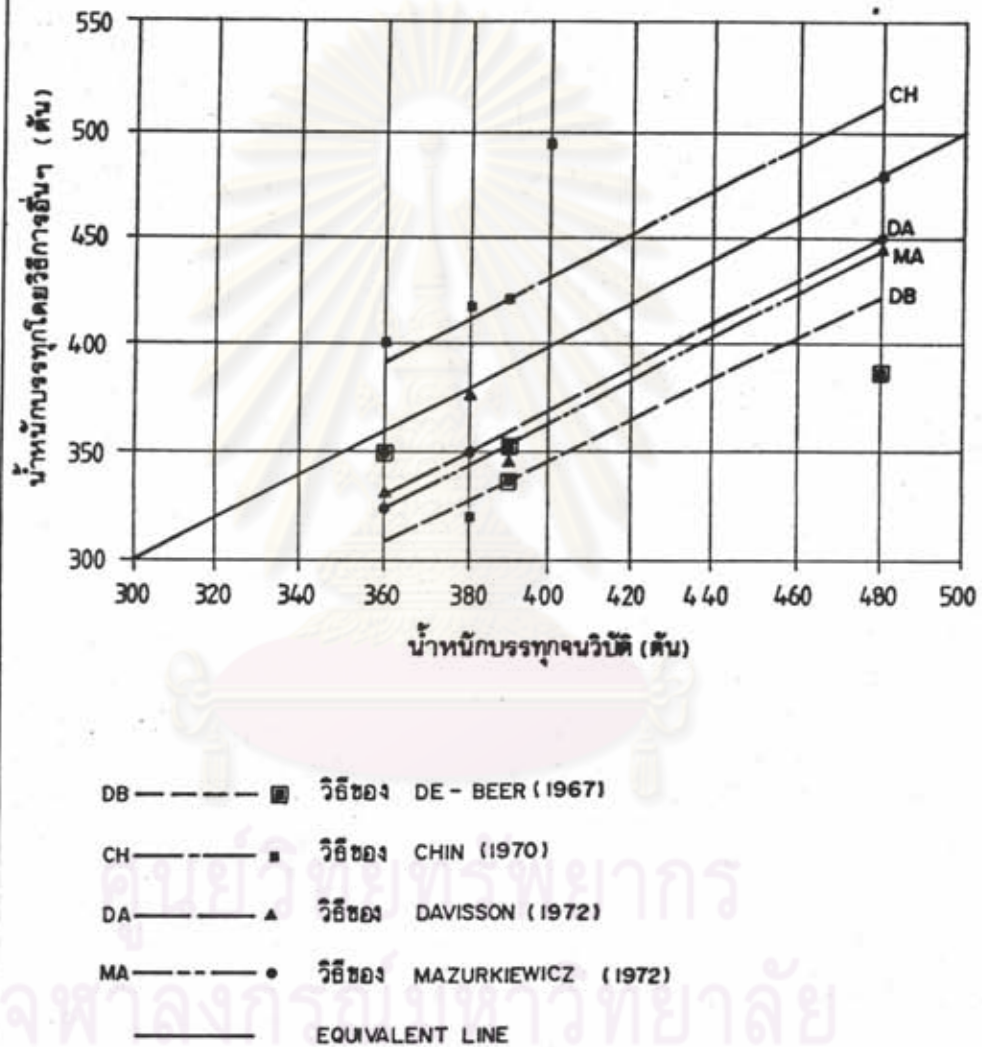


ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน  $K_s \tan \phi'_a$

หมายเลข เสาเข็ม Franki ขนาด $\phi$ 0.60 ม.	1 (ม.)	c (ม.)	$Z_c/d$	$Z_c$ (ม.)	$\sigma'_v$ (ตัน/ตร.ม.)	$f_s$ (ตัน/ตร.ม.)	$\phi'$ (องศา)	$K_s \tan \phi'_a$
P-1	9	1.886	11	11.75	11.87	4.351	35.5	.614
P-2	6	1.886	8	8.7	9.7	4.487	36	.658
P-4	12	1.886	10	6.5	11.28	3.671	34	.483
P-5	9	1.886	10	6.5	11.28	3.263	34	.494
P-6	12	1.886	8	5.2	9.46	3.345	33	.489
P-7	9	1.886	8	5.2	9.46	3.263	35	.525
P-8	9	1.886	8	5.2	9.46	3.263	35.5	.525
P-9	12	1.886	8	5.2	9.46	3.263	34.5	.478
เสาเข็ม เจาะขนาด $\phi$ 0.60								
T-1	18.3	1.886	11	7.2	10	2.94	36	.388
T-2	12	1.886	10	6.5	11.28	3.47	34.5	.411
T-3	19.5	1.886	8	5.2	11	3.01	33	.332
T-4	18	1.886	10	6.5	8.6	3.13	34	.482
T-5	17.7	1.886	11	7.2	12	3.32	36	.391
T-6	17.7	1.886	8	5.2	9.9	2.77	34	.353



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด โดยวิธีการอื่นๆ กับน้ำหนักบรรทุกจนถึงวิบัติ



ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานของเสาเข็มที่ได้โดยการวัดจาก tell-tale และจากวิธีการของ Jain & Kumar (1963)

หมายเลข เสาเข็ม	ค่าแรงเสียดทานของเสาเข็ม	
	ค่าแรงเสียดทานของเสาเข็ม โดยการ ติดเครื่องมือวัด (tell-tale)	ค่าแรงเสียดทานของเสาเข็ม โดยวิธี ของ Jain & Kumar (1963)
คันที่ 1 P-1	-no-	80
คันที่ 2 P-2	-no-	55
คันที่ 4 P-4	90	105
คันที่ 5 P-5	60	70
คันที่ 6 P-6	82	80
คันที่ 7 P-7	60	80
คันที่ 8 P-8	60	55
คันที่ 9 P-9	70	60

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่ปลายเสาเข็มได้ ตารางที่ 4.6 แสดงว่าวิธีการของ Jain and Kumar (1963) ให้ค่าภายใน  $\pm 15\%$  จากค่าที่วัดได้จากข้อมูลเสาเข็มที่ติดตั้ง tell-tale rod ตารางที่ 4.7 แสดงการ distributed load ของเสาเข็มที่ load ลงเสาเข็มต่างกัน จะเห็นได้ว่า เสาเข็มทั้งหมดมีพฤติกรรม เป็นแบบ end bearing คือมีกำลังรับแรงทรสูงกว่ แรงเสียดทานที่ mobilized ขึ้น รูปที่ 4.15 ถึง 4.20 ตารางที่ 4.7 การกระจายของ Load ในเสาเข็ม

กำลังรับน้ำหนักที่จุดวิกฤติของเสาเข็ม ที่ทำการทดสอบตามสมการทางสถิติศาสตร์ จะเป็น ผลรวมของค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม และค่าแรงดันที่ปลายเสาเข็ม ดังสมการที่ 4.1

$$Q_{ult} = Q_s + Q_e - W_p + U \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

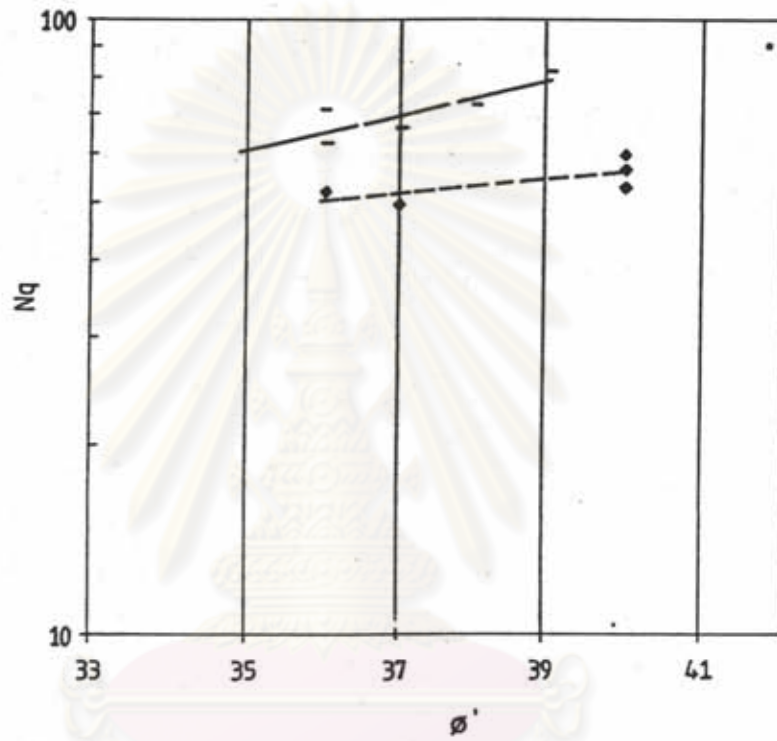
- โดย  $Q_{ult}$  คือ กำลังรับน้ำหนักที่ส่วนหัวของเสาเข็ม ณ.จุดวิกฤติ  
 $Q_s$  คือ ผลรวมของแรงเสียดทานด้านข้างทั้งหมด  
 $Q_e$  คือ แรงดันประสิทธิผลที่ส่วนปลายของเสาเข็ม  
 $W_p$  คือ น้ำหนักของเสาเข็ม  
 $U$  คือ แรงดันน้ำที่ปลายของเสาเข็ม

#### 4.8.2 ผลการวิเคราะห์ค่า $N_q$

ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4. แสดงผลสรุปของการหาค่า  $N_q$  สำหรับเสาเข็ม ณ.โครงการ ทั้งสามสถานที่ในจังหวัดระยอง โดยค่า  $N_q$  และค่ามุม  $\phi'$  ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.8.1 และแสดงการ เปรียบเทียบค่า  $N_q$  และค่ามุม  $\phi'$  ที่ได้จากผู้แต่งอื่นๆแสดงไว้ในรูปที่ 4.8.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.8.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบรับแรงธาร  $N_q$  และค่ามุม  $\phi'$



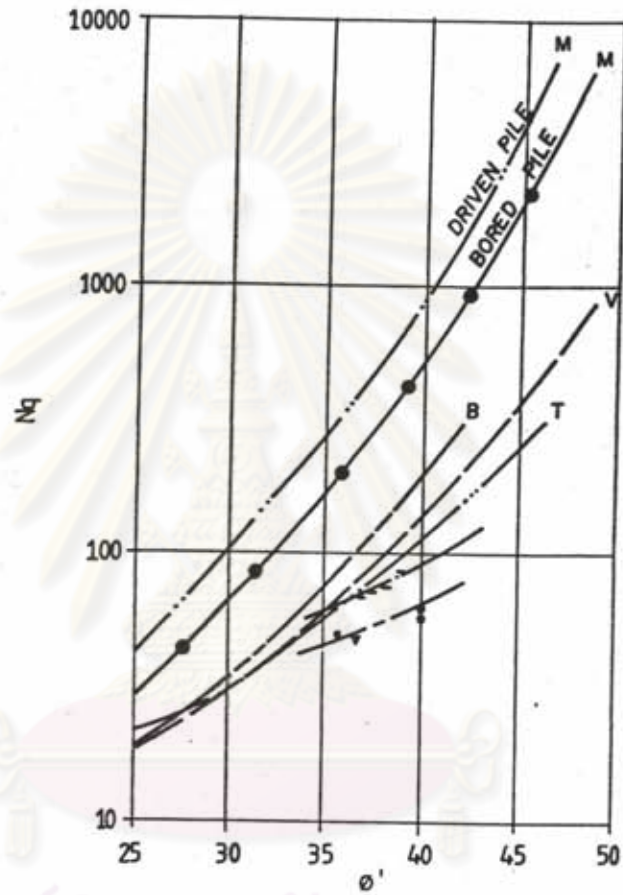
— ค่า  $N_q$  สำหรับเสาเข็ม FRANKI

— ค่าประมาณของ  $N_q$  สำหรับเสาเข็ม FRANKI

♦ ค่า  $N_q$  สำหรับเสาเข็มเจาะ

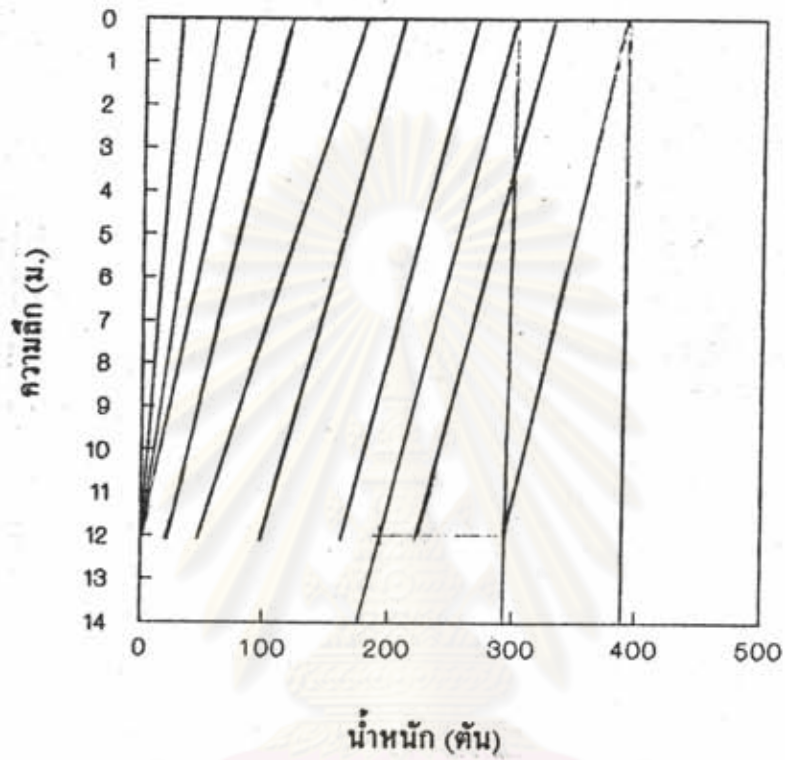
— ค่าประมาณของ  $N_q$  สำหรับเสาเข็มเจาะ

รูปที่ 4.8.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบรับแรงธาร  $N_q$  และค่ามุม  $\phi'$  เปรียบเทียบกับของผู่วิจัยอื่นๆ



- B BEREZANTZEV (1961)
- V VESIC (1963)
- T TERZAGHI (1943)
- $N_q$  ของ FRANKI PILES ผลวิจัย
- $N_q$  ของ เล่าเซ็มเจาะ: ผลวิจัย
- M เล่าเซ็มตอก MEYERHOF (1953)
- M เล่าเซ็มเจาะ MEYERHOF (1953)

รูปที่ 4.9 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก  
เสาเข็ม Franki,P-4 โครงการโรงไฟฟ้า



แรงเสียดทาน = 90 ตัน

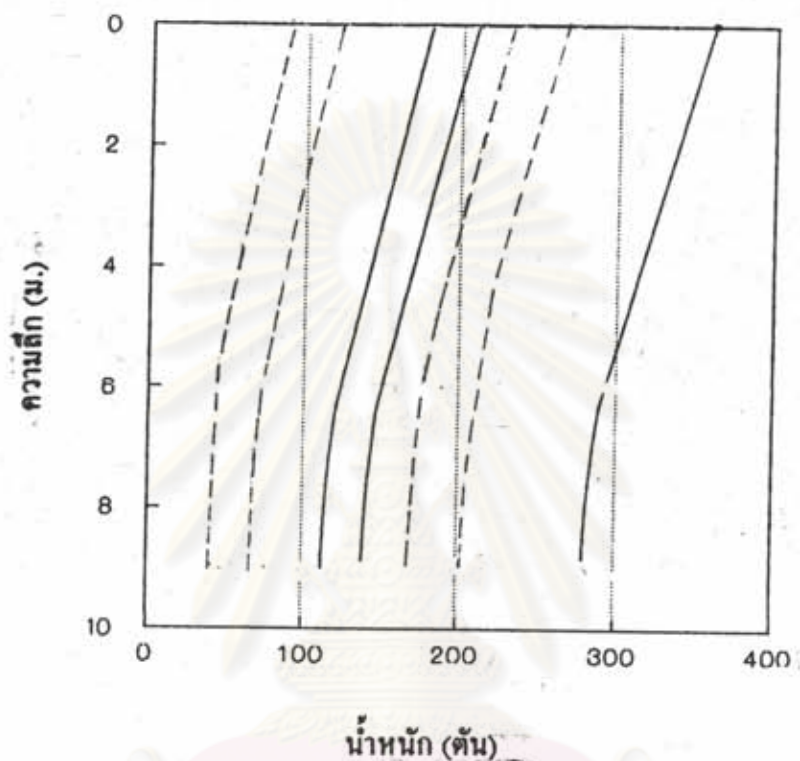
ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเสาเข็ม

ตั้งแต่ 180 ตัน ถึง 300 ตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก  
เสาเข็ม Franki,P-5 โครงการโรงไฟฟ้า



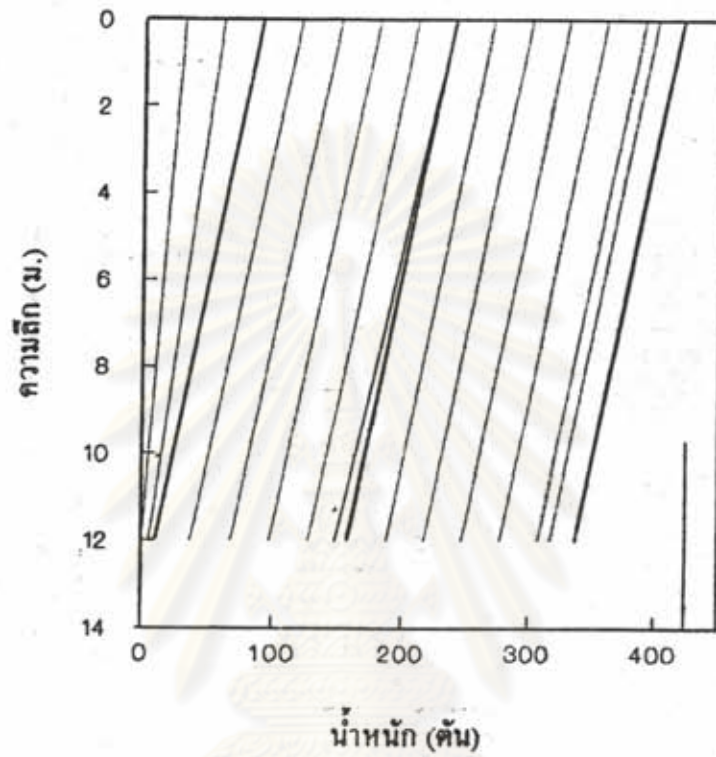
แรงเสียดทาน = 60 ตัน

ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเสาเข็ม

ตั้งแต่ 100 ตัน ถึง 350 ตัน

ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.11 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก  
เสาเข็ม Franki,P-6 โครงการ ICI PTA Plant



แรงเสียดทาน = 82 ตัน

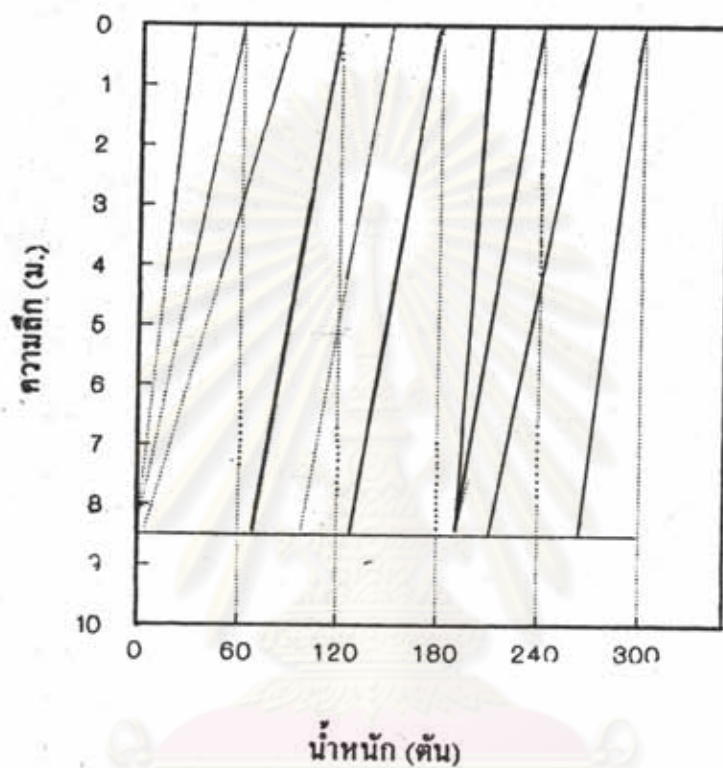
ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเสาเข็ม

ตั้งแต่ 210 ตัน ถึง 300 ตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก

เสาเข็ม Franki,P-7 โครงการ ICI PTA Plant



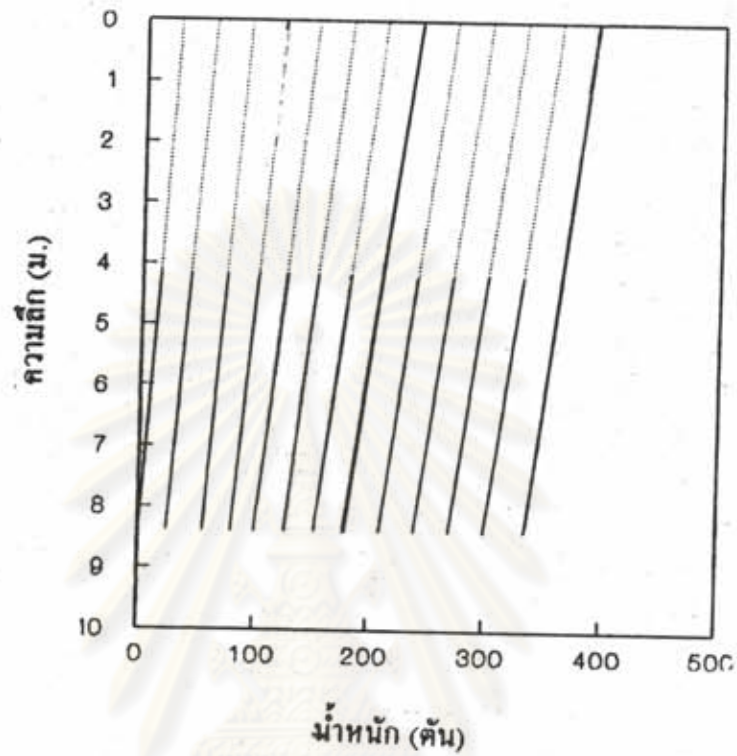
แรงเสียดทาน = 60 ตัน

ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเสาเข็ม

ตั้งแต่ 120 ตัน ถึง 260 ตัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.13 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก  
เสาเข็ม Franki, P-8 โครงการ ICI PTA Plant

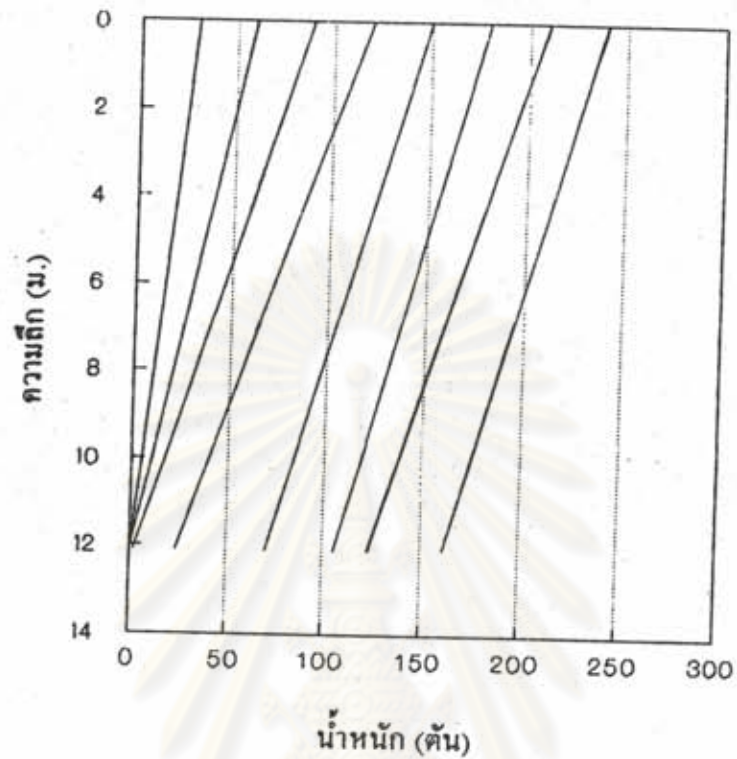


แรงเสียดทาน = 60 ตัน  
ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเสาเข็ม  
ตั้งแต่ 120 ตัน ถึง 350 ตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 แสดงการกระจายน้ำหนักที่ผิวของเสาเข็มแปรตามความลึก  
เสาเข็ม Franki,P-9 โครงการ ICI PTA Plant



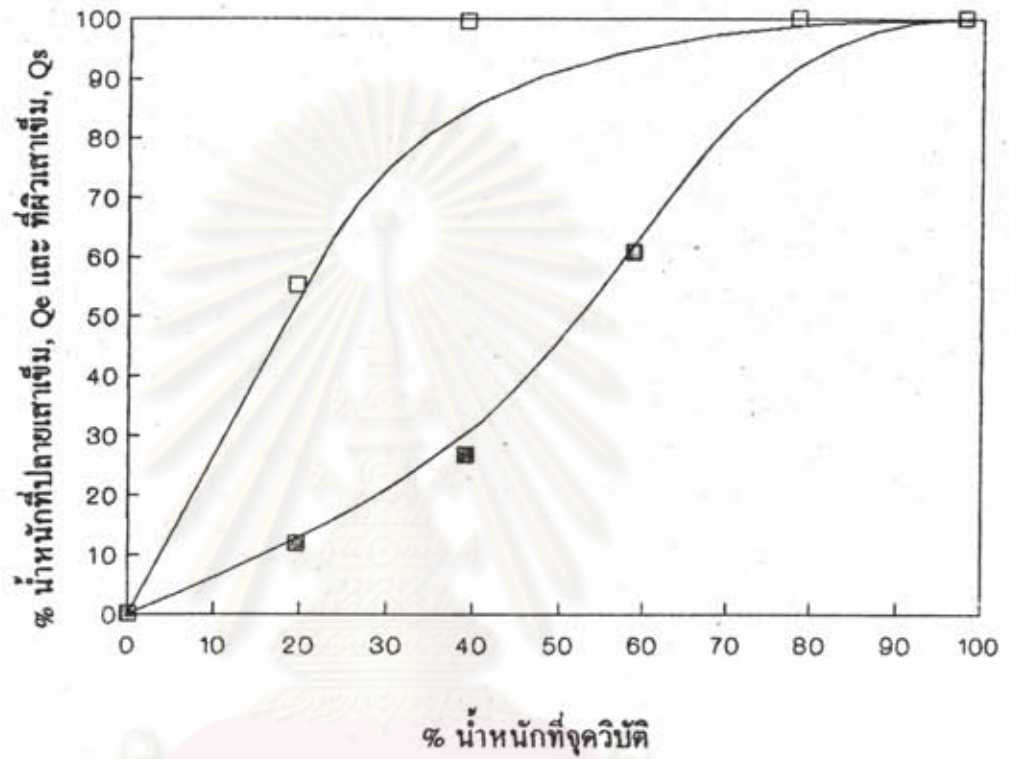
แรงเสียดทาน = 80 ตัน

ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเสาเข็ม

ตั้งแต่ 50 ตัน ถึง 240 ตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

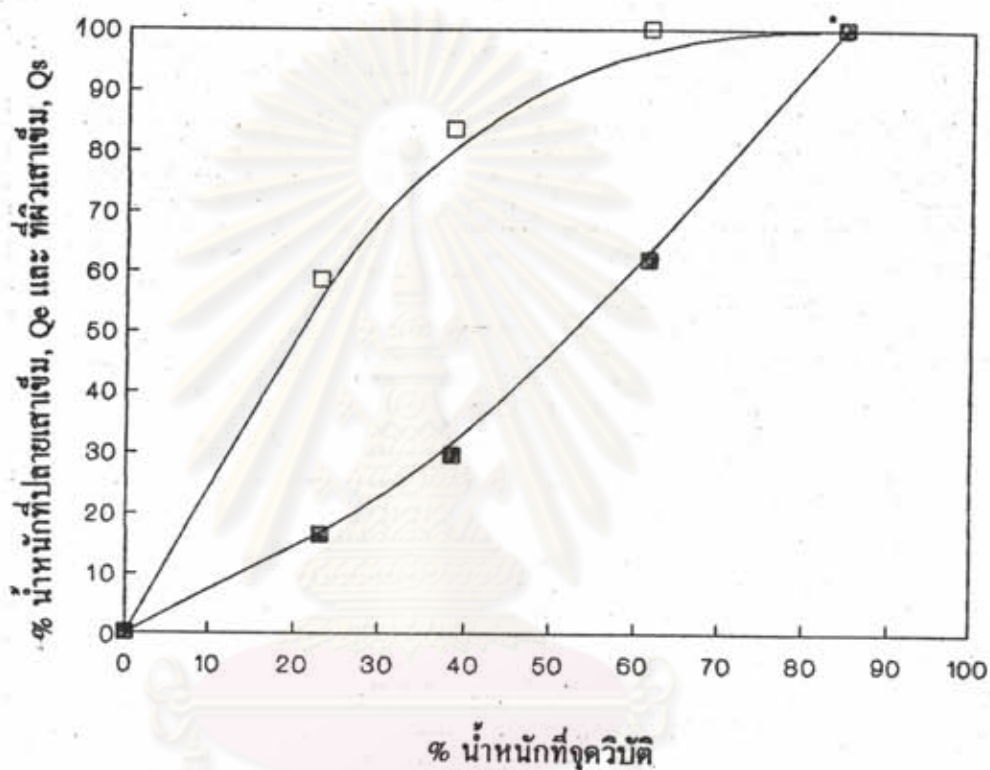
รูปที่ 4.15 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % ของน้ำหนักที่จุดวัด  
 เสาเข็ม Franki P-9 โครงการ ICI PTA Plant



- เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม ,%Qe
- ◆ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่กระจายที่ผิวของเสาเข็ม ,%Qs

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.16 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % ของน้ำหนักที่จุดวิตติ  
เสาเข็ม Franki P-8 โครงการ ICI PTA Plant

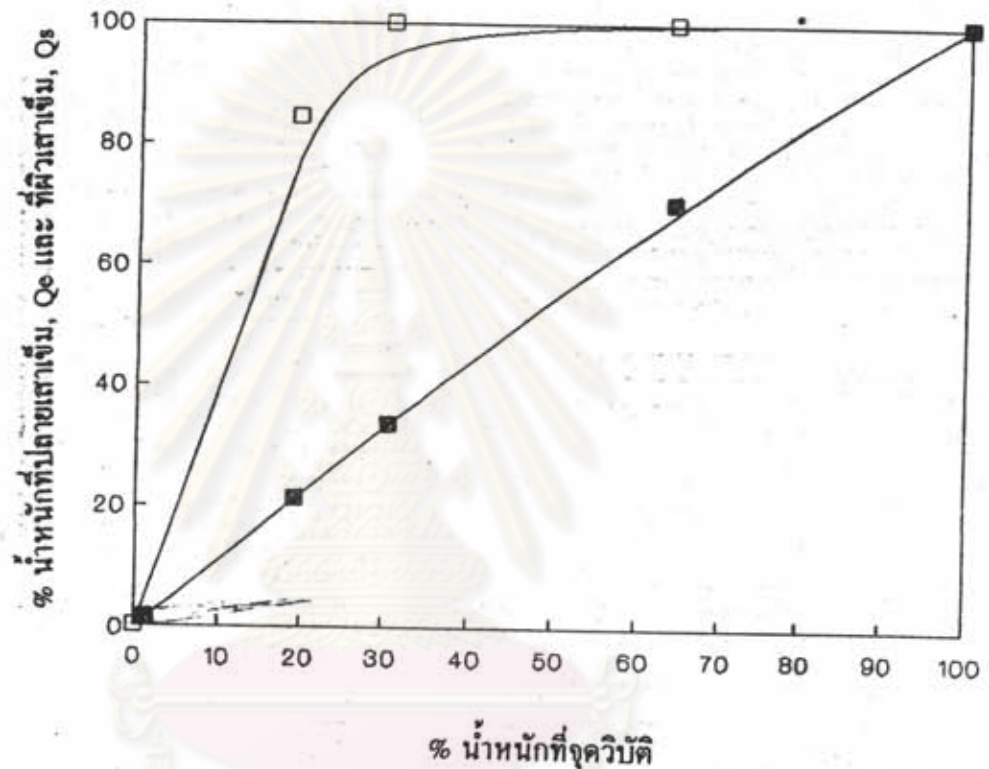


■ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม, % $Q_e$

□ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่กระจายที่ผิวของเสาเข็ม, % $Q_s$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.17 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % ของน้ำหนักที่จุดวิกฤติ  
เสาเข็ม Franki P-7 โครงการ ICI PTA Plant



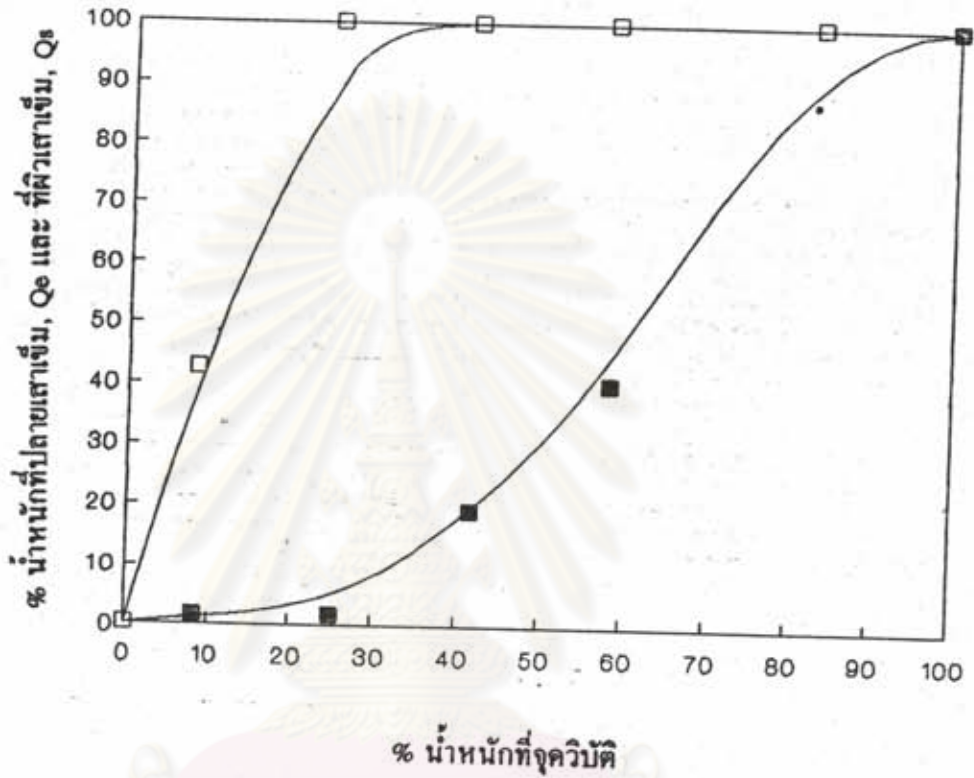
■ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม, %Qe

□ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่กระจายที่ผิวของเสาเข็ม, %Qs

ศูนย์วิจัยทรัพยากรธรณี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



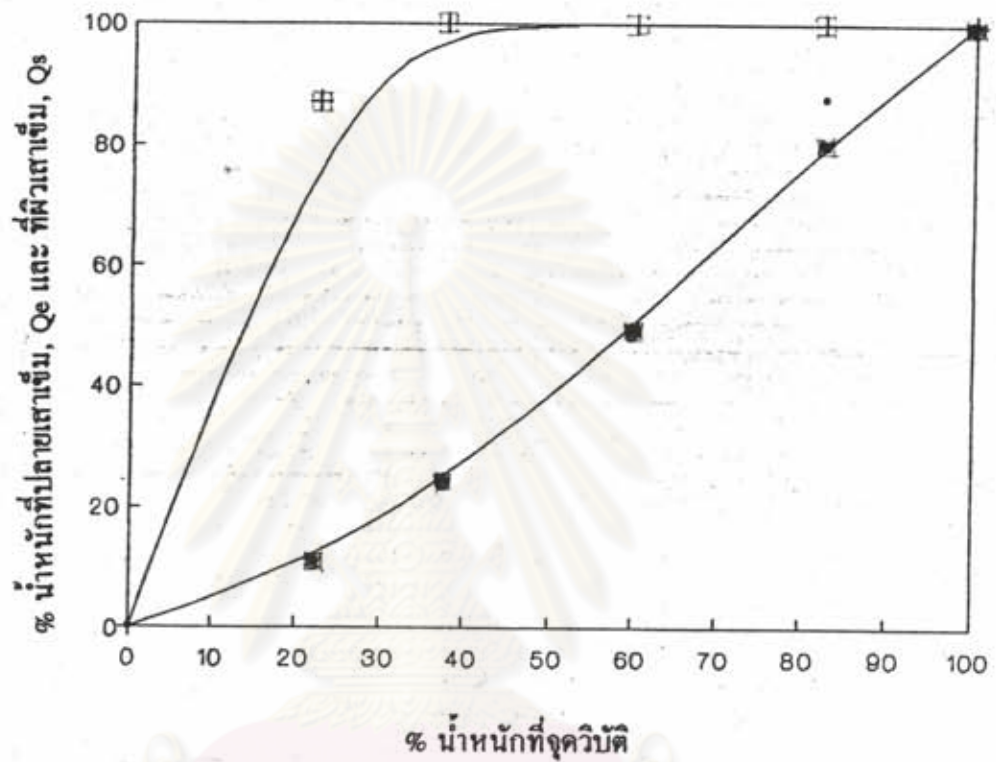
รูปที่ 4.18 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % ของน้ำหนักที่จุดวัดติ  
เสาเข็ม Franki P-6 โครงการ ICI PTA Plant



- เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่ปลายนเสาเข็ม, % $Q_e$
- เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่กระจายที่ผิวของเสาเข็ม, % $Q_s$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.19 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % ของน้ำหนักที่จุดวิบัติ  
เสาเข็ม Franki P-5 โครงการ โรงไฟฟ้า พลังความร้อนร่วม ระยอง

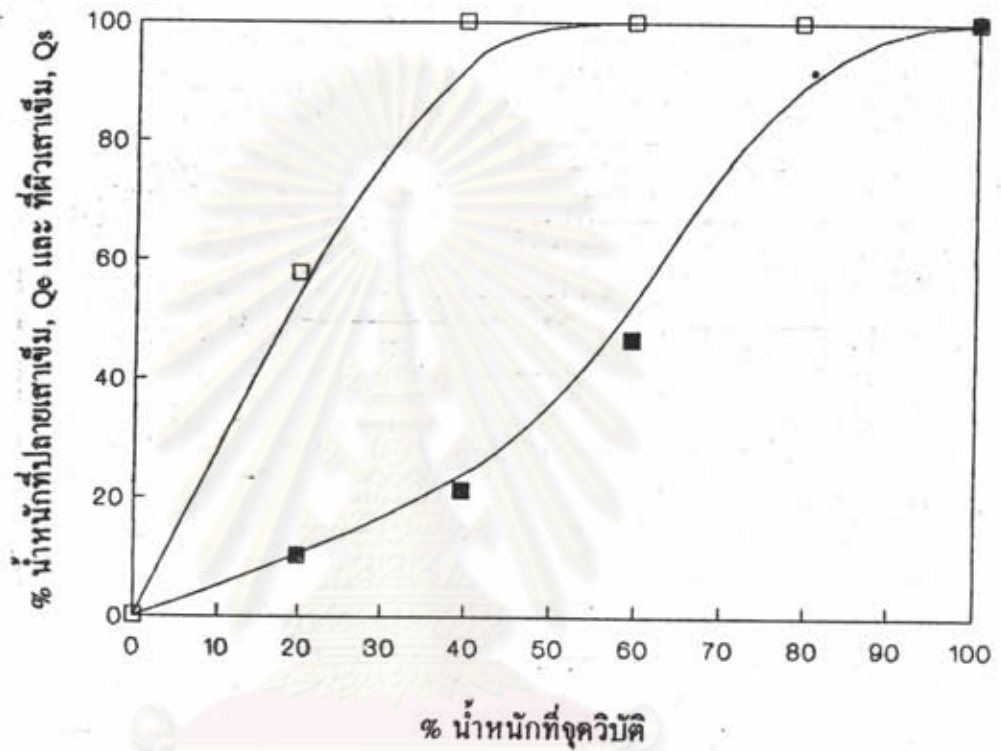


■ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม, % $Q_e$

□ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่กระจายที่ผิวของเสาเข็ม, % $Q_s$

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.20 แสดงการกระจายน้ำหนักในเสาเข็มเป็น % เทียบกับ % ของน้ำหนักที่จุดวิบัติ  
เสาเข็ม Franki P-4 โครงการ โรงไฟฟ้า พลังความร้อนร่วม ระยอง



■ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม, %Qe

□ เปอร์เซนต์ น้ำหนักที่กระจายที่ผิวของเสาเข็ม, %Qs

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.9 เงื่อนไขในการนำค่า $N_q$ ไปใช้ในการออกแบบ

จากการที่เสาเข็ม Franki ที่ทำการทดสอบทั้งหมดมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (plunging failure) เมื่อส่วนหัวของเสาเข็มเกิดการเคลื่อนตัวสูง แต่จากผลการวิเคราะห์ถ้าเลือกใช้ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ จุดวิกฤติ (critical load) โดยใช้ค่าที่หักความปลอดภัยของค่า end bearing เท่ากับ 1.5 ถึง 2 แล้ว ทำให้น้ำหนักบรรทุกที่ส่วนปลายของเสาเข็มมีค่า ลดลง 1.5 ถึง 2 เท่า ดังนั้นสำหรับเสาเข็ม Franki ที่ตอกอยู่ในระยอง หรือในสถานะและสภาพดินที่คล้ายคลึงกัน ดังกล่าว เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานแล้วค่าการทรุดตัวที่ส่วนหัวของเสาเข็มจะมีไม่ถึง 1% ของเส้นผ่าศูนย์กลาง และการขยายพื้นที่ส่วนปลายเสาเข็มในดินระยอง มีค่าเพิ่มขึ้น 1.8 เท่า แต่ทั้งนี้ถ้าในสภาพดินเป็นอย่างอื่น เช่นดินเหนียว การกระทำตามขั้นตอนการตอก ดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 4.2.1 สิ่งที่ต้องคำนึงที่สำคัญ คือการแทนที่ดิน (soil displacement) และการลอยตัว (heave) ซึ่งจะเกิดการเคลื่อนตัวของดินมาก ขณะทำการตอก และขยายฐาน

#### 4.10 การวิเคราะห์หาสูตร empirical สำหรับประเมินค่าตัวประกอบรับแรงเสียดทาน

$K_s \tan \phi'_a$  ในรูปของค่ามุม  $\phi'$

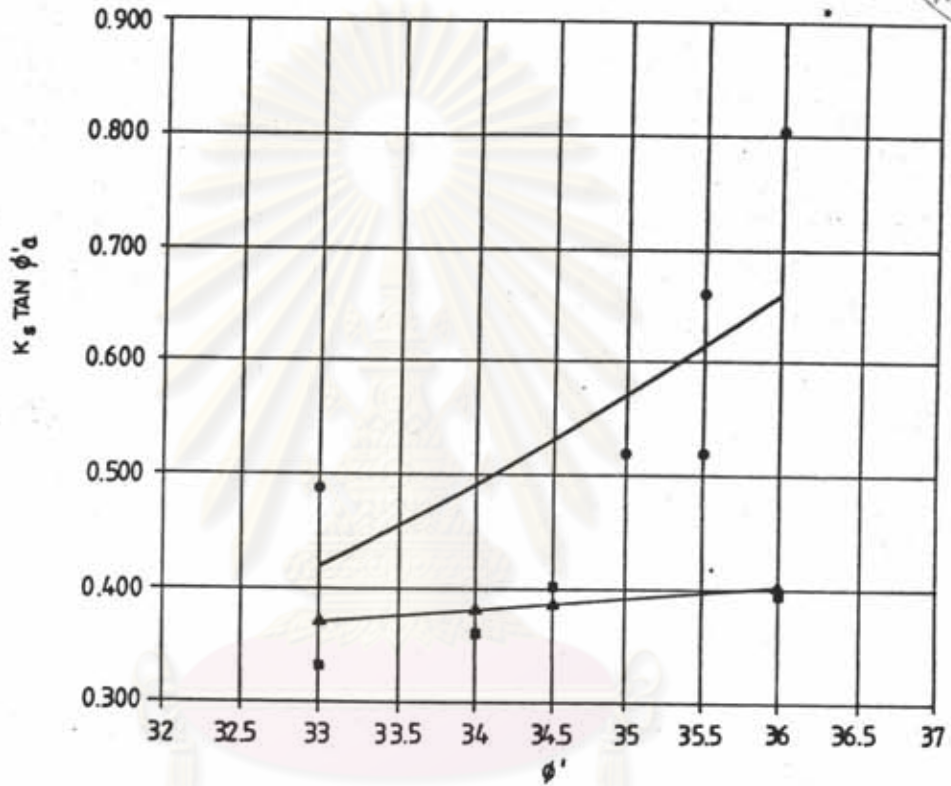
ค่า  $K_s \tan \phi'_a$  ในรูปของความสัมพันธ์กับค่ามุม  $\phi'$  ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.429 ถึง 0.659 ที่ค่ามุม  $\phi'$  ระหว่าง 33 ถึง 36 องศา ซึ่งเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการของ Meyerhof (1976) พบว่าอยู่ในช่วงกลางๆ ระหว่างเสาเข็มตอก และเสาเข็มเจาะดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.22 และจากเสาเข็มเจาะใน โครงการโรงไฟฟ้าฯ ซึ่งได้วิเคราะห์ค่า  $K_s \tan \phi'_a$  ประกอบไว้ด้วย พบว่าค่า  $K_s \tan \phi'_a$  ที่ได้ต่ำกว่าค่าของเสาเข็ม Franki

สิ่งที่ควรคำนึงถึงสำหรับเสาเข็มชนิดนี้

เนื่องจากเสาเข็มชนิดนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีความสามารถรับกำลังรับแรงธารสูงขึ้น และ ค่าการทรุดตัวขณะรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดมีค่าต่ำ การเลือกระดับปลายเข็ม (pile tip) เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอย่างยิ่งทั้งนี้ปลายเข็ม (pile tip) ควรถูกวางไว้ในชั้นดินที่มีความหนาแน่นสูงพอที่จะทำการขยายฐานได้ และไม่ควรมีชั้นดินที่มีค่าการทรุดตัวสูง อยู่ถัดลงไป ทั้งนี้เพื่อให้การนำค่าตัวประกอบรับแรงธาร,  $N_q$  ไปใช้สำหรับออกแบบ ได้เป็นไปตามที่เสนอไว้

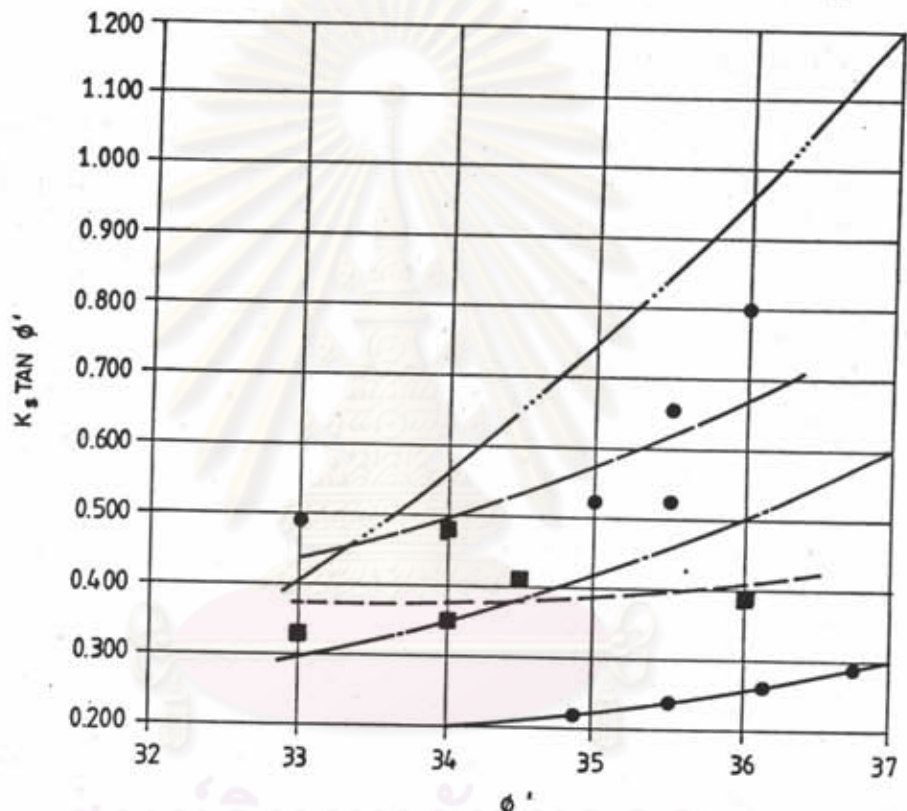


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน  $K_s \tan \phi'$  และมุม  $\phi'$



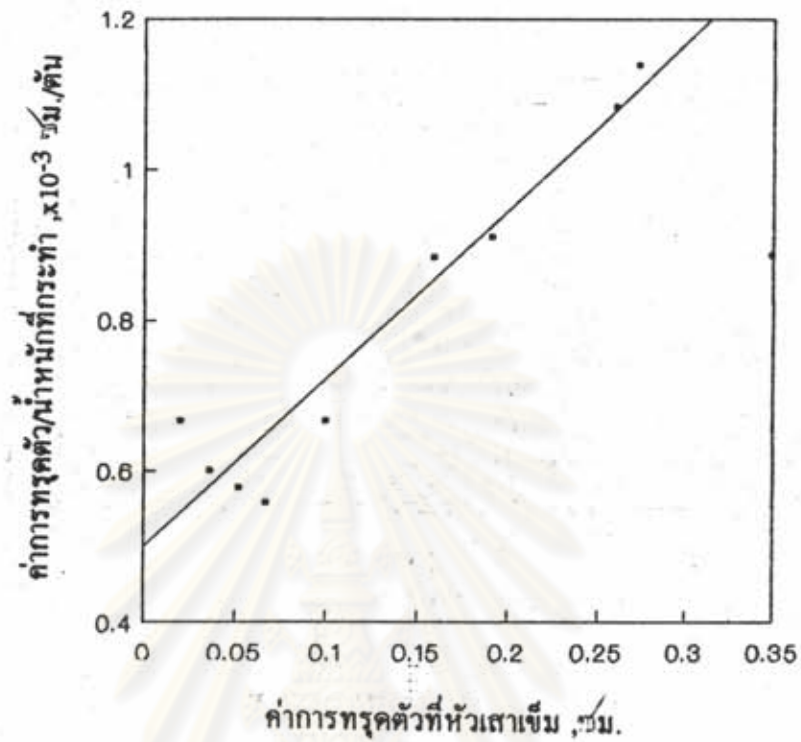
- ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของ เสาเข็ม FRANKI
- ค่าประมาณของ  $K_s \tan \phi'$  ของเสาเข็ม FRANKI
- ▲— ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของเสาเข็มเจาะ
- ค่าประมาณของ  $K_s \tan \phi'$  ของเสาเข็มเจาะ

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน  $K_s \tan \phi'$  และมุม  $\phi'$

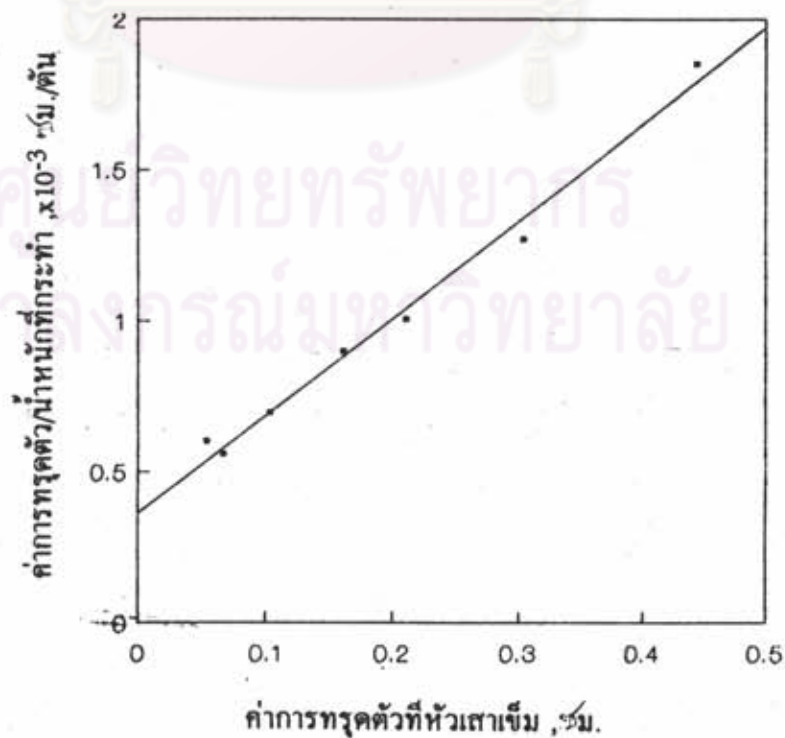


- ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของ เล้าเซ็ม FRANKI
- ค่าประมาณของ  $K_s \tan \phi'$  ของเล้าเซ็ม FRANKI
- - - ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของเล้าเซ็มเจาะ
- ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของเล้าเซ็มเจาะ
- · - · - ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของเล้าเซ็มตอก
- · - - ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของเล้าเซ็ม JACKED
- ● — ค่า  $K_s \tan \phi'$  ของเล้าเซ็มเจาะ MEYERHOF (1976)

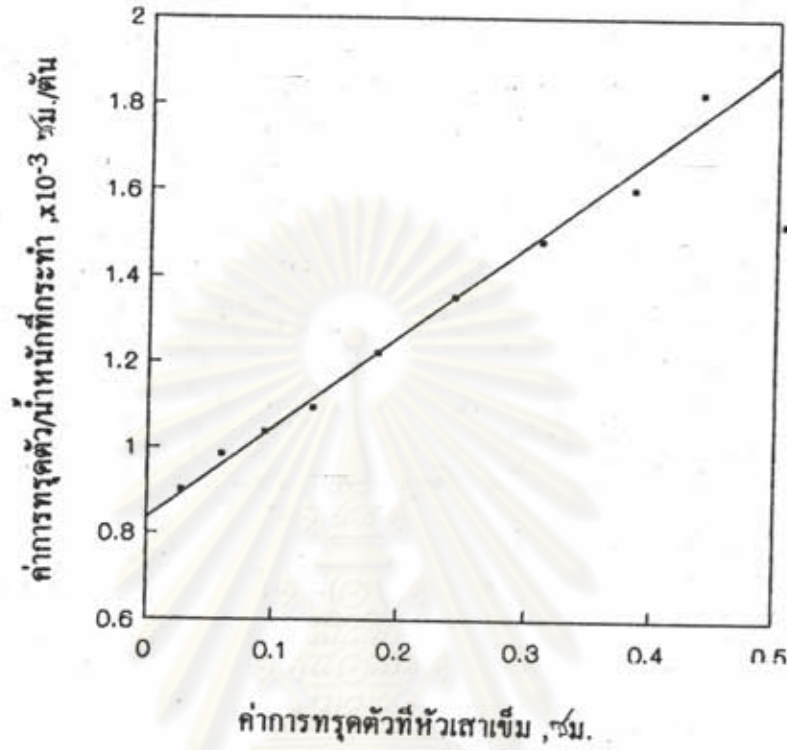
รูปที่ 4.23 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
เสาเข็ม Franki P-1 โครงการ พูน คอนโดมิเนียม



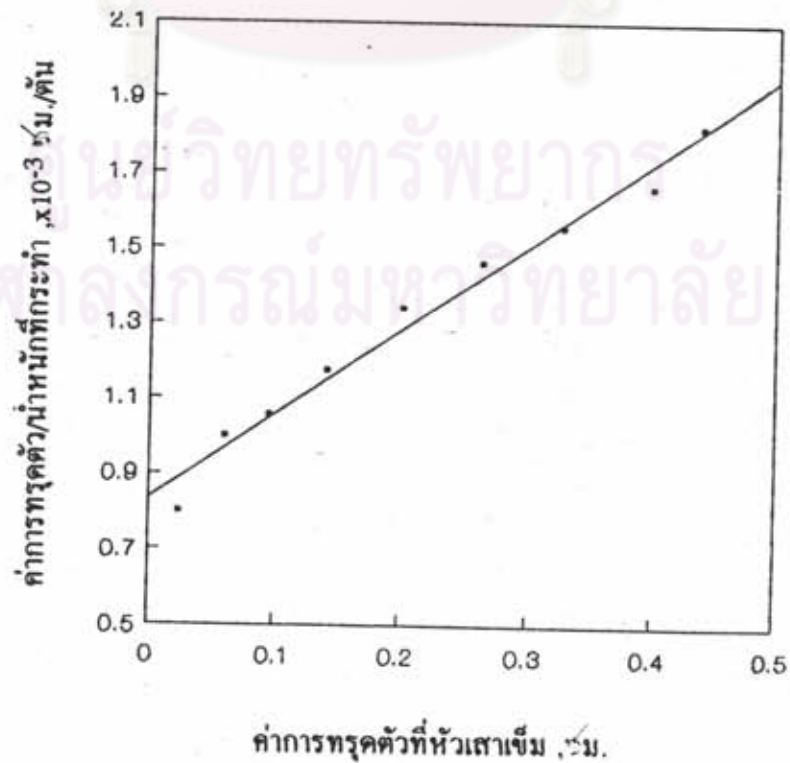
รูปที่ 4.24 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
เสาเข็ม Franki P-2 โครงการ พูน คอนโดมิเนียม



รูปที่ 4.25 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970) เสาเข็ม Franki P-4 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง

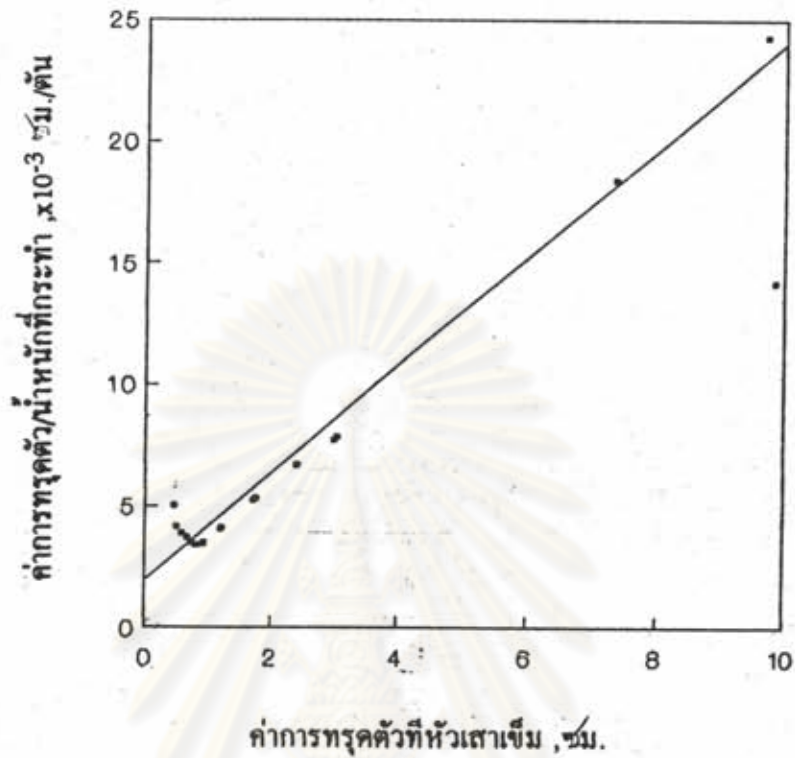


รูปที่ 4.26 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970) เสาเข็ม Franki P-5 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง

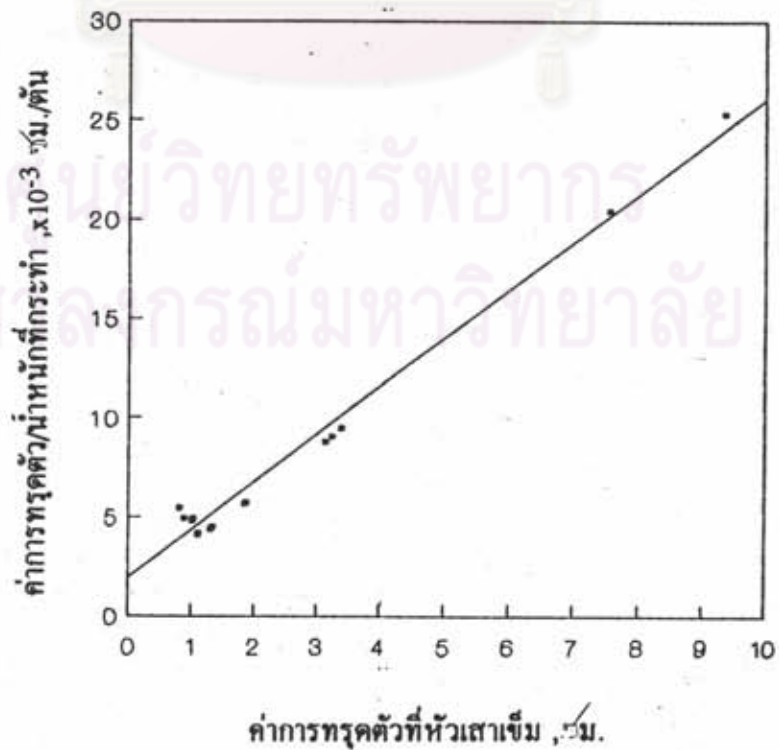




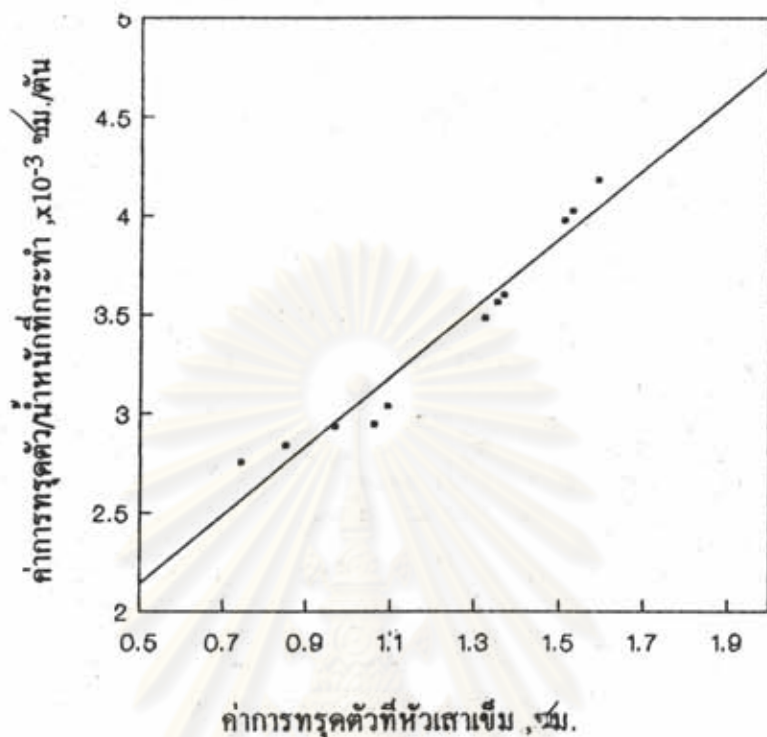
รูปที่ 4.27 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
 เสาเข็ม Franki P-6 โครงการ ICI PTA Plant



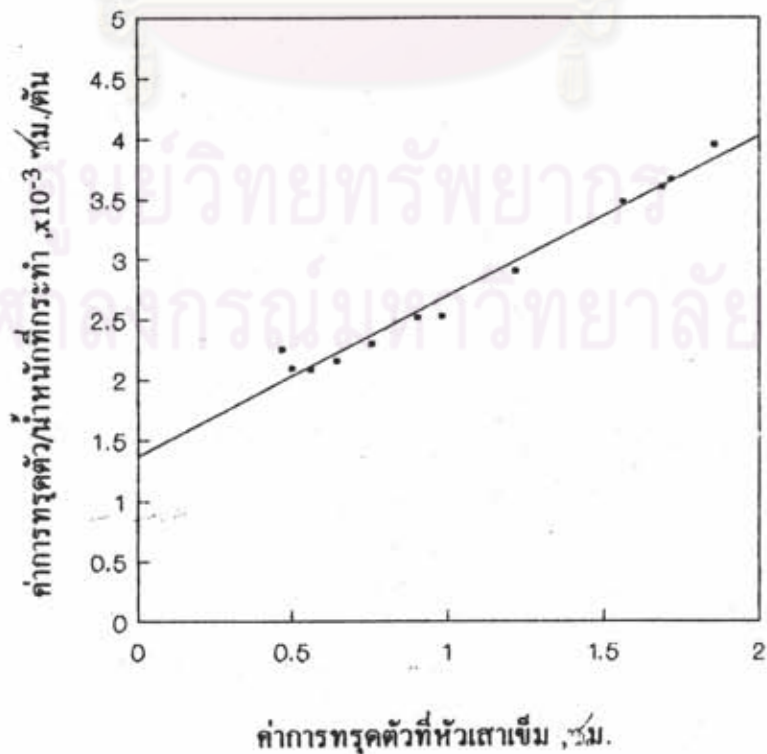
รูปที่ 4.28 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
 เสาเข็ม Franki P-7 โครงการ ICI PTA Plant



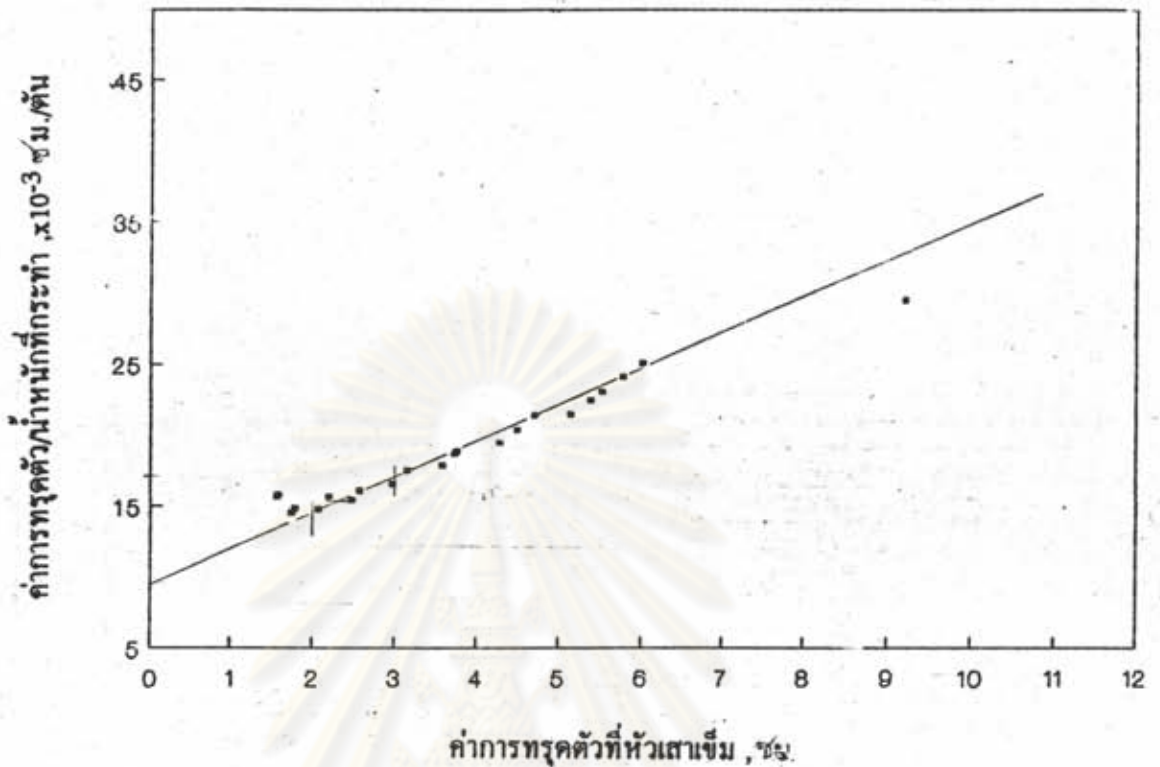
รูปที่ 4.29 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
เสาเข็ม Franki P-8 โครงการ ICI PTA Plant



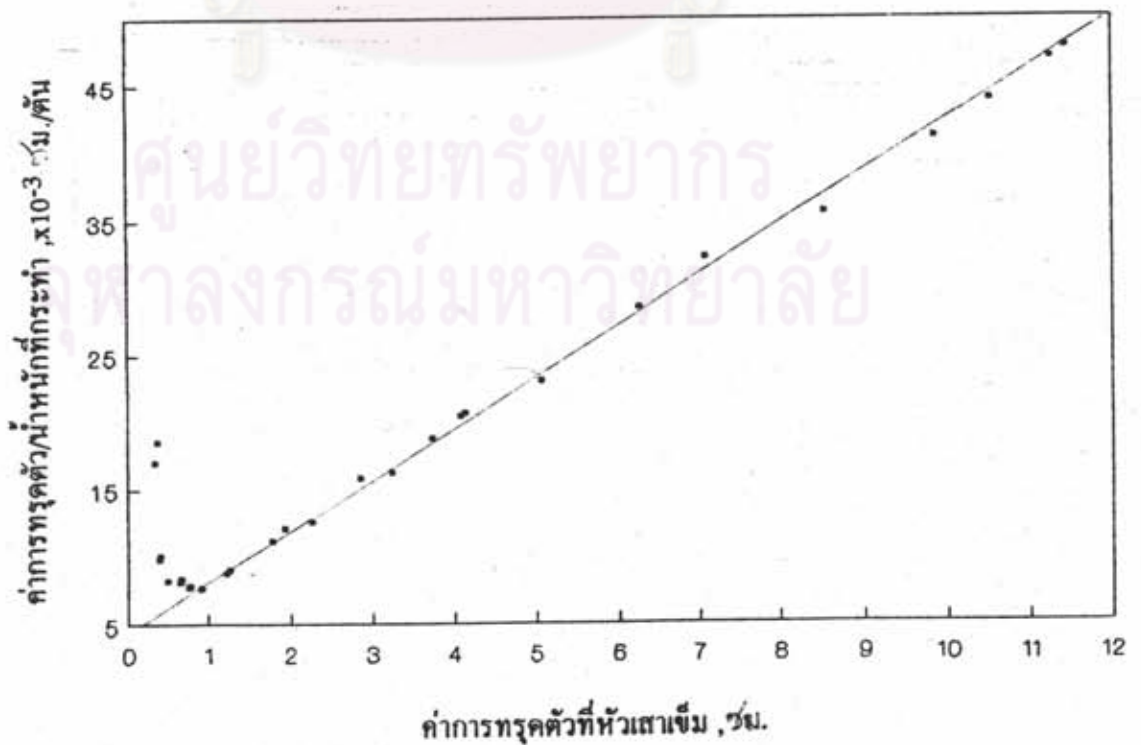
รูปที่ 4.30 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
เสาเข็ม Franki P-9 โครงการ ICI PTA Plant



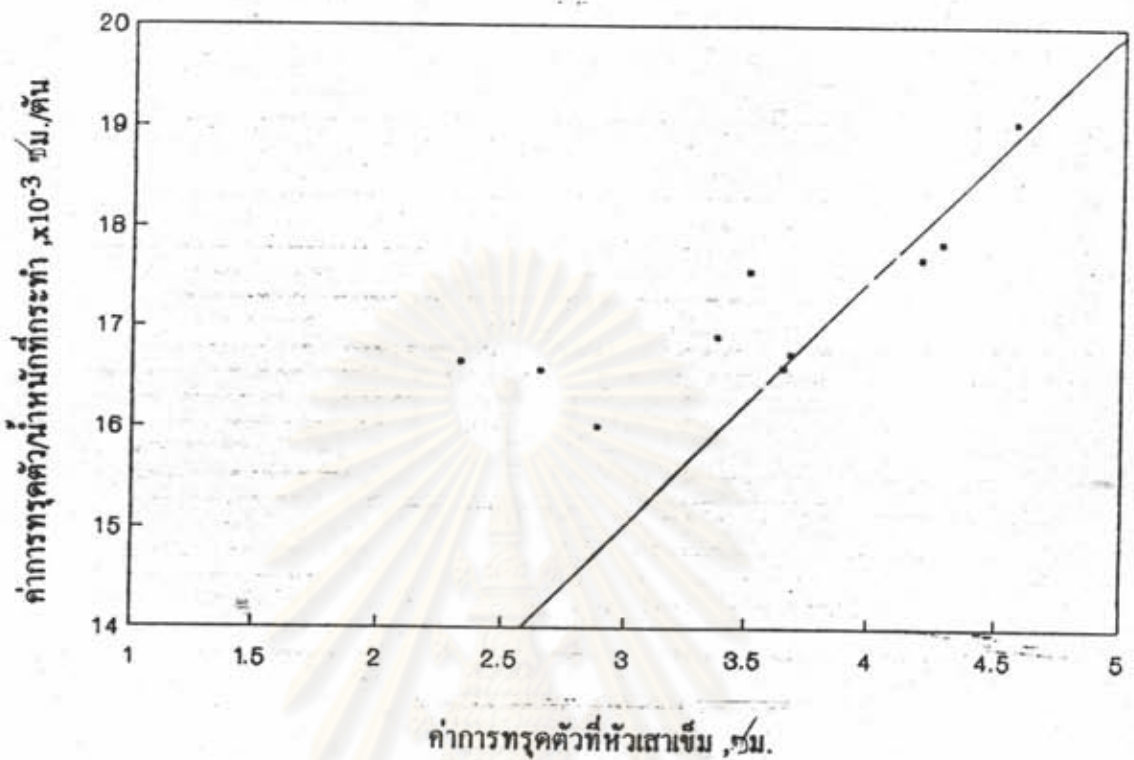
รูปที่ 4.31 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
เสาเข็มเจาะ T-1 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง



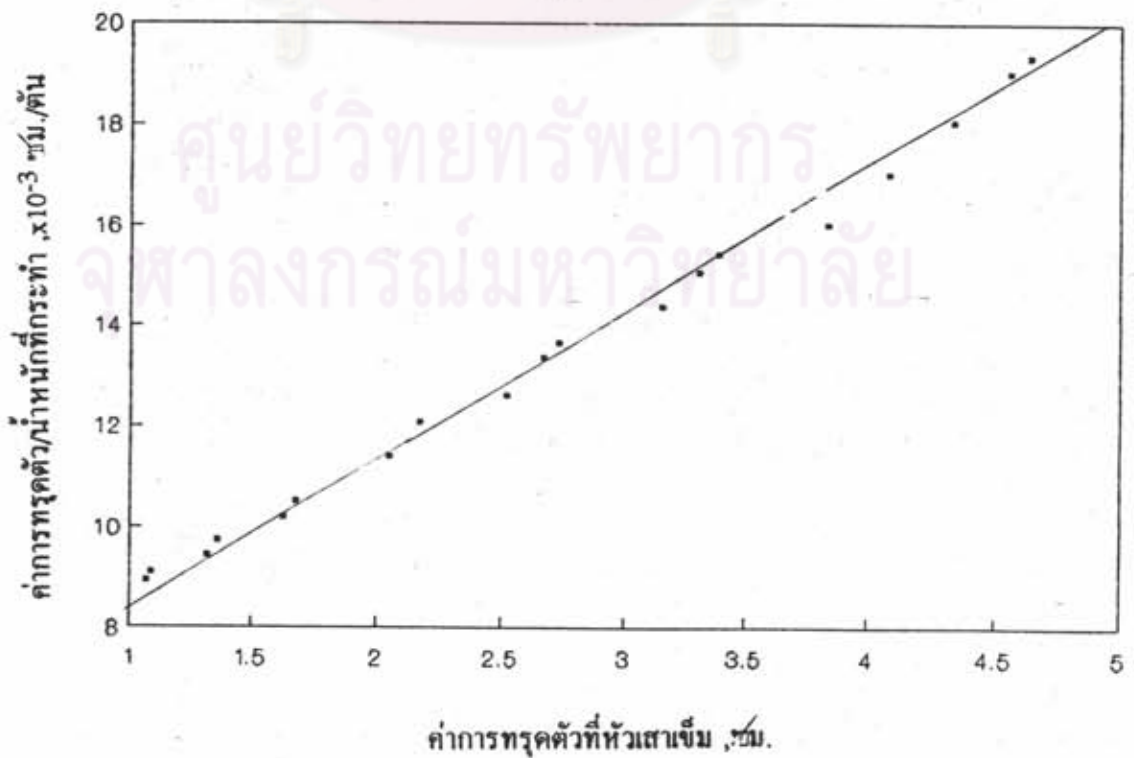
รูปที่ 4.32 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970)  
เสาเข็มเจาะ T-2 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง



รูปที่ 4.33 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970) เสาเข็มเจาะ T-3 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง

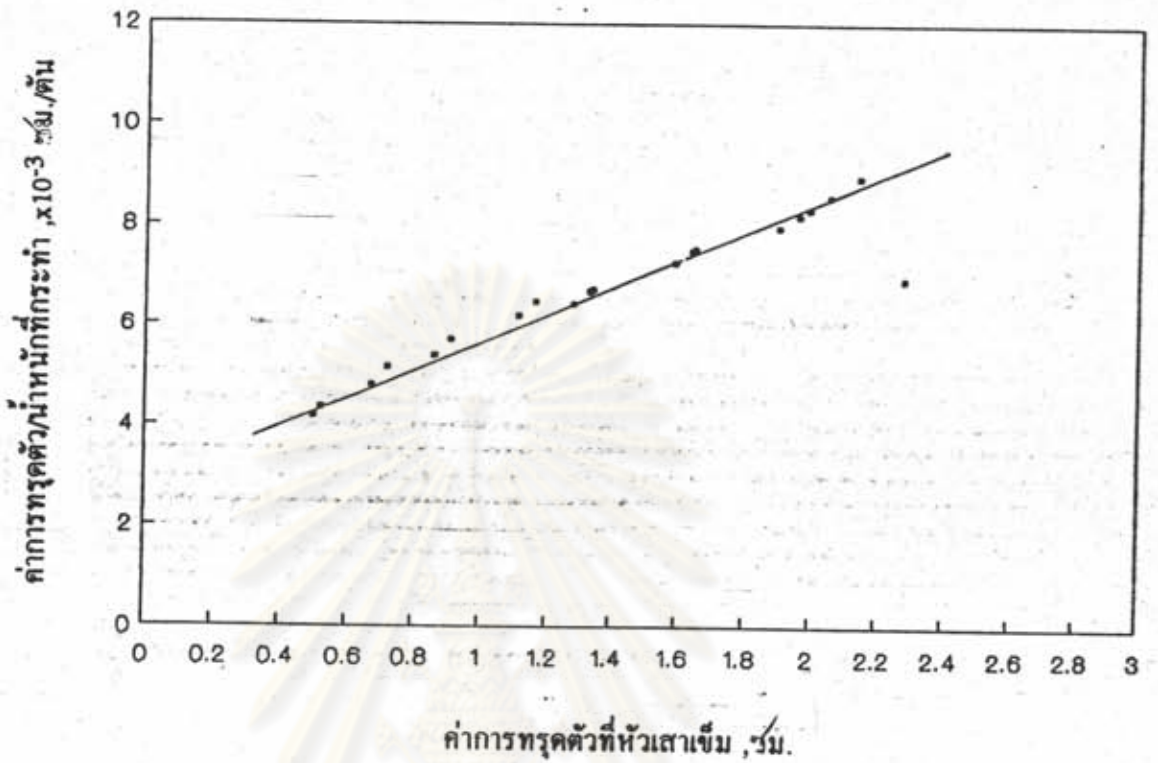


รูปที่ 4.34 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970) เสาเข็มเจาะ T-4 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง





รูปที่ 4.35 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970) เสาเข็มเจาะ T-5 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง



รูปที่ 4.36 แสดงการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ โดยวิธีของ Chin(1970) เสาเข็มเจาะ T-6 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระยอง

