

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 สภาพดินบริเวณที่ทำการทดสอบเสาเข็ม

ข้อมูลการเจาะสำรวจดินในบริเวณสนาม ได้รับจากอาจารย์ประจิด จิรปภา ซึ่งเจาะสำรวจในปี 2524 เพื่อศึกษาเสาเข็มไมโครรา พบว่า ในบริเวณสนามที่ทดสอบเสาเข็มมีชั้นดินเหนียวอ่อนสีเทาปนดำหนา 12 เมตร ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็งสีน้ำตาลปนเหลือง ถึงระดับ 21 เมตร แล้วจึงเป็นชั้นทรายสีน้ำตาลปนเหลือง คุณสมบัติของดินแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4-1

4.2 การกวดเสาเข็มด้วยแม่แรงไฮดรอลิกส์

การกวดเสาเข็มลงสู่ดินใช้แม่แรงไฮดรอลิกส์ 2 ตัว โดยใช้แม่แรงขนาด 20 ตัน และ 100 ตัน

ในระยะกวดเสาเข็มลงสู่ดินลึก 6 เมตร ใช้แม่แรงขนาด 20 ตัน ปรากฏว่าสามารถกวดได้ช้ามาก ใช้เวลาในการกวดนานมาก สันนิษฐานว่า ชั้นดินเป็นดิน Weathered clay ซึ่งแข็งพอสมควร น้ำหนักกดสูงสุดที่ความลึกของเสาเข็ม 6 เมตร มีค่าประมาณ 7.5 ตัน

ระยะ 6-10 เมตร ใช้แม่แรงขนาด 20 ตัน กวดเสาเข็ม สามารถกวดได้เร็วขึ้นมาก ใช้เวลาประมาณ 3 วัน สังเกตได้ว่า ดินอ่อน น้ำหนักกดสูงสุดประมาณ 10 ตัน

ระยะ 10-14 เมตร ใช้แม่แรงขนาด 20 ตัน กวดเสาเข็มซึ่งก็ยังสามารถกวดได้รวดเร็ว ใช้เวลาประมาณ 4 วัน น้ำหนักกดสูงสุดประมาณ 12 ตัน

ระยะ 14-17 เมตร ดินเริ่มแข็งขึ้นมาก ใช้แม่แรงขนาด 100 ตันกวดเสาเข็ม กวดได้ช้ามาก ใช้เวลาประมาณ 7 วัน ในขณะกวดเสาเข็มเพื่อจะให้ได้ระยะ 18 เมตร มีโครงเหล็กบางส่วนเสียหาย น้ำหนักกดสูงสุดประมาณ 26 ตัน

ระยะ 17-18 เมตร ดินแข็งขึ้น ใช้แม่แรงขนาด 100 ตันกดเสาเข็ม ตัวโยกเพื่ออัดน้ำมันเข้ากระบอกอัด (RAM) เสีย จึงอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดไม่ได้ ใช้เวลาทดสอบประมาณ 4 วัน

4.3 การทดสอบเสาเข็ม

ทำการทดสอบเสาเข็มจำนวน 5 ครั้ง โดยวิธีน้ำหนักถ่วงคงตัวไว้ที่ความลึก 6, 10, 14, 17 และ 18 เมตร หน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในเสาเข็มสูงสุดมีค่าน้อยมากเพียงประมาณ 453 กก/ซม² ที่เสาเข็มลึก 18 เมตร การบิดตัวของเสาเข็มโดยการโค้งงอจึงไม่ปรากฏให้เห็นในการกดและทดสอบเสาเข็มนี้จะเห็นได้อย่างชัดเจนในส่วนบนของเสาเข็มว่า ดินระหว่างปีกของเสาเข็ม เกาะติดปีกและเอวของเสาเข็มจมลงสู่ดินชั้นล่างทำให้เกิดช่องว่างของดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมตามลักษณะเส้นรอบรูปของเสาเข็ม

4.4 ผลที่ได้รับจากสเตรนเกจ

เมื่อมีแรงกระทำในแนวตั้งที่หัวเสาเข็ม ก็เกิดการถ่ายแรงไปสู่หน้าตัดต่าง ๆ ของเสาเข็ม จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่า ค่าความเครียดที่ภาคตัดในแนวระนาบต่าง ๆ มีค่า

$$\epsilon = \frac{\delta \Delta}{\delta Y} = \frac{P}{AE} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ϵ = ค่าความเครียดบนหน้าตัดในแนวระนาบที่เกิดแรงกระทำ

P_y = ค่าแรงกระทำในแนวตั้งต่อหน้าตัด

A = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มในแนวระนาบ, 122.4 ซม²

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก, 2.06×10^6 กก/ซม²

จากสมการ 4.1 สามารถหาแรงกระทำที่หน้าตัดต่าง ๆ ของเสาเข็มได้ โดยติดตั้งสเตรนเกจเพื่อวัดค่าความเครียดที่หน้าตัดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ถึง 4.7

การติดตั้งสเตรนเกจที่เสาเข็มในการทดลองนี้ ใช้ตัวสเตรนเกจติดกับเนื้อเหล็กของเสาเข็มโดยตรง แล้วนำสารประกอบประเภท Resin fiber และ Silicone rubber มาหุ้มเพื่อกันน้ำซึมเข้าไปทำลายสเตรนเกจ แต่ปรากฏว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 6 เดือนหลังจาก

กค.เสาเข็มลงสู่ดิน สเตรน เกจซึ่งต้องแช่อยู่ในน้ำหลายตัวเสียหายไปและมีบางตัวที่อ่านค่าผิดพลาดมาก จึงตัดข้อมูลออกใช้เฉพาะข้อมูลจากสเตรน เกจที่อ่านค่าได้และมีค่า เป็นไปได้เท่านั้น ซึ่งเมื่อมีการทดสอบครั้งสุดท้าย เป็นเวลา 8 เดือน หลังจากเริ่มกค.เสา เข็มปรากฏว่ามีสเตรน เกจใช้ได้แค่ 7 ตัว จากจำนวนทั้งหมด 18 ตัวและค่าที่อ่านได้จากสเตรน เกจมีความละเอียด 10×10^{-6} ทำให้ค่าแรงกระทำที่ได้ไม่ละเอียดมากนัก

4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การ เกาะตัวและแรงต้านด้านข้าง เสา เข็ม

จากสมการที่ 4.1 สามารถหาแรงกระทำที่หน้าตัดต่าง ๆ ในแนวระนาบของเสา เข็ม ได้เมื่อแบ่ง เสา เข็มออก เป็นส่วนตามความยาวของ เสา เข็มเพื่อหาค่าแรงจาก เสา เข็มที่กระจายสู่ดิน โดยรวม จะได้สมการ เป็น

$$\Delta P = \alpha \cdot A_s \cdot F_s \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

โดยที่ ΔP = ผลต่างของแรงกระทำค่อนหน้าตัดของ เสา เข็มส่วนที่พิจารณา

α = สัมประสิทธิ์การ เกาะตัวของดิน

A_s = พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง เสา เข็มและดินรอบเสา เข็มใช้เท่ากับ ความยาวของเสา เข็มในช่วงที่พิจารณาคูณด้วย 4 เท่าความ กว้างเสา เข็ม

F_s = หน่วยแรงเฉือนของดินในกรณีนี้ใช้หน่วยแรงเฉือนไม่ระบายน้ำ, S_u

จากสมการที่ 4.2 เมื่อทราบค่า $\Delta P, A_s$ และ S_u จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การ เกาะตัวได้

ค่าการกระจายแรงจาก เสา เข็มสู่ดิน โดยรวมโดยแรงต้านด้านข้างและค่าสัมประสิทธิ์การ เกาะตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าระยะหลุดตัวก่อนการพิบัติของเสา เข็ม ซึ่งมีค่าระยะหลุด ตัวมากกว่า 4.0 มม. ซึ่งระยะหลุดตัวนี้คาดว่ามากพอที่จะทำให้ค่ากำลัง เฉือนของดิน เกิดขึ้นได้สูงสุด HOLMBERG (1970) แสดงไว้ว่า ค่าระยะหลุดตัว 5 มม. มากพอที่จะให้กำลัง เฉือนของดิน เกิดขึ้น

สูงสุดสำหรับ เสา เข็มคอนกรีตในชั้นดินเหนียว SURIVONGSE (1972) กล่าวว่า ต้องการ ระยะทรุดตัวประมาณ 2.5 มม. เพื่อให้กำลังเฉือนเกิดขึ้นสูงสุดสำหรับ เสา เข็มคอนกรีตหล่อ ในที่ในชั้นดินเหนียว

จากกราฟรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่ากำลังเฉือนของดินมีค่าต่ำกว่า 3.5 ดัน/ม² ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนช่วง 0-12.0 ม. ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวมีค่าจาก 0.54-1.47 แต่ส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 0.54-0.80 สำหรับดินเหนียวแข็ง ความลึกตั้งแต่ 12.0-15.0 ม. ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวแข็งที่ได้ มีค่า 0.37-0.39

4.6 ค่าแรงต้านที่ปลายเสา เข็มและตัวประกอบหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสา เข็ม

ค่าแรงต้านที่ปลายเสา เข็มสามารถหาค่าได้จากค่าสเตรน เกจที่ปลายเสา เข็มซึ่งสเตรน เกจที่ปลายเสา เข็มนี้ได้ติดตั้งไว้ทั้งหมด 2 ตัว แต่สามารถใช้งานได้เพียง 1 ตัว เท่านั้นและเมื่อ การทดสอบ เข็มที่ความยาว 17 เมตร สเตรน เกจตัวนี้ก็เสียหาย โดยค่าที่อ่านต้องรอรยะเวลา หนึ่ง เพื่อให้เข็มซีค่าความเครียดหยุดนิ่ง ดังนั้นที่ปลายเสา เข็มในช่วง 17 และ 18 เมตรนี้จึง ไม่สามารถอ่านค่าแรงต้านที่ปลายเสา เข็ม

ผลของแรงต้านที่ปลายเสา เข็มและตัวประกอบหน่วยแรงต้านทานที่ปลาย เสา เข็มแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าตัวประกอบหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสา เข็มจะมีค่า 21.2-26.3 ซึ่งมีค่า สูงมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของ RAHIM (1970) ได้ค่า $N_c = 19.5$ (ดินเหนียวแข็ง กรุงเทพฯ) ซึ่ง N_c จากการทดลองนี้ก็สามารถที่จะเป็นไปได้

ค่าแรงต้านที่ปลายเสา เข็มมีค่าประมาณ 7.34-10.09 % ของแรงต้านทั้งหมด เมื่อเสา เข็มมีความยาว 6.0 และ 10.0 ม. และปลายเสา เข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน

ค่าแรงต้านที่ปลายเสา เข็มมีค่าประมาณ 17.59 % ของแรงต้านทั้งหมด เมื่อ เสา เข็มมี ความยาว 14 ม. และปลายเสา เข็มอยู่ในชั้นดิน เหนียวแข็งปานกลาง

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของเสาเข็ม เหล็กรูปตัว เอ็ช 300x300 มม.

ความหนาปีกเสาเข็ม (Flange) , มม.	15
ความหนาเอวเสาเข็ม (Web) , มม.	12
พื้นที่หน้าตัด, ซม ²	122.4
น้ำหนักของเสาเข็ม, กก/ม.	95.5
เส้นรอบรูปเสาเข็ม, ม.	1.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันด้านข้างเสาเข็ม, แรงดันที่ปลายเสาเข็มและตัวประกอบหน่วยแรงดันที่ปลายเสาเข็ม

ความยาว เสาเข็ม (ม)	น้ำหนักกด สูงสุด กก.	แรงดันด้านข้าง กก.	เปอร์เซ็นต์ แรงดันด้านข้าง	แรงดันที่ปลาย เสาเข็ม กก.	ค่าแรงเฉือนไม่ระบายน้ำ ที่ปลายเสาเข็ม (ตัน/ม ²)	ตัวประกอบหน่วยแรง ¹ ด้านที่ปลายเสาเข็ม, N _c	เปอร์เซ็นต์แรงดันที่ปลายเสาเข็ม
6.0	10000	9266	92.66	734	1.90	21.2	7.34
10.0	12135	10911	89.91	1224	2.55	26.3	10.09
14.0	20871	17199	82.41	3672	8.00	25.2	17.59
17.0	47841*	-	-	-	13.00	-	-
18.0	55419*	-	-	-	14.50	-	-

* สเตรนเกจชำรุดไม่สามารถหาแรงดันที่ปลายเสาเข็มได้

1 ค่าพื้นที่หน้าตัดที่ปลายเสาเข็มมีค่า 182.4 ซม²



ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงต้านด้านข้างเสาเข็มและสัมประสิทธิ์การเกาะตัว

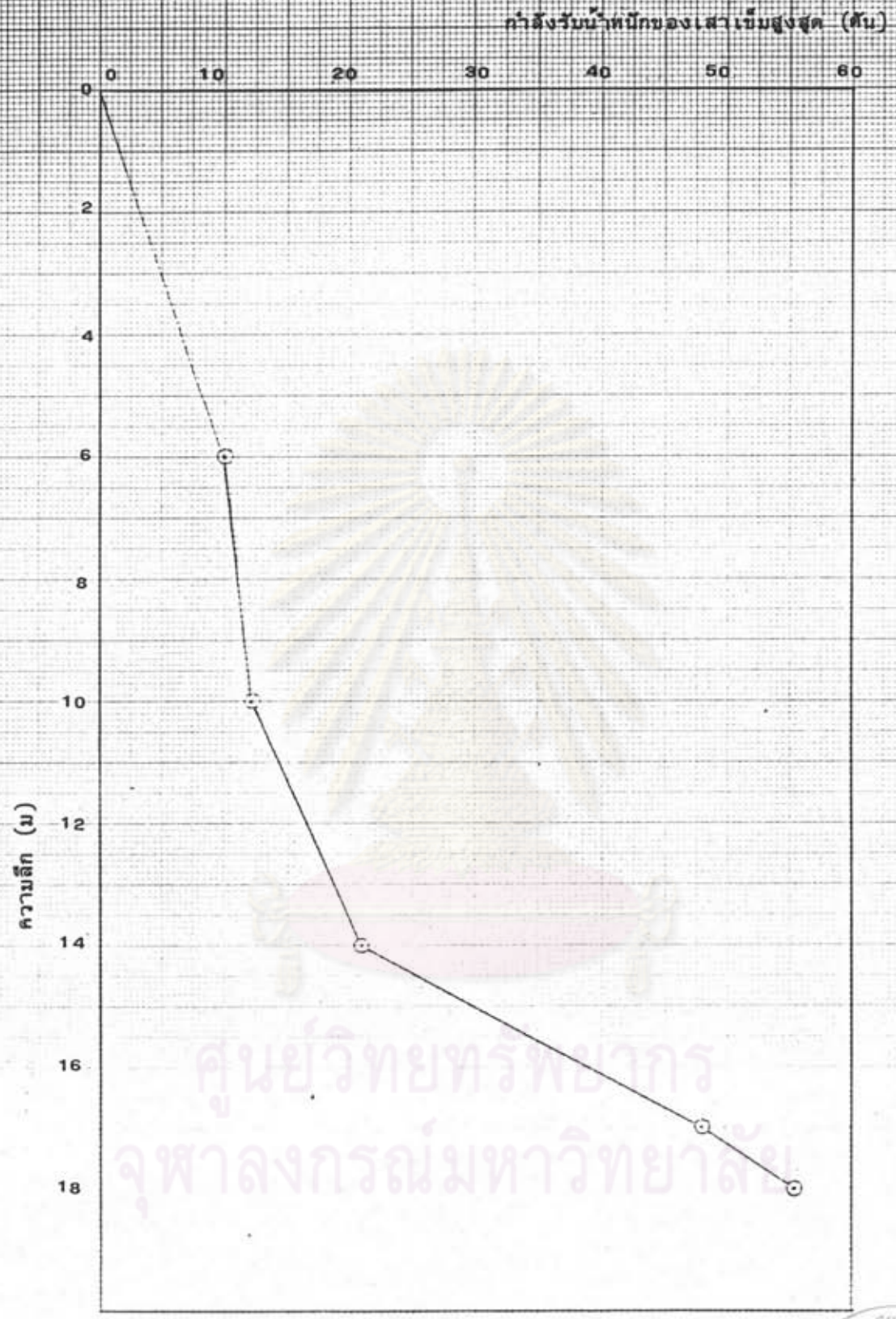
ความยาวของ เสาเข็ม (ม)	ช่วงความลึก (ม)	ค่าแรงต้าน ด้านข้าง (กก)	ค่าแรงต้าน ด้านข้าง (กก/ม)	ค่าหน่วยแรงเฉือน ไม่ระบายน้ำเฉลี่ย (ตัน/ม ²)	ค่าสัมประสิทธิ์การ เกาะตัวเฉลี่ย	ค่าระยะทรุดตัว ก่อนการพิบัติ (มม)
6.0	0-3	5104	1701	0.97	1.47	4.49
	3-6	4162	1387	1.52	0.76	
10.0	0-5	4791	958	1.12	0.71	4.05
	5-7	2448	1224	1.90	0.54	
	7-10	3672	1224	1.80	0.54	
14.0	0-5	3735	747	1.12	0.56	5.47
	5-9	4896	1224	1.85	0.55	
	9-14	8568	1714	3.87	0.37	
17.0	0-4	3777	944	1.42	0.78	4.48
	4-12	17136	2142	2.23	0.80	
	12-14	4896	2448	5.25	0.39	
	14-17*	-	-	11.41	-	
18.0	0-5	5235	1047	1.12	0.78	5.31
	5-13	17136	2142	2.56	0.70	
	13-15	7344	3672	8.00	0.38	
	15-18*	-	-	12.75	-	

* สเตรน เกจที่ปลายเสาเข็มชำรุด

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันด้านข้าง เสา เข็มและค่าสัมประสิทธิ์การ เกาะตัวของดินจากผลต่างของกำลังรับน้ำหนักเสา เข็มที่ความลึกต่างกัน

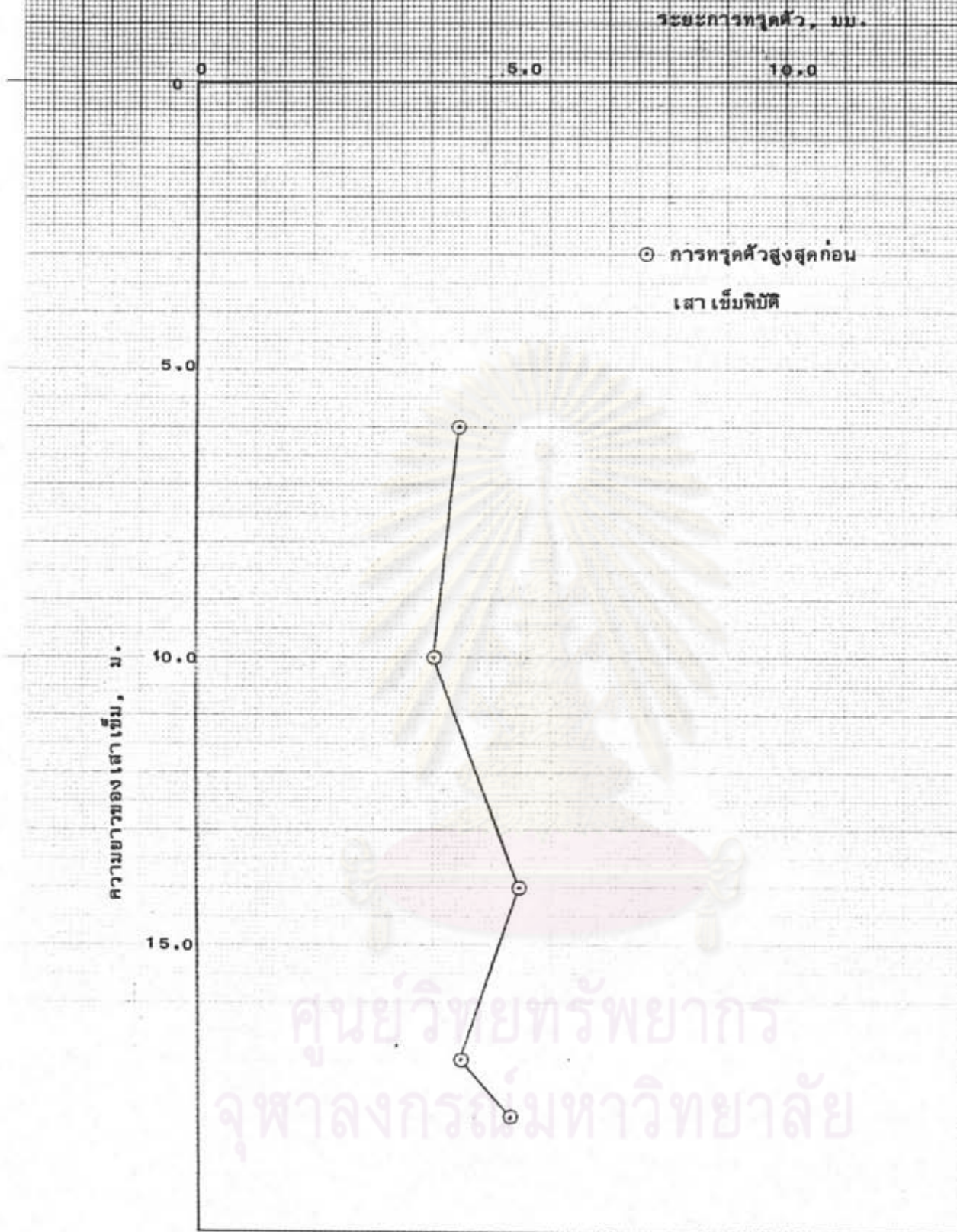
ช่วงความลึก (ม)	ค่าแรงดันด้านข้าง (กก)	ค่าแรงดันด้านข้าง (กก/ม)	หน่วยแรง เหนือไม้ระบายน้ำ ของดิน เจริญ (ตัน/ม ²)	ค่าสัมประสิทธิ์การ เกาะ ตัว เจริญ
6-10	1645	411	1.91	0.18
10-14	6288	1572	4.32	0.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

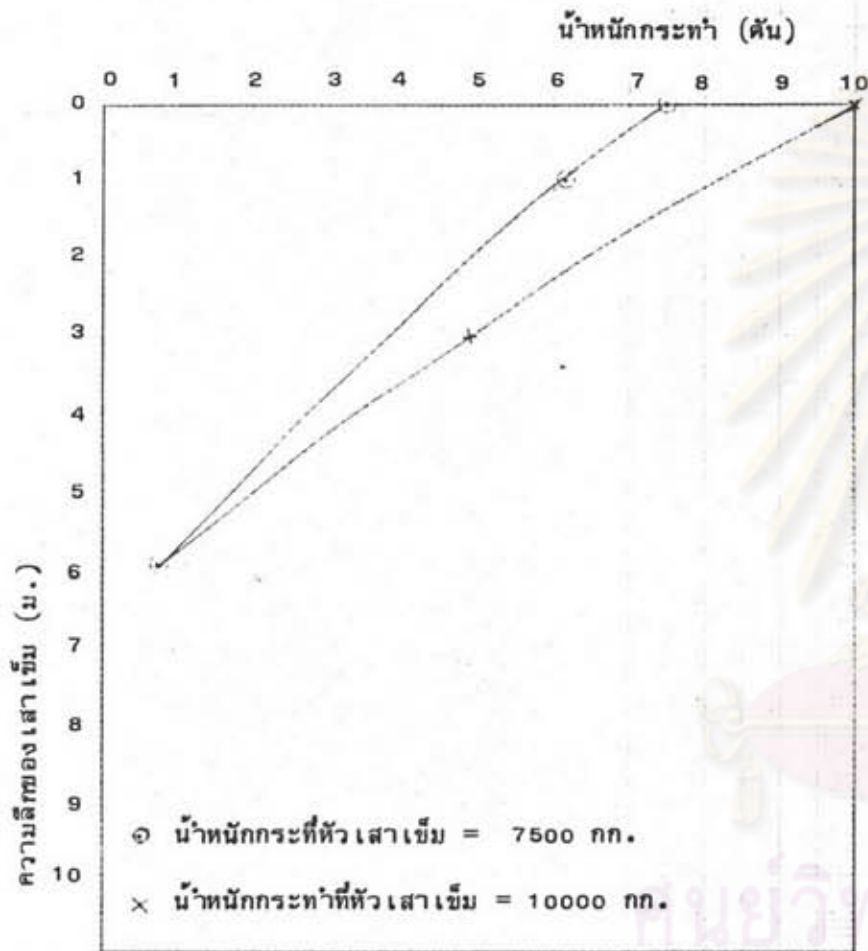


กราฟรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของ เสาเข็ม กับความยาวของ เสา เข็ม

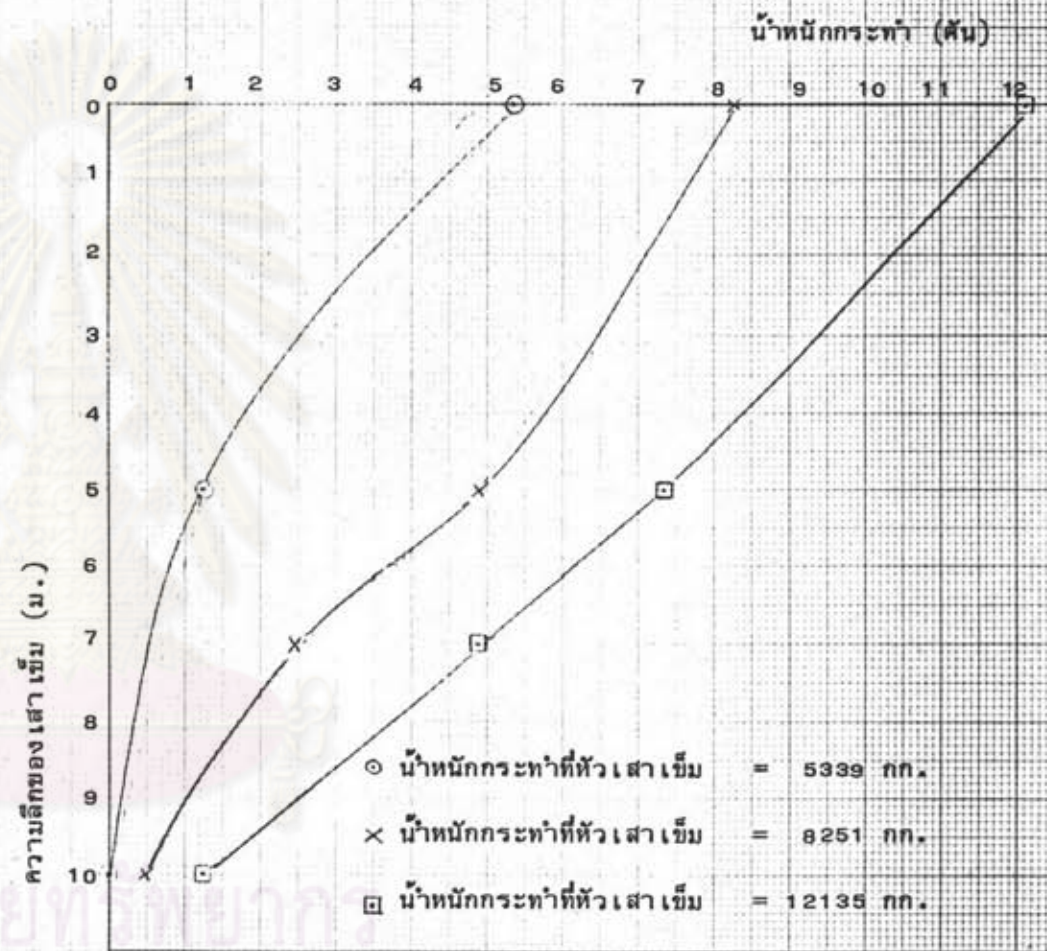




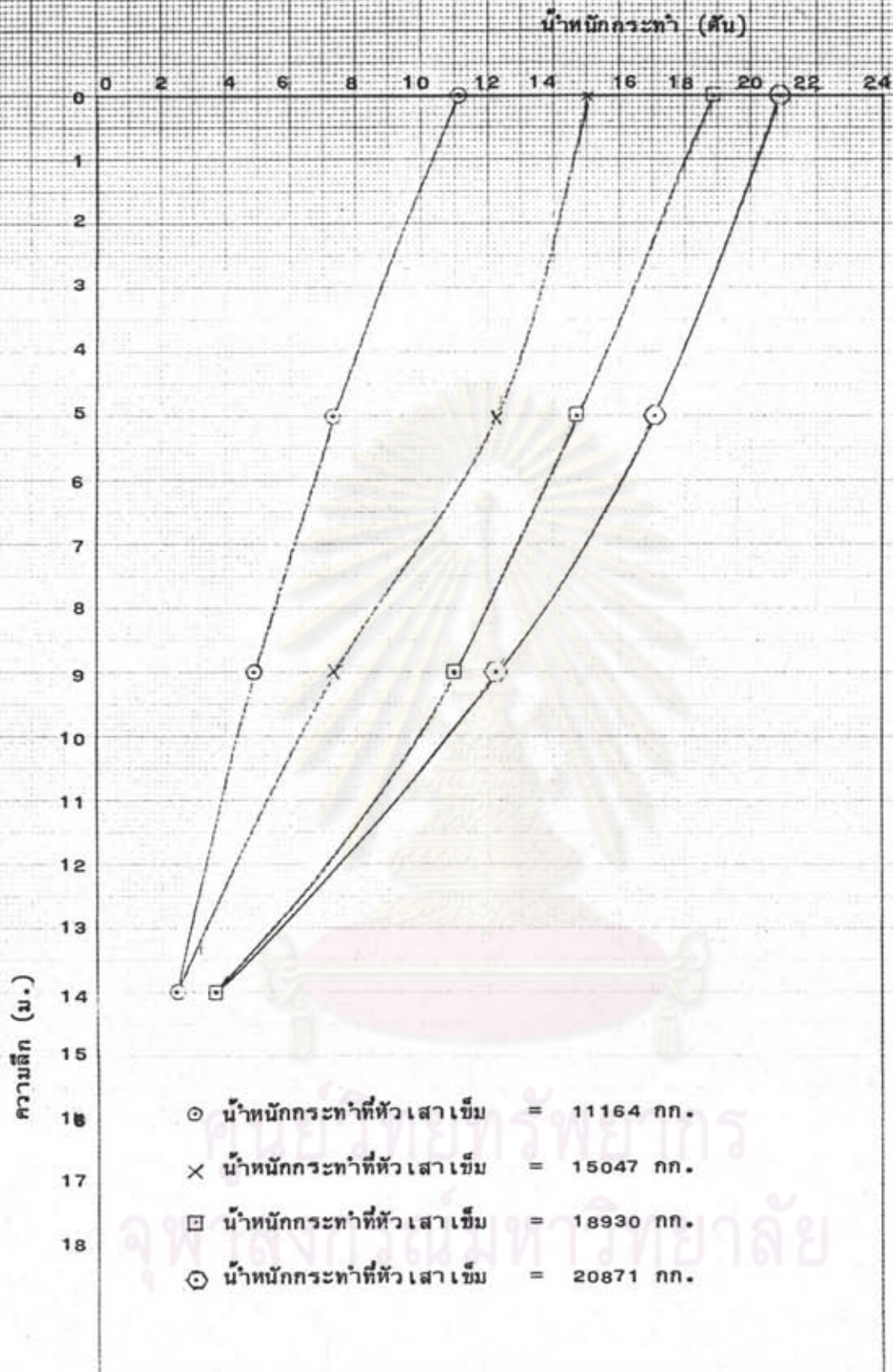
กราฟรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทрудตัวที่หัวเสา เข็มกับความยาว
ของเสา เข็ม



กราฟรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการกระจายแรงของเสาเข็มยาว 6.0 ม. ลงสู่ดิน จากผลของสเตรนเกจ

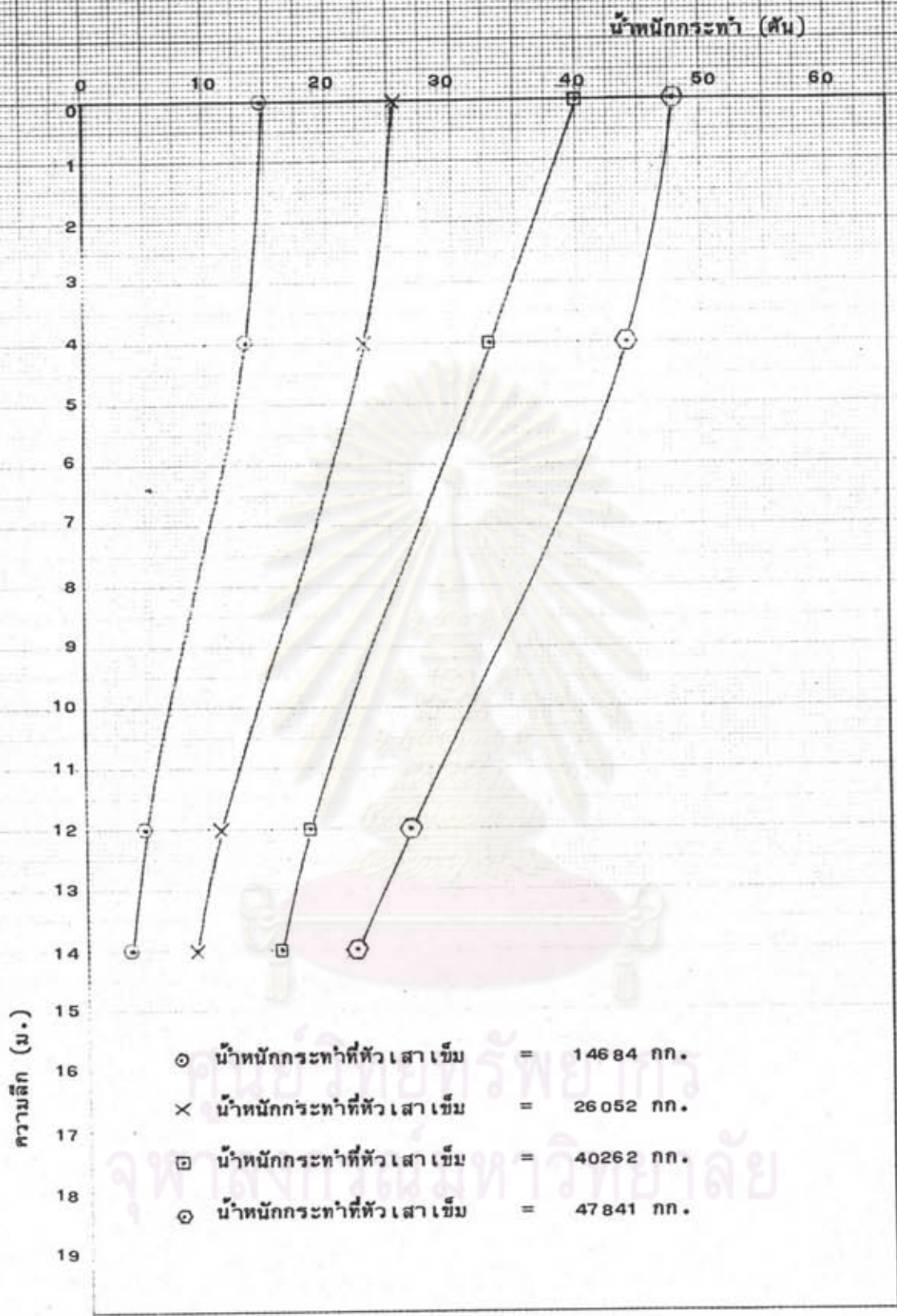


กราฟรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการกระจายแรงของเสาเข็มยาว 10.0 ม. ลงสู่ดิน จากผลของสเตรนเกจ

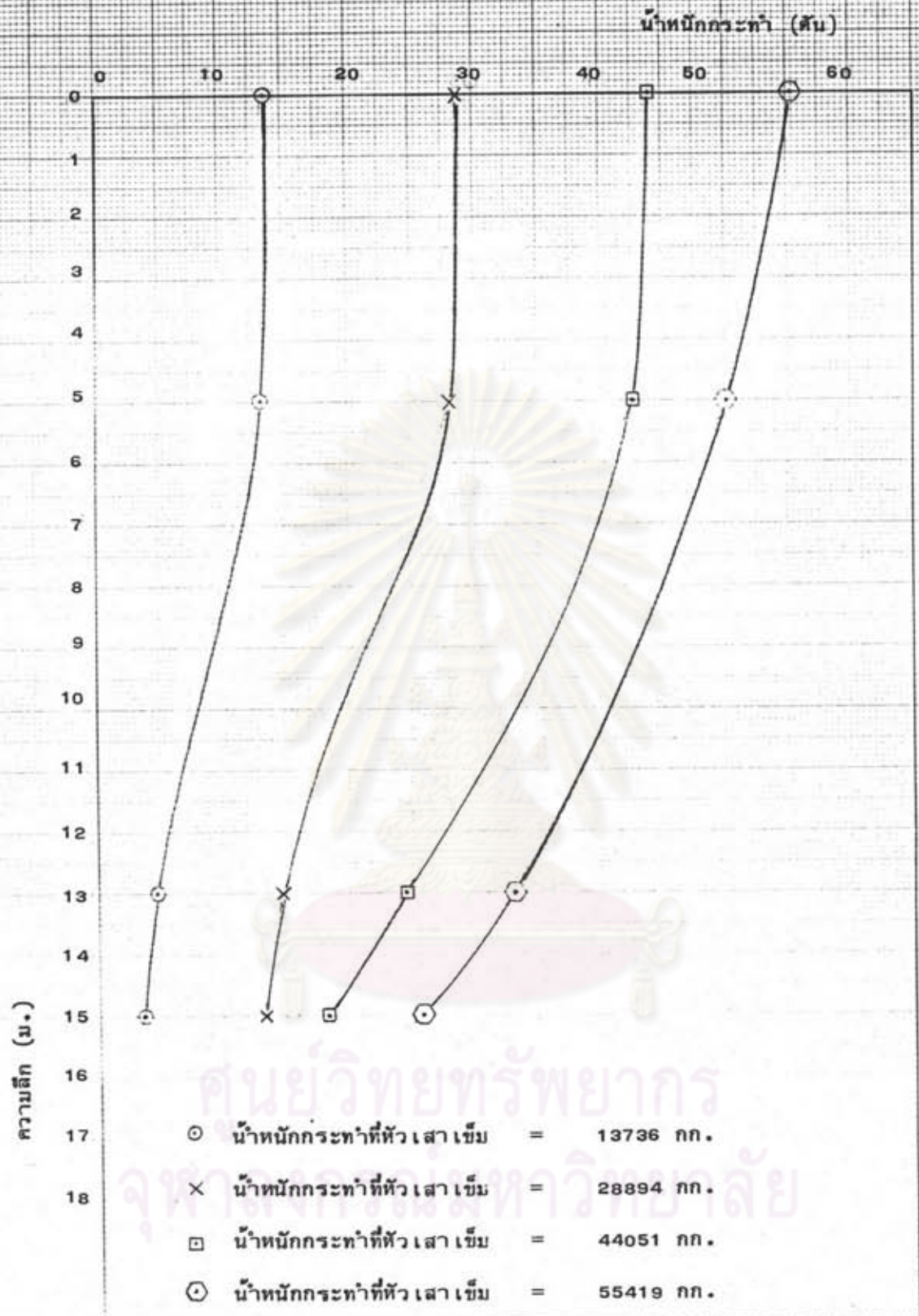


กราฟรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการกระจายแรงของเสาเข็มยาว 14.0 ม.

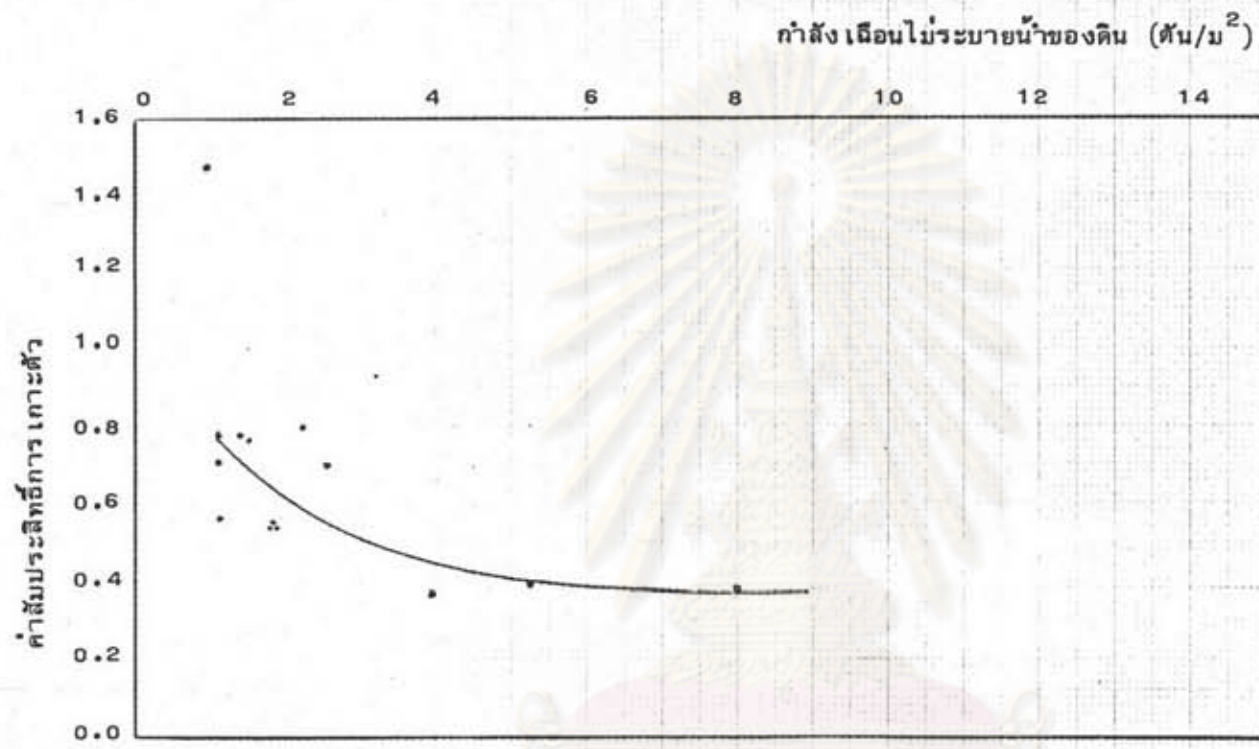
ลงสู่ดินตามผลของสเตรน เกจ



กราฟรูปที่ 4:6 แสดงลักษณะการกระจายแรงของเสาเข็มยาว 17.0 ม. ลงสู่ดิน จากผลของสเตรน เกจ



กราฟรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะการกระจายแรงของเสาเข็มยาว 18.0 ม. ลงสู่ดิน จากผลของสเตรนเกจ



กราฟรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การ เกาะตัวของดินกับค่าค่าสังเดือนไม้ระบายน้ำของดิน จากผลของการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย