บทที่ 3

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

3.1 บทนำ

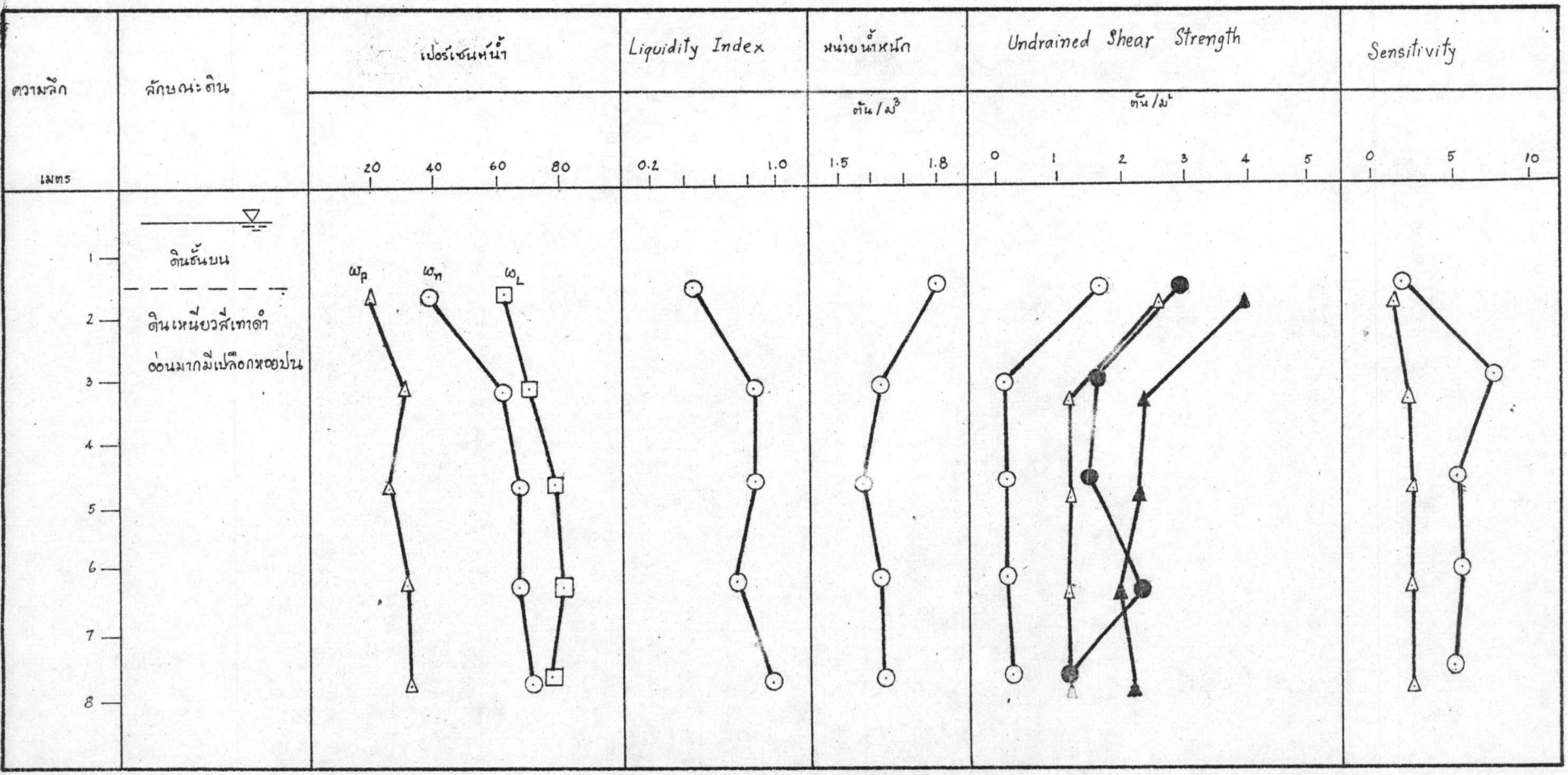
ในการวิจัย ดินบริเวณที่ทำวิจัยและเสาเข็มถูกทดสอบ ผลการทดสอบแสดงและอภิปรายไว้ภายใต้หัวข้อต่อไปนี้

1. ผลการสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัย
2. ผลการตรวจสอบอิทธิพลของธรรมชาติแวดล้อม (ลม อุณหภูมิ ฯลฯ) ต่อการวัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มและแรงทดสอบเสาเข็ม
3. ผลการทดสอบเสาเข็ม

3.2 ผลการสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัย

3.2.1 ผลการสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัยจากการวิจัยอื่น

จากผลการสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัยโดย Sriratanasathavorn, S.(1975) ที่ระดับลึกจากผิวดินประมาณ 1.5 เมตร ถึง 8 เมตรใต้ระดับดินชั้นบน ดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวสีเทาดำอ่อนมาก และมีเปลือกหอยปะปนอยู่ เปอร์เซนต์น้ำตามธรรมชาติที่ระดับต่าง ๆ ในชั้นดินเหนียวอ่อน โดยทั่วไปมีค่าใกล้เคียงกับค่า liquid limit Sensitivity ซึ่งหาจากการทดลองแบบ Unconfined Compression Test และ Field Vane Shear Test มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 และ 7 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1



สัญญลักษณ์

ω_p Plastic Limit

ω_n Natural Water Content

ω_L Liquid Limit

▲ Undisturbed Field Vane Shear Test

△ Disturbed Field Vane Shear Test

● Undisturbed Unconfined Compression Test

○ Disturbed Unconfined Compression Test

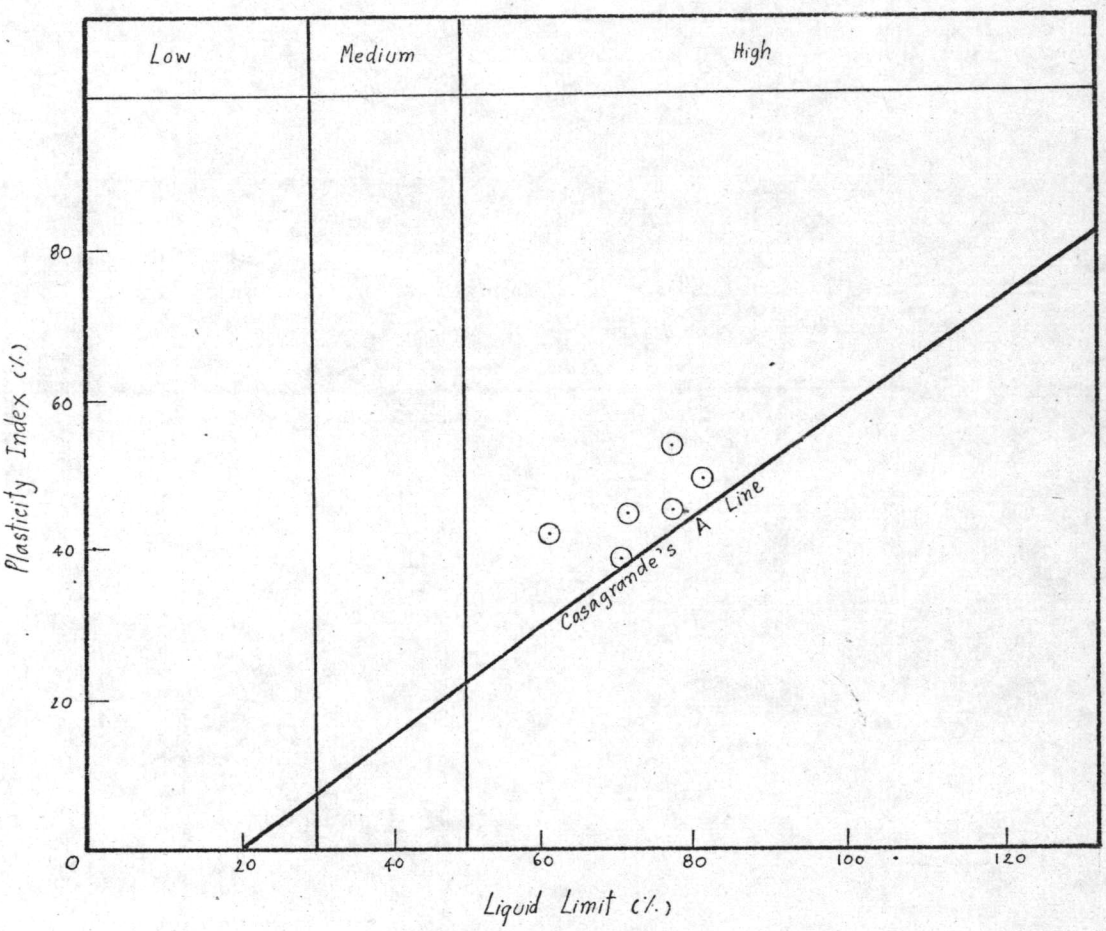
รูปที่ 3.1 คุณสมบัติของดินบริเวณที่ทำวิจัย (จาก Sriratanasathavorn, S., 1975)

เมื่อจำแนกดินเหนียวชั้นนี้ตามการจำแนกดินแบบ Unified Soil Classification System ความสัมพันธ์ระหว่าง liquid limit กับplasticity index อยู่เหนือและขนานกับเส้น A ในรูปที่ 3.2 ดินเหนียวอ่อนชั้นนี้จัดเป็นดินเหนียวอ่อนประเภท CH

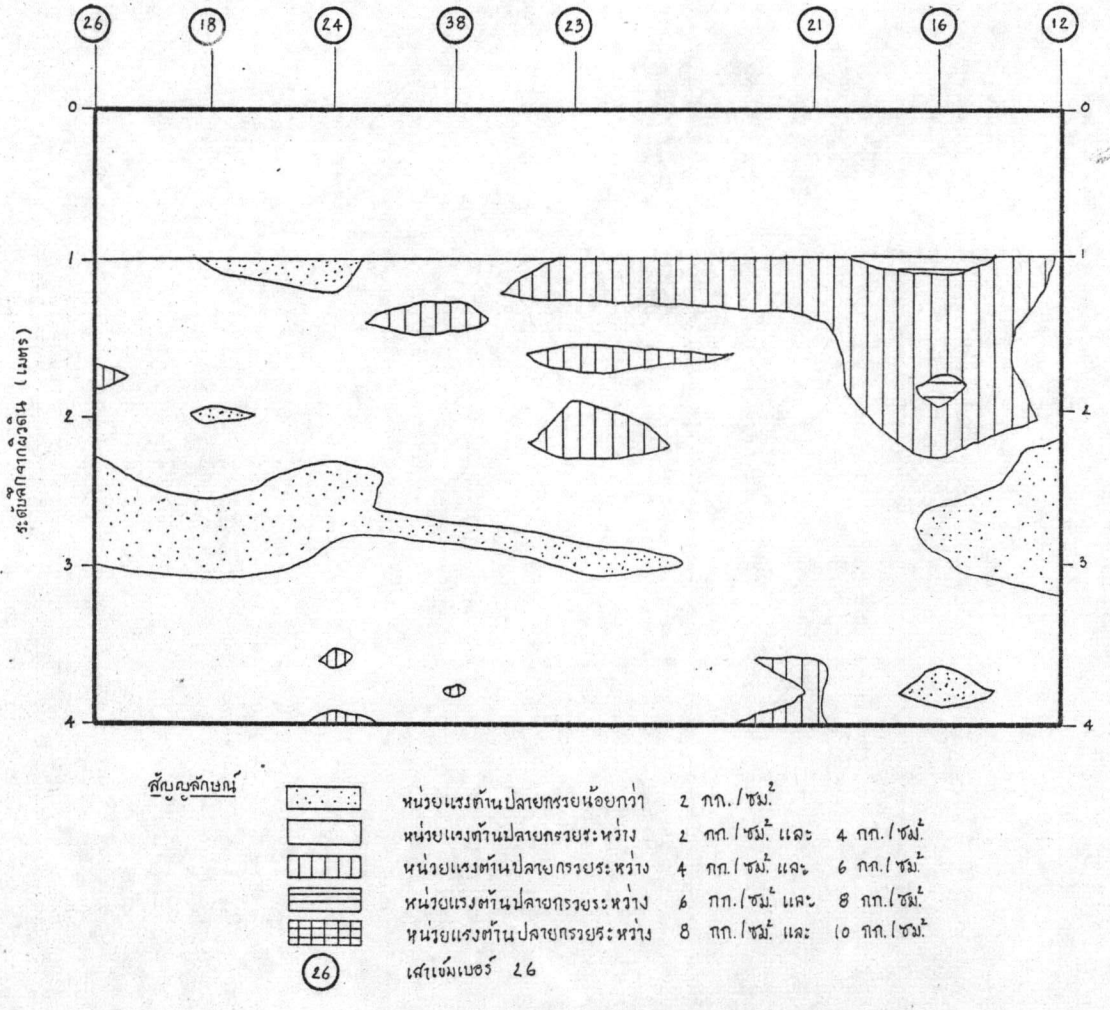
3.2.2 ผลการสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัยโดยใช้ Static Dutch Cone

Static Dutch Cone ที่ใช้สำรวจเป็นแบบ Begemann, H.K.S., Ph. ปลายมีลักษณะเป็นรูปกรวยซึ่งมีฐานเป็นวงกลม พื้นที่ภาคตัดขวาง 10 ตารางเซ็นติเมตร มุมยอดกรวย 60 องศา ใช้หยั่งลงไปในดินใกล้เสาเข็มแต่ละเสาด้วยความเร็วประมาณ 1 เซ็นติเมตรต่อวินาที ผลการสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัยโดยใช้ Static Dutch Cone แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ถึง รูปที่ 3.6 ส่วนรายละเอียดการสำรวจดินใกล้เสาเข็มแต่ละเสาด้วย Static Dutch Cone แสดงไว้ในภาคผนวก

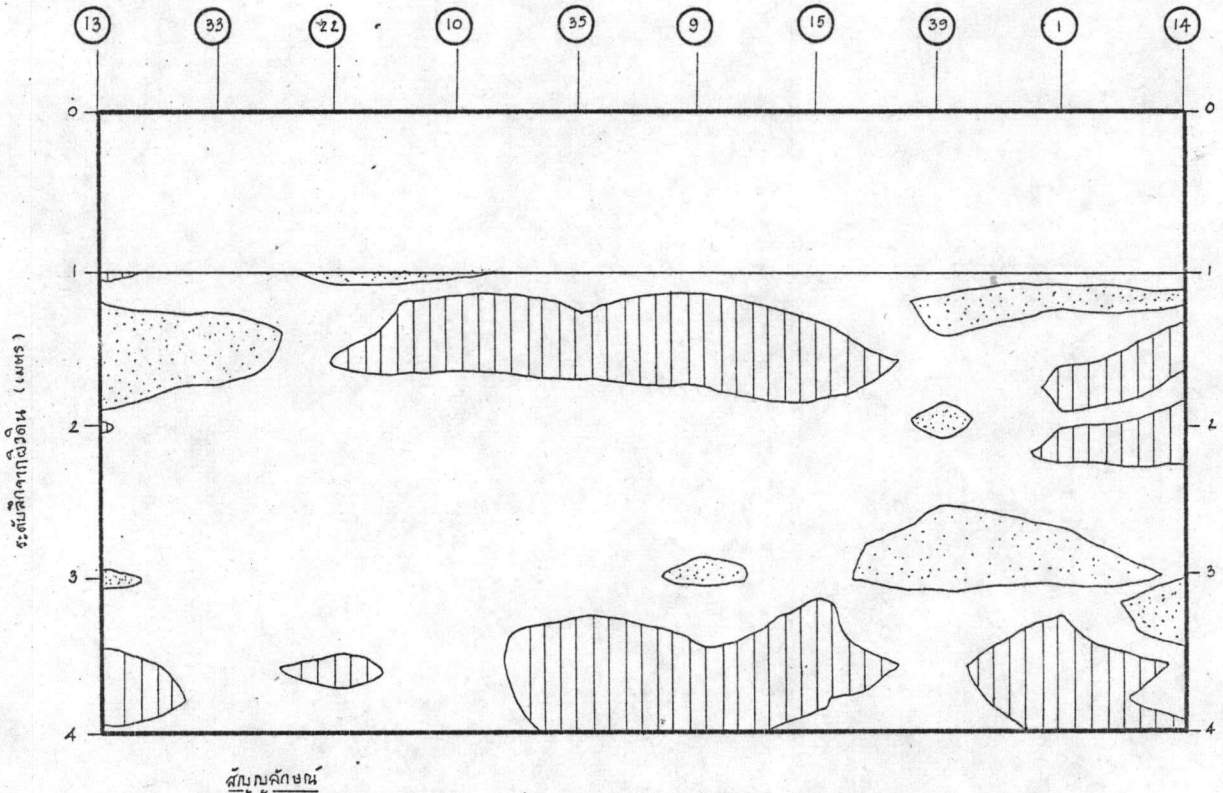
รูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.6 แสดงหน่วยแรงต้านปลายกรวยตามแนวเสาเข็มที่ลงไว้ทั้ง 4 แนว ตั้งแต่ระดับล็ก 1 เมตรจากผิวดินถึงระดับล็ก 4 เมตร จากผิวดินอันเป็นระดับที่ปลายเสาเข็มลงไว้ หน่วยแรงต้านปลายกรวยเฉลี่ยตลอดระดับล็ก 1 เมตร จากผิวดินถึงระดับล็ก 4 เมตรจากผิวดินบริเวณใกล้เสาเข็มมีค่าอยู่ระหว่าง 2.22 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร และ 4.40 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ส่วนใหญ่หน่วยแรงต้านปลายกรวยน้อยกว่า 5 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร มีเพียงบางแห่งที่หน่วยแรงต้านปลายกรวยเกิน 5 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ตามผลการวิจัยของ Pham, T.N. (1972) ดินเหนียวกรุงเทพที่มีหน่วยแรงต้านปลายกรวยน้อยกว่า 5 กิโลกรัมต่อตาราง-เซ็นติเมตร จัดเป็นดินเหนียวอ่อน



รูปที่ 3.2 Casagrande's Plasticity Chart (จาก Sriratanasathavorn, S., 1975)



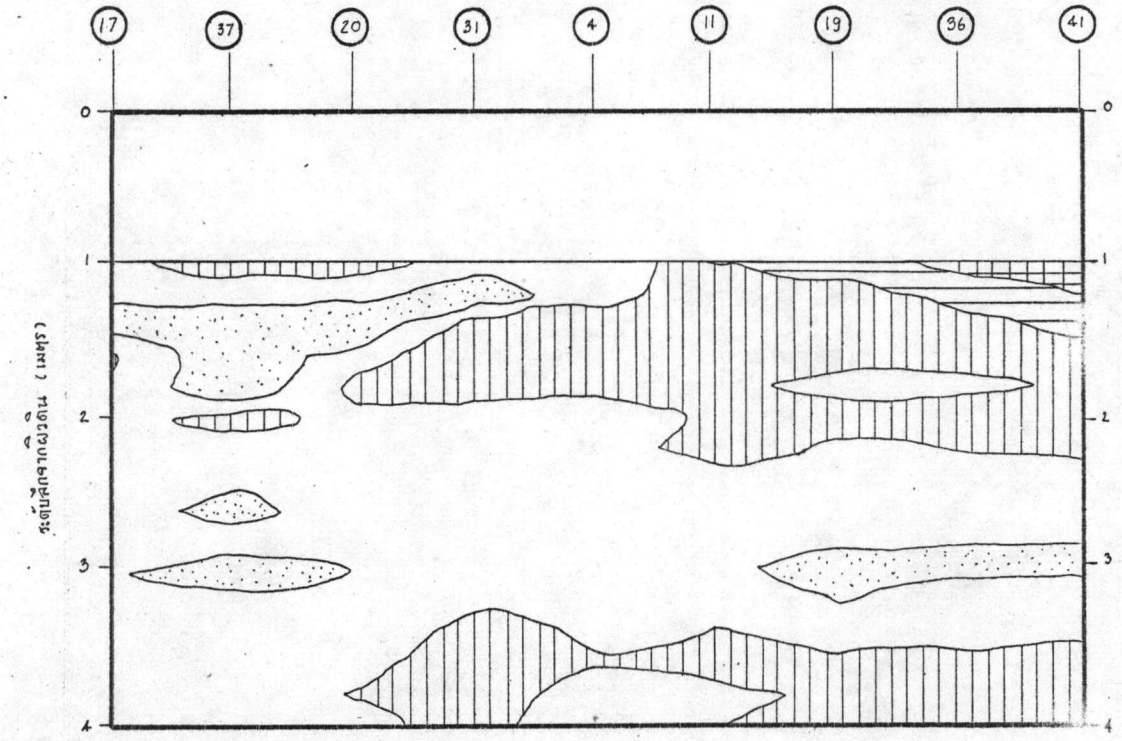
รูปที่ 3.3 หน่วยแรงต้านปลายกรวยตามแนวเสาเข็มเบอร์ 26 - เสาเข็มเบอร์ 12



สัญญลักษณ์

	หน่วยแรงต้านปลายกรวยน้อยกว่า	2 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	2 กก./ซม.^{2} และ 4 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	4 กก./ซม.^{2} และ 6 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	6 กก./ซม.^{2} และ 8 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	8 กก./ซม.^{2} และ 10 กก./ซม.^{2}
(13)	เสาเข็มเบอร์ 13	

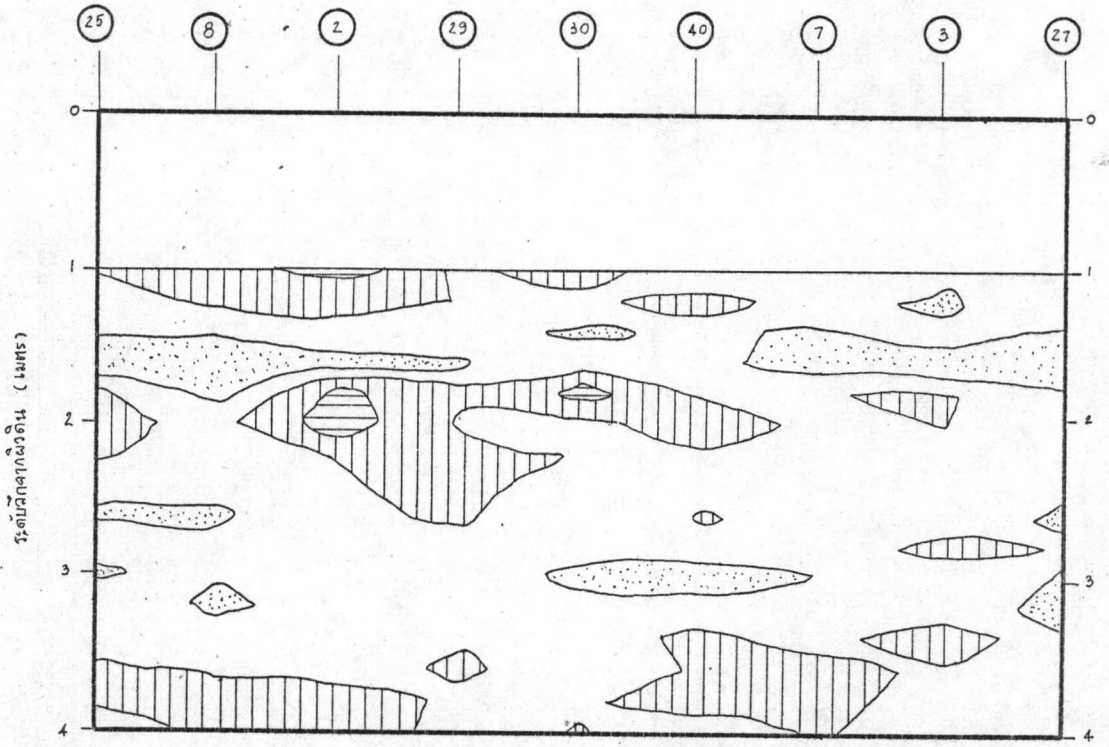
รูปที่ 3.4 หน่วยแรงต้านปลายกรวยตามแนวเสาเข็มเบอร์ 13 – เสาเข็มเบอร์ 14



สัญญลักษณ์

	หน่วยแรงต้านปลายกรวยน้อยกว่า	2	กก./ซม.^{2}		
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	2	กก./ซม.^{2} และ	4	กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	4	กก./ซม.^{2} และ	6	กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	6	กก./ซม.^{2} และ	8	กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	8	กก./ซม.^{2} และ	10	กก./ซม.^{2}
(17)	เสาเข็มเบอร์ 17				

รูปที่ 3.5 หน่วยแรงต้านปลายกรวยตามแนวเสาเข็มเบอร์ 17 - เสาเข็มเบอร์ 41



สัญญลักษณ์

	หน่วยแรงต้านปลายกรวยน้อยกว่า	2 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	2 กก./ซม.^{2} และ 4 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	4 กก./ซม.^{2} และ 6 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	6 กก./ซม.^{2} และ 8 กก./ซม.^{2}
	หน่วยแรงต้านปลายกรวยระหว่าง	8 กก./ซม.^{2} และ 10 กก./ซม.^{2}
(25)	เสาเข็มเบอร์ 25	

รูปที่ 3.6 หน่วยแรงต้านปลายกรวยตามแนวเสาเข็มเบอร์ 25 - เสาเข็มเบอร์ 27

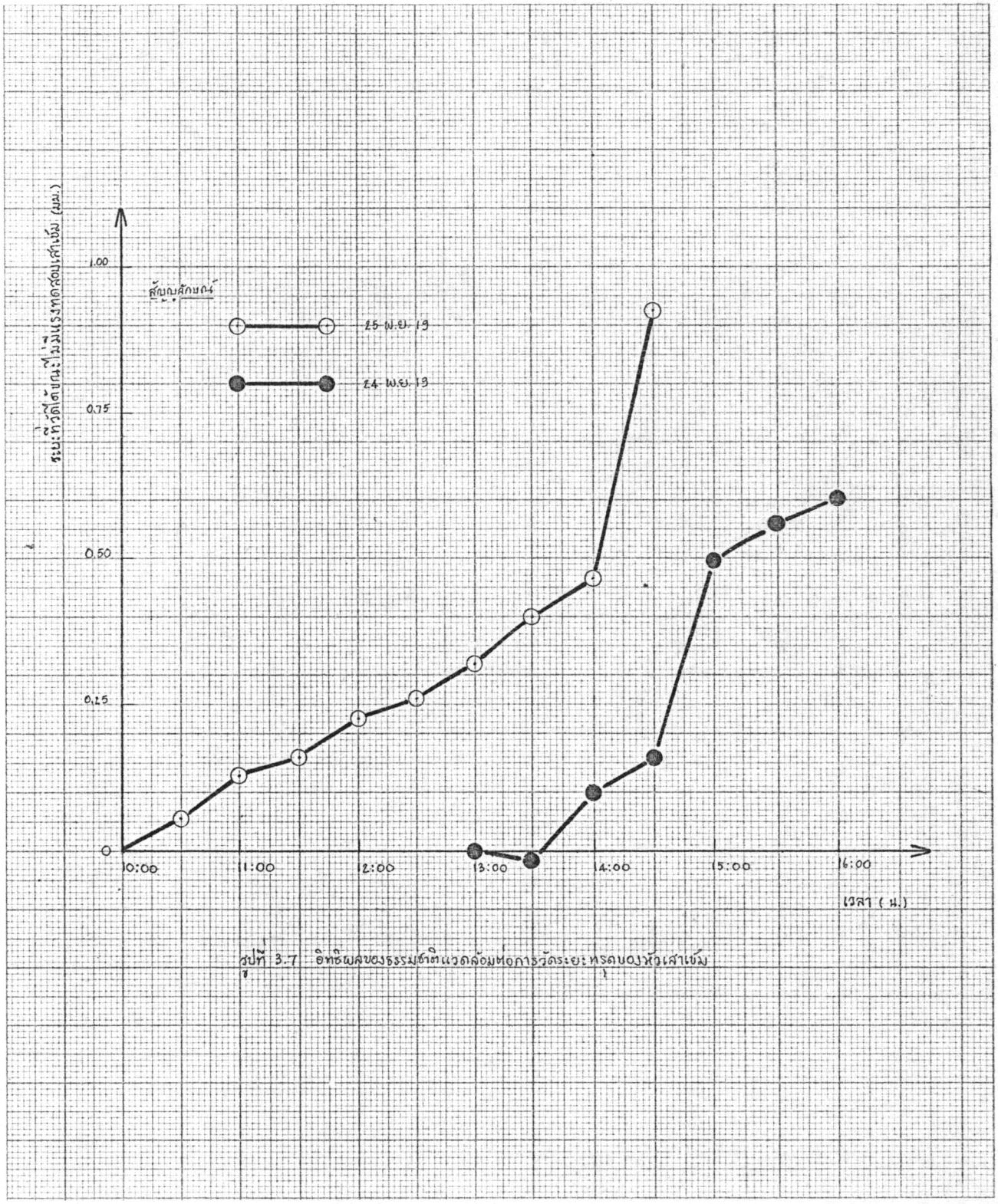
3.3 ผลการตรวจสอบอิทธิพลของธรรมชาติแวดล้อม (ลม อุณหภูมิ ฯลฯ) ต่อการวัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มและแรงทดสอบเสาเข็ม

การตรวจสอบอิทธิพลของธรรมชาติแวดล้อม (ลม อุณหภูมิ ฯลฯ) ต่อการวัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มกระทำก่อนทดสอบเสาเข็ม เมื่อยังไม่ได้กางผ้าใบคลุมเครื่องมือ และมาตรวัดระยะทรุด มาตรวัดระยะทรุดซึ่งติดไว้บนคานให้ปลายขามาตรสัมผัสกับผิวเรียบของก้อนคอนกรีต ลูกบาศก์หนักซึ่งวางอยู่บนดิน บอกระยะห่างระหว่างคานกับผิวคอนกรีต 0.6 มิลลิเมตร ในช่วงเวลา 13.00 น. ถึง 16.00 น. ของวันที่ 24 พฤศจิกายน 2519 และ 0.9 มม. ในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 14.30 น. ของวันที่ 25 พฤศจิกายน 2519 ในขณะที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ (รูปที่ 3.7) หลังจากกางผ้าใบคลุมเครื่องมือและบริเวณที่ทดสอบเสาเข็มแล้วตรวจสอบมาตรวัดระยะทรุดดังเดิม ปรากฏว่าเข็มมาตรวัดระยะทรุดเคลื่อนไปน้อยมาก ส่วนการตรวจสอบมาตรวัดระยะยืดหดของวงแหวนวัดแรงก็เป็นไปในลักษณะเช่นกัน หลังจากคลุมผ้าใบแล้วเข็มมาตรวัดระยะยืดหดของวงแหวนวัดแรงซึ่งวางอยู่ในร่มไม่เคลื่อนที่

3.4 ผลการทดสอบเสาเข็ม

3.4.1 ผลการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test Constant Rate of Penetration Test และ Cyclic Test

เสาเข็มถูกทดสอบแบบ Slow Maintained Load Test 7 เสา ทดสอบแบบ C.R.P. Test 21 เสา (ด้วยอัตราทรุดของหัวเสาเข็ม 0.10 มม./นาที 4 เสา 0.25 มม./นาที 7 เสา 0.35 มม./นาที 5 เสา และ 0.50 มม./นาที 5เสา) และทดสอบแบบ Cyclic Test 7 เสา ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ถึง ตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.8 ถึง รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.7 อิทธิผลของธรรมชาติแวดล้อมต่อการวัดระยะทรุดบนหัวเสาเข็ม

ตารางที่ 3.1

ผลการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test

เสาเข็มเบอร์	ทดสอบหลังลงเสาเข็ม วัน	เวลาพิบัติ นาที	แรงพิบัติ กก.	พื้นที่ผิวข้าง ซม.^{2}	หน่วยแรงต้านผิวข้าง กก./ซม.^{2}	ระยะทรุดพิบัติ มม.
12	61	119	566	2624	0.216	1.39
18	67	136	762	2660	0.286	1.42
35	70	60	519	2705	0.192	1.13
17	75	134	520	2768	0.188	0.82
19	76	130	664	2850	0.233	0.97
25	78	127	617	2563	0.241	1.25
40	80	186	665	2909	0.227	1.49

หมายเหตุ:

เวลาพิบัติหมายถึงเวลาที่ใช้ทดสอบเสาเข็มจนพิบัติ

ระยะทรุดพิบัติหมายถึงระยะทรุดพิบัติของหัวเสาเข็ม

หน่วยแรงต้านผิวข้างหมายถึงหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มคำนวณโดยเอาแรงพิบัติเสาเข็มหารด้วยพื้นที่ผิวข้างเสาเข็ม

เสาเข็มเบอร์ 25 40 ถูกเหลาสันข้อออก

หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยเฉพาะเสาเข็มไม่เหลาสันข้อออก : 0.223 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ 3.2

ผลการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.10 มม./นาที)

เสาเข็มเบอร์	ทดสอบหลังลงเสาเข็ม วัน	เวลาพิบัติ นาที	แรงพิบัติ กก.	พื้นที่ผิวข้าง ซม.^{2}	หน่วยแรงต้านผิวข้าง กก./ซม.^{2}	ระยะทรุดพิบัติ มม.
16	61	10	645	2635	0.245	1.10
26	68	8	670	2677	0.250	1.10
9	71	12	509	2720	0.187	1.08
37	76	10	547	2778	0.197	1.01

หมายเหตุ:

หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ย: 0.220 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ 3.3

ผลการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.25 มม./นาที)

เสาเข็มเบอร์	ทดสอบหลังลงเสาเข็ม วัน	เวลาพิบัติ นาที	แรงพิบัติ กก.	พื้นที่ผิวข้าง ซม.^{2}	หน่วยแรงต้านผิวข้าง กก./ซม.^{2}	ระยะทรุดพิบัติ มม.
21	62	3.5	622	2638	0.236	0.98
13	67	4	566	2681	0.211	1.09
15	72	5	639	2756	0.232	1.02
20	77	3	475	2781	0.171	0.76
8	78	7	813	2907	0.280	1.87
29	78	4.5	560	2852	0.196	1.03
3	79	5	850	2873	0.296	1.49

หมายเหตุ:

เสาเข็มเบอร์ 3 8 ถูกเหลาสันข้อออก

หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยเฉพาะเสาเข็มไม่เหลาสันข้อออก:

0.209 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ 3.4

ผลการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.35 มม./นาที)

เสาเข็มเบอร์	ทดสอบหลังลงเสาเข็ม วัน	เวลาพิบัติ นาที	แรงพิบัติ กก.	พื้นที่ผิวข้าง ซม.^{2}	หน่วยแรงต้านผิวข้าง กก./ซม.^{2}	ระยะทรุดพิบัติ มม.
23	63	2.5	475	2640	0.180	1.00
33	67	3	563	2682	0.210	1.26
39	73	3	552	2761	0.200	0.95
31	78	5.5	705	2784	0.253	1.59
27	80	5	694	2854	0.243	1.40

หมายเหตุ:

หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ย: 0.217 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ 3.5

ผลการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.50 มม./นาที)

เสาเข็มเบอร์	ทดสอบหลังลงเสาเข็ม วัน	เวลาพิบัติ นาที	แรงพิบัติ กก.	พื้นที่ผิวข้าง ซม.^{2}	หน่วยแรงต้านผิวข้าง กก./ซม.^{2}	ระยะทรุดพิบัติ มม.
38	65	2	566	2648	0.214	1.01
22	68	3	480	2690	0.178	1.42
1	73	1.5	536	2762	0.194	0.85
4	78	2.5	723	2806	0.258	1.32
2	78	2.5	811	2857	0.284	1.55

หมายเหตุ:

หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ย: 0.226 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ 3.6

ผลการทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test

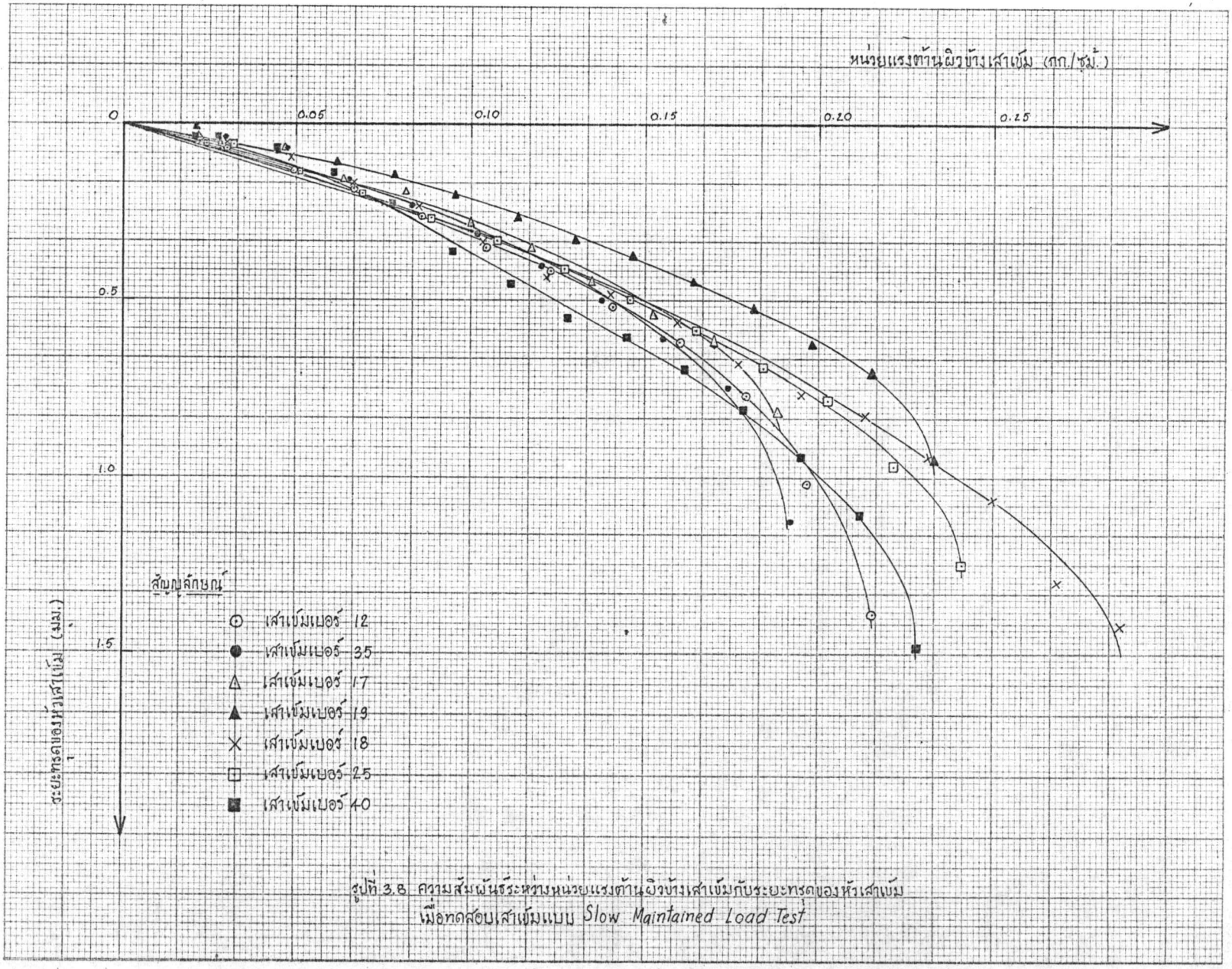
เสาเข็มเบอร์	ทดสอบหลังลงเสาเข็ม วัน	เวลาพิบัติ นาที	แรงพิบัติ กก.	พื้นที่ผิวข้าง ซม.^{2}	หน่วยแรงต้านผิวข้าง กก./ซม.^{2}	ระยะทรุดพิบัติ มม.
24	66	226	543	2648	0.205	1.01
10	69	611	616	2693	0.229	1.38
14	74	484	640	2763	0.232	1.94
11	75	611	616	2829	0.218	1.08
41	77	680	665	3053	0.218	1.25
30	79	418	593	2501	0.237	1.09
7	81	934	714	2860	0.250	1.73

หมายเหตุ:

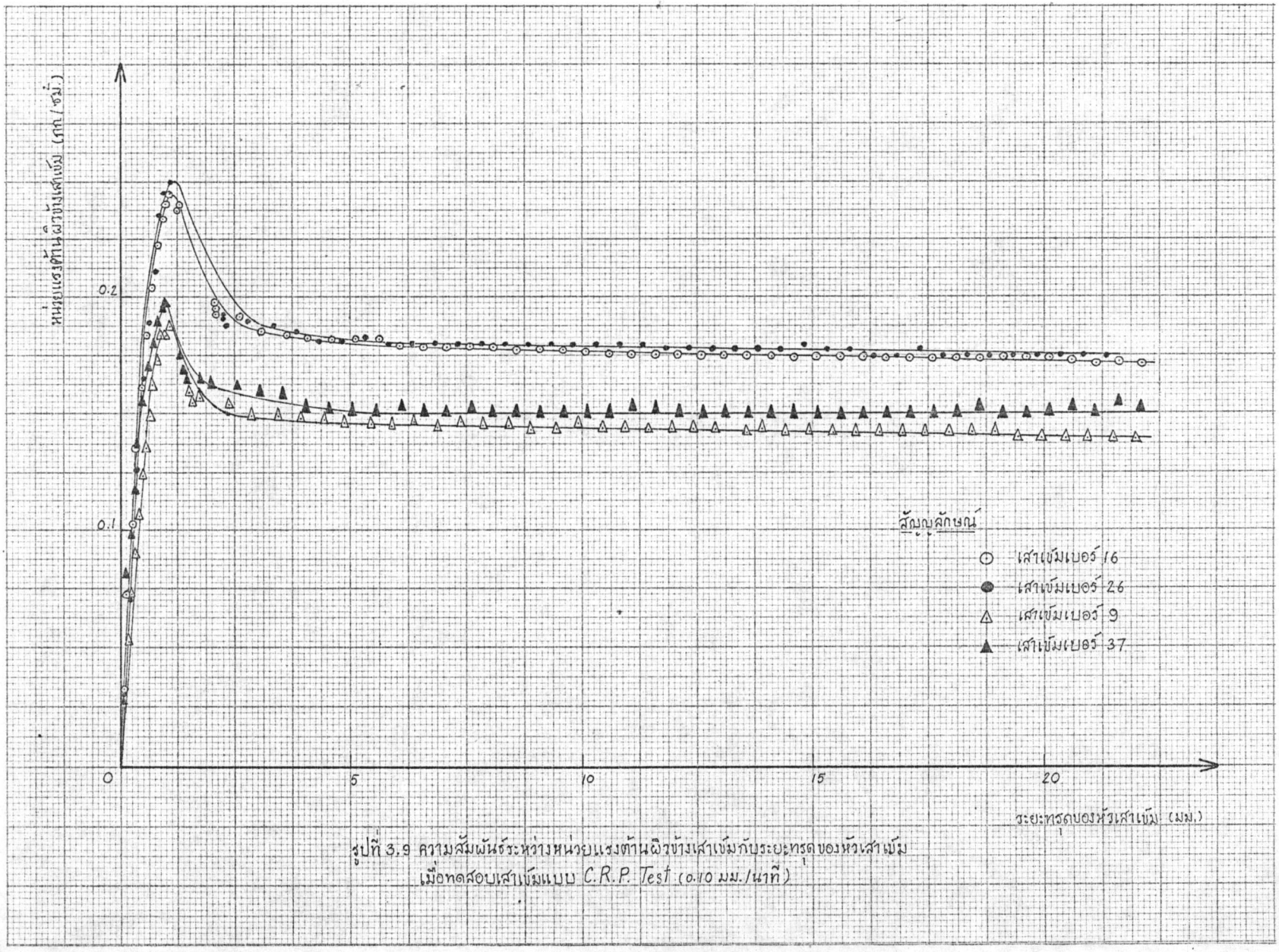
เสาเข็มเบอร์ 41 30 ถูกเหลาสันข้อออก

หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยเฉพาะเสาเข็มไม่เหลาสันข้อออก:

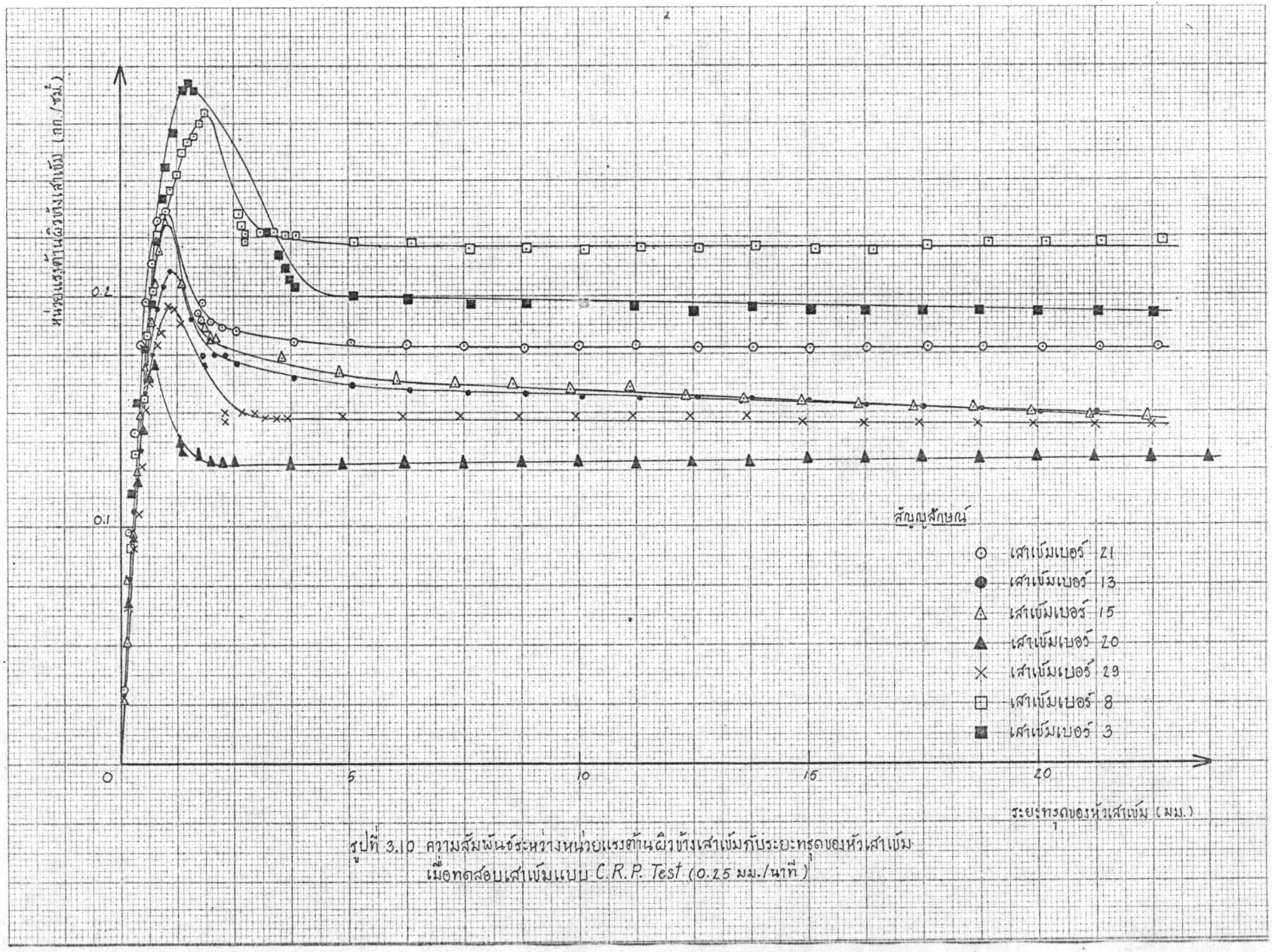
0.227 กก./ซม.^{2}



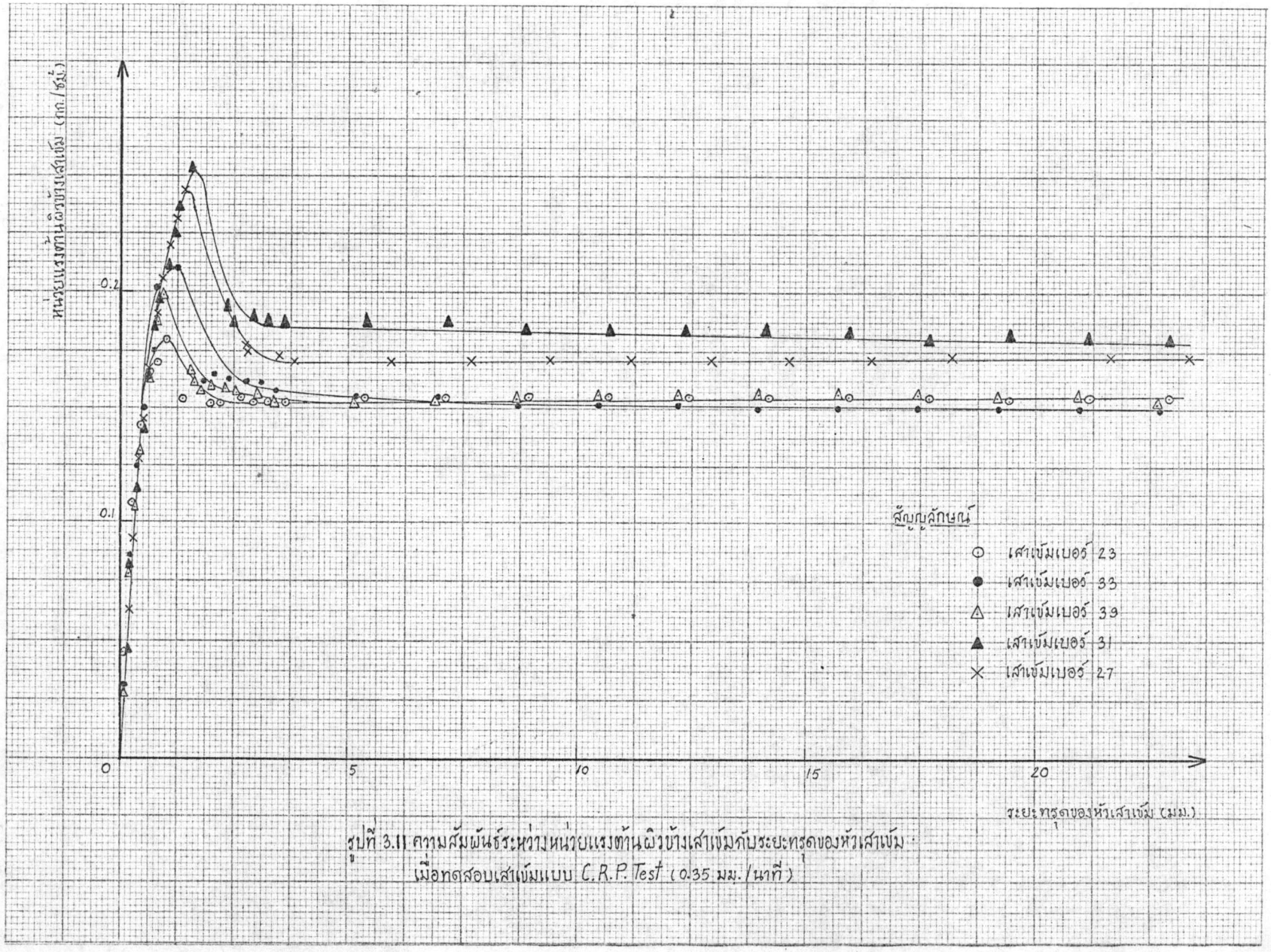
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม
เมื่อทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test



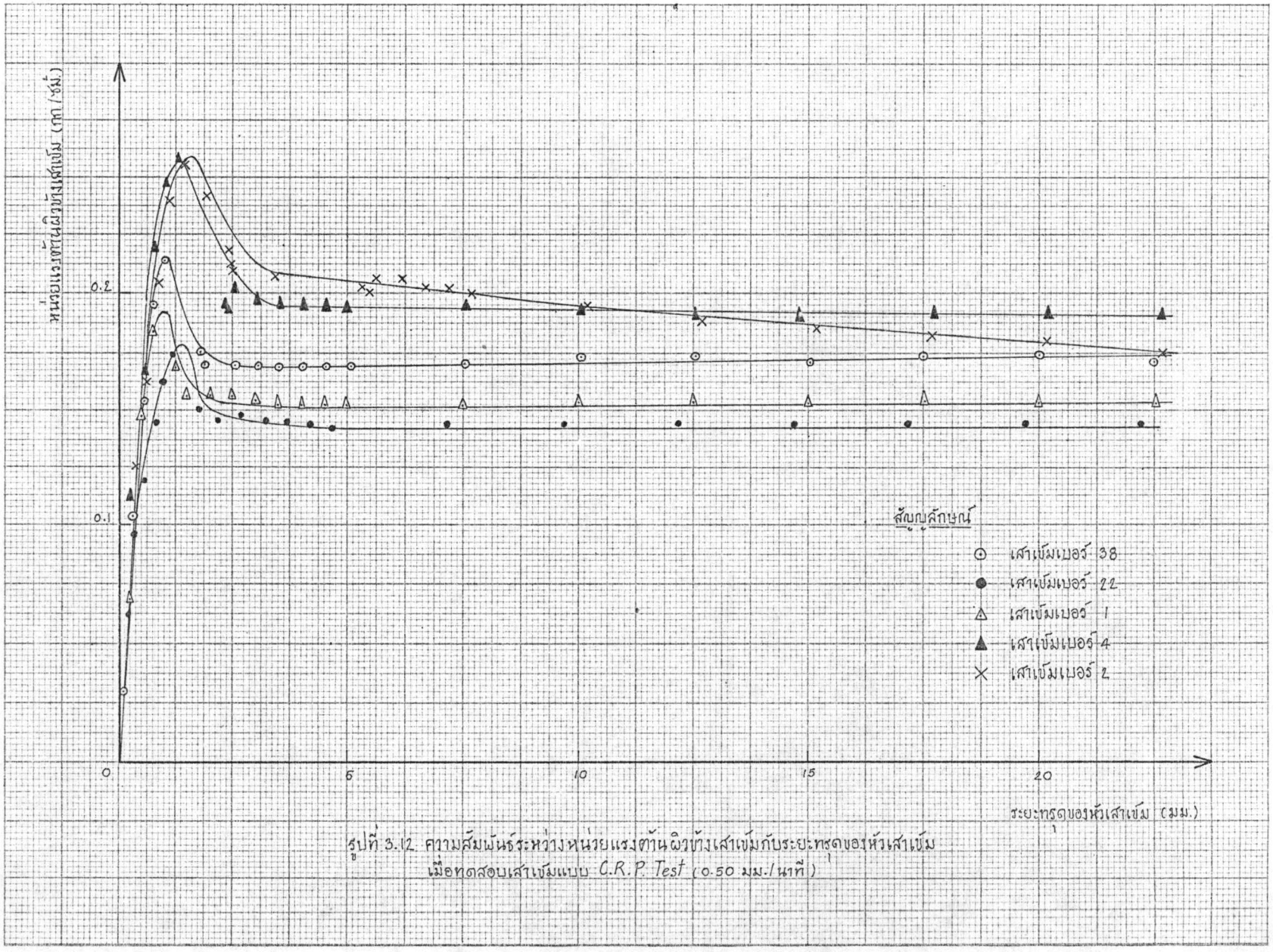
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม
เมื่อทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.10 มม./นาที)



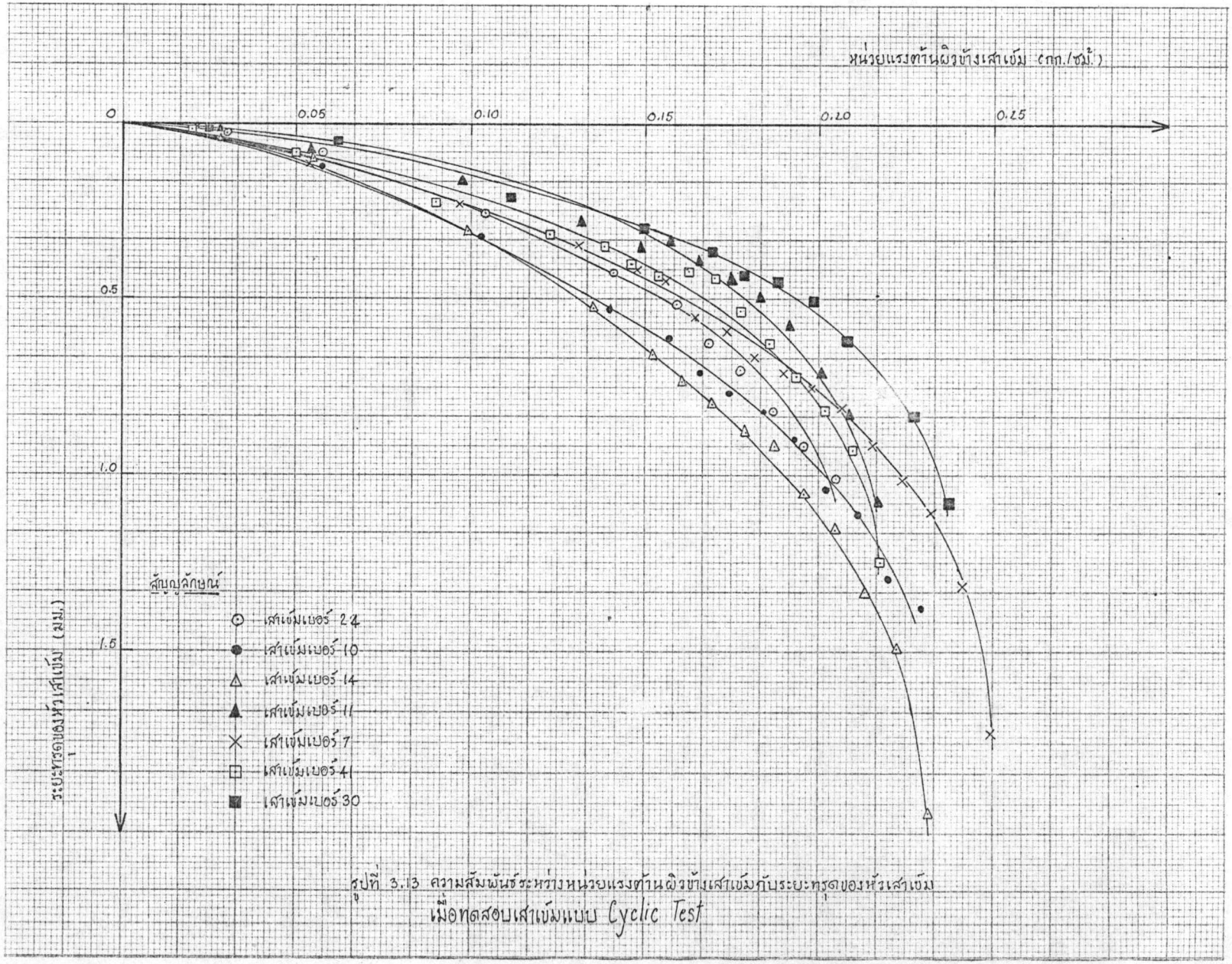
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม
เมื่อทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.25 มม./นาที)



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม เมื่อทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.35 มม./นาที)



รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม
เมื่อทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test (0.50 มม./นาที)



รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม
เมื่อทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test

การทดสอบเสาเข็มเริ่มหลังจากลงเสาเข็มไว้แล้วประมาณสองเดือน (61 วัน ถึง 81 วัน) ช่วงเวลาตั้งแต่ลงเสาเข็มถึงเวลาทดสอบเสาเข็มเป็นองค์ประกอบหนึ่ง ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มที่ลงไว้ในดินเหนียวอ่อนอิ่มน้ำ (Tomlinson, M.J., 1976) ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของการลงเสาเข็มในดินเหนียวอ่อนอิ่มน้ำ ในกรุงเทพจากการวิจัยของ Sasisuwun, S. (1972) ดินบริเวณรอบเสาเข็มเหล็กเดี่ยวซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซ็นติเมตร และถูกตอกฝังอยู่ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ 12 เมตร ถูกแปรสภาพ (disturb) จากผิวข้างเสาเข็มห่างออกไปถึงระยะประมาณหนึ่งเท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ความดันของน้ำในช่องว่างเม็ดดินบริเวณใกล้กับเสาเข็ม (ภายในระยะ 4.5 เท่ารัศมีเสาเข็มจากจุดศูนย์กลางเสาเข็ม) เพิ่มขึ้นมากหลังจากที่ลงเสาเข็มเสร็จใหม่ ๆ

กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน (Field Vane Shear Strength) บริเวณใกล้เสาเข็ม (ที่ระยะห่างจากผิวเสาเข็ม 0.3 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม) ลดลงมากในวันที่ลงเสาเข็ม กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่สูญเสียไปกลับคืนมาใหม่หลังจากลงเสาเข็ม 14 วัน ส่วนความดันของน้ำในช่องว่างเม็ดดินลดลงสู่ปกติหลังจากลงเสาเข็มแล้วหนึ่งเดือน ในการวิจัยนี้เว้นช่วงเวลา 2 เดือนหลังจากลงเสาเข็มไว้เชื่อว่านานพอสำหรับดินบริเวณรอบ ๆ เสาเข็มกลับคืนสภาพ

เสาเข็มไม้ไผ่เลี้ยงที่ใช้ในการวิจัยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตรงโคนอยู่ระหว่าง 2.9 เซ็นติเมตร ถึง 3.6 เซ็นติเมตร ตรงปลายเสาเข็ม 2.2 เซ็นติเมตร ถึง 2.9 เซ็นติเมตร ยาวประมาณ 4 เมตร ฝังอยู่ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ 3 เมตร ในการหาแรงพิบัติเสาเข็ม เสาเข็มถูกทดสอบจนพิบัติทีละเสา ระยะใกล้ที่สุดระหว่างเสาเข็มประมาณ 50 เซ็นติเมตร (ประมาณ 14 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางโคนเสาเข็ม)

ตามรายงานการวิจัยของแสงมหาชัย(2519) ด้วยเสาเข็มไม้ไผ่รวก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตรงโคนอยู่ระหว่าง 3.20 เซ็นติเมตร ถึง 3.45 เซ็นติเมตร ตรงปลายประมาณ 2.60 เซ็นติเมตร ถึง 2.70 เซ็นติเมตร ตอกเป็นเสาเข็มกลุ่มกลุ่มละ 25 เสา ฝังอยู่ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ภายในบริเวณจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย ลึก 3 เมตร ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มเพิ่มขึ้นถึง 98 เปอร์เซนต์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาเข็มกลุ่มเท่ากับ 19.5 เซ็นติเมตร (6.5 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มโดยประมาณ) บ่งให้เห็นว่าอิทธิพลของเสาเข็มที่อยู่ข้างเคียงต่อการรับน้ำหนักของเสาเข็มแต่ละเสาในกลุ่มลดน้อยลงไปมากเมื่อระยะห่างระหว่างเสาเข็มเพิ่มขึ้นเป็น 19.5 เซ็นติเมตร

เนื่องจากขนาด รูปร่างของเสาเข็มและสภาพดินที่ใช้ในการวิจัยคล้ายคลึงกับการวิจัยของแสงมหาชัย(2519) ดังนั้นระยะใกล้ที่สุดระหว่างเสาเข็มประมาณ 50 เซ็นติเมตร (14 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางโคนเสาเข็มโดยประมาณ) จึงเป็นระยะห่างไกลเกินที่ผลการทดสอบเสาเข็มเสาข้างเคียงจะส่งมาถึงกัน

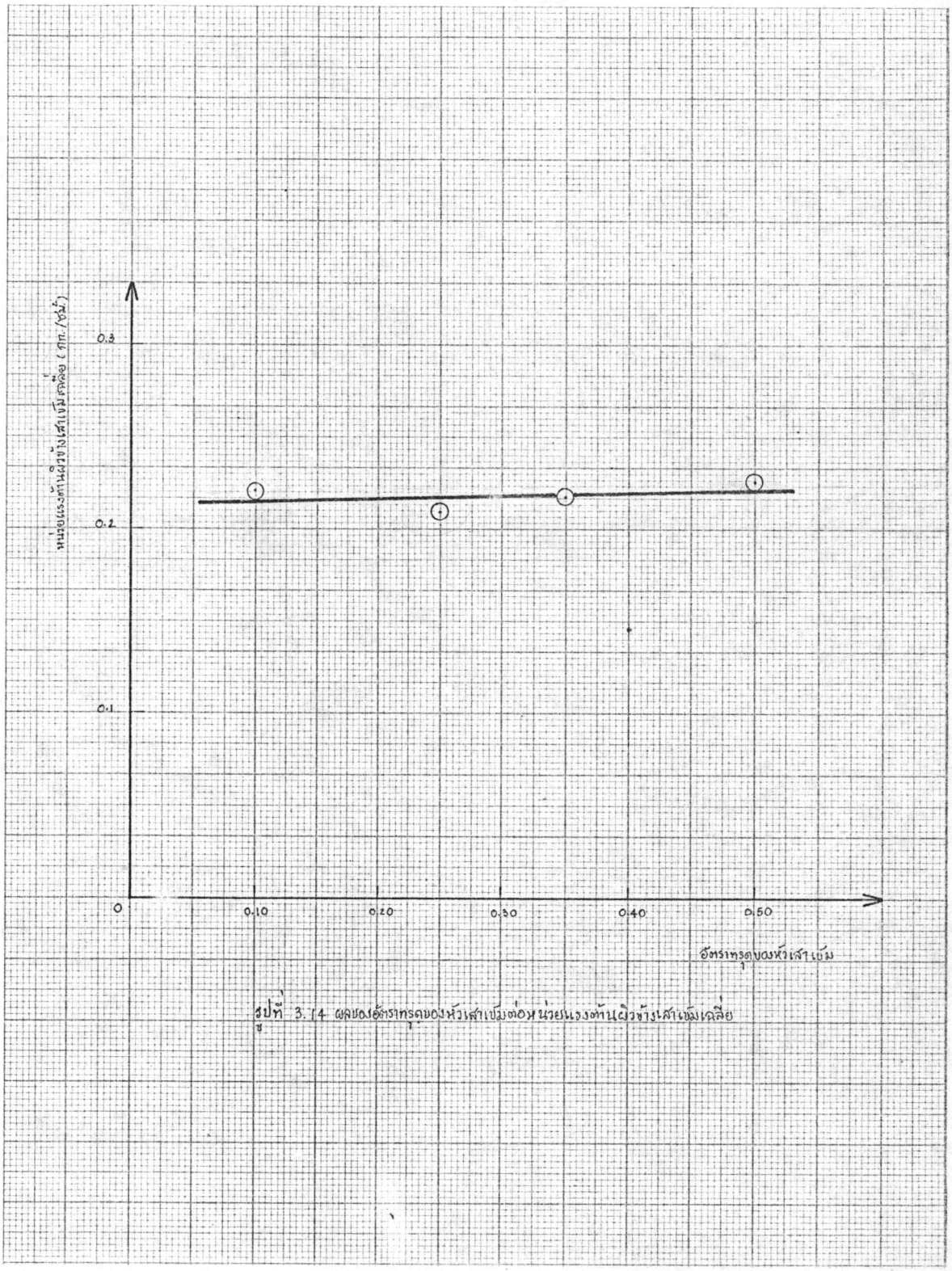
จากการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test C.R.P. Test และ Cyclic Test ลักษณะกราฟ หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็ม-ระยะทรุดทั้งหมดของหัวเสาเข็ม (รูปที่ 3.8 ถึง 3.13) เหมือนกันอยู่อย่างหนึ่งคือมีจุดแสดงค่าหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มสูงสุด ในการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test จุดแสดงค่าหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มสูงสุดปรากฏให้เห็นเด่นชัดและหลังจากหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มถึงค่าสูงสุดยังสามารถทดสอบเสาเข็มโดยคงอัตราทรุดของหัวเสาเข็มต่อไปได้อีก ส่วนการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test และ Cyclic Test หลังจากคงแรงทดสอบเสาเข็มถึงค่าสูงสุด (แรงทดสอบเสาเข็มสูงสุดในขั้นสำหรับการทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test) เสาเข็มทรุดลงอย่าง

รวดเร็ว ระยะทรุดทั้งหมดของหัวเสาเข็มเพิ่มขึ้นมาก ในขณะเดียวกันแรงทดสอบเสาเข็มลดน้อยลงจนไม่สามารถคงไว้เท่าเดิมได้ พฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็มเช่นนี้คงเนื่องมาจากดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มสูญเสียโครงสร้างของเม็ดดินในขณะที่เสาเข็มพิบัติ ทำให้กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มลดน้อยลง เป็นผลให้เสาเข็มรับแรงอัดได้น้อยลงหลังจากพิบัติแล้ว

เวลาที่ใช้ทดสอบเสาเข็มจนพิบัติอยู่ระหว่าง 1 นาที 30 วินาที และ 12 นาที สำหรับการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test ส่วนการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test อยู่ระหว่าง 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง 6 นาที และการทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test อยู่ระหว่าง 3 ชั่วโมง 46 นาที และ 15 ชั่วโมง 34 นาที ระยะทรุดพิบัติของหัวเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มแต่ละวิธีมีค่าอยู่ระหว่าง 0.76 มิลลิเมตร และ 1.87 มิลลิเมตร

3.4.2 <u>ผลของอัตราทรุดของหัวเสาเข็มต่อการรับแรงอัดในแนวแกนดิ่งของเสาเข็ม</u>

ในการวิจัยนี้ ผลของอัตราทรุดของหัวเสาเข็มต่อการรับแรงอัดในแนวแกนดิ่งของเสาเข็มศึกษาจากการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test โดยเปลี่ยนแปลงอัตราทรุดของหัวเสาเข็ม อัตราทรุดของหัวเสาเข็มที่ใช้เริ่มจากอัตรา 0.10 มม./นาที ซึ่งเป็นอัตราทรุดที่ต่ำสุด แล้วเพิ่มอัตราทรุดขึ้นเป็น 0.25 มม./นาที 0.35 มม./นาที จนถึง 0.50 มม./นาที ซึ่งเป็นอัตราทรุดสูงสุด ผลของอัตราทรุดของหัวเสาเข็มต่อการรับแรงอัดในแนวแกนดิ่งของเสาเข็มแสดงไว้ในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ผลของอัตราทรุดตุของหัวเสาเข็มต่อหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ย

จากกราฟ อัตราทรุดของหัวเสาเข็ม–หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ย (รูปที่ 3.14) จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราทรุดของหัวเสาเข็มเพิ่มขึ้น หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพดินบริเวณที่ทดสอบเสาเข็มเป็นดินเหนียวอ่อนอิ่มน้ำ และการทดสอบเสาเข็มจนพิบัติเสร็จสิ้นอย่างรวดเร็ว (ภายใน 12 นาที) เป็นผลให้ดินเหนียวอ่อนอิ่มน้ำบริเวณรอบผิวข้างเสาเข็มถูกเฉือนอย่างรวดเร็วด้วยอัตราความเครียดในแนวแรงเฉือนคงที่ในขณะทดสอบเสาเข็มจนน้ำในช่องว่างเม็ดดินไหลออกไม่ทัน กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนอิ่มน้ำในลักษณะเช่นนี้ ขึ้นอยู่กับอัตราความเครียด เมื่ออัตราความเครียดเพิ่มขึ้นกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนอิ่มน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ดังจะเห็นได้จากผลการวิจัยผลของอัตราความเครียดต่อกำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่มีการระบายน้ำของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพอิ่มน้ำ ในลักษณะคงสภาพของ Punyarnunta, S. (1964) และ Chau, Y.K. (1969) เมื่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มสูงขึ้น เสาเข็มจะรับแรงได้มากขึ้น หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยจึงเพิ่มขึ้น

จากการทดลองนี้ เมื่ออัตราทรุดของหัวเสาเข็มเพิ่มขึ้น 5 เท่า จากอัตราทรุด 0.10 มม./นาที หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 3.7 เปอร์เซนต์ ในกรุงลอนดอนจากการศึกษาของ Whitaker, T. และ Cooke, R.W. (1961) เมื่ออัตราทรุดของหัวเสาเข็มเปลี่ยนแปลงไประหว่าง 1/2 และ 4 เท่าของอัตราทรุด 0.80 มม./นาที (0.032 นิ้ว/นาที) แรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งฝังอยู่ในดินเหนียวลอนดอนเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 4 เปอร์เซนต์

3.4.3 ผลของวิธีทดสอบเสาเข็มต่อการรับแรงอัดในแนวแกนดิ่งของเสาเข็ม

ผลของวิธีทดสอบเสาเข็มต่อการรับแรงอัดในแนวแกนดิ่งของเสาเข็มแสดงไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ย

วิธีทดสอบเสาเข็ม	หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยเฉพาะเสาเข็มไมเหลาสัน ขอออก (กก./ซม.^{2})
Slow Maintained Load Test	0.223
C.R.P. Test (0.10 มม./นาที)	0.220
C.R.P. Test (0.25 มม./นาที)	0.209
C.R.P. Test (0.35 มม./นาที)	0.217
C.R.P. Test (0.50 มม./นาที)	0.226
Cyclic Test	0.227

ตามตารางที่ 3.7 หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มแต่ละวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ต่างกันมากที่สุดเพียง 8.6 เปอร์เซนต์ (ถือค่าเฉลี่ยวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test ด้วยอัตราทรุด 0.25 มม./นาที เป็นเกณฑ์) เมื่อทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test ด้วยอัตราทรุดของหัวเสาเข็ม 0.50 มม./นาที หน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงหน่วยแรงต้านผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test และ Cyclic Test ก็ว่าค่าที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test ด้วยอัตราทรุด 0.10 มม./นาที 0.25 มม./นาที และ 0.35 มม./นาที

3.4.4 <u>ผลของวิธีทดสอบเสาเข็มต่อสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็ม</u>

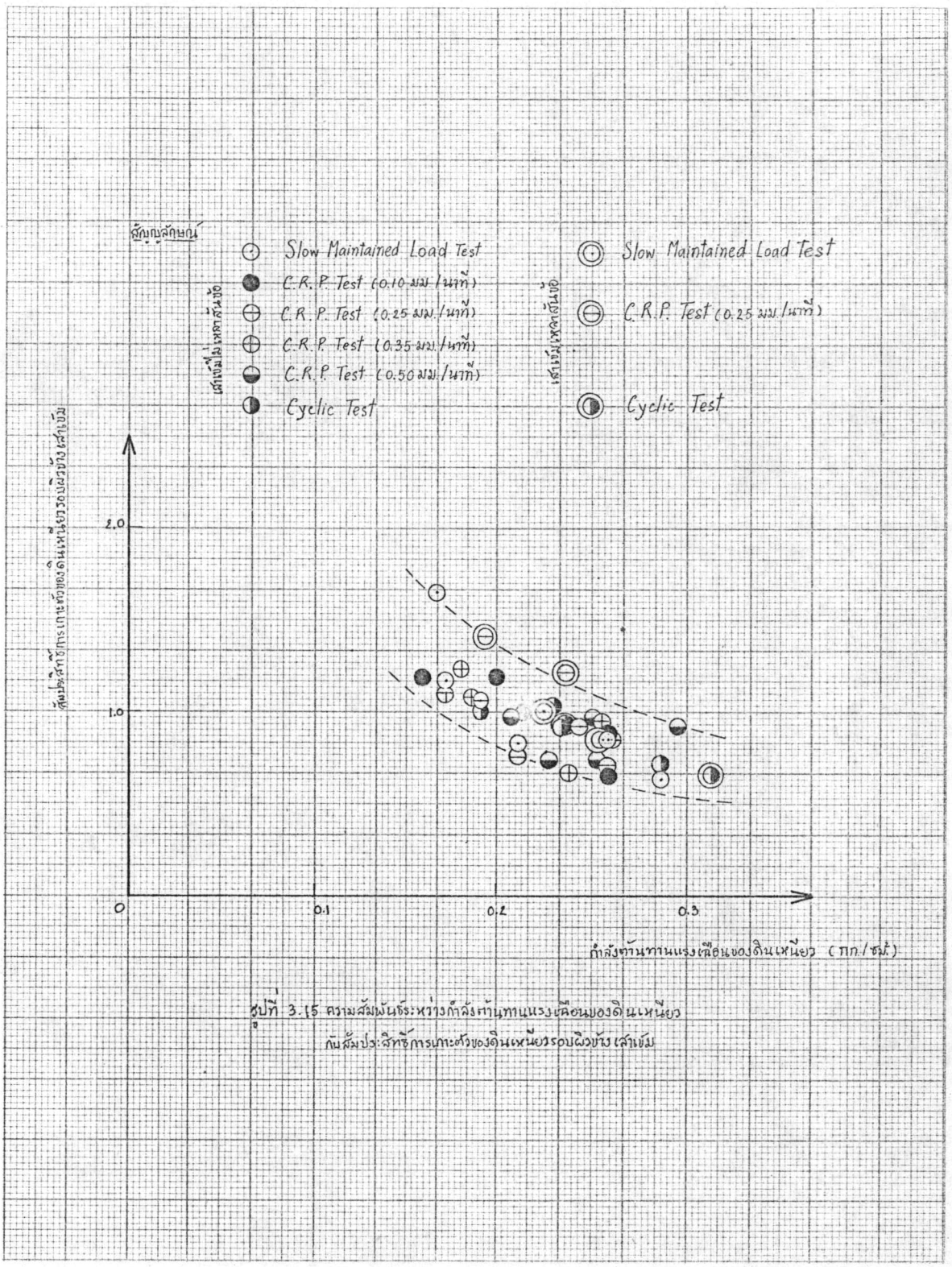
สัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็ม คำนวนจากอัตราส่วนระหว่างแรงต้านผิวข้างเสาเข็มซึ่งได้จากการทดสอบเสาเข็มในขณะที่เสาเข็มพิบัติกับแรงต้านผิวข้างเสาเข็ม ซึ่งคำนวนโดยใช้ข้อมูลการทดสอบดินด้วย Static Dutch Cone เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวข้างเสาเข็มกับพื้นที่ปลายเสาเข็มมีค่าสูง (ประมาณ 560) ประกอบกับปลายเสาเข็มลงไว้ในดินเหนียวอ่อน จึงประมาณได้ว่าแรงต้านผิวข้างเสาเข็มซึ่งได้จากการทดสอบเสาเข็มในขณะที่เสาเข็มพิบัติ มีค่าเท่ากับแรงพิบัติของเสาเข็ม (ไม่รวมน้ำหนักเสาเข็ม) ซึ่งได้จากการทดสอบเสาเข็ม ส่วนการคำนวนแรงต้านผิวข้างเสาเข็มจากข้อมูลการสำรวจดินด้วย Static Dutch Cone นั้นใช้ค่า

Cone factor เท่ากับ 14 ซึ่งได้จากการวิจัยของ Pham, T.N. (1972) สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ คำนวนกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินรอบผิวข้างเสาเข็ม แรงต้านผิวข้างเสาเข็มทั้งหมดได้จากผลบวกของแรงต้านผิวข้างเสาเข็มระหว่างข้อไม้ไผ่ซึ่งเท่ากับผลคูณของพื้นที่ผิวข้างเสาเข็มระหว่างข้อไม้ไผ่กับกำลังต้านทางแรงเฉือนของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มเฉลี่ยระหว่างข้อไม้ไผ่

รายละเอียดการหาค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มแสดงไว้ในภาคผนวก ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มกับกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวเฉลี่ยตลอดความยาวเสาเข็มในช่วงที่ฝังอยู่ในดินเหนียว (หาจากข้อมูลการทดสอบดินโดยใช้ Static Dutch Cone) แสดงไว้ในรูปที่ 3.15

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยของดินเหนียวกับสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็ม ซึ่งได้จากการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ กันมีแนวโน้มที่ว่าอยู่ในแถบเส้นไข่ปลา ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มลดลงเมื่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวเพิ่มขึ้น และเสาเข็มที่เหลาสันข้อออกมีแนวโน้มที่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มมากกว่าเสาเข็มที่ไม่ได้เหลาสันข้อออก

การที่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยของดินเหนียวกับสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มซึ่งได้จากการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ กันมีแนวโน้มที่ว่าอยู่ในแถบเส้นไข่ปลา แสดงว่า วิธีทดสอบเสาเข็มมี



ภูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียว
กับสัมประสิทธิ์การแทะตัวของดินเหนียวรอบผิวของเสาเข็ม

ผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มน้อย เหตุที่ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มลดลงเมื่อกำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยของดินเหนียวเพิ่มขึ้น คงเนื่องมาจากการลงเสาเข็มทำให้ดินเหนียวเป็นรูใหญ่กว่าเสาเข็มเล็กน้อย ดินเหนียวที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนน้อยสามารถเคลื่อนเข้ามาติดผิวข้างเสาเข็มได้ง่ายกว่าดินเหนียวที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงกว่า ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างดินเหนียวกับผิวข้างเสาเข็มมากกว่าเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มสูงกว่า

เสาเข็มที่เหลาสันข้อออกมีแนวโน้มที่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มมากกว่าเสาเข็มที่ไม่ได้เหลาสันข้อออกเนื่องจากสันข้อที่กระจายอยู่ตลอดความยาวเสาเข็มบริเวณตรงข้อเสาเข็มไม้ไผ่มักจะนูนใหญ่ออกมามากกว่าส่วนปล้องเหนือและใต้สันข้อ เป็นเหตุให้ดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มเคลื่อนเข้าสัมผัสพื้นที่ผิวข้างเสาเข็มบริเวณเหนือสันข้อได้ไม่เต็มที่หลังลงเสาเข็มแล้ว เมื่อเหลาสันข้อออก พื้นที่ผิวบริเวณตรงข้อเสาเข็มราบเรียบ ดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มเคลื่อนเข้าสัมผัสพื้นที่ผิวข้างเสาเข็มได้เต็มที่ เป็นผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างดินเหนียวกับผิวข้างเสาเข็มที่เหลาสันข้อออกมีค่ามากกว่า และอีกทางหนึ่งคาดว่าเมื่อเหลาสันข้อออก พื้นที่ผิวบริเวณที่เหลาออกอาจช่วยดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อไม้ ทำให้เนื้อไม้อิ่มน้ำแล้วขยายตัวเป็นเหตุให้ผิวข้างเสาเข็มกระชับกับดินเหนียวรอบ ๆ ได้แน่นยิ่งขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินเหนียวรอบผิวข้างเสาเข็มที่เหลาสันข้อออกจึงมีแนวโน้มสูงกว่า