

บทที่ 4

ผลการทดลอง



คุณสมบัติของ เส้า เข็มทดสอบ

คุณสมบัติของ เหล็ก รูปตัว เอชที่ใช้ทำเส้าเข็ม แสดงในตารางที่ 4.1  
ตารางที่ 4.1 , คุณสมบัติของ เส้า เข็มทดสอบ

ขนาดเส้าเข็ม	H - 100	H - 200
น้ำหนักเส้าเข็ม (กก./ม.)	17	50
ความหนาปีกเส้าเข็ม (Flange) (มม.)	8	12
ความหนาแผ่นค้ำปีกปีก (Web) (มม.)	6	8
พื้นที่ผิวคานข้าง (ม. <sup>2</sup> /ม.)	0.571	1.162
พื้นที่หน้าตัด (ซม. <sup>2</sup> )	21.9	63.53
รัศมีใจ เรขาคณิตในแนวแกนที่น้อยกว่า (ซม. <sup>4</sup> )	134	1,600
ความเค้นอัดที่จุดกลาง (กก./ซม. <sup>2</sup> )	2,630	-

การทดสอบกำลังการรับน้ำหนักสูงสุดของ เส้า เข็มในสนาม

ทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของ เส้า เข็มคอกแรงกคในแนวตั้ง 14 ครั้ง คือ ขนาด H-100 และ H-200 อย่างละ 7 ครั้ง และทดสอบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดคอกแรงกคขึ้นของ เส้า เข็มขนาด H-100 จำนวน 5 ครั้ง รวมทั้งวัดค่ากำลังต้านทานในขณะเส้าเข็มลงดินทุกๆระยะความลึกที่เพิ่มขึ้น 1 เมตร รวม 41 ครั้ง ผลการทดสอบแสดงไว้ดังนี้

ตาราง 4.2 รวบรวมข้อมูลน้ำหนักกดสูงสุดขณะติดตั้ง, ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของ เส้า เข็ม ทั้งขนาด H- 100 และ H- 200 ที่ชั้นความลึกต่างๆ

ตารางที่ 4.3 รวบรวมข้อมูล น้ำหนักกดสูงสุดที่หัวเสาเข็ม และระยะทรุดที่หัวเสาเข็ม ณ จุดพิบัติ และแสดงค่าความเค้นสูงสุด ณ จุดพิบัติจากการคำนวณ

กราฟรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับน้ำหนักสูงสุด กับความยาวของเสาเข็มขนาด H - 100 ทั้งคองกดและแรงดึง รวมทั้งผลทางของกำลังการรับน้ำหนักสูงสุดคองกดและแรงดึง

กราฟรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับน้ำหนักสูงสุด กับความยาวของเสาเข็มขนาด H - 100 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในการกดเสาเข็มลงดิน กับความยาวเสาเข็ม

กราฟรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์เหมือนกราฟรูปที่ 4.2 สำหรับเสาเข็มขนาด H - 200

กราฟรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของหัวเสาเข็ม ณ จุดพิบัติ กับความลึกของปลายเสาเข็ม

กราฟรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นสูงสุดในเสาเข็ม ณ จุดพิบัติ กับความลึกของปลายเสาเข็ม

กราฟรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มขนาด H - 100 กับ H - 200

กราฟรูปที่ ๕-1 , ๕-2 (ภาคผนวก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดที่หัวเสาเข็มกับการทรุดที่หัวเสาเข็ม ขนาด H - 100 ทุกชั้นความลึกที่เพิ่มขึ้น 3 เมตร

กราฟรูปที่ ๕-3 , ๕-4 (ภาคผนวก) แสดงความสัมพันธ์เหมือนกราฟรูปที่ ๕-1 , ๕-2 สำหรับเสาเข็มขนาด H - 200

กราฟรูปที่ ๕-5 , ๕-6 (ภาคผนวก) แสดงคุณสมบัติและลักษณะชั้นดินบริเวณท่าการทดสอบ

ตารางที่ 4.2

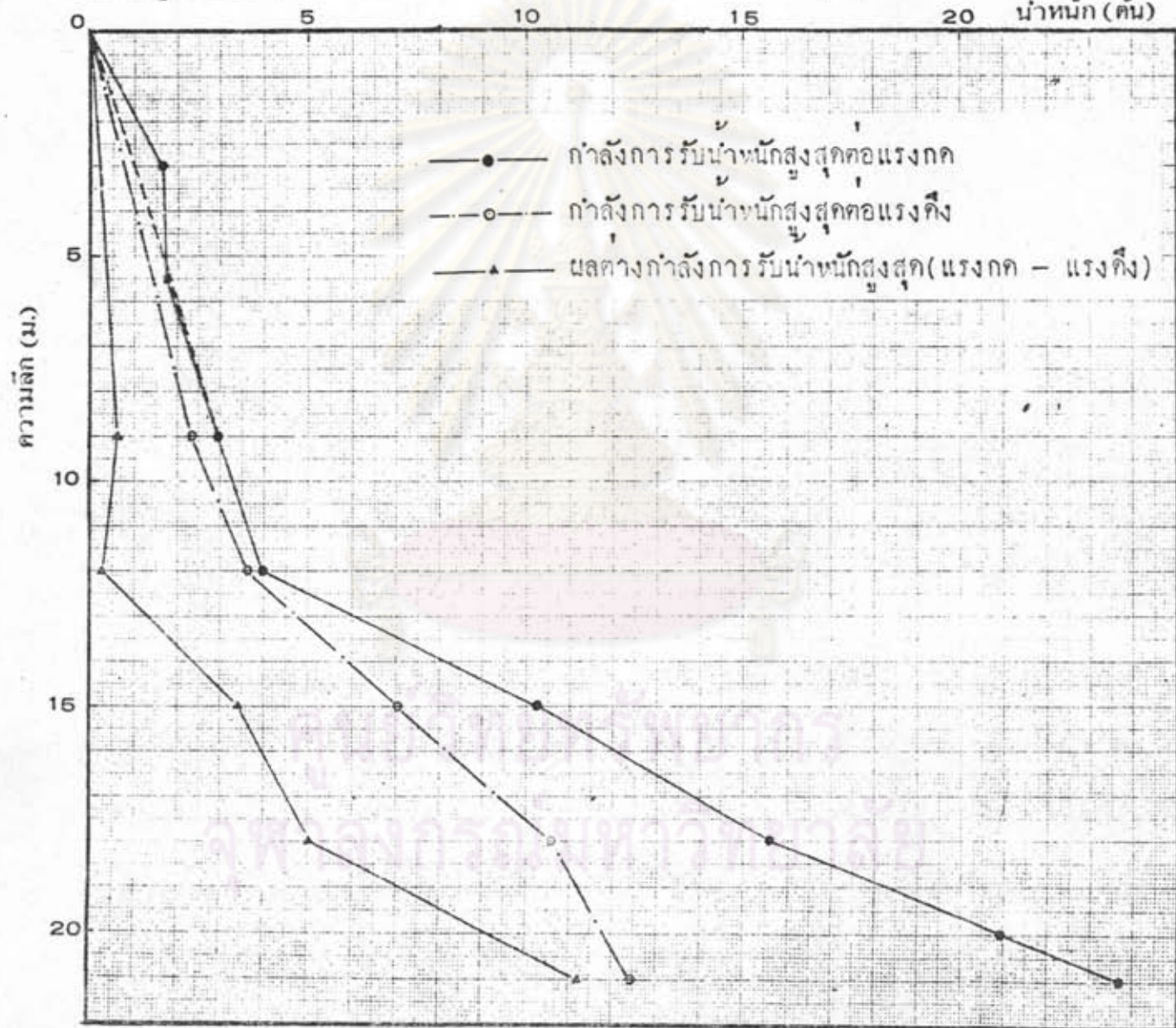
แสดงค่า น้ำหนักสูงสุดขณะตักต้ง และความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็ม

ความลึก ( เมตร )	H - 100			H - 200	
	น้ำหนักสูงสุด ขณะตักต้ง ( กก. )	ความสามารถในการรับ น้ำหนักสูงสุด		น้ำหนักสูงสุด ขณะตักต้ง ( กก. )	ความสามารถ ในการรับน้ำหนัก สูงสุดต่อแรงกด ( กก. )
		ต่อแรงกด ( กก. )	ต่อแรงตึง ( กก. )		
1.00	740			1,495	
2.00	765			1,940	
3.00	790	1,657	-	2,160	3,350
4.00	860			2,335	
5.00	765			2,255	
6.00	770	1,743	-	1,605	4,805
7.00	835			3,005	
8.00	925			2,905	
9.00	810	2,945	2,345	2,855	7,550
10.00	1,865			6,130	
11.00	2,125			6,430	
12.00	2,280	3,968	3,694	6,480	11,210
13.00	3,745			12,530	
14.00	4,930			13,180	
15.00	5,855	10,443	7,042	15,060	26,845
16.00	10,620			21,630	
17.00	11,065			25,175	
18.00	11,540	15,600	10,590	25,130	43,380
19.00	14,530			39,550	
20.00	21,020			49,100	58,400
21.00	22,380	23,701	12,489	-	

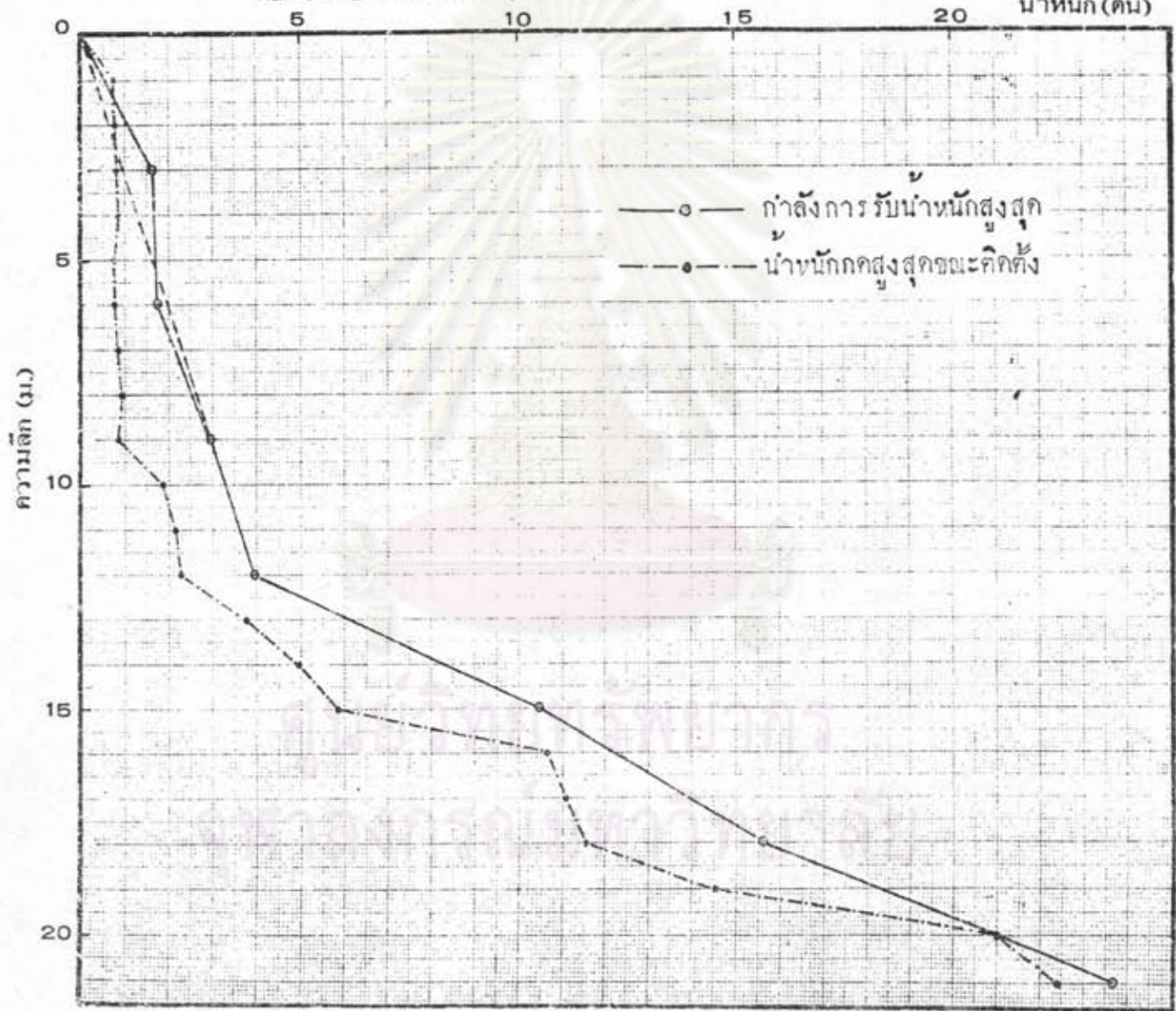
ตารางที่ 4.3 , แสดงค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่หัวเสาเข็ม, ระยะทรุดที่หัวเสาเข็ม และความเค้นสูงสุด ณ จุดพิบัติ

ความยาว เสาเข็ม (ม.)	H - 100 ; A = 21.9			H - 200 ; A = 63.53		
	น้ำหนักกดสูงสุด เมื่อทดสอบ (กก.)	ระยะทรุดที่ หัวเสาเข็ม (มม.)	ความเค้นสูงสุด (กก./ซม. <sup>2</sup> )	น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)	ระยะทรุดที่ หัวเสาเข็ม (มม.)	ความเค้นสูงสุด (กก./ซม. <sup>2</sup> )
3	1,605	178	73	3,200	337	50
6	1,640	246	75	4,505	440	71
9	2,790	278	127	7,100	450	112
12	3,760	565	172	10,610	680	167
15	10,185	592	465	26,095	810	411
18	15,290	1,053	698	42,580	1,050	670
20	21,020	-	960	57,400	795	904
21	23,340	1,850	1,066	-	-	-

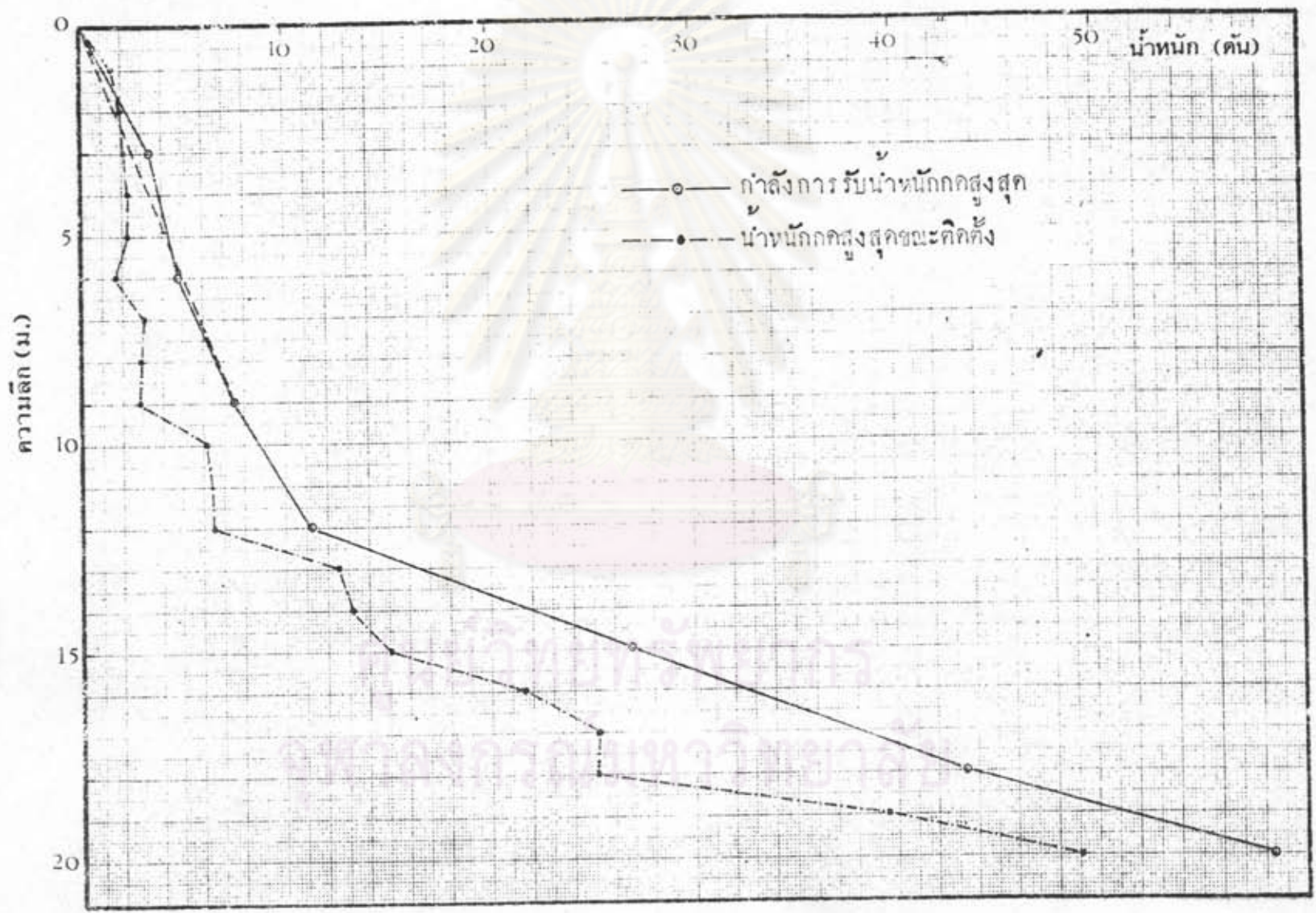
กราฟรูปที่ 4.1 , แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการรับน้ำหนักสูงสุดกับความยาวเสาเข็ม ( H- 100 )



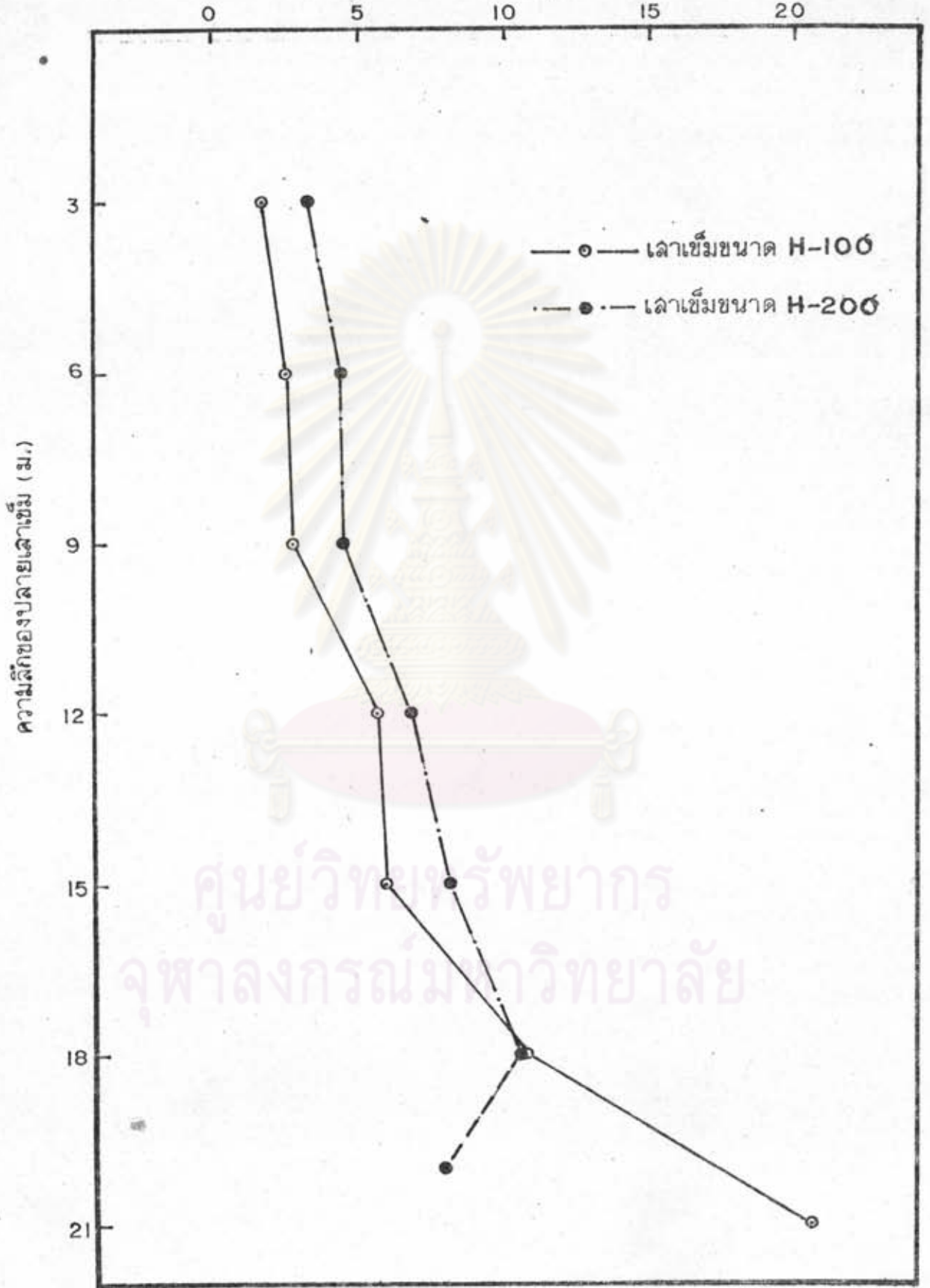
กราฟรูปที่ 4.2 , แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสูงสุดขณะคิกตั้ง และกำลังการรับน้ำหนักสูงสุด  
กับความยาวเสาเข็ม ( H- 100 )



กราฟรูปที่ 4.3 , แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกสูงสุดระยะตึกตั้งและกำลังการรับน้ำหนักสูงสุดกับความยาวเสาเข็ม (H - 200)



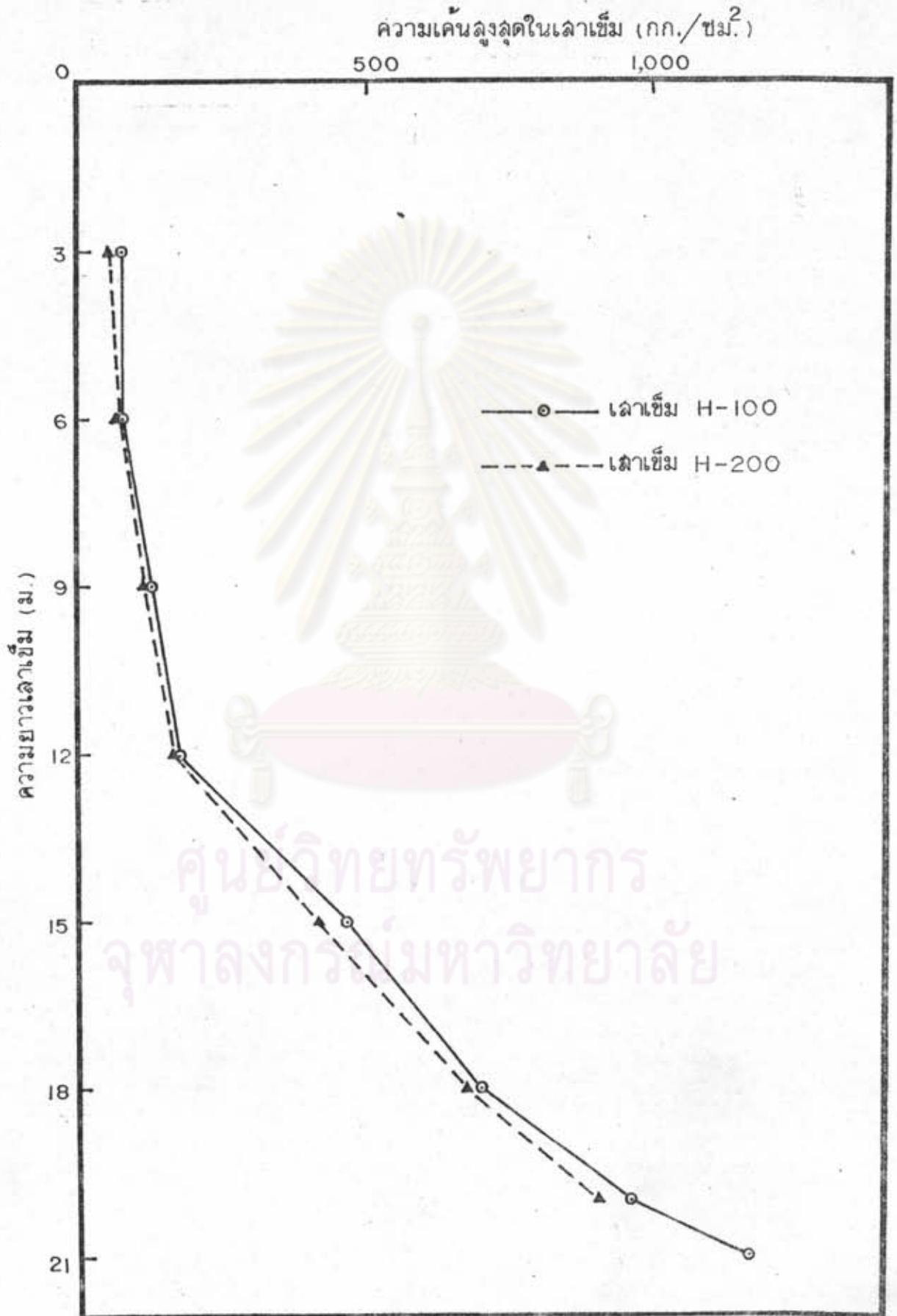
กราฟรูปที่ 4.4 , ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทรุดที่หัวเสาเข็มกับความลึกปลายเสาเข็ม  
ระยะทรุดที่หัวเสาเข็ม ณ จุดพิบัติ (มม.)



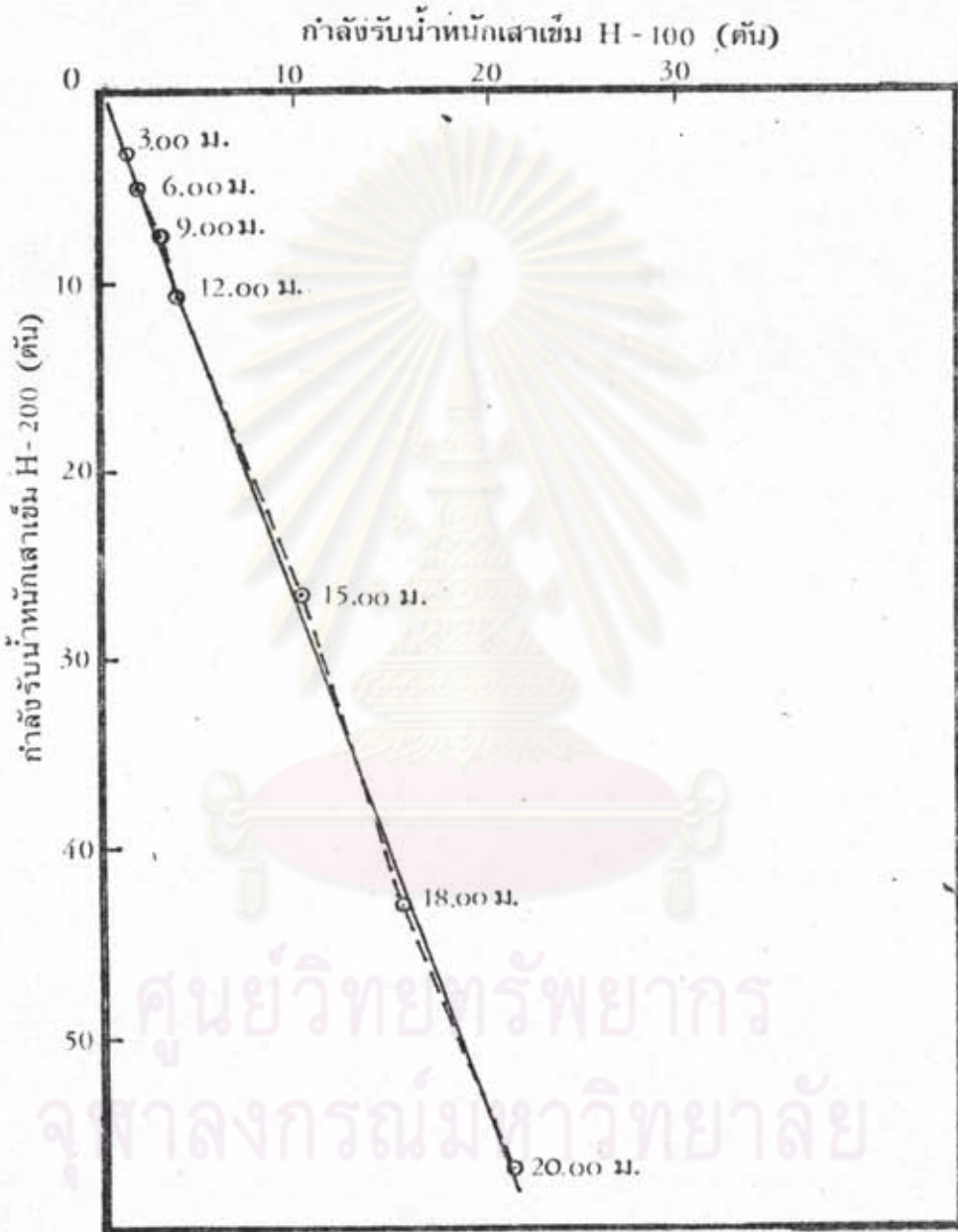
ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กราฟรูปที่ 4.5 , ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นสูงสุด ณ จุดหนีบกับความยาว เสาค้ำ



กราฟรูปที่ 4.6, ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มขนาด H - 100 กับ H - 200



### การ เบี่ยงเบนและ โกงงอของ เสาเข็ม

เสาเข็มทดสอบขนาด H - 100 หลังจากการทดสอบแรงกดเมื่อปลายล่างเสาเข็มขยับถึงชั้นความลึก 21 เมตร โท่ทำการขุดรอบเสาเข็มลึกลงไปประมาณ 2 เมตรไ้ระดับผิวดินเพื่อสังเกตการโกงงอ พบว่าที่รอยต่อซึ่งอยู่ที่ระดับ 1.50 เมตรไ้ระดับผิวดินเสาเข็มแสดงลักษณะวิบัติเนื่องจากการโกงงอและ เกิดแรง เบี่ยงศูนย์กลาง (รูปที่ 4.1) และจากการวัดแนวตั้งตรง เมื่อปล่อยให้พัก เสาเข็มเป็นอิสระจากของบ่งคับ พบว่าจุดคอคอดทั้งกลาง เบี่ยงเบนจากจุดศูนย์กลางของบ่งคับประมาณ 10 เซนติเมตร

เสาเข็มทดสอบขนาด H - 100 เมื่อทดสอบแรงดึงและถอนขึ้นมาทั้งหมดนำมาทดสอบกันตามลำดับ เสาเข็มแสดงลักษณะการ เบี่ยงเบน-โกงงอทั้งรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการ เบี่ยงเบน-โกงงอของ เสาเข็มที่คาดว่าเกิดขึ้นเมื่อเสาเข็มฝังอยู่ในดิน

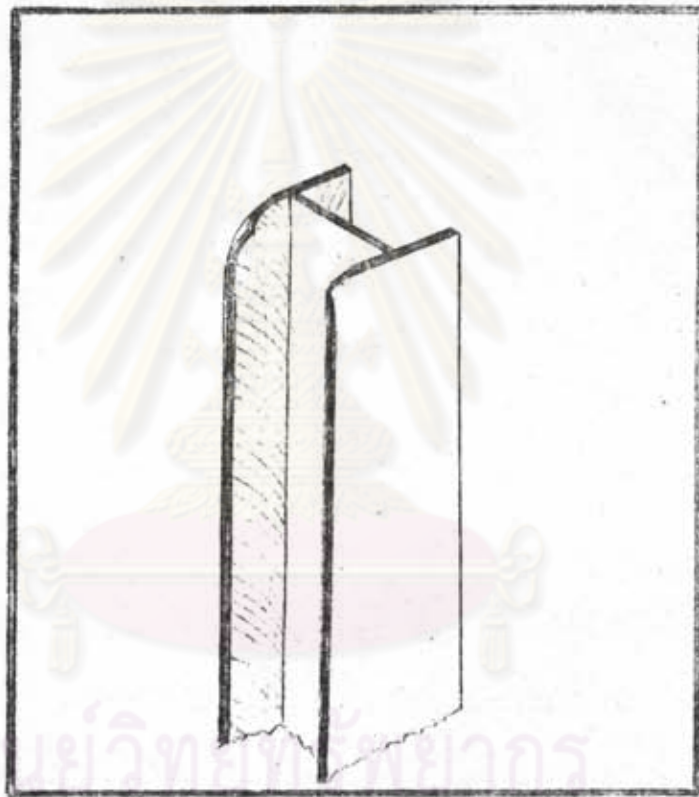
### สัมประสิทธิ์การเกาะตัว และหน่วยความต้านทานด้านข้าง

สัมประสิทธิ์การเกาะตัว ( $\alpha$ ) และหน่วยความต้านทานด้านข้าง ซึ่งคำนวณโดยใช้พื้นฐานค่าหน่วยแรงเฉือนของดินจากการทดลองวิธี "กำลังอัดวิธีทางเดียวไม่ระบายน้ำ" รวบรวมแสดงในตารางที่ 4.4 , 4.5 และ 4.6 โดยพิจารณาไว้ในช่วงชั้นดินเหนียวอ่อน ( 0 - 12 เมตร) และในดินเหนียวแข็งพิจารณาไว้ในแต่ละช่วงชั้นความลึก

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัว และหน่วยความต้านทานด้านข้างซึ่งคำนวณโดยพิจารณาให้ พื้นที่ผิวพิบัติของ เสาเข็มมีค่าเท่ากับพื้นที่สุทธิของ เสาเข็ม (ค่าพื้นที่ผิวสุทธิแสดงในตารางที่ 4.1)

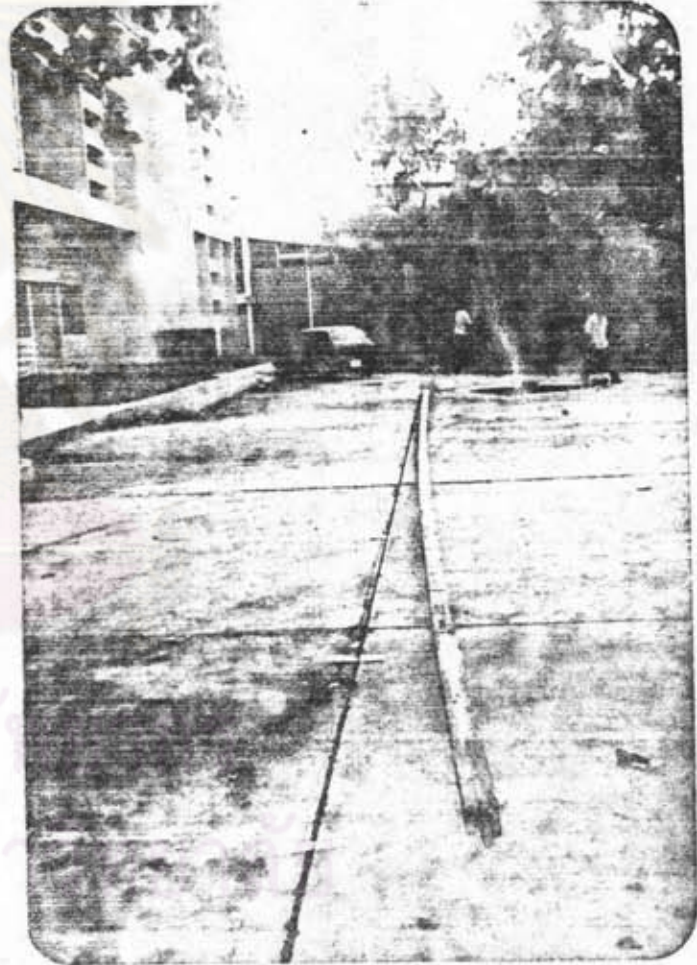
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัว และหน่วยความต้านทานด้านข้างซึ่งคำนวณโดยพิจารณาให้ พื้นที่ผิวพิบัติคือหน่วยความยาวของ เสาเข็มมีค่าเท่ากับ 4 เท่าความกว้างของ เสาเข็ม

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวในกรณีเสาเข็มรับแรงดึง  
 รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินในแต่ละช่วงชั้นความลึกแสง  
 ในภาคผนวก ตารางที่ 4-1 ถึง 4-8



รูปที่ 4.1 ; ปลายเสาเข็มส่วนกลางของจุดต่อที่ระดับลึก 1.50 เมตร  
 แสดงลักษณะการพืดเนื่องจากแรงเบี่ยงศูนย์

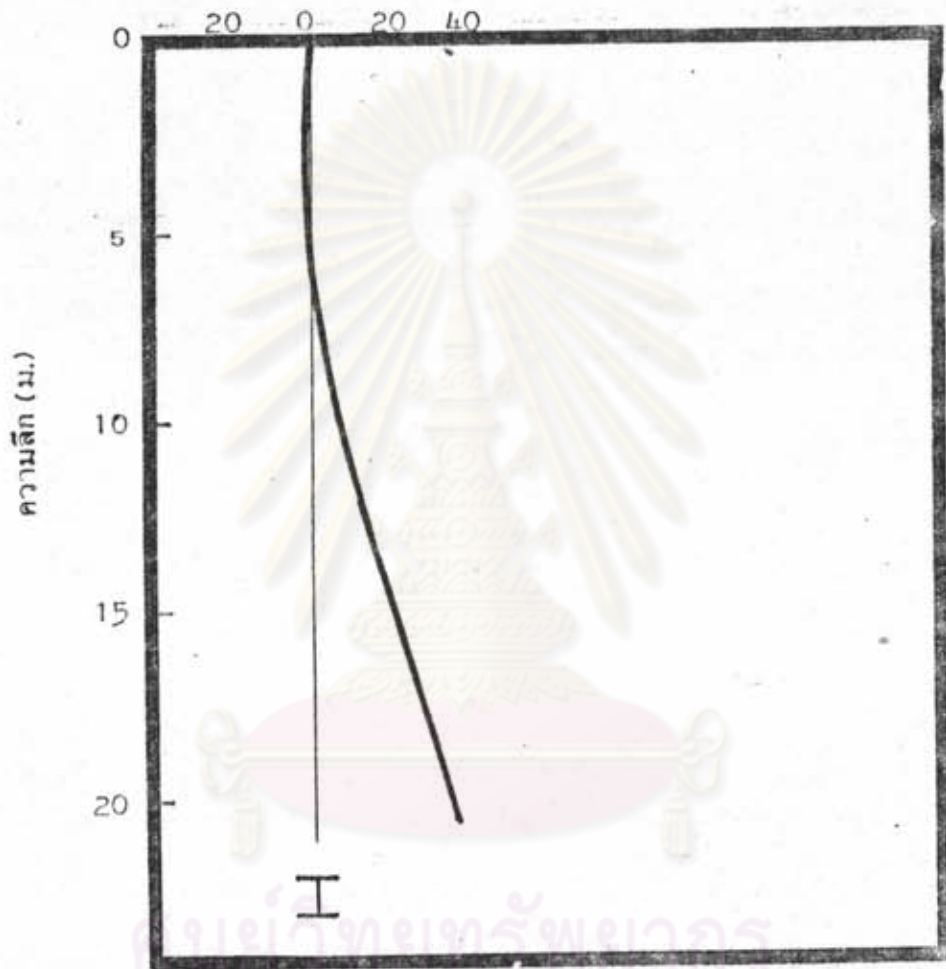
รูปที่ 4.2 , เสาค้ำ H - 100 ที่ถอนขึ้นมาต่อเรียงกันตามลำดับ



ศูนย์วิทยพั  
จุฬาลงกรณ์มหา

รูปที่ 4.3 ; แสดงลักษณะการ เบี่ยงเบน-โค้งงอของ เสาเข็มทดสอบ H - 100

ระยะเบี่ยงเบน-โค้งงอ (ซม.)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 , แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัว และหน่วยความต้านทานคานขวาง

( พิจารณาพื้นที่ผิวพิบคิ = พื้นที่ผิวสุทธิ )

ความลึก (ม.)	$S_u$ เฉลี่ย (ตัน/ม. <sup>2</sup> )	H - 100			H - 200		
		ความต้านทาน สูงสุด (กก.)	หน่วยความต้าน ทานคานขวาง (กก./ม. <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว	ความต้านทาน สูงสุด (กก.)	หน่วยความต้าน ทานคานขวาง (กก./ม. <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว
0 - 12	1.54	3,968	579	0.38	11,210	804	0.52
12 - 15	6.75	6,475	3,780	0.56	15,635	4,486	0.66
12 - 18	8.98	11,632	3,395	0.38	32,170	4,615	0.51
12 - 20	10.75	16,946	3,709	0.35	≥ 47,190	≥ 5,077	≥ 0.47
12 - 21	11.78	19,733	3,840	0.33*	-	-	-

\* เสาค้ำเข็มพิคิจากการโกงอ

ตารางที่ 4.5 , แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัว และหน่วยความต้านทานด้านข้าง  
 (พิจารณา พื้นที่ผิวพิบคคือหน่วยความยาว = 4 × ความกว้างเสาเข็ม)

ความลึก (ม.)	$S_u$ เฉลี่ย (ตัน/ม. <sup>2</sup> )	H - 100			H - 200		
		ความต้านทาน สูงสุด (กก.)	หน่วยความต้าน ทานด้านข้าง (กก./ม. <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว	ความต้านทาน สูงสุด (กก.)	หน่วยความต้าน ทานด้านข้าง (กก./ม. <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว
0 - 12	1.54	3,968	827	0.53	11,210	1,168	0.76
12 - 15	6.75	6,475	5,396	0.81	15,635	6,515	0.96
12 - 18	8.98	11,632	4,847	0.54	32,170	6,703	0.75
12 - 20	10.75	16,946	5,296	0.49	> 47,190	7,373	> 0.69
12 - 21	11.78	19,733	5,481	0.47	-	-	-

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.6

แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของเสาเข็มขนาด H - 100 ในกรณีรับแรงดึง

ความลึก (ม.)	ความต้านทาน สูงสุด (กก.)	Su เฉลี่ย (ตัน/ม. <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิวพิบติ = พื้นที่ผิวสุทธิ		พื้นที่ผิวพิบติ = 4 × ความกว้าง	
			หน่วยความต้าน ทานตามขวาง (กก./ม. <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว	หน่วยความต้าน ทานตามขวาง (กก./ม. <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว
* 2 - 12	3,618	1.65	634	0.38	905	0.54
12 - 15	3,404	6.75	-	0.29	-	0.42
12 - 18	6,952	8.98	-	0.25	-	0.32
12 - 20	12,489	11.78	-	0.21	-	0.29

\* กิ่งรอบปลาดิบของ เสาเข็มถูกขุดออก 2 เมตร

ตารางที่ 4.7 , ความต้านทานด้านข้างและสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของเสาเข็ม H-100

ความลึก (ม.)	ความต้านทาน สูงสุด(กก.)	ความต้าน ทานด้านข้าง ต่อความยาว 3 ม.	หน่วยความ ต้านทานด้าน ข้าง (กก./ม <sup>2</sup> )	Sn เกือบ (ตัน/ม <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว
0	-	992	827	0.95	0.87
3	992	992	827	1.1	0.75
6	1,984	992	827	1.4	0.59
9	2,976	992	827	2.7	0.31
12	3,968	6,475	5,396	6.75	0.80
15	10,443	5,157	4,298	11.2	0.38
18	15,600	5,764	7,205	16.0	0.45
20	20,914	2,789	6,968	17.0	0.41
21	23,701				

พิจารณา - พื้นที่ผิวพิบัติก่อนหน่วยความยาว เท่ากับ 4 เท่าความกว้างเสาเข็ม  
- ความต้านทานจากผลคานง้ำหนักทดสอบในแต่ละชั้นความลึก

ตารางที่ 4.8 , ความต้านทานคานข้างและสัมประสิทธิ์การ เกาะตัวของ เสาค้ำ H=200

ความลึก (ม.)	ความต้านทาน สูงสุด(กก.)	ความต้าน ทานคานข้าง ต่อความยาว 3 ม.	หน่วยความ ต้านทานคาน ข้าง (กก./ม <sup>2</sup> )	Su เฉลี่ย (ตัน/ม <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การ เกาะตัว
0	-	2,516	1,048	0.95	1.1
3	2,516	2,517	1,048	1.1	0.95
6	5,033	2,517	1,048	1.4	0.75
9	7,550	3,660	1,525	2.7	0.56
12	11,210	15,635	6,515	6.75	0.97
15	26,845	16,535	6,890	11.2	0.62
18	43,380	15,020	9,388	16.0	0.59
20	58,400				

พิจารณา - พื้นที่ผิวพิคต่อหน่วยความยาว เท่ากับ 4 เท่าความกว้าง เสาค้ำ  
- ความต้านทานจากผลคานน้ำหนักทดสอบในแต่ละชั้นความลึก

ตารางที่ 4.9 , ความต้านทานคานข้างและสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของ เสาค้ำ H=100

ความลึก (ม.)	ความต้านทาน สูงสุด (กก.)	ความต้าน ทานคานข้าง ต่อความยาว 3 ม.	หน่วยความ ต้านทานคาน ข้าง (กก./ม <sup>2</sup> )	Su เฉลี่ย (ตัน/ม <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว
0	-	992	579	0.95	0.61
3	992	992	579	1.1	0.53
6	1,984	992	579	1.4	0.41
9	2,976	992	579	2.7	0.21
12	3,968	6,475	3,780	6.75	0.56
15	10,443	5,157	3,010	11.2	0.27
18	15,600	5,764	3,365	16.0	0.32
20	20,914	2,787	4,881	17.0	0.29
21	23,701				

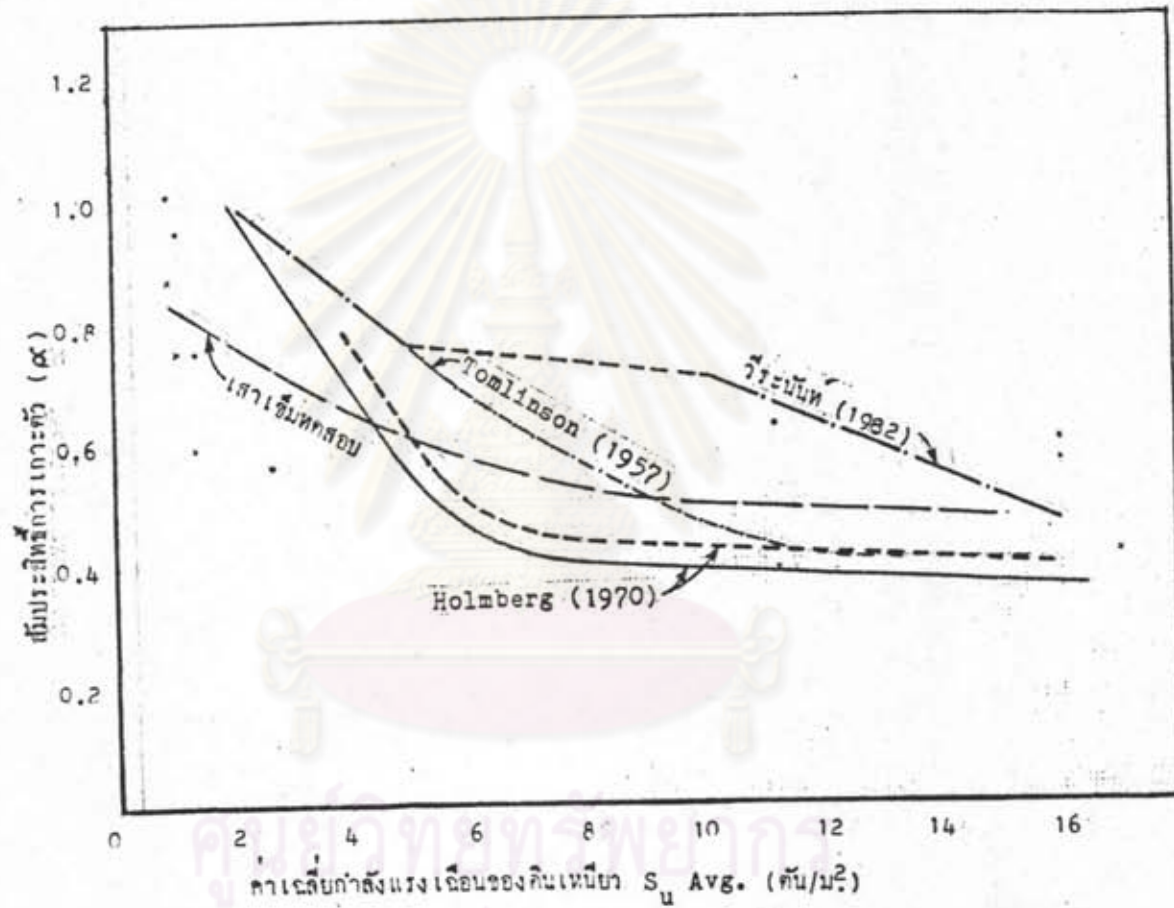
พิจารณา - พื้นที่ผิวพิบัติเท่ากับพื้นที่ผิวสุทธิ (0.571 ม<sup>2</sup>/ม.)  
 - ความต้านทานจากผลคานข้างน้ำหนักทดสอบในแต่ละชั้นความลึก

ตารางที่ 4.10 , ความต้านทานด้านข้างและสัมประสิทธิ์การเกาะตัวของเสาเข็ม H-200

ความลึก (ม.)	ความต้านทาน สูงสุด (กก.)	ความต้าน ทานด้านข้าง ต่อความยาว 3 ม.	หน่วยความ ต้านทานด้าน ข้าง (กก./ม <sup>2</sup> )	Snเฉลี่ย (ตัน/ม <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ การเกาะตัว
0	-	2,516	750	0.95	0.76
3	2,516	2,516	750	1.1	0.66
6	5,033	2,517	750	1.4	0.48
9	7,550	3,660	1,050	2.7	0.39
12	11,210	15,635	4,485	6.75	0.66
15	26,845	16,535	4,743	11.2	0.42
18	43,380	15,020	6,463	16.0	0.40
20	58,400				

พิจารณา - พื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับพื้นที่ผิวสุทธิ (1.162 ม<sup>2</sup>/ม.)

- ความต้านทานจากผลคานงำน้ำหนักทดสอบในแต่ละชั้นความลึก



กราฟรูปที่ 4.7 , แสดงเส้น curve ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การตายกับ  
 ค่าเฉลี่ยกำลังแรงเฉือนของดินเหนียว  $S_u$  Avg. (ต้น/ม<sup>2</sup>)  
 Holmberg (1970) , วีระนันท์ (1982) และ curve ที่หาได้จาก  
 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ (ตารางที่ 4.7 , 4.8)