บทที่ 6

ผลของการทดลอง

รายละเอียดบางประการเกี่ยวกับการทดลอง

1. ในการทดลองทั้งหมด ใช้เครื่องมือ Earth Tester ของ Metrawatt ยืมจากห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูง หมายเลขเครื่อง 10 EE 7027-1 เครื่องมือนี้มี source เป็น hand driven generator ผลิตกระแสไฟสลับ (เพราะว่ากระแสไฟตรงจะทำให้เกิด electrolysis) ส่วนความถี่ขึ้นกับอัตราเร็วของมือหมุน เครื่องมือสำหรับกำจัด stray current เป็น synchronous rectifier ซึ่งจะกำจัด A.C. stray current และคะแปซิเตอร์ (capacitor) ซึ่งจะกำจัด D.C.stray current และระบบการวัด (measuring system) เป็นแบบ The resistance comparator system[4]

2. ในการวัดความต้านทานของขั้วดิน ต่อวงจรดังรูปที่ 20

สูตรสำหรับคำนวณความต้านทานของขั้วดินมี 2 สูตร คือ

สมการ (5) $$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{r} - 1\right) \qquad (5)$$

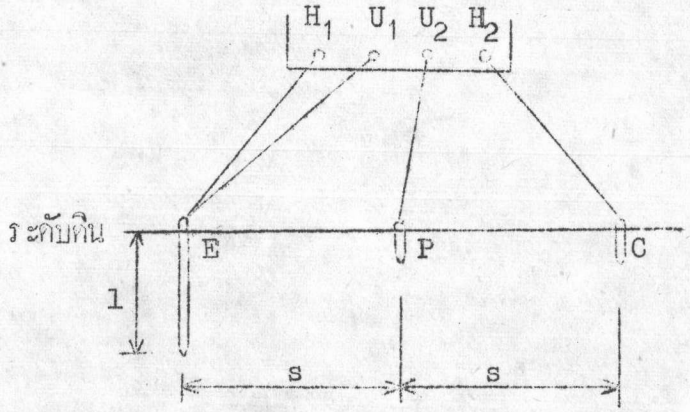
และสมการ (19) $$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l}{r} \qquad (19)$$

เมื่อ R = ความต้านทานของขั้วดิน

ρ = ความต้านทานจำเพาะของดิน

l = ความลึกของขั้วดิน

r = รัศมีของพื้นที่หน้าตัดของขั้วดิน



หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

เมื่อ E เป็นขั้วดิน

P เป็น auxiliary potential electrode

C เป็น auxiliary current electrode

l เป็นความลึกของขั้วดินที่ตอกลงไป

s เป็นระยะห่างระหว่างขั้วดิน เท่ากับ 20 เมตร

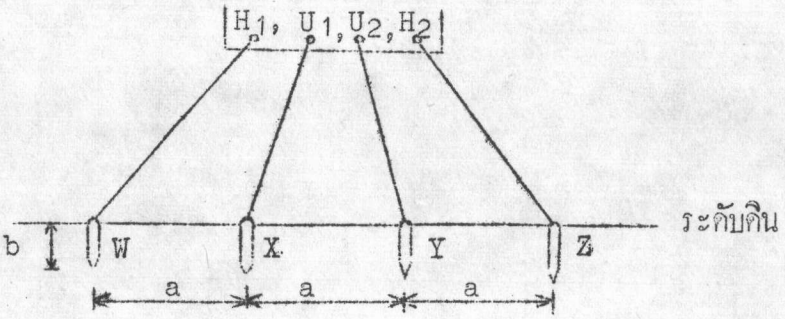
H_1, U_1, U_2, H_2 เป็นขั้วของเครื่องมือ Earth Tester

รูปที่ 20 การวัดความต้านทานของขั้วดิน

การที่แยกสายจากขั้ว H_1 & U_1 ของเครื่องวัดไปที่ขั้วดิน ก็เพื่อไม่ให้ความต้านทานของสายเข้ามาอยู่ในการวัด[4] ความต้านทานของสายที่เดินจากขั้ว H_1 ไปที่ขั้วดิน E วัดได้เท่ากับ 1.4 โอห์ม ส่วนสายที่เดินจากขั้ว U_1 ไปที่ขั้วดิน E วัดได้เท่ากับ 1.48 โอห์ม

3. ได้วัดความต้านทานของขั้วดินโดยให้ขั้วดินและ auxiliary electrode ทั้งสองอยู่ที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีด้านยาวเท่ากับ 20 เมตร ปรากฏว่าได้ความต้านทานของขั้วดินเท่ากับที่วัดได้ตามรูปที่ 20 ในข้อ 2

4. ในการวัดความต้านทานจำเพาะของดิน ต่อวงจรดังรูปที่ 21 โดยปัก auxiliary electrode X ให้อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เคยปักขั้วดิน E



เมื่อ W, X, Y, Z เป็น auxiliary electrode

a เป็น ระยะห่างระหว่าง auxiliary electrode

b เป็นความลึกของ auxiliary electrode ที่ปัก

H_1, U_1, U_2, H_2 เป็นขั้วของเครื่องมือ Earth Tester

รูปที่ 21 การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน

สูตรสำหรับคำนวณความต้านทานจำเพาะของดิน คือ

สมการ (4)

$$\rho = \frac{4 \pi a R'}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} \qquad (4)$$

เมื่อ

ρ = ความต้านทานจำเพาะของดิน

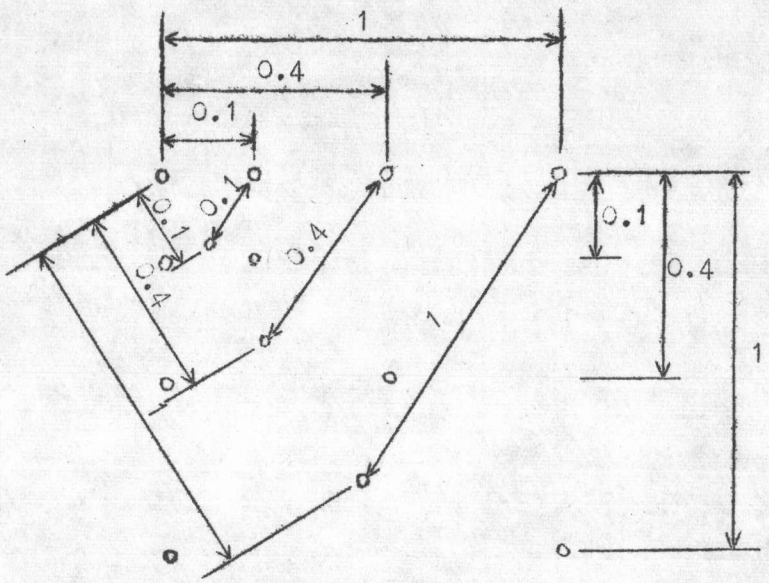
R' = ความต้านทานที่วัดได้

a = ระยะห่างระหว่าง auxiliary electrode

b = ความลึกของ auxiliary electrode

5. โดยความเป็นจริงแล้ว ความชื้นมีผลทำให้ความต้านทานมีค่าเปลี่ยนไป แต่เนื่องจากไม่อาจแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงตามความชื้นของความต้านทานของขั้วดิน ดังนั้น จึงไม่ได้ใส่ความชื้นในตารางผลของการทดลอง

6. ขั้วดินหลายขั้วต่อขนานกันจักดังรูปที่ 22



หน่วยเป็นเมตร

รูปที่ 22 ขั้วดินหลายขั้วต่อขนานกัน

สูตรสำหรับคำนวณความต้านทานของขั้วดินหลายขั้วต่อขนานกัน

สมการ (24) $$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l}{r} \cdot \cot\frac{\beta_2}{2} \cot\frac{\beta_3}{2} \ldots\ldots\right)^{\frac{1}{n}} \qquad (24)$$

เมื่อ β = มุมซึ่งประกอบด้วยแกนของขั้วดินอื่น ๆ กับเส้นที่เชื่อมระหว่างจุดปลายล่างของขั้วดินอื่น ๆ ไปยังจุดบนสุดของขั้วดินที่ 1

7. สรุปสัญญลักษณ์ที่จะใช้ในตาราง

a = ระยะห่างระหว่าง auxiliary electrode ตอนวัดหาความต้านทานจำเพาะ, เมตร

b = ความลึกของ auxiliary electrode ตอนวัดหาความต้านทานจำเพาะ

= 0.43 เมตร

R' = ความต้านทานที่วัดได้ ตอนวัดหาความต้านทานจำเพาะ, โอห์ม

l = ความลึกของขั้วดิน, เมตร

r = รัศมีของพื้นที่หน้าตัดของขั้วดิน, เมตร

R = ความต้านทานของขั้วดิน, โอห์ม

ρ_k = ความต้านทานจำเพาะที่หาได้ เมื่อให้ระยะห่างระหว่าง auxiliary electrode : a เท่ากับความลึกของขั้วดิน : l โอห์ม – เมตร

ρ_m = ความต้านทานจำเพาะที่หาได้ เมื่อให้ระยะห่างระหว่าง auxiliary electrode เท่ากับ 16 เมตร, โอห์ม–เมตร

β = มุมซึ่งประกอบด้วยแกนของขั้วดินอื่น ๆ กับเส้นที่เชื่อมระหว่างจุดปลายล่างของขั้วดินอื่น ๆ ไปยังจุดบนสุดของขั้วดินที่ 1

p = ระยะห่างระหว่างขั้วดินหลายขั้วที่ต่อขนานกัน

แบบหุ้ม = ขั้วดินแบบแท่งเหล็กกลมตัน หุ้มทองแดง

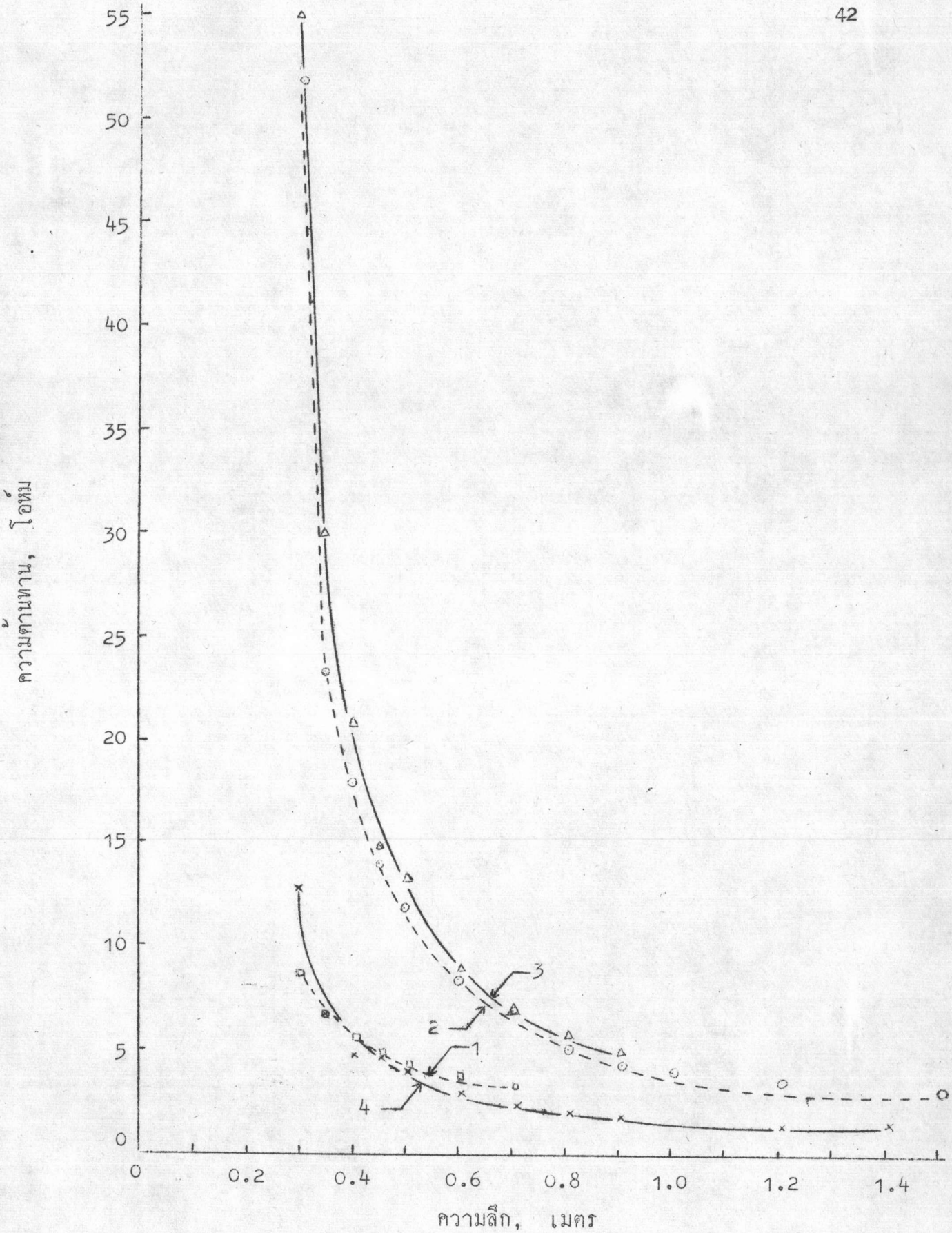
แบบชุบ = ขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี

// = ต่อขนานกัน

6.1 การวัดความต้านทานของขั้วดินบริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

ตารางที่ 3 ความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีและแบบแท่งเหล็กกลมตันหุ้มทองแดง บริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

l ม.	R, Ω					หมายเหตุ
	ทดลองครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
	แบบชุบ	แบบหุ้ม	แบบชุบ	แบบชุบ	แบบชุบ	
0.3	8.8	8.2	52	55	13	1. r แบบชุบ = 0.011 ม.$\left(\frac{7"}{16}\right)$
0.35	6.8	6.4	23.5	30	6.9	2. r แบบหุ้ม = 0.008 ม.$\left(\frac{5"}{16}\right)$
0.4	5.9	5.7	18	21	4.8	3. ข้อมูลเหล่านี้ทดลองตามวันเวลาต่อไปนี้
0.45	5.1	5.0	14	15	4.6	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 1 เมื่อ 9 ก.ค.20
0.5	4.5	4.5	12	13.5	4.1	
0.6	4.0	4.0	8.5	9	3.1	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 2 เมื่อ 8 ม.ค.21
0.7	3.6	3.6	7	7	2.5	
0.8	–	–	5.2	6	2.3	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 3 เมื่อ 15 ม.ค.21
0.9	–	–	4.5	5	1.9	
1.0	–	–	4.2	–	1.84	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 4 เมื่อ 28 ม.ค.21 10 – 18.40 น.
1.2	–	–	3.5	–	1.46	
1.4	–	–	–	–	1.4	4. ข้อมูลทดลองครั้งที่ 1 และ 3 เมื่อตอกถึงความลึกดังในตาราง ได้ถอนขั้วดินขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการทดลองครั้งต่อไป
1.5	–	–	3	–	–	
						5. นำข้อมูลทดลองครั้งที่ 4 ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 5



รูปที่ 23 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีบริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1 ตามตารางที่ 3 ข้อมูลทดลองครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4

6.2 การหาความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

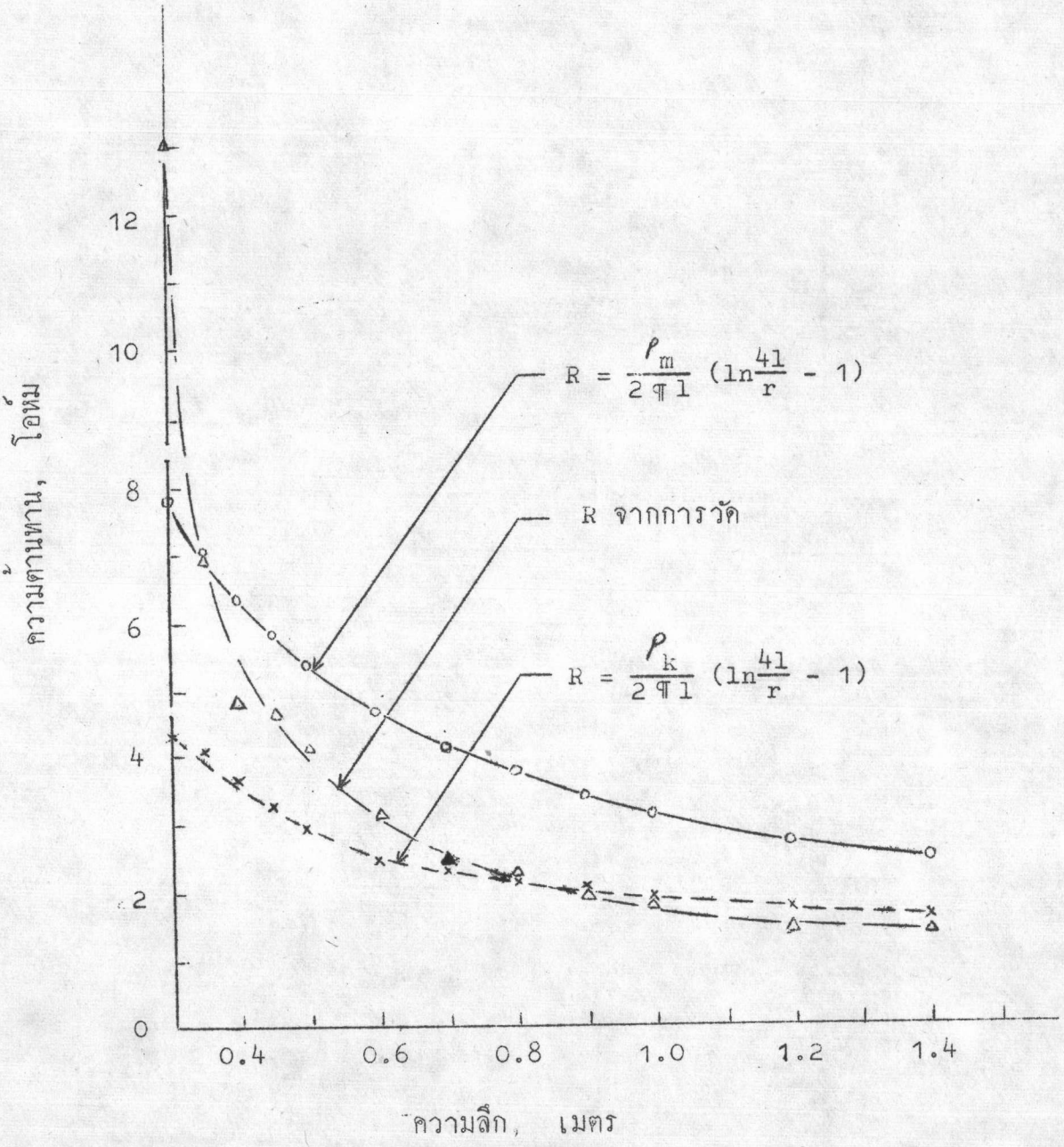
ตารางที่ 4 ความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

a ม.	R' Ω	ρ_k Ω – ม.	ρ_m Ω – ม.	หมายเหตุ
0.3	0.64	2.220	–	1. ข้อมูลนี้ทดลองเมื่อ 29 ม.ค.21
0.35	0.6	2.351	–	10.30 – 13.00 น.
0.4	0.54	2.335	–	2. ปัก auxiliary electrode
0.45	0.48	2.254	–	ลึก : b เท่ากับ 0.43 ม.
0.5	0.44	2.217	–	3. ค่า ρ' คำนวณตามสมการ (4)
0.6	0.38	2.152	–	4. นำค่า ρ_k และ ρ_m ไปใช้ใน
0.7	0.37	2.308	–	ตารางที่ 5
0.8	0.36	2.443	–	
0.9	0.34	2.491	–	
1.0	0.3	2.360	–	
1.2	0.28	2.507	–	
1.4	0.26	2.616	–	
16	0.04	–	4.026	

6.3 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วกินที่คำนวณตามสูตร กับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วกินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีที่คำนวณตามสูตร กับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

l	ρ_k	ρ_m	$R=\frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l}{r}\Omega$ ตามสมการ (19)		$R=\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{r}-1\right)\Omega$ ตามสมการ(5)		R จากการวัด	หมายเหตุ
			$\rho=\rho_k$	$\rho=\rho_m$	$\rho=\rho_k$	$\rho=\rho_m$		
ม.	Ω - ม.	Ω - ม.					Ω	
0.3	2.220	4.026	4.698	8.520	4.336	7.864	13	1. ρ_k, ρ_m ตามตารางที่ 4
0.35	2.351		4.429	7.585	4.101	7.023	6.9	
0.4	2.335		3.973	6.850	3.688	6.359	4.8	2. r แบบชุบเท่ากับ 0.011 ม. $\left(\frac{7''}{16}\right)$
0.45	2.254		3.503	6.257	3.258	5.820	4.6	
0.5	2.217		3.175	5.766	2.959	5.373	4.1	3. R จากการวัดตามตารางที่ 3 ข้อมูลทดลองครั้งที่ 4
0.6	2.152		2.673	5.000	2.497	4.672	3.1	
0.7	2.308		2.538	4.427	2.377	4.146	2.5	
0.8	2.443		2.415	3.980	2.266	3.735	2.3	
0.9	2.491		2.241	3.622	2.106	3.404	1.9	
1.0	2.360		1.950	3.327	1.835	3.131	1.84	
1.2	2.507		1.787	2.870	1.685	2.706	1.46	
1.4	2.616		1.644	2.531	1.553	2.390	1.4	



รูปที่ 24 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีที่คำนวณตามสูตรกับ ที่ได้จากการวัดตามตารางที่ 5

6.4 การวัดความต้านทานของขั้วดินบริเวณสนามหญ้า หลังตึกอักษรศาสตร์ ติดถนนอังรีดูนังต์

ตารางที่ 6 ความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีและแบบแท่งเหล็กกลมตันหุ้มทองแดง บริเวณสนามหญ้า หลังตึกอักษรศาสตร์ ติดถนนอังรีดูนังต์

l ม.	R, Ω			หมายเหตุ
	ทดลองครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
	แบบชุบ	แบบหุ้ม	แบบชุบ	
0.3	35	33	34	1. r แบบชุบ = 0.011 ม. $\left(\frac{7"}{16}\right)$
0.35	33	32	29	
0.4	32	31	14	2. R แบบหุ้ม = 0.008 ม. $\left(\frac{5"}{16}\right)$
0.45	31	30	12	3. ข้อมูลเหล่านี้ทดลองตามวัน เวลาต่อไปนี้
0.5	22	22	10	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 1 เมื่อ 17 ก.ค.20
0.6	8	8.8	6.7	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 2 เมื่อ 22 ม.ค.21
0.7	5.9	5.6	5.4	13–15.05 น.
0.8	4.6	4.7	4.7	
0.9	4	3.9	4.3	4. ข้อมูลทดลองครั้งที่ 1 เมื่อตอกถึงความลึกกังในตาราง ได้ถอนขั้วดินขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการทดลองครั้งต่อไป
1.0	3.6	3.4	3.8	
1.1	–	–	3.4	
1.2	–	–	3.2	5. นำข้อมูลทดลองครั้งที่ 2 ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 8
1.3	–	–	3	
1.4	–	–	2.8	
1.5	–	–	2.6	
1.6	–	–	2.5	
1.7	–	–	2.3	
1.8	–	–	2.2	
1.9	–	–	2.1	

6.5 การหาความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามหญ้า หลังตึกอักษรศาสตร์ ติดถนนอังรีดูนังต์

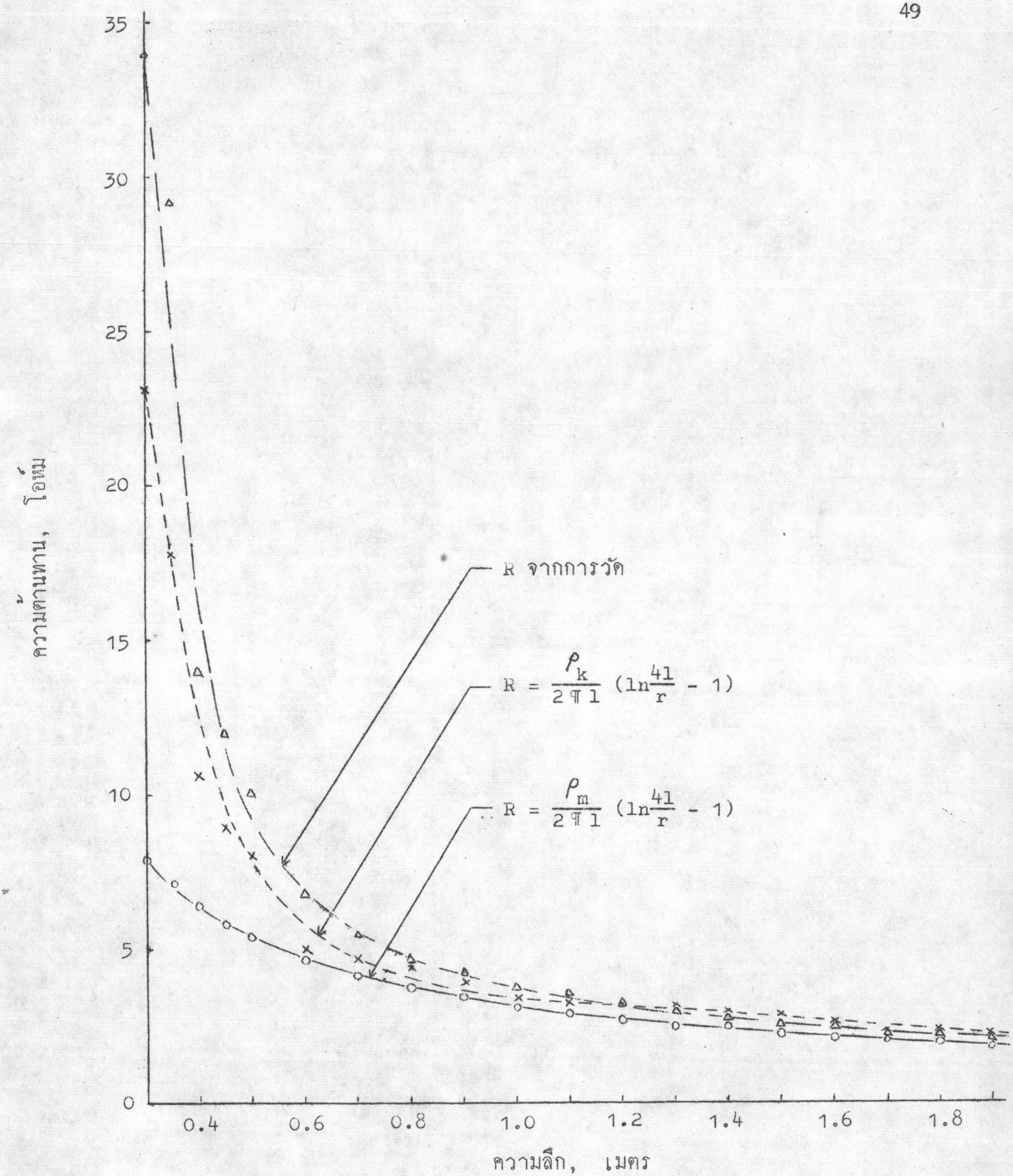
ตารางที่ 7 ความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามหญ้า หลังตึกอักษรศาสตร์ ติดถนนอังรีดูนังต์

a ม.	R' Ω	ρ_k Ω – ม.	ρ_m Ω – ม.	หมายเหตุ
0.3	3.4	11.796	–	1. ข้อมูลนี้ทดลองเมื่อ 29 ม.ค. 21 14.30 – 15.20 น.
0.35	2.6	10.186	–	
0.4	1.56	6.746	–	2. ปัก auxiliary electrode ลึก : b เทากับ 0.43 ม.
0.45	1.32	6.198	–	
0.5	1.2	6.046	–	3. ค่า ρ คำนวณตามสมการ (4)
0.6	0.76	4.303	–	
0.7	0.74	4.615	–	4. นำค่า ρ_k และ ρ_m ไปใช้ในตารางที่ 8
0.8	0.72	4.886	–	
0.9	0.62	4.542	–	
1.0	0.56	4.404	–	
1.1	0.54	4.540	–	
1.2	0.54	4.835	–	
1.3	0.52	4.943	–	
1.4	0.5	5.032	–	
1.5	0.48	5.101	–	
1.6	0.44	4.926	–	
1.7	0.4	4.708	–	
1.8	0.38	4.692	–	
1.9	0.36	4.654	–	
16	0.04	–	4.026	

6.6 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วกันที่คำนวณตามสูตรกับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามหญ้าหลังตึกอักษรศาสตร์ ตึกถนนอังรีดูนังต์

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วกันแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี ที่คำนวณตามสูตรกับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามหญ้า หลังตึกอักษรศาสตร์ตึกถนนอังรีดูนังต์

l	ρ_k	ρ_m	$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l}{r}$ Ω ตามสมการ (19)		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{r} - 1\right)$ Ω ตามสมการ (5)		R จากการวัด	หมายเหตุ
ม.	Ω - ม	Ω - ม	$\rho = \rho_k$	$\rho = \rho_m$	$\rho = \rho_k$	$\rho = \rho_m$	Ω	
.3	11.796	4.026	24.962	8.520	23.042	7.864	34	1. ρ_k, ρ_m ตามตารางที่ 7
.35	10.186		19.190	7.585	17.768	7.023	29	
.4	6.746		11.479	6.850	10.655	6.359	14	2. r แบบชุบเท่ากับ 0.011 ม. $\left(\frac{7"}{16}\right)$
.45	6.198		9.633	6.257	8.960	5.820	12	
.5	6.046		8.660	5.766	8.069	5.373	10	
.6	4.303		5.344	5.000	4.994	4.672	6.7	3. R จากการวัดตามตารางที่ 6 ข้อมูลทดลองครั้งที่ 2
.7	4.615		5.074	4.427	4.752	4.146	5.4	
.8	4.886		4.831	3.980	4.532	3.735	4.7	
.9	4.542		4.086	3.622	3.840	3.404	4.3	
1.0	4.404		3.640	3.327	3.425	3.131	3.8	
1.1	4.540		3.474	3.080	3.272	2.902	3.4	
1.2	4.835		3.447	2.870	3.250	2.706	3.2	
1.3	4.943		3.301	2.689	3.116	2.538	3	
1.4	5.032		3.163	2.531	2.987	2.390	2.8	
1.5	5.101		3.030	2.391	2.864	2.260	2.6	
1.6	4.926		2.775	2.268	2.624	2.145	2.5	
1.7	4.708		2.523	2.157	2.387	2.042	2.3	
1.8	4.692		2.398	2.058	2.271	1.948	2.2	
1.9	4.654		2.275	1.968	2.155	1.864	2.1	

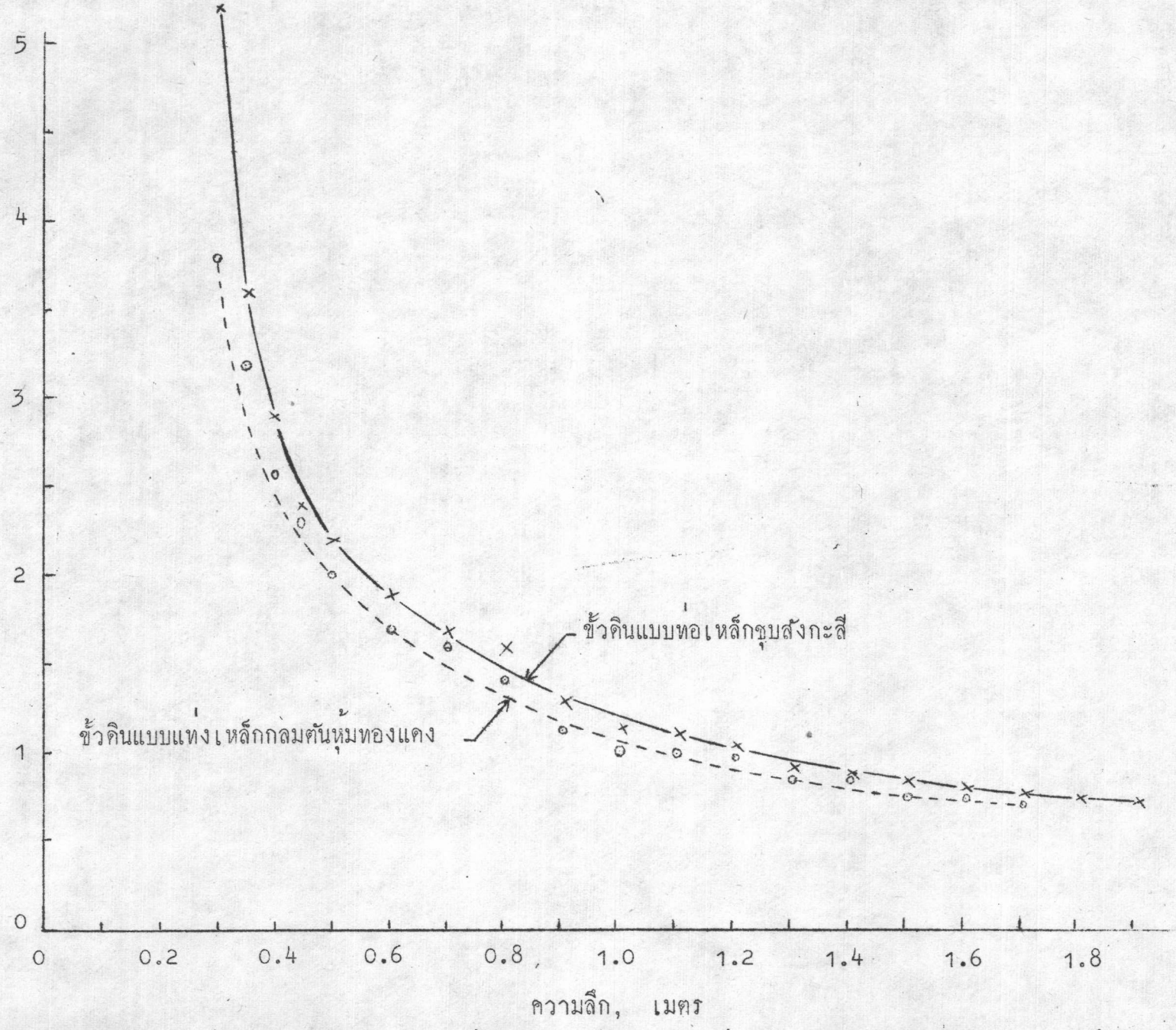


รูปที่ 25 การเปรียบเทียบความต้านทานของชั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีที่คำนวณตามสูตร กับ ที่ได้จากการวัด ตามตารางที่ 8

6.7 การวัดความต้านทานของขั้วดินบริเวณสนามหญ้า ระหว่างสระด้านคณะเภสัชศาสตร์กับหอประชุมใหญ่ จุฬาฯ

ตารางที่ 9 ความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี และแบบแท่งเหล็กกลุมตันหุ้มทองแดง บริเวณสนามหญ้า ระหว่างสระด้านคณะเภสัชศาสตร์กับหอประชุมใหญ่ จุฬาฯ

l ม.	R, Ω ทดลองครั้งที่ 1 แบบหุ้ม	ครั้งที่ 2 แบบชุบ	ครั้งที่ 2 แบบหุ้ม	หมายเหตุ
0.3	–	5.2	3.8	1. r แบบชุบ = 0.011 ม. $\left(\frac{7"}{16}\right)$
0.35	–	3.6	3.2	2. r แบบหุ้ม = 0.008 ม. $\left(\frac{5"}{16}\right)$
0.4	32	2.9	2.6	
0.45	29	2.4	2.3	3. ข้อมูลเหล่านี้ทดลองตามวัน เวลาต่อไปนี้
0.5	24	2.2	2	
0.6	17	1.9	1.7	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 1 เมื่อ 2 ก.พ. 19
0.7	12	1.7	1.6	
0.8	7.9	1.6	1.4	– ข้อมูลทดลองครั้งที่ 2 เมื่อ 11 ก.พ.21 12.15–15.30 น.
0.9	5.6	1.3	1.12	
1.0	4.5	1.14	1.02	4. ข้อมูลทดลองครั้งที่ 1 เมื่อตอกถึงความลึกดังในตาราง ได้ถอนขั้วดินขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการทดลองครั้งต่อไป
1.1	–	1.12	1	
1.2	–	1.06	0.98	
1.3	–	0.92	0.86	
1.4	–	0.9	0.84	
1.5	–	0.84	0.76	5. นำข้อมูลทดลองครั้งที่ 2 ขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 11
1.6	–	0.8	0.74	
1.7	–	0.78	0.72	
1.8	–	0.76	–	
1.9	–	0.74	–	



รูปที่ 26 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีกับแบบแท่งเหล็กกลมตันหุ้มทองแดง ตามตารางที่ 9

6.8 การหาความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามหญ้าระหว่างสระด้านคณะเภสัชศาสตร์กับหอประชุมใหญ่ จุฬาฯ

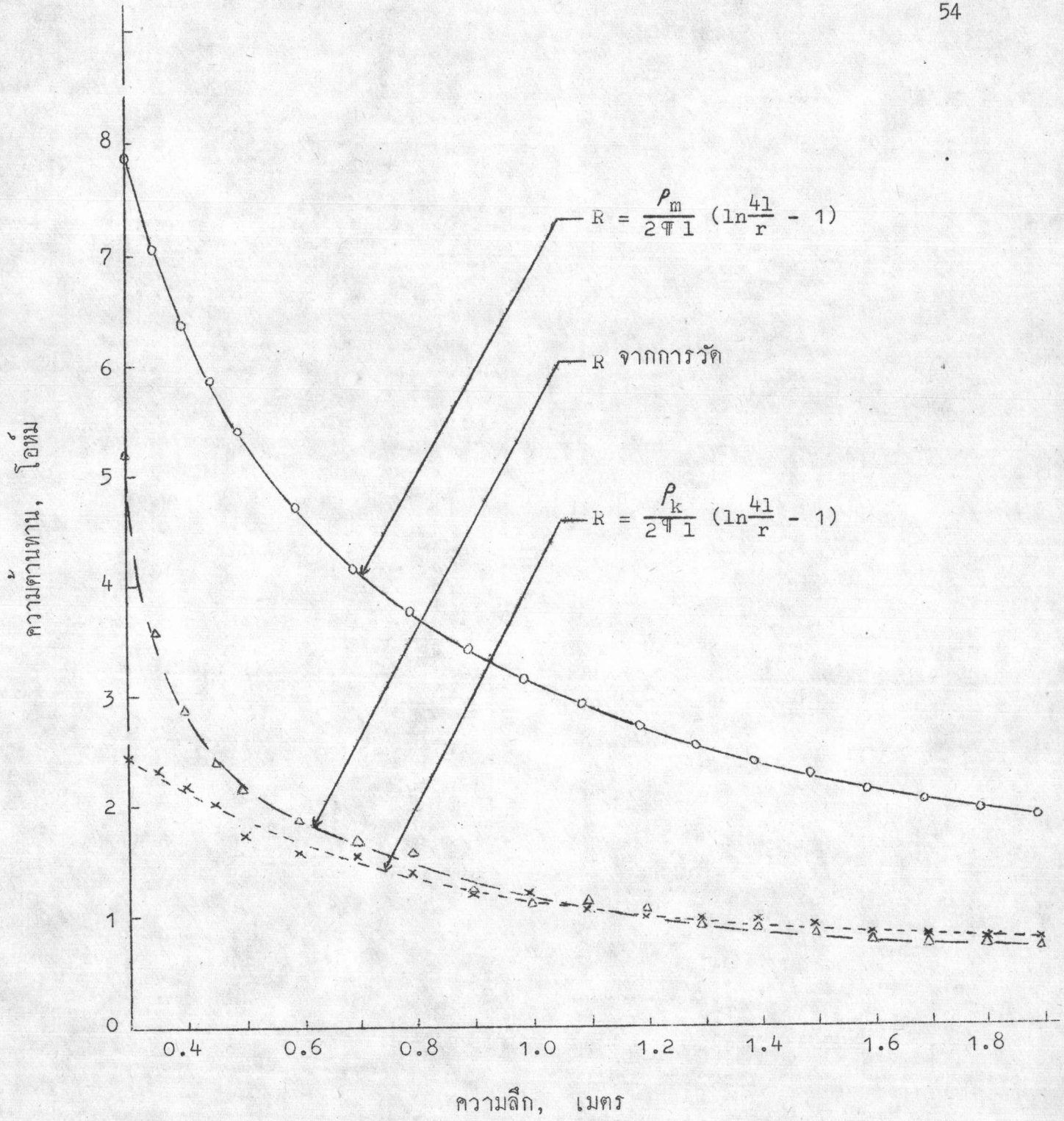
ตารางที่ 10 ความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามหญ้าระหว่างสระด้านคณะเภสัชศาสตร์กับหอประชุมใหญ่ จุฬาฯ

a ม.	R' Ω	ρ_k Ω – ม.	ρ_m Ω – ม.	หมายเหตุ
0.3	0.36	1.249	–	1. ข้อมูลนี้ทดลองเมื่อ 12 ก.พ. 21 10.10 – 12.00 น.
0.35	0.34	1.332	–	
0.4	0.32	1.384	–	2. ปัก auxiliary electrode ลึก : b เท่ากับ 0.43 ม.
0.45	0.30	1.409	–	
0.5	0.26	1.310	–	3. คา ρ คำนวณตามสมการ (4)
0.6	0.24	1.359	–	4. นำคา ρ_k และ ρ_m ไปใช้ในตารางที่ 11
0.7	0.24	1.497	–	
0.8	0.22	1.493	–	
0.9	0.20	1.465	–	
1.0	0.20	1.573	–	
1.1	0.18	1.513	–	
1.2	0.16	1.432	–	
1.3	0.16	1.521	–	
1.4	0.16	1.610	–	
1.5	0.16	1.700	–	
1.6	0.14	1.567	–	
1.7	0.14	1.648	–	
1.8	0.14	1.728	–	
1.9	0.14	1.810	–	
16	0.04	–	4.026	

6.9 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินที่คำนวณตามสูตร กับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามหญ้า ระหว่างสระด้านคณะเภสัชศาสตร์ กับหอประชุมใหญ่ จุฬาฯ

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีที่คำนวณตามสูตร กับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามหญ้าระหว่างสระด้านคณะเภสัชศาสตร์กับหอประชุมใหญ่ จุฬาฯ

l	ρ_k	ρ_m	$R=\frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l}{r}$ Ω ตามสมการ (19)		$R=\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{r}-1\right)$ Ω ตามสมการ (5)		R จากการวัด Ω	หมายเหตุ
ม.	Ω-ม.	Ω-ม.	$\rho=\rho_k$	$\rho=\rho_m$	$\rho=\rho_k$	$\rho=\rho_m$		
0.3	1.249	4.026	2.643	8.520	2.440	7.864	5.2	1. ρ_k, ρ_m ตามตารางที่ 10
0.35	1.332		2.509	7.585	2.324	7.023	3.6	
0.4	1.384		2.355	6.850	2.186	6.359	2.9	2. r แบบชุบเท่ากับ 0.011 ม.$\left(\frac{7''}{16}\right)$
0.45	1.409		2.190	6.257	2.037	5.820	2.4	
0.5	1.310		1.876	5.766	1.748	5.373	2.2	
0.6	1.359		1.688	5.000	1.577	4.672	1.9	3. R จากการวัดตามตารางที่ 9 ข้อมูลทดลองครั้งที่ 2 ขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี
0.7	1.497		1.646	4.427	1.542	4.146	1.7	
0.8	1.493		1.476	3.980	1.385	3.735	1.6	
0.9	1.465		1.318	3.622	1.238	3.404	1.3	
1.0	1.573		1.300	3.327	1.223	3.131	1.14	
1.1	1.513		1.158	3.080	1.090	2.902	1.12	
1.2	1.432		1.021	2.870	0.962	2.706	1.06	
1.3	1.521		1.016	2.689	0.959	2.538	0.92	
1.4	1.610		1.012	2.531	0.956	2.390	0.9	
1.5	1.700		1.010	2.391	0.954	2.260	0.84	
1.6	1.567		0.883	2.268	0.835	2.145	0.8	
1.7	1.648		0.883	2.157	0.836	2.042	0.78	
1.8	1.728		0.883	2.058	0.836	1.948	0.76	
1.9	1.810		0.885	1.968	0.838	1.864	0.74	



รูปที่ 27 การเปรียบเทียบความต้านทานของชั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีที่คำนวณตามสูตร กับที่ได้จากการวัด ตามตารางที่ 11

6.10 การวัดความต้านทานของขั้วดิน บริเวณสนามฟุตบอล สวนลุมพินีสถาน

ตารางที่ 12 ความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี บริเวณสนามฟุตบอลสวนลุมพินีสถาน

l ม.	R, Ω แบบชุบ	หมายเหตุ
0.3	29	1. r แบบชุบ = 0.011 ม.$\left(\frac{7"}{16}\right)$
0.35	22	2. ข้อมูลนี้ทดลองเมื่อ 4 มี.ค.21 10.00–12.10 น.
0.4	18	
0.45	15	
0.5	12	3. นำข้อมูลนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 14
0.6	10	
0.7	7	
0.8	5.7	
0.9	5.1	
1.0	4.3	
1.1	3.6	
1.2	2.9	
1.3	2.3	
1.4	1.9	

หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

6.11 การหาความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามฟุตบอล สวนลุมพินีสถาน

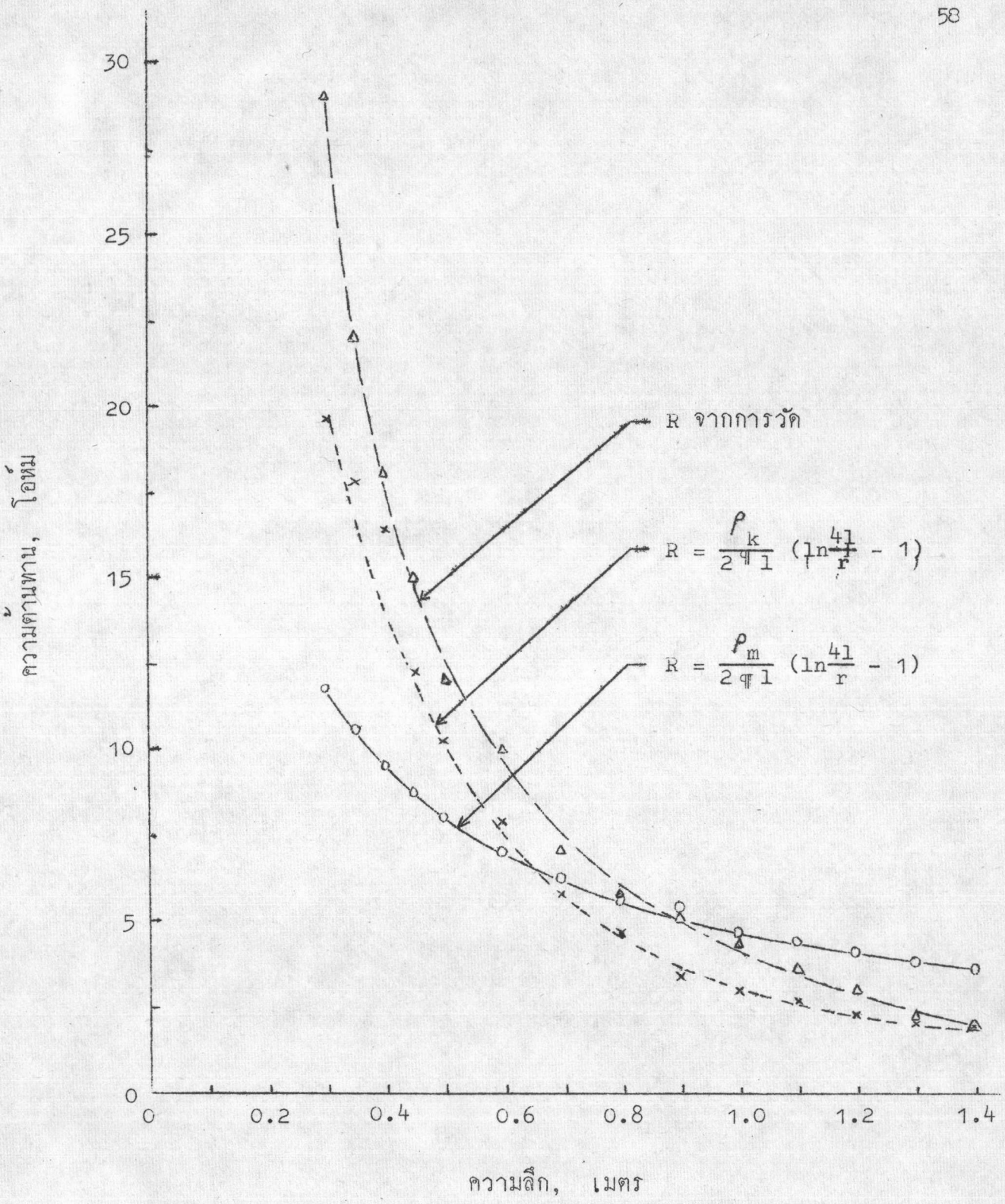
ตารางที่ 13 ความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณสนามฟุตบอล สวนลุมพินีสถาน

a ม.	R' Ω	ρ_k Ω – ม.	ρ_m Ω – ม.	หมายเหตุ
0.3	2.9	10.062	–	1. ข้อมูลนี้ทดลองเมื่อ 4 มี.ค.21 13–15.45 น.
0.35	2.6	10.186	–	
0.4	2.4	10.379	–	2. ปัก auxiliary electrode ลึก : b เทากับ 0.43 ม.
0.45	1.8	8.452	–	
0.5	1.54	7.759	–	3. คา ρ คำนวณตามสมการ (4)
0.6	1.2	6.795	–	4. นำคา ρ_k และ ρ_m ไปใช้ในตารางที่ 14
0.7	0.9	5.613	–	
0.8	0.74	5.022	–	
0.9	0.54	3.956	–	
1.0	0.48	3.775	–	
1.1	0.42	3.531	–	
1.2	0.38	3.402	–	
1.3	0.34	3.232	–	
1.4	0.32	3.220	–	
16	0.06		6.039	

6.12 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินที่คำนวณตามสูตรกับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามฟุตบอล สวนลุมพินีสถาน

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี ที่คำนวณตามสูตรกับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามฟุตบอล สวนลุมพินีสถาน

l	ρ_k	ρ_m	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\frac{2l}{r}$ Ω ตามสมการ (19)		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{r} - 1\right)$ Ω ตามสมการ (5)		R จากการวัด	หมายเหตุ
ม.	Ω – ม.	Ω – ม.	$\rho = \rho_k$	$\rho = \rho_m$	$\rho = \rho_k$	$\rho = \rho_m$	Ω	
0.3	10.062	6.039	21.293	12.779	19.655	11.796	29	1. ρ_k, ρ_m ตามตารางที่ 13
0.35	10.186		19.190	11.377	17.768	10.534	22	
0.4	10.379		17.661	10.276	16.394	9.538	18	2. r แบบชุบเท่ากับ 0.011 ม. $(\frac{7"}{16})$
0.45	8.452		13.136	9.386	12.219	8.730	15	
0.5	7.759		11.113	8.650	10.355	8.060	12	
0.6	6.795		8.439	7.500	7.886	7.008	10	3. R จากการวัดตามตารางที่ 12
0.7	5.613		6.172	6.640	5.780	6.219	7	
0.8	5.022		4.965	5.971	4.659	5.602	5.7	
0.9	3.956		3.559	5.433	3.344	5.105	5.1	
1.0	3.775		3.120	4.991	2.936	4.696	4.3	
1.1	3.531		2.702	4.620	2.545	4.352	3.6	
1.2	3.402		2.425	4.305	2.287	4.059	2.9	
1.3	3.232		2.158	4.033	2.037	3.806	2.3	
1.4	3.220		2.024	3.796	1.912	3.585	1.9	



รูปที่ 28 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีที่คำนวณตามสูตรกับที่ได้จากการวัด ตามตารางที่ 14

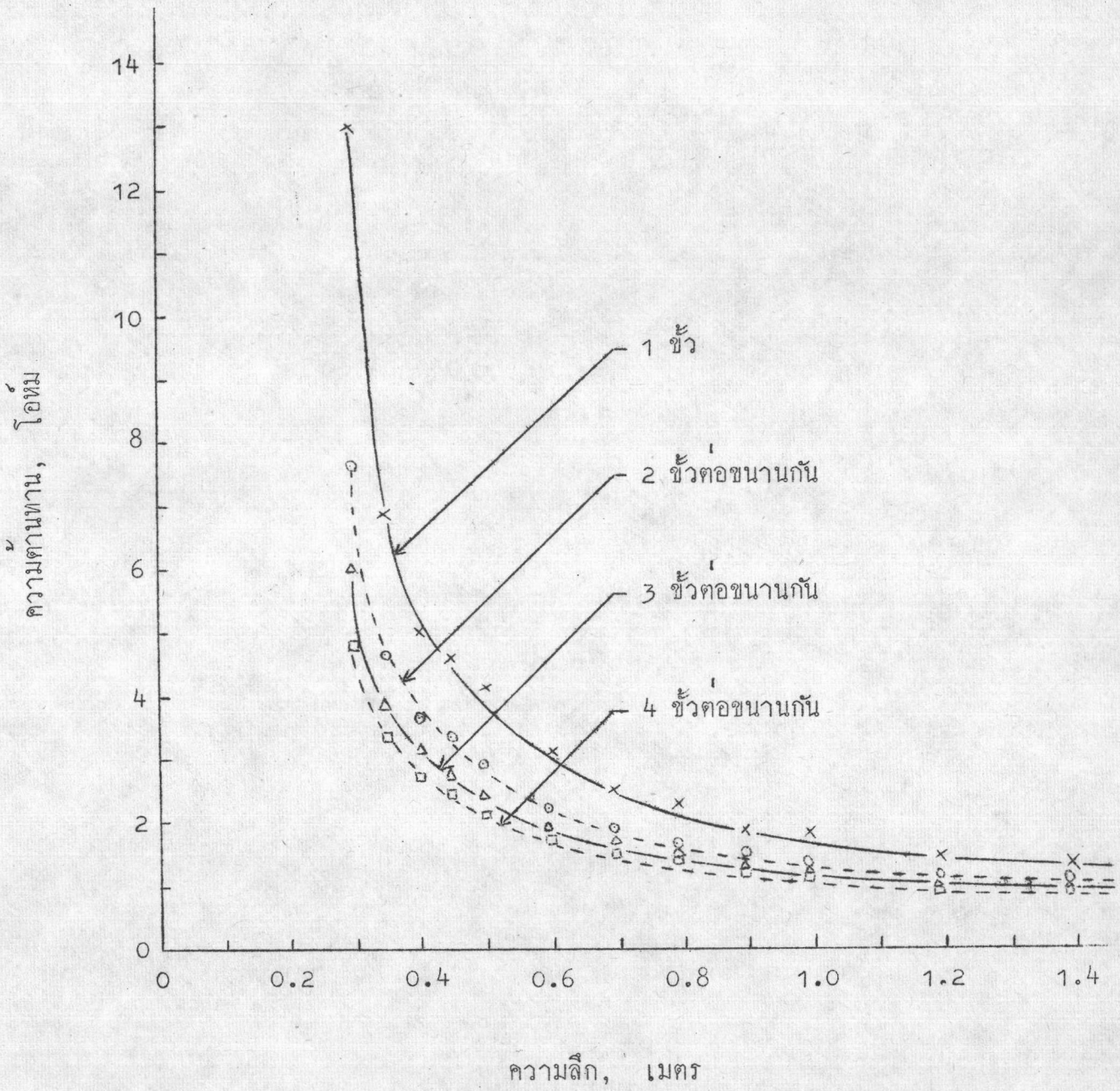
6.13 การวัดความต้านทานของขั้วดินหลายขั้วต่อขนานกัน บริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

ตารางที่ 15 ความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีหลายขั้วต่อขนานกัน บริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

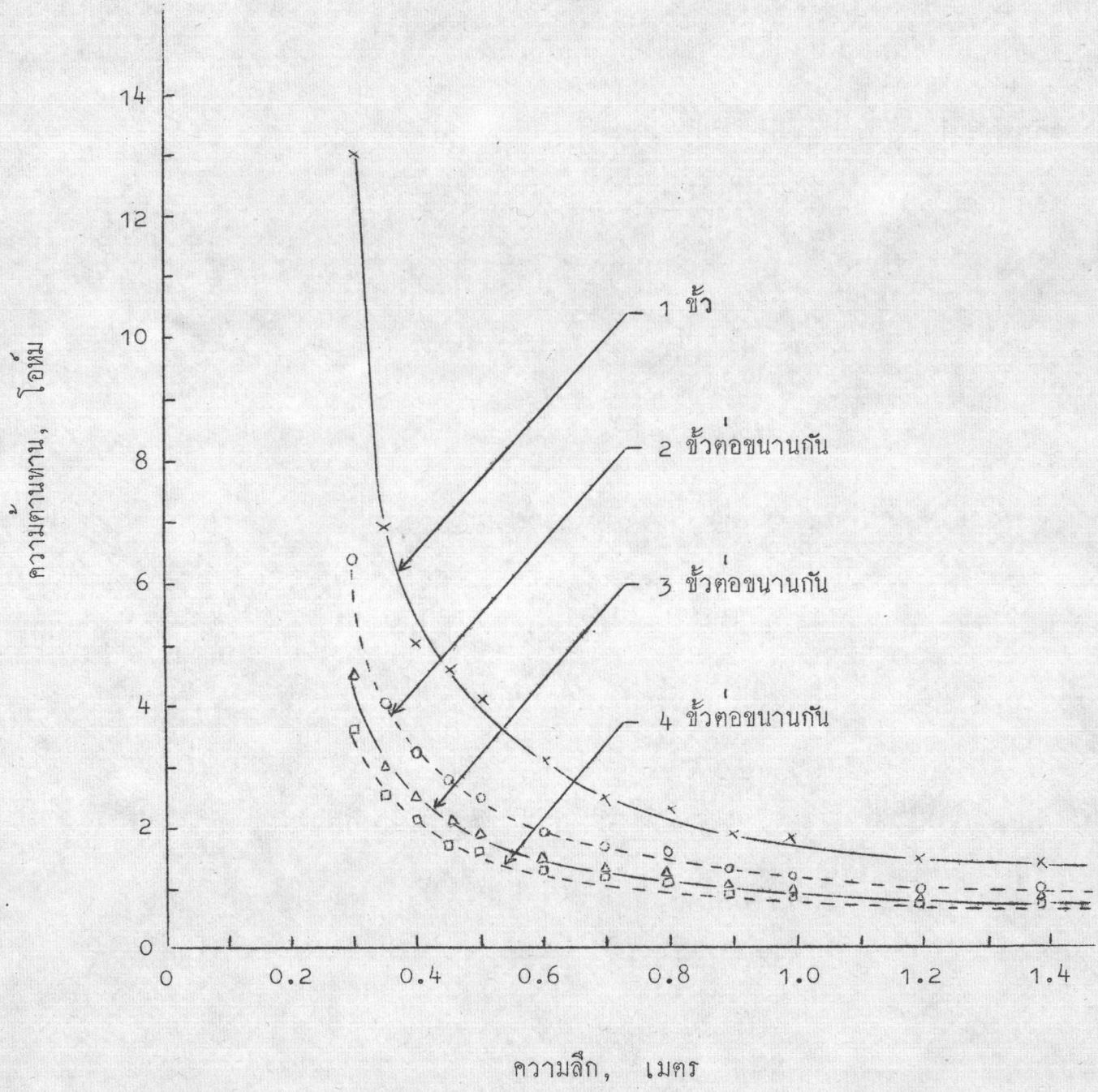
p ม.	l ม.	R, Ω				หมายเหตุ
		แบบชุบ 1 ขั้ว	2 ขั้ว//	3 ขั้ว//	4 ขั้ว//	
0.1	0.3	13	7.6	6	4.8	1. r แบบชุบ = 0.011 ม. $\left(\frac{7"}{16}\right)$
	0.35	6.9	4.6	3.8	3.3	
	0.4	5.0	3.6	3.1	2.7	
	0.45	4.6	3.3	2.7	2.4	2. ข้อมูลนี้ทดลองเมื่อ 28 ม.ค.21 9.20 – 15.40 น.
	0.5	4.1	2.9	2.4	2.1	
	0.6	3.1	2.2	1.9	1.7	
	0.7	2.5	1.9	1.7	1.5	3. นำข้อมูลนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 16
	0.8	2.3	1.7	1.5	1.4	
	0.9	1.9	1.44	1.26	1.18	
	1.0	1.84	1.36	1.2	1.12	
	1.2	1.46	1.12	1	0.96	
	1.4	1.4	1.04	0.92	0.9	
0.4	0.3		6.4	4.5	3.6	
	0.35		4	3	2.5	
	0.4		3.2	2.5	2.1	
	0.45		2.8	2.1	1.7	
	0.5		2.5	1.9	1.6	
	0.6		1.9	1.5	1.3	
	0.7		1.7	1.3	1.2	
	0.8		1.6	1.2	1.1	
	0.9		1.28	1.02	0.88	
	1.0		1.2	0.98	0.84	
	1.2		0.96	0.8	0.72	
	1.4		0.92	0.78	0.68	

ตารางที่ 15 (ต่อ)

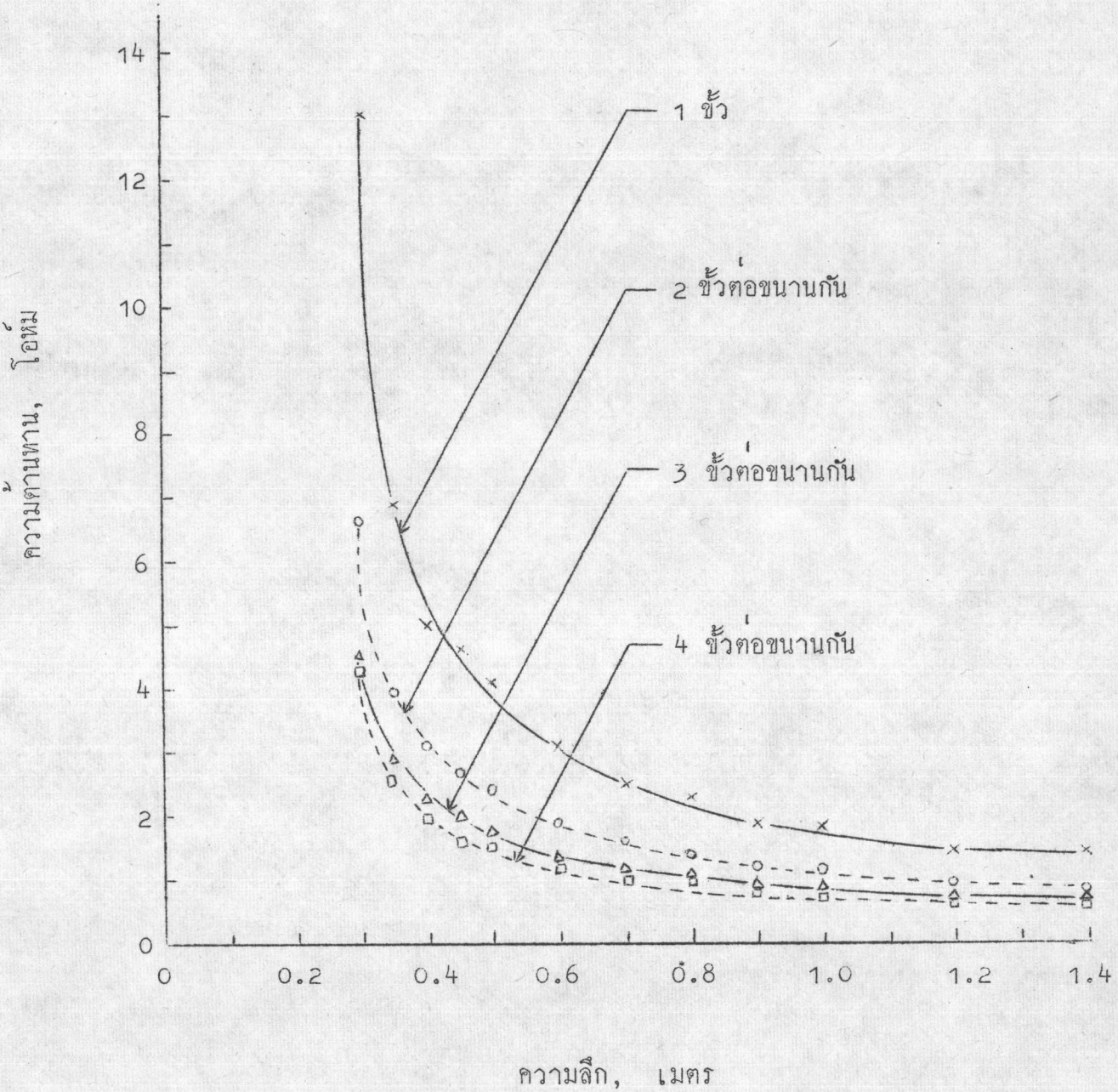
p ม.	l ม.	R, Ω				หมายเหตุ
		แบบชุบ 1 ชั้ว	2 ชั้ว //	3 ชั้ว //	4 ชั้ว //	
1.0	0.3		6.6	4.5	4.3	
	0.35		3.9	2.9	2.6	
	0.4		3.1	2.3	2	
	0.45		2.7	2	1.6	
	0.5		2.4	1.8	1.5	
	0.6		1.9	1.4	1.2	
	0.7		1.6	1.2	1	
	0.8		1.4	1.1	0.95	
	0.9		1.2	0.9	0.78	
	1.0		1.12	0.86	0.72	
	1.2		0.98	0.74	0.62	
	1.4		0.84	0.68	0.58	



รูปที่ 29 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีหลายขั้วต่อขนานกัน (ระยะห่าง 0.1 ม.) กับของขั้วเดียว ตามตารางที่ 15



รูปที่ 30 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีหลายขั้วต่อขนานกัน (ระยะห่าง 0.4 ม.) กับของขั้วเดียว ตามตารางที่ 15



รูปที่ 31 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีหลายขั้ว-ต่อขนานกัน (ระยะห่าง 1 ม.) กับของขั้วเดียว ตามตารางที่ 15

6.14 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินหลายขั้วต่อขนานกัน ที่คำนวณตามสูตรกับที่ได้จากการวัดบริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสี หลายขั้วต่อขนานกันที่คำนวณตามสูตรกับที่ได้จากการวัด บริเวณสนามใหญ่ จุฬาฯ ด้านตึกเคมี 1

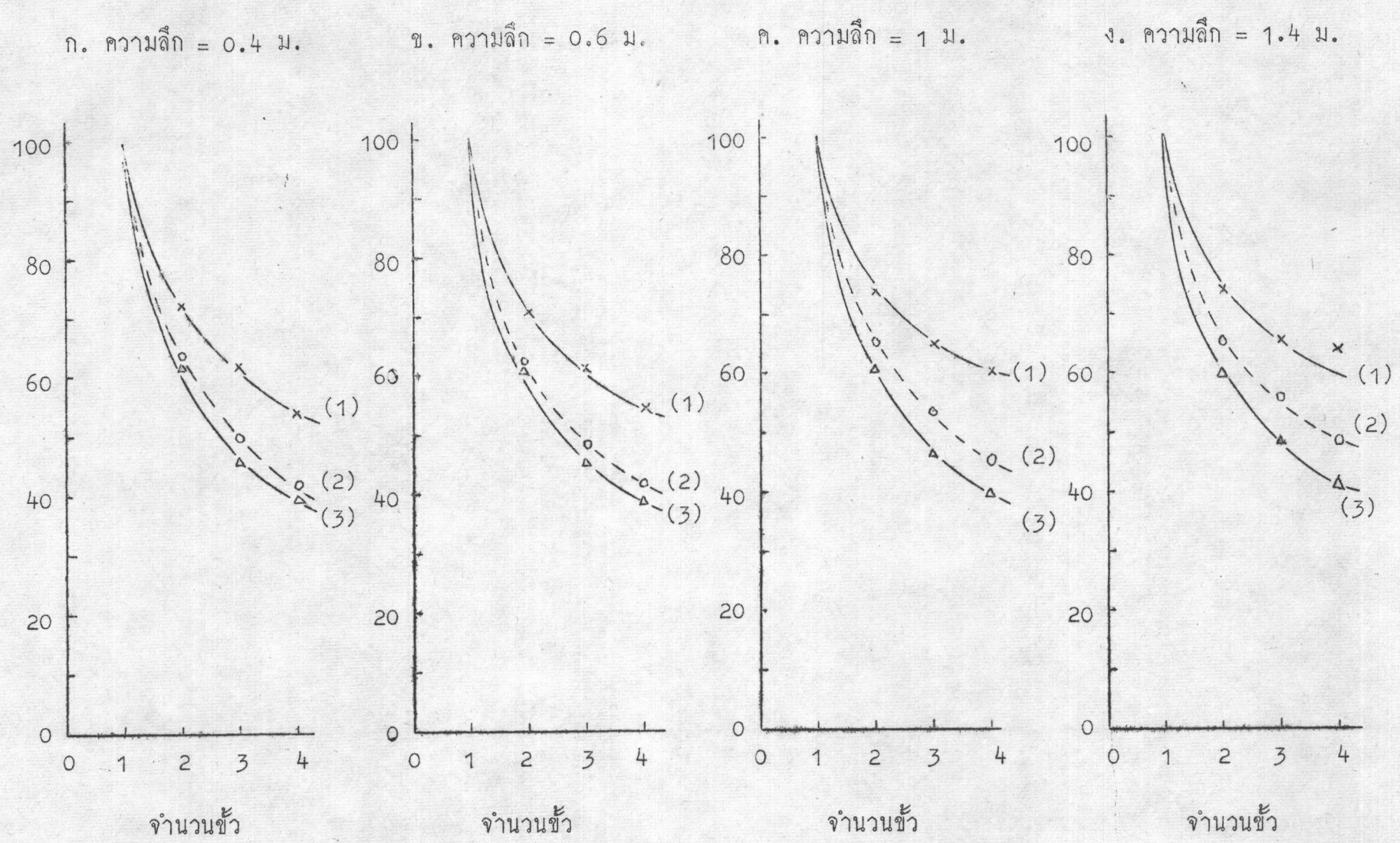
p ม.	l ม.	จำนวนขั้วดินที่ขนานกัน	$\beta=\tan^{-1}\frac{p}{l}$ องศา	ρ_k Ω – ม.	ρ_m Ω – ม.	R ตามสมการ (24) Ω $\rho=\rho_k$	R ตามสมการ (24) Ω $\rho=\rho_m$	R จากการวัด Ω	R จากการวัด %	หมายเหตุ
0.1	0.4	1	–	2.335	4.026	3.973	6.850	5	100	1. ρ_k, ρ_m ตามตารางที่ 4
		2	14.036			2.960	5.103	3.6	72	2. r แบบชุบ = 0.011 ม.$\left(\frac{7^{m}}{16}\right)$
		3	14.036			2.622	4.520	3.1	62	
		4	19.471			2.376	4.096	2.7	54	3. R จากการวัด ตามตารางที่ 15
	0.6	1	–	2.152		2.673	5.000	3.1	100	
		2	9.462			2.048	3.830	2.2	70.97	
		3	9.462			1.839	3.441	1.9	61.29	
		4	13.263			1.686	3.155	1.7	54.84	
	1.0	1	–	2.36		1.950	3.327	1.84	100	
		2	5.710			1.538	2.624	1.36	73.91	
		3	5.710			1.401	2.390	1.2	65.22	
		4	8.049			1.300	2.218	1.12	60.87	
	1.4	1	–	2.616		1.644	2.531	1.4	100	
		2	4.086			1.318	2.028	1.04	74.28	
		3	4.086			1.209	1.861	0.92	65.71	
		4	5.768			1.129	1.737	0.9	64.28	

ตารางที่ 16 (ต่อ)

p ม.	l ม.	จำนวนขั้วกินที่ ขนานกัน	$\beta=\tan^{-1}\frac{p}{l}$ องศา	ρ_k Ω – ม.	ρ_m Ω – ม.	R ตามสมการ (24) Ω $\rho=\rho_k$	R ตามสมการ (24) Ω $\rho=\rho_m$	R จากการวัด Ω	R จากการวัด %	หมายเหตุ
0.4	0.4	1	–	2.335	4.026	3.973	6.850	5	100	
		2	45			2.396	4.131	3.2	64	
		3	45			1.870	3.225	2.5	50	
		4	54.736			1.556	2.682	2.1	42	
	0.6	1	–	2.152		2.673	5.000	3.1	100	
		2	33.69			1.677	3.138	1.9	61.29	
		3	33.69			1.346	2.517	1.5	48.39	
		4	43.314			1.141	2.134	1.3	41.94	
	1.0	1	–	2.36		1.95	3.327	1.84	100	
		2	21.80			1.284	2.191	1.2	65.22	
		3	21.80			1.063	1.813	0.98	53.26	
		4	29.496			0.922	1.573	0.84	45.65	
	1.4	1	–	2.616		1.644	2.531	1.4	100	
		2	15.945			1.114	1.715	0.92	65.71	
		3	15.945			0.938	1.443	0.78	55.71	
		4	22.002			0.825	1.270	0.68	48.57	

ตารางที่ 16 (ต่อ)

p ม.	l ม.	จำนวนขั้วดินที่ขนานกัน	$B=\tan^{-1}\frac{p}{l}$ องศา	ρ_k Ω – ม.	ρ_m Ω – ม.	R ตามสมการ (24) Ω $\rho=\rho_k$	R ตามสมการ (24) Ω $\rho=\rho_m$	R จากการวัด Ω	R จากการวัด %	หมายเหตุ
1.0	0.4	1	–	2.335	4.026	3.973	6.850	5	100	
		2	68.198			2.168	3.738	3.1	62	
		3	68.198			1.566	2.700	2.3	46	
		4	74.207			1.239	2.137	2	40	
	0.6	1	–	2.152		2.673	5.000	3.1	100	
		2	59.036			1.499	2.804	1.9	61.29	
		3	59.036			1.107	2.072	1.4	45.16	
		4	67.010			0.889	1.664	1.2	38.71	
	1.0	1	–	2.36		1.95	3.327	1.84	100	
		2	45			1.141	1.946	1.12	60.87	
		3	45			0.871	1.486	0.86	46.74	
		4	54.736			0.715	2.220	0.72	39.13	
	1.4	1	–	2.616		1.644	2.531	1.4	100	
		2	35.538			0.991	1.526	0.84	60	
		3	35.538			0.774	1.191	0.68	48.57	
		4	45.289			0.645	0.993	0.58	41.43	



รูปที่ 32 การเปรียบเทียบความต้านทานของขั้วดินแบบท่อเหล็กชุบสังกะสีหลายขั้วต่อขนานกันกับของขั้วเดียวที่ได้จากการวัด ตามตารางที่ 16