



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 แบบจำลอง

จากการดำเนินการทดลอง โดยการแปรค่ากระแสอยู่ในช่วง 9.85 A ถึง 30.5 A และค่าระยะพัลส์ 50-1000 μ s ใช้เหล็กกล้า AISI 4140 เป็นชิ้นงาน และใช้ทองแดงและอลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด ตามแบบแผนการทดลอง ซึ่งมีจำนวนการทดลอง 50 การทดลอง ดังวิธีการและขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 เพื่อเก็บค่าที่ได้จากการทดลอง 4 ค่าคือ

- อัตราการกัดเนื้อโลหะ
- อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด
- ความหนาของผิวงาน
- ระยะดิสชาร์จ

ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1-4.8 และสามารถเขียนเป็นกราฟได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.8

จากผลการทดลอง เมื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอย โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SYSTAT ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก สามารถเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทน อีดีเอ็ม โดยสมการโพลีโนเมียลอันดับที่สอง ได้คือ

เมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด

$$\begin{aligned}m_w &= -300.283 + 0.378t_i + 47.108I - 0.001t_i^2 \\ &\quad - 0.041I^2 + 0.006t_i \cdot I \\ e_w &= 29.755 - 0.399t_i + 6.091I + 0.001t_i^2 \\ &\quad + 0.322I^2 - 0.019t_i \cdot I\end{aligned}$$

$$Ra = 3.096 + 0.002t_i + 0.091I$$

$$\text{gap} = 28.649 + 0.407t_i - 2.589 I + 0.196 I^2 \\ + 0.004t_i \cdot I$$

เมื่อใช้ลู่มีเนียมเป็นอิเล็กทรอนิกส์

$$m_w = -210.922 + 0.659t_i + 11.746I - 0.001t_i^2 \\ + 0.379 I^2 + 0.004 \cdot t_i \cdot I$$

$$e_w = -14.181 + 2.279I + 0.020I^2 - 0.001t_i \cdot I$$

$$Ra = 3.415 + 0.002t_i + 0.069I$$

$$\text{gap} = 0.327 + 4.441t_i + 0.022I^2 + 0.004t_i \cdot I$$

4.2 การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม

จากแบบจำลองของอีดีเอ็มที่สร้างขึ้น จะนำมาพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสม ภายใต้ฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไขขอบข่าย

ฟังก์ชันเป้าหมาย พิจารณาเป็น 2 กรณีคือ

1. การให้อัตราการกัดสูงสุด

2. การให้อัตราส่วนระหว่าง อัตราการกัดและอัตราการสึกหรอ
ของอิเล็กทรอนิกส์สูงสุด

เมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กทรอนิกส์

Objective function

$$\text{Max. } m_w = -300.283 + 0.378t_i + 47.108I \\ - 0.001t_i^2 - 0.041I^2 + 0.006t_i \cdot I$$

$$\begin{aligned} \text{Max } m_w/e_w = & (-300.283 + 0.378t_i + 47.108I \\ & - 0.001 t_i^2 - 0.041I^2 + 0.006t_i \cdot I) / \\ & (29.755 - 0.399t_i + 0.091I \\ & + 0.001t_i^2 + 0.322I^2 - 0.019t_i \cdot I) \end{aligned}$$

เมื่อใช้ลুমินีเยียมเป็นอิเล็กโตรด

Objective function

$$\begin{aligned} \text{Max } m_w = & -210.922 + 0.659t_i + 11.746I \\ & - 0.001t_i^2 + 0.379I^2 + 0.004t_i \cdot I \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Max } m_w/e_w = & (-210.922 + 0.659t_i + 11.746I \\ & - 0.001t_i^2 + 0.379I^2 + 0.004t_i \cdot I) / \\ & (-14.181 + 2.279I + 0.020I^2 \\ & - 0.001t_i \cdot I) \end{aligned}$$

เงื่อนไขขอบข่าย

1. ข้อจำกัดของเครื่องจักร

$$50 \leq t_i \leq 1000 \quad \mu\text{s}$$

$$9.5 \leq I \leq 30.5 \quad \text{A}$$

2. ข้อกำหนดของงาน

$$R_a \leq \text{ค่าที่กำหนด}$$

เมื่อ R_a คือความหยาบของผิวงานซึ่งกำหนดให้แปรค่าตัวตั้งแต่ $4.5 \mu\text{m}$ ถึง $7.5 \mu\text{m}$ ทำการแปรค่าครั้งละ $0.25 \mu\text{m}$

เมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโตรด

$$3.096 + 0.002t_i + 0.091I \leq R_a$$

เมื่อใช้ลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด

$$3.415 + 0.002t_i + 0.069I \leq R_a$$

จากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยทำการแปรค่าระยะพัลส์ครั้งละ 10 μ s และกระแสครั้งละ 0.1 A จะได้ผลลัพธ์ที่ให้สภาวะเหมาะสมของแบบจำลอง ดังที่แสดงในตารางที่ 4.9-4.12

ตารางที่ 4.1 อัตราการกัดเนื้อโลหะเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโตรด (mg/min.)

กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μ s)				
	50	100	200	500	1000
9.85	142.06	236.21	226.34	142.47	55.57
14.8	392.10	478.58	524.73	373.86	251.48
20.2	577.78	650.67	928.30	730.04	505.77
24.7	775.47	869.78	1003.00	878.65	747.95
30.5	1016.43	1213.92	1244.94	1238.15	1068.45

ตารางที่ 4.2 อัตราการกัดเนื้อโลหะเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นอิเล็กโตรด (mg/min.)

กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μ s)				
	50	100	200	500	1000
9.85	9.83	14.27	61.91	137.82	88.71
14.8	43.08	90.07	146.75	257.47	254.20
20.2	239.67	269.15	340.18	387.24	397.91
24.7	312.74	423.77	460.05	491.49	519.08
30.5	479.64	581.02	636.36	835.17	701.53

ตารางที่ 4.3 อัตราการสีกหระของอีเล็คโตรดเมื่อใช้ทองแดง
เป็นอีเล็คโตรด (mg/min.)

กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μs)				
	50	100	200	500	1000
9.85	79.25	46.37	35.61	13.71	5.84
14.8	129.23	116.40	81.39	19.09	9.09
20.2	273.52	211.95	109.66	34.96	11.76
24.7	387.47	281.40	163.19	57.93	23.84
30.5	505.64	473.09	263.75	117.95	60.68

ตารางที่ 4.4 อัตราการสีกหระของอีเล็คโตรดเมื่อใช้อลูมิเนียม
เป็นอีเล็คโตรด (mg/min.)

กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μs)				
	50	100	200	500	1000
9.85	13.03	5.95	8.27	6.24	2.41
14.8	22.45	20.88	19.12	17.03	8.14
20.2	41.14	44.33	41.43	28.71	20.44
24.7	50.41	56.85	55.80	42.50	29.93
30.5	67.59	69.77	73.00	61.53	51.04

ตารางที่ 4.5 ความหยาบของผิวงานเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโตรด (R_a , μm)

กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μs)				
	50	100	200	500	1000
9.85	3.90	4.30	4.40	4.45	4.70
14.8	4.35	4.70	4.85	4.90	5.00
20.2	4.75	5.30	5.45	5.60	5.65
24.7	5.00	5.50	5.70	5.70	6.00
30.5	5.70	6.10	6.20	6.35	6.50

ตารางที่ 4.6 ความหยาบของผิวงานเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นอิเล็กโตรด (R_a , μm)

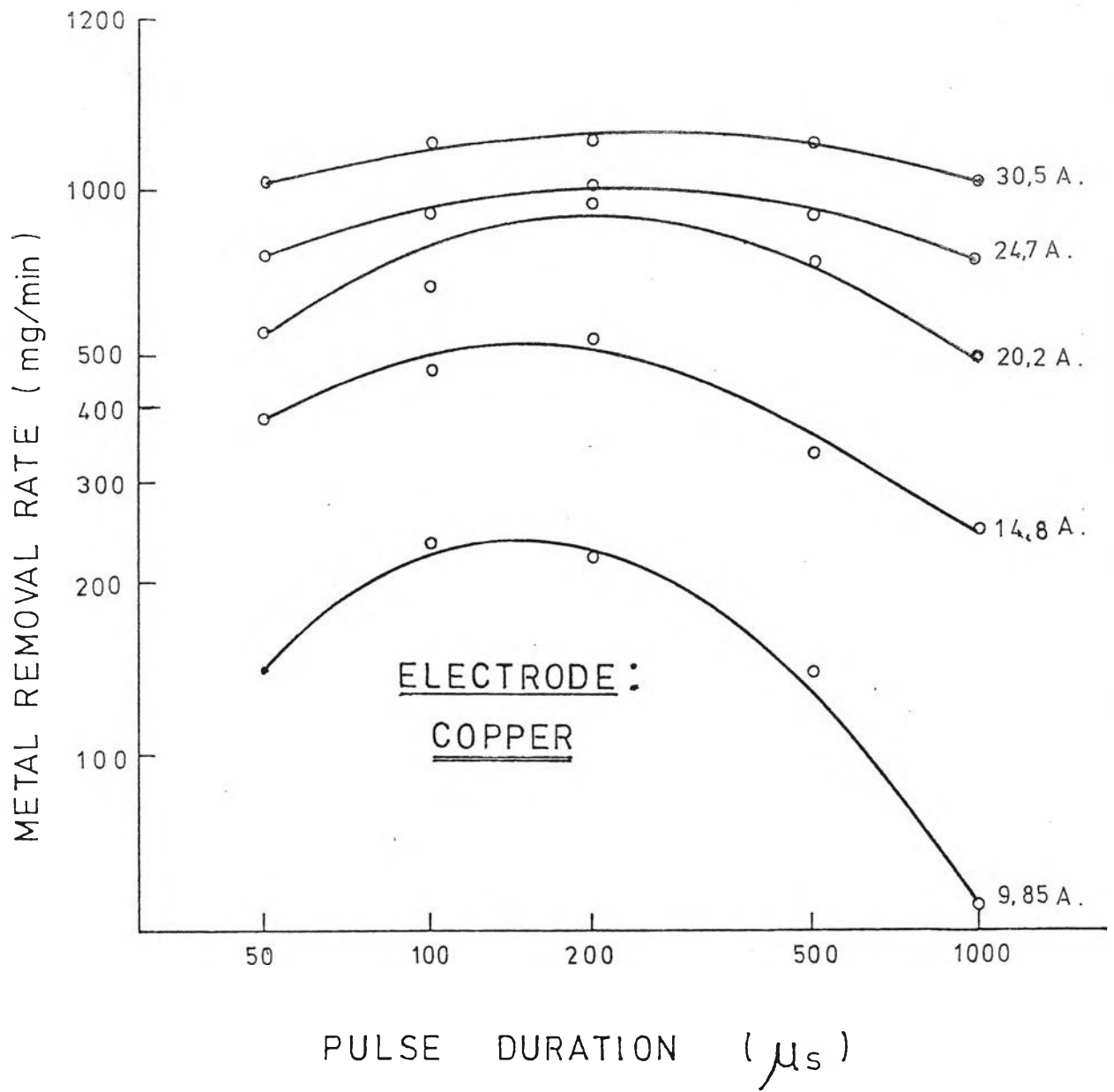
กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μs)				
	50	100	200	500	1000
9.85	4.25	4.45	4.60	4.85	5.00
14.8	4.40	4.70	5.00	5.20	5.30
20.2	4.80	5.30	5.60	5.80	6.00
24.7	5.10	5.40	5.75	6.00	6.15
30.5	5.60	6.10	6.30	6.45	6.65

ตารางที่ 4.7 ระยะดิสชาร์จเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด (μm)

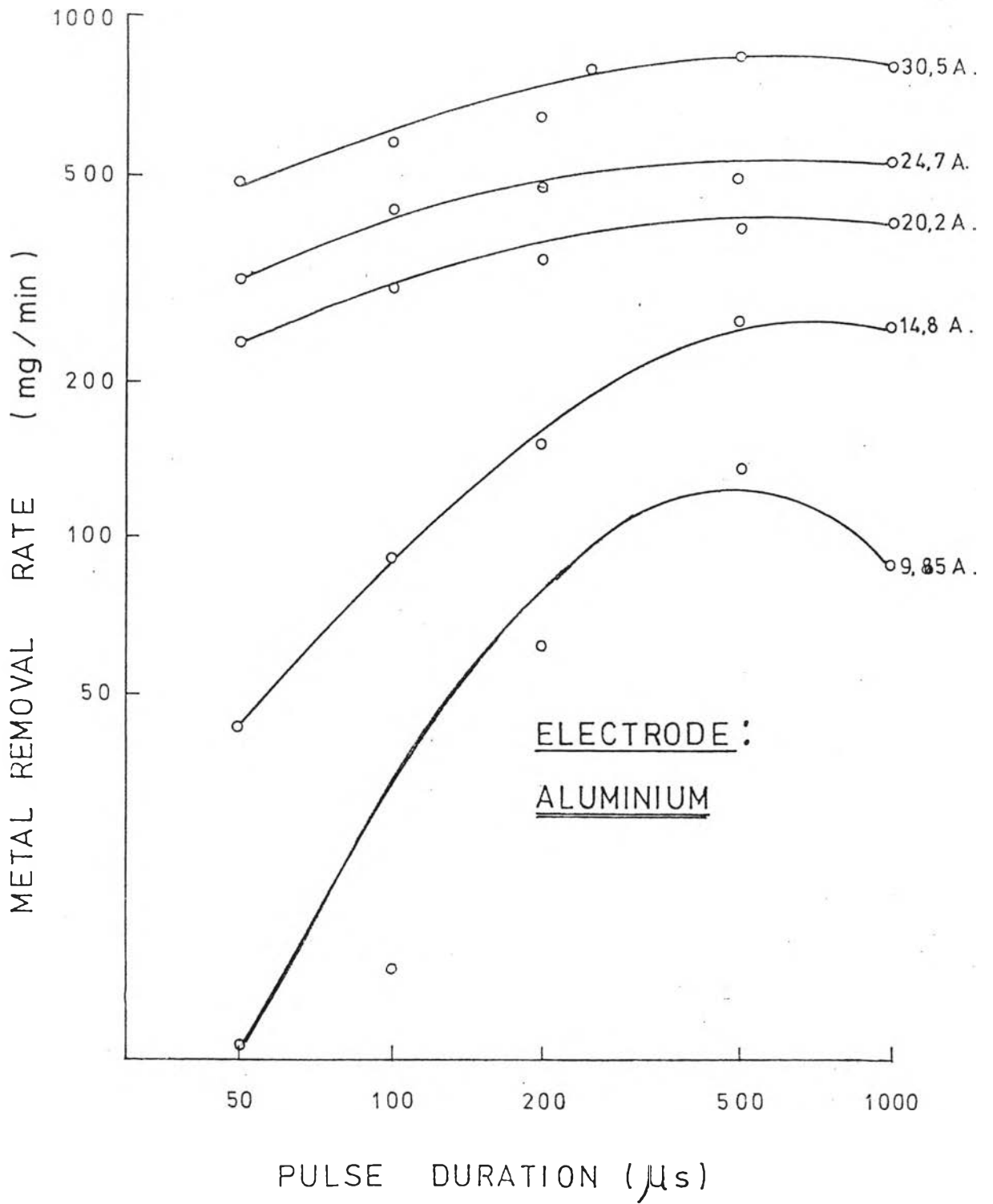
กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μs)				
	50	100	200	500	1000
9.85	45	70	105	150	180
14.8	55	85	120	190	205
20.2	65	100	160	215	265
24.7	90	120	185	240	310
30.5	130	200	250	330	340

ตารางที่ 4.8 ระยะดิสชาร์จเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด (μm)

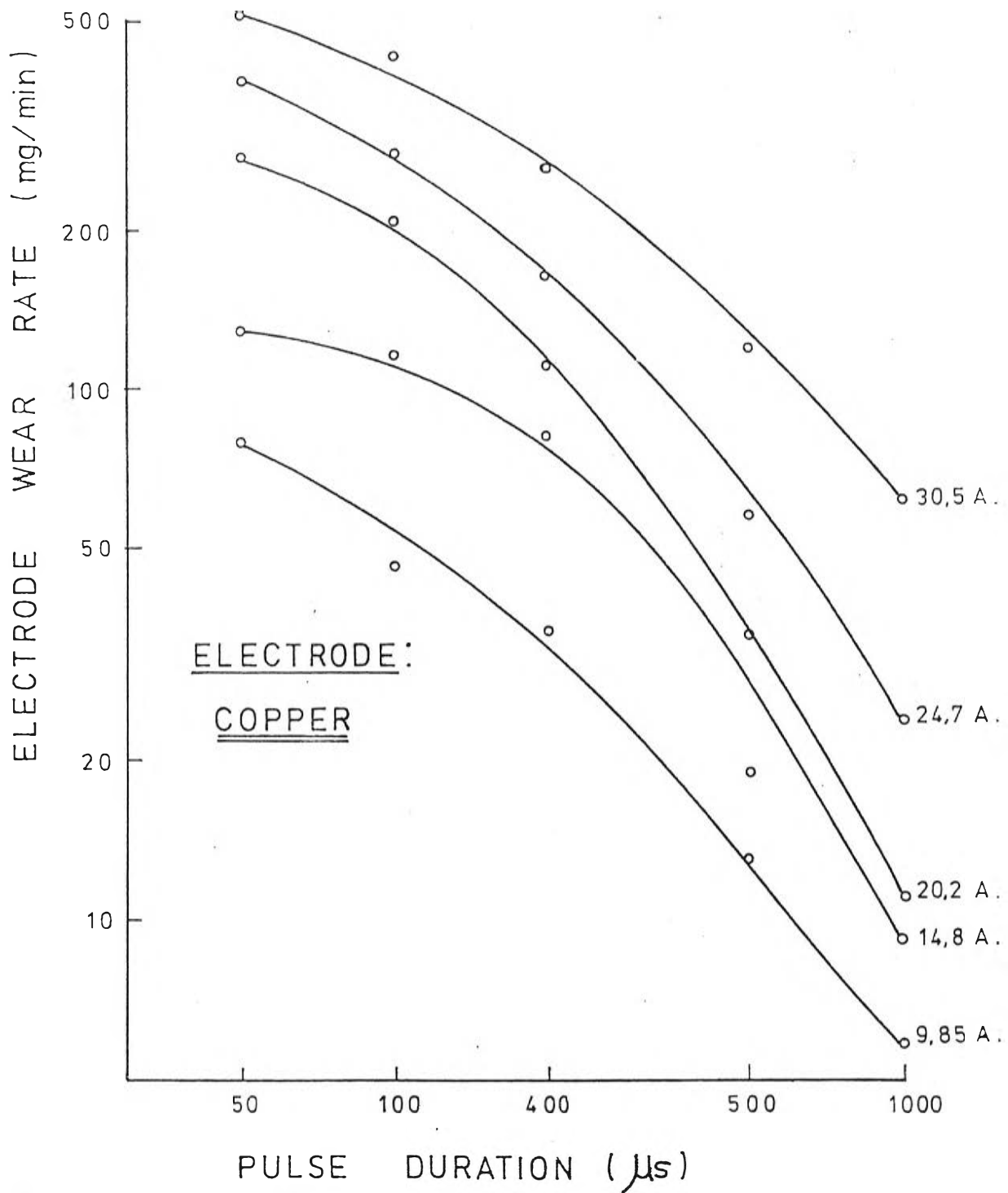
กระแส (A)	ระยะพัลส์ (μs)				
	50	100	200	500	1000
9.85	60	100	125	150	170
14.8	70	120	140	190	220
20.2	85	150	180	210	270
24.7	120	180	230	280	315
30.5	150	205	265	310	345



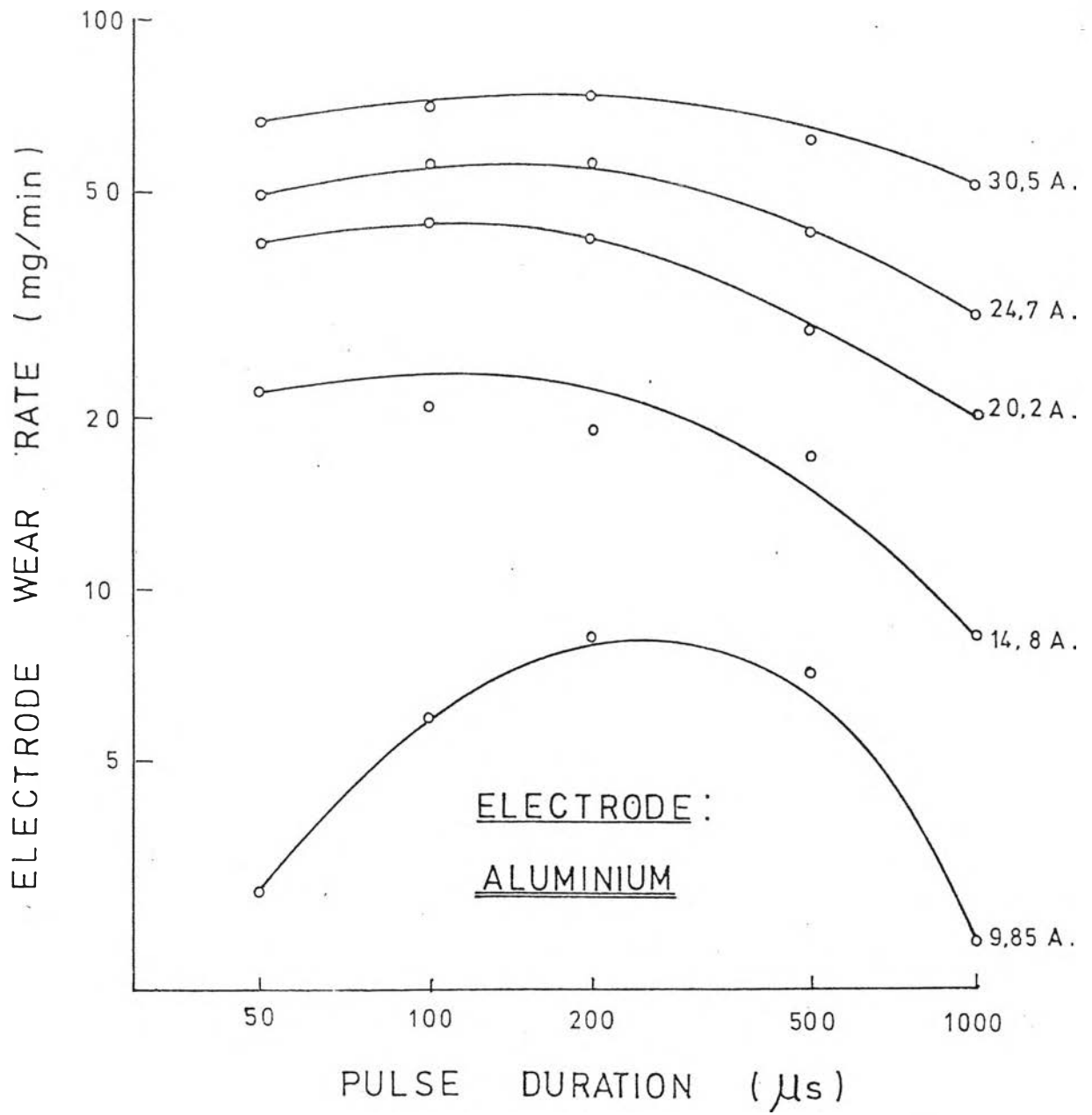
รูปที่ 4.1 อัตราการกัดเนื้อโลหะเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด



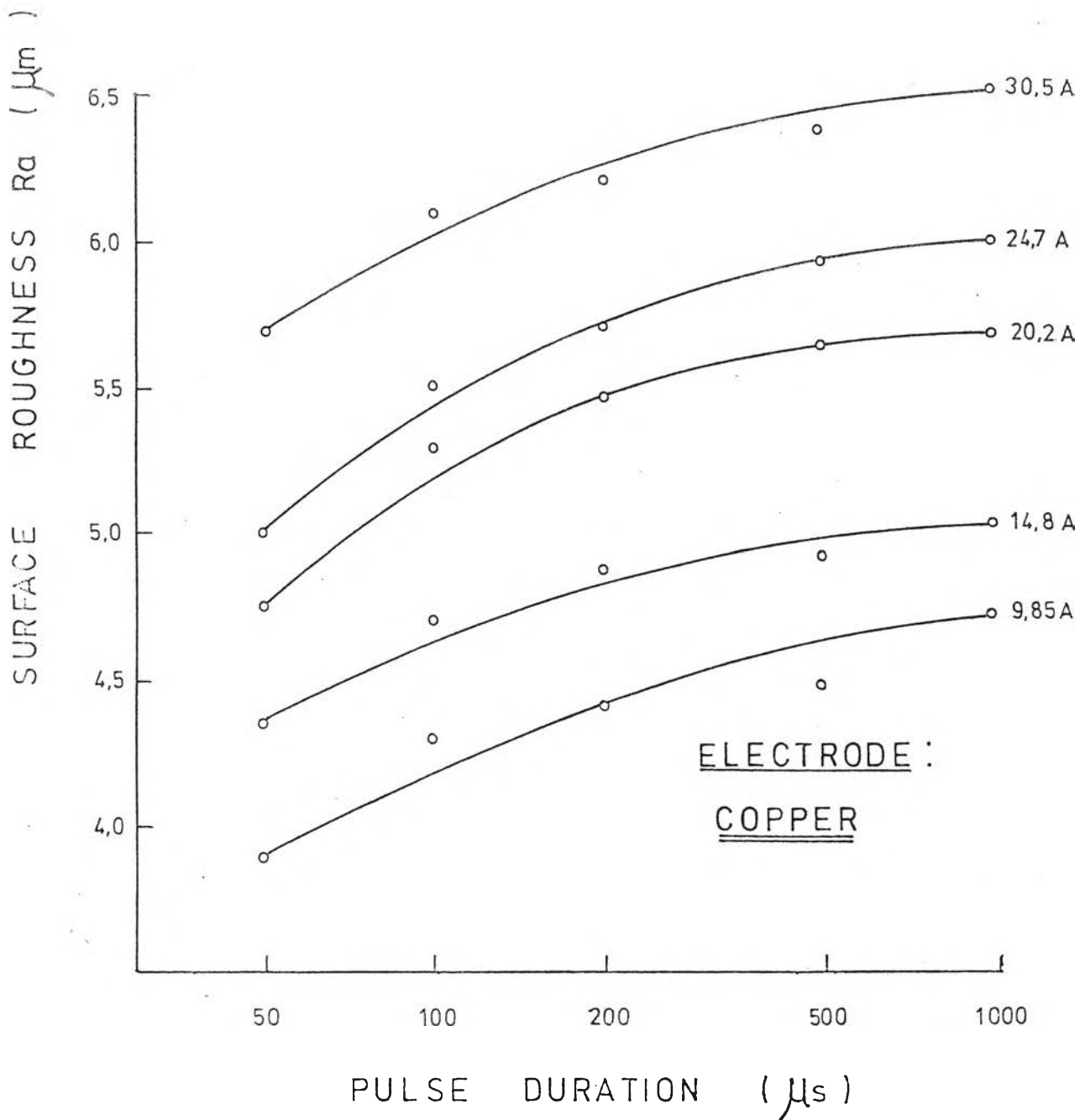
รูปที่ 4.2 อัตราการกัดเนื้อโลหะเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด



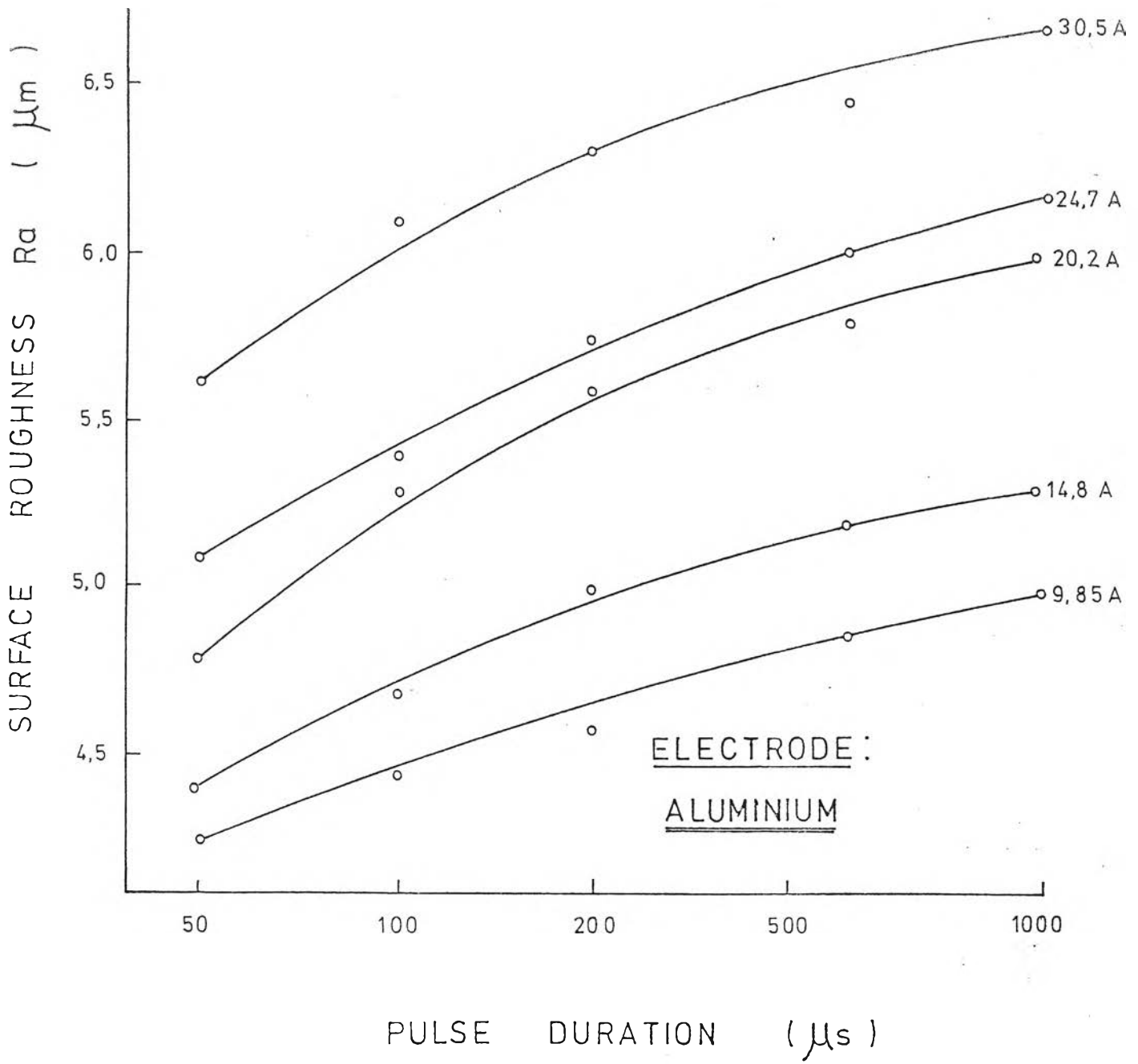
รูปที่ 4.3 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด



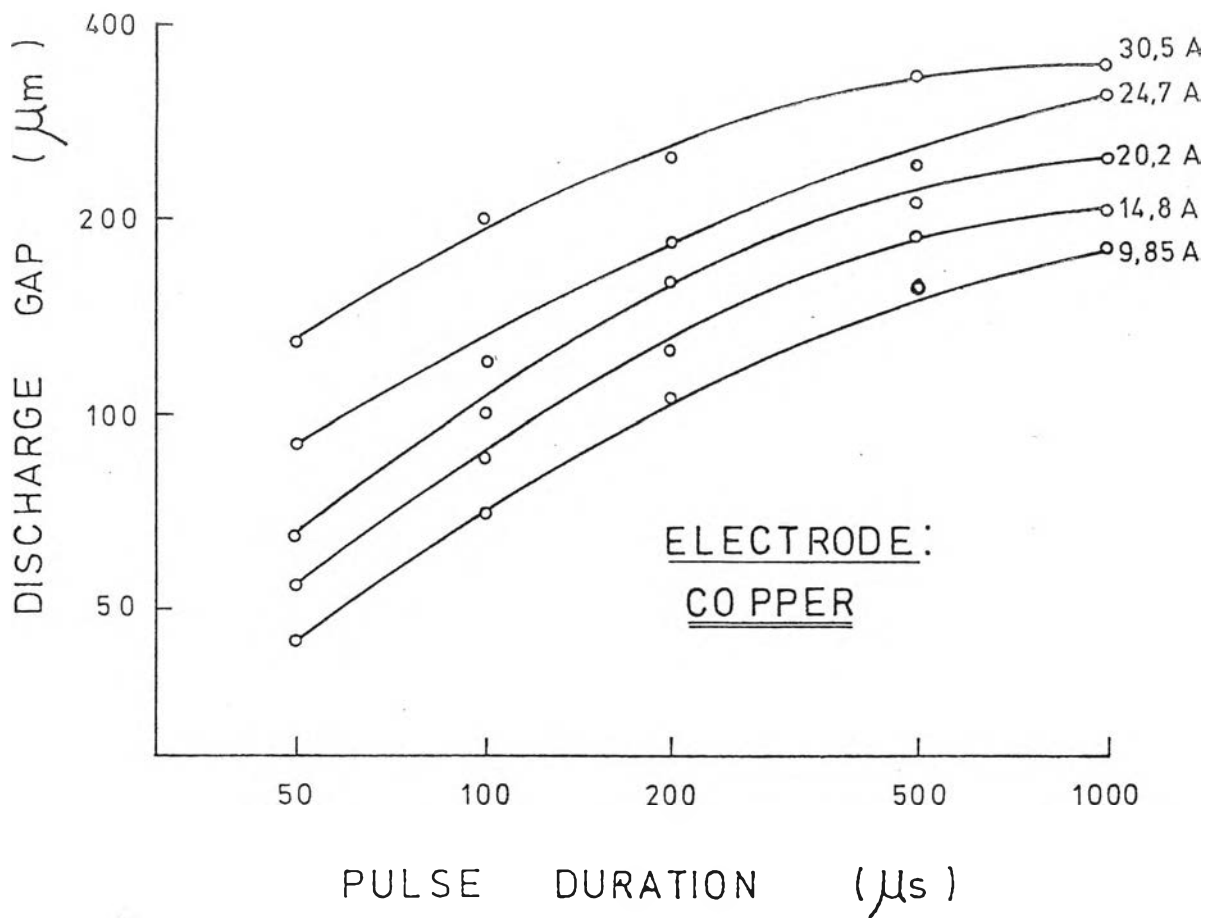
รูปที่ 4.4 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเมื่อใช้ลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด



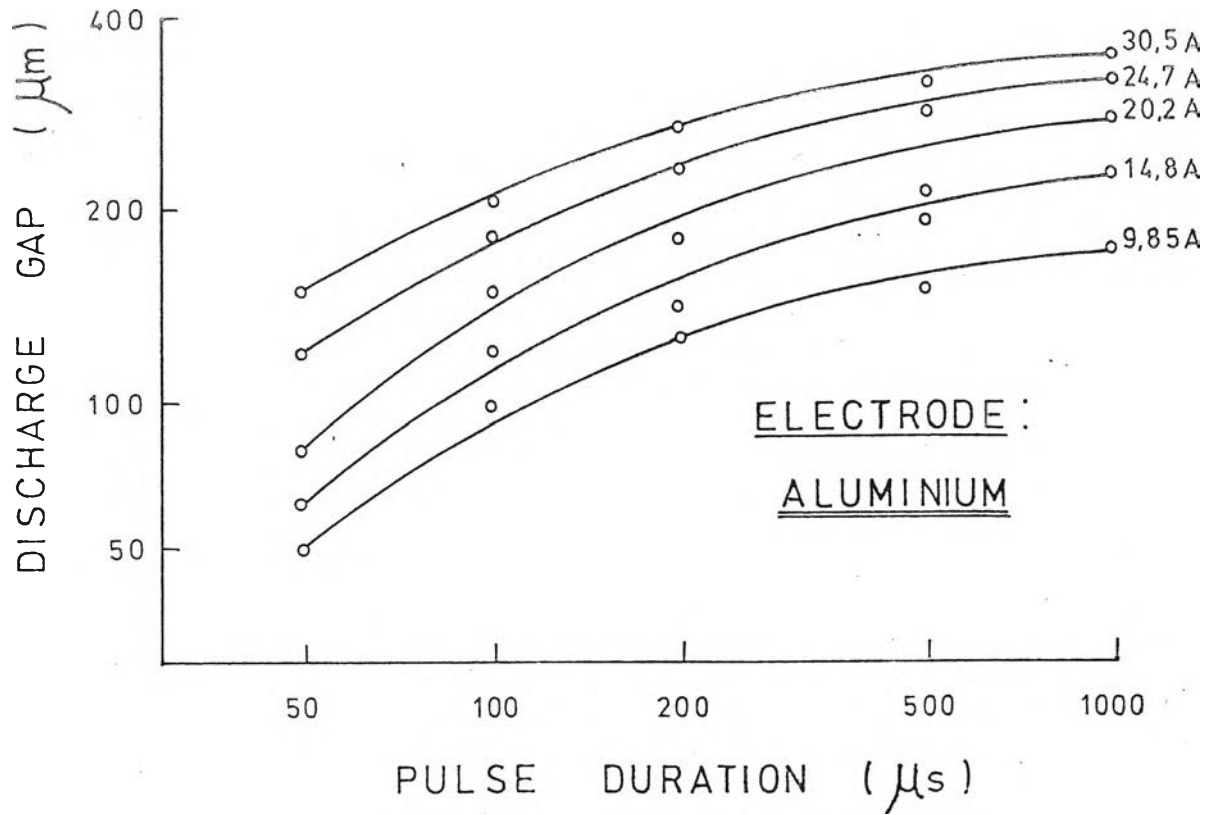
รูปที่ 4.5 ความหยาบของผิวงานเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด



รูปที่ 4.6 ความหยาบของผิวงานเมื่อใช้ลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด



รูปที่ 4.7 ระยะติสชาร์จเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด



รูปที่ 4.8 ระยะดิสชาร์จเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด

ตารางที่ 4.9 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด
และฟังก์ชันเป้าหมายเป็น Max. mw

ความหยาบผิวงาน ที่กำหนด	ผลจากแบบจำลอง			
	ความหยาบผิวงาน	Max. mw	ระยะพัลส์	กระแส
Ra, μm	Ra, μm	mg/min.	μs	A
4.50	4.4973	385.6681	50.00	14.30
4.75	4.7430	510.2053	50.00	17.00
5.00	4.9978	638.7235	50.00	19.80
5.25	5.2435	762.0430	50.00	22.50
5.50	5.4983	889.2984	50.00	25.30
5.75	5.7440	1011.4000	50.00	28.00
6.00	5.9915	1128.4340	60.00	30.50
6.25	6.2315	1166.9540	180.00	30.50
6.50	6.4315	1177.0540	280.00	30.50
6.75	6.4315	1177.0540	280.00	30.50
7.00	6.4315	1177.0540	280.00	30.50
7.25	6.4315	1177.0540	280.00	30.50
7.50	6.4315	1177.0540	280.00	30.50

ตารางที่ 4.10 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ลุมินีเยมเป็นอิเล็กโตรด
และฟังก์ชันเป้าหมายเป็น Max. m_w

ความหยาบผิวงาน ที่กำหนด	ผลจากแบบจำลอง			
	ความหยาบผิวงาน	Max. m_w	ระยะพัลส์	กระแส
	Ra, μm	mg/min.	μs	A
4.50	4.4948	65.5831	50.00	14.20
4.75	4.7494	153.3714	60.00	17.60
5.00	4.9985	251.5610	50.00	21.50
5.25	5.2469	358.1482	50.00	25.10
5.50	5.4953	474.5591	50.00	28.70
5.75	5.7395	573.7085	110.00	30.50
6.00	5.9995	629.7386	240.00	30.50
6.25	6.2395	651.4586	360.00	30.50
6.50	6.2995	652.3886	390.00	30.50
6.75	6.2995	652.3886	390.00	30.50
7.00	6.2995	652.3886	390.00	30.50
7.25	6.2995	652.3886	390.00	30.50
7.50	6.2995	652.3886	390.00	30.50

ตารางที่ 4.11 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด
และฟังก์ชันเป้าหมายเป็น $\text{Max. } m_w/e_w$

ความหนาผิวงาน ที่กำหนด	ผลจากแบบจำลอง			
	ความหนาผิวงาน	$\text{Max. } m_w/e_w$	ระยะพัลส์	กระแส
$R_a, \mu\text{m}$	$R_a, \mu\text{m}$		μs	A
4.50	4.4951	5.4877	240.00	10.10
4.75	4.7425	5.9432	300.00	11.50
5.00	4.7789	5.9499	300.00	11.90
5.25	4.7789	5.9499	300.00	11.90
5.50	4.7789	5.9499	300.00	11.90
5.75	4.7789	5.9499	300.00	11.90
6.00	4.7789	5.9499	300.00	11.90
6.25	4.7789	5.9499	300.00	11.90
6.50	4.7789	5.9499	300.00	11.90
6.75	4.7789	5.9499	300.00	11.90
7.00	4.7789	5.9499	300.00	11.90
7.25	4.7789	5.9499	300.00	11.90
7.50	4.7789	5.9499	300.00	11.90

ตารางที่ 4.12 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ลุ่มนิยมเป็นอีเล็กโตรด
และฟังก์ชันเป้าหมายเป็น Max. m_w/ew

ความหยาบผิวงาน ที่กำหนด	ผลจากแบบจำลอง			
	ความหยาบผิวงาน	Max. m_w/ew	ระยะพัลส์	กระแส
Ra, μm	Ra, μm		μs	A
4.50	4.4988	4.9069	190.00	10.20
4.75	4.7450	8.8700	320.00	10.00
5.00	4.9050	9.6895	400.00	10.00
5.25	4.9050	9.6895	400.00	10.00
5.50	5.4963	9.8594	430.00	17.70
5.75	5.7440	10.1089	440.00	21.00
6.00	5.9979	10.3740	460.00	24.10
6.25	6.2449	10.6311	480.00	27.10
6.50	6.4995	10.8917	490.00	30.50
6.75	6.6395	10.9695	560.00	30.50
7.00	6.6395	10.9695	560.00	30.50
7.25	6.6395	10.9695	560.00	30.50
7.50	6.6395	10.9695	560.00	30.50