

ภาคผนวก ก
การหาความพรุนของผิวเคลือบ

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ความพรุนของผิวเคลือบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม AXIOVS40 version 4.2 ทำการวิเคราะห์ 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

ปริมาณการผสม เส้นใยนาโน (wt%)	ความพรุนของผิวเคลือบ (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
0	5.73	4.85	4.66	4.88	5.61	5.03 ± 0.48
5	5.90	5.60	6.05	5.61	5.55	5.74 ± 0.22
10	10.34	7.42	10.02	7.65	8.51	8.79 ± 1.34
15	16.65	14.54	11.24	12.46	14.82	13.94 ± 2.12
20	19.45	19.57	21.52	19.23	20.63	20.08 ± 0.96
25	43.54	31.02	30.04	46.78	50.04	40.28 ± 9.20

ตาราง ก.1 แสดงความพรุนของผิวเคลือบที่ได้จากการผสมเส้นใยนาโน SiC-Al₄O₄C-Al₄SiC₄

ภาคผนวก ข
การหาความแข็งของผิวเคลือบ

ภาคผนวก ข การหาค่าความแข็งของผิวเคลือบ วิเคราะห์ด้วยการวัดความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ โดยทำการวัด 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

ปริมาณการผสม เส้นใยนาโน (wt%)	ความแข็งของผิวเคลือบ (N/ mm ²)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
0	30.5	31.3	30.4	33.9	33.7	31.90 ± 1.76
5	35.0	35.1	42.0	39.1	39.8	38.20 ± 3.06
10	47.5	43.3	49.0	40.2		45.00 ± 4.01
15	29.9	27.8	29.5	28.5	28.7	28.88 ± 0.83
20	23.3	27.0	26.4	24.0	23.3	24.08 ± 1.77
25	21.4	19.0	23.2	20.8	16.5	20.18 ± 2.54

ตาราง ข.1 แสดงความแข็งของผิวเคลือบที่ได้จากการผสมเส้นใยนาโน SiC-Al₄O₄C-Al₄SiC₄

ภาคผนวก ค

การหาอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ

ภาคผนวก ค การหาอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ ทำได้โดยการนำปริมาตรที่สูญเสียที่ระยะทดสอบ 25, 50 และ 75 m มาแสดงในกราฟ ปริมาตรการสึกหรอ – ระยะทดสอบ จากนั้นสร้างเส้นแนวโน้มของชุดข้อมูล, แสดงสมการเส้นตรงของเส้นแนวโน้ม และแสดงค่า R^2 โดยที่อัตราการสึกหรอถูกแสดงอยู่ในรูปของความชันของเส้นแนวโน้ม ทำการทดสอบ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย การหาปริมาตรที่สูญเสียของผิวเคลือบ กระทำโดยทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ pin-on-disk โดยในแต่ละผิวเคลือบจะทำการทดสอบที่ระยะ 25, 50 และ 75 m จากนั้นวัดความกว้างของรอยการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่มีอุปกรณ์การวัดในระดับไมโครเมตร ซึ่งแต่ละระยะทดสอบวัดความกว้างของรอยการสึกหรอ 4 ครั้งแล้วนำมาเฉลี่ย เพื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาปริมาตรที่สูญเสียของแต่ละระยะทาง โดยแสดงสมการที่ใช้คำนวณหาปริมาตรที่สูญเสียได้ดังนี้

$$\text{volume loss} = \frac{\pi(r_t)(w_t)^3}{6r_p} \quad (\text{ค.1})$$

เมื่อ volume loss คือ ปริมาตรของชิ้นงานสูญเสียหลังการทดสอบ (mm^3)

r_t คือ รัศมีของรอยลึก (mm)

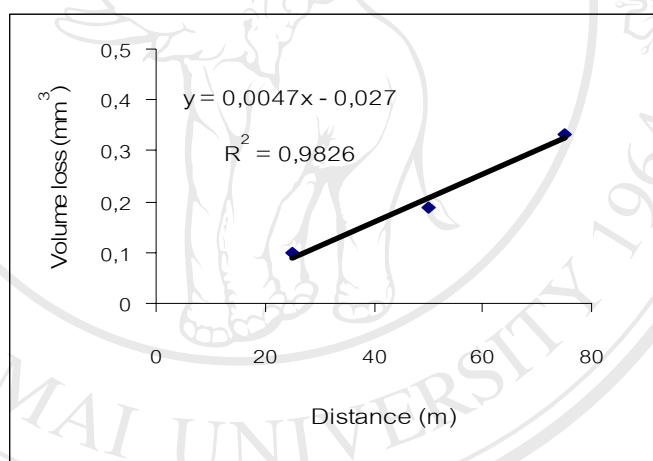
w_t คือ ความกว้างของรอยลึก (mm)

r_p คือ รัศมีของหัวกด (mm)

(หมายเหตุ - การวิจัยนี้ใช้หัวกดเป็น WC ที่มีรัศมีของหัวกด 3.15 mm)

ตาราง ค.1 การทดสอบผิวเคลือบ Al - 12Si ครั้งที่ 1

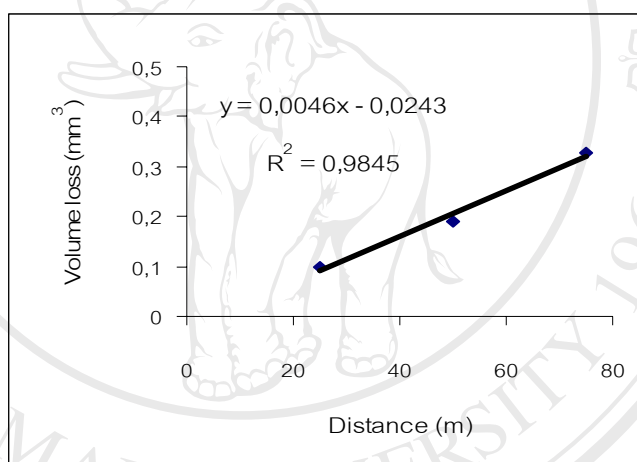
ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	507	519.8	587	509.1	530.7	0.099
50	582.3	565.7	587.2	563.2	574.6	0.189
75	598.3	691	611.7	620.4	630.4	0.333



รูป ค.1 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ Al-12Si ในการทดสอบครั้งที่ 1

ตาราง ค.2 การทดสอบผิวเคลือบ Al - 12Si ครั้งที่ 2

ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	506.0	520.0	586.3	510.5	530.7	0.099
50	580.0	564.0	586.0	575.0	570.0	0.189
75	685.0	600.0	610.0	618.5	628.4	0.329



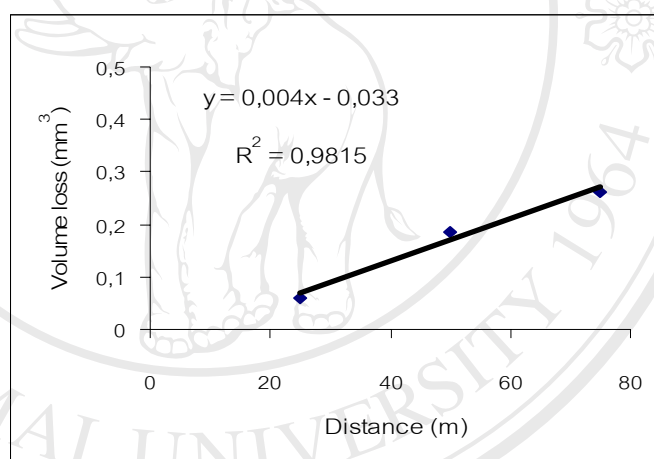
รูป ค.2 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ Al-12Si ในการทดสอบครั้งที่ 2

ตาราง ค.3 อัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ Al - 12Si

การทดสอบ (ครั้งที่)	อัตราการสึกหรอ (mm^3/m)
1	0.0047
2	0.0046
เฉลี่ย	0.0047 ± 0.0001

ตาราง ค.4 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 5(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 1

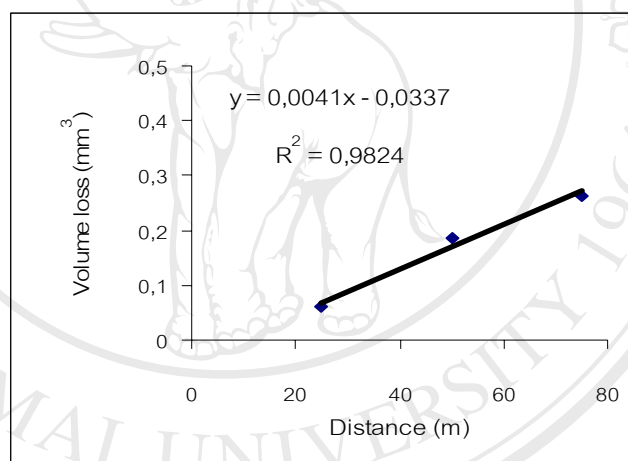
ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	435.6	465.5	415.5	479.1	448.9	0.060
50	606.9	541.3	545	590.4	570.9	0.185
75	564.3	626.2	568.2	571.3	582.5	0.262



รูป ค.3 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 5(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 1

ตาราง ค.5 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 5(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 2

ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	466.1	434.3	413.5	480.8	448.6	0.061
50	540.9	605.1	544.2	592.0	570.55	0.185
75	564.3	626.2	568.2	571.3	582.5	0.263



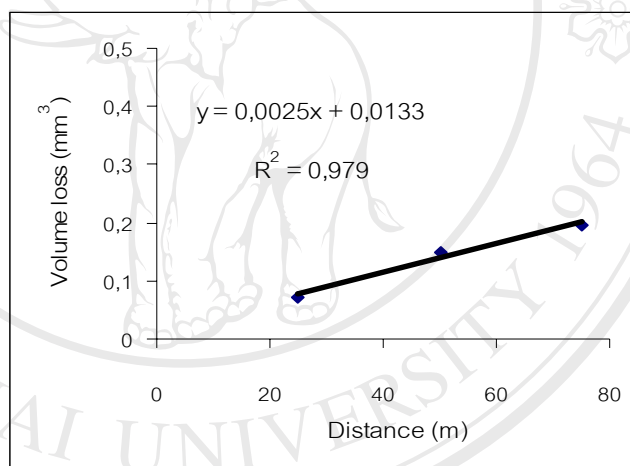
รูป ค.4 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 5(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 2

ตาราง ค.6 อัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 5(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$

การทดสอบ (ครั้งที่)	อัตราการสึกหรอ (mm^3/m)
1	0.0040
2	0.0041
เฉลี่ย	0.0040 ± 0.0001

ตาราง ค.7 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 10(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 1

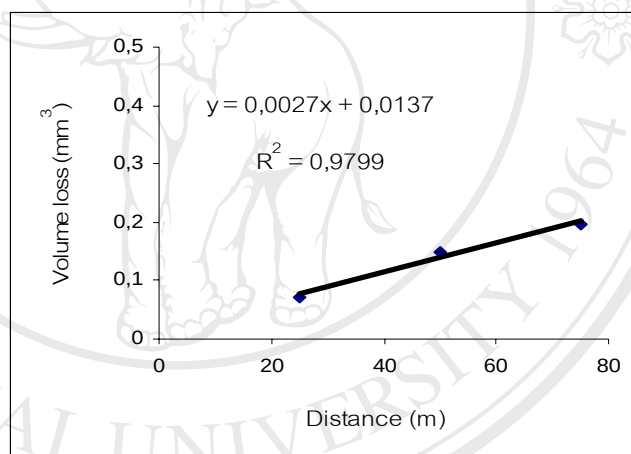
ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	498.7	480.9	449.3	466.7	473.9	0.071
50	556	531.4	528.9	508.7	531.3	0.15
75	511.4	523.9	538.5	543.8	529.4	0.197



รูป ค.5 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 10(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 1

ตาราง ค.8 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 10(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 2

ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	500.2	482.1	464.3	451.2	474.5	0.070
50	553.0	534.8	530.1	506.2	531.2	0.160
75	540.8	510.8	520.2	540.7	528.2	0.203



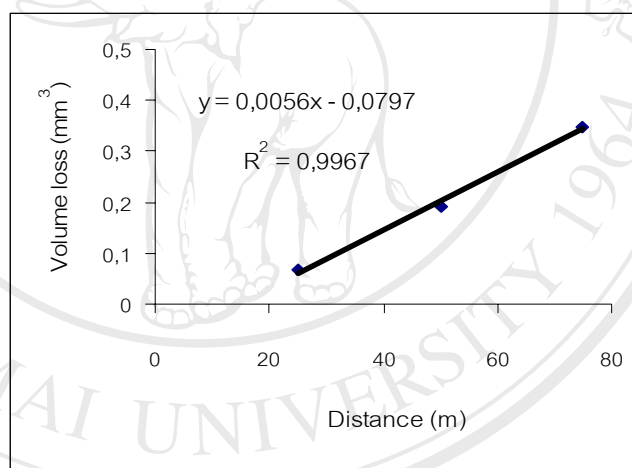
รูป ค.6 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 10(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 2

ตาราง ค.9 อัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 10(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$

การทดสอบ (ครั้งที่)	อัตราการสึกหรอ (mm^3/m)
1	0.0025
2	0.0027
เฉลี่ย	0.0026 ± 0.0001

ตาราง ค.10 การทดสอบผิวเคลือบ Al-12Si + 15(SiC-Al₄O₄C-Al₄SiC₄) ครั้งที่ 1

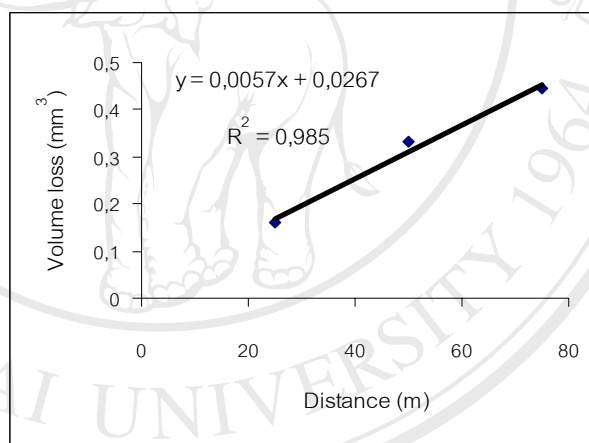
ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm ³)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	501	445	438.3	471	463.825	0.066
50	626.5	543	568.7	575.5	578.425	0.193
75	668.5	601.7	632.8	656	639.75	0.348



รูป ค.7 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ Al-12Si + 15(SiC-Al₄O₄C-Al₄SiC₄) ในการทดสอบครั้งที่ 1

ตาราง ค.11 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 15(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 2

ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	590.1	610.2	660.0	627.5	621.95	0.16
50	680.4	691.8	700.4	698.2	692.7	0.341
75	670.5	710.5	680.7	710.5	693.05	0.442



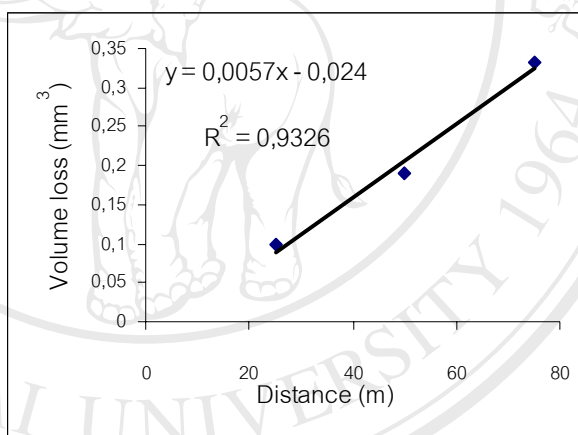
รูป ค.8 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 15(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 2

ตาราง ค.12 อัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 15(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$

การทดสอบ (ครั้งที่)	อัตราการสึกหรอ (mm^3/m)
1	0.0056
2	0.0057
เฉลี่ย	0.0056 ± 0.0000

ตาราง ค.13 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 20(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 1

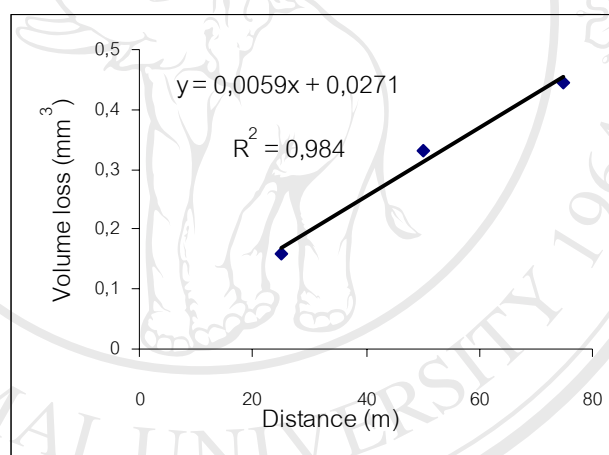
ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	626.7	658	609.2	591.1	621.2	0.160
50	682.1	690	702.2	700.4	693.7	0.342
75	672.5	711.9	684.5	709.5	694.1	0.444



รูป ค.9 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 20(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 1

ตาราง ค.14 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 20(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 2

ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	500.5	440.3	442.7	468.0	462.9	0.066
50	625.8	542.1	570.3	574.7	578.2	0.192
75	670.5	600.4	630.8	600.4	670.5	0.349



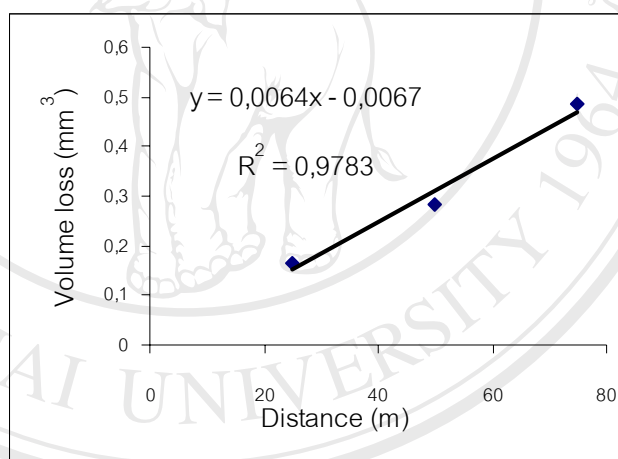
รูป ค.10 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 20(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 2

ตาราง ค.15 อัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 20(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$

การทดสอบ (ครั้งที่)	อัตราการสึกหรอ (mm^3/m)
1	0.0057
2	0.0059
เฉลี่ย	0.0058 ± 0.0002

ตาราง ค.16 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 25(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 1

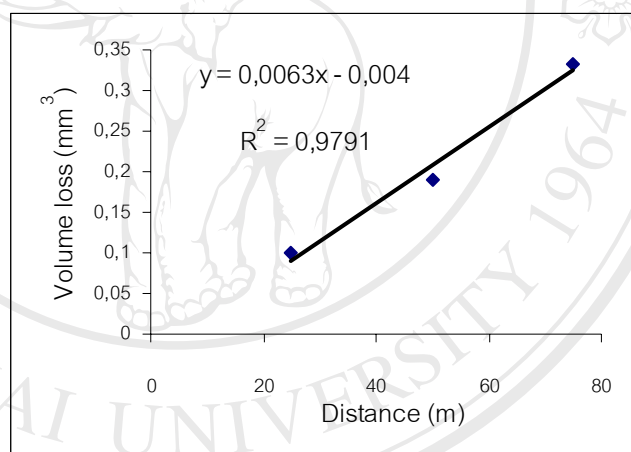
ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	
25	643	656.5	632.1	590	630.4	0.166
50	652.5	699.9	588.1	691.6	658.0	0.284
75	712.7	688.2	732.5	723.6	714.3	0.484



รูป ค.11 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 25(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 1

ตาราง ค.17 การทดสอบผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 25(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ครั้งที่ 2

ระยะทดสอบ (m)	ค่าความกว้างของรอยการสึกหรอที่วัดได้ (μm)					ปริมาตร ที่สูญเสีย (mm^3)
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	เฉลี่ย	
25	640.0	660.1	630.4	591.0	630.6	0.167
50	650.8	700.2	590.5	690.5	658.0	0.284
75	710.5	690.4	730.5	720.8	713.05	0.481



รูป ค.12 กราฟอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 25(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$ ในการทดสอบครั้งที่ 2

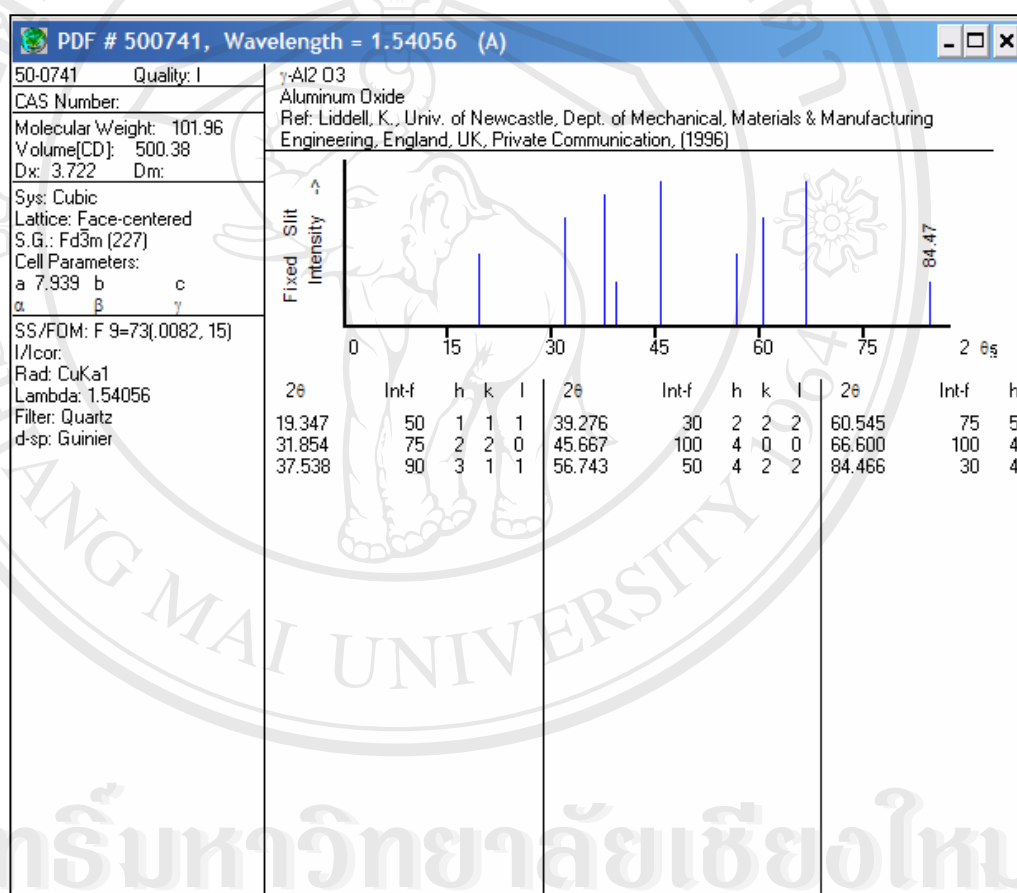
ตาราง ค.18 อัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ $\text{Al-12Si} + 25(\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4)$

การทดสอบ (ครั้งที่)	อัตราการสึกหรอ (mm^3/m)
1	0.0064
2	0.0063
เฉลี่ย	0.0064 ± 0.001

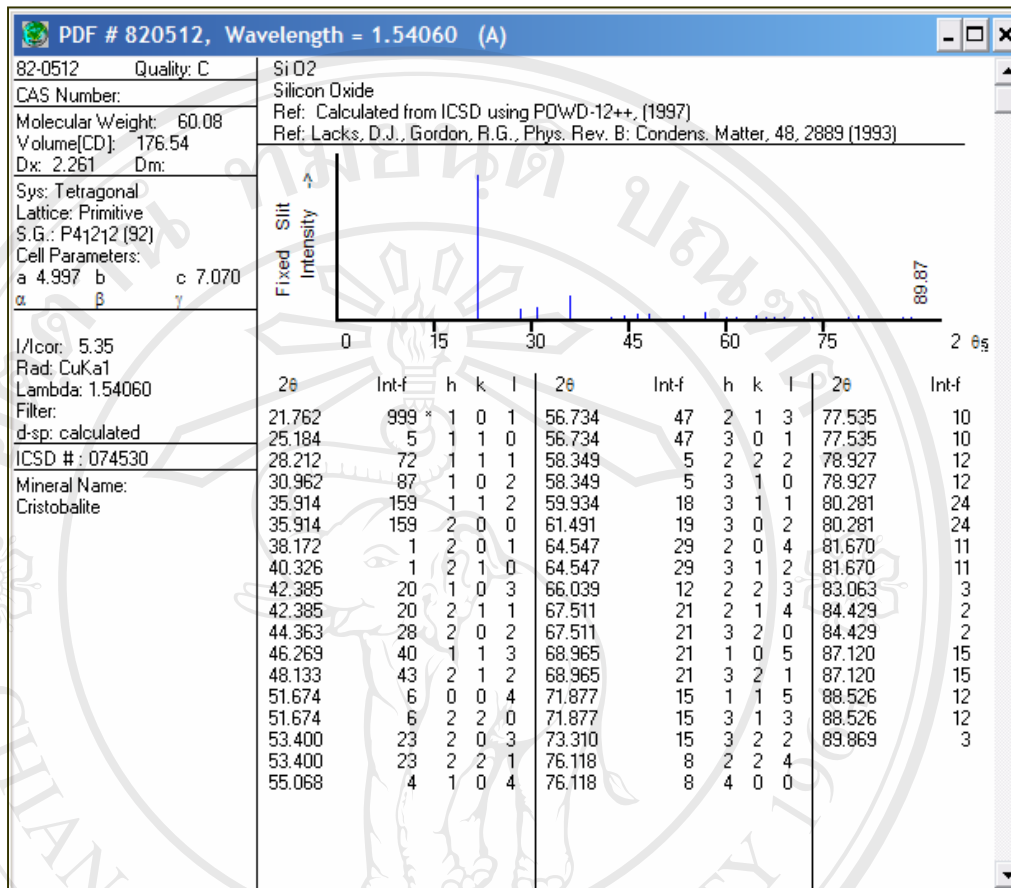
ภาคผนวก ง

ข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

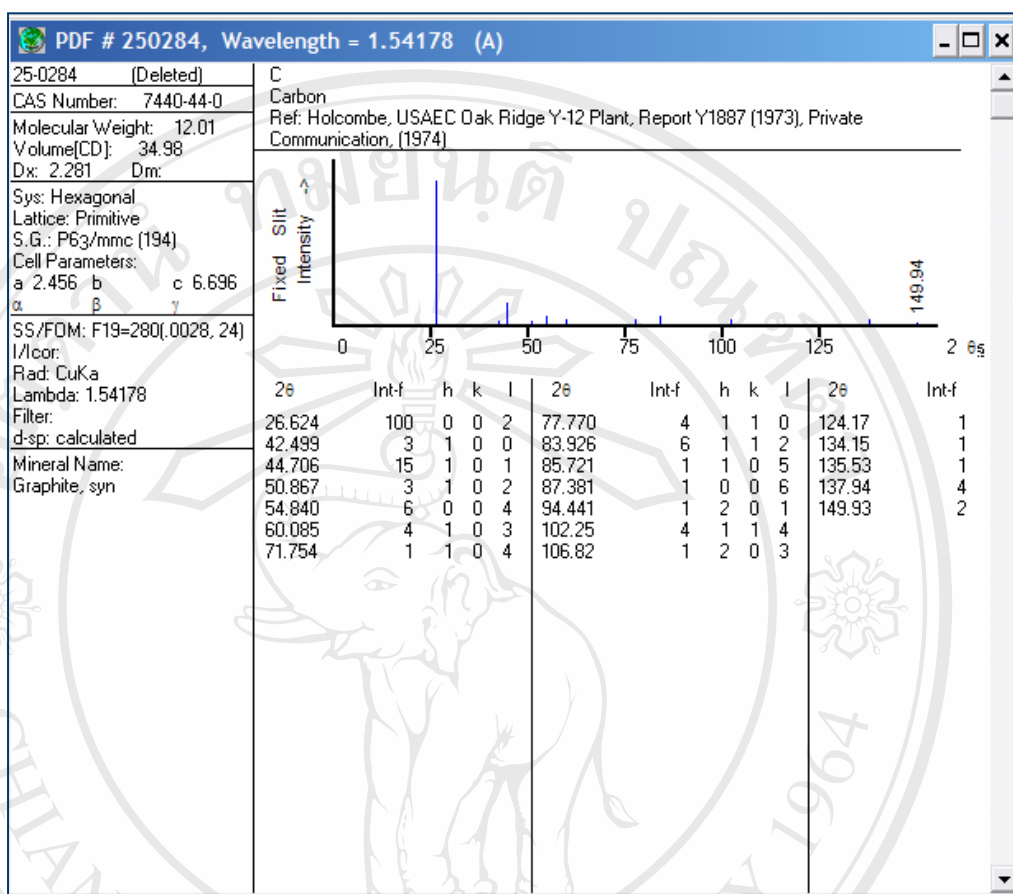
แสดงข้อมูลของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของธาตุและสารประกอบตามที่พบในการวิจัยนี้ โดยใช้มาตรฐานของ JC-PDS ในการจำแนกธาตุและสารประกอบ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้



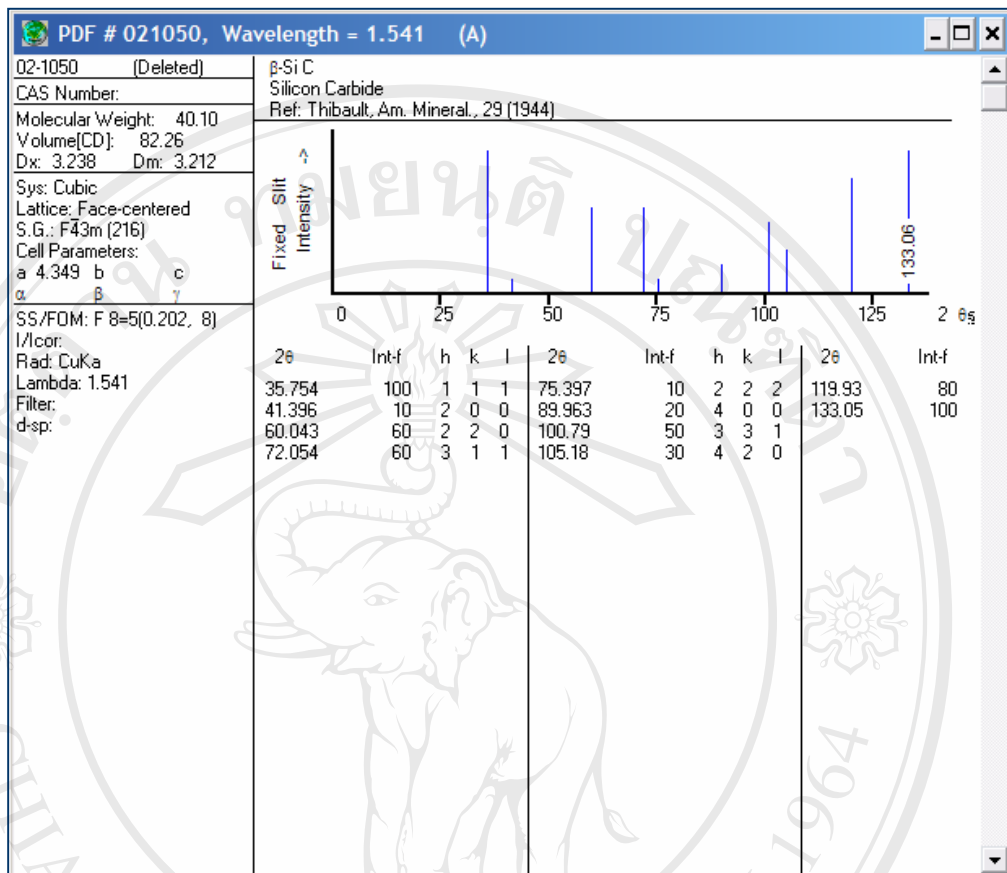
รูป ง.1 แสดงมาตรฐาน JCPDS ของอะลูมินา



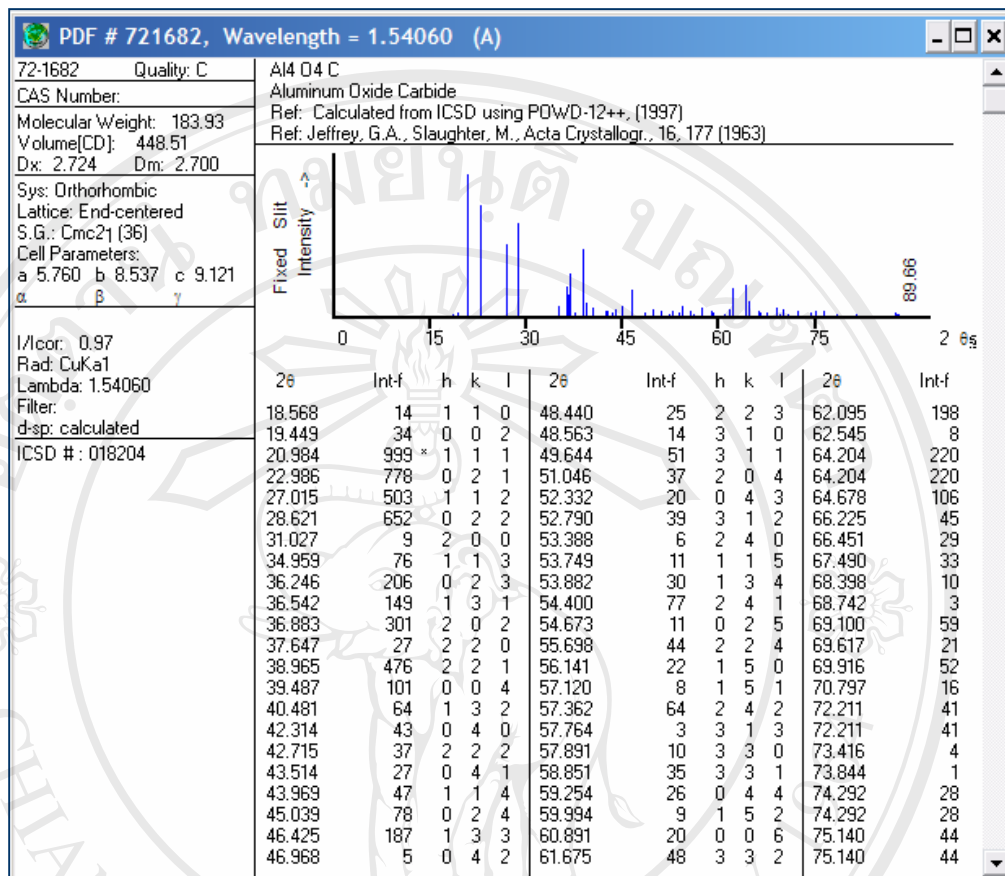
รูป ๖.2 แสดงมาตรฐาน JCPDS ของซิลิคอนออกไซด์



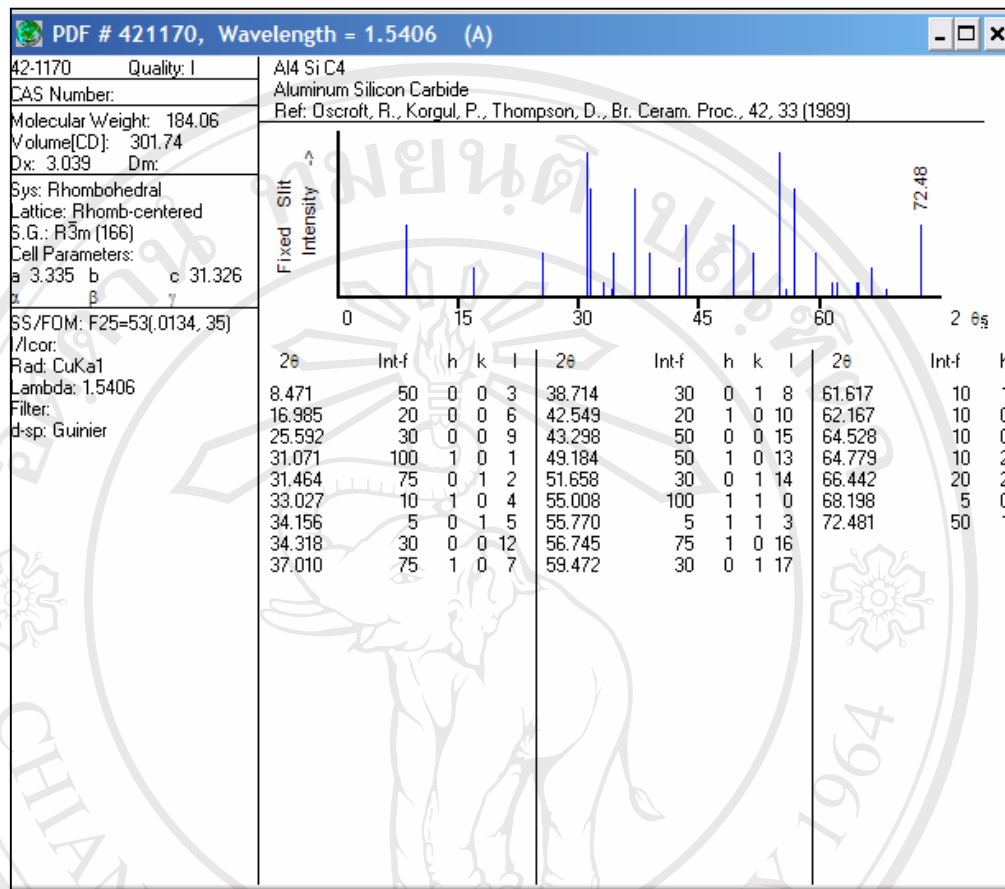
รูป 3.3 แสดงมาตรฐาน JCPDS ของคาร์บอน



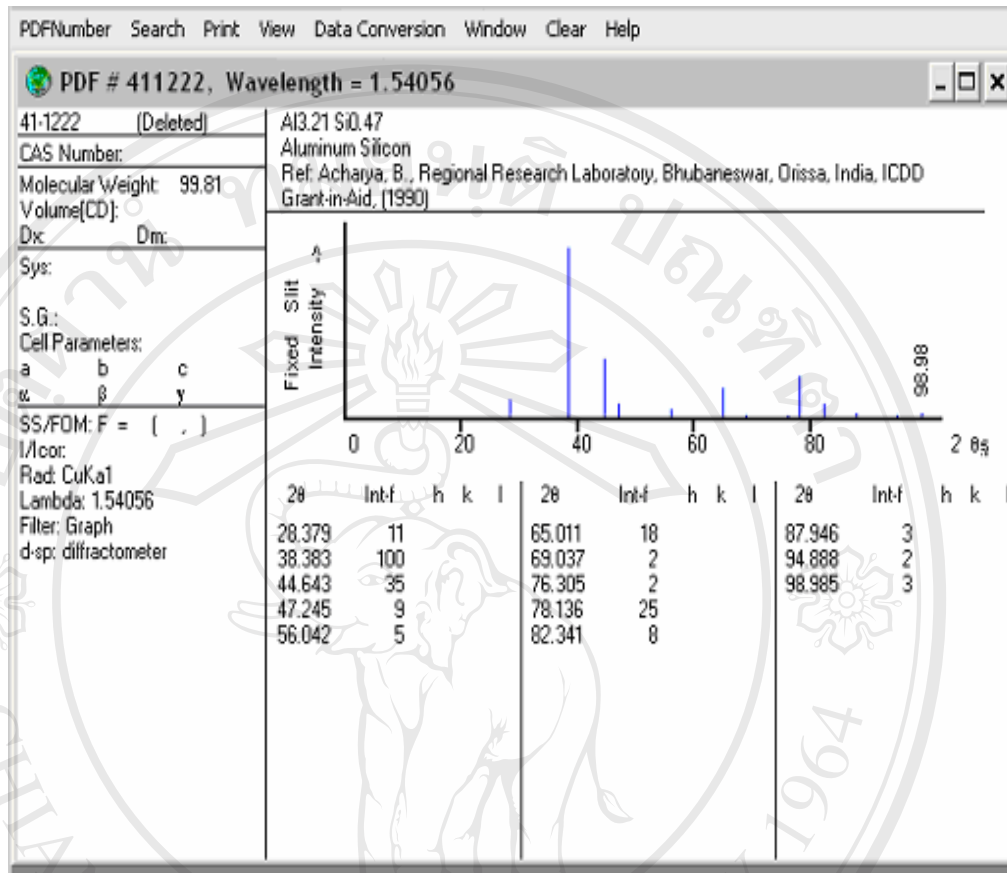
รูป ง.4 แสดงมาตรฐาน JCPDS ของเบตา-ซิลิคอนคาร์ไบด์



รูป 5.5 แสดงมาตรฐาน JCPDS ของอะลูมินาเทรออกไซด์คาร์ไบด์



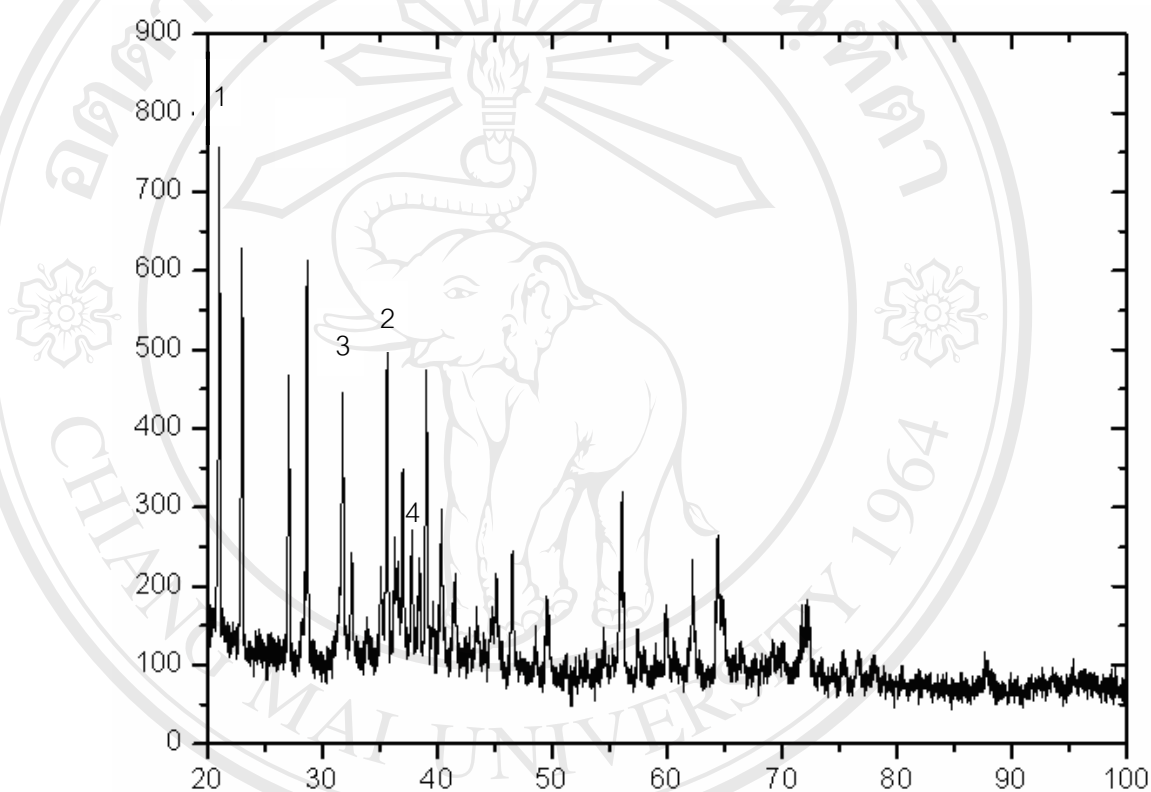
รูป ง.6 แสดงมาตรฐาน JCPDS ของอะลูมิเนียมซิลิคอนคาร์ไบด์



รูป ง.7 แสดงมาตรฐาน JCPDS ของอะลูมิเนียม-ซิลิคอน

ภาคผนวก จ

แสดงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบของเส้นใยนาโน $\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4$



รูป จ.1 กราฟแสดงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบของเส้นใยนาโน $\text{SiC-Al}_4\text{O}_4\text{C-Al}_4\text{SiC}_4$

จากรูป จ.1 พิจารณาพีคสูงสุดของแต่ละสารประกอบ พีค 1 เป็นพีคสูงสุดของ $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ พีค 2 เป็นพีคสูงสุดของ SiC พีค 3 เป็นพีคสูงสุดของ Al_4SiC_4 และพีค 4 เป็นพีคสูงสุดของสารประกอบอื่นๆที่ยังไม่สามารถระบุประเภทได้ คำนวณหาร้อยละของสารประกอบโดยการเปรียบเทียบจากความสูงของพีคที่สูงที่สุดของแต่ละสารประกอบ ได้ดังสมการ

$$\text{ร้อยละของสารประกอบ} = (\text{ความสูงพีคสูงสุด} / \text{ผลรวมความสูงของพีคสูงสุดของสารประกอบ}) \times 100$$

ตาราง จ.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ

สารประกอบ	จำนวนช่อง แกน y	เปอร์เซ็นต์
$\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$	760	37.81
SiC	550	27.36
Al_4SiC_4	450	22.39
สารอื่นๆ	250	12.44

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ

นายยุทธ นนทะโคตร

วัน เดือน ปี เกิด 7 กุมภาพันธ์ 2509

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนศรีสองรักวิทยาคม

ต. ด้านซ้าย อ. ด้านซ้าย จ. เลย ปีการศึกษา 2528

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2538

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2548

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved