



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ภาคผนวก ก

## ส่วนประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมและ อุปกรณ์การวิจัย

## 1. ส่วนประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมแท่ง 6063

## 1.1 ตัวอย่างการวิจัยในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb
98.758	0.433	0.203	0.018	0.022	0.506	0.006	0.008	0.031	0.011	0.000

## 1.2 ตัวอย่างการวิจัยจากโรงงานอุตสาหกรรม

## 1.2.1 ตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 4.20 เมตร

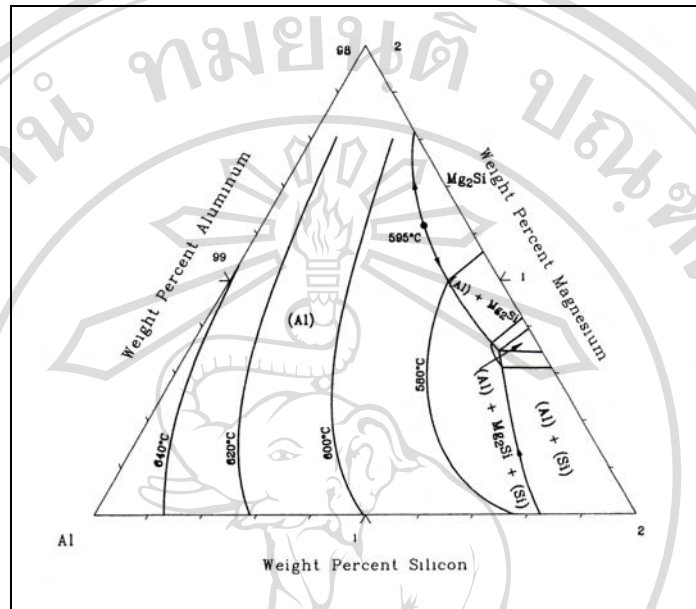
Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb
98.673	0.421	0.253	0.029	0.033	0.520	0.009	0.005	0.041	0.015	0.000

## 1.2.2 ตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ยาว 4.10 เมตร

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb
98.750	0.414	0.215	0.021	0.015	0.525	0.000	0.006	0.033	0.015	0.000

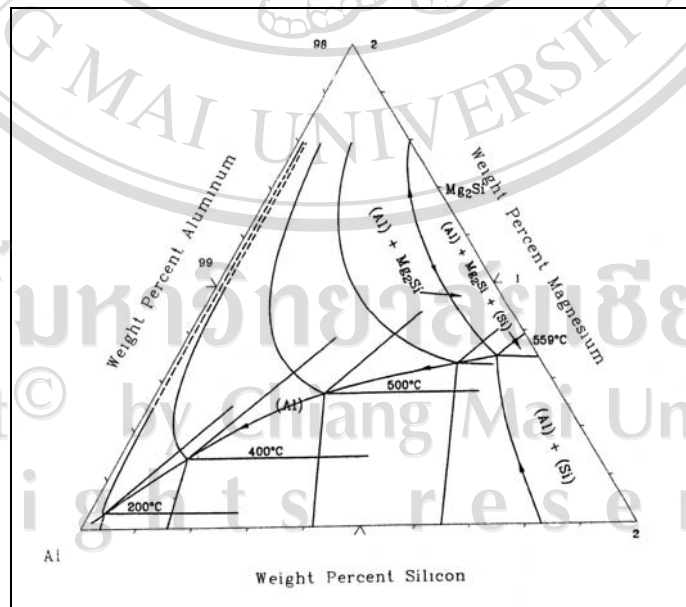
## 2. เทอร์นารีเฟสไดอะแกรม (Ternary phase diagram) ของโลหะอะลูมิเนียม แมกนีเซียม ซิลิกอน [28]

### 2.1 Solidus Al-Mg-Si



รูป ผ-1 เฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม-ซิลิกอน (Solidus)

### 2.2 Solvus Al-Mg-Si



รูป ผ-2 เฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม-ซิลิกอน (Solvus)

### 3. วัสดุอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ ผ-3 สารละลายซิลิกา ผงขัดอะลูมิเนียมขนาด 5 และ 1 ไมครอน



รูป ผ-4 เครื่องขัดชิ้นงาน



รูป ผ-5 เครื่องปรับระนาบตัวอย่างก่อนทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



รูป ผ-6 กล้องจุลทรรศน์แสง



รูป ผ-7 เครื่องเอกซเรย์



รูป ผ-8 เครื่องวัดค่าความแข็งแบบนูน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



รูป ผ-9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM-6335F



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ภาคผนวก ข

## ค่าความแข็งของอะลูมิเนียม

ตาราง ผ- 1 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นนาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่ ทดสอบ	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )					
	ไม่อบ	ไฮโมจิในชั้นที่อุณหภูมิต่างๆ 2 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยพัลคม				
		560 °C	570 °C	580 °C	590 °C	600 °C
1	19.9	16.3	17.2	20.5	17.8	15.9
2	19.9	17.0	17.8	20.7	18.5	16.1
3	20.1	17.3	18.0	20.7	18.5	16.2
4	20.2	17.5	18.0	20.8	18.6	16.2
5	20.4	17.7	18.2	21.7	19.0	16.2
6	20.7	17.8	18.4	21.7	19.2	16.5
7	20.7	17.8	18.4	21.7	19.2	17.0
8	21.5	17.8	18.5	21.8	19.2	17.5
9	21.8	18.0	18.5	21.8	19.2	17.7
10	22.2	18.1	18.8	22.4	19.3	17.7
11	22.4	18.1	18.9	22.7	19.6	18.1
12	22.4	19.0	20.8	22.7	19.8	18.2
13	22.5	19.2	21.0	22.9	19.9	18.4
14	22.5	19.3	21.0	23.1	20.4	19.3
15	23.1	19.8	21.2	24.2	20.5	19.5
Average	21.4	18.0	19.0	22.0	19.2	17.4
S.D.	1.12432	0.9334	1.3273	1.04867	0.72984	1.18181
Sm	0.2903	0.241	0.34271	0.27077	0.18844	0.30514
%Er	1.3595	1.33544	1.80562	1.233	0.9791	1.75705

ตาราง ผ- 2 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการไฮโมจีไนชันนาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่ ทดสอบ	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )				
	ไฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ 4 ชั่วโมงเย็น ผ่าน กระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคม				
	560 °C	570 °C	580 °C	590 °C	600 °C
1	18.1	17.2	15	18.4	14.7
2	18.4	17.7	15.8	18.6	14.8
3	18.5	18.1	15.9	19.6	16.0
4	18.9	18.2	16.6	19.9	16.1
5	18.9	18.2	16.6	20.1	16.9
6	19.0	18.6	16.8	20.2	17.0
7	19.2	18.8	16.8	20.2	17.0
8	19.5	18.9	17.1	20.4	17.1
9	19.5	19.0	17.2	20.5	17.5
10	19.9	19.2	17.5	20.5	17.5
11	20.2	20.1	17.5	20.7	17.5
12	20.7	20.1	17.6	20.7	17.6
13	20.7	20.4	17.7	21.3	17.7
14	21.2	21.3	18.4	21.8	17.8
15	21.3	22.2	18.5	22.5	17.8
Average	19.6	19.2	17.0	20.4	16.9
S.D.	1.02609	1.37789	0.95094	1.05749	1.02027
Sm	0.26493	0.35577	0.24553	0.27304	0.26343
%Er	1.35171	1.85296	1.4443	1.34107	1.56185

ตาราง ผ- 3 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการไฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่ทดสอบ	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )				
	ไฮโมจีไนซ์ 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ				
	560 °C	570 °C	580 °C	590 °C	600 °C
1	15.9	16.3	16.5	17.3	16.8
2	16.1	16.5	17.0	17.5	17.0
3	16.2	17.1	17.2	17.7	17.1
4	16.9	18.0	17.3	17.7	17.1
5	17.0	18.2	17.6	18.0	17.2
6	17.0	18.5	17.8	18.4	17.5
7	17.3	18.7	18.1	18.4	17.5
8	17.6	18.8	18.2	18.5	17.7
9	17.7	18.8	18.4	18.5	18.0
10	18.4	18.9	18.4	18.5	18.1
11	18.6	19.2	19.5	18.6	18.2
12	19.5	19.5	20.5	18.6	18.5
13	19.8	20.5	20.7	18.9	18.6
14	20.1	20.5	20.8	18.9	18.6
15	20.1	21.0	21.8	18.9	18.8
Average	17.9	18.7	18.7	18.3	17.8
S.D.	1.4595498	1.3799586	1.6172581	0.524359	0.6667619
Sm	0.3768541	0.3563038	0.4175742	0.1353889	0.1721572
%Er	2.1076854	1.9053678	2.2386039	0.7400998	0.9682631

ตาราง ผ- 4 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่ ทดสอบ	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )				
	โฮโมจีไนซ์ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง				
	560 °C	570 °C	580 °C	590 °C	600 °C
1	16.5	18.4	18.6	15.8	16.4
2	17.1	19.5	19.6	16.2	16.5
3	17.3	19.8	19.8	16.5	16.8
4	17.5	20.1	20.1	16.9	16.9
5	17.8	20.2	20.1	16.9	17.0
6	18.2	20.7	20.1	17.0	17.2
7	18.6	20.7	20.1	17.1	17.3
8	18.8	21.0	20.2	17.1	17.3
9	18.8	21.0	20.2	17.3	17.5
10	19.3	21.3	20.7	17.6	17.6
11	19.9	21.5	21.0	18.0	17.6
12	20.1	21.7	21.2	18.0	17.7
13	20.2	23.1	21.8	18.2	17.8
14	20.4	23.1	22.5	18.2	18.1
15	20.7	24.0	22.7	19.2	18.5
Average	18.7	21.1	20.6	17.3	17.3
S.D.	1.3298049	1.4796074	1.1001299	0.8812869	0.5755329
Sm	0.3433541	0.382033	0.2840523	0.2275473	0.148602
%Er	1.8315477	1.812874	1.3802347	1.3127729	0.85666

ตาราง พ- 5 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซันาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 °C

ครั้งที่ทดสอบ	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )				
	ไฮโมจิไนซ์ 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ + น้ำแข็ง 0 °C				
	560 °C	570 °C	580 °C	590 °C	600 °C
1	16.2	15.8	20.7	19.2	18.6
2	16.9	16.3	21.1	19.2	19.5
3	17.6	16.3	21.3	19.8	19.8
4	17.7	16.8	21.5	20.2	20.1
5	18.0	16.9	21.5	20.5	20.7
6	18.2	17.1	21.5	20.8	20.7
7	18.5	18.0	21.7	21.0	20.8
8	18.5	18.1	21.7	21.1	20.8
9	18.5	18.1	23.1	21.3	21.2
10	18.8	18.9	23.3	21.7	21.2
11	19.0	19.0	23.8	21.7	21.3
12	19.0	19.0	24.2	23.3	21.5
13	19.8	19.0	24.7	23.3	21.5
14	20.4	19.8	25.9	23.5	22.5
15	21.7	19.9	26.2	23.8	22.5
Average	18.6	17.9	22.8	21.4	20.8
S.D.	1.353760195	1.328084908	1.795178728	1.527275819	1.046672733
Sm	0.349539379	0.342910049	0.463513155	0.394340921	0.270249738
%Er	1.88059207	1.912137819	2.031764266	1.84616536	1.296369064

ตาราง ผ-6 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 4 ชั่วโมง  
เย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 °C

ครั้งที่ ทดสอบ	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )				
	โฮโมจีไนซ์ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ + น้ำแข็ง 0 °C				
	560 °C	570 °C	580 °C	590 °C	600 °C
1	17.3	15.1	16.3	18.6	19.2
2	19.5	15.8	16.8	18.9	20.1
3	20.5	16.3	16.9	19.3	20.1
4	20.7	16.5	16.9	19.6	20.2
5	20.8	16.8	17.3	19.6	20.2
6	21.3	17.3	17.5	19.6	20.4
7	21.7	17.3	17.5	20.1	20.5
8	22.4	17.5	17.7	20.2	20.5
9	22.5	18.1	17.8	21.0	20.7
10	22.5	18.1	17.8	21.2	20.7
11	23.3	18.1	18.1	21.5	20.8
12	23.7	18.2	18.1	22.0	21.3
13	24.0	18.5	18.2	22.2	21.7
14	24.2	19.0	18.2	22.5	21.7
15	24.7	20.2	18.4	23.3	22.0
Average	21.9	17.5	17.6	20.6	20.7
S.D.	1.9931311	1.302854	0.6183696	1.4321812	0.741106
Sm	0.5146242	0.3363955	0.1596623	0.3697876	0.1913527
%Er	2.3455981	1.9200654	0.9088938	1.7916065	0.9256018

ตาราง ผ-7 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5" จาก  
ภาคอุตสาหกรรม

ครั้งที่	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )					
	แท่ง Ø 5" ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจีไนซ์			แท่ง Ø 5" ผ่านกระบวนการไฮโมจีไนซ์ และ ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลลัม		
	หัวแท่ง	กลางแท่ง	ท้ายแท่ง	หัวแท่ง	กลางแท่ง	ท้ายแท่ง
1	16.3	18.0	18.5	17.1	16.6	18.9
2	16.9	22.2	18.6	18.2	16.6	17.2
3	17.5	21.5	18.8	18.4	16.9	18.5
4	17.6	19.8	19.0	18.6	17.8	17.7
5	18.0	19.0	19.3	18.8	18.2	16.5
6	18.9	20.2	19.5	18.9	18.5	17.0
7	19.3	21.0	19.9	19.3	18.6	16.0
8	20.5	20.2	19.9	19.6	18.6	18.2
9	21.0	18.5	19.9	19.8	19.3	18.3
10	21.2	22.7	20.4	20.2	19.5	18.6
11	21.7	20.5	20.7	20.4	19.5	18.0
12	22.0	18.5	20.7	20.4	20.1	17.1
13	22.2	22.9	21.2	20.5	20.1	19.5
14	22.2	19.0	21.5	20.8	20.1	17.2
15	22.5	18.5	23.5	21.3	20.1	17.1
Average	19.9	20.2	20.1	19.5	18.7	17.7
S.D.	2.1744841	1.6145175	1.3193433	1.1494512	1.2722309	0.9585704
Sm	0.5614494	0.4168666	0.340653	0.296787	0.3284886	0.2475018
%Er	2.8279854	2.0671072	1.6953532	1.5230261	1.7566235	1.396737

ตาราง ผ-8 ตารางแสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7” จาก  
ภาคอุตสาหกรรม

ครั้งที่	ค่าความแข็ง (Microhardness HK, kg/mm <sup>2</sup> )					
	แท่ง Ø 7” ไม่ผ่านกระบวนการไฮไมจีไนซ์			แท่ง Ø 7” ผ่านกระบวนการไฮไมจีไนซ์ และผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลลม		
	หัวแท่ง	กลางแท่ง	ท้ายแท่ง	หัวแท่ง	กลางแท่ง	ท้ายแท่ง
1	18.6	17.7	20.2	15.6	17.3	15.1
2	19.0	19.5	20.2	17.3	17.5	15.7
3	19.6	19.8	20.5	17.3	17.6	15.8
4	20.1	20.2	20.5	17.7	18.0	16.0
5	20.2	20.7	20.5	17.9	18.1	16.4
6	20.5	20.8	20.7	18.2	18.6	16.8
7	21.3	21.5	21.0	18.2	18.8	16.8
8	21.5	21.7	21.2	18.4	19.0	17.1
9	22.0	22.0	21.3	18.6	19.0	17.1
10	22.2	23.8	21.7	18.8	20.1	17.3
11	22.2	23.8	21.7	18.9	20.4	17.5
12	22.7	24.4	21.8	19.5	21.5	17.5
13	23.7	24.4	22.4	19.8	21.5	17.7
14	24.2	24.9	23.8	20.5	21.7	17.7
15	24.7	25.5	25.3	21.2	21.7	18.2
Average	21.5	22.0	21.5	18.5	19.4	16.8
S.D.	1.8516402	2.3132743	1.4168375	1.3812348	1.6282623	0.8806383
Sm	0.4780914	0.5972849	0.3658259	0.3566333	0.4204155	0.2273798
%Er	2.2236811	2.7091844	1.6999344	1.9249728	2.1685807	1.3497022

## ภาคผนวก ก

1. โครงสร้างจุลภาคทางแสงของตัวอย่างจากการวิจัยในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

1.1 ตัวอย่างอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั่วนาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-10 และ ผ-11



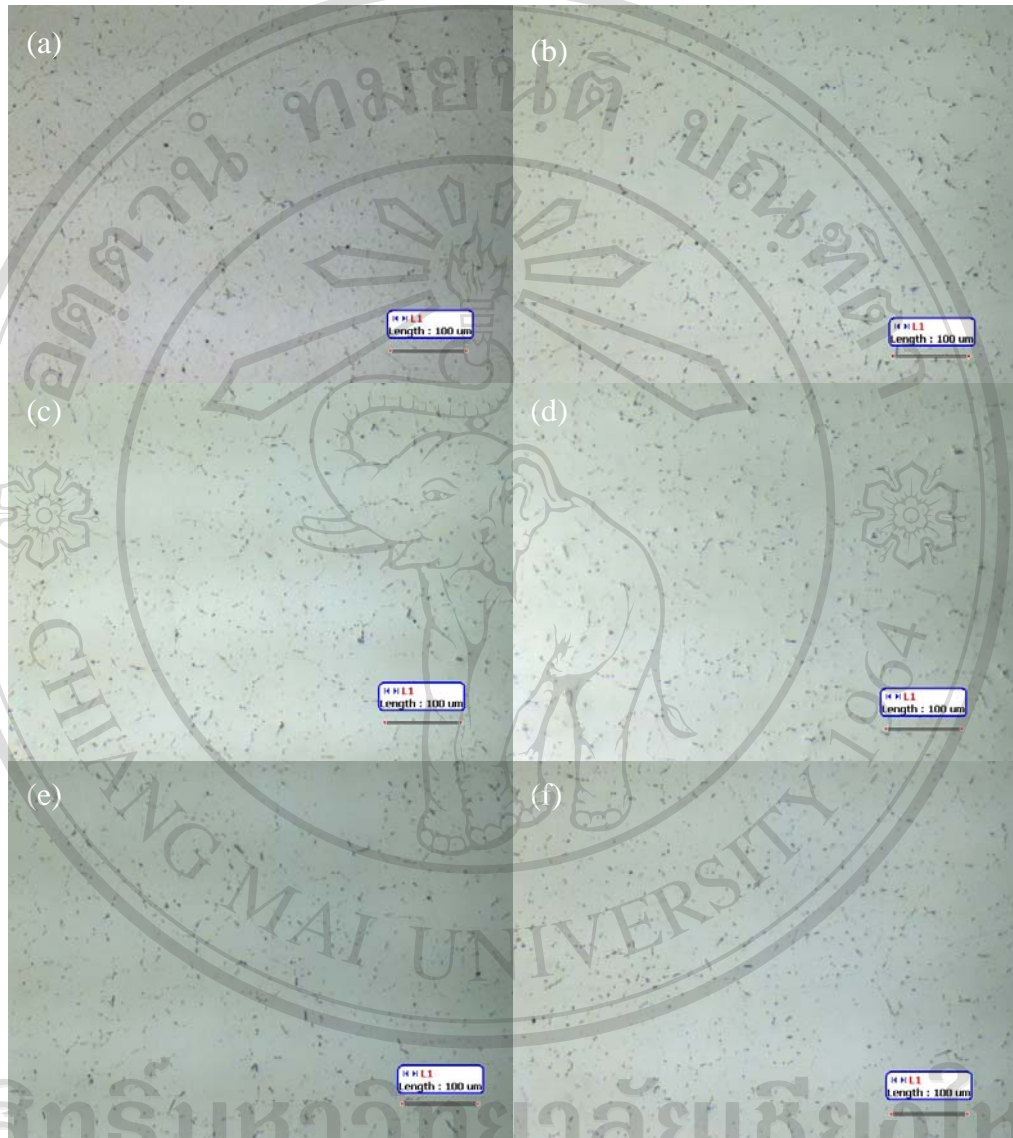
รูป ผ-10 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 100 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั่วนาน (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั่วนานที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600°C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง



รูป ผ-11 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 400 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโซโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโซโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเชื่อมตัวด้วยพัลสมที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University  
All rights reserved

1.2 ตัวอย่างอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-12 และ ผ-13



รูป ผ-12 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 100 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมไนส์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง



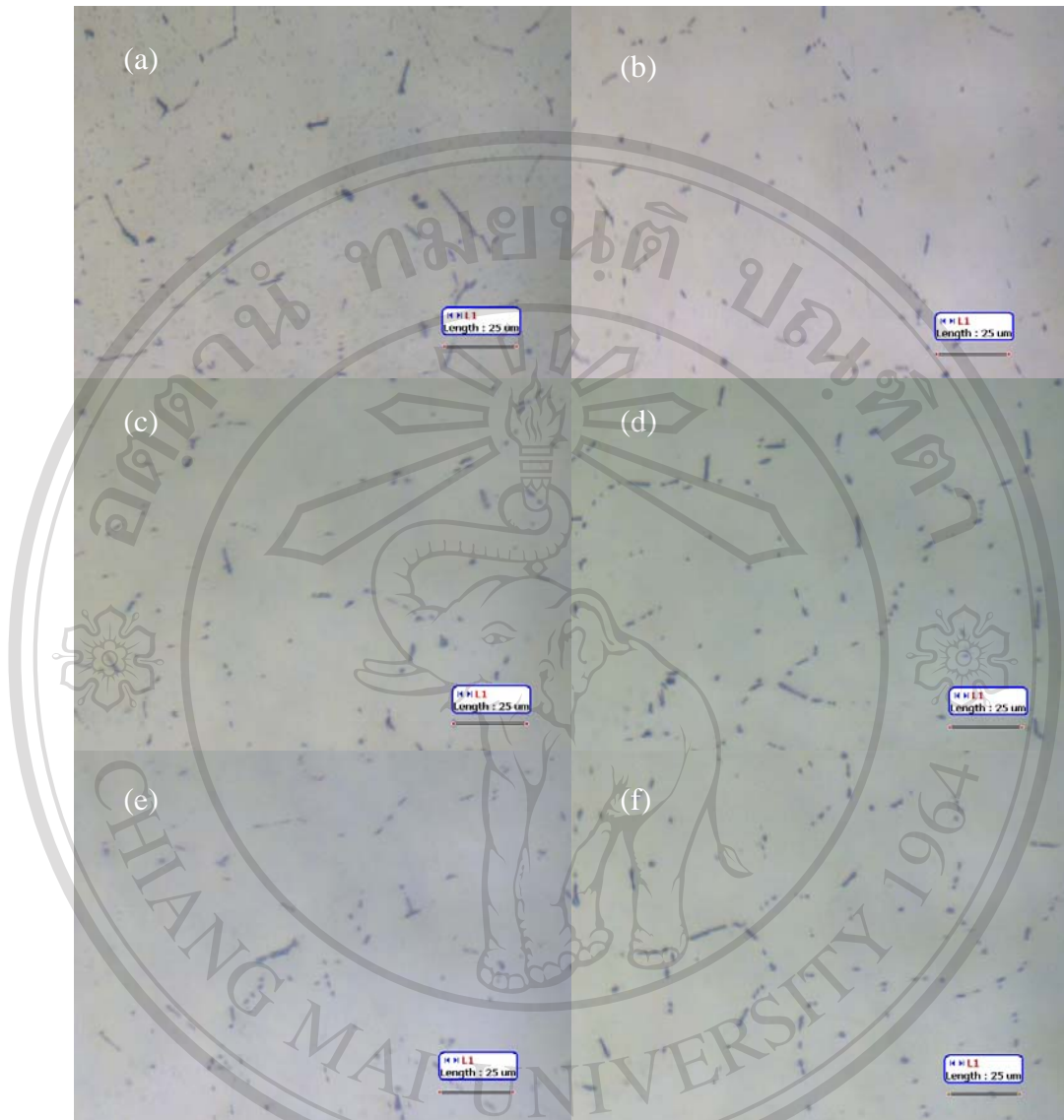
รูป ผ-13 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 400 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเขียนตัวด้วยพัลสมที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University  
All rights reserved

1.3 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง เย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคทางแสงของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังรูป ผ-14 และ ผ-15



รูป ผ-14 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 100 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง



รูป ผ-15 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 400 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการย่นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University  
All rights reserved

1.4 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจีในชั่วนาน 4 ชั่วโมง เย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคทางแสงของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจีในชั่วนาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังรูป ผ-16 และ ผ-17



รูป ผ-16 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 100 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจีในน้ำ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจีในน้ำที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง



รูป ผ-17 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 400 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการย่นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University  
All rights reserved

1.5 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$

โครงสร้างจุลภาคทางแสงของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูป ผ-18 และ ผ-19



รูป ผ-18 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 100 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600  $^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$



รูป ผ-19 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 400 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University  
All rights reserved

1.6 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$

โครงสร้างจุลภาคทางแสงของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 4 ชั่วโมง เย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูป ผ-20 และ ผ-21



รูป ผ-20 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 100 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600  $^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$



รูป ผ-21 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงกำลังขยาย 400 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University  
All rights reserved

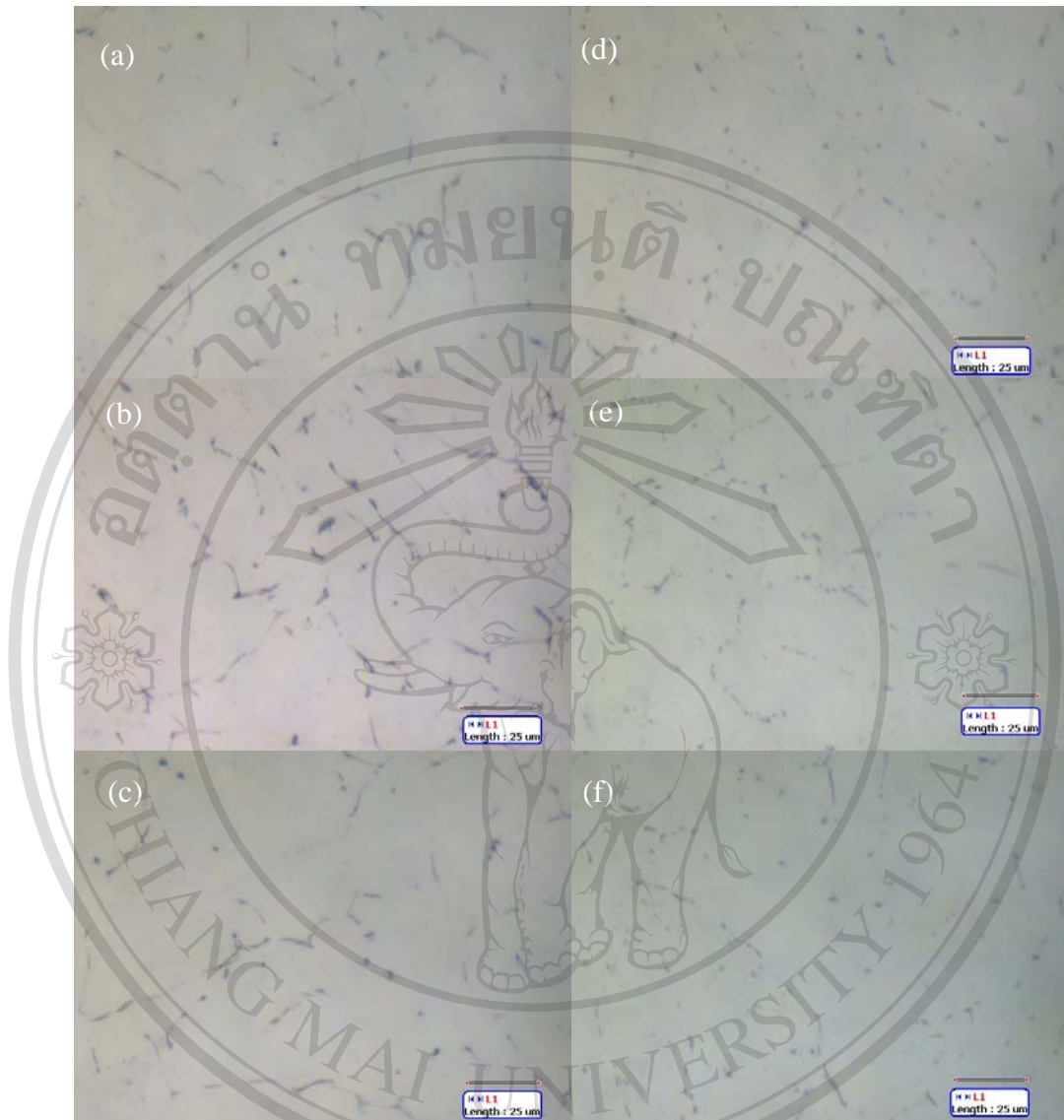
## 2. โครงสร้างจุลภาคทางแสงของตัวอย่างจากการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม

### 2.1 ตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5"

ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5" ซึ่งผ่านและไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ แสดงดังรูป ผ-22 และ ผ-23



รูป ผ-22 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 100 เท่า ของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์จากภาคอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแช่ ที่อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัดลม



รูป ผ-23 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 400 เท่าของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์จากภาคอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแห้ง ที่อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลลัม

## 2.2 ตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7”

ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7” ซึ่งผ่านและไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังรูป ผ-24 และ ผ-25



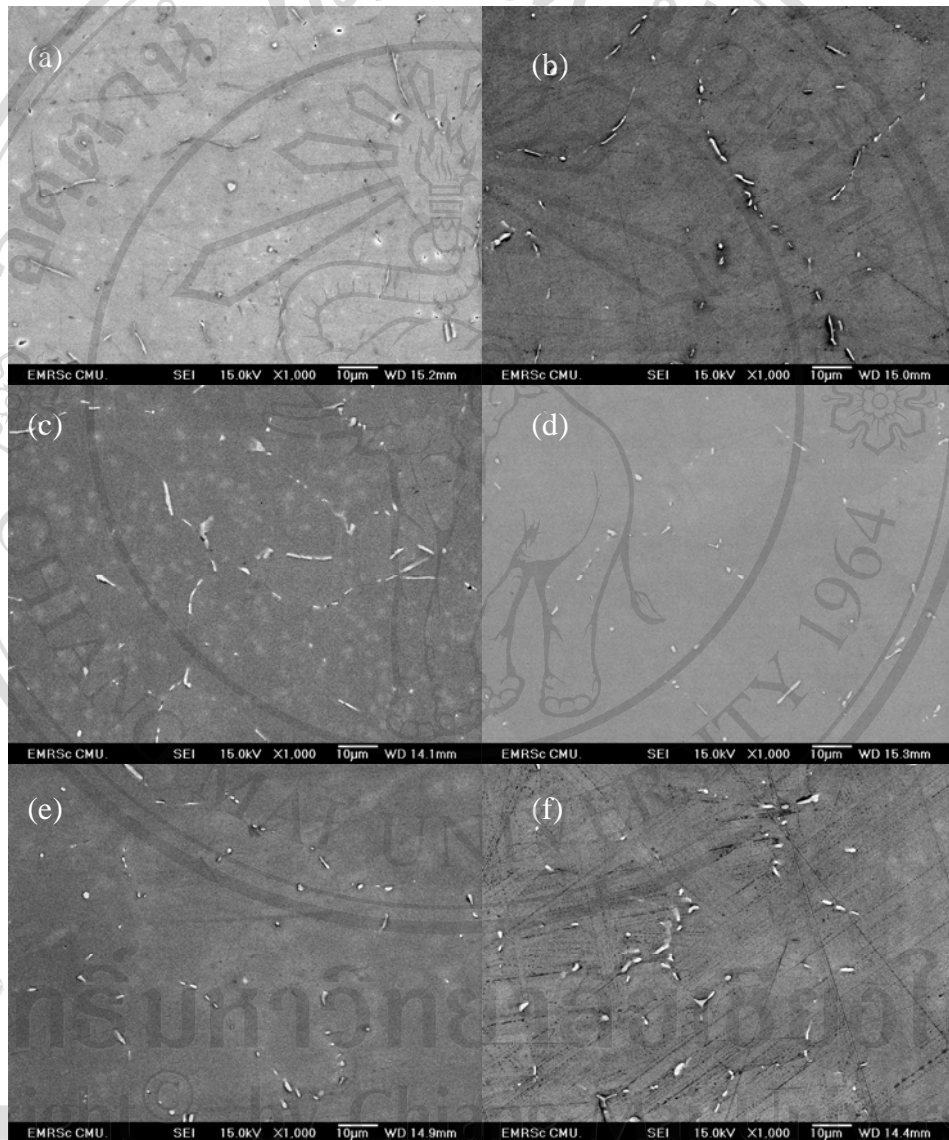
รูป ผ-24 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 100 เท่า ของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์จากภาคอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแช่ ที่อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัดลม



รูป ผ-25 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 400 เท่า ของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์จากภาคอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแห้ง ที่อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัดลม

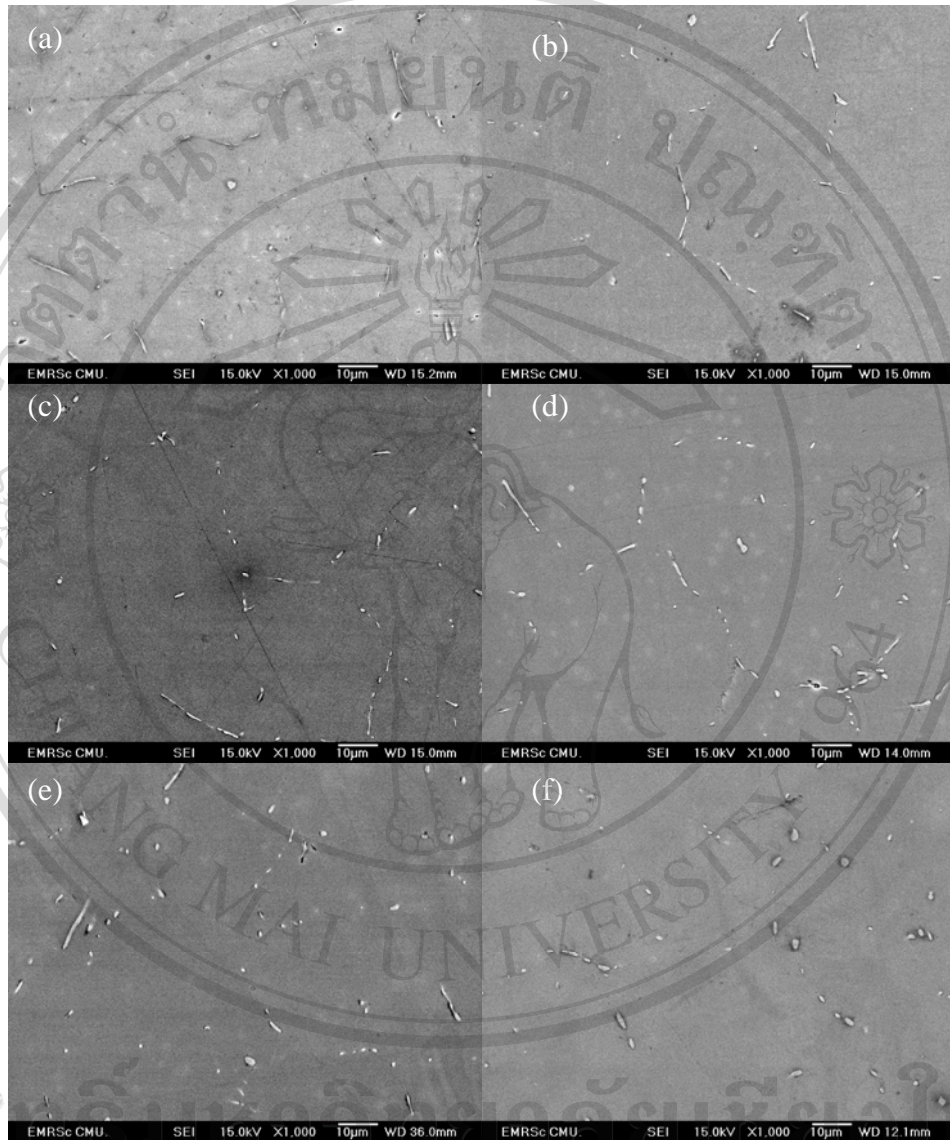
3 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของตัวอย่างจากการวิจัยในห้องปฏิบัติการ  
วิทยาศาสตร์

3.1 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่  
อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-26



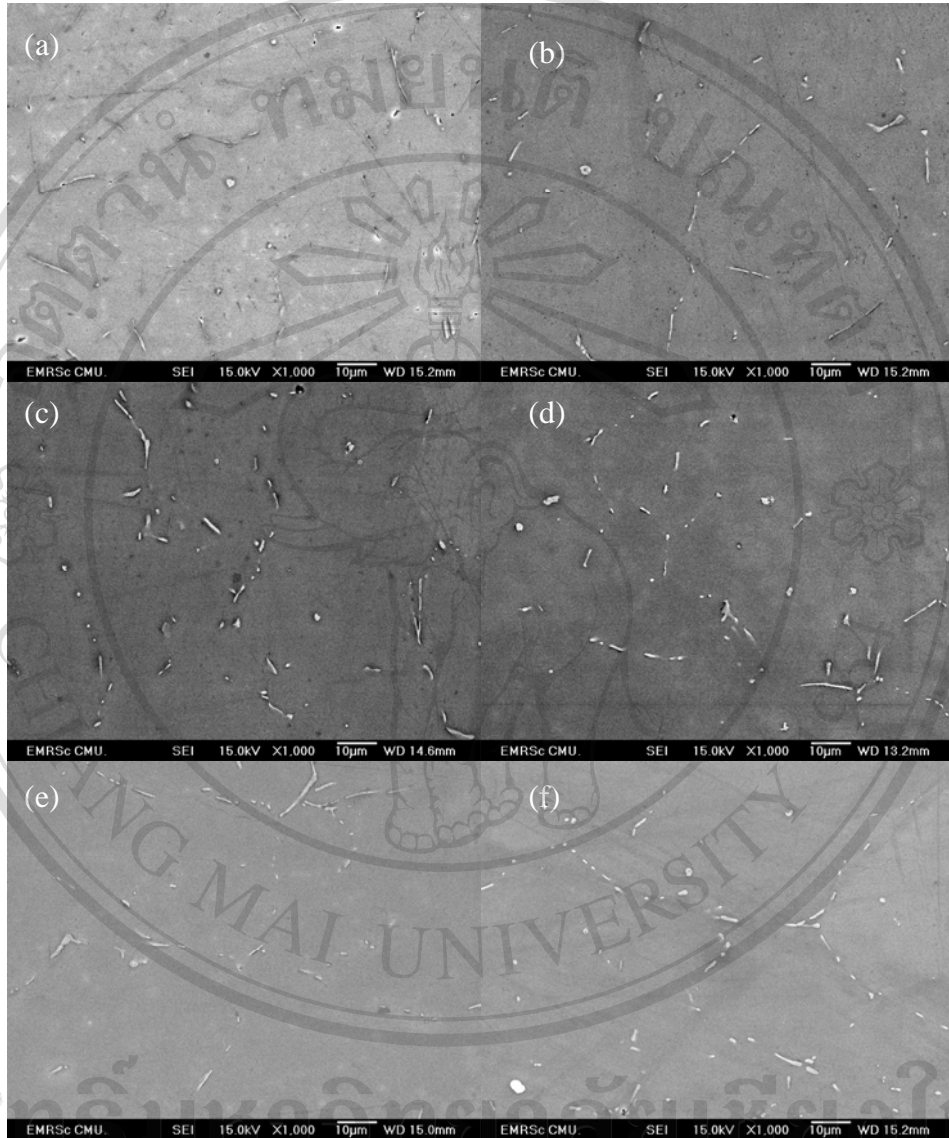
รูป ผ-26 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า  
(a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการโฮโมจี  
ไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C ตามลำดับ นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัว  
ด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง

3.2 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นนาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลลมที่ อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-27



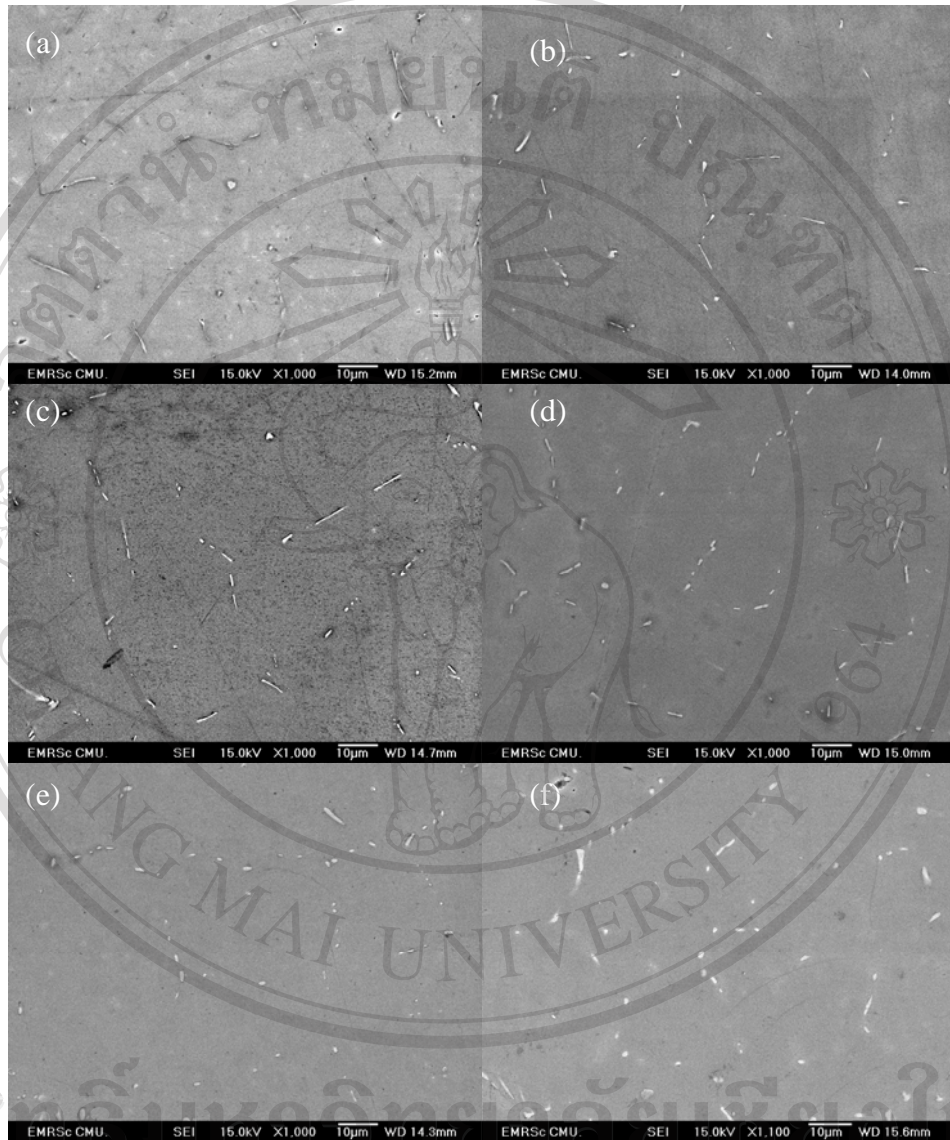
รูป ผ-27 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้น (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลลมที่อุณหภูมิห้อง

3.3 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นนาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-28



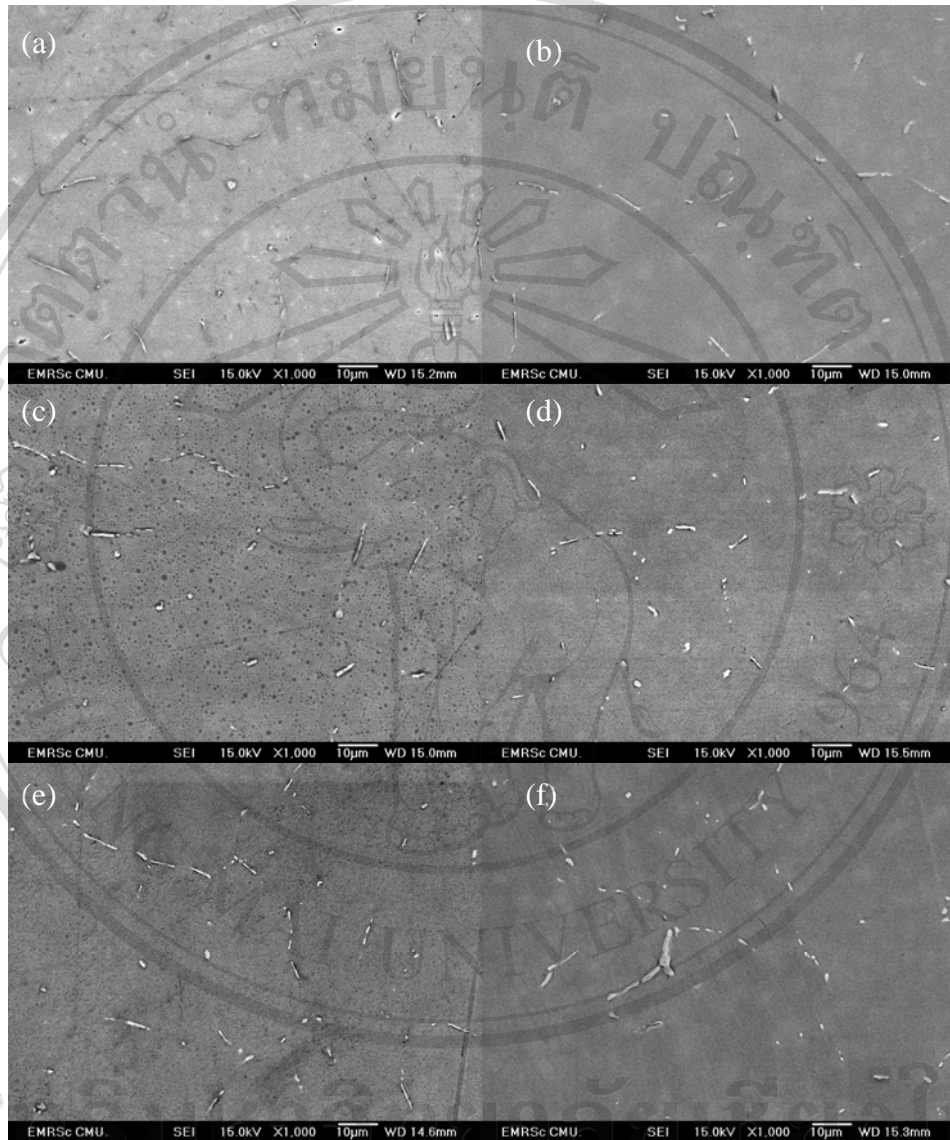
รูป ผ-28 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้น (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

3.4 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-29



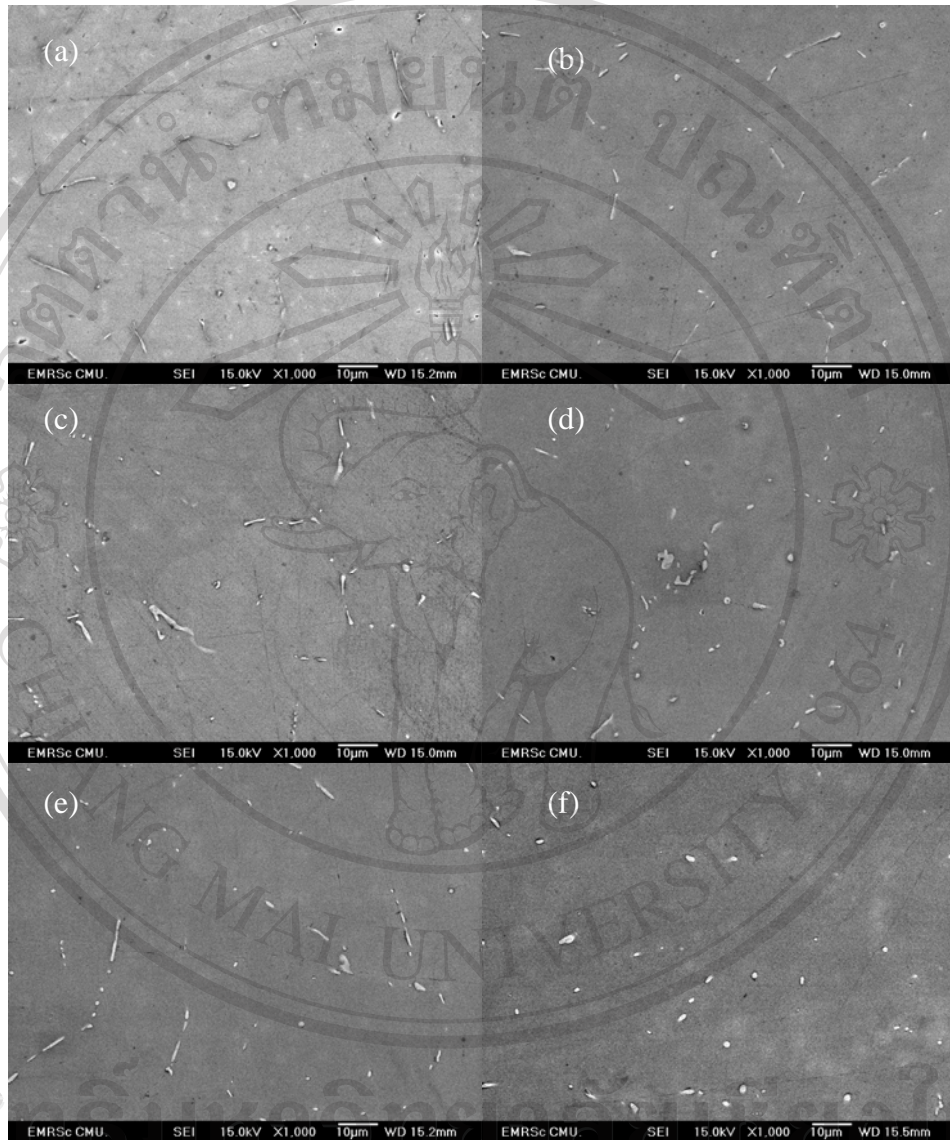
รูป ผ-29 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

3.5 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสม  
น้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-30



รูป ผ-30 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 508, 590, 600  $^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$

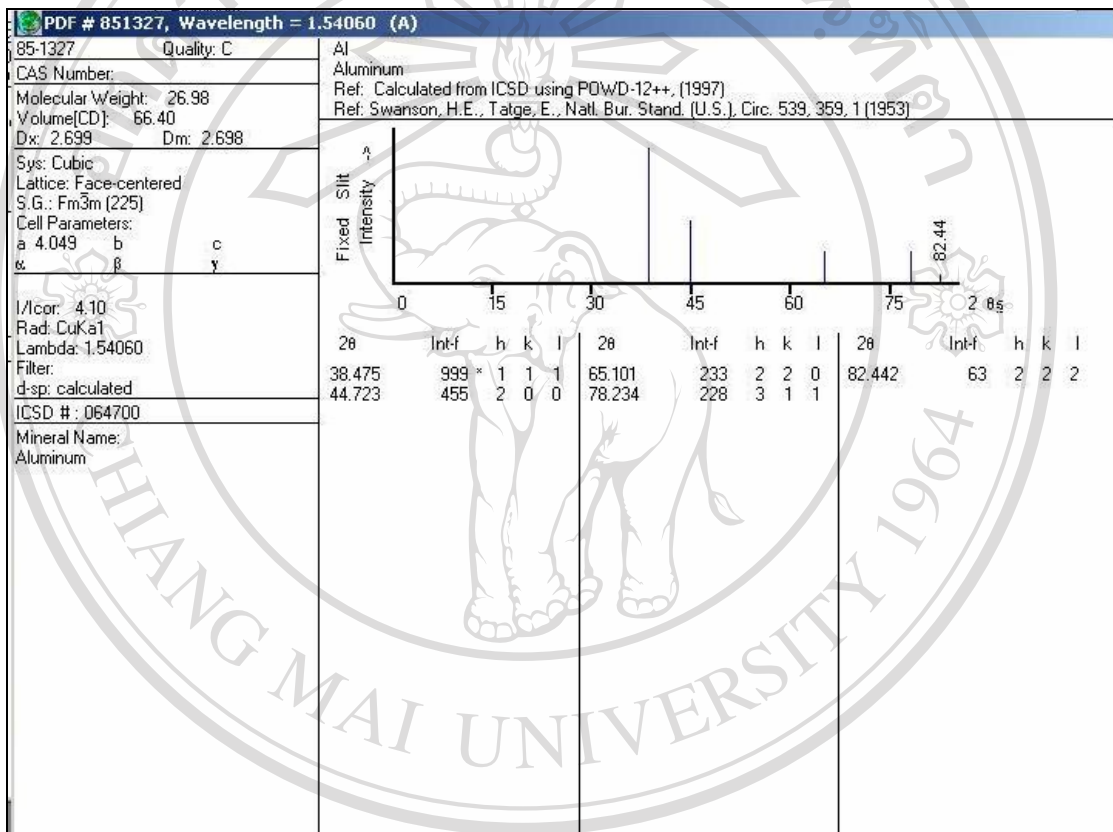
3.6 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นนาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูป ผ-31



รูป ผ-31 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า (a) ตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้น (b), (c), (d), (e) และ (f) ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นที่อุณหภูมิ 560, 570, 508, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C

ภาคผนวก ง

JCPDS ของอะลูมิเนียม ลิขสิทธิ์ ปี 2001 แสดงตามรูป ผ-32



รูปที่ ผ-32 JCPDF ของอะลูมิเนียม  
 ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวกนกวรรณ อุดรศักดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	31 พฤษภาคม 2524
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนวัดสันป่าสัก จังหวัดลำพูน ปีการศึกษา 2535 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสวนบุญโญปถัมภ์ลำพูน จังหวัดลำพูน ปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2546
ประวัติการทำงาน	เจ้าหน้าที่วิจัย บริษัทคำชัยอะลูมิเนียมบิลเลต 6063 จำกัด ปี 2547-2549

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved