

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการหาเทคนิควิธีในการเลือกโลหะดังกล่าว ได้ทำการทดลองทดสอบคุณสมบัติของโลหะแบบแผ่น โดยทำการทดสอบทั้ง การหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า โดยวิธีการวัดแบบ 4 จุด การทดสอบความแข็งและความเหนียว รวมทั้ง การขัดผิวโลหะเพื่อดู grain boundary

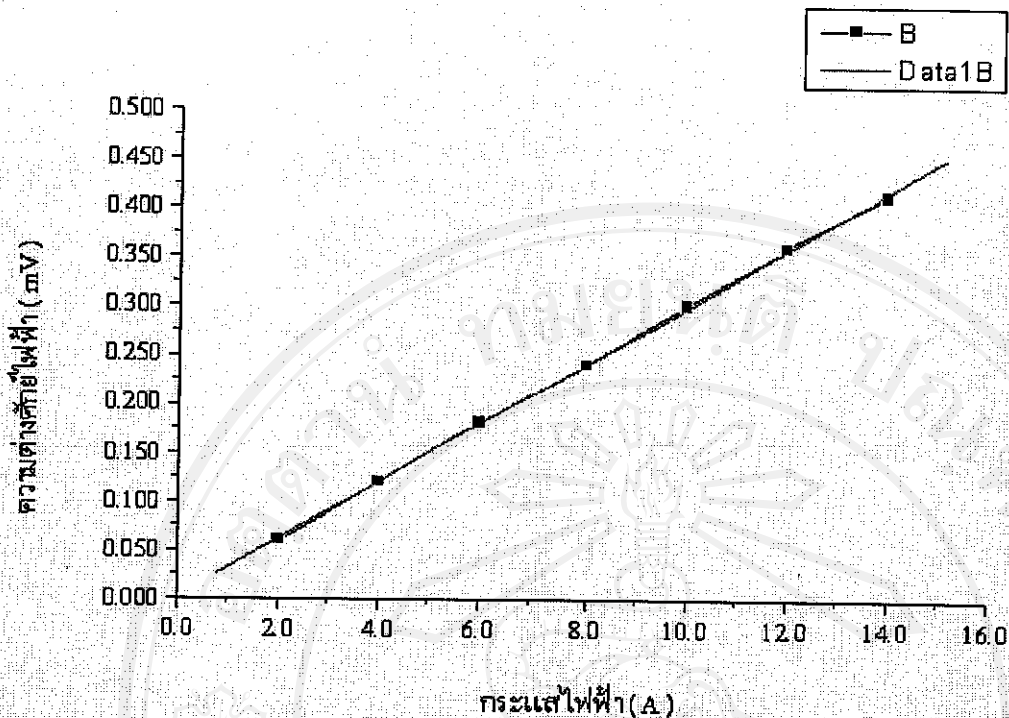
สำหรับผลการทดลองที่เสนอมีดังต่อไปนี้

1. ผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 จุด ของโลหะแบบแผ่น 3 ตัวอย่าง คือ UCC , NHK , PREMIUM
2. ผลการวัดค่าความแข็ง
3. ผลการวัดแรงดึง
4. ผลการขัดผิวและการวิเคราะห์หาค่าประกอบภายใน

4.1. ผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 จุด จะทำการเสนอผลการทดลองที่ได้ของโลหะแต่ละประเภท อย่างละ 1 ตัวอย่าง ซึ่งจะเสนอในรูปของตารางแสดง กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ รวมทั้งเสนอ กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ซึ่งผลการวัดทางไฟฟ้าและกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งหมด สามารถตรวจสอบได้จากภาคผนวก ข

ตาราง 4.1 ผลการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของโลหะ PREMIUM ความหนา 1.6 mm.

กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (mV)									ค่าเฉลี่ย
2	0.074	0.052	0.067	0.060	0.044	0.057	0.067	0.054	0.068	0.060
4	0.140	0.104	0.135	0.119	0.095	0.118	0.134	0.105	0.134	0.120
6	0.207	0.156	0.203	0.178	0.145	0.179	0.200	0.157	0.200	0.181
8	0.273	0.207	0.270	0.237	0.196	0.240	0.267	0.209	0.265	0.240
10	0.340	0.260	0.338	0.296	0.246	0.300	0.334	0.260	0.331	0.301
12	0.406	0.311	0.405	0.355	0.297	0.361	0.400	0.312	0.396	0.360
14	0.472	0.303	0.473	0.413	0.346	0.422	0.466	0.363	0.462	0.413



รูป 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้าของโลหะ

PREMIUM ความหนา 1.6 mm.

จากกราฟ สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

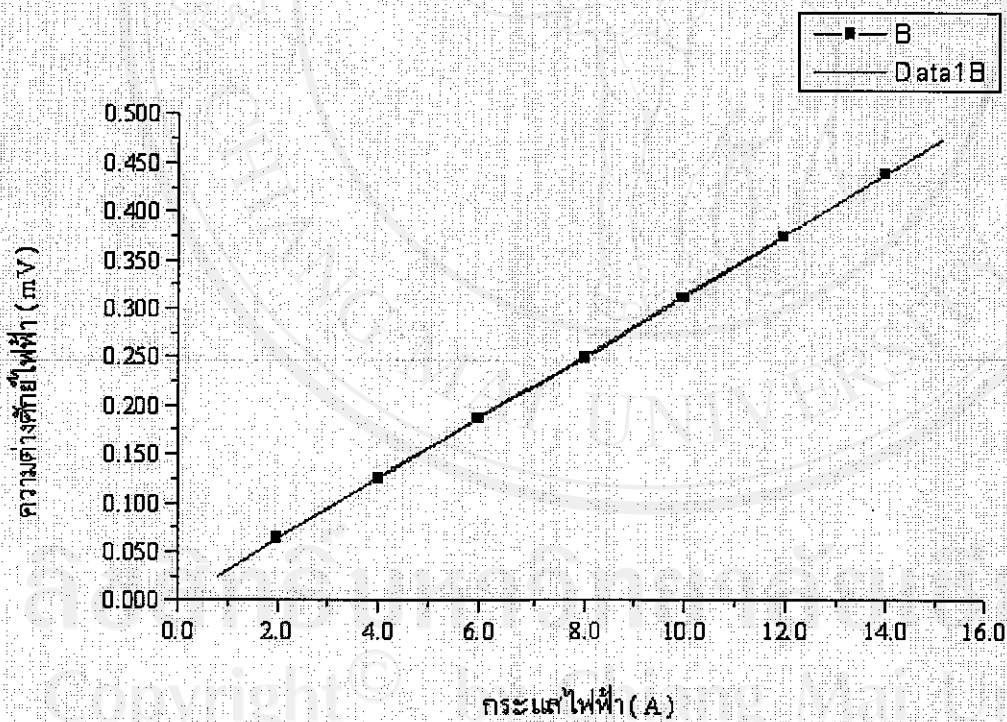
Parameter	Value	Error
A	0.00229	0.00213
B	0.02962	2.37842E-4
R	SD	N
0.99984	0.00252	7
		P
		<0.0001

ผลการวิเคราะห์กราฟ เชิงเส้น $Y = A + B * X$

B คือค่าความต้านทาน (R) ของโลหะแผ่น มีค่าเท่ากับ $2.962 \times 10^{-5} \Omega$

ตาราง 4.2 ผลการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของโลหะ UCC ความหนา 1.6 mm.

กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (mV)									ค่าเฉลี่ย
2	0.057	0.056	0.064	0.041	0.038	0.080	0.085	0.065	0.087	0.064
4	0.116	0.107	0.124	0.082	0.074	0.156	0.169	0.126	0.171	0.125
6	0.176	0.159	0.184	0.122	0.111	0.232	0.254	0.189	0.256	0.187
8	0.235	0.211	0.243	0.162	0.149	0.309	0.338	0.251	0.341	0.249
10	0.295	0.263	0.304	0.202	0.185	0.385	0.423	0.314	0.425	0.311
12	0.354	0.315	0.363	0.243	0.222	0.461	0.507	0.376	0.510	0.372
14	0.413	0.366	0.422	0.583	0.530	0.539	0.592	0.439	0.595	0.498



รูป 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้าของโลหะ UCC ความหนา 1.6 mm.

จากกราฟ สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	2.85714E-4	0.0011
B	0.0312	1.2346E-4
R	SD	N P
0.99996	0.00131	7 <0.0001

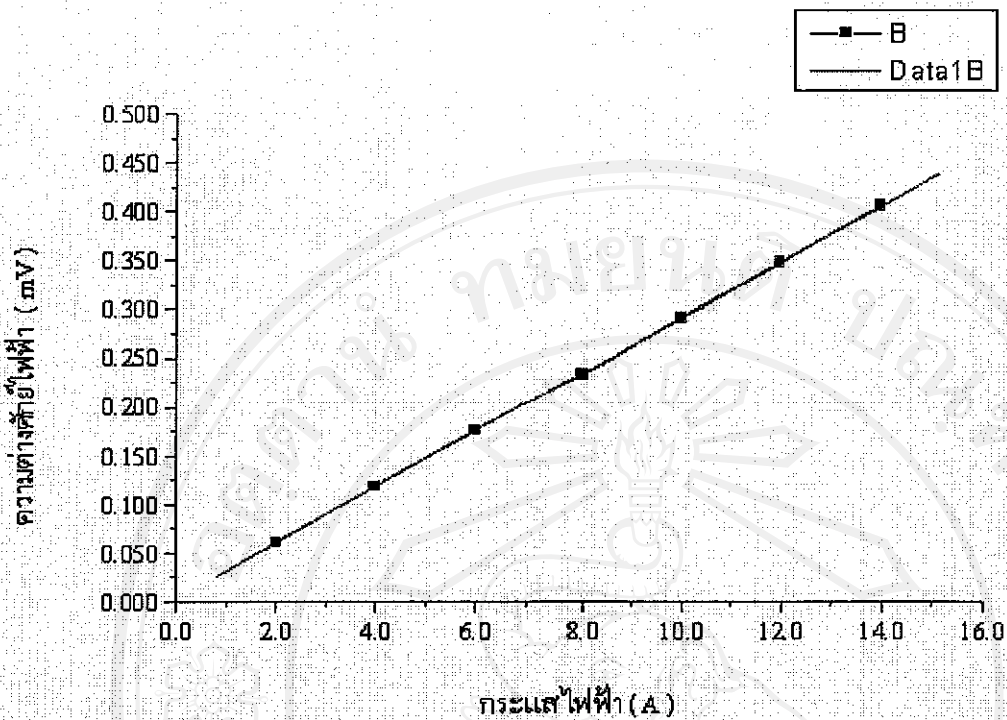
ผลการวิเคราะห์กราฟ เชิงเส้น $Y = A + B * X$

B คือค่าความต้านทาน (R) ของโลหะแผ่น มีค่าเท่ากับ $3.12 \times 10^{-5} \Omega$

ตาราง 4.3 ผลการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของโลหะ NHK ความหนา 1.6 mm.

กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (mV)									ค่าเฉลี่ย
2	0.069	0.051	0.074	0.062	0.048	0.066	0.069	0.048	0.061	0.061
4	0.140	0.102	0.142	0.112	0.094	0.125	0.133	0.093	0.124	0.118
6	0.212	0.153	0.209	0.162	0.137	0.184	0.197	0.140	0.186	0.176
8	0.284	0.204	0.278	0.212	0.182	0.243	0.261	0.186	0.249	0.233
10	0.356	0.225	0.343	0.263	0.226	0.303	0.325	0.231	0.321	0.291
12	0.428	0.306	0.418	0.312	0.271	0.362	0.389	0.277	0.375	0.349
14	0.501	0.356	0.486	0.362	0.317	0.423	0.454	0.323	0.438	0.407

All rights reserved



รูป 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้าของโลหะ NHK
ความหนา 1.6 mm.

จากกราฟ สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error	
A	0.00286	3.42559E-4	
B	0.02884	3.82993E-5	
R	SD	N	P
1	4.05322E-4	7	<0.0001

ผลการวิเคราะห์กราฟ เชิงเส้น $Y = A + B * X$

B คือค่าความต้านทาน (R) ของโลหะแผ่น มีค่าเท่ากับ $2.884 \times 10^{-5} \Omega$

ผลการทดลองที่ได้ จะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของโลหะแต่ละชนิดคือ

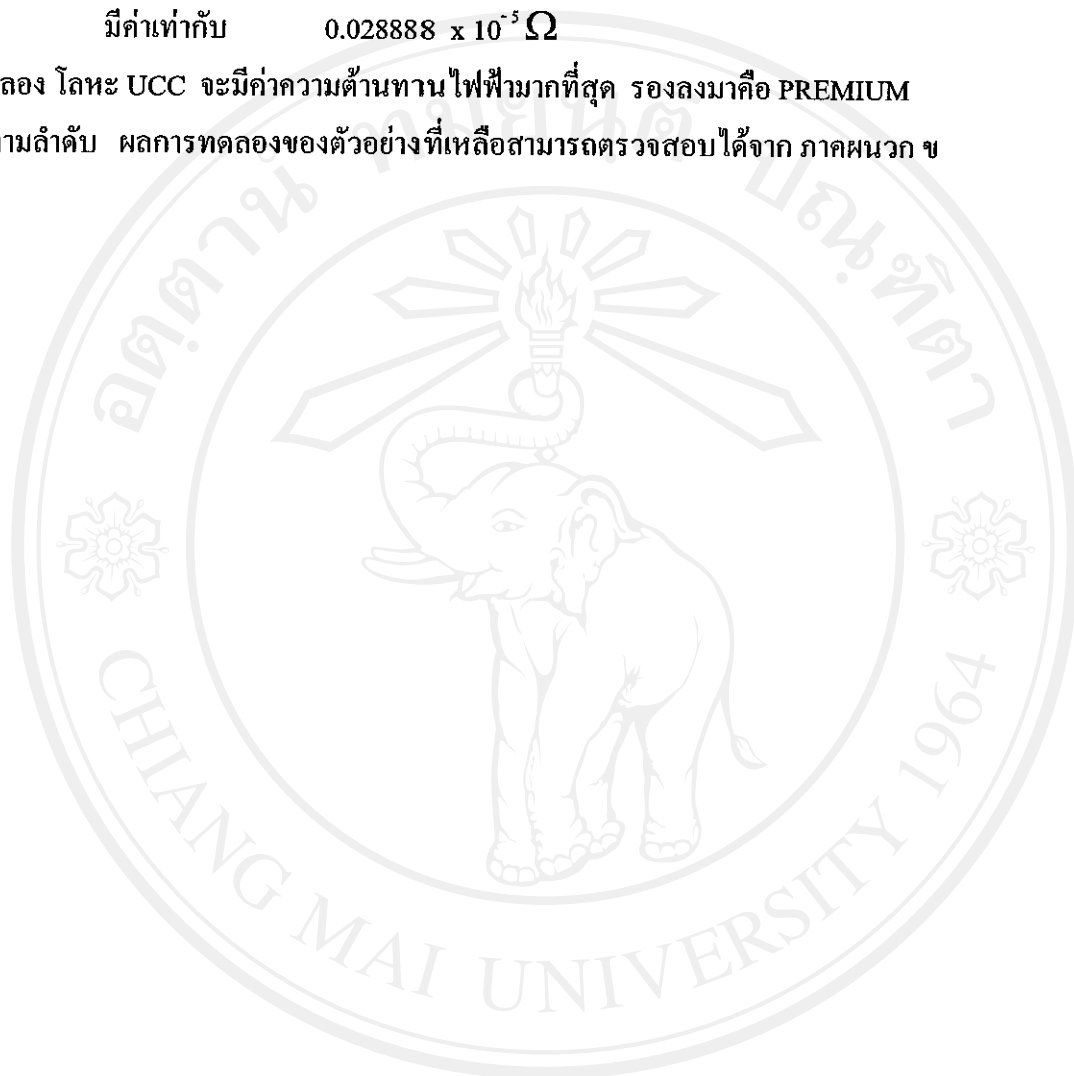
PREMIUM มีค่าเท่ากับ $0.030132 \times 10^{-5} \Omega$

UCC มีค่าเท่ากับ $0.036846 \times 10^{-5} \Omega$

NHK มีค่าเท่ากับ $0.028888 \times 10^{-5} \Omega$

จากผลการทดลอง โลหะ UCC จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือ PREMIUM

และ NHK ตามลำดับ ผลการทดลองของตัวอย่างที่เหลือสามารถตรวจสอบได้จาก ภาคผนวก ข



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

2. ผลการวัดความแข็งของโลหะ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Vickers Hardness Test

ผลการทดลองที่น่าสนใจ จะเป็นผลการวัดหาค่า ความแข็งของโลหะ แต่ละประเภท โดยในชิ้นโลหะ จะทำการวัด ทั้งหมด 12 จุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีผลดังตาราง

โลหะ PREMIUM

ตาราง 4.4 ผลการวัดค่าความแข็งของโลหะ PREMIUM จำนวน 4 ตัวอย่าง

PREMIUM SAMPLE 1			PREMIUM SAMPLE 2			PREMIUM SAMPLE 3			PREMIUM SAMPLE 4		
No.	d	result	No.	d	result	No.	d	result	No.	d	result
1	657	104	1	646	108	1	646	108	1	661	103
2	646	108	2	655	105	2	648	107	2	628	114
3	651	106	3	645	108	3	643	109	3	642	109
4	693	94	4	642	109	4	657	104	4	648	107
5	673	99	5	646	108	5	648	107	5	657	104
6	656	104	6	622	117	6	649	107	6	656	104
7	658	104	7	622	117	7	656	104	7	652	106
8	654	105	8	636	111	8	645	108	8	643	109
9	648	107	9	633	112	9	665	101	9	639	110
10	657	104	10	645	108	10	638	111	10	654	105
11	655	105	11	643	109	11	645	108	11	651	106
12	686	96	12	643	109	12	658	104	12	658	104
MAXIMIUM		108	MAXIMIUM		117	MAXIMIUM		111	MAXIMIUM		114
MINIMIUM		94	MINIMIUM		105	MINIMIUM		101	MINIMIUM		103
AVAGE		103	AVAGE		110	AVAGE		106	AVAGE		106
SD		5	SD		4	SD		3	SD		4

ผลการวัดค่าความแข็งของโลหะ ทั้ง 4 ตัวอย่าง จะมีค่าความแข็ง คือ 106.25

โลหะ UCC

ตาราง 4.5 ผลการวัดค่าความแข็งของโลหะ UCC จำนวน 4 ตัวอย่าง

UCC SAMPLE 1			UCC SAMPLE 2			UCC SAMPLE 3			UCC SAMPLE 4		
No.	d	result	No.	d	result	No.	d	result	No.	d	result
1	718	87	1	724	86	1	718	87	1	710	89
2	764	76	2	717	87	2	716	86	2	728	83
3	764	76	3	717	87	3	777	74	3	685	95
4	711	89	4	698	92	4	715	88	4	680	98
5	719	87	5	709	89	5	699	92	5	715	88
6	723	86	6	716	86	6	714	88	6	703	91
7	724	86	7	739	81	7	714	88	7	766	76
8	716	86	8	695	92	8	704	91	8	688	95
9	717	87	9	737	82	9	714	88	9	698	92
10	718	87	10	721	86	10	735	83	10	701	92
11	707	90	11	724	86	11	729	84	11	715	88
12	722	86	12	718	87	12	735	83	12	718	87
MAXIMUM		90	MAXIMUM		92	MAXIMUM		92	MAXIMUM		98
MINIMUM		76	MINIMUM		81	MINIMUM		74	MINIMUM		76
AVAGE		85	AVAGE		86	AVAGE		86	AVAGE		89
SD		5	SD		4	SD		5	SD		6

ผลการวัดค่าความแข็งของโลหะ ทั้ง 4 ตัวอย่าง จะมีค่าความแข็ง คือ 86.5

โลหะ NHK

ตาราง 4.6 ผลการวัดค่าความแข็งของโลหะ NHK จำนวน 4 ตัวอย่าง

NHK SAMPLE 1			NHK SAMPLE 2			NHK SAMPLE 3			NHK SAMPLE 4		
No.	d	result	No.	d	result	No.	d	result	No.	d	result
1	793	71	1	800	69	1	849	62	1	812	67
2	801	68	2	827	65	2	800	69	2	807	68
3	771	75	3	898	55	3	870	59	3	862	59
4	813	67	4	839	64	4	815	6	4	796	70
5	853	61	5	809	68	5	804	69	5	782	73
6	796	70	6	836	64	6	811	67	6	802	68
7	781	73	7	830	64	7	872	59	7	800	69
8	777	74	8	809	68	8	811	67	8	794	70
9	805	68	9	839	64	9	819	66	9	793	71
10	819	66	10	845	62	10	827	65	10	797	70
11	852	62	11	857	61	11	843	63	11	816	65
12	827	65	12	833	65	12	889	56	12	810	68
MAXIMUM		75	MAXIMUM		69	MAXIMUM		69	MAXIMUM		73
MINIMUM		61	MINIMUM		55	MINIMUM		56	MINIMUM		59
AVAGE		68	AVAGE		64	AVAGE		64	AVAGE		68
SD		5	SD		4	SD		5	SD		4

ผลการวัดค่าความแข็งของโลหะ ทั้ง 4 จะมีค่าความแข็ง คือ 66

จากการวิเคราะห์หาค่าความแข็งแบบ Vickers Hardness Test

โลหะทั้งสามชนิด จะมีค่าความแข็ง ดังนี้

PREMIUM มีค่า HV เท่ากับ 106.25

UCC มีค่า HV เท่ากับ 86.5

NHK มีค่า HV เท่ากับ 66

จากผลการทดสอบ โลหะที่มีความแข็งมากที่สุดคือ PREMIUM รองลงมาคือ UCC และ

NHK ตามลำดับ

3. ผลการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงของโลหะ จะทำการเสนอผลการทดสอบในรูปของ แต่ละชนิด จำนวน 12 ตัวอย่าง รวมทั้งเสนอกราฟที่ได้จากการทดลอง อย่างละ 1 ตัวอย่าง สำหรับกราฟผลการทดลองที่เหลือ จะนำเสนอ ในภาคผนวก ค

โลหะ PREMIUM

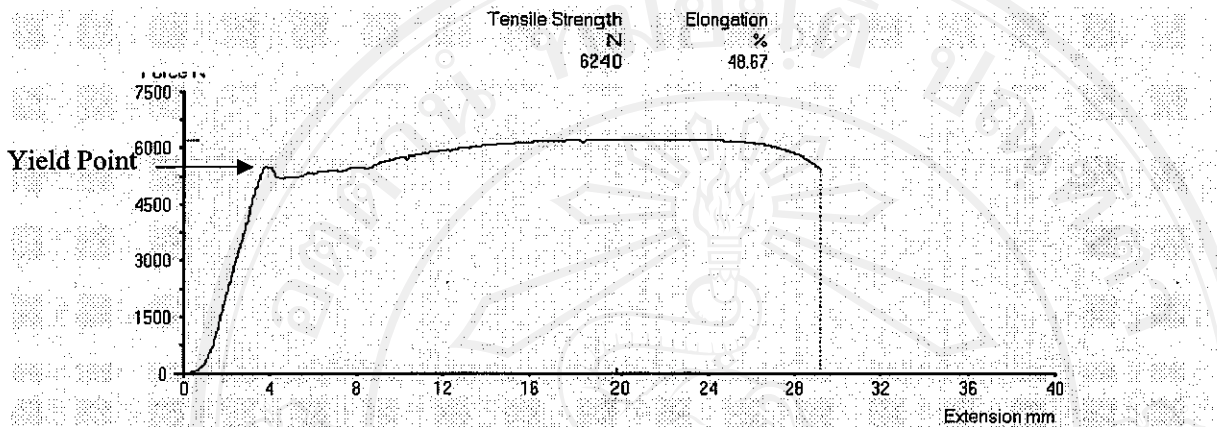
Machine Settings

- Load Range , N , 8000
- Extension Range , mm , 50.00
- Speed , mm/min , 50.00
- Sample Length , mm , 60.0
- Preload , N , 10.00

ตาราง 4.7 แสดงการทดสอบแรงดึงของโลหะ PREMIUM

Specimen No	Tensile Strength (N)	Elongation (%)
1	6008	50.3
2	6113	49.67
3	6195	52.7
4	6188	53.2
5	6203	54.1
6	6158	51.5
7	6270	52.7
8	6225	52.7
9	6278	52.7
10	6203	52.8
11	6075	54.5
12	6045	51.5

Mean	6163	52.4
Std. Dev	86.1	1.417
Maximum	6278	54.5
Minimum	6008	49.67



รูป 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึงกับระยะยืด ของโลหะ PREMIUM

จากตาราง ผลการทดลองที่ได้ โลหะ PREMIUM จะใช้แรงดึงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6163 นิวตัน ระยะยืด มีค่า 52.4 เปอร์เซ็นต์

จากกราฟ ลักษณะกราฟที่ได้ จะเห็นว่าโลหะ PREMIUM จะมีจุด ที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ซึ่งเรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์ กับวิศวกรรมมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป

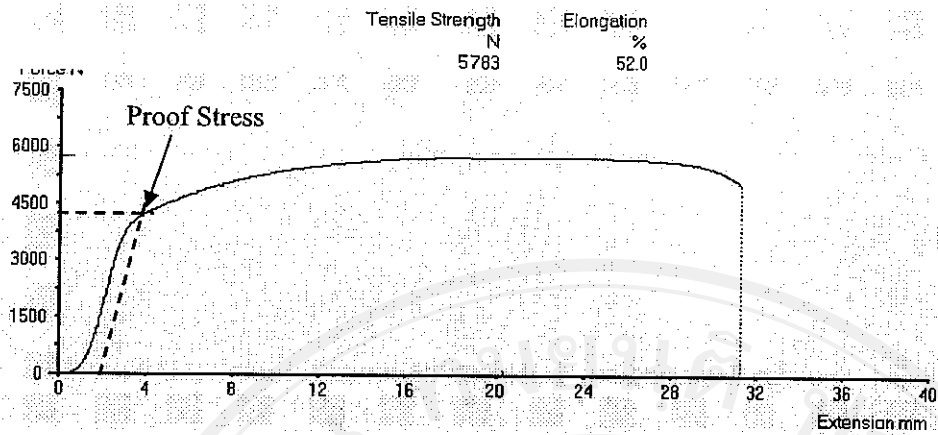
สำหรับ กราฟของตัวอย่างที่เหลือ ได้นำเสนออยู่ในภาคผนวก ซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับรูป

โลหะ UCC

- Machine Settings
- Load Range , N , 8000
 - Extension Range , mm , 50.00
 - Speed , mm/min , 50.00
 - Sample Length , mm , 60.0
 - Preload , N , 10.00

ตาราง 4.8 แสดงการทดสอบแรงดึงของโลหะ PREMIUM

Specimen No	Tensile Strength (N)	Elongation (%)
1	5618	52.8
2	5700	53.9
3	5730	56.0
4	5580	51.9
5	5648	53.2
6	5820	52.3
7	5820	52.0
8	5768	52.1
9	5715	53.7
10	5730	52.8
11	5708	54.7
12	5685	53.2
Mean	5710	53.2
Std. Dev	72.9	1.209
Maximum	5820	56.0
Minimum	5580	51.9



รูป 4.5 กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึงกับระยะยืด ของโลหะ UCC

จากตาราง ผลการทดลองที่ได้ โลหะ UCC จะใช้แรงดึงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5170 นิวตัน ระยะยืด มีค่า 53.2 เปอร์เซ็นต์

จากกราฟ ลักษณะกราฟที่ได้ จะเห็นว่าโลหะ UCC จะจะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่เราก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.10 - 0.20% ของความยาวกำหนดเดิม (Original Gage Length) แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นกราฟที่โค้งไปทางด้านขวา ดังกราฟ ค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) หรือความเค้น 0.1 หรือ 0.2% offset

สำหรับ กราฟของตัวอย่างที่เหลือ ได้นำเสนออยู่ในภาคผนวก ซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับรูป

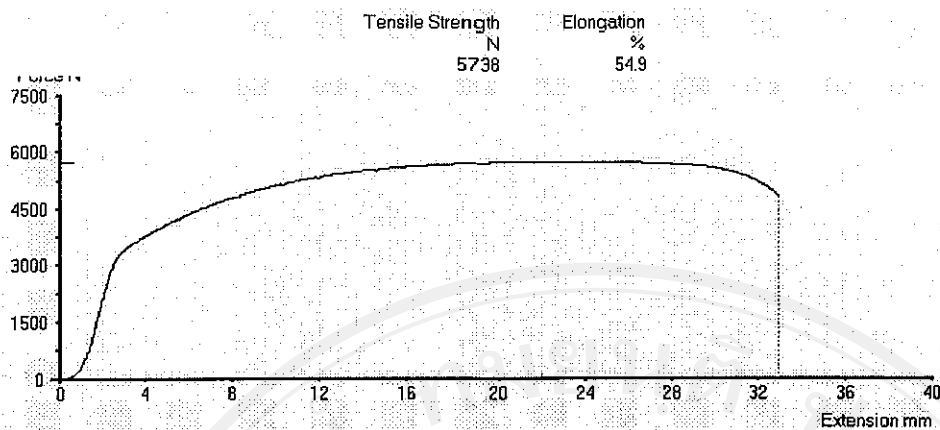
4.5

โลหะ NHK

Machine Settings , - Load Range , N , 8000
 - Extension Range , mm , 50.00
 Speed , mm/min , 50.00
 Sample Length , mm , 60.0
 Preload , N , 10.00

ตาราง 4.9 แสดงการทดสอบแรงดึงของโลหะ NHK

Specimen No	Tensile Strength (N)	Elongation (%)
1	5580	54.9
2	5528	55.9
3	5483	57.5
4	5363	58.5
5	5453	55.2
6	5445	56.7
7	5528	59.7
8	5520	57.5
9	5415	57.7
10	5453	58.7
11	5498	59.5
12	5520	58.3
Mean	5482	57.5
Std. Dev	59.4	1.579
Maximum	5580	59.7
Minimum	5363	54.9



รูป 4.6 กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึงกับระยะยืด ของโลหะ NHK

จากตาราง ผลการทดลองที่ได้ โลหะ NHK จะให้แรงดึงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5482 นิวตัน ระยะยืด มีค่า 57.5 เปอร์เซ็นต์

จากกราฟ ลักษณะกราฟที่ได้ จะเห็นว่าโลหะ NHK จะจะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน ซึ่งจะมีลักษณะที่เหมือนกับโลหะ PREMIUM แต่สามารถหาได้ แบบเดียวกับ โลหะ PREMIUM สำหรับ กราฟของตัวอย่างที่เหลือ ได้นำเสนออยู่ในภาคผนวก ซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับรูป

4.6

ผลการทดลองที่นำเสนอ ดังกล่าว ได้ว่า

โลหะ PREMIUM	ใช้แรงดึงเท่ากับ	6163	นิวตัน	มีระยะยืด	54.2 %
โลหะ UCC	ใช้แรงดึงเท่ากับ	5170	นิวตัน	มีระยะยืด	53.2 %
โลหะ NHK	ใช้แรงดึงเท่ากับ	5482	นิวตัน	มีระยะยืด	57.5 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

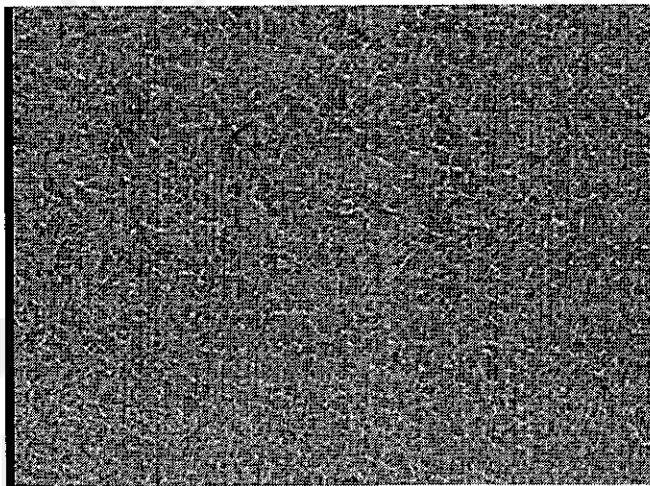
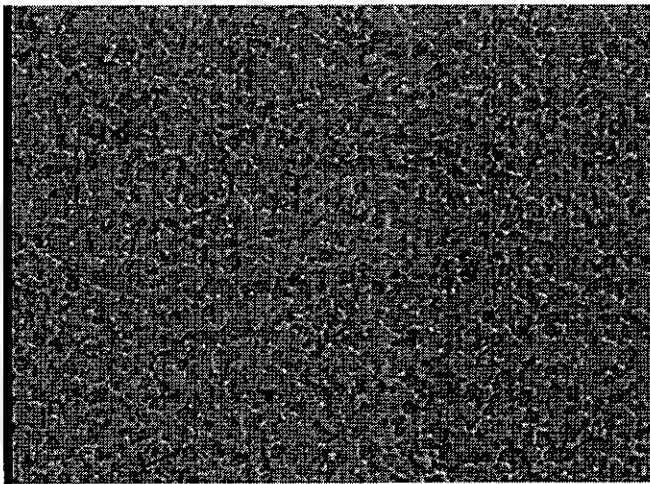
Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

4. การขัดพื้นผิวเพื่อดูโครงสร้าง

ได้ทำการขัดเพื่อดูลักษณะโครงสร้าง ภายนอกว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งมีการนำเสนอพื้นผิวโลหะที่ขัด แต่ละตัวอย่าง ผลการทดลองที่ได้มีลักษณะดังรูป โดยใช้กล้องที่มีกำลังขยาย 50 เท่า

โลหะ PREMIUM



รูป 4.7 พื้นผิวโลหะ PREMIUM

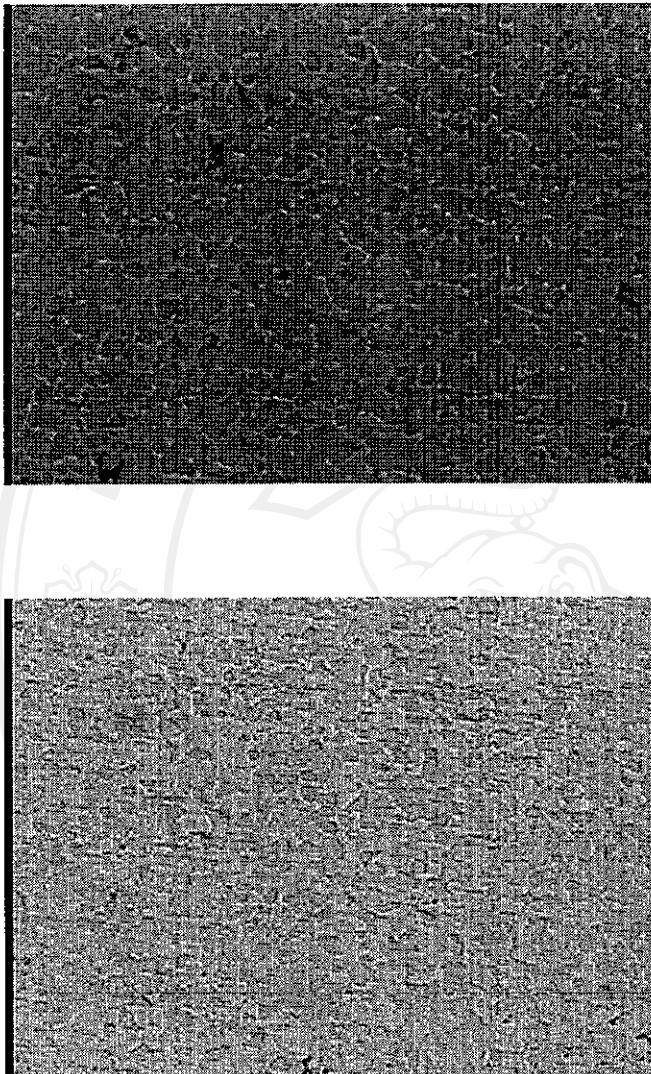
โลหะ UCC



รูป 4.8 พื้นผิวโลหะ UCC

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © Chiang Mai University
All rights reserved

โลหะ NHK



รูป 4.9 พื้นผิวโลหะ NHK

จากการวิเคราะห์ดูพื้นผิวภายนอก ของโลหะแต่ละตัวอย่าง จะไม่สามารถแยกความแตกต่างของโลหะแต่ละชนิดได้ เพราะพื้นผิวภายนอก มีลักษณะที่คล้ายกัน

4.5 ผลการวิเคราะห์ หอองค์ประกอบภายในของโลหะแต่ละตัวอย่าง โดย วิเคราะห์ EDS

ได้ผลการทดลอง ดังนี้

โลหะ PREMIUM

Spectrum processing :

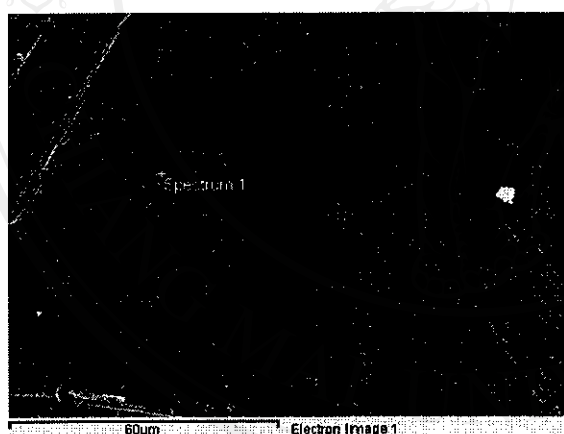
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

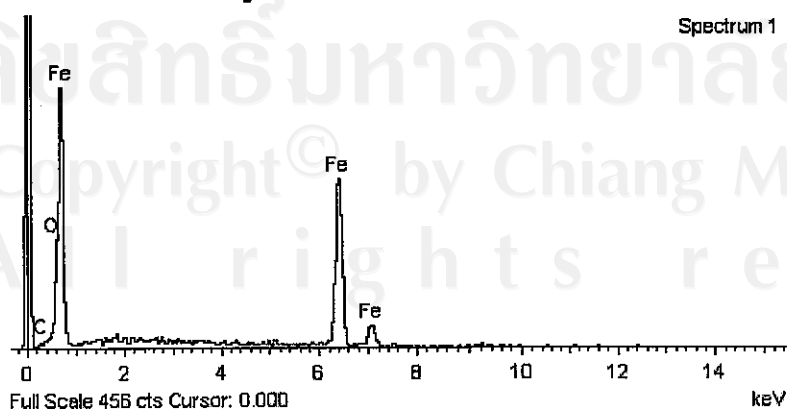
Number of iterations = 2

ตาราง 4.10 แสดง องค์ประกอบของโลหะ PREMIUM

Element	Weight%	Atomic%
C	1.08	4.75
O	0.51	1.70
Fe	98.41	93.55
Totals	100.00	



รูป 4.10 พื้นผิวโลหะ PREMIUM



รูป 4.11 กราฟแสดงองค์ประกอบภายในของ โลหะ PREMIUM

โลหะ UCC

Spectrum processing :

No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

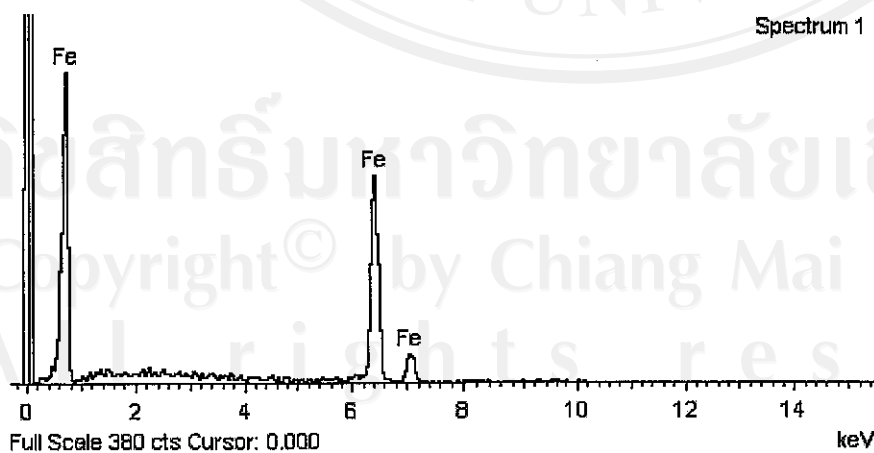
Number of iterations = 1

ตาราง 4.11 แสดง องค์ประกอบของโลหะ UCC

Element	Weight%	Atomic%
Fe	100.00	100.00
Totals	100.00	



รูป 4.12 พื้นผิวโลหะ UCC



รูป 4.13 กราฟแสดงองค์ประกอบภายในของ โลหะ UCC

โลหะ NHK

Spectrum processing :

No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

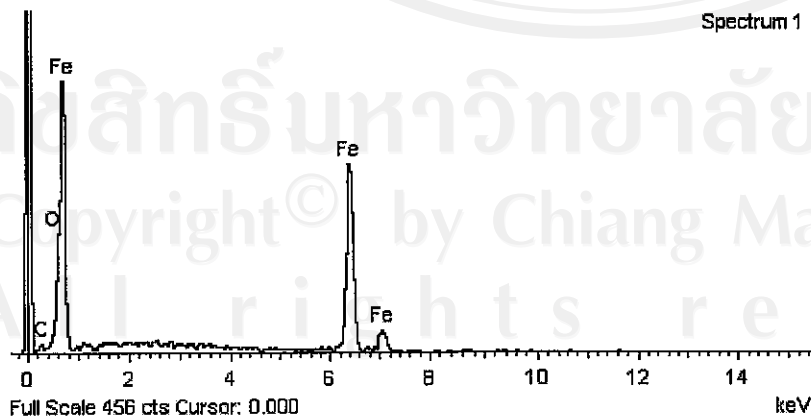
Number of iterations = 3

ตาราง 4.12 แสดง องค์ประกอบของโลหะ NHK

Element	Weight%	Atomic%
C	2.24	9.41
O	1.03	3.24
Fe	96.73	87.35
Totals	100.00	



รูป 4.14 พื้นผิวโลหะ UCC



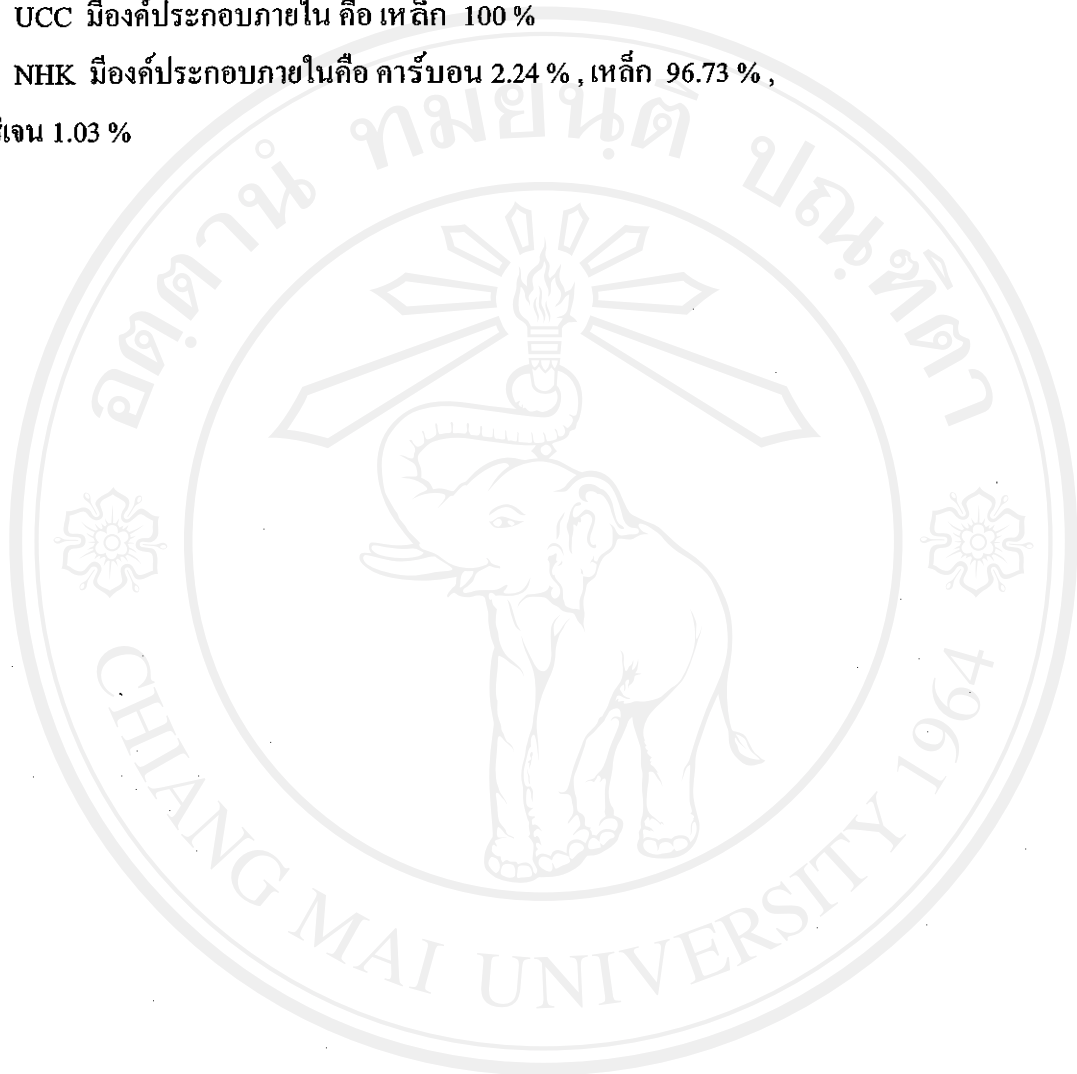
รูป 4.15 กราฟแสดงองค์ประกอบภายในของ โลหะ NHK

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบภายในของโลหะทั้งสามชนิดโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ EDS

โลหะ PREMIUM มีองค์ประกอบภายใน คือ คาร์บอน เท่ากับ 1.08 % , เหล็ก 98.41 % ,
ออกซิเจน 0.51 %

โลหะ UCC มีองค์ประกอบภายใน คือ เหล็ก 100 %

โลหะ NHK มีองค์ประกอบภายในคือ คาร์บอน 2.24 % , เหล็ก 96.73 % ,
ออกซิเจน 1.03 %



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved