

## รายการอ้างอิง

- 1) Sugihara, H., and Imaoka, Y. Technical Trends in Tapes Recording Fine Partice  
Ind.Eng.Chem.Prod.Res.Dev 23 (1984) : 330 - 333.
- 2) Manlison, J. C. The foundations of magnetic recording. 2nd ed. USA : Academic Press,  
INC.,1993 : 29 - 34.
- 3) Imaoka, Y., Takada, T., Hamabata, T., and Maruta, F. Advance in magnetic recording media.  
Proceedings of the International Conference (1980) : 516 - 520.
- 4) Bate, G. Particulate recording materials. Proceedings of the IEEE 74 (November - 1986) :  
1513 - 1525.
- 5) Shackelford, J.F. Introduction to materials science for engineers. Macmillan Publishing  
(1985): 498 - 501
- 6) สุนทร พงศ์พันธ์. คุณภาพของเส้นเทป. คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ 88 (2527) :181 - 188.
- 7) คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ฟิสิกส์ 2 พิมพ์ครั้งที่  
3. กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2534) : 96 - 118
- 8) Itoh, F. On the coervlcity and chemical structure in nonstoichiometric iron oxide particle.  
Proceeding of the Internation Conference, (1980) : 573 - 540
- 9) Wohlfarth, E.P. Ferromagnetic materials. Vol 2, North-Holland Publishing company, 1980  
: 381 - 507
- 10) Monteil, J. B., and Dougier, P.A mew prepaton process of cobalt modified iron oxide  
particle. Proceeding of the International Conference, (1980) : 532 - 536
- 11) Kiyama, M., and Takada, T. Iron compounds formed by the aerial oxidation of ferrous salt  
solutions. Bulletin of The Chemical Society of Japan 45(1972):1923-1924.
- 12) Sohn, J.G., etc. Fabrication of iron oxides as magnetic recording materials from waste  
pickling acid of iron works. The 2nd Int. Sym. on East Asian Resource  
Recycling Tech 2
- 13) Mccurrie, R.A. Ferromagnetic materials structure and properties. San Diego : Academic Press  
Inc, 1994 : 171 - 187

- 14) Naono, H., and Nakai, K. Thermal decomposition of  $\gamma$  - FeOOH fine particles. Journal of Colloid and Interface Science 128 (March 1989) : 146 - 156.
- 15) Mackay, A. L.  $\beta$  - Ferric Oxyhydroxide. Mineral Mag 32 (1960) : 545 - 556.
- 16) Okamoto, S. Structure of  $\delta$  - FeOOH. Journal of The American Ceramic Society 51 (October 1968) : 594 - 599
- 17) Kuo, P.C., Chang, C.Y., and Wu, T.S. Preparation and some magnetic properties of acicular  $\gamma$  - FeOOH,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\gamma$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  powders. Journal of Materials Science Letter 1 (1982) : 137 - 140
- 18) Camras, M. Magnetic impulse record member, magnetic material and method of making magnetic material. US Patent 2,694,656.
- 19) Leitner, L. Production of finely divided acicular magnetic iron oxides. US Patent 3,947,502.
- 20) Hsu, J.H. Recent development of  $\gamma$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  magnetic recording particles. Proceedings of the Fifth Symposium on Magnetism and Magnetic Material (1989) : 130 - 153.
- 21) Derie, R., Ghogsi, M., and Calvo-Roche, C. DTA study of the dehydration of synthetic goethite  $\alpha$  - FeOOH. Journal of Thermal Analysis 9 (1974) :435 - 440.
- 22) Kiyama, M. Conditions for the formation of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  by the air oxidation of  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  suspensions. Bulletin of The Chemical Society of Japan 47 (1974) : 1646 - 1650.
- 23) Feitknecht, W. Z. Elektrochem 63 (1959) : 34.
- 24) Solcova, A., etc. Oxidation of ferrous sulphate in neutral and weakly alkaline solutions. Collection Czechoslovak Chem. Commun 46 (1981) : 3049 - 3056.
- 25) Mayne, J.E.O. The oxidation of ferrous hydroxide. Journal of Chemical Society (1953) : 129 - 132.
- 26) Deiss and Schikorr. Z. Anorg. Chem 32 (1928) : 172.
- 27) Girard and Chandron. Compt. rend 127 (1935) : 200.
- 28) Krause. Z. Anorg. Chem 145 (1928) : 174.
- 29) ผศ.ดร. ชัยตรี สมศิริ และ ดร. เล็ก อุตตมะศิริ. การสังเคราะห์เหล็กออกไซด์ (  $\gamma$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมบันทึกเสียง. สถาบันวิจัยโลหะ และวัสดุจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2538) : D-2

- 30) Herbst, J.A. and Sepulveda, J.L. Particle size analysis. Mineral Processing Handbook (1979)  
: 41
- 31) Rollason, E.C., Metallurgy for Engineers. Great Britain : Richard Clay (The Chancer Press)  
Ltd.,(1973) : 57.
- 32) Sigma Chemical Company., Biochemicals Organic Compounds for Research and Diagnostic  
Reagents. (1993) : 1951.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ก

### อุปกรณ์ และ วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- 1) สารเฟอร์รัสซัลเฟต ที่มีความบริสุทธิ์ เท่ากับ 99.5% min

ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีอื่น ๆ (% โดยน้ำหนัก) ดังต่อไปนี้

สูตรทางเคมี  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  มวลโมเลกุล เท่ากับ 278.05

- $\text{H}_2\text{SO}_4$	เท่ากับ 0.005	- Cl	เท่ากับ 0.0005
- $\text{PO}_4$	เท่ากับ 0.0005	- N	เท่ากับ 0.005
- As	เท่ากับ 0.00004	- Fe	เท่ากับ 0.02
- Mg	เท่ากับ 0.005	- Ca	เท่ากับ 0.01
- K	เท่ากับ 0.05	- Na	เท่ากับ 0.03
- Mn	เท่ากับ 0.05	- Cu	เท่ากับ 0.001
- Pb	เท่ากับ 0.002	- Cr	เท่ากับ 0.008
- Zn	เท่ากับ 0.002		

- 2) สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความบริสุทธิ์ เท่ากับ 98% min

ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีอื่น ๆ (% โดยน้ำหนัก) ดังต่อไปนี้

สูตรทางเคมี  $\text{NaOH}$  มวลโมเลกุล เท่ากับ 39.997

- $\text{Na}_2\text{CO}_3$	เท่ากับ 0.8	- Cl	เท่ากับ 0.0005
- $\text{PO}_4$	เท่ากับ 0.0005	- N	เท่ากับ 0.003
- As	เท่ากับ 0.00004	- Fe	เท่ากับ 0.0005
- Mg	เท่ากับ 0.005	- Ca	เท่ากับ 0.001
- K	เท่ากับ 0.01	- Na	เท่ากับ 0.03
- Mn	เท่ากับ 0.05	- Cu	เท่ากับ 0.0005
- Pb	เท่ากับ 0.0005	- Cr	เท่ากับ 0.008
- Zn	เท่ากับ 0.0005	- Ni	เท่ากับ 0.0005
- $\text{SiO}_2$	เท่ากับ 0.005	- Hg	เท่ากับ 0.00001
- $\text{SO}_4$	เท่ากับ 0.0005	- Al	เท่ากับ 0.001

3) ก๊าซท่อ จากบริษัท ทีไอทีจีที จำกัด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1) ก๊าซไนโตรเจนมีความบริสุทธิ์ 99.999% (โดยปริมาตร)

3.2) ก๊าซไฮโดรเจนประกอบด้วย ไฮโดรเจน 99.5% (โดยปริมาตร)  
ออกซิเจน น้อยกว่า 1,000 ppm  
ความชื้น น้อยกว่า 100 ppm

3.3) อากาศประกอบด้วย ออกซิเจน 21% (โดยปริมาตร)  
ไนโตรเจน Bal.  
ความชื้น น้อยกว่า 25 ppm  
มีเทน น้อยกว่า 1 ppm

- 4) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ LUADA รุ่น WK 230
- 5) เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง ยี่ห้อ EUTECH CYBERNETICS รุ่น Cyberscan 1000
- 6) เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ ยี่ห้อ Dwyer
- 7) เครื่องกวนสารละลาย ยี่ห้อ JANKE & KUNKEL IKA-LABORTECHNITE รุ่น RE 16
- 8) เตาอบสารให้แห้ง ยี่ห้อ MEMMERT
- 9) เครื่องชั่งน้ำหนักสาร ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น BA 2100S
- 10) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟคชัน (X-Ray Diffraction) ยี่ห้อ PHILIP รุ่น TW 3710
- 11) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TEM ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM - 200CX
- 12) เตาท่อ ยี่ห้อ STUART SCIENTIFIC รุ่น S1207 PID
- 13) เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ METRIC 1 รุ่น ST - 430 - 109
- 14) บีกเกอร์
- 15) ถ้วยบดสาร
- 16) ไม้ตีสสาร
- 17) กระดาษกรองสาร

## ภาคผนวก ข

### กรรมวิธีการเตรียมสาร และการวิเคราะห์สาร

#### 1) กรรมวิธีการเตรียมสารสำหรับการศึกษาในขั้นตอนกรรมวิธีทางเคมี

1.1) กรรมวิธีในการเตรียมสารที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายเพอร์ริสซัลเฟต (R) โดยกำหนดค่า R ที่จะศึกษา 4 ค่า คือ

ก) ค่า R เท่ากับ 2

โดยเตรียมจากสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตรผสมกับสารละลายเพอร์ริสซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ในปริมาตรเท่ากัน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์เตรียมได้จากการนำสารไซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวนเท่ากับ 16 กรัมมาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน ส่วนสารละลายเพอร์ริสซัลเฟตนั้นเตรียมได้จากการนำสารเพอร์ริสซัลเฟต จำนวน 55.6 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน.

ข) ค่า R เท่ากับ 3

โดยเตรียมจากสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตรผสมกับสารละลายเพอร์ริสซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ในปริมาตรเท่ากัน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์เตรียมได้จากการนำสารไซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวนเท่ากับ 24 กรัมมาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน ส่วนสารละลายเพอร์ริสซัลเฟตนั้นเตรียมได้จากการนำสารเพอร์ริสซัลเฟต จำนวน 55.6 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน.



ค) ค่า R เท่ากับ 6

โดยเตรียมจากสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตรผสมกับสารละลายเฟอร์ริสซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ในปริมาตรเท่ากัน สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เตรียมได้จากการนำสารไฮเดียมไฮดรอกไซด์จำนวนเท่ากับ 24 กรัมมาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน ส่วนสารละลายเฟอร์ริสซัลเฟตนั้นเตรียมได้จากการนำสารเฟอร์ริสซัลเฟต จำนวน 27.8 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน.

ง) ค่า R เท่ากับ 8

โดยเตรียมจากสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตรผสมกับสารละลายเฟอร์ริสซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.375 โมลต่อลิตรในปริมาตรเท่ากัน สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เตรียมได้จากการนำสารไฮเดียมไฮดรอกไซด์จำนวนเท่ากับ 24 กรัมมาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน ส่วนสารละลายเฟอร์ริสซัลเฟตนั้นเตรียมได้จากการนำสารเฟอร์ริสซัลเฟตจำนวน 20.85 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ที่มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้ละลายจนหมด หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายดังกล่าวจนมีปริมาตรเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนให้เข้ากัน.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

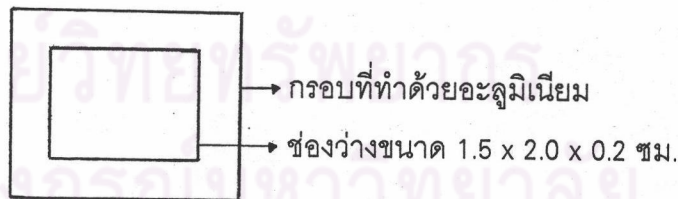


## 2) การศึกษาการวิเคราะห์สารด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟคชัน (X-Ray Diffraction)

การวิเคราะห์สารด้วยวิธีนี้ สามารถบ่งบอกประเภทของสารประกอบต่าง ๆ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อรังสีเอกซ์ชนผลึกที่ผิวในมุม  $\theta$  อะตอมที่ผิวจะเลี้ยวเบนรังสีนี้ ส่วนรังสีที่ไม่ถูกเลี้ยวเบนจะผ่านเข้าไปสู่อะตอมที่อยู่ชั้นที่สอง และเกิดการเลี้ยวเบน และรังสีส่วนที่เหลือจะผ่านเข้าอะตอมชั้นอื่นถัดไป และเกิดการเลี้ยวเบนตามกฎของแบรกก์ (Bragg's Law) ซึ่งมีสมการดังนี้คือ  $\lambda = 2nd \sin\theta$  โดยที่  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น  $d$  คือ ระยะระหว่างชั้นของอะตอม และ  $\theta$  คือมุมที่หักเหไป สำหรับลักษณะการเลี้ยวเบนของผลึกของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปเกิดเป็นรูปแบบของรังสีเอกซ์ (X-Ray Pattern) และได้มีการรวบรวมข้อมูลของสารประกอบต่าง ๆ โดย Joint Committee on Powder Diffraction Standard ซึ่งได้ทำการสรุปรูปแบบของรังสีเอกซ์ของสารต่างๆ ไว้มากมาย โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้นี้เท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ ข-1 ถึง ข-10

กรรมวิธีในการเตรียมสารสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟคชัน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) บดสารให้ละเอียด
- 2) นำสารที่ผ่านการบดละเอียดเรียบร้อยแล้วมาทำการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงคัดขนาด เพื่อคัดขนาดให้มีอนุภาคเล็กกว่า 45 ไมครอน
- 3) นำสารที่มีผ่านการคัดขนาดเรียบร้อยแล้วมาอัดลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่มีช่องว่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง และความยาว เท่ากับ 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีความลึกเท่ากับ 2 มิลลิเมตร สำหรับบรรจุสาร ซึ่งมีรูปร่างดังรูปที่ ข-1



รูปที่ ข-1 แผ่นอะลูมิเนียมสำหรับบรรจุสาร

- 4) นำแผ่นอะลูมิเนียมที่บรรจุสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟคชัน

ตารางที่ ข-1 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารอัลฟาเฟอริกออกไซด์ (  $\alpha$  - FeOOH )

d value	Angle	Rel.Int.
4.9800	17.796	12
4.1830	21.223	100
3.3830	26.323	10
2.6930	33.242	35
2.5830	34.701	12
2.5270	35.496	4
2.4890	36.056	10
2.4500	36.650	50
2.3030	39.081	1
2.2530	39.985	14
2.1900	41.187	18
2.0890	43.276	1
2.0110	45.045	2
1.9200	47.306	5
1.8020	50.614	6
1.7728	51.508	1
1.7192	53.238	20
1.6906	54.212	6
1.6593	55.321	3
1.6037	57.413	4
1.5637	59.025	10
1.5614	59.121	8
1.5091	61.386	8
1.4675	63.324	2
1.4541	63.976	5
1.4207	65.667	2
1.3936	67.111	3
1.3694	68.459	2
1.3590	69.057	3
1.3459	69.826	1
1.3173	71.572	3
1.2921	73.191	1
1.2654	74.997	1
1.2437	76.539	1
1.1994	79.918	1
1.1506	84.053	1
1.1445	84.605	1
1.1263	86.302	1

ตารางที่ ข-2 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารเบต้าเฟอริกออกไซด์ ( $\beta$  - FeOOH )

d value	Angle	Rel.Int.
7.4670	11.842	40
5.2760	16.790	30
3.7280	23.849	5
3.3330	26.725	100
2.6344	34.003	25
2.5502	35.162	55
2.4830	36.146	2
2.3559	38.169	9
2.2952	39.220	35
2.1038	42.956	7
2.0666	43.769	7
1.9540	46.434	20
1.8624	48.863	4
1.8072	50.458	1
1.7557	52.047	15
1.7299	52.883	3
1.6658	55.087	1
1.6434	55.903	35
1.5155	61.099	9
1.5034	61.644	5
1.4896	62.278	3
1.4852	62.484	3
1.4577	63.800	1
1.4456	64.398	15

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารแกมมาเฟอริกออกไซด์ ( $\gamma$ -FeOOH)

d value	Angle	Rel. Int.
6.2600	14.136	100
3.2900	27.081	90
2.9700	30.064	10
2.4700	36.343	80
2.3600	38.101	20
2.0900	43.254	20
1.9370	46.866	70
1.8480	49.269	20
1.7320	52.814	40
1.5660	58.930	20
1.5350	60.242	20
1.5240	60.722	40
1.4960	61.982	10
1.4490	64.228	10
1.4330	65.033	20
1.4180	65.808	10
1.3890	67.362	10
1.3670	68.596	30
1.2610	75.304	10
1.2130	78.845	10
1.1960	80.191	20
1.1890	80.760	20
1.1000	88.898	20
1.0750	91.542	40

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ข-4 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารเคลือบเฟอร์ริกออกไซด์ ( $\delta$  - FeOOH )

d value	Angle	Rel.Int.
4.6100	19.238	20
2.5450	35.236	100
2.2550	39.948	100
1.6850	54.407	100
1.4710	63.156	100
1.2710	74.610	20
1.2230	78.077	20
1.1040	88.491	20
0.9650	105.924	20
0.9430	109.544	20

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-5 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารเฮมาไทต์ ( $\alpha$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

d value	Angle	Rel.Int.
3.6840	24.138	30
2.7000	33.153	100
2.5190	35.612	70
2.2920	39.277	3
2.2070	40.855	20
2.0779	43.519	3
1.8406	49.480	40
1.6941	54.091	45
1.6367	56.152	1
1.6033	57.429	5
1.5992	57.590	10
1.4859	62.451	30
1.4538	63.991	30
1.4138	66.028	1
1.3497	69.601	3
1.3115	71.937	10
1.3064	72.262	6
1.2592	75.430	8
1.2276	77.730	4
1.2141	78.760	2
1.1896	80.711	5
1.1632	82.940	5
1.1411	84.916	7
1.1035	88.542	7
1.0768	91.345	2
1.0557	93.715	7
1.0428	95.239	1
1.0393	95.663	3
0.9892	102.285	4
0.9715	104.914	1
0.9606	106.623	5
0.9581	107.025	4
0.9516	108.090	5
0.9318	111.518	2
0.9206	113.594	2
0.9081	116.045	5
0.8998	117.758	1
0.8954	118.697	3
0.8789	122.431	6
0.8648	125.929	1
0.8543	128.758	3

ตารางที่ ข-6 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารแมกนีไทต์ ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

d value	Angle	Rel.Int.
4.8520	18.270	8
2.9670	30.095	30
2.5320	35.423	100
2.4243	37.053	8
2.0993	43.053	20
1.7146	53.392	10
1.6158	56.944	30
1.4845	62.516	40
1.4192	65.745	2
1.3277	70.926	4
1.2807	73.950	10
1.2659	74.962	4
1.2119	78.931	2
1.1221	86.704	4
1.0930	89.620	12
1.0496	94.428	6
0.9896	102.228	2
0.9695	105.222	6
0.9632	106.209	4
0.9388	110.273	4
0.8952	118.741	2
0.8802	122.124	6
0.8569	128.038	8
0.8233	138.659	4
0.8117	143.244	6
0.8080	144.857	4

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-7 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารแมกนีไมต์ ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

d value	Angle	Rel.Int.
5.9180	14.958	5
4.8220	18.384	4
3.7400	23.772	5
3.4110	26.103	5
2.9530	30.241	35
2.7840	32.125	2
2.6435	33.883	2
2.5177	35.631	100
2.4119	37.250	3
2.3163	38.848	1
2.2320	40.378	1
2.0886	43.285	16
2.0255	44.705	1
1.9685	46.072	1
1.8224	50.008	2
1.7045	53.734	10
1.6703	54.926	1
1.6379	56.107	1
1.6073	57.273	24
1.5507	59.570	1
1.5248	60.687	2
1.4758	62.927	34
1.4537	63.996	1
1.4322	65.074	1
1.3919	67.203	1
1.3730	68.255	1
1.3547	69.307	1
1.3204	71.378	3
1.3042	72.403	1
1.2730	74.473	5
1.2590	75.445	2
1.2450	76.445	1
1.2314	77.445	1
1.2053	79.449	1
1.1931	80.426	1
1.1810	81.422	1
1.1365	85.341	1
1.1159	87.307	2
1.0966	89.247	1
1.0872	90.229	7
1.0439	95.107	3



ตารางที่ ข-8 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของสารวูฟไซด์ ( FeO )

d value	Angle	Rel.Int.
2.4900	36.041	80
2.1530	41.928	100
1.5230	60.766	60
1.2990	72.740	25
1.2430	76.590	15
1.0770	91.324	15
0.9880	102.458	10
0.9631	106.225	15

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-9 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของโลหะเหล็ก ( Fe )

d value	Angle	Rel.Int.
2.0268	44.674	100
1.4332	65.023	20
1.1702	82.335	30
1.0134	98.949	10
0.9064	116.390	12
0.8275	137.144	6



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

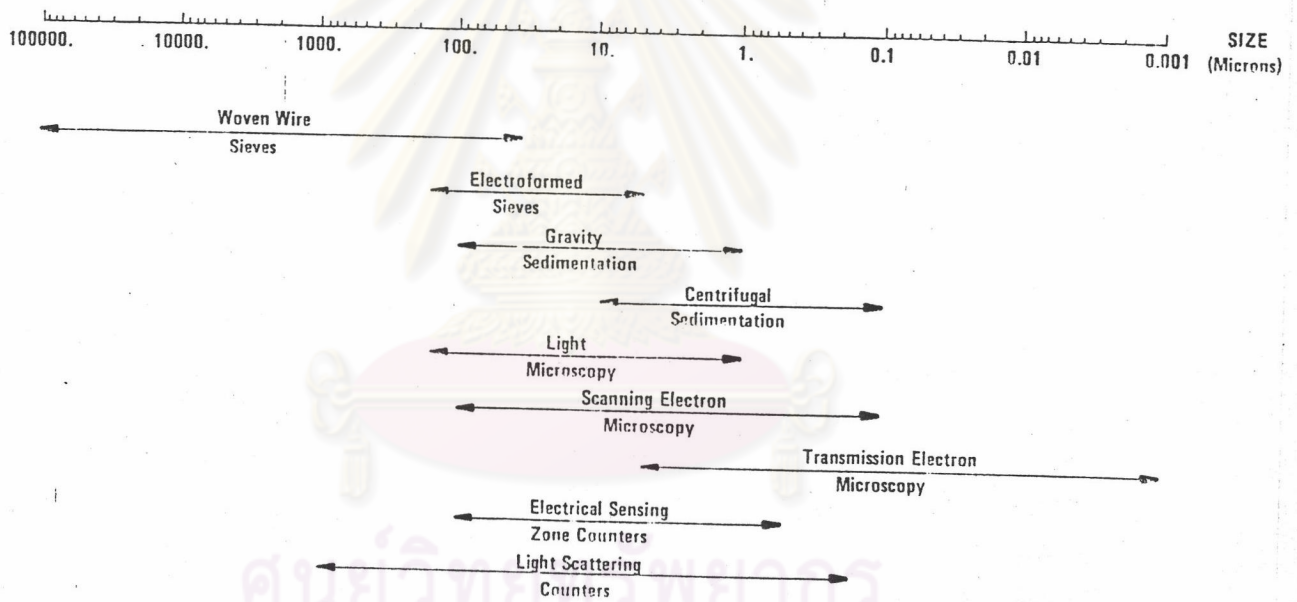
ตารางที่ ข-10 แสดงมุมที่เกิดการหักเหของโลหะอะลูมิเนียม ( Al )

d value	Angle	Rel. Int.
8.0400	11.023	75
7.8000	11.363	45
7.2100	12.296	55
6.8200	13.003	10
6.3800	13.904	10
4.7500	18.712	45
4.3500	20.450	35
4.2400	20.987	100
4.0800	21.820	35
3.9100	22.781	10
3.6400	24.496	30
3.5700	24.984	40
3.5100	25.418	20
3.4700	25.716	20
3.4100	26.176	35
3.3900	26.334	15
3.2800	27.233	20
3.1900	28.017	40
2.9870	29.964	4
2.9080	30.798	5
2.7990	32.029	9
2.7300	32.861	10
2.6910	33.351	4
2.5540	35.197	4
2.3960	37.602	15
2.2950	39.324	20
2.2270	40.576	15
2.2040	41.019	10
2.1800	41.491	10
2.0330	44.646	6
1.9590	46.429	8
1.9400	46.911	10
1.8170	50.299	8

ศูนย์วิจัยทรัพยากรธรณี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การศึกษาการวิเคราะห์สารด้วยกล้องทรานสมิสชันอิเล็กตรอนไมโครสโคป  
(Transmission electron microscope)

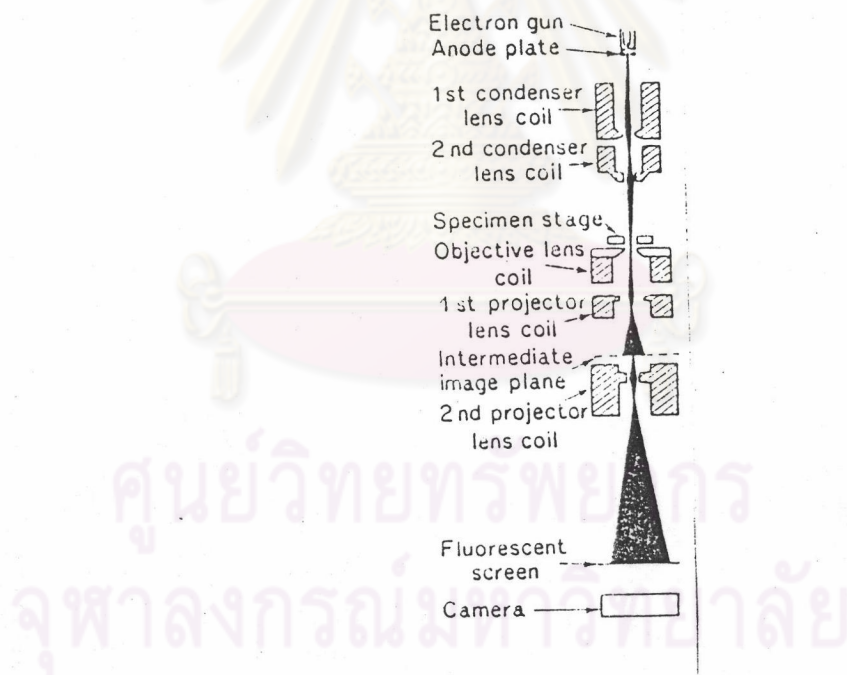
การใช้กล้องทรานสมิสชันอิเล็กตรอนไมโครสโคป (TEM) ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปร่าง และขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการศึกษาอนุภาคที่มีขนาดเล็กได้ดี เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่นดังรูปที่ ข-2



รูปที่ ข-2 อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษารูปร่าง และขนาดอนุภาคของสาร (30)



กล้องทรานสมิสชันอิเล็กตรอนไมโครสโคป (TEM) มีหลักการทำงานดังต่อไปนี้คือ เริ่มจากลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) จะผ่านคอนเดนเซอร์เลนส์ (Condenser lens) เพื่อที่จะบีบลำแสงอิเล็กตรอนให้ผ่านชิ้นงานที่จะวิเคราะห์มากที่สุด หลังจากทีอิเล็กตรอนผ่านชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ก็จะผ่านเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งได้แก่ วัตถุประสงค์เลนส์ (Objective lens) อินเตอร์มีเดียเลนส์ (Intermediate lens) และ โปรเจคเตอร์เลนส์ (Projector lens) ตามลำดับ หลังจากทีคลื่นอิเล็กตรอนถูกขยายโดยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ก็จะตกลงบนฉากฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent screen) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นอิเล็กตรอนที่มากกระทบให้กลายเป็นคลื่นที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ตามลำดับ รูปที่ ข-3 แสดงส่วนประกอบของกล้องทรานสมิสชันอิเล็กตรอนไมโครสโคป



รูปที่ ข-3 แสดงส่วนประกอบของกล้องทรานสมิสชันอิเล็กตรอนไมโครสโคป (31)

กรรมวิธีการเตรียมสารสำหรับการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป มีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

- 1) นำสารที่ต้องการวิเคราะห์จำนวน 1 กรัม มาผสมในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 1 ลิตร
- 2) นำสารผสมดังกล่าวมาแยกอนุภาคให้หลุดออกจากกันเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ โดยใช้เครื่องสั่นแบบคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (Ultrasonic vibration) เป็นเวลา 30 นาที
- 3) นำกริดทองแดง (Copper grid) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.05 มิลลิเมตรและมีจำนวนช่องภายในกริดทองแดง เท่ากับ 300 ช่อง ดังรูปที่ ข-4 มาติดด้วยแผ่นฟอร์มวาร์ (Form var)




รูปที่ ข-4 แสดงถึงลักษณะของกริดทองแดง (32)

- 4) นำกริดทองแดงที่ผ่านขั้นตอนที่ 3 มาทำการเคลือบด้วยคาร์บอนโดยเครื่องเคลือบคาร์บอน (Carbon coater) เพื่อให้นำไฟฟ้า
- 5) หยดสารผสมที่เตรียมไว้ลงบนกริดทองแดง โดยจะต้องระมัดระวังอย่าให้แผ่นฟอร์มวาร์ที่ติดอยู่บนกริดทองแดงนั้นหลุดออกมาเพราะจะทำให้สารตัวอย่างนั้นหลุดออกจากกริดทองแดง
- 6) นำกริดทองแดงที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 มาใส่ในเดซิเคเตอร์ (Desiccator) เพื่อที่จะทำให้สารแห้ง และ ป้องกันฝุ่นละอองซึ่งอาจจะตกลงมาปนกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ โดยทิ้งกริดทองแดงไว้ในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 7) นำกริดทองแดงที่แห้งเรียบร้อยแล้วมาทำการวิเคราะห์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป



ประวัติผู้เขียน

นายวิโรจน์ กมลเดชเดชา เกิดเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2513 ที่อำเภอบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2535 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ พ.ศ. 2536 จนถึงปัจจุบัน.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย