

# การผลิตแอนติโมนีไตรออกไซด์จากแร่พลวง

## โดยกระบวนการไฮโดรเมทัลเลอร์จี

### Production of Antimony Trioxide from Antimony Ore by Hydrometallurgical Process

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณเดชะ  
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### บทคัดย่อ

แอนติโมนีไตรออกไซด์ ( $Sb_2O_3$ ) สามารถผลิตโดยตรงจากแร่พลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยกระบวนการแปรสภาพแร่ทางเคมี (Hydrometallurgical process)

จากการทดลองสกัดแร่พลวงซึ่งมี Sb content 33.85% โดยน้ำหนัก ในสารละลายกรดซึ่งมีความเข้มข้นและอัตราส่วน Sb:HCl ต่างๆ กัน ณ อุณหภูมิห้อง 50, 70 และ 90 °C ตามลำดับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด Sb จากแร่พลวง คือ ทำการละลายแร่พลวงในสารละลาย HCl เข้มข้น 60% โดยปริมาตร ในอัตราส่วน Sb:HCl เท่ากับ 1:18 (น้ำหนัก:ปริมาตร) ณ อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง

เมื่อนำสารละลาย  $SbCl_3$  ที่สกัดได้มาทำการไฮโดรไลซิส จะได้ตะกอนขาวของแอนติโมนีออกไซด์ไฮดรอกไซด์ จากนั้นปรับสภาพ pH เป็นกลางด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จะได้ตะกอนขาวของแอนติโมนีไตรออกไซด์ตามต้องการ

จากการทดลองตกตะกอนแอนติโมนีออกไซด์ไฮดรอกไซด์ ณ อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่าการตกตะกอน ณ อุณหภูมิต่ำ มีแนวโน้มได้ตะกอนแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่มีรูปร่างผลึกเป็น cubic ซึ่งมีคุณภาพสูงกว่าตะกอนที่มีรูปร่างผลึกเป็น rhombic

#### บทนำ

แอนติโมนีไตรออกไซด์เป็นสารประกอบหลักตัวหนึ่งของสารประกอบแอนติโมนี เป็นผลึกสีขาวโดยความเข้มของสี (Tinting Strength) ขึ้นกับขนาดของผลึก มีโครงสร้าง 2 แบบ

คือ Cubic Senarmonite และ Orthorhombic Valentinite มีสมบัติทางกายภาพดังนี้

Chemical Formula	:----- $Sb_2O_3$
Molecular Weight	:-----291.52
Melting Point	:-----656° C
Boiling Point	:-----1425° C
Refractive Index	:-----2.1
Specific Gravity	:-----5.3-5.8
Hardness	:-----2.0-2.5 Mohs
Oil Absorption	:-----9-12 g/100g $Sb_2O_3$

Solubility	: - ละลายน้ำได้น้อยมาก (0.01 g/l ที่ 100 °C) - ละลายได้บ้างในสารละลายต่าง โดยการละลายเปลี่ยนแปลงตาม Basicity ของตัวทำละลายต่าง - ละลายได้ดีในกรด HCl และ $H_2SO_4$ แต่ไม่ละลายในกรด $HNO_3$ - ละลายได้ดีในซัลไฟต์ ได้เป็นสารละลาย Thioantimonate - ละลายได้ดีมากในกรดทาร์ทริก ได้เป็นสารละลาย Antimony tartarate
------------	--

แอนติโมนีไตรออกไซด์ เป็นสารประกอบที่สำคัญที่สุดในบรรดาสารประกอบแอนติโมนีทั้งหลาย โดยส่วนใหญ่

ใช้เป็นสารชะลอการติดไฟ (flame retardant) ในพลาสติก สี สิ่งทอและยาง จากสถิติการใช้ประโยชน์แอนติโมนีในอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกา (1) พบว่าประมาณ 72% ของแอนติโมนีใช้เป็นสารชะลอการติดไฟ, 10% ใช้ในการขนส่ง รวมทั้งแบตเตอรี่, 10% ใช้ในการผลิตสารเคมี, 4% ใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิกส์ และอีกประมาณ 4% ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ

โดยทั่วไปสารประกอบแอนติโมนีที่ใช้เป็นสารชะลอการติดไฟมีด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ แอนติโมนีเพนตออกไซด์ ( $Sb_2O_5$ ), โซเดียมแอนติโมเนต ( $NaSbO_3$ ) และแอนติโมนีไตรออกไซด์ ( $Sb_2O_3$ ) แต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดคือ แอนติโมนีไตรออกไซด์ (2)

แอนติโมนีไตรออกไซด์โดยลำพังไม่มีสมบัติเป็นสารชะลอการติดไฟ แต่เมื่อใช้ร่วมกับ Halogenated flame retardant จะแสดงสมบัติชะลอการติดไฟในลักษณะเสริมซึ่งกันและกัน (synergistic system) กล่าวคือ Halogenated flame retardant โดยลำพังจะทำหน้าที่ชะลอการติดไฟโดยการสลายตัวเป็นสารประกอบเฮไลด์ที่ระเหยได้ (volatile halogen compounds) ซึ่งเมื่อได้รับความร้อน สารประกอบเฮไลด์ดังกล่าว จะระเหยและไปขัดขวางปฏิกิริยาสันดาปในลักษณะ gas-phase mechanism โดยเข้าไปทำปฏิกิริยากับ active free radicals จาก vapor phase ซึ่งเป็นการระงับ flame propagation step มีผลให้ไฟดับในที่สุด แต่ถ้าใช้ร่วมกับแอนติโมนีไตรออกไซด์จะเกิดสารประกอบเฮไลด์ที่ระเหยได้ ณ อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้แอนติโมนีไตรออกไซด์ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาใน solid และ liquid phase ในลักษณะ condensed phase mechanism เกิด insulating char มีผลให้ความร้อนกระจายไปสู่ผิวของวัสดุได้น้อยลง ดังนั้นการใช้แอนติโมนีไตรออกไซด์ร่วมกับ Halogenated flame retardant จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการชะลอการติดไฟ สามารถลดปริมาณการใช้ Halogenated compounds ซึ่งเป็นสารอันตราย มีผลให้สามารถลดมลภาวะและค่าใช้จ่าย เป็นอย่างมาก (3)

นอกจากนี้แอนติโมนีไตรออกไซด์ยังสามารถใช้เป็น opacifier และ emulsifier ในน้ำยาเคลือบ (enamel), ใช้เป็น pigment สีขาว, ใช้เป็น refining agent ในอุตสาหกรรมแก้ว, ใช้เป็น opacifier ในเซรามิกส์ และใช้เป็น catalyst ในงานสังเคราะห์และอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์ แต่สำหรับในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เป็นสารชะลอการติดไฟในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง เริ่มมีใช้บ้างในอุตสาหกรรมแก้ว แต่ยังไม่แพร่

หลายนัก ส่วนในอุตสาหกรรมสียังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากยังมีราคาแพงกว่าและคุณภาพต่ำกว่าที่เทเนียมไดออกไซด์ ( $TiO_2$ )

แอนติโมนีไตรออกไซด์ที่ซื้อขายกันทั่วไป (commercial grade) ประกอบด้วย  $Sb_2O_3$  99.2-99.5% โดยมีอาร์เซนิก, เหล็ก และดีบุก เป็นมลทินในปริมาณต่างๆ กันไม่เกิน 0.5% ตามมาตรฐาน ASTM นอกจากนี้สมบัติทางด้านความเข้มของสี (Tinting strength) ก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการกำหนดคุณภาพและราคาของแอนติโมนีไตรออกไซด์ โดยทั่วไป tinting strength ของแอนติโมนีไตรออกไซด์ จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคลดลง

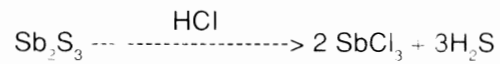
สำหรับการผลิตแอนติโมนีไตรออกไซด์ สามารถผลิตจากแร่พลวงโดยกระบวนการทางความร้อน (Pyrometallurgical process) ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องทำการถลุงให้ได้โลหะพลวงที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ก่อน แล้วจึงนำไปผ่านขั้นตอนการออกซิเดชัน เพื่อให้ได้แอนติโมนีไตรออกไซด์ ซึ่งนิยมใช้กับแร่พลวงที่มี Sb content ประมาณ 25-40% สำหรับพลวงเกรดต่ำซึ่งมี Sb content ประมาณ 5-25% นิยมนำไป roast เพื่อให้ได้ crude antimony oxide แล้วจึงนำไปผ่านขั้นตอน sublimation เพื่อให้ได้แอนติโมนีไตรออกไซด์ที่ค่อนข้างบริสุทธิ์

นอกจากนี้แอนติโมนีไตรออกไซด์ ยังสามารถผลิตจากแร่พลวงเกรดต่ำหรือพลวงซับซ้อนโดยกระบวนการทางเคมีการละลาย (Hydrometallurgical process) โดยการละลายแร่ในสารละลายต่าง (alkali leaching) แล้วทำการแยก Sb ออกจากสารละลายโดยวิธีการอิลคโตรไลซิส แล้วจึงนำโลหะพลวงที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการออกซิเดชัน ซึ่งก็ยังคงค่อนข้างยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับการละลายแร่ในสารละลายกรด (acid leaching) แล้วทำการแยก Sb ออกจากสารละลาย โดยวิธีการตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดขั้นตอนอันยุ่งยากซับซ้อน และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

### องค์ประกอบของแร่พลวงที่ใช้ในงานวิจัย

Component	%Composition
$Sb_2S_3$	47.18
$As_2S_3$	0.93
PbS	0.31
ZnS	1.16
$Fe_2O_3$	0.67

Component	%Composition
SiO <sub>2</sub>	29.25
MnO <sub>2</sub>	0.03
others	20.47
Total	100.00
Sb content	33.85



### 1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มข้นกรดต่อประสิทธิภาพการละลาย

ทำการละลายแร่พลวงในสารละลายกรด HCl เข้มข้น 40, 50, 60, 70 และ 80% โดยปริมาตรตามลำดับโดยใช้กรด 100 ml ต่อแร่ 10 กรัม ทำการสกัดที่อุณหภูมิห้อง, 50, 70 และ 90°C ตามลำดับ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้แต่ละสภาวะการทดลอง มาวิเคราะห์หาปริมาณ Sb เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการละลาย ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 1-4 และ รูปที่ 1

## การทดลอง

### 1. การทดลองสกัด Sb จากแร่พลวงด้วยสารละลายกรด HCl

เมื่อนำแร่พลวงหรือ Stibnite (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) มาทำการละลายในกรดไฮโดรคลอริกจะได้สารละลายแอนติโมนี ไตรคลอไรด์ ดังสมการ

ตารางที่ 1 อิทธิพลของความเข้มข้นกรดต่อประสิทธิภาพการละลาย ณ อุณหภูมิห้อง

Acid Conc. (%vol)	Sb : HCl	%Sb in Liquor	%Sb in Residue	%Extraction
40	1:12	4.64	28.76	13.66
50	1:15	18.61	15.24	55.03
60	1:18	25.17	8.67	74.42
70	1:21	29.82	4.26	88.17
80	1:24	31.26	1.98	92.43

ตารางที่ 2 อิทธิพลของความเข้มข้นกรดต่อประสิทธิภาพการละลาย ณ อุณหภูมิ 50°C

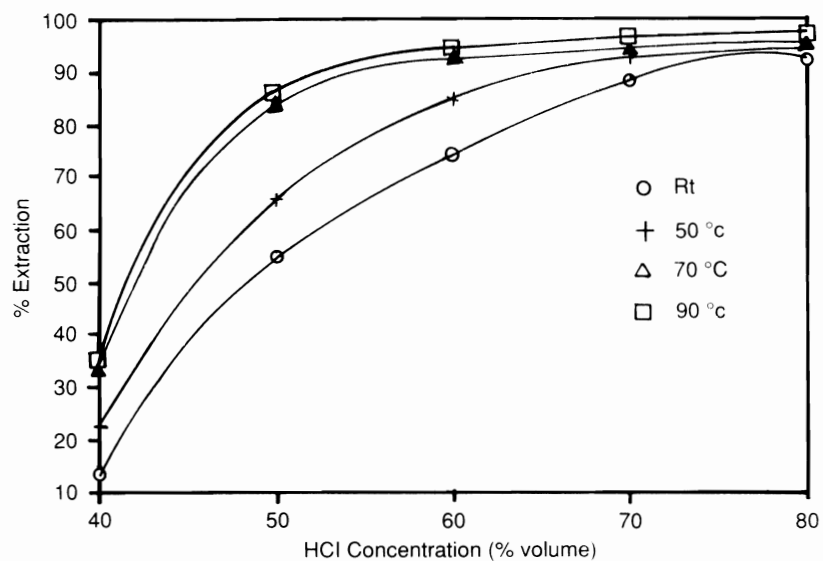
Acid Conc. (%vol)	Sb : HCl	%Sb in Liquor	%Sb in Residue	%Extraction
40	1:12	7.71	26.14	23.80
50	1:15	22.36	11.19	46.11
60	1:18	28.74	4.86	84.98
70	1:21	31.24	2.47	92.07
80	1:24	31.86	1.82	94.20

ตารางที่ 3 อิทธิพลของความเข้มข้นกรดต่อประสิทธิภาพการละลาย ณ อุณหภูมิ 70 °c

Acid Conc. (%vol)	Sb : HCl	%Sb in Liquor	%Sb in Residue	%Extraction
40	1:12	11.31	22.41	33.44
50	1:15	28.41	4.86	84.00
60	1:18	31.37	2.17	92.75
70	1:21	31.99	1.55	94.59
80	1:24	32.30	1.24	95.50

ตารางที่ 4 อิทธิพลของความเข้มข้นกรดต่อประสิทธิภาพการละลาย ณ อุณหภูมิ 90 °c

Acid Conc. (%vol)	Sb : HCl	%Sb in Liquor	%Sb in Residue	%Extraction
40	1:12	11.99	21.84	35.42
50	1:15	29.14	4.70	86.08
60	1:18	32.01	1.86	94.57
70	1:21	32.76	1.07	96.79
80	1:24	32.95	1.01	97.35



รูปที่ 1 อิทธิพลของความเข้มข้นกรดต่อประสิทธิภาพการละลายแร่ ณ อุณหภูมิต่างๆ กัน เมื่อทำการละลายแร่ 15 กรัมในสารละลายกรด 150 ml เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มข้นกรดต่อประสิทธิภาพการละลายของแร่พลวงดังแสดงผลในตารางที่ 1-4 และรูปที่ 1 นั้น พบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเริ่มคงที่เมื่อสารละลายกรด HCl มีความเข้มข้น 60% ขึ้นไป กล่าวคือจะต้องใช้ HCl อย่างน้อย 18 เท่าของ Sb ในแร่ หรือ Sb:HCl < 1:18 (น้ำหนัก/ปริมาตร) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการสกัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเริ่มคงที่เมื่ออุณหภูมิ > 70 °C

นั่นคือการสกัดแร่พลวงด้วยกรด HCl ควรทำการสกัดที่อุณหภูมิ 70 °C โดยใช้เนื้อกรด HCl ประมาณ 18 เท่าของ

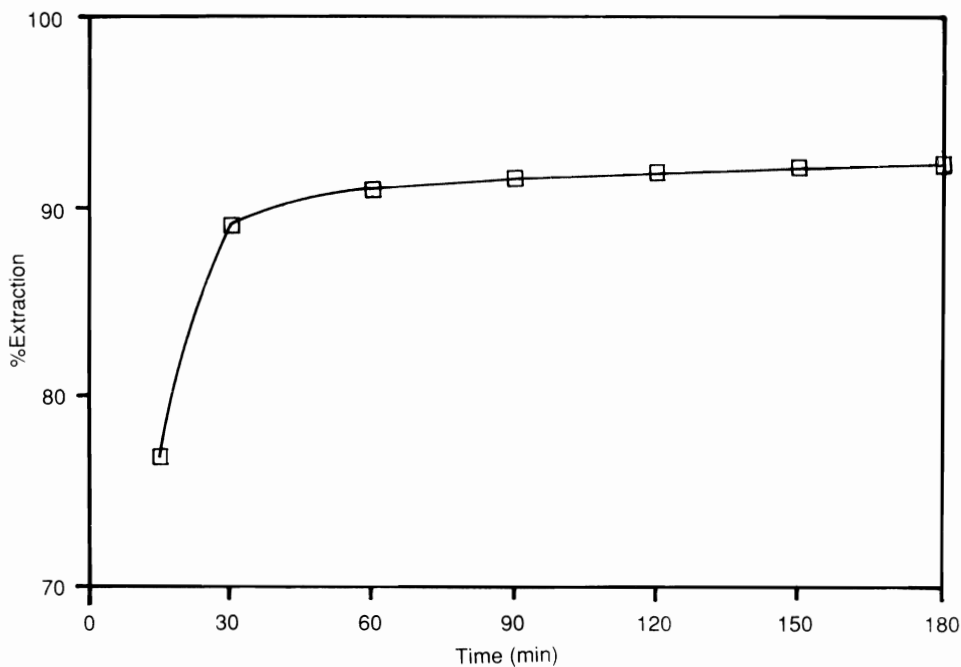
ปริมาณ Sb ในแร่ และเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย จึงควรศึกษาอิทธิพลของเวลาการสกัดต่อประสิทธิภาพการละลาย เพื่อให้ทราบถึงเวลาการสกัดที่เหมาะสม

### 1.2 อิทธิพลของเวลาการสกัดต่อประสิทธิภาพการละลาย

เมื่อทำการละลายแร่พลวง 15 กรัมใน 150 ml สารละลาย 60% HCl ณ อุณหภูมิ 70 °C ทำการวิเคราะห์ปริมาณ Sb ในสารละลาย ณ เวลาการสกัดต่างๆ กัน ปรากฏว่าประสิทธิภาพการสกัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 30 นาที และช้าลงจนเกือบคงที่ภายใน 1 ชั่วโมง ดังแสดงผลในตารางที่ 5 และรูปที่ 2

ตารางที่ 5 อิทธิพลของเวลาการสกัดต่อประสิทธิภาพการละลายแร่พลวง

Time (min)	15	30	60	90	120	150	180
%Extraction	76.82	88.74	90.89	91.42	91.71	92.01	92.17



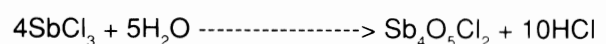
รูปที่ 2 อัตราเร็วการละลายเมื่อทำการสกัดแร่พลวงด้วยกรด HCl เข้มข้น 60% (Sb:HCl = 1 : 18) ณ อุณหภูมิ 70 °C

## 2. การทดลองตกตะกอนแอนติโมนีออกซีคลอไรด์

เมื่อนำสารละลาย SbCl<sub>3</sub> ในกรด HCl มาทำการไฮโดรไลซิส ด้วยน้ำกลั่นปริมาณที่เหมาะสม จะได้ตะกอนขาว

ของแอนติโมนีออกซีคลอไรด์ (Sb<sub>4</sub>O<sub>5</sub>Cl<sub>2</sub>) ดังสมการ

Hydrolysis



**2.1 อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายไฮโดรไลซิส ต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน**

นำสารละลาย  $SbCl_3$  ที่ได้จากการละลายแร่พลวงใน สารละลาย 60% HCl (Sb:HCl = 1:18) มาทำการไฮโดรไลซิส

ด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 5, 10, 20 และ 50 เท่า ตามลำดับ ณ อุณหภูมิห้อง ปรากฏว่าประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงสุดเมื่อ ทำการไฮโดรไลซิสด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า ดังแสดงผลในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายไฮโดรไลซิสต่อประสิทธิภาพ การตกตะกอนแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์

Dilution Ratio	% Sb in Filtrate	%Precipitation
1:5	11.43	88.57
1:10	4.26	95.74
1:20	5.31	94.69
1:50	9.65	90.35

**2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการ ตกตะกอนแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์**

นำสารละลาย  $SbCl_3$  ที่ได้จากการละลายแร่พลวงใน สารละลาย 60% HCl (Sb:HCl = 1:18) มาทำการไฮโดรไลซิส

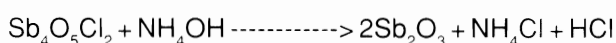
ด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า ณ อุณหภูมิ 10, RT, 60 และ 90 °C ตามลำดับ ปรากฏว่าประสิทธิภาพ การตกตะกอนไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิดังแสดงผลในตารางที่ 7

**ตารางที่ 7** อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน แอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์

Temperature (°C)	% Sb in Filtrate	%Precipitation
10	3.78	96.22
Room Temperature	3.85	96.15
60	5.66	94.34
90	5.78	94.22

**3. การแปรสภาพแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์เป็น แอนติโมนีไตรออกไซด์**

Neutralization



นำตะกอนแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์มาแขวนลอยใน

น้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ กัน แล้วปรับ pH ของน้ำด้วยสารละลาย  $NH_4OH$  จนมี pH ประมาณ 7-8 แล้วกวนต่อเป็นเวลานานอย่างน้อย 2 ชั่วโมง กรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C จะได้ผงละเอียดสีขาวของแอนติโมนีไตรออกไซด์ ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์พบว่า มี  $Sb_2O_3$  เป็นองค์ประกอบประมาณ 99.1-99.7%

#### 4. การควบคุมขนาดและรูปร่างผลึก $Sb_2O_3$

##### 4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิการตกตะกอนแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์

เมื่อนำสารละลาย  $SbCl_3$  มาทำการไฮโดรไลซิสด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า ณ อุณหภูมิต่างๆ กัน แล้วแปรสภาพเป็นแอนติโมนีไตรออกไซด์ ณ อุณหภูมิห้อง ปรากฏว่าเมื่อทำการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิสูงรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  ที่ได้มีแนวโน้มเป็น rhombic ขณะที่เมื่อทำการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  ที่ได้จะมีแนวโน้มเป็น cubic ดังแสดงในรูปที่ 3-5 และเมื่อนำ  $Sb_2O_3$  ที่ตกผลึก ณ อุณหภูมิ  $5^\circ C$  ไปวัดขนาดอนุภาคพบว่ามีความเฉลี่ย 5.80 ไมครอน และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 6

##### 4.2 อิทธิพลของอัตราเร็วการตกตะกอนแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์

จากการทดลองตกตะกอนแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์ด้วยอัตราเร็วต่างๆ กัน พบว่าขนาดและรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  ไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดนัก

##### 4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิขณะแปรสภาพแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์

จากการทดลองแปรสภาพแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์เป็นแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่าขนาด

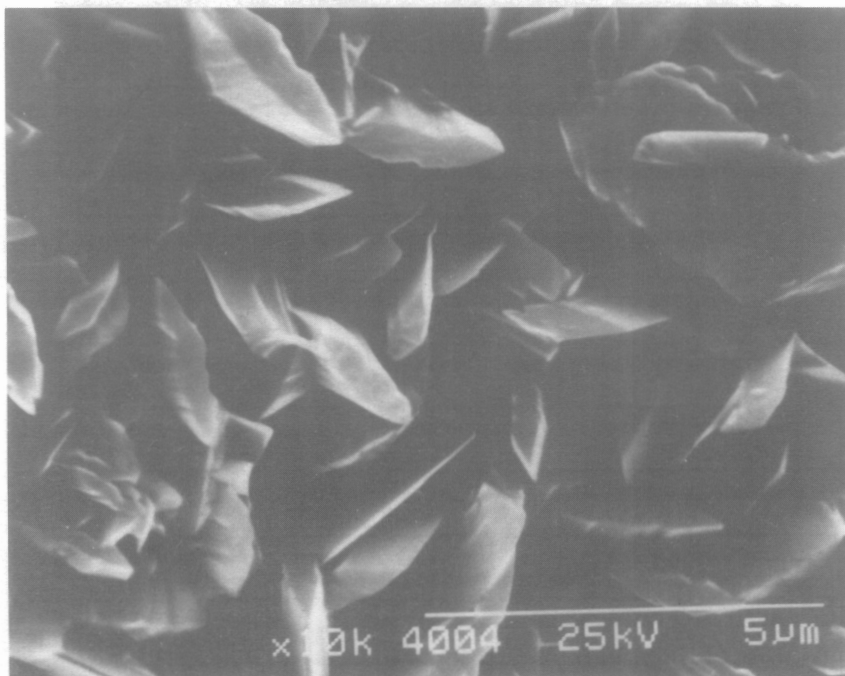
และรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  ไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดนัก

นั่นคือ ปัจจัยสำคัญที่สุดสำหรับการควบคุมขนาดและรูปร่างผลึกแอนติโมนีไตรออกไซด์คือ อุณหภูมิขณะไฮโดรไลซิสสารละลาย  $SbCl_3$

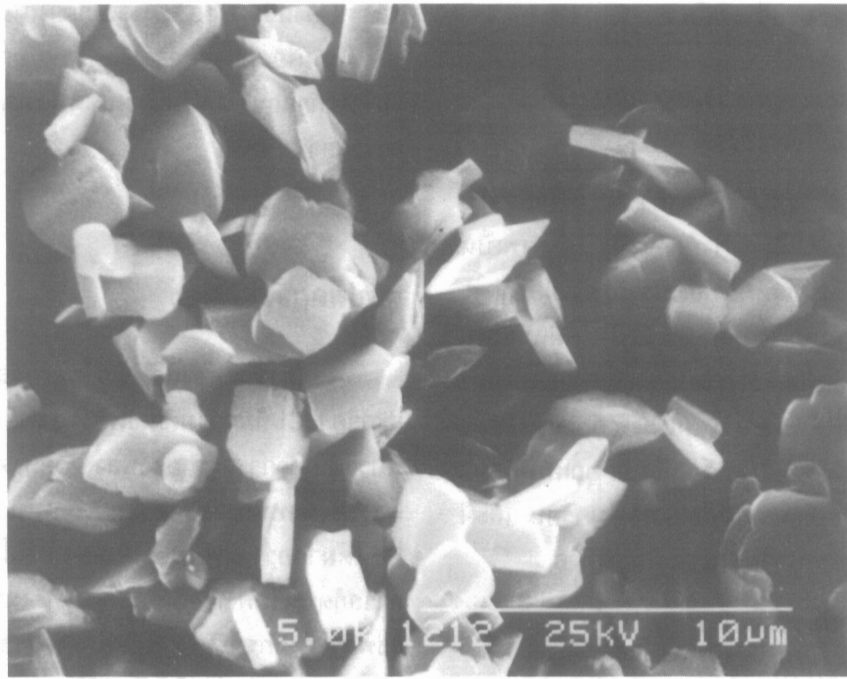
#### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสกัด Sb โดยการละลายแร่พลวงในสารละลาย HCl ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ณ อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่าเมื่อทำการละลายแร่พลวงด้วยกรด HCl โดยใช้  $Sb:HCl = 1:18$  (น้ำหนัก/ปริมาตร) ณ อุณหภูมิ  $70^\circ C$  จะสามารถสกัด Sb ได้มากกว่า 90% ภายในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นอัตราการสกัดจะเริ่มคงที่ นั่นคือสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแร่พลวงด้วยกรด HCl ได้แก่ ทำการละลายแร่พลวงในสารละลายกรด HCl โดยใช้  $Sb:HCl = 1:18$  ณ อุณหภูมิ  $70^\circ C$  เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง

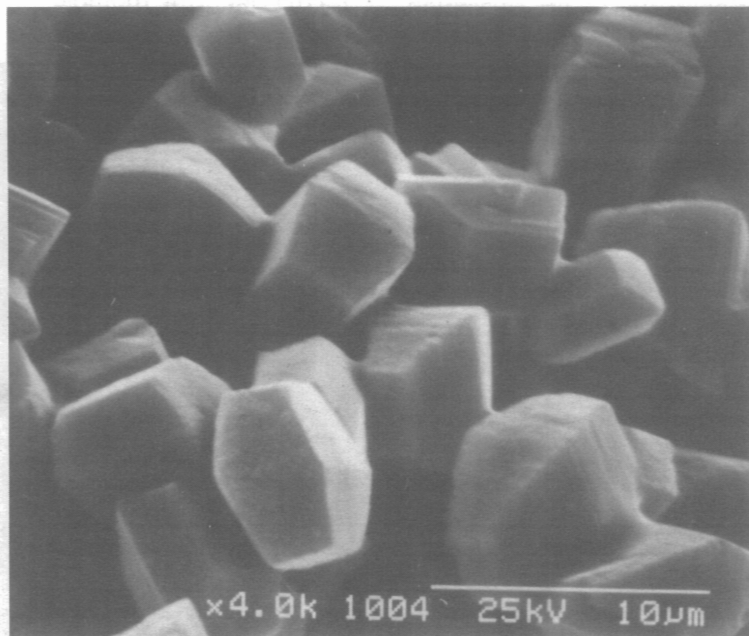
จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมขนาดและรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  พบว่าอุณหภูมิการตกตะกอนแอนติโมนีออกไซด์คลอไรด์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด กล่าวคือเมื่อทำการตกตะกอน ณ อุณหภูมิต่ำ ( $<20^\circ C$ ) มีแนวโน้มได้  $Sb_2O_3$  ที่มีรูปร่างเป็น Cubic ซึ่งมีคุณภาพสูงกว่า  $Sb_2O_3$  ที่มีรูปร่างผลึกเป็น rhombic



รูปที่ 3 ภาพ SEM แสดงรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  เมื่อทำการตกตะกอน ณ อุณหภูมิ  $90^\circ C$

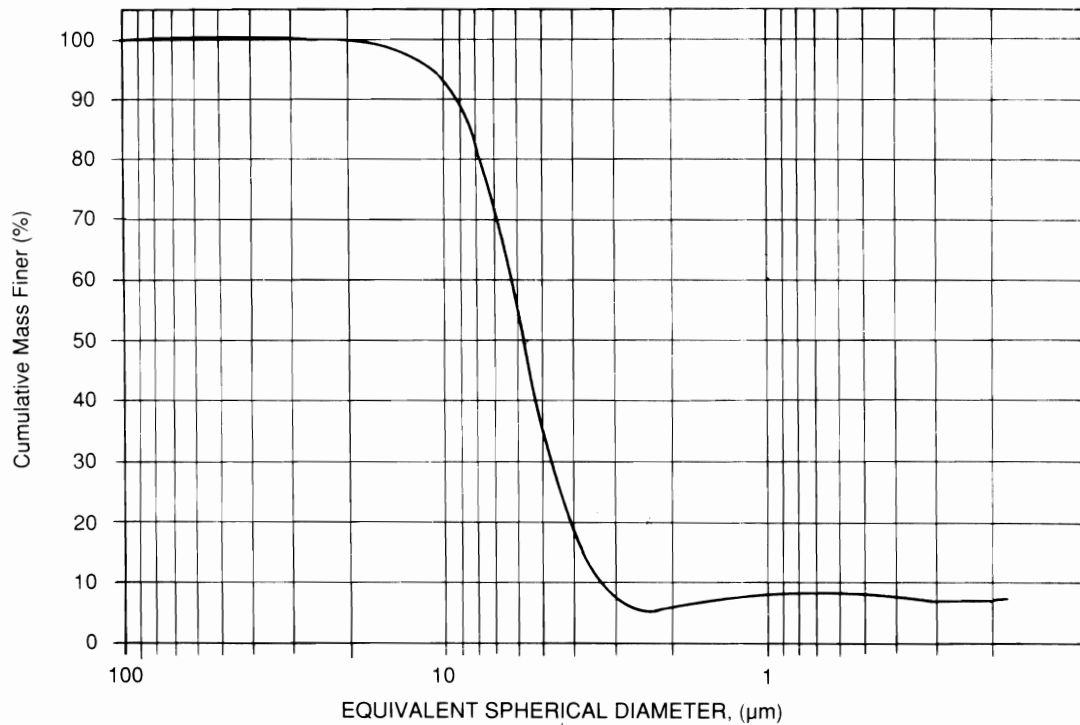


รูปที่ 4 ภาพ SEM แสดงรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  เมื่อทำการตกตะกอน ณ อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 5 ภาพ SEM แสดงรูปร่างผลึก  $Sb_2O_3$  เมื่อทำการตกตะกอน ณ อุณหภูมิ 5°C





รูปที่ 6 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาค  $Sb_2O_3$  ซึ่งตกตะกอน ณ อุณหภูมิ  $5^\circ C$

### เอกสารอ้างอิง

1. Thomas O. Llewellyn ; Mineral Industry Surveys, Annual Preliminary, "Antimony in 1992" Prepared in the Branch of Industrial Minerals and Branch of Data Collection and Coordination, January 1993, U.S. Bureau of Mines.
2. Patricia A. Plunkert; A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1985 Edition, U.S. Bureau of Mines.
3. Menachem Lewin and Gerald S. Kirshenbaum; Flame Retardancy of Polymeric Materials, Proceeding of the Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials held in Stamford Connecticut, May 15-17, 1990