

การสกัดดีบุกจากฝุ่นเตาอย่างแร่ โดยการละลายด้วยอัลคาไลน์



นางสาวประภาพรณ ยั้งยืน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

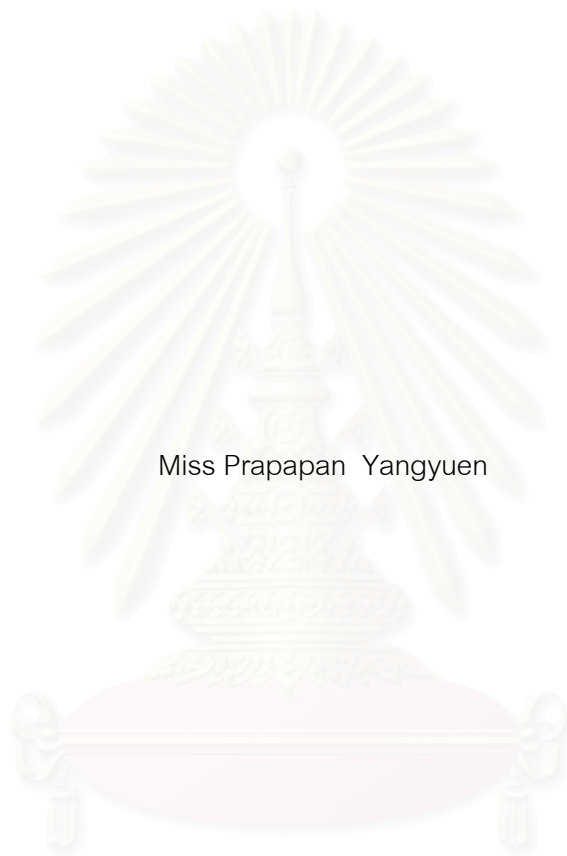
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1007-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EXTRACTION OF TIN FROM ROASTER DUST BY ALKALINE LEACHING



Miss Prapapan Yangyuen

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Metallurgical Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1007-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดดีบุกจากฝุ่นเตาอย่างแร่ โดยการละลายด้วยอัลคาไลน์
โดย	นางสาวประภาพรพรณ ยั่งยืน
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมาลี วงศ์จันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาคร จารุพิสิฐธร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมาลี วงศ์จันทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาคร จารุพิสิฐธร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ไสว ด่านชัยวิจิตร)

ประภาพรณ ยั่งยืน : การสกัดดีบุกจากฝุ่นเตาอย่างแร่ โดยการละลายด้วยอัลคาไลน์ (EXTRACTION OF TIN FROM ROASTER DUST BY ALKALINE LEACHING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุมาลี วงศ์จันทร์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ชاکกร จารุพิสิษฐ, 105 หน้า. ISBN 974-03-1007-9.

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดดีบุกจากฝุ่นเตาอย่างแร่ของโรงถลุงแร่ดีบุก ที่จังหวัดภูเก็ต โดยการละลายด้วยอัลคาไลน์และศึกษาการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนการละลาย ผลการทดลองพบว่า กระบวนการละลายด้วยอัลคาไลน์สกัดดีบุกได้ดี่า ในขณะที่กระบวนการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนการละลายสามารถสกัดดีบุกได้มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการสกัดดีบุกจากฝุ่นเตาอย่างแร่ได้ โดยการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส และใช้สัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ในฝุ่นเท่ากับ 1.43:1 เพื่อเปลี่ยนรูปของดีบุกในฝุ่นให้อยู่ในสภาพที่ละลายได้หมด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา..... 2544..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4170398521: MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEYWORD: EXTRACTION / TIN / ROASTER DUST / ALKALINE / LEACHING / SODIUM
HYDROXIDE / SODIUM SULFIDE /

PRAPAPAN YANGYUEN: EXTRACTION OF TIN FROM ROASTER DUST BY
ALKALINE LEACHING. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. SUMALEE VONGCHAN, Ph.D.
THESIS CO-ADVISOR: ASST.PROF. CHARKORN JARUPISITTHORN, M.E. 105 pp.
ISBN 974-03-1007-9.

Extraction of tin from roaster dust of Tin Smelter at Phuket province by alkaline leaching and caustic roasting and leaching were investigated. The results indicate that the alkaline leaching process provides low percentage of tin extraction whereas more than 98 percent extraction can be obtained for sodium hydroxide roasting and leaching process. This implies that the latter process can be applied to extract tin from the roaster dust by roasting at 650 degree Celcius using NaOH:SnO₂ ratio of 1.43:1 in order to convert tin in the dust into the soluble product for subsequent leaching.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department...Metallurgical Engineering.. Student's signature.....

Field of study...Metallurgical Engineering.. Advisor's signature.....

Academic year...2001..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.สุมาลี วงศ์จันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาคร จารุพิสิฐธร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณรอง
ศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย ประธานคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์
ดร.ไสว ด้านชัยวิจิตร กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรม
โลหการที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ต่องานวิจัยฉบับนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคคลที่ได้ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกระหว่างปฏิบัติ
งานวิจัยในแต่ละขั้นตอนอย่างดียิ่งคือ คุณประยงค์ อรัญญา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่าน

ทำยนี้ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลรอบข้างที่คอยให้กำลังใจ
ใจ และช่วยเหลือเสมอมา

ประกาศพรณ ยั่งยีน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฐ
คำอธิบายย่อ.....	ฒ
บทที่.....	1
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ปรัชญ์นวัตกรรมการ.....	4
3. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	12
3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง.....	12
3.2 การตรวจวิเคราะห์ฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง.....	12
3.3 การละลายฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์.....	13
3.4 การเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วสกัดด้วยสารละลาย.....	14
3.5 การตรวจสอบกากฝุ่นหลังผ่านการละลาย.....	15
3.6 รายละเอียดการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ.....	15
4. ผลการทดลองและอภิปราย.....	22
4.1 การวิเคราะห์ฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง.....	22
4.2 การละลายฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	30
4.4 การตรวจสอบผลผลิตจากการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	35
4.5 การตรวจสอบที่เหลือจากการละลายฝุ่นดีบุกที่เผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	38
หลังการละลาย	
5. สรุปผลการทดลอง.....	40
6. ข้อเสนอแนะ.....	41
รายการอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ.....	44
ภาคผนวก ข ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชั่น	51
สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของฝุ่น ด้วยวิธี.....	86
Homogeneous Suspension ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	
SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L	
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์สารประกอบต่าง ๆ ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโต.....	90
มิเตอร์	
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ผลการละลายฝุ่นดีบุกด้วยสารละลายผสม NaOH-Na ₂ S..... 5
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นเตาอย่างแร่ที่ Pailin นำมาศึกษา.....7
2.3	ผลการละลายฝุ่นดีบุกด้วยสารละลาย NaOH, Na ₂ S และ NaOH-Na ₂ S..... 7
2.4	ผลการละลายฝุ่นดีบุกด้วยสารละลายผสม NaOH-Na ₂ S..... 8
2.5	ผลการละลายแร่ดีบุกโดยใช้ HCl, H ₂ SO ₄ , HCl-H ₂ SO ₄ และ NaCl-H ₂ SO ₄9
2.6	ผลการละลายแร่ดีบุกโดยใช้ FeCl ₃ เปรียบเทียบ NaCl..... 9
2.7	ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งและอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุก..... 10
2.8	ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งและความเข้มข้นของ NaOH ในสารละลายต่อเปอร์เซ็นต์..... 11 การละลายของดีบุก
3.1	สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลจากอัตราการกวน..... 16
3.2	สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายและสัดส่วน..... 17 ปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย
3.3	สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย..... 18
3.4	สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผา..... 19
3.5	สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเผา..... 20
3.6	สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างไฮดรอกไซด์ต่อ..... 21 ดีบุกออกไซด์ (NaOH:SnO ₂)
4.1	ขนาดและการกระจายขนาดของฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง..... 23
4.2	ปริมาณการละลายของดีบุกที่อัตราการกวนต่าง ๆ โดยใช้สารละลายไฮดรอกไซด์..... 26 ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 ที่เวลาต่าง ๆ
4.3	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้สารละลายไฮดรอกไซด์..... 27 ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 และอัตราการกวน 500 รอบต่อนาที

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.4	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.... 27 ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฟลูออไรด์ต่อ ปริมาตรสารละลาย 1:20 และอัตราการกวน 850 รอบต่อนาที
4.5	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.... 28 ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฟลูออไรด์ต่อ ปริมาตรสารละลาย 1:40 และอัตราการกวน 500 รอบต่อนาที
4.6	ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้..... 29 ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฟลูออไรด์ต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (29 องศาเซลเซียส)
4.7	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาฟลูออไรด์ดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณการละลาย..... 31 ของดีบุก โดยเผาฟลูออไรด์ดีบุกปริมาณ 10 กรัมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
4.8	ผลของเวลาที่ใช้ในการเผาฟลูออไรด์ดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณการละลายของ..... 32 ดีบุก
4.9	ผลของสัดส่วนระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ ($\text{NaOH}:\text{SnO}_2$) ต่อ..... 34 ปริมาณการละลายของดีบุก โดยใช้ฟลูออไรด์ดีบุกปริมาณ 10 กรัมเผากับโซเดียม ไฮดรอกไซด์ในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ข-1-1	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที..... 53
ข-1-2	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 1)..... 54
ข-1-3	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 2)..... 55
ข-1-4	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อัตราการกวน 750 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 1)..... 56
ข-1-5	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อัตราการกวน 750 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 2)..... 57
ข-1-6	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 1)..... 57
ข-1-7	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 2)..... 59
ข-2-1	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อุณหภูมิห้อง..... 61
ข-2-2	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฟลูออไรด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1)..... 62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-2-3	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2).....63
ข-2-4	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิห้อง..... 64
ข-2-5	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1).....65
ข-2-6	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2).....66
ข-2-7	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิห้อง..... 67
ข-2-8	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....68
ข-3-1	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสาร.....70 ละลาย 1:20
ข-3-2	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสาร.....71 ละลาย 1:40
ข-4-1	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น..... 73 1 มิลต่อลิตร
ข-4-2	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น.....74 1 มิลต่อลิตร
ข-4-3	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น.....75 2 มิลต่อลิตร
ข-4-4	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น.....76 3.5 มิลต่อลิตร
ข-4-5	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น.....77 5 มิลต่อลิตร
ข-5-1	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นโดยเผาฝุ่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ..... 79 450-750 องศาเซลเซียส
ข-6-1	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 30.....81 นาทีถึง 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส
ข-6-2	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 30.... 82 นาทีถึง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-7-1	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ.....84 ปริมาณฝุ่นตั้งแต่ 3:10 ถึง 10:10 เผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส
ข-7-2	ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ.....85 ปริมาณฝุ่นตั้งแต่ 4:10 ถึง 10:10 เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

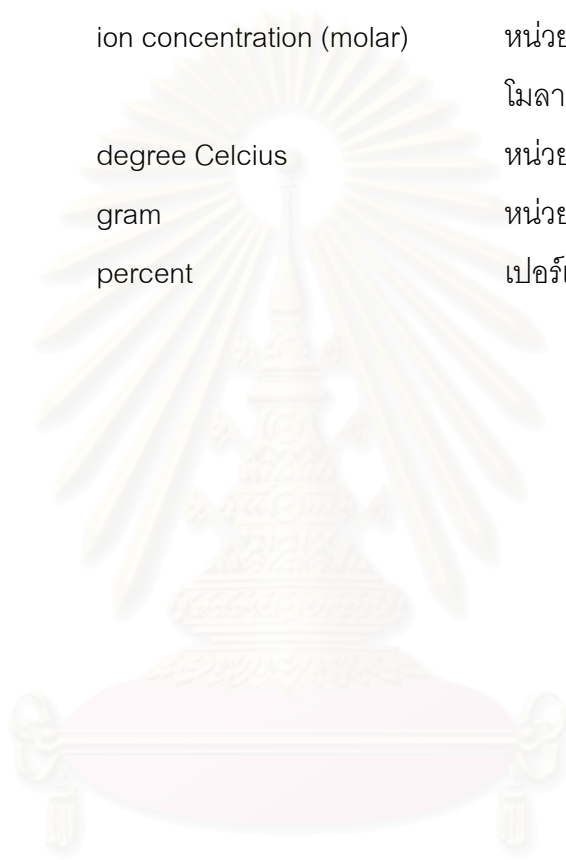
รูปที่	หน้า
3.1	การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง..... 14
4.1	รูปร่างของฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....24 ที่กำลังขยาย 750 เท่า
4.2	ผลการตรวจสอบฝุ่นดีบุกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-Ray.....25 Diffraction)
4.3	เปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อใช้ปริมาตรสารละลาย..... 29 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง (29 องศาเซลเซียส) โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร หรือใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น ต่าง ๆ
4.4	เปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกต่ออุณหภูมิที่ใช้เผาฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมกับ.....31 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และละลายด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์
4.5	เปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกต่อเวลาที่ใช้ในการเผาฝุ่นปริมาณ 10 กรัมกับ.....33 โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 450 และ 750 องศาเซลเซียส
4.6	เปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกที่ได้เป็นฟังก์ชันของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์.....35 ที่ใช้ในการเผาฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 450 และ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4.7	ผลผลิตที่ได้จากการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่เผา 750 องศา.....36 เซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ฝุ่นปริมาณ 10 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัม ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 500 เท่า
4.8	ผลการตรวจสอบผลผลิตที่ได้จากการเผาฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมกับโซเดียม.....37 ไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-Ray Diffraction)

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	กากที่เหลือจากการละลายฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมที่เผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....38 ปริมาณ 3 กรัม (NaOH:SnO ₂ เท่ากับ 0.54:1) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดที่กำลังขยาย 750 เท่า	
4.10	ผลการตรวจสอบกากที่เหลือจากการละลายฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมที่เผากับ.....39 โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3 กรัม (NaOH:SnO ₂ เท่ากับ 0.54:1) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์	
ค-1	วิธีการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้หลักการ Photo Sedimentation.....88	
ค-2	โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU..... 89 Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L	

คำอธิบายย่อ

คำย่อ	คำเต็ม	ความหมาย
[]	ion concentration	ความเข้มข้นของไอออน
M	ion concentration (molar)	หน่วยความเข้มข้นของไอออนเป็นโมลาร์หรือโมลต่อลิตร
°C	degree Celcius	หน่วยอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส
g	gram	หน่วยมวลเป็นกรัม
%	percent	เปอร์เซ็นต์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย

ปกติดีบุกส่วนใหญ่ถูกใช้ในการเคลือบบนผิวโลหะอื่น หรือเป็นองค์ประกอบหนึ่งในโลหะผสม การใช้ดีบุกในการเคลือบผิวโลหะจะรู้จักกันดีในชื่อของ Tinplate ^(1,2) ซึ่งใช้ในการผลิตกระป๋องบรรจุอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อ และเครื่องดื่มต่าง ๆ นอกจากนั้นโลหะผสมของดีบุกก็สามารถใช้ในการเคลือบได้เช่นกัน เช่น เคลือบโลหะผสมของดีบุก-ตะกั่วเป็นชั้นบาง ๆ ลงบนผิวเหล็กกล้า ทองแดง ทองเหลือง และอะลูมิเนียม ซึ่งทำให้ได้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนดี เป็นต้น

ประโยชน์ของดีบุกอีกประการหนึ่งคือ ใช้เป็นส่วนผสมในโลหะบัดกรี นอกจากนี้ดีบุกยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโลหะผสมต่าง ๆ เช่น โลหะผสมของดีบุก-พลวง-ทองแดง และตะกั่ว-พลวง-ดีบุก สำหรับทำโลหะรองรับเพลลา

ในกระบวนการถลุงแร่ดีบุก ⁽³⁾ ถ้าแร่ดีบุกมีมลทินพวกสารหนู (As) ปนอยู่ แร่ดังกล่าวจะนำไปผ่านการย่างแร่เพื่อขจัดสารหนูออกจากแร่ดีบุกก่อนการถลุง โดยการเผาแร่ในเตาอย่างซึ่งสารหนูในแร่จะกลายเป็นไอออกมาจากแร่ และถูกดักเก็บไว้ด้วยอุปกรณ์เก็บฝุ่น ฝุ่นที่ได้จากการย่างแร่นี้ไม่สามารถหมุนเวียนเข้าสู่กระบวนการถลุงแร่ดีบุกเพื่อเก็บโลหะดีบุกที่มีอยู่ในฝุ่นได้อีก เนื่องจากมีมลทินปนเปื้อนอยู่ในฝุ่นดีบุกสูง

หากมีกระบวนการที่สามารถจัดการฝุ่นดังกล่าวได้ ก็จะสามารถลดปริมาณการสูญเสียดีบุกในฝุ่น นอกจากนี้จะช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรไว้แล้ว ยังช่วยลดปัญหาสภาพแวดล้อมเนื่องจากปริมาณฝุ่นอีกด้วย กระบวนการในการจัดการฝุ่นที่มีการลงทุนต่ำและสิ้นเปลืองพลังงานไม่มากคือ กระบวนการโลหวิทยาสารละลาย ซึ่งสารละลายที่ใช้ในการละลายดีบุก ได้แก่ สารละลายกรดและสารละลายต่าง

งานวิจัยนี้ใช้ฝุ่นจากเตาย่างแร่ของบริษัท ไทยแลนด์สเมลติงแอนดรีไฟนิง จำกัด จังหวัดภูเก็ต มาสกัดเอาดีบุกออกด้วยสารละลายอัลคาไลน์ โรงงานแห่งนี้มีกำลังการผลิต 18,000 ตันต่อปี เริ่มการผลิตในปี พ.ศ. 2508 โดยปกติแร่ที่มีสารหนูตั้งแต่ 0.1-1% จะถูกย่างเพื่อขจัดสารหนูออกจากแร่ดีบุก ซึ่งจะได้ฝุ่นที่มีสารหนู 20-30% และมีดีบุกประมาณ 40% ฝุ่นดังกล่าวจะถูกบรรจุในถัง 200 ลิตร เพื่อส่งให้บริษัทบริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด จังหวัดระยอง นำไปกำจัดต่อไป ในแต่ละปีจะมีฝุ่นเกิดขึ้นจากเตาย่างแร่ประมาณ 45 ตัน

ในการทดลองสกัดดีบุกจากฝุ่นจากเตาย่างแร่นี้ ได้ศึกษาการละลายดีบุกจากฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์ รวมทั้งศึกษาการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไปสกัดดีบุกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดดีบุกจากฝุ่นเตาย่างแร่ ด้วยสารละลายอัลคาไลน์
- 1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนการสกัดดีบุกออกด้วยสารละลายอัลคาไลน์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาความเร็วการร่อนตั้งแต่ 400 รอบต่อนาทีถึง 850 รอบต่อนาที เพื่อให้ได้ความเร็วการร่อนที่เหมาะสม
- 1.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 90 องศาเซลเซียส
- 1.3.3 ศึกษาสัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย ตั้งแต่ 1:20 ถึง 1:40
- 1.3.4 ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 โมลต่อลิตร ถึง 5 โมลต่อลิตร และใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร
- 1.3.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนนำไปสกัดด้วยสารละลาย ตั้งแต่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสถึง 750 องศาเซลเซียส

1.3.6 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเผาฝุ่นกับไซเตียมไฮดรอกไซด์ ตั้งแต่เวลา 30 นาที ถึง 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดด้วยสารละลาย

1.3.7 ศึกษาสัดส่วนระหว่างไซเตียมไฮดรอกไซด์ต่อฝุ่นดีบุก ตั้งแต่ 0.3:1 ถึง 1:1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ช่วยให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการละลายดีบุกจากฝุ่นเตาอย่างแร่ ด้วยสารละลายอัลคาไลน์

1.4.2 ช่วยให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเผาฝุ่นกับไซเตียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสกัดดีบุกออกด้วยสารละลายอัลคาไลน์

1.4.3 ช่วยลดปัญหาการสูญเสียธาตุดีบุกในกระบวนการผลิต

1.4.4 ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากปริมาณฝุ่น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรม

โลหวิทยาสารละลาย (Hydrometallurgy) ⁽⁴⁾ เป็นส่วนหนึ่งของโลหวิทยาว่าด้วยการสกัดและการละลายของโลหะ โดยใช้สารละลายหรือสารประกอบอินทรีย์ ขั้นตอนของโลหวิทยาสารละลายประกอบด้วยกระบวนการละลายแร่ (โดยมากมักเป็นแร่เกรดต่ำ) เพื่อจะละลายโลหะ การแยกสารละลายที่ได้ออกจากกากแร่ และการนำเอาโลหะที่ละลายออกมาจากสารละลาย

โดยปกติ กระบวนการละลายในระบบของโลหวิทยาสารละลาย ⁽⁵⁾ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

1. การแพร่ของสารตั้งต้นผ่านผลผลิตของแข็ง (product layer) หรือผ่านชั้นของสารละลาย (boundary layer)
2. การเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาที่ผิว (surface reaction)
3. การแพร่ของผลผลิตที่ละลายได้ออกจากผิวที่ทำปฏิกิริยา

หนึ่งในขั้นตอนเหล่านี้ที่เป็นขั้นตอนที่ช้าที่สุด จะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา (rate-limiting step)

จากความรู้ด้านโลหวิทยาสารละลายนี้ ทำให้เกิดการตีความและการทดลองเกี่ยวกับการละลายแร่เกรดต่ำ หรือฝุ่นที่เกิดจากการถลุงโลหะ โดยศึกษาผลกระทบจากตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลาย เป็นต้น

Harris ⁽⁶⁾ ได้อธิบายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Sn และ NaOH โดยมีตัวออกซิไดซ์ ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ จะเกิด Na_2SnO_3 ขึ้นซึ่งละลายได้ในน้ำ ขณะเดียวกันก็เกิด NaSbO_3 และ Na_2AsO_4 ขึ้นด้วยซึ่งต้องกำจัดออกจากสารละลาย โดย Sb จะตกตะกอนเป็น Sb_2S_3 ด้วยการเติม Na_2S แล้วจึงกรองออก ส่วนสารประกอบของ As จะตกผลึกออกมาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35°C และกำจัดออกโดยการกรองเช่นกัน

Luis W. Pommier และ Saul J. Escalera⁽⁶⁾ ได้ศึกษาการสกัดฝุ่นดีบุกที่ได้จากการเผาแร่ ให้กลายเป็นไอด้วยซัลไฟด์ ฝุ่นประกอบด้วย Sn 35.1 เปอร์เซ็นต์, As 2.0 เปอร์เซ็นต์, Sb 1.9 เปอร์เซ็นต์, Bi 0.2 เปอร์เซ็นต์, Cu 0.1 เปอร์เซ็นต์, Pb 5.4 เปอร์เซ็นต์, S 5.6 เปอร์เซ็นต์ และ Zn 3.4 เปอร์เซ็นต์ ใช้สารละลายผสมของ NaOH และ Na₂S.9H₂O ที่มี Na จาก NaOH ต่อ Na จาก Na₂S อยู่ในสัดส่วน 3 ต่อ 1 สกัดที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลการทดลอง เป็นไปตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลการละลายฝุ่นดีบุกด้วยสารละลายผสม NaOH-Na₂S

Element	Solution 1			Solution 2			Solution 3		
	Liquor assay, g/l	Residue* assay, %	Distrib. in residue, %	Liquor assay, g/l	Residue* assay, %	Distrib. in residue, %	Liquor assay, g/l	Residue* assay, %	Distrib. in residue, %
Sn	75.23	14.80	28.56	102.50	1.47	2.66	103.20	1.15	1.99
As	2.32	1.80	38.86	5.85	0.06	1.91	5.82	0.08	2.58
Sb	Tr**	2.80	100+	0.83	2.94	99.51	0.45	3.12	100+
Bi	ND***	0.30	100+	0.05	0.31	96.67	0.06	0.32	100+
Cu	Tr	0.80	100+	ND	0.09	100+	ND	0.06	100+
Pb	Tr	8.05	100+	0.15	8.72	100+	0.22	9.01	100+

* Residue weights were 203.2 g for Solution 1, 190 g for Solution 2, and 181.9 g for Solution 3.

** Trace

*** Not detected

Solution 1 คือสารละลายที่ใช้มีปริมาณโซเดียม 150 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสตอยซ์ไอเมตรี

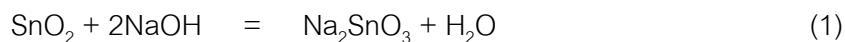
Solution 2 คือสารละลายที่ใช้มีปริมาณโซเดียม 250 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสตอยซ์ไอเมตรี

Solution 3 คือสารละลายที่ใช้มีปริมาณโซเดียม 350 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสตอยซ์ไอเมตรี

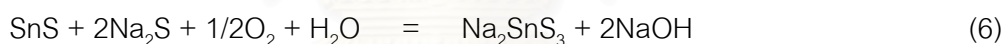
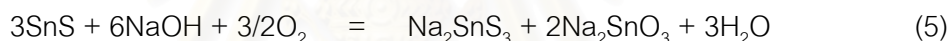
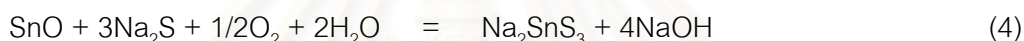
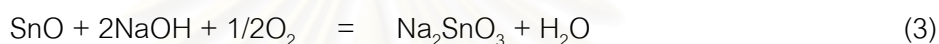
Luis W. Pommier และ Saul J. Escalera สรุปผลการทดลองว่า

1. ดีบุกที่อยู่ในฝุ่น อยู่ในรูป SnO₂, SnO และ SnS ปนกัน จึงต้องใช้ตัวออกซิไดซ์ช่วยในการละลายดีบุกให้เป็น Na₂SnO₃ และ Na₂SnS₃
2. สารหนูที่อยู่ในฝุ่นสามารถละลายอยู่ในสารละลายได้ แต่พลวงที่ถูกละลายเป็น NaSbO₃ นั้นจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ และสามารถกำจัดออกโดยการกรอง
3. เมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายลงจะกำจัดสารหนูได้โดย สารประกอบของสารหนูจะตกตะกอนออกมา สารละลายที่เหลืออยู่จึงมีเพียงดีบุกที่เป็นองค์ประกอบหลัก

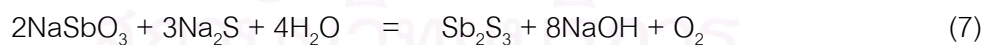
ปฏิกิริยาการละลายที่เกิดขึ้น เป็นไปตามสมการที่ (1) และ (2)



ในกรณีของ SnO และ SnS จะมีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาดังสมการที่ (3) ถึง (6)



พลวงและธาตุอื่น ๆ ที่อาจอยู่ในสารละลาย เช่น อยู่ในรูปของ NaSbO_3 จะทำปฏิกิริยากับ Na_2S กลายเป็น Sb_2S_3 ดังสมการที่ (7)



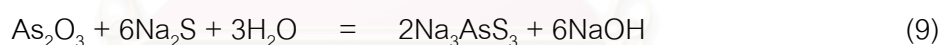
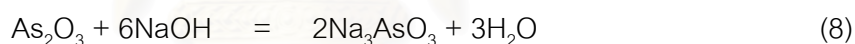
Pailin⁽⁷⁾ ได้ศึกษาเรื่องการกำจัดสารหนูออกจากฝุ่นเตาย่างแร่ โดยการละลายด้วยสารละลาย NaOH , Na_2S และสารละลายผสมของ NaOH และ Na_2S ในสัดส่วน 3:1 ใช้เวลาในการละลาย 4 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง ใช้ฝุ่นดิบๆ 10 กรัม องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นเตาย่างแร่แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นเตาอย่างแรกที่นำมาศึกษาการละลาย

Component	Percent by weight	
	OB ^(a)	CB ^(b)
As	43.08	21.44
Sn	5.77	6.58
Pb	5.22	8.39
Bi	3.90	2.23

Note : a) OB = oxidising roasting dust
b) CB = chloridising roasting dust

ผลการทดลองปรากฏตามตารางที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งสรุปว่าสารละลาย Na_2S สามารถละลายสารหนูจากฝุ่นดีบุกได้ดีกว่าสารละลาย NaOH แต่ถ้าใช้สารละลายผสมของ $\text{NaOH-Na}_2\text{S}$ จะได้ประสิทธิภาพการละลายสารหนูที่ดีที่สุด ส่วนดีบุกที่อยู่ในฝุ่นเตาอย่างแรกไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายดังกล่าว ปฏิกิริยาการละลายของ As_2O_3 เป็นไปตามสมการที่ (8) และ (9)



ตารางที่ 2.3 ผลการละลายฝุ่นดีบุกด้วยสารละลาย NaOH , Na_2S และ $\text{NaOH-Na}_2\text{S}$

Leaching reagent	Assay (% As)			
	In residue		Extraction	
	OB	CB	OB	CB
NaOH	4.85	3.62	96.62	96.88
Na_2S	1.18	1.60	99.14	98.32
$\text{NaOH-Na}_2\text{S}$	0.46	0.29	99.65	99.83

ตารางที่ 2.4 ผลการละลายฝุ่นดีบุกด้วยสารละลาย NaOH-Na₂S

Product	Weight or volume in g or mL		Assay in % or g/L				Distribution (%)			
			As		Sn		As		Sn	
	OB	CB	OB	CB	OB	CB	OB	CB	OB	CB
Feed	9.97	10.04	43.08	21.44	5.77	6.58	100	100	100	100
Leach liquor	157.00	146.00	ND	ND	0.08	0.08	ND	ND	0.02	0.02
Wash solution	122.00	110.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Residue	2.10	2.35	0.50	0.44	38.96	37.08	0.002	0.005	100	100

Note : ND = Not determined

G. Holt และ D. Pearson⁽⁶⁾ ได้ศึกษาการละลายดีบุกจากแร่ดีบุกเกรดต่ำ ซึ่งทดลองโดยใช้ตัวอย่างแร่ที่มี Sn 14.2 เปอร์เซ็นต์ และ 18.8 เปอร์เซ็นต์ แร่จะถูกบดเป็นเม็ดเพลเลตและรีดิวซ์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนหรือก๊าซผสมไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นโลหะดีบุก โดยจะบดเพลเลตที่ได้ให้เป็นผงละเอียดขนาด 150 ไมครอน เพื่อนำไปละลายเอาดีบุกเปรียบเทียบกับ การละลายโดยไม่บดเพลเลต การละลายจะกระทำโดยใช้สารละลายต่างกันคือ

- HCl
- H₂SO₄
- HCl-H₂SO₄
- NaCl-H₂SO₄

ผลการทดลองที่ได้ แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ซึ่งสรุปว่า HCl มีประสิทธิภาพในการละลายดีบุกที่สุด แต่ก็สามารถใช้ H₂SO₄ และ NaCl ในปริมาณเท่ากันมาใช้ได้ และการบดแร่ก่อนการละลายให้ประสิทธิภาพการละลายดีกว่าที่ยังไม่ได้ผ่านการบด

นอกจากนั้นยังได้ทดลองใช้ FeCl₃ เป็นส่วนผสมด้วย ตารางที่ 2.6 แสดงผลที่ได้ ซึ่งปรากฏว่าคลอไรด์ก็มีความสำคัญในการละลาย แต่ FeCl₃ และ NaCl ก็มีประสิทธิภาพในการละลายเท่ากันถ้ามีอยู่ในปริมาณที่เท่ากัน นอกจากนั้นการละลาย ณ อุณหภูมิใกล้กับจุดเดือดของสารละลาย จะให้การละลายที่ดีด้วย

ตารางที่ 2.5 ผลของการละลายแร่ดีบุกโดยใช้ HCl, H₂SO₄, HCl-H₂SO₄ และ NaCl-H₂SO₄

Leaching agent	Quantities, equiv/100 g	Extraction of Sn, %
HCl	1.60	94.9
	5.72	94.6
	5.72	98.1*
H ₂ SO ₄	2.52	70.8
	7.00	85.3
	7.00	60.2*
HCl-H ₂ SO ₄	0.80/1.26	91.8
	0.60/1.70	91.7
	0.80/1.26	85.8*
NaCl-H ₂ SO ₄	2.50/2.52	93.4
	1.48/2.52	90.6
	1.60/1.60	93.0
	1.48/2.52	85.3*

* Sample as pellets.

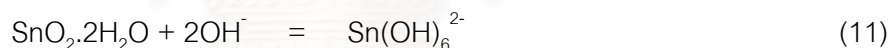
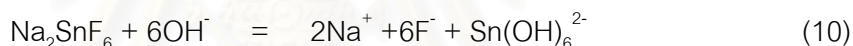
ตารางที่ 2.6 ผลของการละลายแร่ดีบุกโดยใช้ FeCl₃ เปรียบเทียบกับ NaCl

Test No.	H ₂ SO ₄ , equiv/100 g	NaCl, equiv/100 g	FeCl ₃ , equiv/100 g	Temperature °C	Time, h	Sn extracted, %
1	2.52	-	-	100	1	10.8
2	2.52	-	1.07	100	1	96.0
3	1.62	-	1.07	100	1	95.3
4	2.52	-	1.07	25	1	87.3
5	2.52	-	-	25	5	91.3
6	2.52	-	1.07	100	1	92.5
7	2.52	1.07	-	100	1	92.2
8*	2.52	-	1.07	100	1	98.6

* Unroasted concentrate.

นอกจากนั้น ชาคร และคณะ⁽⁹⁾ ได้ศึกษาการสกัดดีบุกจากตะกอนดีบุกซึ่งเป็นของเสียจากการชุบเคลือบแผ่นเหล็กด้วยไฟฟ้า โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.72-2.5 โมลต่อลิตร อุณหภูมิห้องถึง 90 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ของแข็ง 5-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสรุปว่า ตะกอนดีบุกซึ่งมีดีบุกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำมาสกัดดีบุกออกได้โดยใช้วิธีละลายด้วยสาร

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณการละลายของดีบุกจากตะกอนดีบุก ขึ้นกับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และความสามารถในการละลายของดีบุกซึ่งอยู่ในรูป $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ ในสารละลายที่ใช้ การใช้เปอร์เซ็นต์ของแข็งสูงขึ้นไปจะต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณมากขึ้นด้วย เพื่อให้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากพอสำหรับการทำปฏิกิริยาของดีบุก อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดที่ความสามารถในการละลายของดีบุกในสารละลายค่อนข้างต่ำ ทำให้ไม่อาจใช้เปอร์เซ็นต์ของแข็งสูงได้ การใช้เปอร์เซ็นต์ของแข็งเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้องจะละลายดีบุกออกมาได้มากถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 15 นาที หากใช้เปอร์เซ็นต์ของแข็งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้องและใช้เวลาในการกวน 15 นาที จะได้เปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกสูงประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาดังกล่าวปรากฏตามตารางที่ 2.7 และตารางที่ 2.8 ดีบุกในรูปแบบต่าง ๆ ในตะกอนดีบุก จะทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามสมการที่ (10) และ (11)



ตารางที่ 2.7 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งและอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุก

%ของแข็ง	อุณหภูมิ °C	% การละลายของดีบุก
20	30	24.8
20	60	14.6
30	30	25.5
30	60	18.8

สภาวะการละลาย : สารละลายมีความเข้มข้นของ NaOH 2.5 โมลต่อลิตร จำนวน 600 มิลลิลิตร ความเร็วในการกวน 750 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 15 นาที

ตารางที่ 2.8 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งและความเข้มข้นของ NaOH ในสารละลายต่อเปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุก

%ของแข็ง	ความเข้มข้นของ NaOH (โมลต่อลิตร)	% การละลายของดีบุก
5.0	2.0	87.2
5.0	2.5	73.9
7.5	2.5	93.6
10.0	2.0	84.8
10.0	2.5	77.5
15.0	2.0	35.3
15.0	2.5	61.8
20.0	2.0	15.2
20.0	2.5	24.8

สภาวะการทดลอง : สารละลาย 400 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วในการกวน 750 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 15 นาที

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้สารละลาย NaOH และสารละลาย Na_2S เป็นตัวสกัดดีบุกออกจากฝุ่นเตาอย่างแรก โดยศึกษาการสกัดฝุ่นด้วยสารละลายโดยตรง และการสกัดฝุ่นที่เผากับไซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไปละลายดีบุกออกไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ฝุ่นดีบุกจากเตาย่างแร่

ฝุ่นจากเตาย่างแร่ที่ใช้ในการทดลองได้จากบริษัท ไทยแลนด์สเมลดิงแอนดรีไฟนิง จำกัด จังหวัดภูเก็ต มีลักษณะเป็นผงละเอียด นำมาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างฝุ่นทั้งหมดเก็บไว้ในเดสซิเคเตอร์

3.1.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

3.1.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพลเลต : CARLO ERBA For analysis, Minimum assay > 98%

3.1.2.2 โซเดียมซัลไฟด์ ($\text{Na}_2\text{S}\cdot x\text{H}_2\text{O}$) : BDH Assay Na_2S 32.0-38.0%

3.1.2.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) : Fisher Chemicals, For Analysis, Assay 37.22%

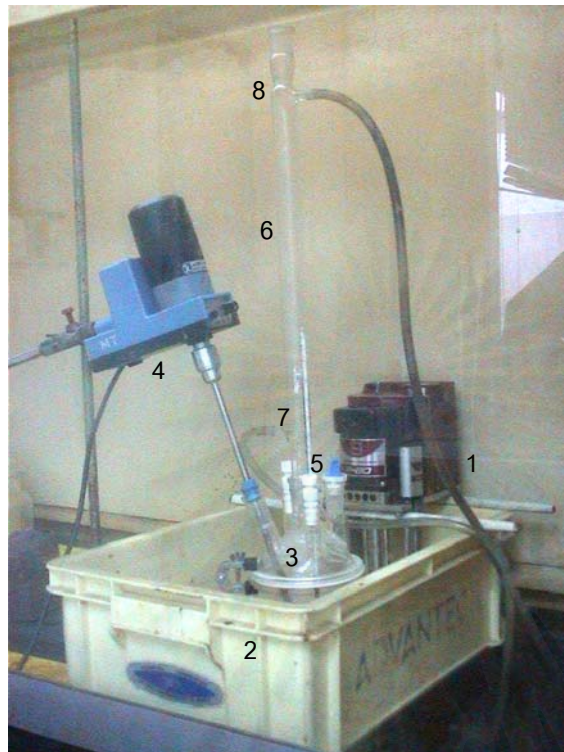
3.2 การตรวจวิเคราะห์ฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง

รูปร่างของฝุ่นที่ใช้ในการทดลองตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) การตรวจสอบองค์ประกอบต่าง ๆ ในฝุ่นกระทำด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer) การหาส่วนประกอบทางเคมีของฝุ่นกระทำโดยใช้การวิเคราะห์ทางเคมี สำหรับขนาดและการกระจายตัวของฝุ่นหาด้วยวิธี Homogeneous Suspension ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L

3.3 การละลายฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์

การทดลองละลายฝุ่น กระทำในภาชนะทำปฏิกิริยาแก้วมีฝาครอบซึ่งมีช่องเปิดห้าช่อง ช่องที่หนึ่งใช้สอดใบพัดกวนที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ช่องที่สองใช้สอดเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิของสารละลายตลอดเวลาที่ทำการทดลอง ช่องที่สามติดตั้งรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์เพื่อลดการสูญเสียของสารละลายเนื่องจากการระเหย ส่วนช่องเปิดที่สี่ใช้สำหรับใส่ฝุ่นเพื่อทำการละลาย ด้านนอกของภาชนะทำปฏิกิริยาหล่อด้วยน้ำ ใช้ขดลวดให้ความร้อนเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำและภาชนะทำปฏิกิริยา รักษาและควบคุมความร้อนให้สารละลายมีอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ โดยติดตั้งอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.1 ลำดับการทดลองมีดังต่อไปนี้

- 3.3.1 ชั่งฝุ่นตามปริมาณที่กำหนด
- 3.3.2 เตรียมสารละลายอัลคาไลน์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- 3.3.3 ใส่สารละลายอัลคาไลน์ในภาชนะทำปฏิกิริยา ปิดฝาครอบและติดตั้งรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์และเครื่องกวน
- 3.3.4 เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิที่กำหนด จึงใส่ฝุ่นตามที่ชั่งไว้ลงในสารละลาย
- 3.3.5 ชักตัวอย่างสารละลายด้วยปิเปตที่เวลา 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง จำนวน 5 มิลลิลิตร
- 3.3.6 กรองตัวอย่างสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง
- 3.3.7 ชักตัวอย่างจากสารละลายที่กรองแล้วด้วยปิเปต จำนวน 2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
- 3.3.8 วิเคราะห์หาปริมาณดีบุกในตัวอย่างสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)



1. ขดลวดความร้อนและปั้มน้ำหมุนเวียน
2. ภาชนะบรรจุน้ำ
3. ภาชนะทำปฏิกิริยา
4. เครื่องกวนใบพัด
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์
(Reflux Condenser)
7. ทางเข้าน้ำหล่อเย็น
8. ทางออกน้ำหล่อเย็น

รูปที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

3.4 การเผาฝุ่นกับไซเตียมไฮดรอกไซด์แล้วสกัดด้วยสารละลาย

การเผาฝุ่นกับไซเตียมไฮดรอกไซด์แล้วสกัดด้วยสารละลาย กระทำตามลำดับดังต่อไปนี้

- 3.4.1 ชั่งฝุ่นและไซเตียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่กำหนด
- 3.4.2 เปิดสวิตช์เตาเผา และกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาโดยกดปุ่มตัวเลขด้านหน้าเตาเผา ที่ตั้งไว้ประมาณ 30 นาทีหรือจนกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้จะคงที่
- 3.4.3 นำไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่ชั่งแล้วมาบดด้วยโกร่งบด เป็นเวลาประมาณ 10 นาที
- 3.4.4 นำฝุ่นที่ชั่งแล้ว ผสมเข้ากับไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่บดแล้ว จากนั้นใส่ลงในเบ้าหลอม (Crucible)
- 3.4.5 เมื่อเตาเผาแสดงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จึงใส่เบ้าหลอมไว้บริเวณกลางเตา
- 3.4.6 เมื่อเผาจนถึงเวลาที่กำหนด จึงนำเบ้าหลอมออกจากเตาและปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง

- 3.4.7 นำผลผลิตที่ได้จากบ้ำหลอมมาบด เป็นเวลาประมาณ 10 นาที
- 3.4.8 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 3.4.9 ใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในภาชนะทำปฏิกิริยา ปิดฝาครอบและติดตั้งรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์และเครื่องกวน
- 3.4.10 เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิที่กำหนด จึงใส่ฝุ่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่บดไว้แล้วลงในสารละลาย
- 3.4.11 เมื่อละลายจนถึงเวลาที่กำหนด ทั้งสารละลายในภาชนะทำปฏิกิริยาให้เย็นตัวแล้วกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง
- 3.4.12 วิเคราะห์หาปริมาณดีบุกในสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)

3.5 การตรวจสอบกากฝุ่นหลังผ่านการละลาย

นำกากที่เหลือจากการละลายไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผงฝุ่นหลังการละลาย บางตัวอย่างนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์เพื่อหาองค์ประกอบที่มีอยู่ในกาก

3.6 รายละเอียดการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ

- 3.6.1 การละลายฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์

ตัวแปรที่ศึกษามีทั้งหมด 4 ตัวแปร ดังนี้

3.6.1.1 อัตราการกวน

ในการทดลองนี้ ใช้อัตราการกวนตั้งแต่ 400 รอบต่อนาทีถึง 850 รอบต่อนาที โดยใช้ฝุ่น 25 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลจากอัตราการกวน

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลจากอัตราการกวน

หมายเลขการทดลอง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลต่อลิตร)	สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	อุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย (องศาเซลเซียส)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)
1	25	NaOH = 1 M	1:20	60	400
2	25	NaOH = 1 M	1:20	60	500 (ครั้งที่ 1)
3	25	NaOH = 1 M	1:20	60	500 (ครั้งที่ 2)
4	25	NaOH = 1 M	1:20	60	750 (ครั้งที่ 1)
5	25	NaOH = 1 M	1:20	60	750 (ครั้งที่ 2)
6	25	NaOH = 1 M	1:20	60	850 (ครั้งที่ 1)
7	25	NaOH = 1 M	1:20	60	850 (ครั้งที่ 2)

3.6.1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการละลายและสัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย

การทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่ใช้ในการละลายและสัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย ใช้อัตราการกวน 500 และ 850 รอบต่อนาที ใช้ฝุ่น 25 กรัมและ 12.5 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 และ 1:40 กระทำที่อุณหภูมิ 29, 60 และ 90 องศาเซลเซียส สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแสดงไว้ในตารางที่

3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายและสัดส่วน ปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย

หมายเลขการทดลอง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลต่อลิตร)	สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย (องศาเซลเซียส)
8	25	NaOH = 1 M	1:20	500	29
9	25	NaOH = 1 M	1:20	500	60 (ครั้งที่ 1)
10	25	NaOH = 1 M	1:20	500	60 (ครั้งที่ 2)
11	25	NaOH = 1 M	1:20	850	29
12	25	NaOH = 1 M	1:20	850	60 (ครั้งที่ 1)
13	25	NaOH = 1 M	1:20	850	60 (ครั้งที่ 2)
14	12.5	NaOH = 1 M	1:40	500	29
15	12.5	NaOH = 1 M	1:40	500	90

3.6.1.3 ชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย

การทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย ใช้ อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ใช้ฝุ่น 25 กรัม กระทำที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ละลายในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1, 2, 3.5 และ 5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิตร อัตราส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย

หมายเลขการทดลอง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)	ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลต่อลิตร)	สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย (องศาเซลเซียส)
16	25	Na ₂ S = 1 M	1:20	850	29
17	25	NaOH = 1 M	1:20	850	29
18	25	NaOH = 2 M	1:20	850	29
19	25	NaOH = 3.5 M	1:20	850	29
20	25	NaOH = 5 M	1:20	850	29

3.6.2 การเผาฝุ่นกับไซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วสกัดด้วยสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวแปรที่ศึกษามีทั้งหมด 3 ตัวแปร ดังนี้

3.6.2.1 อุณหภูมิที่ใช้เผา

การทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผา กระทำโดยเผาฝุ่นปริมาณ 10 กรัมรวมกับไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการบดแล้วปริมาณ 10 กรัม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 450, 550, 650 และ 750 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปละลายด้วยสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ตารางที่ 3.4 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผา

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผา

หมายเลขการทดลอง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)	ปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลต่อลิตร)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย (องศาเซลเซียส)
21	10	10	450	1	2	850	60
22	10	10	550	1	2	850	60
23	10	10	650	1	2	850	60
24	10	10	750	1	2	850	60

3.6.2.2 เวลาที่ใช้ในการเผา

การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเผา กระทำโดยเผาฝุ่นปริมาณ 10 กรัมร่วมกับไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการบดแล้วปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 450 และ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ละลายด้วยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ตารางที่ 3.5 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเผา

ตารางที่ 3.5 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเผา

หมายเลขการทดลอง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)	ปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลต่อลิตร)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย (องศาเซลเซียส)
25	10	10	450	0.5	2	850	60
26	10	10	450	1	2	850	60
27	10	10	450	2	2	850	60
28	10	10	750	0.5	2	850	60
29	10	10	750	1	2	850	60
30	10	10	750	2	2	850	60
31	10	10	750	4	2	850	60

3.6.2.3 สัดส่วนระหว่างไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ ($\text{NaOH}:\text{SnO}_2$)

การทดลองเพื่อศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ ($\text{NaOH}:\text{SnO}_2$) กระทำโดยเผาฝุ่นปริมาณ 10 กรัมรวมกับไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการบดแล้วปริมาณ 3, 4, 6, 8 และ 10 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 450 และ 750 องศาเซลเซียส ปริมาณดังกล่าวคิดเป็นสัดส่วน $\text{NaOH}:\text{SnO}_2$ ได้เท่ากับ 0.54, 0.72, 1.07, 1.43 และ 1.79 ตามลำดับ ละลายด้วยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ตารางที่ 3.6 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ ($\text{NaOH}:\text{SnO}_2$)

ตารางที่ 3.6 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ ดีบุกออกไซด์ (NaOH:SnO₂)

หมายเลขการทดลอง	ปริมาณปูน (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลต่อลิตร)	อัตราการกรวน (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย (องศาเซลเซียส)
32	10	3	450	1	2	850	60
33	10	4	450	1	2	850	60
34	10	6	450	1	2	850	60
35	10	8	450	1	2	850	60
36	10	10	450	1	2	850	60
37	10	3	750	1	2	850	60
38	10	4	750	1	2	850	60
39	10	6	750	1	2	850	60
40	10	8	750	1	2	850	60
41	10	10	750	1	2	850	60

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การวิเคราะห์ฝุ่นจากเตาอย่างแรกที่ใช้ในการทดลอง

ฝุ่นดีบุกที่ใช้ในการทดลองได้จากบริษัท ไทยแลนด์สเมตติ้งแอนดรีไฟนิง จำกัด จังหวัดภูเก็ต มีลักษณะเป็นผงละเอียด หลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของฝุ่น พบว่ามีดีบุกร้อยละ 55.84 และสารหนูร้อยละ 6.56

4.1.2 ผลการหาขนาดและการกระจายตัวของฝุ่นด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L ปรากฏตามตารางที่ 4.1 ฝุ่นทั้งหมดมีขนาดเล็กกว่า 30 ไมโครเมตร ขนาดที่เล็กกว่า 10 ไมโครเมตรมีมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

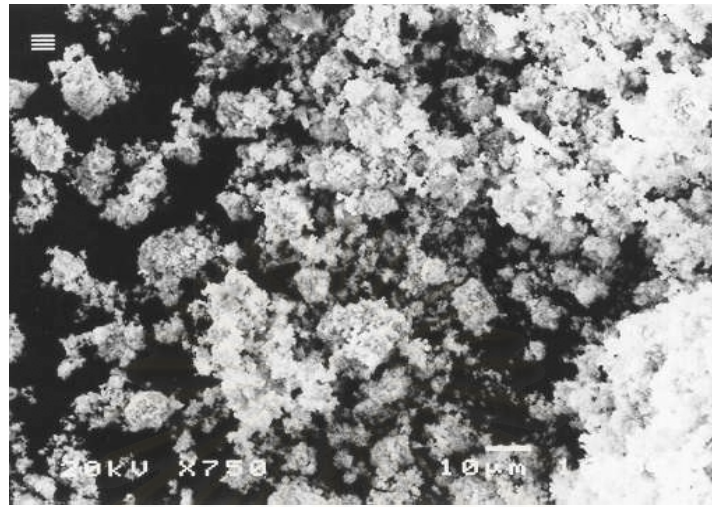
จากการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) พบว่ารูปร่างของฝุ่นส่วนใหญ่มีรูปร่างค่อนข้างกลม และละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 4.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ขนาดและการกระจายขนาดของฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง

เส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมโครเมตร)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	เปอร์เซ็นต์สะสม
-30.000+20.000	9.1	100.0
-20.000+15.000	9.1	90.9
-15.000+10.000	17.1	81.8
-10.000+8.000	12.5	64.7
-8.000+6.000	9.3	52.2
-6.000+5.000	1.7	42.9
-5.000+4.000	5.9	41.1
-4.000+3.000	7.0	35.2
-3.000+2.000	7.8	28.2
-2.000+1.500	3.8	20.4
-1.500+1.000	7.1	16.6
-1.000+0.800	3.9	9.5
-0.800+0.600	1.3	5.6
-0.600+0.500	0.8	4.3
-0.500+0.400	0.5	3.6
-0.400+0	3.1	3.1
0	0	0

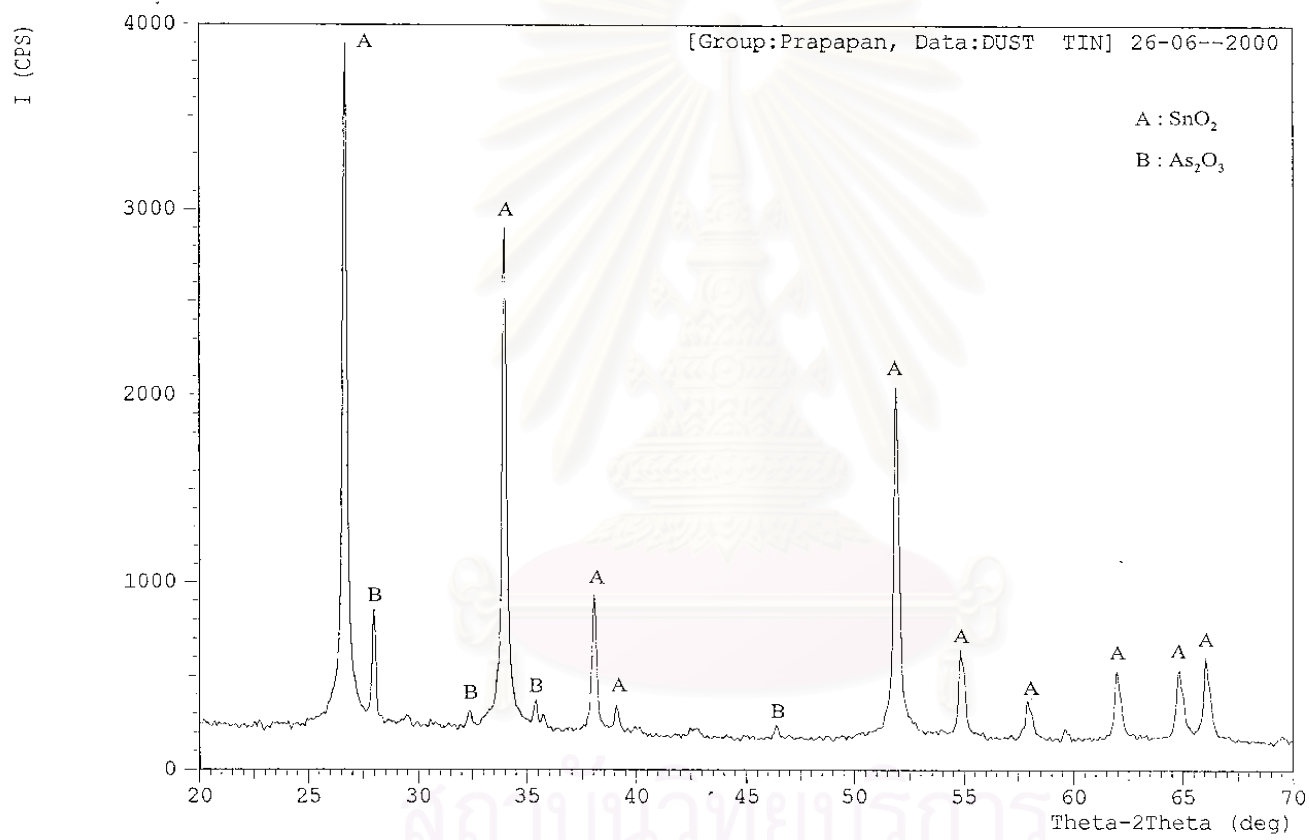
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 รูปร่างของฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง
กวาด ที่กำลังขยาย 750 เท่า

4.1.3 ในการตรวจสอบฝุ่นดีบุกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffrac-
tometer) พบว่าดีบุกอยู่ในรูป SnO_2 และมี As_2O_3 ปนอยู่ด้วย ดังรูปที่ 4.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ผลการตรวจสอบฝุ่นดีบุกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer)

4.2 การละลายฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์

4.2.1 ผลของอัตราการกววน

ในการละลายฝุ่นดีบุกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อศึกษาผลของอัตราการกววน ได้ทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิตร อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 โดยกววนสารละลายด้วยอัตราการกววน 400, 500, 750 และ 850 รอบต่อนาที ผลที่ได้ปรากฏตามตารางที่ 4.2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการละลายมากขึ้น ดีบุกในฝุ่นสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราการกววนที่ใช้ในช่วง 400 ถึง 850 รอบต่อนาที ไม่มีผลต่ออัตราการละลายของดีบุกอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการละลายของดีบุกที่อัตราการกววนต่าง ๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 ที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณการละลายของดีบุก (%)						
	400 (รอบต่อนาที)	500 (รอบต่อนาที) ครั้งที่ 1	500 (รอบต่อนาที) ครั้งที่ 2	750 (รอบต่อนาที) ครั้งที่ 1	750 (รอบต่อนาที) ครั้งที่ 2	850 (รอบต่อนาที) ครั้งที่ 1	850 (รอบต่อนาที) ครั้งที่ 2
15	3.31	3.41	2.61	4.74	2.64	4.80	4.02
30	5.09	4.41	4.54	6.54	4.60	5.41	5.75
60	7.04	5.91	6.94	8.44	7.23	6.62	7.67
120	10.39	7.48	7.20	10.72	9.08	8.65	9.89

4.2.2 ผลของอุณหภูมิ

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการละลายของดีบุกจากฝุ่น ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิตร ใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 โดยทำที่อุณหภูมิ 29 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อัตราการกววน

500 และ 850 รอบต่อนาที ปริมาณการละลายของดีบุกแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิของการละลายไปที่ 60 องศาเซลเซียสสามารถละลายดีบุกจากฝุ่นได้ใกล้เคียงกัน ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส ตามตารางที่ 4.5 จะได้ผลในการเพิ่มปริมาณการละลายของดีบุกขึ้นบ้างแต่ค่อนข้างต่ำ เช่น ในเวลา 120 นาที การละลายของดีบุกจากฝุ่นเพิ่มจาก 15.98 เปอร์เซ็นต์เป็น 17.94 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 และอัตราการกวน 500 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	ปริมาณการละลายของดีบุก (%)		
	29 องศาเซลเซียส	60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1)	60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2)
15	2.87	3.41	2.61
30	4.47	4.41	4.54
60	6.29	5.91	6.94
120	8.27	7.48	7.20

ตารางที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 และอัตราการกวน 850 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	ปริมาณการละลายของดีบุก (%)		
	29 องศาเซลเซียส	60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1)	60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2)
15	2.34	4.80	4.02
30	3.98	5.41	5.75
60	5.28	6.62	7.67
120	6.77	8.65	9.89

ตารางที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฟลูนต่อปริมาตรสารละลาย 1:40 และอัตราการกวน 500 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	ปริมาณการละลายของดีบุก (%)	
	29 องศาเซลเซียส	90 องศาเซลเซียส
15	5.37	5.57
30	8.59	9.87
60	11.74	13.70
120	15.98	17.94

4.2.3 ผลของสัดส่วนปริมาณฟลูนต่อปริมาตรสารละลาย

จากข้อมูลปริมาณการละลายของดีบุกที่ได้ ตามตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.5 สามารถเปรียบเทียบปริมาณการละลายของดีบุกที่สัดส่วนปริมาณฟลูนต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 และ 1:40 ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่า การใช้ปริมาณฟลูนน้อยกว่าจะละลายดีบุกออกจากฟลูนได้มากขึ้น เช่น ในเวลา 120 นาที ปริมาณการละลายเพิ่มขึ้นจาก 8.27 เปอร์เซ็นต์เป็น 15.98 เปอร์เซ็นต์

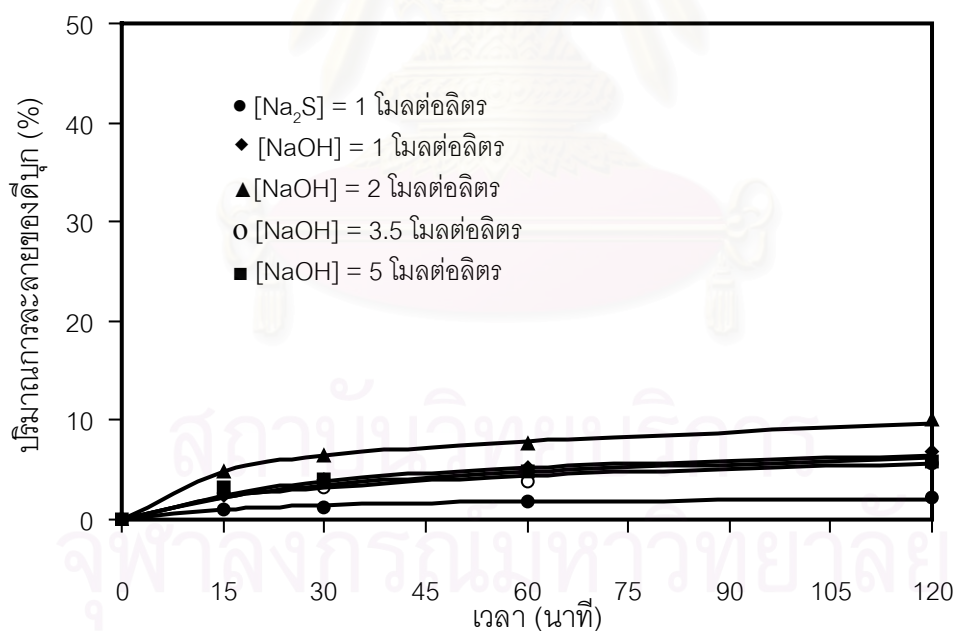
4.2.4 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย

การทดลองนี้ได้แปรเปลี่ยนความเข้มข้นของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ในสารละลาย ให้เท่ากับ 1 โมลต่อลิตร, 2 โมลต่อลิตร, 3.5 โมลต่อลิตร และ 5 โมลต่อลิตร โดยใช้ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และสัดส่วนปริมาณฟลูนต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และพล็อตเป็นกราฟตามรูปที่ 4.3 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์จาก 1 โมลต่อลิตรเป็น 2 โมลต่อลิตร สามารถละลายดีบุกออกจากฟลูนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 6.77 เปอร์เซ็นต์เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 120 นาที เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้นอีก กลับละลายดีบุกจากฟลูนได้น้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไฮเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น

ทำให้ปฏิกิริยาการละลายเกิดยากขึ้น สำหรับการใส่สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร สามารถละลายดีบุกจากฝุ่นได้เพียง 2 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 120 นาที

ตารางที่ 4.6 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณการละลายของดีบุก เมื่อใช้ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (29 องศาเซลเซียส)

เวลา (นาที)	ปริมาณการละลายของดีบุก (%)				
	[Na ₂ S] = 1M	[NaOH] = 1M	[NaOH] = 2M	[NaOH] = 3.5M	[NaOH] = 5M
15	0.96	2.34	4.83	2.55	3.23
30	1.31	3.98	6.52	3.13	4.10
60	1.74	5.28	7.75	3.79	4.89
120	2.18	6.77	10.04	5.62	5.79



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อใช้ปริมาตรสารละลาย 500 มิลลิลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง (29 องศาเซลเซียส) โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร หรือใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากผลการทดลองละลายดีบุกออกจากฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์ ในสภาวะที่ใช้ถือว่าไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากได้ประสิทธิภาพในการละลายดีบุกไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 120 นาที เมื่อใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20 ผลที่ได้แตกต่างจากผลการศึกษาของ Luis W. Pommier และ Escalera ค่อนข้างมาก ซึ่งนักวิจัยทั้งสองสามารถสกัดดีบุกจากฝุ่นดีบุกได้มากถึง 98 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมโซเดียมซัลไฟด์ที่มีปริมาณโซเดียม 350 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสตอยชิโอเมตรี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดและปริมาณของสารประกอบดีบุกในฝุ่นแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีแนวโน้มในการทำงานของตัวเองกับผลการศึกษาของ Pailin ที่พบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมโซเดียมซัลไฟด์ไม่สามารถละลายดีบุกออกจากฝุ่นได้ แต่ละลายสารหนูจากฝุ่นดีบุกได้ดี

โดยเหตุที่ดีบุกในฝุ่นทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ช้า ปริมาณการเกิด Na_2SnO_3 ซึ่งละลายน้ำได้ ตามสมการที่ (1) จึงน้อย ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงได้ใช้กรรมวิธีการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเปลี่ยนสภาพดีบุกในฝุ่นให้เป็น Na_2SnO_3 ก่อน ซึ่งคาดว่าจะละลายดีบุกออกมาได้ง่ายขึ้น

4.3 การเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการทดลองขั้นตอนนี้ ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ, เวลา และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ โดยพิจารณาจากปริมาณการละลายของดีบุกที่ได้หลังการเผา โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 850 รอบต่อนาที ปริมาตรสารละลาย 250 มิลลิลิตร และใช้เวลาละลาย 2 ชั่วโมง

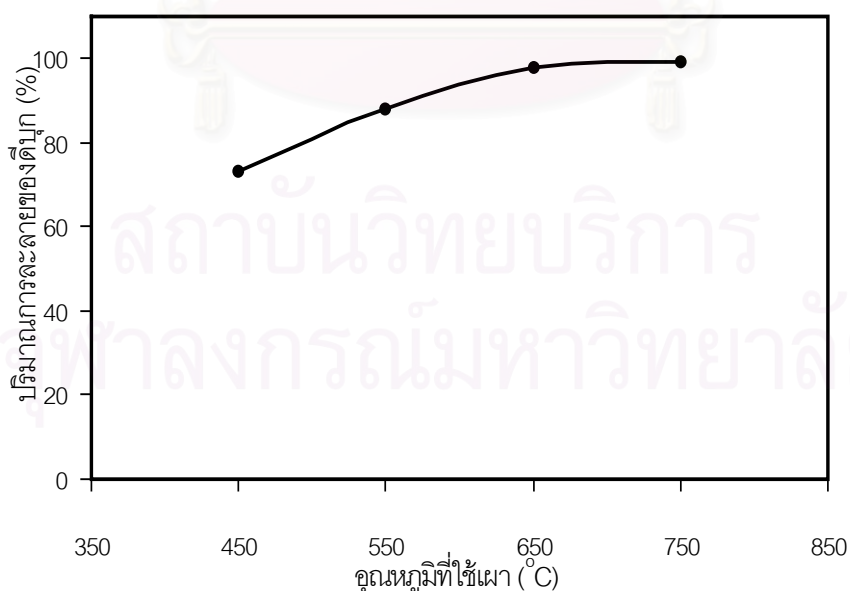
4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้เผา

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาต่อเปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกออกจากฝุ่น ทำโดยใช้ฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมเผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์บดละเอียดปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 450, 550 650 และ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นละลายผลผลิตที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามสภาวะที่กล่าวแล้วข้างต้น ผลที่ได้ปรากฏตามตารางที่ 4.7 และพล็อตเป็นกราฟดังรูปที่ 4.4 ผลการทดลองชี้ว่าปริมาณการละลายของดีบุกออกจากฝุ่นสูงขึ้นเมื่อ

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูงขึ้น ที่อุณหภูมิเผา 450 องศาเซลเซียส ดิบูกละลายออกจากฝุ่นได้เพียง 73 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 550, 650 และ 750 องศาเซลเซียส ดิบูกสามารถละลายออกมาได้ประมาณ 88, 98 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อุณหภูมิในการเผาเกือบไม่มีผลต่อการละลายของดิบูกจากฝุ่นที่อุณหภูมิตั้งแต่ 650 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยสามารถละลายดิบูกได้มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาฝุ่นดิบูกกับไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณการละลายของดิบูก โดยเผาฝุ่นดิบูกปริมาณ 10 กรัมกับไซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และละลายด้วยสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์

อุณหภูมิที่ใช้เผา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณการละลายของดิบูก (%)
450	72.97
550	87.96
650	98.00
750	99.28



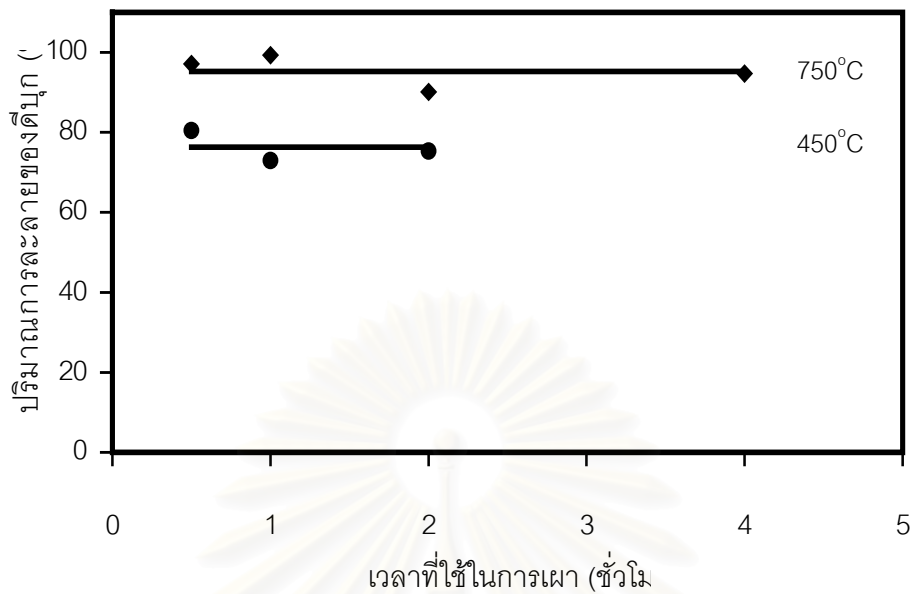
รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การละลายของดิบูกต่ออุณหภูมิที่ใช้เผาฝุ่นดิบูกปริมาณ 10 กรัมกับไซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และละลายด้วยสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์

4.3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการเผา

ในการทดลองศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเผาฝุ่นดีบุกกับไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกออกจากฝุ่น ได้ใช้ฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมเผากับไซเดียมไฮดรอกไซด์บดละเอียดปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส โดยแปรเปลี่ยนเวลาที่ใช้เผาตั้งแต่ 30 นาที ขึ้นไป จากนั้นละลายดีบุกออกจากผลผลิตที่ได้จากการเผาด้วยสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สภาวะเดียวกับหัวข้อ 4.3.1 ผลที่ได้ปรากฏตามตารางที่ 4.8 และพล็อตเป็นกราฟดังรูปที่ 4.5 ผลที่ได้ชี้ว่าการใช้เวลาในการเผา 30 นาทีก็เพียงพอแล้วสำหรับไซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 10 กรัมที่ใช้ผสม

ตารางที่ 4.8 ผลของเวลาที่ใช้ในการเผาฝุ่นดีบุกกับไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณการละลายของดีบุก

เวลาที่ใช้เผา (ชั่วโมง)	ปริมาณการละลายของดีบุก (%)	
	อุณหภูมิที่ใช้เผา 450 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิที่ใช้เผา 750 องศาเซลเซียส
0.5	80.51	97.07
1	72.97	99.28
2	75.36	90.07
4	-	94.66



รูปที่ 4.5 เปรอเซ็นต์การละลายของดีบุกต่อเวลาที่ใช้ในการเผาฝุ่นปริมาณ 10 กรัมกับไฮเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 450 และ 750 องศาเซลเซียส

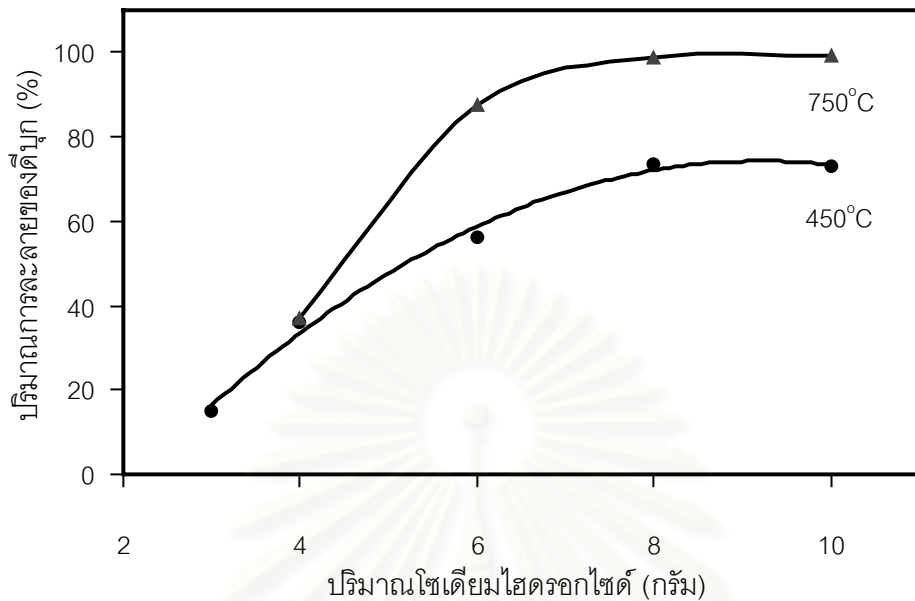
4.3.3 ผลของสัดส่วนระหว่างไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ในฝุ่นดีบุก (NaOH:SnO₂)

เพื่อศึกษาปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการเผาพร้อมกับฝุ่นดีบุก ได้ทดลองใช้ฝุ่นดีบุก 10 กรัมผสมกับไฮเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3, 4, 6, 8 และ 10 กรัม นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 และ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อคิดเป็นสัดส่วนระหว่างไฮเดียมที่ใช้ต่อดีบุกออกไซด์ในฝุ่น (NaOH:SnO₂) จะได้เท่ากับ 0.54, 0.72, 1.07, 1.43 และ 1.79 ตามลำดับ ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกที่สัดส่วนของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกต่าง ๆ และแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 4.6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ปริมาณการละลายของดีบุกจากฝุ่นสูงขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์มากขึ้น ที่อุณหภูมิที่ใช้เผา 450 องศาเซลเซียส และใช้สัดส่วนดังกล่าวเท่ากับ 0.54:1 สามารถละลายดีบุกออกมาได้เพียง 15 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนดังกล่าวให้สูงขึ้นอีก จะสามารถละลายดีบุกออกมาได้มากขึ้นและพบว่าเมื่อใช้สัดส่วนดังกล่าวตั้งแต่ 1.43:1 ขึ้นไป ปริมาณการละลายของดีบุกจะเริ่มคงที่ที่ประมาณมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ การใช้อุณหภูมิเผาที่ 750 องศาเซลเซียสแสดงผลในลักษณะเดียวกันกล่าวคือ ที่สัดส่วนไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ตั้งแต่ 1.43:1 ขึ้นไป เปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุกเริ่มคงที่ที่ประมาณมากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการใช้สัดส่วนดังกล่าวถือได้ว่ามีปริมาณไฮเดียมไฮ

ดรอกไซด์มากพอแล้วที่จะทำให้การผสมกันระหว่างฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้ากันได้ดีและทั่วถึง ที่สัดส่วน 1.43:1 นี้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต่อปริมาณดีบุกออกไซด์ในฝุ่นคิดเป็น 2.13 เท่าของปริมาณสโตยซีโอเมตรีตามสมการที่ (1) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการเผา 750 องศาเซลเซียส การใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่า 4 กรัมต่อฝุ่นดีบุกจำนวน 10 กรัม จะได้ผลการละลายของดีบุกใกล้เคียงกับการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.9 ผลของสัดส่วนระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์ ($\text{NaOH}:\text{SnO}_2$) ต่อปริมาณการละลายของดีบุก โดยใช้ฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมเผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

สัดส่วน		ปริมาณการละลายของดีบุก (%)	
NaOH : ฝุ่น (g) (g)	NaOH : SnO_2	อุณหภูมิที่ใช้เผา 450 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิที่ใช้เผา 750 องศาเซลเซียส
3 : 10	0.54 : 1	15.20	-
4 : 10	0.72 : 1	35.95	36.80
6 : 10	1.07 : 1	56.33	87.40
8 : 10	1.43 : 1	73.53	98.56
10 : 10	1.79 : 1	72.97	99.28

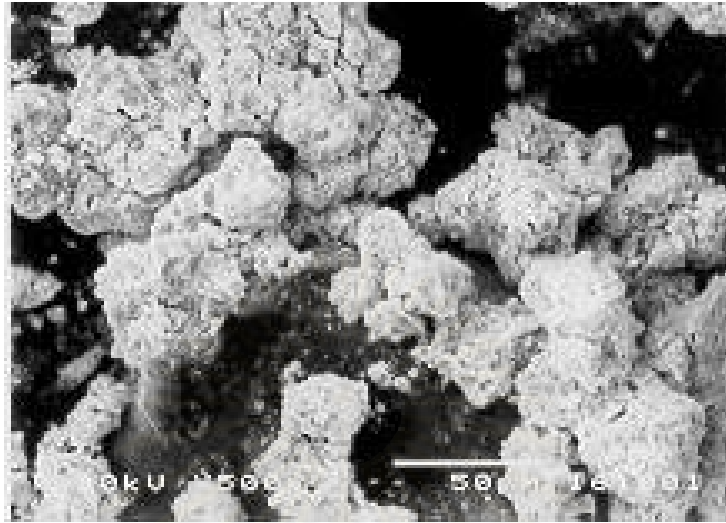


รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์การละลายของดีบุกที่ได้เป็นฟังก์ชันของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเผากับฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 450 และ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.4 การตรวจสอบผลผลิตจากการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

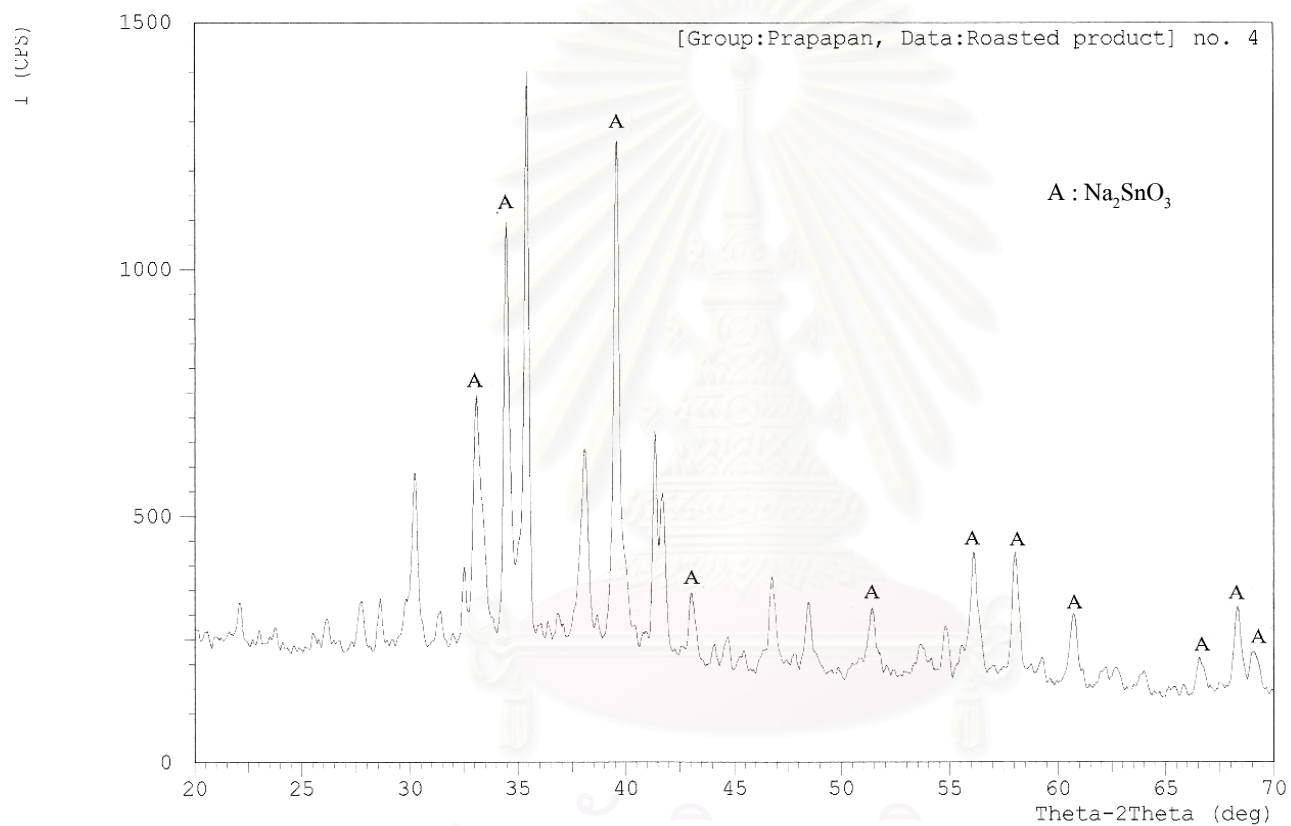
รูปที่ 4.7 เป็นผลผลิตที่ได้จากการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการตรวจสอบด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ พบ Na_2SnO_3 ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดีบุกออกไซด์ในฝุ่นได้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ผลผลิตที่ได้จากการเผาฝุ่นดิบกับไซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่เผา 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ฝุ่นปริมาณ 10 กรัม ไซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัม ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ที่กำลังขยาย 500 เท่า

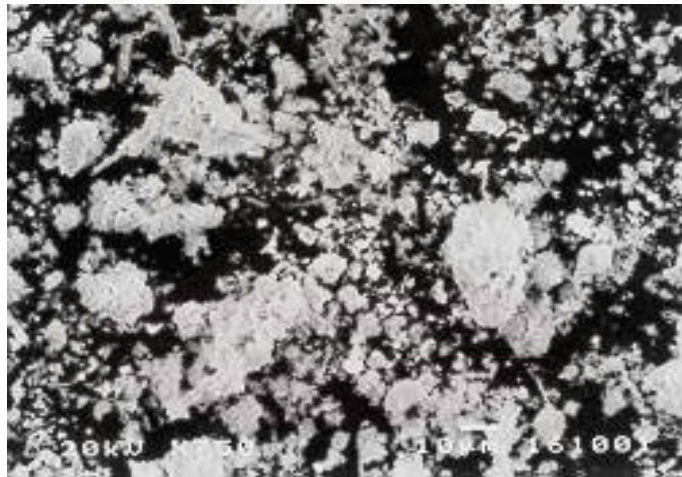
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



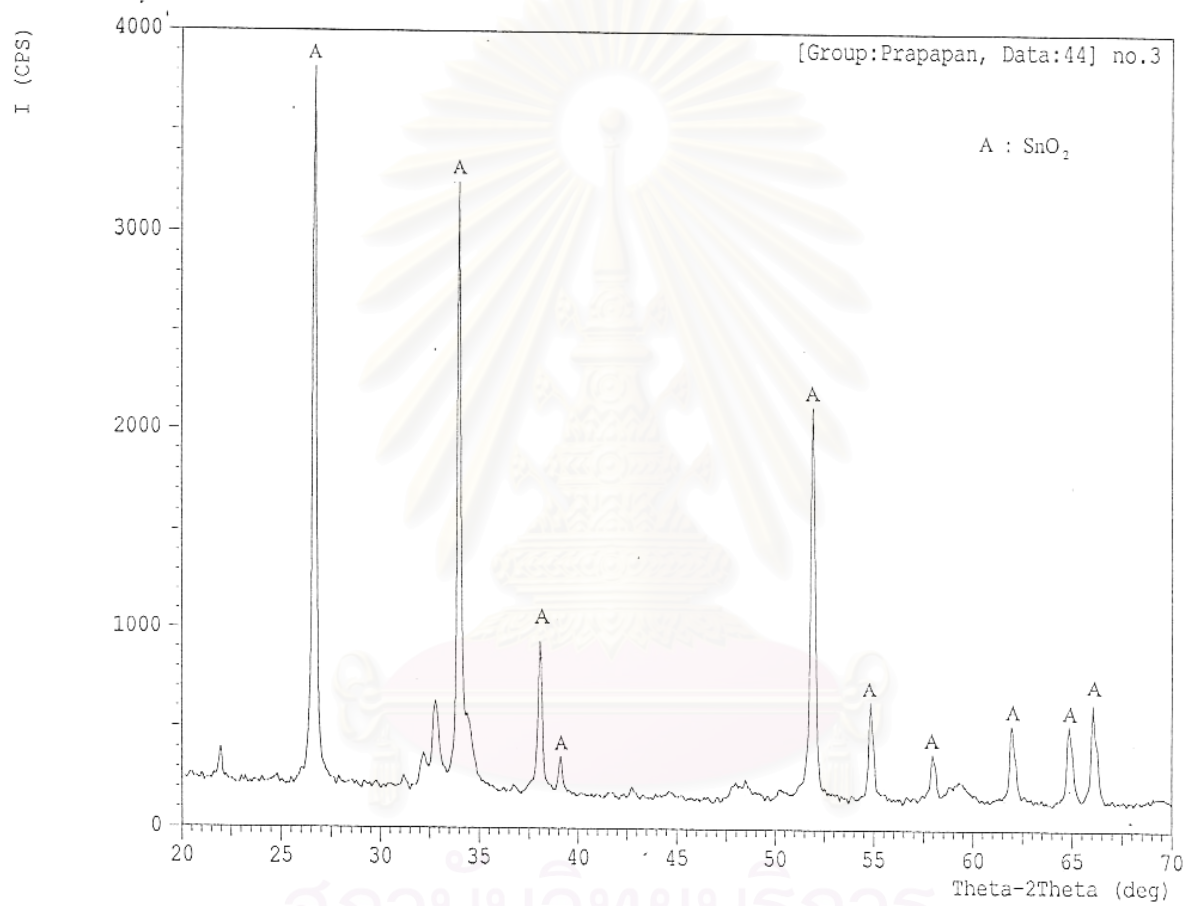
รูปที่ 4.8 ผลการตรวจสอบผลผลิตที่ได้จากการเผาฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมกับไฮเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer)

4.5 ผลการตรวจสอบกากที่เหลือจากการละลายฝุ่นดีบุกที่เผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังการละลาย

รูปที่ 4.9 เป็นกากที่เหลือจากการละลายฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมที่เผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3 กรัม ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน $\text{NaOH}:\text{SnO}_2$ เท่ากับ 0.54:1 เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดที่กำลังขยาย 750 เท่า รูปที่ 4.10 แสดงผลการตรวจสอบกากดังกล่าวด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ ซึ่งจะพบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่เหลืออยู่ในกากที่เหลือจากการละลาย คือ SnO_2 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในฝุ่นดีบุกเดิม เนื่องจากที่สภาวะนี้ดีบุกละลายออกไปได้ค่อนข้างน้อย



รูปที่ 4.9 กากที่เหลือจากการละลายฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมที่เผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3 กรัม ($\text{NaOH}:\text{SnO}_2$ เท่ากับ 0.54:1) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 750 เท่า



รูปที่ 4.10 ผลการตรวจสอบกากที่เหลือจากการละลายฝุ่นดีบุกปริมาณ 10 กรัมที่เผากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3 กรัม (NaOH:SnO₂ เท่ากับ 0.54:1) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการละลายดีบุกออกจากฝุ่นเตาอย่างแร่ของบริษัท ไทยแลนด์สเมลต์ติ้ง แอนดรีไฟนิง จำกัด ด้วยสารละลายอัลคาไลน์ และยังได้ศึกษาการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนนำไปละลายดีบุกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสรุปได้ว่า

1. ปริมาณดีบุกในฝุ่นเตาอย่างแร่ถูกสกัดออก โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ค่อนข้างต่ำ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลต่อลิตร สัดส่วนปริมาณฝุ่นดีบุกต่อปริมาตรสารละลาย เท่ากับ 1:20 โดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 2 ชั่วโมง

การใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ สกัดฝุ่นดีบุกแทนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลการสกัดต่ำเพียงประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้ ทำปฏิกิริยากับดีบุกในฝุ่นได้ค่อนข้างต่ำ

2. ในการเผาฝุ่นดีบุกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 450 ถึง 750 องศาเซลเซียส พบว่าช่วยให้ดีบุกละลายออกจากฝุ่นได้ดีกว่าการละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยตรง เนื่องจากดีบุกในฝุ่นสามารถทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดีโดยเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบดีบุกที่ละลายน้ำได้ โดยการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 650 องศาเซลเซียส สามารถสกัดดีบุกออกมาได้เกือบหมด ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เผากับฝุ่นดีบุกก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การละลายของดีบุก โดยต้องใช้ในสัดส่วนที่สูงพอ เพื่อช่วยให้การทำปฏิกิริยาระหว่างดีบุกในฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั่วถึง ในการศึกษารั้งนี้พบว่า ต้องใช้สัดส่วนดังกล่าวตั้งแต่ 1.43:1 ขึ้นไป หรือปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 2.13 เท่าของปริมาณสตอยชิโอเมตรี

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะในการพัฒนากระบวนการสกัดดีบุกจากฝุ่นเตาอย่างเร็วในขั้นต่อไปคือ

1. ศึกษากระบวนการนำสารละลายดีบุกที่ได้จากการสกัดจากฝุ่นดีบุกให้บริสุทธิ์
2. ศึกษากระบวนการแยกดีบุกจากสารละลายดีบุกด้วยวิธีไฟฟ้า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. D.J. Maykuth, Tin and Tin Alloys. Encyclopedia of Materials Science and Engineering. Volume 7, Pergamon, 1986.
2. กรมโลหกิจ กระทรวงอุตสาหกรรม. ดีบุก. (n.p.) : 2506.
3. Peter A. Wright. Extractive Metallurgy of Tin. (n.p.) : Elsevier Publishing Company, 1966.
4. Robert D. Pehlke. Unit Processes of Extractive Metallurgy. Elsevier, NewYork : Oxford, 1982.
5. ธีรพันธุ์ พิมพ์ทอง. คิเนติกส์ของการละลายสังกะสีจากฝุ่นเตาอาร์กไฟฟ้าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
6. Luis W. Pommier and Saul J. Escalera. Processing of Tin from Impure Raw Materials. Journal of Metals (1979) : 10-12.
7. Pailin Veerothai. The Removal of Arsenic from Tin-Roaster Dust. Beneficiation of Tin and Associated Minerals Southeast Asia Tin Research and Development Centre, Technical Publication No. 3, 1983 : 277-283.
8. G. Holt and D. Pearson. Hydrometallurgical Process for Recovery of Tin From Low-Grade Concentrates Institute of Mining and Metallurgy, June, 1977 : C77-C81.
9. ชากร จารุพิสิฐธร, พิชัย อรุณทรัพย์ และอัฐชัย พิริยะวัฒน์. การสกัดดีบุกจากตะกอนดีบุกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Extraction of Tin from Tin Sludge by Sodium Hydroxide Leaching). วารสารโลหะ วัสดุ และแร่ (Metals, Materials and Minerals Bulletin) 5 (ธันวาคม 2538) : 59-63.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

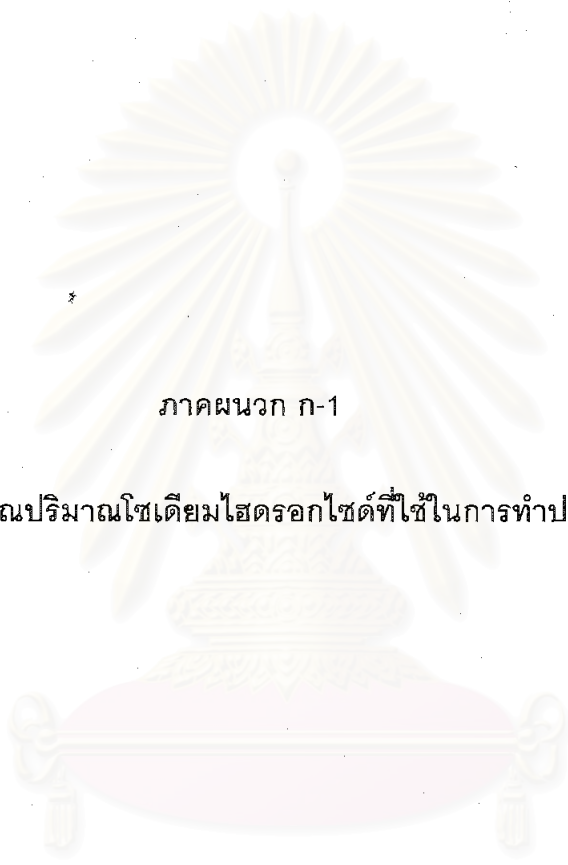
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก-1

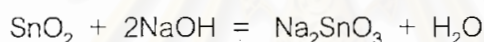
วิธีการคำนวณปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการคำนวณปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

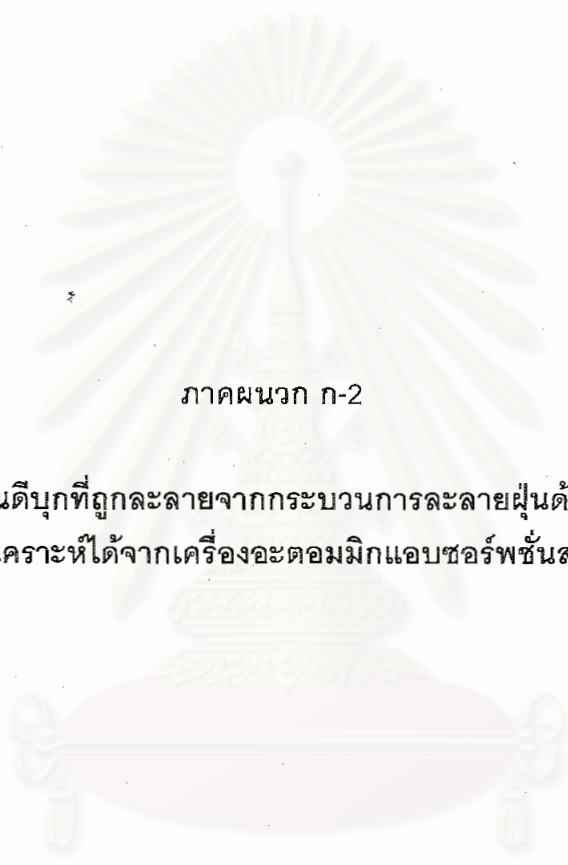
ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง	A	กรัม
จากการวิเคราะห์หามีปริมาณดีบุก (Sn) อยู่ในฝุ่น	B	เปอร์เซ็นต์
ดังนั้นปริมาณดีบุก (Sn) อยู่ในฝุ่น	$A \times B / 100$	กรัม
ดีบุก (Sn) มีมวลอะตอมเท่ากับ	118.71	กรัมต่อโมล
ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ	150.71	กรัมต่อโมล
ดังนั้นในฝุ่น A กรัม จะมีดีบุกออกไซด์	$A \times B \times 150.71 / 100 \times 118.71$	กรัม
	$= 0.0127AB$	กรัม

จากสมการเคมี



แสดงว่า ดีบุกออกไซด์ 1 โมล	ทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมล	
โซเดียมไฮดรอกไซด์ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ	40	กรัมต่อโมล
นั่นคือ ดีบุกออกไซด์ 150.71 กรัม	ทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2×40 กรัม	
ถ้ามี ดีบุกออกไซด์ $0.0127AB$ กรัม	จะทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์	
	$= 2 \times 40 \times 0.0127AB / 150.71$	กรัม
	$= 0.0067AB$	กรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก-2

วิธีการคำนวณปริมาณดีบุกที่ถูกละลายจากกระบวนการละลายฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์ โดยหาจากค่าที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการคำนวณปริมาณดีบุกที่ถูกละลายจากกระบวนการละลายฝุ่นด้วยสารละลายอัลคาไลน์ โดยหาจากค่าที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง	A	กรัม
จากการวิเคราะห์ที่มีปริมาณดีบุก (Sn) อยู่ในฝุ่น	B	เปอร์เซ็นต์
ดังนั้นปริมาณดีบุก (Sn) อยู่ในฝุ่น	$A \times B / 100$	กรัม
ปริมาณสารละลายที่ใช้ในการละลาย	500	มิลลิลิตร
แสดงว่ามีปริมาณดีบุกอยู่ในสารละลาย	$A \times B / 100$	กรัมต่อ 500 มิลลิลิตร
	$= 1,000AB / 100$	มิลลิกรัมต่อ 500 มิลลิลิตร
	$= 10AB$	มิลลิกรัมต่อ 500 มิลลิลิตร

เมื่อชักตัวอย่างสารละลาย 2 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกใน Volumetric Flask ขนาด 100 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นั่นคือ ในสารละลาย 2 มิลลิลิตรจะมีดีบุกอยู่ทั้งหมด

$$= 2 \times 10AB / 500 \quad \text{มิลลิกรัม}$$

$$= 0.04AB \quad \text{มิลลิกรัม}$$

แสดงว่าในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตรจะมีดีบุกอยู่ทั้งหมด 0.04AB มิลลิกรัมเช่นกัน

นั่นคือ มีดีบุกอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก $= 0.04AB$ มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

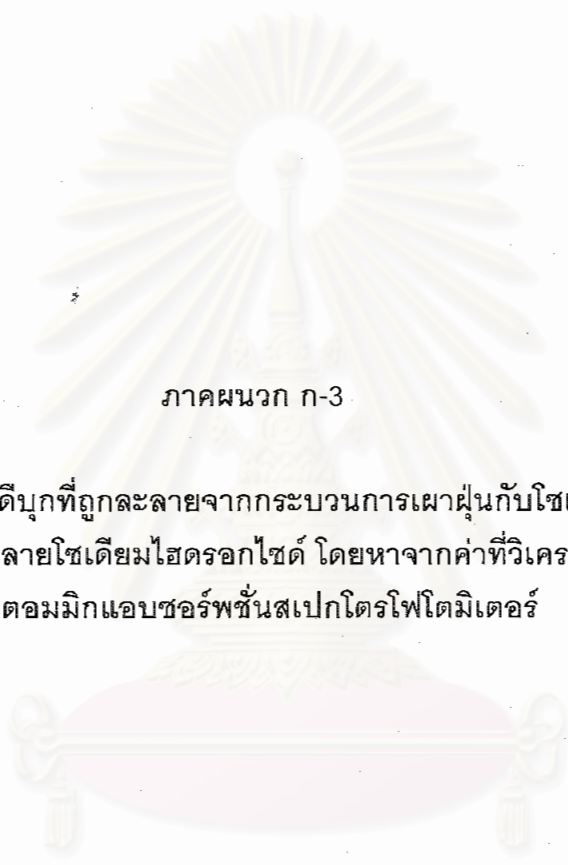
$$= 0.4AB \quad \text{มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

ถ้าผลวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีปริมาณดีบุกที่ถูกละลาย

$$= C \quad \text{มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ดีบุกที่ถูกละลายออกจากฝุ่น $= (C \times 100) / 0.4AB$ เปอร์เซ็นต์

$$= 250C / AB \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$



ภาคผนวก ก-3

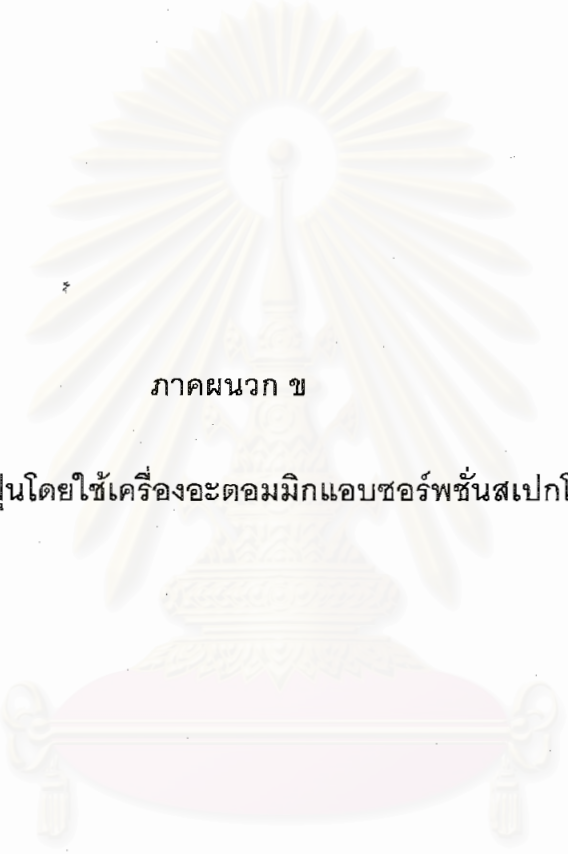
วิธีการคำนวณปริมาณดินบุกที่ถูกละลายจากกระบวนการเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยหาจากค่าที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการคำนวณปริมาณดีบุกที่ถูกละลายจากกระบวนการเผาฟุ้งกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยหาจากค่าที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ปริมาณฟุ้งที่ใช้ในการทดลอง	A	กรัม
จากการวิเคราะห์มีปริมาณดีบุก (Sn) อยู่ในฟุ้ง	B	เปอร์เซ็นต์
ดังนั้นมีปริมาณดีบุก (Sn) อยู่ในฟุ้ง	$A \times B / 100$	กรัม
	$= 1,000 \times AB / 100$	มิลลิกรัม
	$= 10AB$	มิลลิกรัม
ปริมาณสารละลายที่ใช้ในการละลาย	250	มิลลิลิตร
ถ้าผลวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีปริมาณดีบุกที่ถูกละลาย		
	$= C$	มิลลิกรัมต่อลิตร
ดังนั้น ในสารละลาย 250 มิลลิลิตรจะมีดีบุกอยู่ทั้งหมด		
	$= C \times 250 / 1,000$	มิลลิกรัม
	$= 0.25C$	มิลลิกรัม
ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ดีบุกที่ถูกละลายออกจากฟุ้ง	$= (0.25C \times 100) / 10AB$	เปอร์เซ็นต์
	$= 2.5C / AB$	เปอร์เซ็นต์

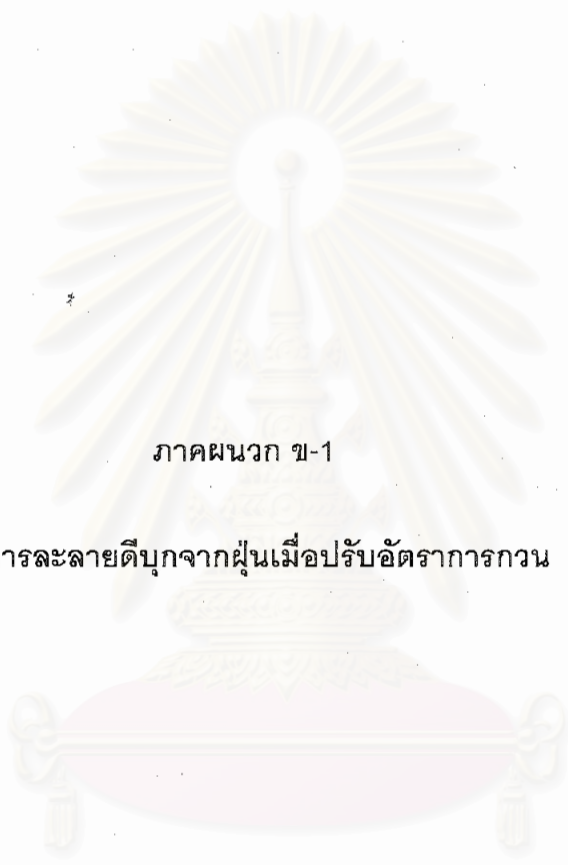
สถาบันวิจัยการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข-1
ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อปรับอัตราการกวาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-1-1 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อัตราการกว 400 รอบต่อนาที

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกว	400	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
1-1	15	18.47	3.31
1-2	30	28.42	5.09
1-3	60	39.34	7.04
1-4	120	58.03	10.39

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-1-2 ตารางแสดงผลการละลายดินบุกจากฝุ่นที่อัตราการกววน 500 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 1)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกววน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
2-1	15	19.02	3.41
2-2	30	24.65	4.41
2-3	60	32.99	5.91
2-4	120	41.80	7.48

ข-1-3 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อัตราการกว 500 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 2)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกว	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
3-1	15	14.58	2.61
3-2	30	25.35	4.54
3-3	60	38.77	6.94
3-4	120	40.18	7.20

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-1-4 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อัตราการกวาน 750 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 1)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกวาน	750	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
4-1	15	26.48	4.74
4-2	30	36.51	6.54
4-3	60	47.13	8.44
4-4	120	59.84	10.72

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-1-5 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อัตราการกว 750 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 2)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกว	750	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
5-1	15	14.73	2.64
5-2	30	25.71	4.60
5-3	60	40.38	7.23
5-4	120	50.69	9.08

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-1-6 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อัตราการกวร 850 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 1)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกวร	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
6-1	15	26.81	4.80
6-2	30	30.19	5.41
6-3	60	36.97	6.62
6-4	120	48.29	8.65

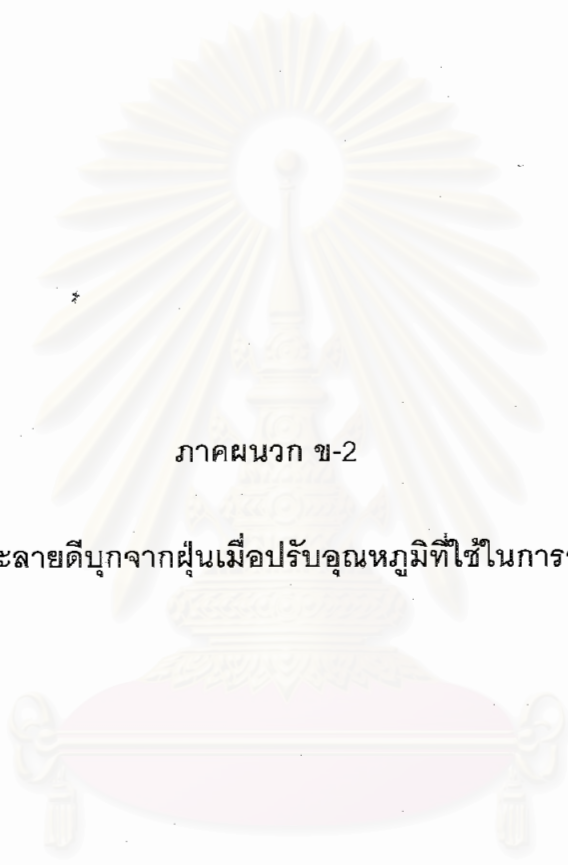
ข-1-7 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อัตราการกว 850 รอบต่อนาที (ครั้งที่ 2)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกว	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
7-1	15	22.43	4.02
7-2	30	32.13	5.75
7-3	60	42.81	7.67
7-4	120	55.23	9.89

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข-2

ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อปรับอุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-2-1 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อุณหภูมิห้อง

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
8-1	15	16.03	2.87
8-2	30	24.95	4.47
8-3	60	35.12	6.29
8-4	120	46.20	8.27

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-2-2 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
2-1	15	19.02	3.41
2-2	30	24.65	4.41
2-3	60	32.99	5.91
2-4	120	41.80	7.48

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช-2-3 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
3-1	15	14.58	2.61
3-2	30	25.35	4.54
3-3	60	38.77	6.94
3-4	120	40.18	7.20

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-2-4 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิห้อง

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
9-1	15	13.08	2.34
9-2	30	22.24	3.98
9-3	60	29.50	5.28
9-4	120	37.83	6.77

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-2-5 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
6-1	15	26.81	4.80
6-2	30	30.19	5.41
6-3	60	36.97	6.62
6-4	120	48.29	8.65

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-2-6 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2)

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกววน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
7-1	15	22.43	4.02
7-2	30	32.13	5.75
7-3	60	42.81	7.67
7-4	120	55.23	9.89

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-2-7 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิห้อง

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	12.50	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:40	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
10-1	15	14.99	5.37
10-2	30	23.99	8.59
10-3	60	32.78	11.74
10-4	120	44.63	15.98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

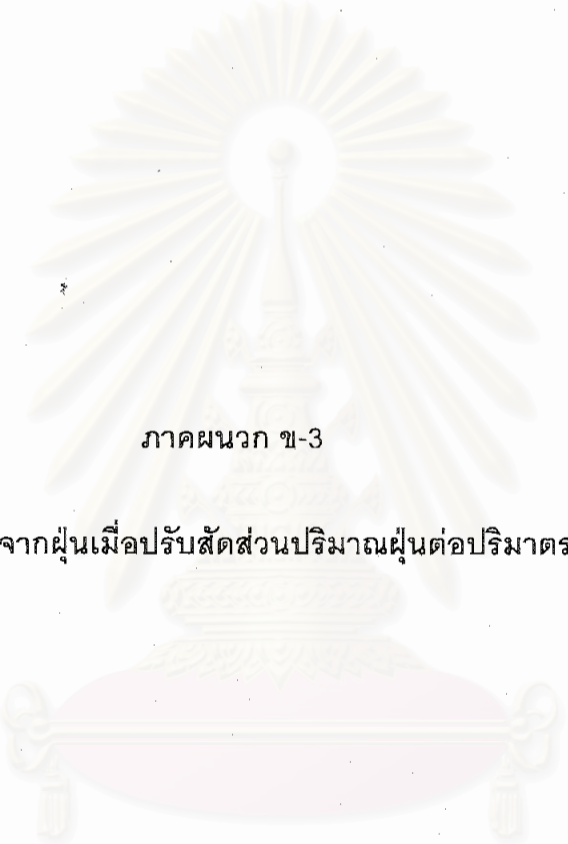
ข-2-8 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	12.50	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:40	
อุณหภูมิ	90	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
11-1	15	15.56	5.57
11-2	30	27.56	9.87
11-3	60	38.26	13.70
11-4	120	50.08	17.94

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข-3

ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อปรับสัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-3-1 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:20

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
8-1	15	16.03	2.87
8-2	30	24.95	4.47
8-3	60	35.12	6.29
8-4	120	46.20	8.27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

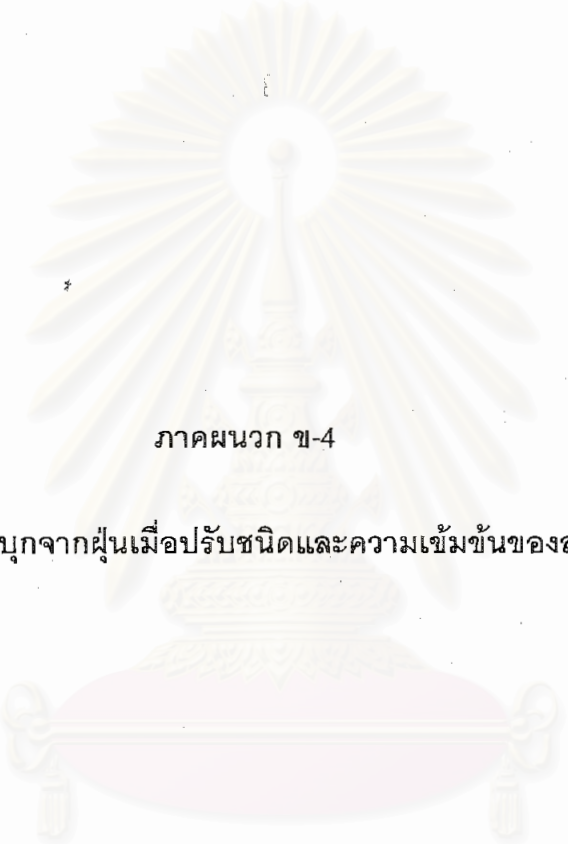
ข-3-2 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย 1:40

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	12.50	กรัม
สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:40	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	500	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
10-1	15	14.99	5.37
10-2	30	23.99	8.59
10-3	60	32.78	11.74
10-4	120	44.63	15.98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข-4

ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อปรับชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-4-1 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกรวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
12-1	15	5.35	0.96
12-2	30	7.33	1.31
12-3	60	9.73	1.74
12-4	120	12.18	2.18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-4-2 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น
1 โมลต่อลิตร

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	1.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
9-1	15	13.08	2.34
9-2	30	22.24	3.98
9-3	60	29.50	5.28
9-4	120	37.83	6.77

ข-4-3 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	2.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
13-1	15	26.99	4.83
13-2	30	36.39	6.52
13-3	60	43.28	7.75
13-4	120	56.05	10.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-4-4 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น
3.5 โมลต่อลิตร

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	3.5	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
14-1	15	14.26	2.55
14-2	30	17.49	3.13
14-3	60	21.17	3.79
14-4	120	31.36	5.62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

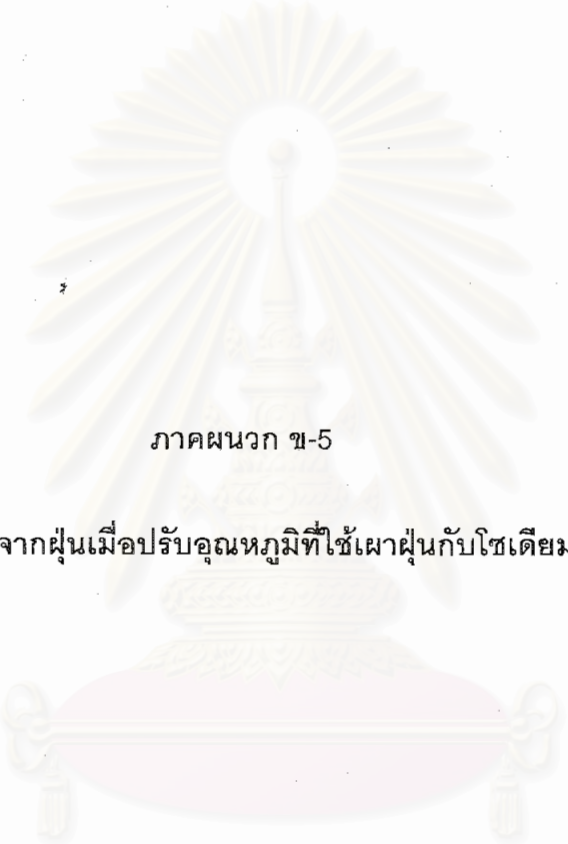
ข-4-5 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 โมลต่อลิตร

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	25.00	กรัม
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	5.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	500	มิลลิลิตร
สัดส่วนปริมาณฝุ่นต่อปริมาตรสารละลาย	1:20	
อุณหภูมิ	29	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
15-1	15	18.06	3.23
15-2	30	22.87	4.10
15-3	60	27.32	4.89
15-4	120	32.33	5.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข-5

ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อปรับอุณหภูมิที่ใช้เผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

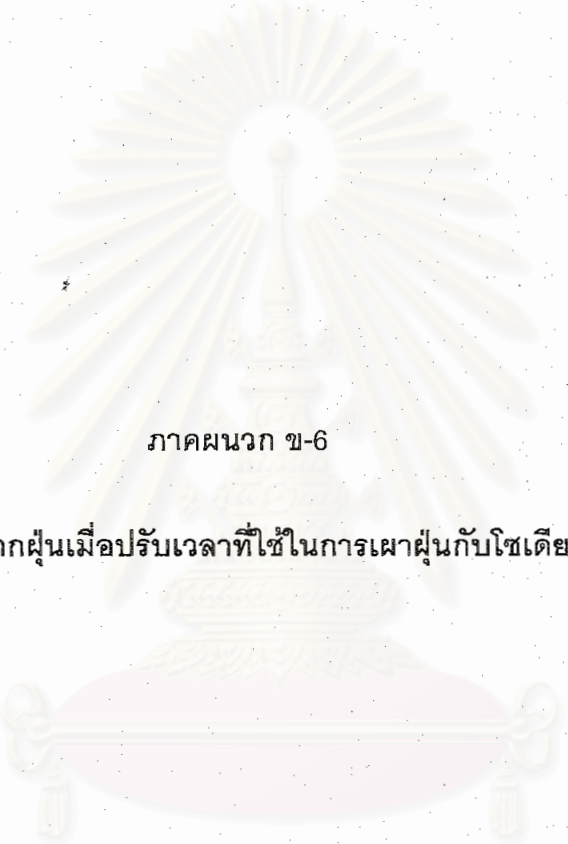
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-5-1 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นโดยเผาฝุ่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 450-750 องศาเซลเซียส

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	10.00	กรัม
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์	10.00	กรัม
เวลาที่ใช้ในการเผา	2	ชั่วโมง
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	2.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	250	มิลลิลิตร
เวลาที่ใช้ในการละลาย	2	ชั่วโมง
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกวน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้เผา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
16	450	16,298	72.97
17	550	19,648	87.96
18	650	21,890	98.00
19	750	22,175	99.28



ภาคผนวก ข-6

ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อปรับเวลาที่ใช้ในการเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-6-1 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นเมื่อเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 30 นาทีถึง 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	10.00	กรัม
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์	10.00	กรัม
อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา	450	องศาเซลเซียส
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	2.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	250	มิลลิลิตร
เวลาที่ใช้ในการละลาย	2	ชั่วโมง
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกรวน	850	รอบต่อนาที

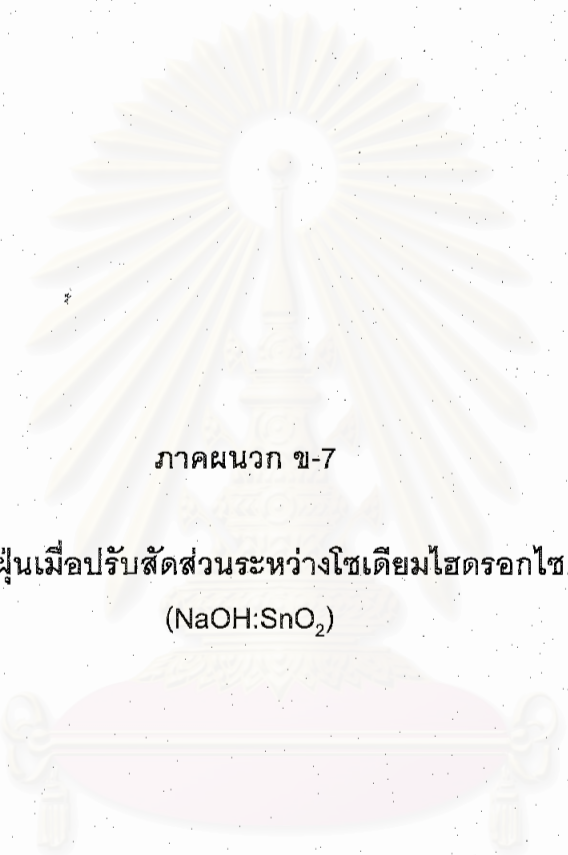
หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
20	0.5	17,983	80.51
16	1	16,298	72.97
21	2	16,832	75.36

ข-6-2 ตารางแสดงผลการละลายดิบจากฝุ่นเมื่อเผาฝุ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 30 นาทีถึง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

สภาวะการทดลอง

ปริมาณฝุ่น	10.00	กรัม
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์	10.00	กรัม
อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา	750	องศาเซลเซียส
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	2.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	250	มิลลิลิตร
เวลาที่ใช้ในการละลาย	2	ชั่วโมง
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกวาด	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
22	0.5	21,682	97.07
19	1	22,175	99.28
23	2	20,118	90.07
24	4	21,143	94.66



ภาคผนวก ข-7

ผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อปรับสัดส่วนระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดีบุกออกไซด์
(NaOH:SnO₂)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-7-1 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณฝุ่น ตั้งแต่ 3:10 ถึง 10:10 เเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

สภาวะการทดลอง

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา	450	องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการเผา	1	ชั่วโมง
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	2.0	มิลลิลิตร
ปริมาตรสารละลาย	250	มิลลิลิตร
เวลาที่ใช้ในการละลาย	2	ชั่วโมง
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกรวน	850	รอบต่อนาที

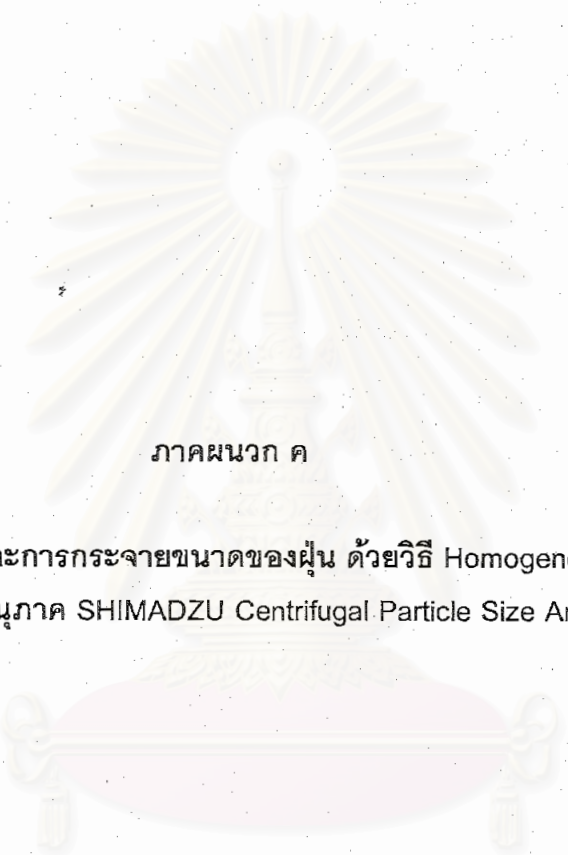
หมายเลขชุดการทดลอง	NaOH:ฝุ่น (g) (g)	NaOH:SnO ₂	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
25	3 : 10	0.54 : 1	3,394	15.20
26	4 : 10	0.72 : 1	8,030	35.95
27	6 : 10	1.07 : 1	12,582	56.33
28	8 : 10	1.43 : 1	16,423	73.53
16	10 : 10	1.79 : 1	16,298	72.97

ข-7-2 ตารางแสดงผลการละลายดีบุกจากฝุ่นเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณฝุ่น ตั้งแต่ 4:10 ถึง 10:10 เมาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

สภาวะการทดลอง

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา	750	องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการเผา	1	ชั่วโมง
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	2.0	โมลต่อลิตร
ปริมาตรสารละลาย	250	มิลลิลิตร
เวลาที่ใช้ในการละลาย	2	ชั่วโมง
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
อัตราการกรน	850	รอบต่อนาที

หมายเลขชุดการทดลอง	NaOH:ฝุ่น (g) (g)	NaOH:SnO ₂	ปริมาณการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
29	4 : 10	0.72 : 1	8,220	36.80
30	6 : 10	1.07 : 1	19,522	87.40
31	8 : 10	1.43 : 1	22,015	98.56
19	10 : 10	1.79 : 1	22,175	99.28



ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของฝุ่น ด้วยวิธี Homogeneous Suspension
ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของฝุ่น ด้วยวิธี Homogeneous Suspension
ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L

เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L ใช้หลักการ Photo Sedimentation Method ซึ่งเป็นวิธีตรวจความเข้มข้นของสารที่เปลี่ยนแปลงด้วยความเข้มของลำแสงที่เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ ค-1 โดยอาศัยการวัดอัตราการตกตะกอนของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในสารแขวนลอยโดยใช้สมการสโตก (Stokes Equation)

$$d^2 = 18\eta h / (\rho_p - \rho_l) g t$$

เมื่อ

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทรงกลม

η = ความหนืดของของเหลว

h = ความสูงในการตกตะกอน

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค

ρ_l = ความหนาแน่นของของเหลว

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

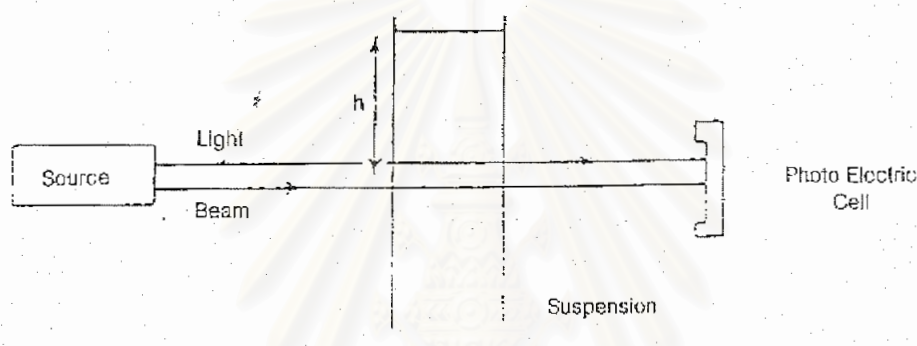
t = เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน

ของเหลวหรือสารแขวนลอยดังกล่าว ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. ไม่ควรละลายหรือเกิดปฏิกิริยากับอนุภาค
2. ของเหลวควรต่อต้านการจับตัวเป็นก้อนของอนุภาค
3. ความหนาแน่นของของเหลวควรน้อยกว่าความหนาแน่นของอนุภาค
4. ความหนืดของของเหลวควรเหมาะสม เพื่อที่จะได้ใช้เวลาในการวิเคราะห์ไม่นานจนเกินไป
5. กรณีอนุภาคไม่สามารถกระจายตัวได้ในของเหลวดังกล่าวเพียงลำพัง จะต้องใช้ Dispersing Agent เข้าช่วย

การเตรียมสารตัวอย่าง

ในการเตรียมสารตัวอย่าง จะต้องเตรียมให้สารมีการกระจายตัวและแขวนลอยในสารละลายให้มากที่สุดเนื่องจากสารที่มีขนาดเล็กมักเกาะติดกันด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์หรือปฏิกิริยาทางเคมีทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ การกระจายของสารตัวอย่างทำได้โดยใช้สาร Deflocculant เติมลงในสารละลายเพื่อให้สารตัวอย่างแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ แล้วนำเข้าสู่เครื่อง Ultrasonic Vibrator ทำให้สารแตกตัวได้ดียิ่งขึ้นก่อนนำไปเข้าเครื่องทดสอบ



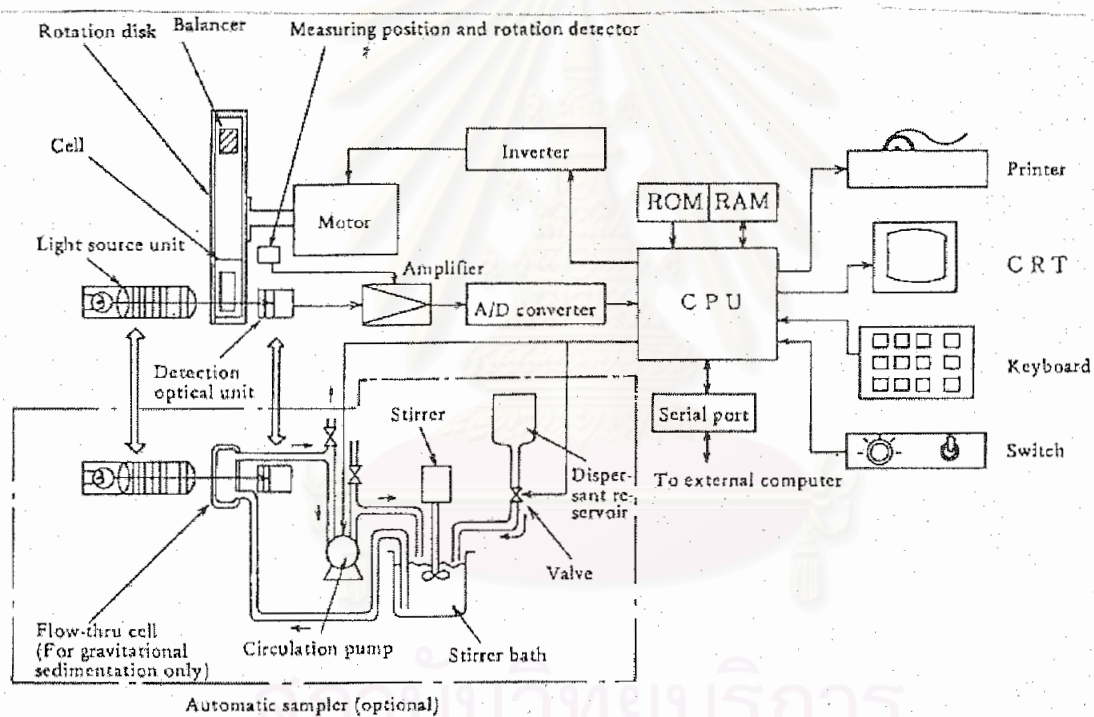
รูปที่ ค-1 วิธีการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้หลักการ Photo Sedimentation

เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L ประกอบด้วยหน่วยเหวี่ยงจากศูนย์ (Centrifuge Unit) หน่วยแสงและจับสัญญาณแสง (Optical/Detection Unit) หน่วยประมวลผล (Data Processing Unit) และหน่วยข้อมูลเข้าและออก (I/O Unit) ดังแสดงในรูปที่ ค-2

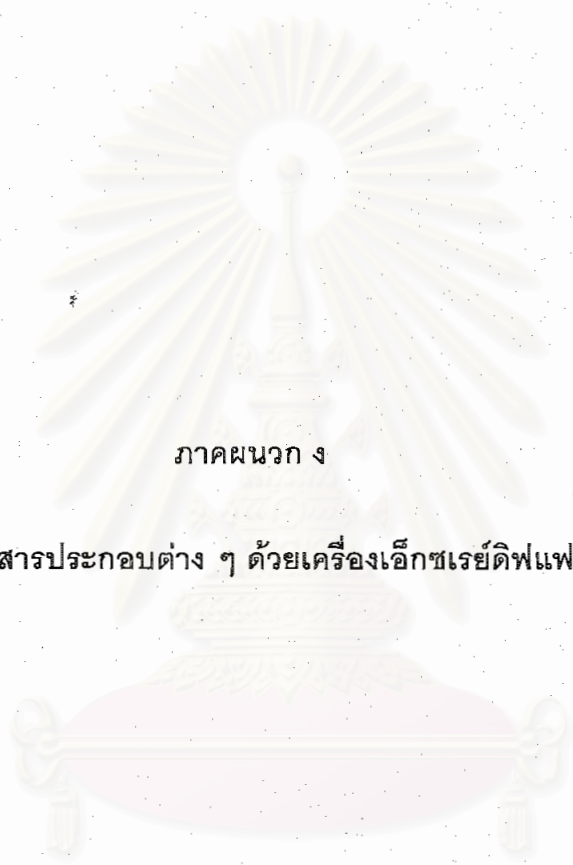
มอเตอร์ซึ่งแกนอยู่ในแนวนอนจะต่อกับจานหมุนซึ่งภายในบรรจุเซลล์วิเคราะห์ (Measurement Cell) สำหรับหน่วยแสงและจับสัญญาณแสงจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดและเซลล์ซิลิคอน โดยเซลล์วิเคราะห์จะตั้งอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและตัวจับสัญญาณแสง

การตกตะกอนโดยแรงดึงดูดของโลก วัดได้เมื่อจานหมุนหยุดนิ่ง และการตกตะกอนจากแรงเหวี่ยงจากศูนย์จะวัดได้เมื่อจานหมุน สำหรับในโหมดมัลติจานหมุนจะหยุดนิ่งในระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงหมุน เพื่อวัดค่าการตกตะกอนทั้ง 2 แบบ

ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์จะถูกควบคุมด้วย CPU ผ่านทางตัวกลับสัญญาณ หน่วยแสงและจับสัญญาณแสงสามารถปรับขึ้นลงได้ เพื่อปรับระยะการตกตะกอน แสงซึ่งผ่านเซลล์วิเคราะห์จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณจับไฟฟ้าที่ตัวจับสัญญาณ ตัวขยายสัญญาณ และตัวเปลี่ยนสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล แล้วจึงส่งผ่าน CPU ซึ่ง CPU จะคำนวณค่าการกระจายอนุภาคและข้อมูลอื่น ๆ จากสัญญาณดังกล่าว สำหรับแป้นคีย์บอร์ดและสวิตช์จะใช้ในการตั้งพารามิเตอร์ให้กับ CPU และจอภาพ CRT จะแสดงวิธีการทำงานของเครื่อง การดำเนินการวัด และผลการวิเคราะห์ ขนาดอนุภาคจะถูกพิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์



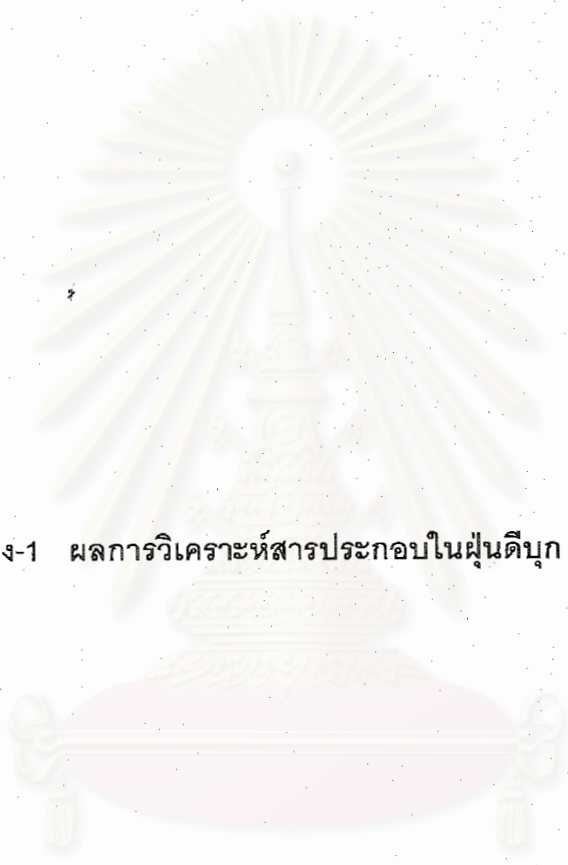
รูปที่ ค-2 โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค SHIMADZU Centrifugal Particle Size Analyzer รุ่น SA-CP3L



ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์สารประกอบต่าง ๆ ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ง-1 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในฝุ่นตึก

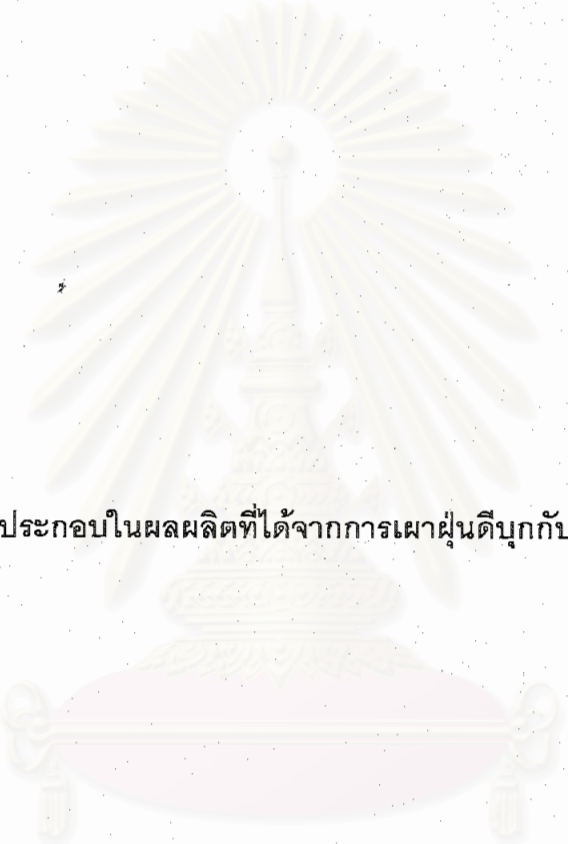
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Group : Prapapan
Data : DUST TIN

# Strongest 3 peaks			d	I/I1	FWHM	Intensity	Integrated Int
no. peak	2Theta	(deg)	(Å)		(deg)	(Counts)	(Counts)
1	3	26.6618	3.34079	100	0.19520	3887	16086
2	7	33.9577	2.63784	77	0.20860	2999	12032
3	13	51.8548	1.76177	62	0.19600	2393	11494

# Peak Data List			d	I/I1	FWHM	Intensity	Integrated Int
peak no.	2Theta	(deg)	(Å)		(deg)	(Counts)	(Counts)
1	13.9049		6.36372	11	0.15340	426	1634
2	26.1500		3.40500	4	0.40000	157	2979
3	26.6618		3.34079	100	0.19520	3887	16086
4	27.1000		3.28775	5	0.33340	201	3654
5	27.9585		3.18872	17	0.15400	672	2403
6	33.6500		2.66126	7	0.22760	285	3157
7	33.9577		2.63784	77	0.20860	2999	12032
8	34.3000		2.61230	6	0.30600	216	2870
9	35.3521		2.53693	4	0.19570	153	964
10	38.0260		2.36446	21	0.21390	797	4203
11	39.0629		2.30405	5	0.17000	175	890
12	51.4000		1.77628	3	0.19560	135	959
13	51.8548		1.76177	62	0.19600	2393	11494
14	52.3500		1.74626	3	0.18440	134	1291
15	54.8425		1.67264	15	0.20940	596	2666
16	55.0500		1.66683	4	0.09220	167	375
17	57.9158		1.59098	7	0.19340	272	1667
18	61.9593		1.49650	12	0.20130	480	2638
19	64.8197		1.43720	11	0.23220	443	2807
20	66.0542		1.41330	15	0.20540	570	3252
21	71.3672		1.32057	6	0.20620	229	1374
22	78.7858		1.21377	10	0.21960	393	2346

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ง-2 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในผลผลิตที่ได้จากการเผาฝุ่นตึกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Group : Prapapan
Data : reocast dust

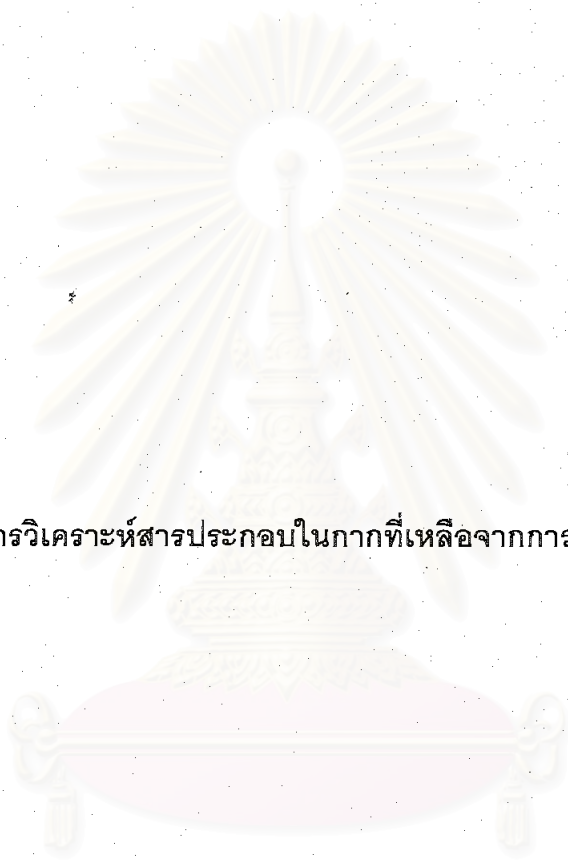
#	Strongest peak no.	3 peaks 2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	30	35.3714	2.53559	100	0.22730	1227	6717
2	38	39.5453	2.27705	91	0.27020	1116	6554
3	28	34.4436	2.60174	73	0.26150	897	6150

#	Peak Data List peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	11.0934	7.96941	6	0.41320	75	639	
2	11.4000	7.75576	4	0.19440	43	162	
3	11.8500	7.46223	5	0.36360	58	456	
4	12.0500	7.33882	4	0.00000	46	0	
5	12.2500	7.21945	3	0.00000	39	0	
6	12.5500	7.04754	4	0.24620	55	297	
7	12.7500	6.93743	7	0.27340	91	614	
8	16.4054	5.39896	44	0.25570	536	3296	
9	18.0266	4.91690	9	0.22880	113	555	
10	18.9000	4.69161	6	0.48580	79	757	
11	19.2000	4.61897	4	0.00000	43	0	
12	19.4500	4.56016	4	0.24280	50	306	
13	19.8594	4.46707	4	0.36880	45	472	
14	22.0851	4.02166	7	0.25480	88	666	
15	23.0004	3.86364	3	0.15420	39	177	
16	23.7396	3.74499	4	0.20420	50	348	
17	25.5444	3.48433	4	0.23120	44	287	
18	26.1185	3.40903	5	0.27350	66	511	
19	27.6864	3.21943	8	0.33040	102	756	
20	28.5569	3.12324	9	0.22660	112	546	
21	29.7500	3.00065	8	0.19560	94	498	
22	30.1865	2.95825	30	0.29590	371	2321	
23	30.5500	2.92387	3	0.14780	41	245	
24	31.3474	2.85129	5	0.25210	63	348	
25	32.4976	2.75295	12	0.20480	152	667	
26	33.1012	2.70412	41	0.37890	504	3339	
27	33.4500	2.67671	14	0.22420	176	1340	
28	34.4436	2.60174	73	0.26150	897	6150	
29	35.0000	2.56164	16	0.00000	196	0	
30	35.3714	2.53559	100	0.22730	1227	6717	
31	36.3548	2.46923	4	0.10230	51	133	
32	36.8155	2.43938	5	0.16890	67	316	
33	37.5500	2.39333	5	0.15260	66	224	
34	37.8000	2.37808	13	0.23340	159	634	
35	38.0434	2.36342	34	0.35160	416	2599	
36	38.6325	2.32872	4	0.17770	52	209	
37	39.1500	2.29913	5	0.09360	58	91	
38	39.5453	2.27705	91	0.27020	1116	6554	
39	40.0000	2.25221	12	0.26080	146	1560	
40	41.3367	2.18241	41	0.21900	499	2240	
41	41.6762	2.16542	29	0.24120	358	1930	
42	43.0157	2.10104	13	0.25810	155	790	
43	43.2500	2.09020	4	0.12140	53	230	
44	44.0399	2.05452	4	0.18360	50	202	
45	44.6346	2.02852	5	0.31710	65	512	
46	45.4360	1.99458	4	0.15210	47	225	
47	46.3500	1.95736	3	0.42500	40	318	
48	46.7503	1.94153	17	0.26690	205	1249	
49	48.4461	1.87745	13	0.25300	160	1128	
50	51.3453	1.77804	12	0.36280	143	1218	
51	51.7240	1.76591	4	0.16230	51	221	
52	53.6000	1.70845	6	0.24440	78	465	

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
53	53.8500	1.70110	4	0.13520	49	170
54	54.1083	1.69359	4	0.18330	45	180
55	54.7881	1.67417	10	0.29620	123	788
56	55.2500	1.66127	3	0.08000	40	55
57	55.5578	1.65279	7	0.22820	87	504
58	55.8500	1.64483	9	0.18520	114	415
59	56.0862	1.63846	24	0.33730	290	1779
60	56.4500	1.62876	7	0.17140	85	355
61	58.0072	1.58869	24	0.28170	297	2037
62	59.2114	1.55922	4	0.30060	53	528
63	60.6812	1.52493	13	0.34760	164	1283
64	61.1350	1.51469	3	0.12000	37	92
65	62.1084	1.49327	3	0.40960	37	311
66	62.6850	1.48091	4	0.35500	45	314
67	63.8000	1.45769	3	0.12860	40	154
68	64.0000	1.45362	3	0.23760	40	246
69	66.5344	1.40426	7	0.26450	90	592
70	68.2672	1.37278	16	0.29780	201	1361
71	69.0116	1.35978	8	0.29670	94	765



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ง-3 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในกากที่เหลือจากการละลาย

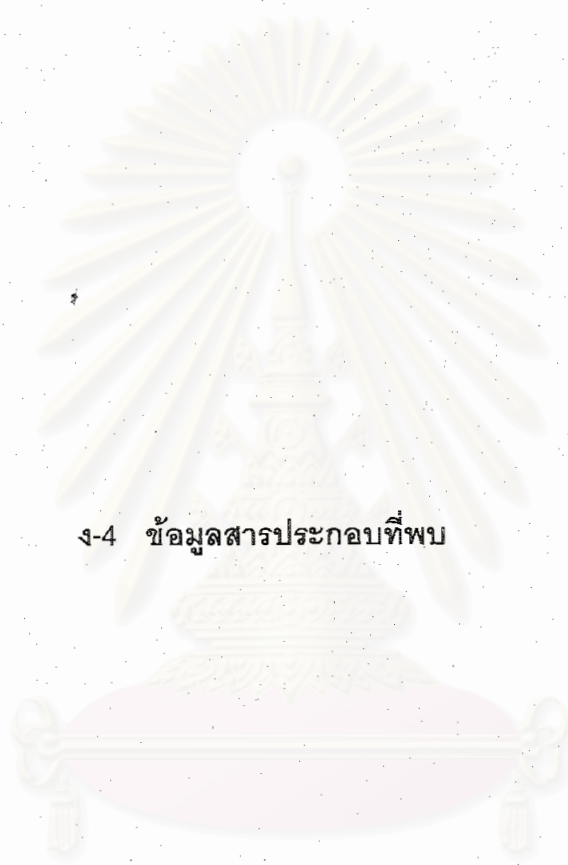
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Group : Prapapan
Data : 44

# Strongest 3 peaks							
no. peak	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated (Counts)	Int
1	4	26.6640	3.34051	100	0.18770	3898	16323
2	9	33.9709	2.63685	85	0.18590	3315	15370
3	16	51.8641	1.76147	67	0.18940	2603	11205

# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated (Counts)	Int
1	18.5500	4.77933	9	0.17400	361	1427	
2	18.9000	4.69161	12	0.28480	482	3375	
3	21.9667	4.04307	5	0.18700	185	973	
4	26.6640	3.34051	100	0.18770	3898	16323	
5	26.9500	3.30571	5	0.35000	213	4849	
6	32.1619	2.78091	4	0.37210	164	1717	
7	32.7904	2.72903	11	0.34400	421	3352	
8	33.6500	2.66126	4	0.18180	148	926	
9	33.9709	2.63685	85	0.18590	3315	15370	
10	34.4000	2.60493	9	0.00000	367	0	
11	34.5500	2.59397	7	0.25660	261	2101	
12	38.0329	2.36405	23	0.19380	881	4531	
13	39.0694	2.30368	5	0.20880	206	1163	
14	48.4539	1.87717	3	0.19890	124	1357	
15	51.6000	1.76986	6	0.18800	236	1314	
16	51.8641	1.76147	67	0.18940	2603	11205	
17	54.8379	1.67277	16	0.18320	637	3155	
18	57.9532	1.59004	8	0.20430	296	1576	
19	61.9562	1.49657	13	0.19470	505	2611	
20	64.8499	1.43661	13	0.21710	521	2903	
21	66.0509	1.41336	17	0.19110	664	3238	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ง-4 ข้อมูลสารประกอบที่พบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

41-1445		Wavelength= 1.5406									
SnO ₂		d(A)	Int	h	k	l	d(A)	Int	h	k	l
Tin Oxide		3.347	100	1	1	0	.9506	4	4	0	2
		2.6427	75	1	0	1	.9497	7	2	1	3
		2.369	21	2	0	0	.9321	<1	4	1	2
Cassiterite, syn		2.3094	4	1	1	1	.9293	3	5	1	0
Rad.: CuKα1: 1.5406 Filter: Graph Mono d-sp: Diff.		2.1189	1	2	1	0	.9146	3	3	3	2
Cut off: 15.0 Int.: Diffract. Wcon.: 1.9		1.7641	57	2	1	1	.9084	8	5	0	1
Ref: McCarthy, G., Welton, J., Powder Diffraction, 4, 156 (1989)		1.6750	14	2	2	0	.8972	<1	2	2	3
		1.5934	6	0	0	2					
		1.4984	11	3	1	0					
		1.4829	<1	2	2	1					
		1.4392	12	1	1	2					
Sys.: Tetragonal S.G.: P4 ₂ /mnm (136)		1.4155	14	3	0	1					
a: 4.7382(4) b: c: 3.1871(1) A: C: 0.6726		1.3560	<1	3	1	1					
α: β: γ: Z: 2 mp:		1.3220	6	2	0	2					
Ref: ibid.		1.3141	<1	3	2	0					
		1.2733	<1	2	1	2					
		1.2147	9	3	2	1					
		1.1844	3	4	0	0					
Dx: 6.994 Dm: 7.020 SS/FOM: F ₃₀ = 105(.0096, 30)		1.1544	6	2	2	2					
		1.1492	<1	4	1	0					
		1.1167	3	3	3	0					
Ref: Winchell, A., Winchell, H., Microscopic Character of Artificial Inorg. Solid Sub., 69 (1964)		1.0916	7	3	1	2					
		1.0810	8	4	1	1					
		1.0596	3	4	2	0					
		1.0539	<1	3	3	1					
Color: White		1.0367	3	1	0	3					
Peak height intensity. σ(f ₀₀₂) = -0.02. O2 Ti type. Rutile group, rutile subgroup. Also called: tin stone. Silicon used as an internal stand. PSC: tP6. To replace 1-657, 14-567 and 21-1250. Mwt: 150.69. Volume[CD]: 71.55.		1.0138	<1	3	2	2					
		1.0127	<1	1	1	3					
		1.0055	<1	4	2	1					

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

41-1415		Wavelength = 1.5406								
SnO2	2θ	Int	h	k	l	2θ	Int	h	k	l
Tin Oxide	26.611	100	1	1	0	108.256	4	4	0	2
	33.893	75	1	0	1	108.407	7	2	1	3
	37.950	21	2	0	0	111.464	<1	4	1	2
Cassiterite, syn	38.969	4	1	1	1	111.973	3	5	1	0
Rad.: CuKα1 1.5406 Filter: Graph Mono d-sp: Diff	42.835	1	2	1	0	114.752	3	3	3	2
Cut off: 15.0 Int.: Diffract. Filter: 1.9	51.781	57	2	1	1	115.984	8	5	0	1
Ref: McCarthy, G., Welton, J., Powder Diffraction, 4, 156 (1989)	54.759	14	2	2	0	118.311	<1	2	2	3
	57.820	6	0	0	2					
	61.872	11	3	1	0					
	62.591	<1	2	2	1					
	64.719	12	1	1	2					
Sys.: Tetragonal S.G.: P4 ₂ /mnm (136)	65.939	14	3	0	1					
a: 4.7382(4) b: c: 3.1671(1) A: C: 0.6728	69.231	<1	3	1	1					
α: β: γ: Z: 2 mp.	71.278	6	2	0	2					
Ref: Ibid.	71.773	<1	3	2	0					
	74.452	<1	2	1	2					
	78.714	9	3	2	1					
	81.139	3	4	0	0					
Dx: 6.994 Dm: 7.020 SS/FOM: F ₃₀ = 105(0096. 30)	83.714	6	2	2	2					
ρ _x : ρ _{sp} : 2.006 ρ _f : 2.0972 Sign: + 2V:	84.179	<1	4	1	0					
Ref: Winchell, A., Winchell, H., Microscopic Character of Artificial Inorg. Solid Sub., 69 (1954)	87.229	3	3	3	0					
	89.766	7	3	1	2					
	90.891	8	4	1	1					
	93.266	3	4	2	0					
	93.925	<1	3	3	1					
Color: White	95.981	3	1	0	3					
Peak height intensity. σ(I ₀₀₂) = ±0.02. O2 Ti type. Rutile group, rutile subgroup. Also called: tin stone. Silicon used as an internal stand. PSC: tP6. To replace 1-657, 14-567 and 21-1250. Mwt: 150.69. Volume[CD]: 71.55.	98.896	<1	3	2	2					
	99.041	<1	1	1	3					
	100.008	<1	4	2	1					

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

36-1490		Wavelength= 1.5405981									
As ₂ O ₃		d(A)	Int	h	k	l	d(A)	Int	h	k	l
Arsenic Oxide		6.3993	44	1	1	1	.9499	1	10	6	0
		3.9207	1	2	2	0	.9395	1	9	7	3
		3.341	2	3	1	1	.9230	<1	12	0	0
Arsenolite, syn		3.1993	100	2	2	2	.9137	<1	11	5	1
Rad.: CuKα1λ, 1.540598 Filter: Graph Mono d-sp: Diff		2.7698	28	4	0	0	.8984	2	12	2	2
Cut off: 17.7 Int.: Diffract. I/cor.: 4.9		2.5422	34	3	3	1	.8898	<1	11	5	3
Ref: McMurdie, H et al., Powder Diffraction, 1, 79 (1986)		2.2619	6	4	2	2	.8472	1	13	1	1
		2.1327	12	5	1	1	.8280	1	13	3	1
		1.9587	22	4	4	0	.8101	1	13	3	3
		1.8728	4	5	3	1					
		1.8465	4	4	4	2					
Sys.: Cubic S.G.: Fd3m (227)		1.7516	1	[6	2	0]					
a: 11 6778(2) b: c: A: C:		1.6894	<1	5	3	3					
α: β: γ: Z: 16 mp:		1.6701	14	6	2	2					
Ref: Ibid.		1.5990	5	4	4	4					
		1.5515	14	5	5	1					
		1.4802	1	6	4	2					
		1.4422	7	7	3	1					
Dx: 3.867 Dm: 3.868 SS/FOM: F ₃₀ = 108(.0093, 30)		1.3845	1	8	0	0					
		1.3531	7	7	3	3					
		1.3436	4	6	4	4					
		1.3054	4	6	6	0					
Ref: Winchell, A., Winchell, H., Microscopic Character of Artificial inorg. Solid Sub., (1964)		1.2798	2	7	5	1					
		1.2708	2	6	6	2					
		1.2385	1	8	4	0					
Color: Colorless		1.2158	3	9	1	1					
Peak height intensity. The mean temperature of data collection was 25.7 C. The sample was obtained from Mallinckrodt Chemical Company, St. Louis, MO, USA. CAS #: 1327-53-3. The structure of As ₂ O ₃ was determined by Bozorth (1) and confirmed by Almin, Westgren (2). References to other early patterns and structures will be found in Swanson, Tatge (3). Pattern reviewed by Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental pattern. Additional weak reflection [indicated by brackets] was observed. n(I obs) = ±1. Senarmonite is the Sb analogue. As ₂ O ₃ type. Also called: arsenic trioxide. Also called: arsenic glass. Silicon, fluorophlogopite used as an internal stands. PSC: cF80. To replace 4-556 and validated by calculated pattern. Mwt: 197.84. Volume[CD]: 1359.44.		1.2085	3	8	4	2					
		1.1806	<1	6	6	4					
		1.1613	3	9	3	1					
		1.1307	<1	8	4	4					
		1.1135	1	7	7	1					
		1.0863	<1	10	2	0					
		1.0708	4	9	5	1					
		1.0660	<1	10	2	2					
		1.0329	<1	9	5	3					
		1.0286	1	8	6	4					
		1.0112	1	10	4	2					
		.9989	1	11	1	1					
		.9678	2	9	7	1					
		.9641	1	8	8	2					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

36-1490		Wavelength= 1.5405981									
As ₂ O ₃		2θ	Int	h	k	l	2θ	Int	h	k	l
Arsenic Oxide		13.827	44	1	1	1	108.366	1	10	6	0
		22.661	1	2	2	0	110.147	1	9	7	3
		26.660	2	3	1	1	113.137	<1	12	0	0
Arsenolite, syn		27.864	100	2	2	2	114.926	<1	11	5	1
Rad.: CuKα1: 1.540598 Filter: Graph Mono d-sp: Diff.		32.294	26	4	0	0	118.051	2	12	2	2
Cut off: 17.7 Int: Diffract. I/cor.: 4.9		35.276	34	3	3	1	119.920	<1	11	5	3
Ref: McMurdie, H et al., Powder Diffraction, 1, 79 (1986)		39.820	6	4	2	2	130.805	1	13	1	1
		42.344	12	5	1	1	136.977	1	13	3	1
		46.315	22	4	4	0	143.938	1	13	3	3
		48.574	4	5	3	1					
		49.310	4	4	4	2					
Sys.: Cubic S.G.: Fd3m (227)		52.178	1	[6	2	0]					
a: 11.0778(2) b: c: A: C:		54.253	<1	5	3	3					
α: β: γ: Z: 16 mp:		54.930	14	6	2	2					
Ref: Ibid.		57.596	5	4	4	4					
		59.535	14	5	5	1					
		62.715	1	6	4	2					
		64.566	7	7	3	1					
Dx: 3.867 Dm: 3.868 S _S /FOM: F ₃₀ = 108(.0093, 30)		67.606	1	8	0	0					
		69.396	7	7	3	3					
ω: η: 1.755 ρ: Sign: 2V:		69.960	4	6	4	4					
Ref: Winchell, A., Winchell, H., Microscopic Character of Artificial Inorg. Solid Sub., (1964)		72.321	4	6	6	0					
		74.066	2	7	5	1					
		74.623	2	6	6	2					
		76.917	1	8	4	0					
Color: Colorless		78.628	3	9	1	1					
Peak height intensity. The mean temperature of data collection was 25.7 C. The sample was obtained from Mallinckrodt Chemical Company, St. Louis, MO, USA, CAS #: 1327-53-3. The structure of As ₂ O ₃ was determined by Bozorth (1) and confirmed by Almin, Westgren (2). References to other early patterns and structures will be found in Swanson, Tatge (3). Pattern reviewed by Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental pattern. Additional weak reflection [indicated by brackets] was observed. c(l obs) = ±1. Senarmonite is the Sb analogue. As ₂ O ₃ type. Also called: arsenic trioxide. Also called: arsenic glass. Silicon, fluorophlogopite used as an internal stands. PSC: cF80. To replace 4-565 and validated by calculated pattern. Mwt: 197.84. Volume[CD]: 1359.44.		79.190	3	8	4	2					
		81.452	<1	6	6	4					
		83.100	3	9	3	1					
		85.876	<1	8	4	4					
		87.538	1	7	7	1					
		90.317	<1	10	2	0					
		92.002	4	9	5	1					
		92.537	<1	10	2	2					
		96.447	<1	9	5	3					
		96.977	1	8	6	4					
		99.241	1	10	4	2					
		100.908	1	11	1	1					
		105.478	2	9	7	1					
		106.066	1	8	8	2					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30-1252		Wavelength= 1.54056			
Na ₂ SnO ₃		d(Å)	int	h	k l
Sodium Tin Oxide		5.467	90	0	1 0
		3.346	1	1	1 0
		2.729	55	0	2 0
		2.621	50	0	1 1
		2.291	100	0	1 1
Rad.: CuKα1: 1.54056 Filter: Mono d-sp:		2.111	12	0	2 1
Cut off: Int.: Diffract. Micor.: 2.03		1.620	3	0	3 0
Ref: JCPDS International Centre for Diffraction Data, (1979)		1.786	16	0	2 1
		1.6456	25	0	3 1
		1.5959	25	1	2 1
		1.5313	14	1	2 1
Sys.: Triclinic S.G.:		1.4094	8	0	3 1
a: 3.640 b: 5.796 c: 2.813 A: 0.6280 C: 0.4853		1.3779	16	2	0 1
		1.3652	9	0	4 0
α: 102.17 β: 100.63 γ: 72.83 Z: 1 mp:		1.3629	9	0	0 2
Ref: Visser, J., J. Appl. Crystalogr., 2, 89 (1969)		1.3099	14	0	2 2
		1.2738	2	0	1 2
		1.1999	3	2	2 2
Dx: 6.426 Dm: SS/FOM: F ₂₀ = 28 (.0090, 80)		1.1901	3	0	3 2
		1.1458	5	0	2 2
Color: Colorless					
CAS #: 12058-86-1. Made by heating Na ₂ C ₂ O ₃ and SnO up to 1150 C. This phase was indexed from the Visser program with no other conformation. Two lines could not be indexed on this cell, one at d=4.78 with an intensity of 18, and one at d=3.04 with an intensity of 1. Silicon used as an internal stand. To replace 8-219. Mwt: 212.67. Volume[CD]: 54.95.					

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30-1252		Wavelength= 1.54056							
Na ₂ SnO ₃		2 θ	Int	h	k	l			
Sodium Tin Oxide									
		16.199	90	0	1	0			
		26.619	1	1	1	0			
		32.790	55	0	2	0			
		34.182	50	0	1	1			
		39.293	100	0	1	1			
Rad.: CuK α 1:	1.54056	Filter: Mono	d-sp:	42.801	12	0	2	1	
Cut off:		Int.: Diffract.	Mcor.: 2.03	50.077	3	0	3	0	
Ref: JCPDS International Centre for Diffraction Data. (1979)				51.099	16	0	2	1	
				56.820	25	0	3	1	
				57.719	25	1	2	1	
				60.401	14	1	2	1	
Sys.: Triclinic	S.G.:			66.259	8	0	3	1	
a: 3.640	b: 5.796	c: 2.813	A: 0.6280	C: 0.4853	67.977	16	2	0	1
					68.697	9	0	4	0
α : 102.17	β : 100.63	γ : 72.83	Z: 1	mp:	68.829	9	0	0	2
Ref: Visser, J., J. Appl. Crystallogr., 2, 89 (1969)					72.037	14	0	2	2
					74.430	2	0	1	2
					79.875	3	2	2	2
					80.668	3	0	3	2
Dx: 6.426	Dm:	SS/FOM: F ₂₀ = 28 (.0090, 80)			84.484	5	0	2	2

Color: Colorless
 CAS #: 12058-66-1. Made by heating Na₂CO₃ and SnO up to 1150 C. This phase was indexed from the Visser program with no other conformation. Two lines could not be indexed on this cell, one at d=4.78 with an intensity of 18, and one at d=3.04 with an intensity of 1. Silicon used as an internal stand. To replace 8-219. Mwt: 212.67. Volume[CD]: 54.95.

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
 PCPDFWIN v. 1.30

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวประภาพรณ ยั้งยืน เกิดวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2515 จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2538 จากนั้น เข้าทำงานในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ความเสียหายและตรวจสอบสภาพการใช้งานของวัสดุ ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ในตำแหน่งนักวิชาการ 4 โดยรับผิดชอบด้านการวิเคราะห์ความเสียหายด้านการกัดกร่อนของวัสดุประเภทโลหะ จนได้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการ 6 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ณ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2541 เป็นต้นมา โดยได้ศึกษาควบคู่ไปกับการทำงาน ณ สถาบันดังกล่าวจนถึงปัจจุบัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย