การเร่งการระเหยของน้ำเกลือด้วยเครื่องทำระเหยแบบจุ่มสันดาป

นายพงศธร ฟักทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INCREASING EVAPORATION RATE OF BRINE BY SUBMERGED COMBUSTION EVAPORATOR

Mr.Pongsatorn Fukthong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเร่งการระเหยของน้ำเกลือด้วยเครื่องทำระเหยแบบจุ่มสันดาป
โดย	นายพงศธร ฟักทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนไชย ตันไทย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พงศธร ฟักทอง : การเร่งการระเหยของน้ำเกลือด้วยเครื่องทำระเหยแบบจุ่มสันดาป. (INCREASING EVAPORATION RATE OF BRINE BY SUBMERGED COMBUSTION EVAPORATOR) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 83 หน้า.

การผลิตเกลือสินเธาว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยวิธีการต้มน้ำเกลือโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เพื่อเร่งการตกผลึกของเม็ดเกลือเป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตที่สำคัญของการผลิตเกลือสินเธาว์ งานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือด้วยการทำระเหยแบบจุ่มสันดาป เพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์ ซึ่งอาศัยหลักการนำเปลวไฟความร้อนสูงทำการจุ่มสันดาปลงไปในน้ำเกลือโดยตรงเพื่อลงการสูญเสียความร้อนที่อาจจะสูญเสียไปในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้น้ำเกลือได้รับพลังงานความร้อนจากเปลวไฟโดยตรง ส่งผลให้น้ำเกลือมีการระเหยแห้ง ซึ่งจะลดค่าเชื้อเพลิงได้ การทดลองได้ออกแบบให้เปรียบเทียบต้นทุนการใช้ก๊าซ LPG และต้นทุนการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง พบว่าในขณะทำการทดลองได้เกิดการสูญเสียความร้อนจำนวนมาก เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเครื่องมือที่ผลิตออกมาทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมาก หากคิดในทางทฤษฎีแล้วปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ใช้จะน้อยกว่าที่ทดลองจริง จึงสรุปปัญหาที่พบในการวิจัยเพื่อที่จะปรับปรุงและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างเครื่องมือแบบใหม่ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา....วิศวกรรมทรัพยากรธรณี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา..2552.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4970445021 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS : EVAPORATION / BRINE / SUBMERGED / COMBUSTION

PONGSATORN FUKTHONG : INCREASING EVAPORATION RATE OF BRINE BY SUBMERGED COMBUSTION EVAPORATOR. THESIS ADVISOR: ASSOCIATE PROFESSOR PINYO MEECHUMNA, Ph.D., THESIS CO – ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR SOMSAK SAISINCHAI 83 pp.

Boiling of brine using rice husk as fuel is a conventional method of salt production in the Northeastern Thailand. This research is to improve energy efficiency by using submerged combustion evaporator designed to replace conventional production method. The direct submerging of the burner into the brine was expected to increase heat exchanging efficiency of the equipment hence reducing fuel cost. The experimental method was designed to compose energy efficiency together with cost of production between LPG fuel used in the evaporator and rice husk fuel used in the local brine boiling equipment. However, due to problems of the design of the evaporator, LPG fuel used in practice is higher than that of theoretically calculated. Problems occurred have been thoroughly discussed. The new designed of the equipment has also been introduced to improve the efficiency.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department :..... Mining and Petroleum Engineering Student's Signature .....

Field of Study :....Georesources Engineering..... Advisor's Signature .....

Academic Year :.2009..... Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนช่วยแก้ไข และคอยกระตุ้นให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จและลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกๆท่าน อันประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ประธานกรรมการ, ผศ. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย กรรมการ อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ กรรมการ และ ผศ.ดร.เทียนไชย ตันไทย กรรมการ

ขอขอบพระคุณ คุณประกรรณ์ ภู่ศรีจันทร์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องมือในการทดลองวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียมทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่,กรมทรัพยากรธรณี,กรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้สนับสนุนและให้คำปรึกษาด้านข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนทางด้านการจัดหาเครื่องมือช่างต่างๆ,ให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือช่างและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมา และท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ เพื่อน พี่ น้อง และบุคคลที่มิได้เอ่ยนามทุกๆท่าน ที่ช่วยสนับสนุนและให้การช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 แนวทางและวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 ความเป็นมา..... 5

2.2 ลักษณะทางธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ..... 6

2.3 การผลิตเกลือสินเธาว์ในภาคอีสาน 7

2.3.1 กรรมวิธีการผลิตแบบลานตาก..... 7

2.3.2 กรรมวิธีการผลิตโดยการต้ม..... 8

2.3.3 กรรมวิธีการผลิตเกลือโดยระบบการเคี่ยว..... 9

2.3.4 ข้อดีของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยวในรูปแบบอุตสาหกรรมขนาดกลาง..... 11

2.3.5 ข้อเสียของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยวในรูปแบบอุตสาอุตสาหกรรมขนาดกลาง..... 11

2.4 ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์..... 11

2.4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม..... 12

บทที่ หน้า

2.4.2 ผลกระทบทางเศรษฐกิจ..... 12
2.4.3 ผลกระทบทางสังคม..... 12
2.5 ตลาดเกลือสินเธาว์..... 13
2.5.1 สถานภาพของตลาดเกลือในปัจจุบัน..... 13
2.5.2 ระบบตลาดเกลือสินเธาว์..... 13
2.5.3 ความต้องการเกลือในอุตสาหกรรม..... 15
2.6 การส่งออกและการนำเข้า..... 18
2.6.1 การส่งออก..... 18
2.6.2 การนำเข้า..... 19
2.7 แนวโน้มของตลาดเกลือ..... 20
2.8 ปัญหาที่พบของการทำเกลือสินเธาว์..... 20
2.9 เทคโนโลยีการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดิน..... 21
2.9.1 การเจาะและลงท่อเพื่อละลายแร่เกลือหิน..... 21
2.9.2 การละลายแร่เกลือหิน..... 24
2.9.3 วิธีการทำเหมืองด้วยวิธีการละลายแร่..... 28
2.10 เทคโนโลยีในการผลิตเกลือสินเธาว์ในต่างประเทศ..... 31
2.11 การผลิตเกลือจากน้ำเกลือที่ได้จากเหมืองละลายแร่น้ำบาดาล..... 31
2.12 เทคโนโลยีการตกผลึกเกลือในประเทศ..... 34
3. วิธีดำเนินการวิจัย..... 36
3.1 การคัดเลือกพื้นที่แหล่งน้ำเกลือ..... 36
3.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำเกลือที่ได้จากแอ่งโคราช ที่นำมาทดลอง..... 36
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 38
3.3.1 เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อน..... 38
3.3.2 เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือด้วยการทำระเหยแบบจุ่มสันดาป 41
3.4 ขั้นตอนและวิธีการในการปฏิบัติการทดลอง การสันดาปน้ำเกลือโดยการพาความร้อน..... 43
3.5 ขั้นตอนและวิธีการในการปฏิบัติการทดลอง การสันดาปน้ำเกลือโดยการจุ่มสันดาปโดยตรง..... 48
4 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 52

บทที่ หน้า

4.1 ตารางผลการทดลอง..... 52
4.2 วิจารณ์ผลการทดลองของการจุ่มสันดาปภาคปฏิบัติ..... 57
4.3 วิจารณ์ผลการทดลองของการจุ่มสันดาปภาคทฤษฎี..... 57
4.4 วิจารณ์ผลการทดลองของการเผาน้ำเกลือแบบปกติของชาวบ้านโดยใช้เตาเผาแบบอิฐและใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง..... 58
5. อภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 62
5.1 อภิปรายผลการวิจัย..... 62
5.2 ปัญหาของการวิจัย..... 62
5.3 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 64
รายการอ้างอิง..... 65
ภาคผนวก..... 66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงราคาเกลือสินเธาว์……	14
2.2	แสดงความต้องการใช้เกลือในอุตสาหกรรมต่าง ๆ……....	18
2.3	แสดงประเทศและชนิดเกลือที่นำเข้าจากประเทศไทย……..	19
2.4	ข้อดีข้อเสีย และข้อเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของการนำเกลือหินขึ้นมาจากใต้ดิน……..	30
3.1	แสดงประจุไอออนต่าง ๆ ของน้ำเกลือ……..	36
3.2	แสดงสารประกอบต่าง ๆ ของน้ำเกลือ……..	37
3.3	แสดงสารประกอบและตะกอนหรือแร่ที่เกิดของน้ำเกลือ……..	38
4.1	แสดงผลการทดลองของการเผาแบบจุ่มสันดาปในแต่ละช่วงเวลาโดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเตาเผาและน้ำหนักของถัง(LPG)……...	52
4.2	แสดงอัตราการใช้พลังงานต่อตันเกลือ ในการสันดาป……..	56

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังแนวทางการดำเนินการวิจัย.....	4
2.1	แสดงแหล่งแร่เกลือหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	6
2.2	แสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานตาก.....	7
2.3	แสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์โดยวิธีการต้ม.....	9
2.4	แสดงลำดับกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบเคี่ยว.....	10
2.5	แสดงระบบตลาดของเกลือสินเธาว์อีสาน.....	14
2.6	แสดงการเกิดหลุมยุบ.....	21
2.7	การทดสอบความแข็งแรงของหลุมเจาะ.....	23
2.8	การทดสอบหาค่าความแข็งแรงของชั้นเกลือหิน.....	24
2.9	การทดสอบหาค่าความเร็วในการละลายน้ำ (Leaching Test).....	25
2.10	ตัวอย่างการออกแบบรูปร่างขนาดของโพรงเกลือจากผลการคำนวณ.....	25
2.11	Direct Leaching Method.....	26
2.12	Indirect Leaching Method.....	27
2.13	แสดงของความเข้มข้นน้ำเกลือและปริมาณที่ผลิตได้กับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม.....	28
2.14	แสดงตำแหน่งระดับท่อ Blanket และขนาดโพรงกับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม.....	29
2.15	กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ.....	32
2.16	กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยแบบ Mechanical Vapour Recompression.....	33
2.17	การตกผลึกเกลือระบบการอัดไอน้ำทางกล (Mechanical Vapour Recompression).....	34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่		หน้า
2.18	การตกผลึกเกลือระบบการระเหยภายใต้สูญญากาศแบบ Multiple Effects Evaporator.....	35
3.1	ชุดอุปกรณ์เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อน.....	39
3.2	เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อนแยกชิ้นส่วน 1 ถึง7.....	39
3.3	แบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อนด้านข้าง.....	40
3.4	แบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีพาความร้อนด้านบน	40
3.5	ชุดอุปกรณ์เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีแบบจุ่มสันดาป.....	41
3.6	เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีแบบจุ่มสันดาปแยกชิ้นส่วน 1 ถึง 4.....	42
3.7	แบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีแบบจุ่มสันดาป.....	43
3.8	แสดงการขนน้ำเกลือจากแอ่งโคราชของบริษัทเกลือพิมาย.....	44
3.9	แสดงการตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำเกลือ และตรวจสอบจุดเดือดของน้ำเกลือ.....	44
3.10	แสดงการตรวจสอบความเรียบร้อยของเตาสันดาป พร้อมทั้งตรวจสอบระบบอากาศไหลเวียน.....	45
3.11	แสดงการตรวจสอบหัวเผา หรือหัวเบิร์นเนอร์ และทำการติดตั้งหัวเบิร์นเนอร์.....	45
3.12	แสดงการปรับระบบไหลเวียนของอากาศภายในเตาเผาและปรับเปลวไฟให้ได้ความร้อน.....	46
3.13	แสดงการประกอบทุกส่วนเข้าด้วยกันและประกอบแผงพาความร้อนด้านบนสุดของเตาเผา.....	46
3.14	แสดงการติดตั้งท่อทางเดินในการส่งน้ำเกลือและปรับปริมาณในการปล่อยน้ำเกลือ.....	47
3.15	แสดงการการปล่อยน้ำเกลือจากหัวสเปรย์ ป้อนเข้าสู่เตาเผา.....	47
3.16	แสดงการตรวจสอบความเรียบร้อยของเตาเผาแบบจุ่มสันดาป.....	48
3.17	แสดงการตรวจสอบความเรียบร้อยของหัวเผาและสายส่งแก๊ส.....	49

รูปที่		หน้า
3.18	แสดงการตรวจสอบระบบอากาศไหลเข้าและไหลออกภายในเตาเผา(สีเปลว-ไฟ).....	49
3.19	แสดงการบรรจุน้ำเกลือที่จะทำการทดลองใส่ลงไปในถังสันดาป.....	50
3.20	แสดงปฏิกิริยาที่เกิดจากการสันดาป.....	50
3.21	แสดงเม็ดเกลือและรูปแบบผลึกเกลือที่ได้จากการสันดาป.....	51
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของเกลือที่ได้กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่1กับ2.....	54
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของเกลือที่ได้กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่ 3 กับ 4.....	54
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สLPGที่ใช้กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่ 1 กับ 2.....	55
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สLPGที่ใช้กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่ 3 กับ 4.....	55
4.5	แสดงเตาต้มน้ำเกลือแบบอิฐของชาวบ้านที่นำมาคำนวณเปรียบเทียบ.....	61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันซึ่งภายในประเทศได้มีการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรมนั้น ประเทศไทยจึงยังคงมีความต้องการในการใช้เกลือในปริมาณมากเนื่องจากเกลือมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้นๆกล่าวคือมนุษย์จำเป็นต้องใช้เกลือในการเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการที่จะผลิตสิ่งต่างๆออกมา โดยการทำนาเกลือมีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ในภาคอีสานเริ่มต้นประมาณปีพ.ศ.2512 บริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหา-สารคาม (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552) และมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นมาโดยตลอดรวมทั้งในจังหวัดอื่น ๆ โดยเฉพาะในช่วงปี พ.ศ.2514-2522 จนทำให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำเค็ม เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นบริเวณกว้างทั้ง 4 ด้านที่สำคัญได้แก่ ด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์และคุณค่าต่อคุณภาพชีวิตทำให้เกิดการร้องเรียนจากผู้ที่ได้รับผลกระทบนี้มีมากขึ้นเรื่อยๆ

การประกอบกิจการโรงงานสูบ ต้ม และตากเกลือสินเธาว์ตามพรบ.โรงงาน พ.ศ.2535 ในอดีตและปัจจุบันก่อปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญคือปัญหาแผ่นดินยุบตัวในบริเวณพื้นที่สูบเกลือสินเธาว์และบริเวณใกล้เคียง รวมถึงปัญหาน้ำเกลือที่แพร่กระจายความเค็มสู่พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม ทางน้ำสาธารณะ แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมถึงผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของราษฎรที่ประกอบอาชีพในบริเวณที่มีการประกอบกิจการโรงงานเหล่านั้น

แนวทางการแก้ปัญหาแผ่นดินยุบหรือทรุดตัวสามารถแก้ไขได้โดยเทคโนโลยีการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดิน เช่น การทำเหมืองแร่แบบวิธีละลายแร่ (Solution Mining) ส่วนการทำน้ำเกลือให้แห้งจำเป็นต้องมีการศึกษาหาเทคนิควิธีการที่เหมาะสมในการทำให้ผลผลิตน้ำเกลือให้แห้งเป็นเกลือสินเธาว์ที่มีคุณภาพดี โดยมีต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตาม ยังมีความจำเป็นในการศึกษารวบรวมข้อมูลทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเศรษฐศาสตร์อีกเป็นจำนวนมากที่ต้องมีการดำเนินการเพิ่มเติมให้ชัดเจน ก่อนการนำแนวทางที่ศึกษาได้ไปทำโครงการสาธิตหรือทดลองปฏิบัติในพื้นที่นำร่องต่อไป

สำหรับระบบ Cluster เป็นการรวมกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทหรือชนิดเดียวกันหรือใกล้เคียงกันหรือเป็นการประกอบการที่ต้องพึ่งพาอาศัยกันรวมเข้าไว้ด้วยกันเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและสร้างความสามารถในการแข่งขันให้แก่กลุ่ม ซึ่งการศึกษาเพื่อใช้ระบบ

การรวมกลุ่ม (Cluster) เพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในอุตสาหกรรมพื้นฐานของอุตสาหกรรมผลิตเกลือสินเธาว์ เป็นความพยายามของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ในการศึกษาแนวทางการสร้างภาคอุตสาหกรรมพื้นฐานโดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตเกลือสินเธาว์เป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศที่ยังพึ่งพาการส่งออกค่อนข้างสูงให้สามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพและแข่งขันได้ ดังนั้นโครงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงถูกริเริ่มเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว และเป็นแนวทางหลักของการแก้ไขปัญหาการประกอบการเกลือสินเธาว์ในภาพรวมของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนรายละเอียดของการผลิตเกลือสินเธาว์และข้อมูลในด้านต่างๆ รวมทั้งพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตเกลือสินเธาว์ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2. เพื่อปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบขั้นตอน วิธีการ ทางเทคนิควิศวกรรม สำหรับพัฒนาการผลิตเกลือสินเธาว์โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ในการนำน้ำเกลือจากใต้ดินและโดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเม็ดเกลือด้วยการสันดาปโดยตรง เพื่อให้พลังงานที่จะสูญเสียไปในการต้มเกลือลดน้อยลง ซึ่งจะประหยัดทั้งในการใช้สิ่งที่ต้องนำมาเป็นเชื้อเพลิง และจะลดปริมาณกากของเสียอันเนื่องมาจากการเผาเชื้อเพลิง ในการผลิตเม็ดเกลือแบบเก่า และนำอุปกรณ์ไปสาธิตในพื้นที่ที่ประสบปัญหา ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัยและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. เพื่อศึกษาปัญหาอุปสรรคที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการผลิตเกลือสินเธาว์ของไทยและเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาคัดเลือกพื้นที่ที่เกิดผลกระทบจากแอ่งโคราช จากบริษัทเกลือพิมาย ซึ่งนำน้ำเกลือมาโดยวิธีการทำเหมืองละลาย ซึ่งให้ค่าความเข้มข้นคงที่ประมาณ 20 โบเม่*

***โบเม่** (Baume) เป็นหน่วยการวัดค่าความเข้มข้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับร้อยละของความเข้มข้นแบบ % w / w, % w / w เป็นคำย่อ สำหรับน้ำหนัก ร้อยละของน้ำหนักรวมของสารที่ระบุอุณหภูมิ เช่น 10% w / w H_2O_2 = 10 g มีความหมายว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ใน 90 กรัม (90 มล.) น้ำ หรือ 15 ส่วนโดยน้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์) ใน 85 ส่วน (โดยน้ำหนักของน้ำ (15% w / w)) ที่12.5 $^{\circ}$ C เป็นคำนิยามเดิมของ 15 $^{\circ}$ Buame

2. วิเคราะห์ประมวลผลข้อมูลด้านเทคโนโลยีรูปแบบต่างๆในการนำน้ำเกลือจากใต้ดินและทำน้ำเกลือให้แห้งที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบันทั้งในและต่างประเทศเพื่อคัดเลือกวิธีการแต่ละทางเลือกที่ทันสมัยและเหมาะสมโดยทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการผลิตเกลือสินเธาว์ในปัจจุบัน

3. ออกแบบเครื่องมือและทำการทดลองสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเม็ดเกลือด้วยการสันดาปโดยตรงและเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียกับการผลิตเกลือโดยวิธีการต้มแบบเก่าซึ่งใช้ในการผลิตสินเธาว์ในปัจจุบัน

4. ประเมินต้นทุนเบื้องต้นของการใช้เทคโนโลยีการผลิตเกลือด้วยการเผาสันดาปโดยตรงและเปรียบเทียบต้นทุนที่ได้จากการใช้เครื่องมือกับเกลือที่ได้จากการผลิตแบบดั้งเดิม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีการนำเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม มาใช้ในการผลิตเกลือสินเธาว์

2. เพิ่มขีดความสามารถการในการผลิตเม็ดเกลือ เพื่อให้ได้เกลือที่สะอาด ปลอดภัยและมีคุณภาพ

3. ลดต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงลงในการผลิตเกลือให้ได้ในปริมาณเท่ากันจากการต้มเกลือแบบเก่าซึ่งจะสูญเสียความร้อนไปจำนวนมากมาเป็นการสันดาปตรงซึ่งความร้อนจะถ่ายเทไปสู่น้ำเกลือทั้งหมด

4. ลดปริมาณของเสียจากการเผาแบบเก่าซึ่งจะมีกากขี้เถ้าจำนวนมากซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยการสันดาปตรงจะไม่เหลือปริมาณของเสียหลังจากการเผา

1.5 แนวทางและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการต้มเกลือของชาวบ้านโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

2. นำน้ำเกลือจากแหล่งที่ได้รับผลกระทบจากการผลิตเกลือสินเธาว์ และจากแหล่งพื้นที่จริงมาทำการทดลองวิจัย

3. ออกแบบเครื่องมือทดลองต้นแบบลักษณะของเตาเผาและลักษณะของหัวเผาให้เป็นไปตามหลักการถ่ายเทความร้อนและการหมุนเวียนของอากาศภายในเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเม็ดเกลือให้มากขึ้นในการใช้พลังงานที่จำกัด

4. ประเมินเปรียบเทียบ วิเคราะห์ต้นทุนและประสิทธิภาพของเตาเผาเกลือสันดาปตรงโดยเปรียบเทียบกับวิธีการผลิตของชาวบ้านในปัจจุบัน

5. เสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

แนวทางและวิธีดำเนินงานวิจัย ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 แผนผังแนวทางการดำเนินการวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมา

เกลือสินเธาว์ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นเกลือที่ผลิตมาจากเกลือหิน ซึ่งนับเป็นทรัพยากรแร่หนึ่งในห้าชนิด ของแร่อุตสาหกรรมหลักของโลก ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน กำมะถัน เกลือหิน และหินปูน เกลือสินเธาว์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งการบริโภคและอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้เช่นเดียวกับเกลือทะเล แต่จะมีความแตกต่างกับเกลือทะเลในแง่ของการบริโภค คือเกลือ-สินเธาว์ไม่มีสารไอโอดีนซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบในด้านการใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมแล้ว เกลือสินเธาว์จะมีความได้เปรียบในแง่ของความบริสุทธิ์ ซึ่งมีองค์ประกอบของโซเดียมคลอไรด์ มากกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่เกลือทะเลมีเพียงร้อยละ 85 เนื่องจากความต้องการใช้เกลือสินเธาว์ในอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น

ในปี พ.ศ2512 ชาวบ้านในเขตอำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคามได้พบน้ำใต้ดินที่มีความเค็มสูง ในบริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบัวและลุ่มน้ำเสียวใหญ่ จึงเริ่มต้นผลิตเกลือสินเธาว์จากน้ำเกลือใต้ดิน ด้วยวิธีการสูบน้ำเกลือใต้ดินมาต้มแทนการผลิตด้วยวิธีการผลิตจากส่าดินซึ่งเป็นดินที่มีความเค็มสูงและทำอยู่ดั้งเดิมการผลิตเกลือด้วยวิธีการต้ม ก่อให้เกิดปัญหาการลักลอบตัดไม้ในป่ามาใช้เป็นเชื้อเพลิง เมื่อราชการเพิ่มความเข้มงวด จึงได้มีการเปลี่ยนจากการใช้ไม้มาเป็นวัสดุอื่นแทน เช่น แกลบขณะเดียวกันก็เปลี่ยนวิธีผลิตจากการต้มมาเป็นการตาก ซึ่งทั้งวิธีการต้มและการตากที่ผู้ผลิตดำเนินการไม่มีกระบวนการผลิตที่ชัดเจน ขาดมาตรการป้องกันสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ เช่น การแพร่กระจายความเค็ม การยุบตัวของพื้นดิน มีการปนเปื้อนของแหล่งน้ำผิวดิน (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)

ปัญหาที่พบในปัจจุบันที่ทางผู้วิจัยได้ไปนำน้ำเกลือมาทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำเกลือมาต้ม ซึ่งชาวบ้านต้มแบบใช้แกลบมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้นั้น ชาวบ้านต้องใช้แกลบเป็นจำนวนมากและต้องใช้เวลาในการต้มเกลือนานทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในขณะที่ได้ปริมาณเม็ดเกลือไม่มากเท่าไรนัก การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีเป้าหมายเพิ่มเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเม็ดเกลือให้ได้มากและลดระยะเวลาในการผลิต เพื่อให้สามารถผลิตเม็ดเกลือที่มีคุณภาพและค่าใช้จ่ายต่ำมากที่สุด

2.2 ลักษณะทางธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและพื้นที่ตอนกลางของประเทศลาวมีชื่อทางธรณีวิทยาว่าที่ราบสูงโคราช (Korat Plateau) ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 170,000 ตารางกิโลเมตร โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. แอ่งโคราช-อุบล ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 33,000 ตารางกิโลเมตรคลุมพื้นที่จังหวัดขอนแก่นมหาสารคาม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ยโสธร นครราชสีมา ชัยภูมิ สุรินทร์ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี

2. แอ่งอุดร-สกลนคร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 17,000 ตารางกิโลเมตร คลุมพื้นที่จังหวัดอุดรธานี หนองคาย สกลนคร และนครพนม

ซึ่งแอ่งทั้งสองนั้นมีแนวเทือกเขาภูพานพาดผ่านจากทิศตะวันตกไปตะวันออกเป็นตัวแบ่งเขตระหว่างกัน ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณของเกลือหินไม่ต่ำกว่า10 ล้านล้านตัน (ข่าวสารกองธรณี, 2553)

ที่ราบสูงภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลุ่มแอ่งที่รอบรับอยู่ด้วยชั้นเกลือหิน 2 บริเวณ คือ ลุ่มแอ่งสกลนคร และลุ่มแอ่งโคราช ดังแสดงในรูปที่ 2.1

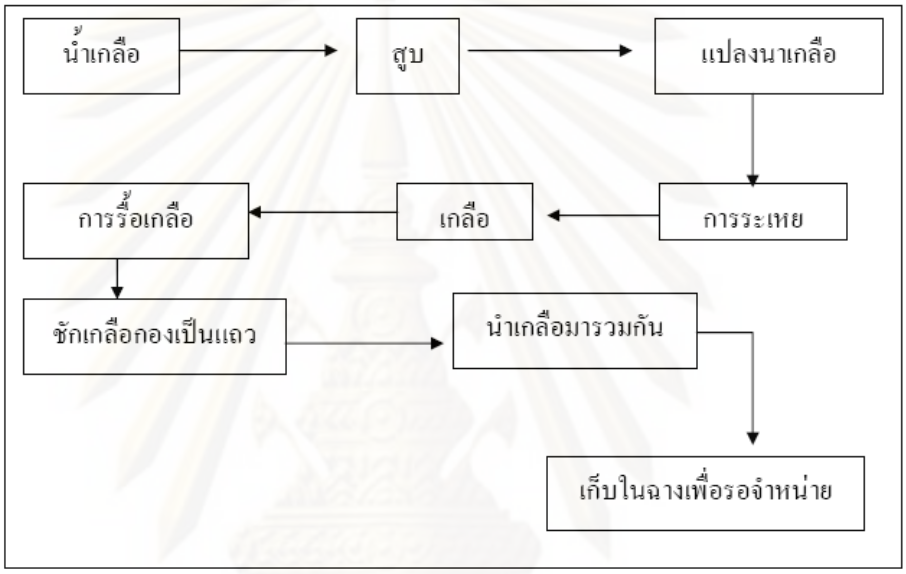
ที่มา : http://mne.eng.psu.ac.th/eng2002/northeast.htm

รูปที่ 2.1 แสดงแหล่งแร่เกลือหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.3 การผลิตเกลือสินเธาว์ในภาคอีสาน

2.3.1 กรรมวิธีการผลิตแบบลานตาก

กระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานตาก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกรรมวิธีหลักๆ 2 กรรมวิธีคือ กรรมวิธีการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานดินและกรรมวิธีผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 2.2



ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2552

รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานตาก

1. กรรมวิธีการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานดิน

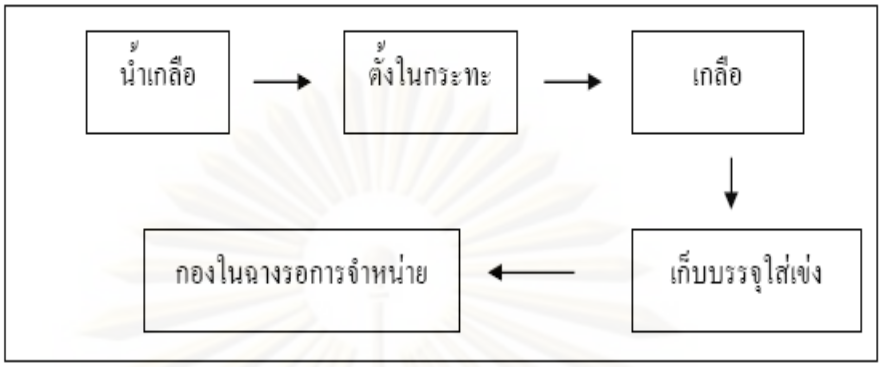
การทำนาเกลือโดยการสูบน้ำเกลือขึ้นมาขังในแปลงที่เป็นลานดิน ให้แสงแดดเป็นพลังงานความร้อนระเหยน้ำเกลือเ พื่อให้เกลือตกผลึกเป็นเม็ด การผลิตโดยวิธีนี้เป็นการผลิตที่ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ นิยมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพราะมีแหล่งน้ำเกลือใต้ดินมีความเข้มข้นสูงถึงประมาณ 20 – 25 ดีกรีโบเม่ แต่ต้องมีการควบคุมที่ดีพอไม่ให้ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียง การทำนาเกลือโดยวิธีลานดิน ดินควรจะเป็นดินเหนียวจึงตกแต่งได้ง่าย ขั้นตอนการผลิต เริ่มจากการปรับระดับพื้นที่ให้เรียบเสมอกัน บดจนแน่นแล้วยกคันดินขึ้นสูงประมาณ 60 ซม. โดยรอบแปลง ทำเป็นแปลงขนาด 12 x 4 เมตร จากนั้นจึงสูบน้ำเกลือจากบ่อมาขังไว้ในนาเกลือใช้เวลาประมาณ 7 วัน ก็จะเริ่มเก็บเกลือได้

2. **กรรมวิธีการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานคอนกรีต**

การผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานคอนกรีตนิยมผลิตในพื้นที่ที่สภาพของดินไม่สามารถอุ้มน้ำได้ โดยการปรับพื้นดินให้เสมอกันแล้วเทด้วยคอนกรีตหนาประมาณ 5 ซม. กั้นคันระหว่างแปลงด้วยบล็อกซีเมนต์สูงประมาณ 60 ซม. ทำเป็นแปลงขนาด 12×24 เมตร จากนั้นจึงจะสูบน้ำเกลือขึ้นมาขังในแปลง การตากเกลือจะทำการเก็บเกลือหลังจากตากแล้วประมาณ 3–4 วัน โดยเกลือที่ได้จะให้ผลผลิตสูงกว่าลานดินเกือบเท่าตัวและเกลือจะสะอาดกว่าการเก็บเกลือ ทั้งสองแบบจะเริ่มจากวิธีการที่เรียกว่า **การรื้อเกลือ** ซึ่งการรื้อเกลือควรจะรื้อในขณะที่ยังมีน้ำท่วมขังอยู่พอสมควรจึงจะได้เกลือขาวสะอาด การรื้อเกลือจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า อีรุนรุนหรือดันให้เกลือแตกขณะที่เกลือตกผลึกมีความหนาประมาณ 1 – 1.5 นิ้ว ไม่ควรจะปล่อยให้เกลือหนามากเพราะจะใช้แรงคนรื้อลำบาก จึงควรรื้อแปลง 5 วันต่อครั้ง จากนั้นใช้คะทาชักเกลือให้มากองรวมกันเป็นแถวแล้วนำมากองเป็นรูปปิรามิด แต่ละครั้งควรรื้อเกลือ 4 – 5 ครั้ง แล้วจึงปล่อยน้ำเชื้อที่เหลือในแปลงจนแห้ง เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการผลิตครั้งต่อไป จากนั้นจึงหาบเกลือที่ได้เก็บไว้ที่ฉางรอการจำหน่ายต่อไป

2.3.2 **กรรมวิธีการผลิตโดยการต้ม**

การผลิตเกลือสินเธาว์โดยการสูบน้ำเกลือจากใต้ดินขึ้นมาต้มในกระทะเพื่อจะได้เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมอีกวิธีหนึ่งที่ผู้ผลิตนิยมนำมาใช้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรรมวิธีการผลิตจะเริ่มจากการสูบน้ำเกลือใส่ในกระทะต้ม (ถาดต้มเกลือ) ซึ่งมีความกว้างประมาณ 2 เมตร ยาว 3 - 10 เมตรและสูงประมาณ20 เซนติเมตร ใช้แกลบเป็นเชื้อในการต้ม เมื่อต้มน้ำเกลือให้ระเหยจนกระทั่งเหลือน้ำเกลือในกระทะประมาณ 5 เซนติเมตร เกลือจะตกผลึกเป็นเม็ด จึงเริ่มตักเกลือใส่ลงในกระทะใส่เข่งที่นำมาเตรียมไว้บนไม้รองที่วางพาดตามขวางบนขอบกระทะ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการเก็บเกลือและให้น้ำเกลือที่ติดมากับเกลือหยดลงไปในกระทะเหลือแต่เกลือที่แห้ง เมื่อเกลือที่ตักได้น้อยลงไปในกระทะเพื่อต้มรอบต่อไปซึ่งกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์โดยวิธีการต้มแสดงในรูปที่ 2.3



ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์โดยวิธีการต้ม

2.3.3 กรรมวิธีการผลิตเกลือโดยระบบการเคี่ยว

กรรมวิธีการผลิตเกลือโดยระบบการเคี่ยวเป็นกรรมวิธีการผลิตเพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตและยกระดับเทคโนโลยีที่จะสามารถควบคุมปริมาณและคุณภาพตามความต้องการได้ ซึ่งการผลิตที่ศึกษานี้เป็นกระบวนการผลิตโดยวิธีการต้มเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือในน้ำมากพอจนเกิดผลึกแยกเป็นเกลือได้ตามที่ต้องการ ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตดังนี้

1. สูบน้ำเกลือดิบจากใต้ดิน

2. พักน้ำเกลือที่ได้ในถังพักเพื่อเตรียมน้ำเกลือเข้าสู่กระบวนการตกตะกอนในถังปฏิกิริยา

3. เติมสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอนของสิ่งเจือปน ได้แก่ โซดาไฟ (NaOH), โซดาแอซ (Na_2CO_3) และสารช่วยตกตะกอน เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วจะได้ น้ำเกลือใส และตะกอนออกมาโดยที่ตะกอนนั้น จะแยกไปยังบ่อบำบัด และน้ำเกลือจะผ่านต่อไปเก็บยังถังเก็บน้ำเกลือ

4. กรอง การกรองเป็นการนำน้ำเกลือจากถังเก็บน้ำเกลือใสซึ่งในกระบวนการนี้มีการกรอง 2 รอบด้วยกัน เพื่อให้น้ำเกลือที่ได้นั้นบริสุทธิ์

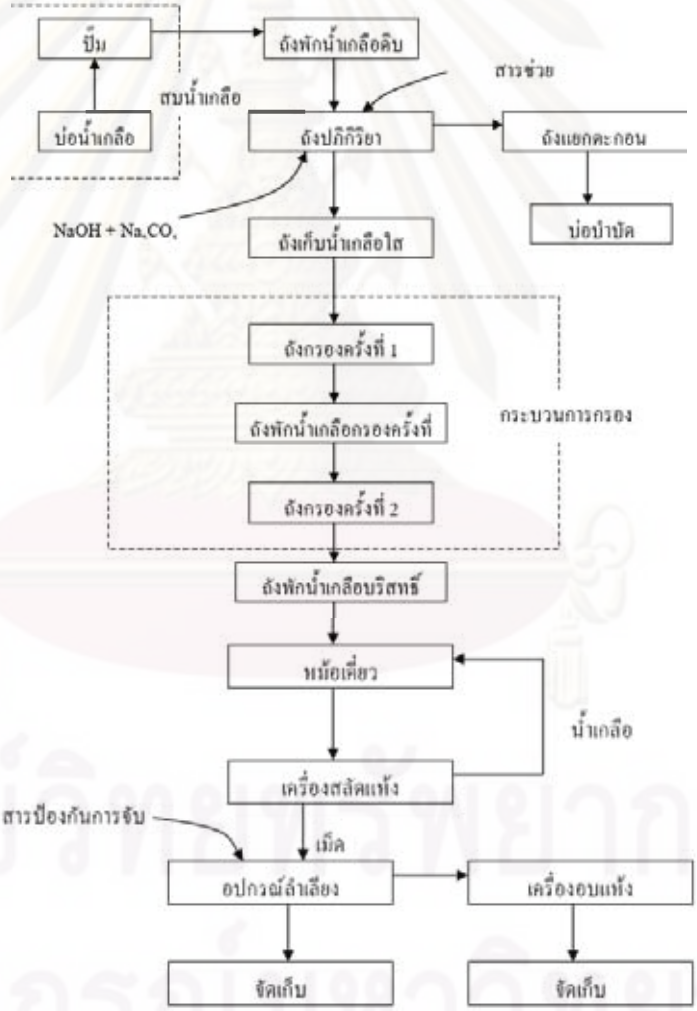
5. การเคี่ยวหรือต้ม เป็นกระบวนการที่นำน้ำเกลือบริสุทธิ์ที่ผ่านการกรองมาแล้วมาทำการเพิ่มความเข้มข้นโดยการเคี่ยวหรือต้มให้น้ำระเหยออกไป โดยเมื่อน้ำระเหยออกไปแล้วเกลือที่เหลืออยู่จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งตกตะกอนออกมาเป็นเม็ดเกลือ

6. กระบวนการสลัดแห้ง เม็ดเกลือที่ได้นั้นบางส่วนจะมีน้ำปนเข้ามาด้วย ซึ่งจะสามารถแยกน้ำออกจากเกลือหลังจากการเคี่ยวแล้วได้โดยการสลัดแห้ง ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการนี้

แล้วจะได้เกลือและน้ำโดยน้ำที่ออกมาจะไหลเวียนเข้าสู่กระบวนการเคี่ยวอีกเพื่อทำการเคี่ยวให้ได้เม็ดเกลือออกมาอีกเพราะน้ำส่วนนี้ยังมีเกลือเจือปนอยู่ และเกลือจะออกมายังเครื่องลำเลียงโดยในขณะทำการลำเลียงนั้นก็จะทำการเติมสารป้องกันการจับตัวของเกลือลงไปด้วย

7. กระบวนการอบแห้ง เมื่อได้เกลือออกมาแล้วแต่เกลือยังมีปริมาณความชื้นอยู่ ซึ่งจะสามารถลดความชื้นของเกลือได้โดยการนำเกลือมาอบ เพื่อให้ได้เกลือที่มีความชื้นตามต้องการ

กรรมวิธีการผลิตเกลือโดยระบบเคี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงแผนผังลำดับกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบเคี่ยว



ที่มา: ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

รูปที่2.4 แสดงลำดับกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบเคี่ยว

2.3.4 **ข้อดีของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยวในรูปแบบอุตสาหกรรมขนาดกลาง**

ข้อดีของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคียวนั้นจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตเกลือและความสามารถในการแข่งขันในตลาดเกลือของผู้ประกอบการรายย่อยในภาคอีสานได้เป็นอย่างดี อีกทั้งกรรมวิธีการผลิตแบบนี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผลิตเกลือในปัจจุบันดังนี้

1. **ด้านสิ่งแวดล้อม**

- ลดการทำลายป่าไม้ การผลิตด้วยการต้มในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังใช้ฟืนเป็นแหล่งพลังงานเพราะกรรมวิธีการต้มที่ล้าสมัย แต่ด้วยกรรมวิธีการต้มที่ทันสมัยนี้จะนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ในการผลิต ทำให้สามารถลดการตัดไม้มาทำเชื้อเพลิงได้

- ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาของบริเวณใกล้เคียง เพราะการผลิตด้วยวิธีนี้จะไม่มีน้ำเกลือซึมผ่านออกนอกรอบเหมือนการผลิตแบบลานตาก

2. **ด้านเศรษฐกิจ**

- ต้นทุนการผลิตต่ำเนื่องมาจากมีเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะต่อการผลิตเพื่อการอุตสาหกรรม

- สามารถทำการเกษตรรอบนอกบริเวณการผลิตเกลือได้

- เกลือที่ได้จากกระบวนการผลิตเป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาสูงถึงประมาณตันละ 1,000 บาท เมื่อเทียบกับการผลิตแบบลานตาก

3. **ลดผลกระทบทางสังคม**

- การผลิตเกลือด้วยกรรมวิธีการผลิตนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาในบริเวณข้างเคียงทำให้สามารถลดการต่อต้านจากชุมชนข้างเคียงผู้ประกอบเกษตรกรรมแบบอื่นจึงเป็นแนวทางในการลดปัญหาทางสังคมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้

2.3.5 **ข้อเสียของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยวในรูปแบบอุตสาหกรรมขนาดกลาง** (ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

- พื้นดินทรุดเกิดจากการสูบน้ำเกลือใต้ดินขึ้นมามากาเกินไป ถ้าไม่มีการอัดระบายน้ำกลับคืนจะทำให้เกิดช่องว่างใต้ผิวดิน เกิดการทรุดตัวของดิน

- การลงทุนเริ่มแรกมีมูลค่าค่อนข้างสูง

2.4 ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์

โดยที่ถ้าจะกล่าวถึงผลกระทบที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์ในด้านต่างๆมีดังนี้

2.4.1 **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** มีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งก็คือ

1. การทำลายป่าไม้ การผลิตเกลือโดยการต้มส่วนใหญ่เป็นการต้มส่วนใหญ่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพราะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่นถ่านหินน้ำมันเตาที่ต้องใช้อุปกรณ์ในการช่วยสันดาปอีกค่อนข้างมาก

2. พื้นดินทรุดเกิดจากการสูบน้ำเกลือใต้ดินขึ้นมามากเกินไป ใช้กรรมวิธีการสูบที่ไม่ถูกต้องการอัดฉีกน้ำลงไปละลายเกลือ การใช้ลมอัดดันน้ำเกลือขึ้นมา โดยไม่มีการอัดระบายน้ำกลับคืน ทำให้เกิดช่องว่างใต้ผิวดิน เกิดการทรุดตัวของดิน

3. ผลกระทบทางนิเวศ เกิดจากการระบายน้ำเกลือลงสู่พื้นที่ข้างเคียง ทำให้พื้นที่ใกล้เคียงไม่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรหรืออุปโภคบริโภคได้

2.4.2 **ผลกระทบทางเศรษฐกิจ** การผลิตเกลือสินเธาว์เป็นการนำทรัพยากรใต้ดินมาเพิ่มมูลค่า หรือจำหน่ายโดยตรงแต่ยังไม่มีการควบคุมการใช้ทรัพยากรดังกล่าวอย่างเหมาะสม(ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548) คือ

1. การผลิตเกลือยังใช้เทคนิคและกรรมวิธีที่ล้าสมัย ทำให้การผลิตมีต้นทุนที่สูง ไม่มีประสิทธิภาพ มีการใช้ทรัพยากรอย่างไม่คุ้มค่า

2. การที่สูบน้ำเกลือขึ้นมาเพื่อการผลิตยังมีปัญหาเกี่ยวกับการตีความเกี่ยวกับแร่ทางกฎหมาย และการกำหนดหลักเกณฑ์ที่แน่นอนของการขุดเจาะ ทำให้มีนักลงทุนจากต่างถิ่นเข้ามาทำหารลงทุนโดยที่ท้องถิ่นไม่ได้รับผลประโยชน์ตอบแทน

3. การผลิตเกลือที่มีการควบคุมน้ำเสียไม่ดีพอ เกิดปัญหารั่วไหล เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ ผลผลิตทางการเกษตรเสียหายเป็นพื้นที่กว้างคิดเป็นมูลค่ามาก

4. รัฐต้องเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และค่าใช้จ่ายในการทดลองวิจัยอุปกรณ์กรรมวิธีการผลิต ซึ่งส่วนใหญ่ไม่มีการนำไปใช้ปฏิบัติ

2.4.3 **ผลกระทบทางสังคม** การผลิตเกลือสินเธาว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการต่อต้านจากชุมชนใกล้เคียงและถูกมองภาพในฐานะผู้สร้างปัญหาแก่สิ่งแวดล้อม เกิดความขัดแย้งนำไปสู่ปัญหาสังคมเกลือสินเธาว์เป็นทรัพยากรที่มีมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจมากซึ่งในปัจจุบันการผลิตเกลือในภาคอีสานนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้บริเวณรอบๆ การผลิตเกลือไม่สามารถทำการเกษตรได้ซึ่งหากได้รับการพัฒนากรรมวิธีการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมก็จะสามารถลดปัญหาที่เกิดได้และจะสามารถสร้างรายได้ต่อชุมชนและประเทศชาติได้อีกด้วย(ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาค-ตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

2.5 ตลาดเกลือสินเธาว์

2.5.1 สถานภาพของตลาดเกลือในปัจจุบัน

เกลือสินเธาว์ที่ผลิตได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณการผลิตประมาณ 2 ล้านตัน/ปี ซึ่งนอกจากจะมีการซื้อขายกันเพื่อใช้บริโภคในท้องถิ่นตามจังหวัดต่างๆทั้งภาคชุมชนและภาคอุตสาหกรรมทั่วๆไปเช่น น้ำปลา ปลาร้า น้ำแข็ง ผักและผลไม้ดอง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผู้รวบรวมเกลือในท้องถิ่นที่มีการผลิตเช่น จากจังหวัดสกลนคร มหาสารคาม อุดรธานี หนองคายและนครราชสีมา นำมารวบรวมและนำไปจำหน่ายยังภูมิภาคต่างๆ อีกทอดหนึ่งควบคู่ไปกับโครงการผลิตเกลือผสมไอโอดีนเพื่อป้องกันโรคคอหอยพอกตามนโยบายของกระทรวงสาธารณสุขด้วย นอกจากนี้ยังมีการจำหน่ายน้ำเกลือเพื่อนำไปผลิตน้ำปลาและเกลือในพื้นที่จังหวัดที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ผลิตเกลือ แต่ปริมาณเกลือที่ถูกนำเข้าระบบมากที่สุดได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในภาคกลาง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผงชูรส โซดาไฟ คลอรีน กรดเกลือกระดาษแคลเซียม คาร์ไบด์ ฟอกหนัง ฯลฯ ซึ่งเกลือสินเธาว์เป็นเกลือที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกันมาก เพราะว่าเกลือสินเธาว์เป็นเกลือที่มีโซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนผสมถึง 90% มีแมกนีเซียมและซัลเฟตต่ำ เป็นคุณสมบัติของเกลือที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องการมากกว่าเกลือทะเลที่มีโซเดียมคลอไรด์ผสมอยู่ในเปอร์เซนต์ที่ต่ำกว่า อีกทั้งในปัจจุบันพื้นที่ที่เคยผลิตเกลือทะเลในบริเวณชายฝั่งทะเลแถบจังหวัดสมุทรสงครามสมุทรสาคร และชลบุรี มีการนำที่ดินไปใช้เพื่อการอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เป็นชุมชนที่พักตากอากาศราคาที่ดินสูงขึ้นผู้ประกอบการจึงขายที่ดินเพื่อไปประกอบอาชีพอื่น และบางรายหันไปประกอบทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า ทำให้เกลือมีปริมาณลดลงโรงงานอุตสาหรรมส่วนใหญ่จึงหันมาใช้เกลือสินเธาว์ทดแทนและนอกจากนี้เกลือสินเธาว์ยังเป็นสินค้าส่งออกของไทยที่ส่งไปขายยังประเทศต่าง ๆ อีกด้วย(ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

2.5.2 ระบบตลาดเกลือสินเธาว์

ระบบตลาดเกลือสินเธาว์จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ(ดูรูปที่ 2.5ประกอบ)ส่วนใหญ่จะมีพ่อค้ามาซื้อผลผลิตจากแหล่งผลิต รวบรวมไปกระจายขายยังภูมิภาคต่างๆ โดยจะใช้รถ 6 ล้อสำหรับตลาดท้องถิ่นและตลาดจังหวัดใกล้เคียง และจะใช้รถบรรทุก 10 ล้อสำหรับส่งให้โรงงานอุตสาหกรรม โดยที่ราคาของเกลือ จะขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือและฤดูกาล เพราะว่าบางฤดูกาลมีเกลือทะเลออกมามากทำให้มีภาวะเกลือในตลาดมีมาก และเกลือทะเลมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าจึงทำให้ราคาของเกลือสินเธาว์ราคาตกต่ำตามเกลือทะเลไปด้วย ดังตารางที่ 2.1แสดงราคาเกลือสินเธาว์ในภาคอีสาน(ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

รูปที่ 2.5 แสดงระบบตลาดของเกลือสินเธาว์อีสาน

ตารางที่ 2.1 แสดงราคาเกลือสินเธาว์ตามกรรมวิธีต่างๆในภาคอีสาน

ชนิดของเกลือ	ราคา(บาท/ตัน)
เกลือตากลานดิน	400 - 600
เกลือตากลานปูน	600 - 800
เกลือต้ม	700 – 1,500
เกลือเคี่ยวให้บริสุทธิ์	1,300 – 1,900

ที่มา: ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

เกลือสินเธาว์ที่ผลิตได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณร้อยละ 90 จะถูกพ่อค้ารวบรวมส่งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในภาคกลาง ตลาดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีประมาณร้อยละ 10 เท่านั้นเอง

2.5.3 ความต้องการเกลือในอุตสาหกรรม

1. การใช้เกลือในอุตสาหกรรมอาหาร

-เป็นสารเพิ่มรส (Flavouring Agent) เกลือเป็นตัวทำให้เกิดรสเค็มในอาหาร รสเค็มนี้จะสามารถไปลดความเปรี้ยวให้น้อยลง และเพิ่มรสหวานให้มากขึ้น

2. อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์

-การทำเนื้อเค็ม ทำได้โดยการแช่เนื้อสัตว์กับน้ำเกลือ ซึ่งความเค็มจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแช่เนื้อ ระหว่างที่มีการตากแห้งหรืออบปฏิกิริยาการสลายตัวโดยเอนไซม์มีไม่มากนัก ฉะนั้นการเกิดกลิ่นภายหลังการตากแห้งจึงมีไม่มาก

-การทำน้ำปลา ทำได้จากการหมักปลากับเกลือ โดยในการทำน้ำปลานั้นต้องให้ความเข้มข้นของเกลือมากพอที่จะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ถ้าใช้น้อยเกินไป จะทำให้ปลาเกิดการเน่าเสีย

-ปลาร้า หลักการคือ การทำให้เกิดการแตกตัวของโปรตีนในเนื้อปลา โดยจุลินทรีย์และเอนไซม์ในตัวปลา ในการทำปลาร้าเริ่มจากการใช้ปลาที่สะอาดเคล้ากับเกลือแล้วหมักในภาชนะที่ให้ปลาจมอยู่ในน้ำเกลือ 1 วัน แล้วนำปลาที่ได้มาอัดลงไหให้แน่น เพื่อให้น้ำออกมาจากตัวปลา ถ้าน้ำไม่ท่วมก็ให้นำน้ำเกลือเก่าเติมลงไป ทิ้งไว้ 3 เดือน จะได้กลิ่นจากการแตกตัวของโปรตีนและเนื้อปลาจะนิ่ม อาจเติมข้าวคั่ว เพื่อให้กลิ่นดีขึ้น หลังจากคลุกข้าวคั่วแล้วต้องเติมน้ำเกลือลงไปอีก จากนั้นหมักต่ออีก 2 เดือน ก็จะได้ปลาร้า

-ปลาเจ่า เป็นการหมักปลาเช่นเดียวกับปลาร้า แต่จะมีรสชาติต่างไปเนื่องจากมีการหมักจาก Lactic Acid Bacteria และยีสต์ ขั้นตอนการทำเริ่มจากการนำปลาที่สะอาดมาหมักกับเกลือ แล้วอัดใส่ไหไว้ 3 วัน จากนั้นนำปลามาตากแดดให้แห้งหมาด ๆ แล้วคลุกกับดินประสิวและข้าวหมาก แล้วนำไปอัดใส่ไหให้แน่นปิดฝาทิ้งไว้ 15 วัน ก็จะได้ปลาเจ่า นำมารับประทานได้

-ปลาจ่อม (ปลาส้ม) การทำจะใช้หลักการหมักโดย Lactic Acid Bacteria มากกว่า ปลาเจ่าโดยการนำปลามาคลุกกับเกลือแล้วหมักไว้โดยให้น้ำเกลือคลุมตัวปลา 2 วัน แล้วนำมาคลุกกับข้าวสุก ปิดฝาทิ้งไว้ 3 วัน ก็จะได้ปลาจ่อม

-ปลาเค็ม ทำได้โดยการนำปลาที่ขอดเกล็ดตัดหัวและควักไส้แล้วไปแช่ในน้ำเกลือประมาณ 20 นาที เลือดในตัวปลาจะละลายออกมา แล้วนำไปดองในน้ำเกลืออิ่มตัว 30 นาที นำมาล้างน้ำ แล้วตากแดดจนแห้ง

-ไข่เค็ม เป็นการถนอมอาหารโดยใช้ความเค็ม ทำโดยการแช่ไว้ในน้ำเกลืออิ่มตัวประมาณ20 วัน โดยให้ไข่จมอยู่ใต้น้ำเกลือตลอด แล้วนำมาต้ม

-เนยแข็ง ในการนำเนยแข็งนั้นการเติมเกลือทำให้เกิดรส และกลิ่นเฉพาะขึ้น นอกจากนี้แล้วเกลือยังเป็นปัจจัยในการคัดเลือกให้เฉพาะจุลินทรีย์ที่ต้องการคือ Lactic Acid Bacteria เท่านั้นที่เจริญได้ ทำให้ได้เนยแข็งที่มีเนื้อสัมผัสที่ต้องการสำหรับการทำเนยเหลว (Butter)

3. อุตสาหกรรมผักและผลไม้

-การใช้เกลือใน อุตสาหกรรมผัก ผลไม้นั้นส่วนใหญ่จะใช้เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์หมักดอง ซึ่งจุดประสงค์ในการหมักดองกับเกลือนั้นคือ รสเค็มเพื่อทำให้อาหารนั้นเก็บได้นาน และรสเปรี้ยวโดยการที่เชื้อ Lactic Acid Bacteria ใช้องค์ประกอบส่วนใหญ่ในผัก ผลไม้ คือ คาร์โบไฮเดรตแล้วสร้างกรดแลคติค ซึ่งในการหมักดองนั้น ถ้านำอาหารนั้นไปแช่ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้นประมาณ 4-8 % เชื้อ Lactic Acid Bacteria ก็จะเจริญได้ ในขณะที่เชื้อจุลินทรีย์อื่นรวมทั้งจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ ไม่สามารถเจริญได้ แต่ถ้าต้องการให้อาหารมีรสเค็มอย่างเดียวและคงรูปได้นาน ก็ต้องใช้เกลือที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 16 % ขึ้นไป แต่กรณีที่ต้องการทั้งรสเปรี้ยว เค็ม และรักษาไว้ได้นาน ก็จะทำได้โดยทำให้อาหารเกิดรสเปรี้ยวก่อนแล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นเกลือขึ้นทุกสัปดาห์จนมากกว่า 16 % โดยอุตสาหกรรมการทำผักและผลไม้มีดังนี้

-ผักเค็ม เช่นหัวผักกาดเค็ม (หัวไช้โป๊) เป็นอาหารชนิดที่ต้องการความเค็มอย่างเดียวซึ่งทำได้โดยนำมาดองกับเกลือที่เข้มข้นไม่มากแต่ต้องค่อย ๆ ตากให้แห้ง ซึ่งเป็นผลทำให้ความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น เมื่อแห้งได้ที่แล้วความเข้มข้นเกลือ และน้ำในอาหารที่เหลือจะเพียงพอต่อการถนอมอาหารนั้น ๆ

-ผักกาดดอง ได้มาจากการดองเปรี้ยวโดยเชื้อ Lactic Acid Bacteria โดยการใช้เกลือในปริมาณที่พอเหมาะกับการเจริญของเชื้อดังกล่าว และเพื่อให้การหมักเกิดกรดดีและป้องกันการเจริญของเชื้อที่ไม่ต้องการ ควรปิดฝาภาชนะที่ใช้หมัก ในการหมักมีการเติมน้ำข้าว ข้าวสุก หรือน้ำตาลลงไป เพื่อเพิ่มรสชาติและเป็นแหล่งอาหารให้จุลินทรีย์ด้วย

-ซีอิ๊ว (Soy Sauce) ใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ โดยการนึ่งแล้วนำมาคลุกกับแป้งสาลีหรือรำข้าวสาลี แล้วเติมเชื้อรา Aspergillus Oryzae หรือ Aspergillus Soyae เมื่อราเจริญดี

แป้งในถั่วจะถูกย่อยให้กลายเป็น Glucose, Maltose และ Dextrins จากนั้นนำถั่วมาแช่น้ำเกลือแล้วหมักตากแดดเป็นเวลา 2 – 6เดือนขึ้นไป จะได้ซีอิ้วตามต้องการ เรียกซีอิ้วน้ำแรก ซึ่งหลังจากสูบน้ำซีอิ้วออกไปแล้ว เราสามารถเติมน้ำเกลือลงไปหมักต่อได้อีกโดยหลักการคือในระหว่างการหมักนั้น จุลินทรีย์พวก Lactic Acid Bacteria จะเจริญและสร้างกรดขึ้นซึ่งเป็นผลให้เชื้ออื่นที่ปนมาหยุดเจริญ และเชื้อ Bacillus Subtilis และยีสต์ที่สามารถเจริญในซีอิ้วได้จะทำหน้าที่สร้างกลิ่นให้ผลิตภัณฑ์ และเมื่อมีการระเหยของน้ำออกไป จะทำให้เกลือมีความเข้มข้นมากขึ้นจนในที่สุดจุลินทรีย์ต่าง ๆ ก็หยุดการเจริญเติบโต

-เต้าหู้ยี้ ทำได้โดยการนำเต้าหู้มานึ่งแล้วหมักกับเกลือจนได้กลิ่นหอมแล้วคลุกกับข้าวแดง นำไปตากแดดจนค่อนข้างแห้ง

-อุตสาหกรรมผักกระป๋อง ในอุตสาหกรรมผักบรรจุกระป๋องนิยมใช้น้ำเกลือในการบรรจุ ซึ่งปริมาณเกลือที่ใช้นั้นจะแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของผักนอกจากจะมีการใช้เกลือในการทำผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้ต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว เรายังสามารถใช้เกลือเพื่อป้องกันการเกิด Hardness ได้อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก ถ้าน้ำที่เรานำมาใช้ในการลวกพวกถั่วต่าง ๆ มีความกระด้าง (มีแมกนิเซียมปนอยู่) จะทำให้ถั่วเกิด Hardness ได้ ซึ่งเราสามารถป้องกันปัญหานี้ได้โดยการใช้น้ำเกลือในการลวกผัก แต่วิธีการนี้จะเกิดปัญหาได้คือ ควบคุมความเข้มข้นของเกลือได้ยาก ความเค็มที่แทรกซึมเข้าไปในอาหารและการสึกกร่อนของเครื่องมือ นอกจากจะใช้น้ำเกลือในการลวกผักแล้ว ยังมีการใช้น้ำเกลือในการแช่อาหารก่อนการแปรรูปเพื่อป้องกันการเกิด Browning ด้วย

4. อุตสาหกรรมห้องเย็น

-มีการใช้เกลือในอุตสาหกรรมทำน้ำแข็งมาเป็นเวลานาน เพื่อเป็น Secondary Heat Transfer Media เนื่องจากเมื่อเกลือละลายน้ำ สารละลายจะมีจุดแข็งตัวลดลงต่ำกว่า 0° c (หรือ 32° F) ความเข้มข้นของน้ำเกลือสูงสุดที่สามารถใช้ได้คือประมาณ 88° Salometer ถ้าเข้มข้นกว่านี้เกลือจะจับกับน้ำบางส่วนและแข็งตัวได้ในอุณหภูมิสูงกว่านี้ ดังนั้นเราจะใช้น้ำเกลือในกรณีที่ต้องการแช่เย็นที่ระดับ 25-50° F ถ้าต้องการอุณหภูมิต่ำกว่านี้ ควรใช้เกลือตัวอื่น เช่น เกลือแคลเซียมคลอไรด์

5. ใช้ในการจัดมาตรฐานอาหาร

-การจัดแบ่งมาตรฐาน (Grading) ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น นับว่าสำคัญ เพื่อให้ได้อาหารที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น ถั่ว (Pea, Bean) ความอ่อน แก่ จะแปรผันกับน้ำหนัก ดังนั้น น้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะที่ต่างกัน จะมีประโยชน์ในการนำมาใช้

คัดแยกถั่วเกรดต่าง ๆนอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกที่มีความต้องการนำเกลือไปใช้เป็นวัตถุดิบใน อุตสาหกรรม (ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548) ซึ่งระบบตลาดเกลือสินเธาว์จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 และความต้องการในการนำเกลือไปใช้เป็นวัตถุดิบใน อุตสาหกรรมดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงความต้องการใช้เกลือในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

บริษัท	ปริมาณความต้องการ (ตัน/ปี)	หมายเหตุ
บริษัทไทยอาซาฮีโซดาไฟ จำกัด	100,000	
บริษัท สหศรีชัย	50,000	
บริษัทราชาชูรส	30,000	
บริษัทอาอิโนะโมะโต๊ะ	20,000	
บริษัทขจรเกียรติเทรดดิ้ง(ผงชูรสตราชฎา)	8,000	
อุตสาหกรรมดองขิงที่ ศรีราชา บางบอน บางพลี	7,000	
โรงงานน้ำตาล	300	ความต้องการเฉลี่ย/โรง
โรงงานน้ำแข็ง	10,000	ใช้รวมกันไม่น้อยกว่า
โรงทอผ้า	500	ความต้องการเฉลี่ย/โรง
โรงงานย้อมผ้า	2,000	ความต้องการเฉลี่ย/โรง
โรงงานน้ำปลา	50,000	ใช้รวมกันไม่น้อยกว่า
โรงงานพลาสติกมาบตาพุด	50,000	

ที่มา: ความต้องการโดยประมาณ จากอนุทินของบริษัทไทยอาซาฮีโซดาไฟ จำกัด, 2552

2.6 การส่งออกและการนำเข้า

2.6.1 การส่งออก

เดิมประเทศญี่ปุ่นเป็นลูกค้าที่นำเข้าเกลือจากประเทศไทยเพื่อใช้ในโรงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากรายใหญ่ที่สุด ต่อมาได้หันไปซื้อเกลือจากประเทศออสเตรเลีย และอินเดียเนื่องจากเกลือทะเลของประเทศไทยมีความเค็มต่ำ 85 – 88 % และเกลือจากประเทศไทยมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า โดยที่ปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นตลาดใหญ่ที่สุดมีความต้องการใช้

เกลือประมาณ 7 ล้านตัน/ปี นอกจากนี้ยังมีประเทศอื่น ๆ ที่เป็นตลาดเล็ก ๆ โดยที่การส่งออกเกลือของไทยมีประมาณ 100,000 ตัน/ปี และในปัจจุบันมีบริษัทส่งออกเกลืออยู่ 1 บริษัท คือ K.C. SALT INTERNATIONAL CO., LTD โดยมีการส่งออกเกลือไปยังประเทศต่างๆดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงประเทศและชนิดเกลือที่นำเข้าจากประเทศไทย

ลำดับที่	ประเทศ	ชนิดเกลือ
1	ญี่ปุ่น	เกลือทะเล ,เกลือแกง
2	มาเลเซีย	เกลือเงิน , เกลือทะเล , เกลือแกง , โซเดียมคลอไรด์บริสุทธิ์
3	บรูไน	เกลือเงิน , เกลือทะเล , เกลือแกง , โซเดียมคลอไรด์บริสุทธิ์ , สารละลายน้ำเกลือ
4	สปป.ลาว	เกลือทะเล , เกลือแกง
5	สิงคโปรร์	เกลือทะเล , เกลือแกง
6	ไต้หวัน	เกลือทะเล
7	สหรัฐอเมริกา	เกลือทะเล , เกลือแกง
8	เวียดนาม	เกลือทะเล , เกลือแกง
9	บราซิล	เกลือแกง , สารละลายน้ำเกลือ
10	ภูฐาน	เกลือแกง
11	อังกฤษ	เกลือแกง
12	ฮ่องกง	เกลือแกง
13	ซิซิลี	เกลือแกง
14	ฟิลิปปินส์	เกลือแกง
15	กัมพูชา	เกลือแกง
16	ศรีลังกา	เกลือแกง
17	ปาปัวนิวกินี	เกลือแกง
18	เมียนมาร์	เกลือแกง

ที่มา : การนำเข้าเกลือ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค, 2548

2.6.2 การนำเข้า

การนำเข้าเกลือมีเพียงเล็กน้อยเพื่อใช้ในการวิจัยและเคมีภัณฑ์บางอย่างเท่านั้น ยกเว้นช่วงปี 2525 ประเทศไทยเกิดภาวะขาดแคลนเกลือในประเทศจึงได้มีการนำเข้าเกลือจากประเทศออสเตรเลียและอินเดีย จำนวน 30,000 ตัน เพื่อใช้ในงานโซดาไฟและผงชูรสเป็นต้น(ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

2.7 แนวโน้มของตลาดเกลือ

ตลาดเกลือในปัจจุบันมีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมในภาคต่าง โดยที่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากจะมีความต้องการเกลือสินเธาว์มากกว่าเพราะว่าเกลือสินเธาว์มีความเข้มข้นของครอไรด์สูง อีกทั้งในช่วงหน้าฝนความต้องการเกลือสินเธาว์จะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเกลือจากทะเลมีผลผลิตออกมาในช่วงนี้ค่อนข้างน้อย และในส่วนของราคานั้นจากอดีตที่ผ่านมาจะพบว่าราคาของเกลือในแต่ละปีมีราคาเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าศึกษาให้ดีจะพบว่าในอนาคตปริมาณเกลือที่ออกสู่ตลาดในประเทศอาจจะมีมากจนเกินไป เนื่องจากการทำเหมืองแร่โปรแตชที่จังหวัดอุดรธานี จากการประเมินพบว่าการทำเหมืองแร่โปรแตชแห่งนี้จะมีขี้เกลือจากการผลิตโปรแตช ถึงวันละ 20,000 ตัน/วัน ซึ่งอาจจะทำให้ราคาเกลือตกต่ำลงอย่างมาก แต่ก็อาจจะเกิดผลดีในการส่งออกเพราะจะทำให้ต่างชาติมีความมั่นใจที่ไทยจะสามารถส่งออกเกลือได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ต่างชาติหันมาสั่งเกลือจากประเทศไทยมากยิ่งขึ้น(ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

2.8 ปัญหาที่พบของการทำเกลือสินเธาว์

จากการสำรวจข้อมูลทั่วไปการผลิตเกลือสินเธาว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพอสรุปแนวทางเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดินซึ่งไม่ส่งผลกระทบก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและอันตรายต่อชีวิตชุมชนทั่วไปเช่นกรณีหลุมยุบดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ การปล่อยน้ำเกลือปะปนออกนอกพื้นที่การผลิตเกลือได้แก่การทำผลิตน้ำเกลือโดยวิธี Solution Mining ซึ่งเมื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิตแล้ว ประมาณไม่เกิน 50 บาทต่อตันเกลือที่ผลิตได้ ในขณะที่เทคโนโลยีการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดินซึ่งชาวบ้านรายย่อยทำกันทั่วไปมีค่าใช้จ่ายน้ำเกลือประมาณ 57-125 บาทต่อตันเกลือที่ผลิตได้ ดังนั้นถ้ามีระบบจัดการวางแผนงานที่ดีการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำเกลือโดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ สามารถนำมาประยุกต์แก้ปัญหาการนำน้ำเกลือแบบชาวบ้านรายย่อยช่วยลดผลกระทบต่างต่อชุมชนได้ รวมทั้งมีข้อดีทำให้ผู้ผลิตเกลือมีต้นทุนในการนำน้ำเกลือขึ้นมาลดลงด้วย(ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มา : ยิ่งศักดิ์ งามฉวีพันธุ์ หนังสือพิมพ์ฝึกปฏิบัติ สาขาวิชาการสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2551

รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดหลุมยุบ

2.9 เทคโนโลยีการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดิน

วิธีการทำเหมืองละลายแร่ (Solution Mining) การทำเหมืองละลายแร่โดยวิธี (Solution Mining) (แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551) ซึ่งมีขั้นตอน วิธีการทำเหมืองดังนี้

2.9.1 การเจาะและลงท่อเพื่อละลายแร่เกลือหิน

1. เจาะเก็บแท่งตัวอย่าง (Coring) จะมีการเจาะเพื่อเก็บแท่งตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความยาว 6 เมตร ในแต่ละตัวอย่าง (ความยาวของ Core Barrel) ของชั้นดิน หินและเกลือ ตั้งแต่ผิวดินลงไปจนสุดชั้นเกลือชั้นล่าง ประมาณ 265 เมตร Core ที่ได้จะเก็บไว้อย่างดีป้องกันการรบกวนเตรียมส่งห้องปฏิบัติการทดสอบ ขณะเดียวกันก็เก็บ Cutting ในน้ำโคลน (Mud) ทุกๆ ระยะ 2 เมตร ที่เจาะลงไป และต้องวัดทิศทางของรูเจาะทุกๆ ระยะ 15-20 เมตร ด้วยเครื่องมือ Single Shot Instrument จะต้องควบคุมให้รูเจาะเบี่ยงเบนจากแนวดิ่งได้ไม่เกิน 2.0 องศา

2. การทำ Logging เมื่อเจาะจนทะลุหินรองรับชั้นเกลือชั้นล่างแล้ว ต้องตรวจสอบหลุมเจาะโดยทำ Gamma Ray Log และ Density and Caliper Log เพื่อตรวจสอบชั้นแร่และธรณีวิทยาโครงสร้าง เพื่อเปรียบเทียบกับแท่งตัวอย่าง

3. การควบคุมน้ำโคลน (Mud Program) Drilling Mud ที่ใช้ในการเจาะมี 2 ชนิด

- Oil Base Mud ซึ่งต้องผสมกับสารประกอบเคมีบางตัว เช่น Carbotec, Carbo Mul, Carbo Gel, Milgel, Milbar, Permalose Drilling Mud ชนิดนี้มีคุณสมบัติไม่ละลาย Salt Core

- Salt Saturated Bentonite mud มีส่วนผสมของเกลือ NaCl 310 กรัม/ลิตร ในสารละลาย Bentonite และDrilling Clay ในขณะดำเนินการเจาะจะต้องผสมและควบคุมน้ำโคลน (Drilling mud) ใน (1) หรือ (2) ให้มีส่วนประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ตามที่กำหนดไว้ เช่น ความเข้มข้นของเกลือ (Concentration),ความหนาแน่น (Density),ความหนืด(Funnel Viscosity), การสูญเสียน้ำ (Water Loss), ความเป็นกรดด่าง (pH) ซึ่งในกรณีปกติการเจาะจะใช้น้ำเกลือเข้มข้นในการละลายเบนโทไนต์ (Bentonite) เป็นน้ำโคลนโดยควบคุมให้มีคุณสมบัติดังนี้ส่วนผสมของเกลือในสารละลายเบนโทไนต์ 310 กรัม/ ลิตร ความหนาแน่นรวม 1.22 - 1.26 กิโลกรัม/ลิตร ความหนืด 40 วินาที การสูญเสียน้ำ 8 -12 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ลิตร ความเป็นกรดด่าง 8 -10 โดยทั่วไปในหนึ่งหลุมเจาะจะเตรียมน้ำโคลนไว้ใช้ประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตร

4. การเจาะขยายรู (Reaming) หลังจากเจาะเก็บแท่งเกลือตัวอย่างแล้วต้องเจาะขยายรูเป็น12 ¼ นิ้ว ลงไปถึงระยะความลึก 185-195 เมตร เพื่อลงท่อกันพัง ขนาด 9 5/8 นิ้ว และในขณะที่เจาะขยายรูจะต้องวัดทิศทางของรูเจาะทุก ๆ ระยะ 15 เมตรที่ Ream ลงไป โดยควบคุมให้เบนจากแนวดิ่ง ไปได้ไม่เกิน 2.0 องศา

5. การลงท่อ (Casing Installation) ลงท่อ API casing, grade J-55 ขนาด $9\ ^{5}/_{8}$ นิ้ว ไปจนถึงระยะความลึกประมาณ 180-190 เมตร (ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้น Overburden ดูจากผลการ Logging แรงอัดและอัตราการอัด) พร้อมด้วย Centralizers ประกบติดในช่วงข้อต่อ (Coupling) ของท่อแต่ละท่อน เพื่อให้ท่อวางตัวอยู่ในตำแหน่งกลางหลุมเจาะไม่ชิดด้านใดด้านหนึ่งของหลุม และที่ท่อนปลายล่างสุดจะใส่ Non-return valve (Stab in Float Shoe) เพื่อใช้สำหรับอัดซีเมนต์ (Cementation)

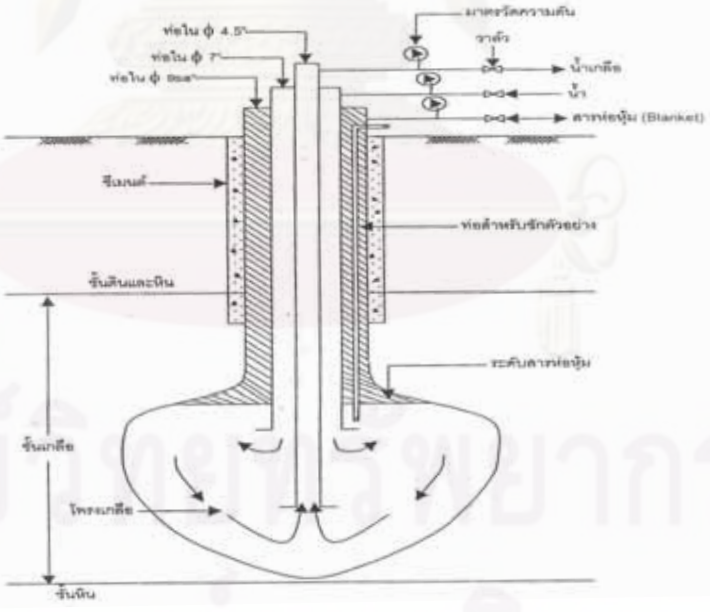
6. การอัดซีเมนต์ (Cementation Program) เมื่อลงท่อเรียบร้อยแล้วก็ต้องอัด Cement Slurry ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์ (Portland Cement) ชั้นหนึ่ง ผสมด้วยน้ำเกลือ และเบนโทไนต์ 2% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ความหนาแน่นของน้ำปูนที่ผสมประมาณ 1.7 - 1.8 กิโลกรัม/ลิตร ลงไปในช่องว่างระหว่างผนังรูเจาะกับท่อ 9 5/8 นิ้ว เพื่อป้องกันน้ำใต้ผิวดินซึมลงไปในชั้นเกลือ และป้องกันน้ำเกลือในโพรงเกลือรั่วซึมขึ้นมา แต่ก่อนที่จะอัดน้ำปูนที่ผสมลงไป จะต้องอุดรูเจาะข้างล่างเสียก่อนด้วยของผสมสำหรับอุด (Attapulgite Plug) เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนไหลเลยไปยังชั้นเกลือที่จะละลาย สำหรับส่วนผสมของสารที่ใช้อุดมีส่วนผสมดังนี้ สารปรับความหนืด (CMC) 18 กิโลกรัม , เบนโทไนต์ 40 กิโลกรัม , น้ำโคลนที่ใช้เจาะในช่วงแรก

162 กิโลกรัม , โซดาไฟ 5 กิโลกรัม , เกลือ 300 กิโลกรัม , น้ำ 680 ลิตร การอัดน้ำปูนจะอัดด้วยปั๊มที่แรงดันสูงอัดจนกระทั่งน้ำปูนไหลล้นขึ้นมาจึงหยุดปล่อยให้ซีเมนต์แข็งตัว (Setting)

7. การล้างหลุมเจาะ หลังจากซีเมนต์แข็งตัวแล้ว 72 ชั่วโมงจะล้างรูเจาะด้วยการใช้หัวเจาะขนาด 8 1/2 นิ้ว เจาะผ่าน Non-return valve (Stab in Float Shoe) ที่ติดอยู่ที่ปลายท่อ $9^{5}/_{8}$ นิ้ว และทำการล้าง Drilling Mud ด้วยน้ำเกลือสะอาดเข้มข้นจากก้นหลุมขึ้นมา

8. การลงท่อขนาด 7 นิ้ว และ 4½ นิ้ว ลงท่อขนาด 7 นิ้วและท่อขนาด 4 ½ นิ้ว ชั้นคุณภาพเดียวกับ Casing $9\ ^{5}/_{8}$ นิ้ว ระดับความลึกของท่อทั้งสองชั้นนี้ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในการวางแผนการละลาย เพื่อพัฒนาโพรงเกลือ (Leaching Program) จะมีการยกระดับท่อเพื่อปรับตามแผนละลายเป็นระยะๆ

9. การทดสอบความแข็งแรงของหลุมเจาะ (Pressure Test) หลังจากดำเนินการต่าง ๆ เสร็จแล้วประมาณ 28 วัน ทดสอบการรั่วซึมของหลุมเจาะ โดยการอัดน้ำเกลือเข้มข้นด้วยแรงดัน ประมาณ 9 บาร์ เพื่อตรวจสอบว่าหลุมเจาะไม่รั่ว สามารถที่จะใช้ในการทำโพรงเกลือได้ รูปที่ 2.7 แสดงรายละเอียดของการทำเหมืองละลายแร่



ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

รูปที่ 2.7 การทดสอบความแข็งแรงของหลุมเจาะ

2.9.2 การละลายแร่เกลือหิน

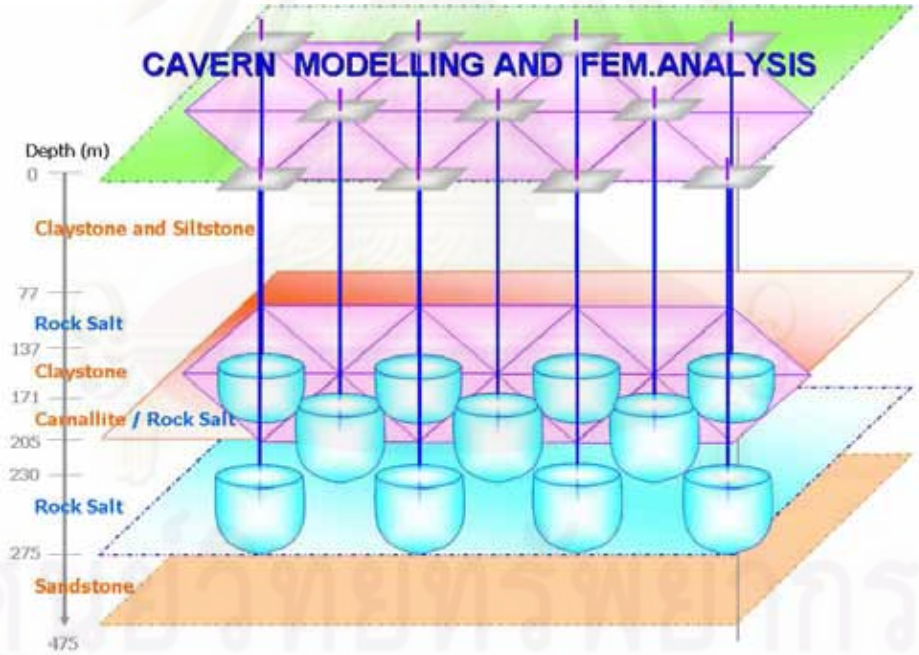
เนื่องจากระดับของชั้นเกลือ ความหนาของชั้นเกลือ คุณลักษณะและโครงสร้างของเกลือหินและสภาพของพื้นดินในแต่ละแห่งจะแตกต่างกันออกไป ฉะนั้นในการละลายโพรงเกลือจำเป็นจะต้องทดสอบคุณสมบัติทุกๆ อย่างของเกลือหินเฉพาะแหล่ง เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบเพื่อสามารถควบคุมโพรงที่เกิดขึ้นให้อยู่ในขอบเขตและจะได้เป็นการนำเกลือหินเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อจะได้ไม่เป็นการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติโดยเปล่าประโยชน์ เริ่มจากการเจาะแต่ละครั้งจะต้องเก็บตัวอย่างแท่งเกลือ (Salt Core) ตลอดความหนาของชั้นเกลือทุกชั้น ทำการศึกษาสภาพของชั้นดินบริเวณนั้น เพื่อศึกษาถึงความแข็งแรง โดยนำตัวอย่าง แท่งเกลือหินที่ได้มาเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบหาค่าของความแข็งแรงดังรูปที่ 2.8 ค่าความเร็วในการละลายในน้ำ (Leaching Velocity of Rock Salt), วิเคราะห์ สารประกอบแร่ที่มีอยู่ ประเภทและปริมาณของสารเจือปนที่ไม่ละลายน้ำเป็นต้น ในการทดสอบนี้จะต้องใช้ ห้องปฏิบัติการที่ทันสมัยเพื่อจะได้ข้อมูล ที่ถูกต้อง และพอเพียงที่จะออกแบบรูปร่างขนาดของโพรงได้ หลังจากที่ทดสอบและคำนวณได้ค่า ต่างๆ และออกแบบตามความต้องการแล้ว ก็ต้องวางแผนพัฒนาบ่อและติดตั้งท่อบ่อ (Well Casing) จากนั้นก็จะมีการติดตั้งท่อ ชั้นในอีก 2 ท่อตามแผนที่ระบุระยะเวลาหรือขนาดโพรงที่วางไว้ล่วงหน้า ขนาดของท่อและระดับที่จะติดตั้งก็ได้มากจากการคำนวณวางแผนออกแบบทั้งสิ้น การที่ต้องมีท่อหลายชั้น เพราะจะต้องมีการควบคุมขนาดของโพรงโดยใช้น้ำมันใส่ลงไป และมีท่อส่งน้ำลงไป และช่องทางไหลกลับของน้ำเกลือด้วย สิ่งสำคัญอีกอย่างคือ จะต้องมีการอัดซีเมนต์รอบๆ ท่อ (Cement Grouting) อย่างดีและทดสอบอัดแรงดันไม่ให้รั่วซึมได้ เพื่อกันน้ำใต้ดินเข้าไปในบ่อหรือน้ำเกลือ/น้ำมันรั่วซึมออกนอกบ่อได้ ดังแสดงใน รูปที่ 2.8 และ รูปที่ 2.9

ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

รูปที่ 2.8 การทดสอบหาค่าความแข็งแรงของชั้นเกลือหินที่มา

ที่มา: แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

รูปที่ 2.9 การทดสอบหาค่าความเร็วในการละลายน้ำ (Leaching Test)



ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

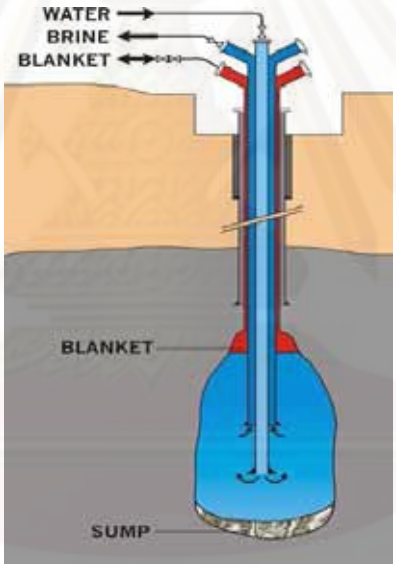
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการออกแบบรูปร่างขนาดของโพรงเกลือจากผลการคำนวณ

ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาล่าสุดในปัจจุบัน วิศวกรสามารถควบคุมได้ทุกอย่างไม่ว่าโพรงจะอยู่ใต้ดิน ที่ความลึกของชั้นเกลือ, ความหนาของชั้นเกลือจะเป็นเท่าใดก็ตามสามารถทำได้ ทั้งนั้น และจะต้องมี การตรวจสอบโพรงที่เกิดขึ้นเพื่อเทียบกับการคำนวณเป็นระยะ ดังรูปที่ 2.10

หลังจากเตรียมบ่อเรียบร้อยแล้ว ก็จะเป็นขั้นตอนสำคัญอีกขั้นหนึ่ง คือ การละลายเกลือ ข้างล่าง โดยการใช้น้ำเข้าไปละลายเกลือหิน จนได้น้ำเกลือเข้มข้นประมาณ 310 กรัม ต่อลิตร จะต้องใช้เวลาหลายเดือน ในการอัดน้ำลงไปนี้ ทำได้ 2 วิธี คือ (Direct Leaching & Indirect Leaching) ทั้งนี้แล้วแต่สภาพและคุณสมบัติของเกลือหินในแต่ละแห่ง แผนการละลายที่ว่านี้จะถูกกำหนดขึ้นล่วงหน้า หลังจากที่ได้ผ่านการทดลองละลายในห้องปฏิบัติการแล้วเท่านั้น

1. Direct Leaching Method

เป็นการอัดน้ำเข้าไปทางท่อใน และได้น้ำเกลือออกมาระหว่างท่อนอกกับท่อใน การละลายแบบนี้จะทำให้ละลายเกลือด้านล่างมากกว่าและน้ำเกลือที่ได้จะไม่เข้มข้นพอที่จะส่งไปโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตเกลือได้ (ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 กรัมต่อลิตร) ดังรูปที่ 2.11

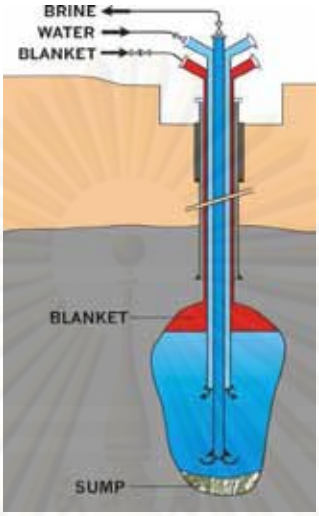


ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

รูปที่ 2.11 direct Leaching Method

2. Indirect Leaching Method

เป็นการอัดน้ำเข้าไประหว่างท่อนอกกับท่อใน และได้น้ำเกลือเข้มข้นออกมาจากท่อในการละลาย แบบนี้จะทำให้ละลายเกลือด้านบนและด้านล่างมากกว่า และน้ำเกลือที่ได้ จะมีความเข้มข้นมากกว่าวิธี Direct Leaching Method ซึ่งความเข้มข้นนี้จะมากพอที่จะส่งไปโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตเกลือได้ (ความเข้มข้นมากกว่า 310 กรัมต่อลิตร) แสดงในรูปที่ 2.12



ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

รูปที่ 2.12 Indirect Leaching Method

ตามปรกติแล้วจะต้องมีการสับเปลี่ยนวิธีการละลาย เพื่อควบคุมโพรงที่เกิดให้ขนาดและรูปร่างอยู่ในขอบเขตที่ต้องการ ในการทำ Solution Mining ด้วยวิธีนี้สำคัญที่สุดคือ Blanket ซึ่งอยู่รอบนอกจะเป็นตัวป้องกันและควบคุมระดับความสูงของการละลายโพรงในแต่ละ Step Blanket ที่ว่านี้อาจจะเป็น Compressed Air, Oil, LPG ก๊าซธรรมชาติหรืออื่นๆ ที่ไม่เป็นตัวละลายเกลือหิน Blanket นี้จะถูกอัดด้วยความดันสูง (ขนาดแรงดันได้จากการทดลองและคำนวณในห้องปฏิบัติการ) และจะต้องมีการควบคุมและเติมอยู่เป็นประจำ (สำหรับการทำเหมืองตามแผนผังโครงการทำเหมืองนี้จะใช้น้ำมันดีเซลเป็น Blanket) ด้วยวิธีการทั้งหมดตามที่กล่าวมาสามารถที่จะควบคุมปริมาณของน้ำเกลือและความเข้มข้นของน้ำเกลือได้

วิธีละลายเกลือทั้งสองวิธีนี้ต้องทำสลับกันไปเพื่อให้สอดคล้องกับแผนการพัฒนาโพรงเกลือ ตลอดจนความเข้มข้น อัตราการไหล (Flow Rate) ของน้ำเกลือ

อย่างไรก็ตามขนาด (Dimension) รูปร่างของโพรง และปริมาณเกลือทั้งหมดที่จะนำขึ้นมาจากบ่อเกลือได้จะถูกกำหนดโดยปัจจัย (Factor) ต่อไปนี้คือ ลักษณะของชั้นเกลือ ลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดินเหนือโพรงเกลือ (Over Burden Bayers) และใต้โพรงเกลือ (Underlying Layers) คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของแท่งชั้นดินและเกลือ (Core Sample) ที่เจาะเก็บ การวิเคราะห์ทาง Rock Mechanics การทดสอบการละลาย (Leaching Simulation)

2.9.3 **วิธีการทำเหมืองด้วยวิธีการละลายแร่มีขั้นตอนดังนี้**

1. **การอัดน้ำมันเพื่อควบคุมการละลาย** (Blanket Control)

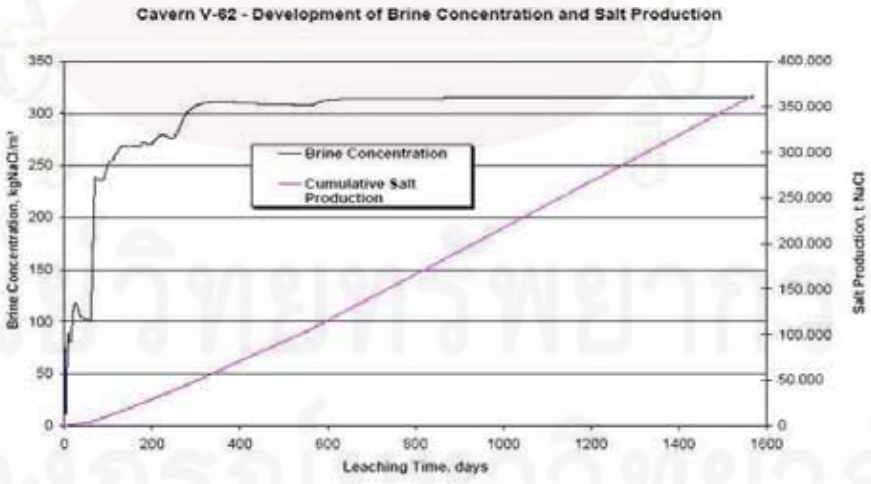
ก่อนที่จะเริ่มทำการละลายเกลือ จะต้องทำการอัดน้ำมันไปควบคุมไม่ให้น้ำละลายเกลือด้านบน ซึ่งน้ำมันนี้จะมีคุณสมบัติเบากว่าน้ำ และไม่ละลายน้ำและเกลือ

2. **ระยะตั้งกรวยก้นบ่อ** (Sump Phase)

ในการละลายเกลือจะมีสารที่ไม่ละลายที่อยู่รวมกับเกลือหินหลุดออกมาเป็นตะกอนกรวยก้นบ่อนี้ จะทำหน้าที่เหมือนกับที่เก็บตะกอนในโพรงเกลือ โดยกรวยก้นหลุมนี้จะมีลักษณะเป็นกรวยที่มียอดอยู่ด้านล่างการสร้างนี้จะสร้างโดยการละลายแบบ Direct Leaching ยอดกรวยนี้จะทำมุมกับแนวระนาบประมาณ 15 องศา ระยะนี้น้ำเกลือที่ได้จะมีความเข้มข้นไม่อิ่มตัว

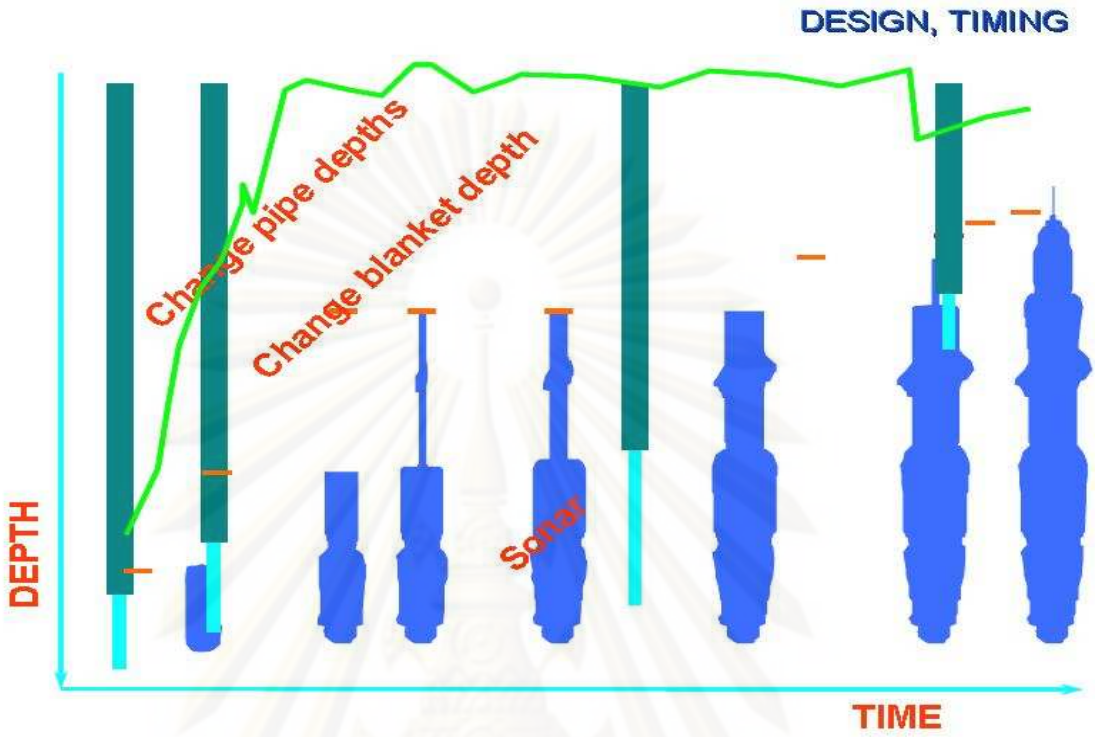
3. **ระยะการผลิต** (Production Phase)

หลังจากทำกรวยก้นบ่อแล้วจะเปลี่ยนการละลายเป็นแบบ Indirect Leaching และยกระดับ Blanket ให้สูงขึ้น การละลายในช่วงนี้จะได้น้ำเกลือที่เข้มข้น โดยมีความเข้มข้นประมาณ 310 กรัม/ลิตร ซึ่งความเข้มข้นประมาณนี้ถือว่าเป็นความเข้มข้นที่อิ่มตัว ซึ่งน้ำเกลือที่ได้สามารถส่งไปยังโรงงานเพื่อผลิตเกลือได้ (ระยะนี้ถือเป็นระยะเริ่มการทำเหมือง) สำหรับรายละเอียดขั้นตอนการผลิตเกลือ 1 หลุมพอสรุปเบื้องต้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14



ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

รูปที่ 2.13 แสดงของความเข้มข้นน้ำเกลือและปริมาณที่ผลิตได้กับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม



ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งระดับท่อ Blanket และขนาดโพรงกับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม

4.**การควบคุมโพรงเกลือ** มีวิธีการควบคุมโพรงเกลือหลายๆวิธีการรวมกันคือ

- **การตรวจสอบโพรงเกลือ** (Salt Cavity Surveillance) เพื่อวิเคราะห์ ลักษณะโพรง (Shape) และขนาด (Size) ของโพรง โดยใช้วิธีการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง Ultrasonic Survey (Echo-log) และจะทำการตรวจสอบเป็นระยะตามความเหมาะสม (อย่างน้อย 2 ครั้ง ตลอดอายุการใช้งานของบ่อ) จะรายงานผลการตรวจสอบให้กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ทราบทุกครั้ง การบันทึกขนาดรูปร่าง และส่วนประกอบอื่นๆ ของโพรงที่เกิดจากการละลายเกลือต้องอาศัยเทคนิค การสำรวจที่หลากหลายและกว้างขวาง ระบบข้อมูลใต้ดินที่ได้จะทำให้สามารถควบคุมโพรงเกลือทางกายภาพหลายๆ อย่างได้ เช่น ระดับน้ำเกลือ, อุณหภูมิ, ความดัน, ความเข้มข้น เป็นต้น ผลของการสำรวจโพรงโดย Ultrasonic Survey จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างของโพรง และได้รูปภาพที่สมบูรณ์ของรูปทรง และสภาวการณ์ที่สำคัญรวมทั้งประวัติการพัฒนา รูปร่างและปริมาตรหรือขนาดของโพรงได้ด้วย

- **การควบคุมขนาดโพรงโดยสมดุลมวลสาร** ในการควบคุมการละลายแร่นั้น การติดตามตรวจสอบการเพิ่มขนาดของโพรงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง เพราะว่าการละลายที่ไม่สม่ำเสมอ ถึงแม้จะในระยะเริ่มต้นสามารถนำมาซึ่งความยุ่งยากในภายหลังได้ และจะต้องไม่ให้การขยายขนาดของโพรงเกินขอบเขตที่กำหนดให้เป็นอันขาด ถึงแม้ว่า Sonar Survey จะแสดงความน่าเชื่อถือ ของการวัดขนาดของโพรงที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน โดยการวัดระยะจากแกนกลางของโพรงถึงผนังที่วัดในแนวระนาบที่ระดับต่างๆ ตามมุมกำหนดต่าง ๆ รอบแกน ประเมินผลได้เป็นรูปร่างและเป็นหลักฐานของโพรงที่มีน้ำเกลือเต็มแต่เนื่องจากการสำรวจ โดย Sonar จะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง จึงมักจะทำเป็นช่วงๆ สำหรับการประมาณการลงทุนเบื้องต้นของเทคโนโลยีการนำน้ำเกลือจากใต้ดิน รวมทั้งข้อดี ข้อเสียพอสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.4 (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)

ตารางที่ 2.4 ข้อดีข้อเสีย และข้อเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของการนำเกลือหินขึ้นมาจากใต้ดิน

วิธีการ	ข้อดีข้อเสีย	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน
การทำเหมืองละลายแร่	- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะเรื่องหลุมยุบต่ำ หากมีการติดตามและ ควบคุมโพรงตามหลักทางวิชาการ - ต้องใช้น้ำดิบ (จืด) ในการละลายเกลือ - สามารถควบคุมการแพร่กระจายของน้ำขมโดยการอัดกลับ	- ลงทุนสูงในการปฏิบัติการ (ประมาณ 15 ล้านบาทต่อบ่อ ซึ่งผลิตเกลือได้ 350,000ตัน) - จำเป็นต้องมีผู้ที่มีความรู้ในการควบคุมการปฏิบัติการ
การสูบน้ำใต้ดินเค็ม	- มีความเสี่ยงต่อการเกิดหลุมยุบ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมและติดตามลักษณะการเกิดขึ้นของโพรงได้	- ลงทุนต่ำ (ประมาณ 100,000 ถึง 300,000 บาทต่อบ่อ) - ไม่จำเป็นต้องมีผู้ที่มีความรู้ควบคุมการปฏิบัติการ

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

2.10 เทคโนโลยีในการผลิตเกลือสินเธาว์ในต่างประเทศ

จากการรวบรวมข้อมูล พบว่าการนำเกลือหินจากใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตเป็นเกลือสินเธาว์ ในปัจจุบัน มี 3 วิธีหลักๆ ได้แก่

1. **การทำเหมืองเกลือใต้ดิน** (Underground Mining) เหมืองเกลือจะถูกสร้างขึ้นโดยการใช้ระเบิด การขุดเจาะ หรือ การใช้เครื่องจักร จากนั้นเกลือที่ได้จากเหมืองจะถูกบดและนำขึ้นมาใช้ประโยชน์ โดยปกติเกลือที่ได้จากเหมืองจะมีความบริสุทธิ์ประมาณ 92-98% ทั้งนี้ หากต้องการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเกลือ หลังจากการนำเกลือขึ้นมาจากเหมืองเกลือใต้ดินแล้วอาจทำได้โดยการละลายน้ำและผ่านกระบวนการผลิตในลักษณะเดียวกันกับน้ำเกลือที่ได้จากเหมืองสารละลาย

2. **การทำเหมืองละลายแร่** (Solution Mining) ในการทำเหมืองแบบนี้ น้ำจืดจะถูกสูบผ่านท่อที่เจาะลงไปถึงชั้นเกลือใต้ดินเพื่อที่จะละลายเกลือ จากนั้นน้ำเกลือที่ได้จะถูกสูบขึ้นมาบนพื้นดินเพื่อผ่านกรรมวิธีในการทำให้เกลือที่บริสุทธิ์ต่อไป โดยปกติแล้วท่อที่ใช้ในการสูบน้ำจืดและเกลือจะมี 2 หรือ 3 ชั้น โดยน้ำจืดที่ถูกสูบลงไปจะอยู่ข้างในและน้ำเกลือที่ถูกสูบขึ้นมาจะอยู่ข้างนอก

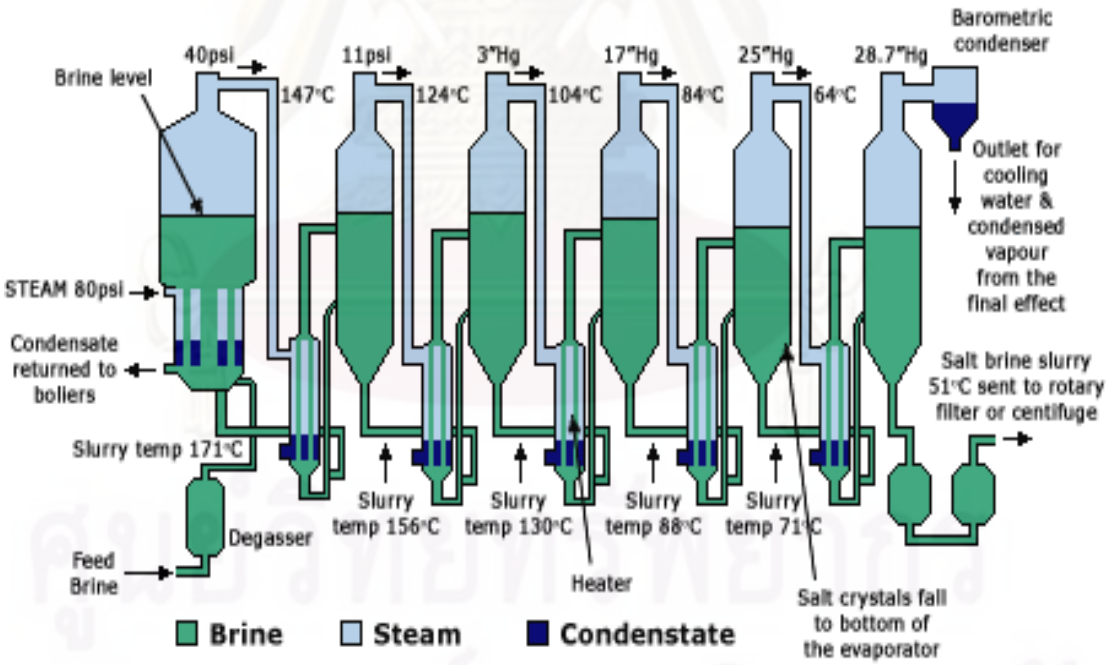
4. **การสูบน้ำบาดาลเค็ม** (Natural Brine Pumping) ในการนำเกลือขึ้นมาใช้ประโยชน์ตามวิธีนี้ น้ำบาดาลเค็มซึ่งเกิดจากการแพร่เข้าไปของ น้ำใต้ดินไปละลายชั้นเกลือจะถูกสูบขึ้นมาใช้ โดยการใช้การอัดอากาศหรือโดยการใช้เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม อนึ่ง การใช้เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มจะพบปัญหาการกัดกร่อนของเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้ไม่มีการใช้ในประเทศที่พัฒนาแล้ว

หากจะเปรียบเทียบกรรมวิธีในการนำเกลือหินจากใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตเป็นเกลือสินเธาว์ทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีการทำเหมืองละลายแร่ย่อมจะทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของโพรงได้ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้ต้นทุนที่สูงซึ่งผู้ประกอบการรายย่อยจะไม่สามารถหาเงินมาลงทุนได้(ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)

2.11 การผลิตเกลือจากน้ำเกลือที่ได้จากเหมืองละลายแร่น้ำบาดาล

หลังจากที่ได้น้ำเกลือจากเหมืองเกลือใต้ดิน การสูบน้ำบาดาลเค็ม และ/หรือ เหมืองสารละลายแล้ว น้ำแกลือที่ได้จะถูกนำมาตกผลึกโดยการผ่านเข้าเครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporators) การต้มภายใต้ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Boiling) และการตากนาเกลือ (Solar Pond) ทั้งนี้ ในปัจจุบันมีการผลิตเกลือสินเธาว์ในประเทศไทยทั้ง 3 กระบวนการ ซึ่งรายละเอียดของแต่ละกระบวนการมีดังต่อไปนี้

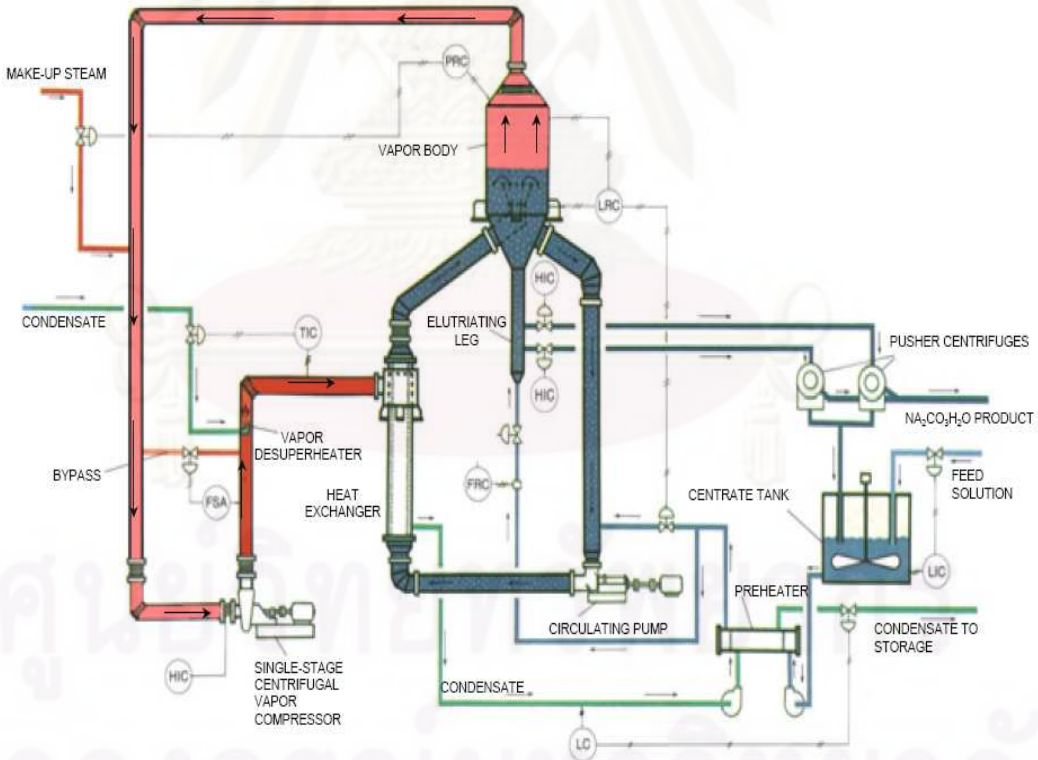
1. **การระเหยภายใต้สุญญากาศ** ในกระบวนการนี้ น้ำเกลือจะถูกระเหยภายใต้สูญญากาศโดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated Steam) เป็นตัวให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำระเหย ดังแสดงเป็นตัวอย่างใน (รูปที่ 2.15) อนึ่ง ก่อนที่น้ำเกลือจะเข้าไปยังเครื่องระเหย อาจมีการเติมสารเคมีบางตัว อาทิ ในกรณีของบริษัทเกลือพิมายจะมีการเติม โซดาไฟ (NaOH), โซดาแอช (Na_2CO_3) และ แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เพื่อกำจัด โลหะหนัก แคลเซียม และซัลเฟด ซึ่งจะได้ผลพลอยได้ คือ ไฮดรอกไซด์ของโลหะหนัก หินปูน ($CaCO_3$) และยิปซัม (Gypsum) หลังจากผ่านการจำกัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำเกลือแล้ว แล้วน้ำเกลือที่ได้จะผ่านเข้าเครื่องระเหย (Evaporator) ซึ่งจะทำการระเหยน้ำเพื่อทำให้เป็นสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Superheated Solution) เนื่องจากจุดเดือดของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเกลือ โดยปกติเครื่องระเหยเหล่านี้จะถูกวางต่อกันเป็นอนุกรมเพื่อให้เครื่องระเหยสุดท้าย มีความดันต่ำที่สุด (และจุดเดือดต่ำที่สุด) และไอน้ำที่ได้จากเครื่องระเหยก่อนหน้าก็จะถูกใช้เป็นตัวให้ความร้อนแก่เครื่องระเหยตัวถัดไป เพื่อเป็นการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด



ที่มา : http://www.saltsense.co.uk/adoutsalt-prod0.2htm

รูปที่ 2.15 กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยภายใต้สูญญากาศ

2. **กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยแบบ** Mechanical Vapour Recompression ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งมีข้อดีโดยนำไอร้อนกลับมาหมุนเวียนด้วยการเพิ่มความดันทำให้เป็นไอร้อนใหม่ที่ผ่านการต้มเกลือทั้งนี้น้ำจะถูกกำจัดจนกระทั้งสารละลายน้ำเกลือที่ได้เป็นสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Superheated Solution) ก่อนที่จะถูกผ่านเข้าเครื่องตกตะกอน (Clasifier) เครื่องกรอง (Filter) เครื่องกรองแบบหมุน (Rotary Drum Filter) ซึ่งจะมีตัวปาดผลึกเกลือบนผ้ากรองหรือ เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge) ก่อนที่จะนำบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อน (Screen) และอบแห้งต่อ ทั้งนี้เกลือที่ได้จากกระบวนการนี้มีความบริสุทธ์สูงแต่โดยส่วนใหญ่แล้วผู้ใช้กระบวนการผลิตแบบนี้จะเป็นผู้ผลิตเกลือรายใหญ่ อาทิ บริษัทเกลือพิมาย จำกัด และ บริษัท สยามทรัพย์มณีจำกัด เนื่องจากจำเป็นต้องใช้เงินทุนเริ่มต้นที่สูง เกลือที่ได้จากกระบวนการนี้ ส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความบริสุทธ์สูง อาทิ โรงงานผลิตพลาสติก และโรงงาน ผลิตโซดาไฟ ส่วนที่เหลือจึงจะนำไปใช้ในการบริโภค (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)



ที่มา : http://www. whiting.ca

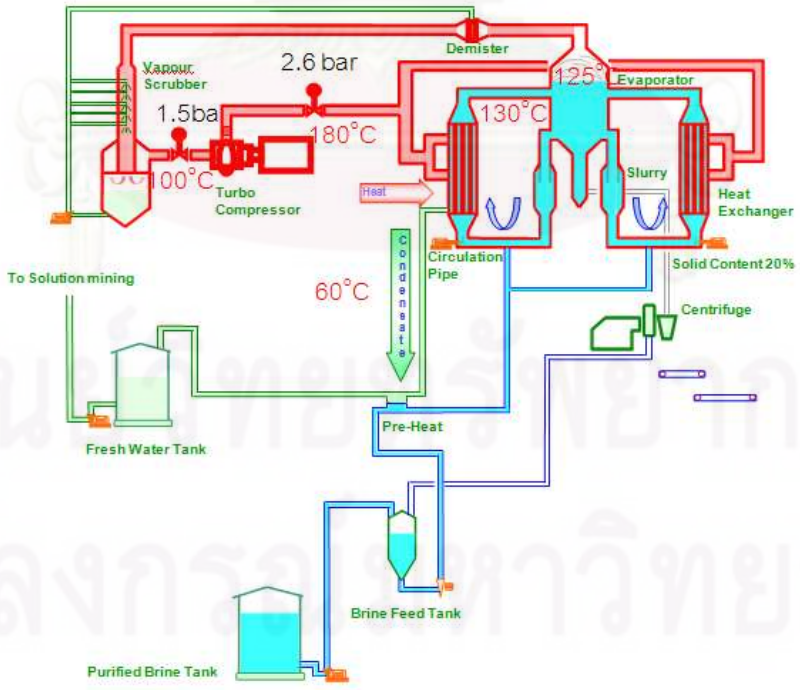
รูปที่ 2.16 กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยแบบ Mechanical Vapour Recompression

2.12 เทคโนโลยีการตกผลึกเกลือในประเทศ

จากการสำรวจข้อมูลการผลิตเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พอสรุปข้อมูลเทคโนโลยีในการตกผลึกเกลือได้ดังนี้

1. เทคโนโลยีการเคี่ยวเกลือที่ใช้ใน บริษัท เกลือพิมาย จำกัด

ซึ่งมีกำลังการผลิตปัจจุบันรวมประมาณ 1.5 ตัน/ปี แบ่งออกเป็น 5 สายการผลิต เกลือใหญ่ๆ ได้แก่เทคโนโลยีที่ใช้ได้แก่ ระบบ การอัดไอน้ำทางกล (Mechanical Vapour Recompression) ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลายส่วน ดังนี้ (รูปที่ 2.17) ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Steam Chest) ประกอบด้วยท่อเล็กๆจำนวนมากอยู่ในท่อใหญ่ (Shell and Tube) น้ำเกลือบริสุทธ์จะถูกปั๊มส่งเข้ามาในท่อจากด้านล่างเพื่อรับความร้อนจากไอน้ำซึ่งอยู่รอบๆ ท่อเล็กๆนั้น น้ำเกลือที่ออกจากส่วนบนของท่อจะเดือดและไหลเข้าไปยังหม้อเดี่ยว ระบบหม้อเดี่ยว (Evaporator) น้ำเกลือในหม้อเดี่ยวจะเดือดอย่างรุนแรง น้ำระเหยเป็นไอน้ำ และถูกดูดขึ้นไปที่ส่วนยอดของหม้อเดี่ยว ผลึกเกลือจะไหลส่วนล่างของหม้อเดี่ยวไปยังส่วนที่เก็บเกลือ (Salt Leg) น้ำเกลือส่วนหนึ่งจะไหลออกด้านข้างตามท่อที่ต่อกับปั๊มหมุนเวียน (Circulating Pump) มีการเติมน้ำเกลือเข้าที่ท่อนี้ให้หมุนเวียนขึ้นไปรับความร้อนจากไอน้ำที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อตกผลึกใหม่



ที่มา : เทคโนโลยีการเคี่ยวเกลือที่ใช้ใน บริษัท เกลือพิมาย จำกัด,2551

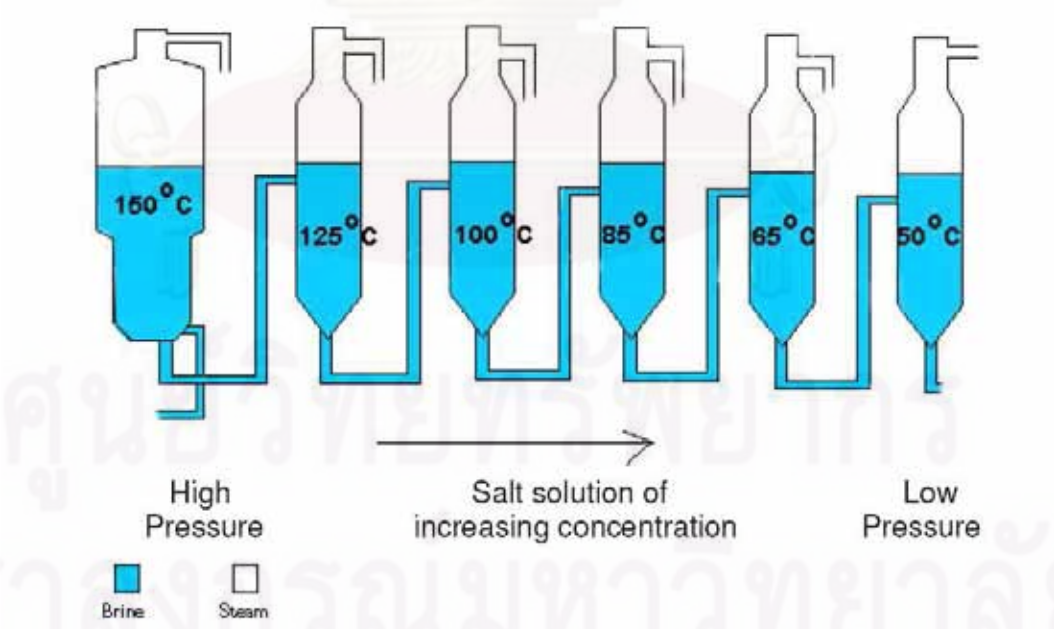
รูปที่ 2.17 การตกผลึกเกลือระบบการอัดไอน้ำทางกล (Mechanical Vapour Recompression)

ระบบล้างและระบบอัดไอน้ำ (Vapour Scrubber/Tube Compressor) ไอน้ำที่ส่วนยอดของหม้อเคี่ยวถูกดูดไปยังเครื่องล้างไอน้ำ เพื่อทำความสะอาดไอน้ำ จากนั้นผ่านไปยังเครื่องอัดไอน้ำ (Tube Compressor) ซึ่งอัดไอน้ำให้ร้อนขึ้นแล้วจึงส่งไปให้ความร้อนกับน้ำเกลือในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไอน้ำ เมื่อถ่ายเทความร้อนออกไปจะควบแน่นเป็นน้ำเกลือ ไหลออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและนำไปละลานเกลือในโพรงน้ำเกลือกลายเป็นน้ำเกลือกลับขึ้นมาหมุนเวียนใช้ใหม่

เทคโนโลยีการตกผลึกเกลือระบบการอัดไอน้ำทางกล (Mechanical Vapour Recompressor) มีข้อดีในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งประเมินค่าพลังงานในการผลิตเกลือประมาณไม่เกิน 500 บาทต่อตัน

2. เทคโนโลยีการเคี่ยวเกลือที่ใช้ใน บริษัท สยามทรัพย์มณี จำกัด

ซึ่งมีกำลังการผลิตปัจจุบัน ประมาณ 50, 000 ตันต่อปี เทคโนโลยีที่ใช้ได้แก่ ระบบ Multiple Effects Evaporator ซึ่งเครื่องระเหยเหล่านี้จะถูกวางต่อกันเป็นอนุกรมเพื่อให้เครื่องระเหยสุดท้ายมีความดันต่ำที่สุด และจุดเดือดและไอน้ำ ที่ได้จากเครื่องระเหยก่อนหน้าก็จะถูกใช้เป็นตัวให้ความร้อนแก่เครื่องระเหยตัวถัดไป เพื่อเป็นการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพตกผลึกที่ดี ดังรูปที่ 2.18



ที่มา : เทคนิคการเคี่ยวเกลือ บริษัท สยามทรัพย์มณี จำกัด, 2551

รูปที่ 2.18 การตกผลึกเกลือระบบการระเหยภายใต้สุญญากาศแบบ Multiple Effects Evaporator

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การคัดเลือกพื้นที่แหล่งน้ำเกลือ

แหล่งน้ำเกลือที่เลือกนำมาใช้ทดลองเป็นได้มาจากแอ่งโคราช ของบริษัทเกลือพิมาย มีความเข้มข้นของน้ำเกลือโดยเฉลี่ยประมาณ 20 โบเม่ ซึ่งน้ำเกลือที่นำมานี้เป็นน้ำเกลือที่สูบมาโดยการทำเหมืองละลายแร่ (Solution Mining) ในการทำเหมืองแบบนี้ น้ำจืดจะถูกสูบผ่านท่อที่เจาะลงไปถึงชั้นเกลือใต้ดินเพื่อที่จะละลายเกลือ จากนั้นน้ำเกลือที่ได้จะถูกสูบขึ้นมาจำมีค่าความเข้มข้นคงที่ต่างจากน้ำเกลือที่ชาวบ้านสูบขึ้นมาเป็นน้ำเกลือที่สูบในระดับความลึกไม่มากนักจึงทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือในแต่ละที่ไม่เท่ากัน

3.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำเกลือที่ได้จากแอ่งโคราช ที่นำมาทดลอง

จากการที่ไปนำเอาน้ำเกลือมาจากแอ่งโคราชของบริษัทเกลือพิมายเมื่อมีการนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำเกลือพบว่าน้ำเกลือมีองค์ประกอบของคลอไรด์ไอออน(Cl^-)ในปริมาณมากที่สุดและรองลงมาเป็นโซเดียมไอออน(Na^+)ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงประจุไอออนต่าง ๆ ของน้ำเกลือ

Substance	Parts per million	Percents on total salt
Cl^-	18,980	55.05
Na^+	10,556	30.61
SO_4^-	2,649	7.68
Mg^{++}	1,272	3.69
Ca^{++}	400	1.16
K^+	380	1.10
HCO_3^-	140	0.41
Br^-	65	0.19
H_3BO_3	26	0.07
Sr^{++}	8	0.03

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

และเมื่อมีการนำมาวิเคราะห์หาสารประกอบต่างๆของน้ำเกลือพบว่าน้ำเกลือมีปริมาณสารประกอบอยู่หลายชนิด แต่น้ำเกลือจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในปริมาณมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงสารประกอบต่าง ๆ ของน้ำเกลือ

Volume (Lites)	Fe_2o_3	$CaCO_3$	$CaSO_{4}$-$2H_2O$	NaCl	$MgSO_4$	$MgCl_2$	NaBr	KCl
1.000								
0.533	0.0030	0.0642						
0.316		Trace						
0.245		Trace						
0.190		0.0530	0.5600					
0.1445			0.5620					
0.131			0.1840					
0.112			0.600					
0.095			0.0508	3.2614	0.0040	0.0078		
0.064			0.1476	9.6500	0.0130	0.0356		
0.039			0.0700	7.8960	0.0262	0.0434	0.0728	
0.0302			0.0144	2.6240	0.0174	0.0150	0.0358	
0.023				2.2720	0.0254	0.0240	0.0518	
0.0162				1.4040	0.5382	0.0274	0.0620	
Total	0.0030	0.1172	1.7488	27.1074	0.6242	0.1532	0.2224	
Salts in last bittern				2.5885	1.8545	3.1640	0.3300	0.5339
Total Solid	0.0030	0.1172	1.7488	29.6959	2.4787	3.3172	0.5524	0.5339

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

ซึ่งสารประกอบต่างๆที่อยู่ในน้ำเกลืออาจสะสมหรือก่อตัวทำให้เกิดเป็นตะกอนหรือแร่ต่างๆ ได้ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงสารประกอบและตะกอนหรือแร่ที่เกิดของน้ำเกลือ

สารประกอบ	เกิดเป็นตะกอนหรือแร่
1. iron Oxide	Hematite
2. Calcium Carbonate	Limestone, Calcareous, Calcite, Dolomite
3. Calcium Sulfate	Anhydrite, Gypsum
4. Sodium Chloride	Halite or Rock Salt
5. Potassium Chloride	Potash (Potassium Minerals)
6. Other Potassium and Magnesium	Potassium- Magnesium Minerals

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากตอนที่ทำการวิจัยในช่วงแรกทางผู้ทำการวิจัยได้ประสบปัญหาในการที่จะทำให้เปลวไฟจุ่มไปในน้ำเพื่อทำการสันดาปโดยตรงการทดลองครั้งนี้จึงได้เพิ่มเติมเครื่องมือขึ้นมาโดยเครื่องมือชุดแรกจะเป็นการเผาโดยเปลวไฟไม่ได้จุ่มสัมผัสกับน้ำเกลือโดยตรง ซึ่งทำให้การวิจัยนี้ได้ทำเครื่องมือขึ้นมา 2 ชนิด คือ

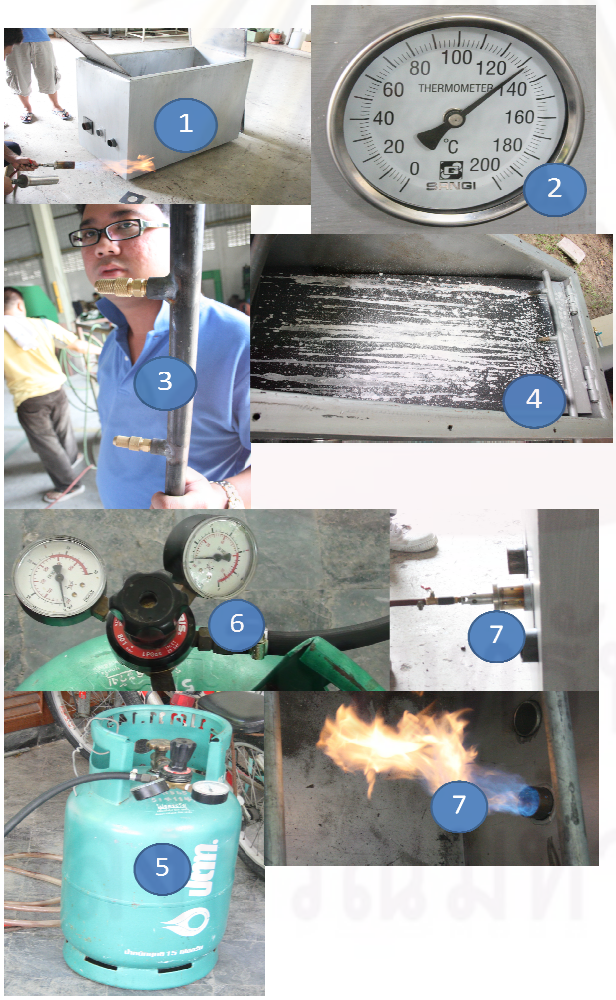
1. เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อน
2. เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีแบบจุ่มสันดาป

3.3.1 เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อน

เป็นเครื่องมือประยุกต์ซึ่งอาศัยหลักการพาความร้อนจากเปลวไฟมากักเก็บในเตาเผาทำการดูดกลืนความร้อนมากักเก็บแล้วเปลี่ยนถ่ายความร้อนไปให้น้ำเกลือส่งผลให้น้ำเกลือมีการระเหยแห้งดังแสดงในรูปที่ 3.1 และโดยที่ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อนแยกตามชิ้นชิ้นส่วนต่างดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.2

ที่มา :ประกรรณ์ ภู่ศรีจันทร์, 2552

รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อน



1=เตาเผาโลหะ บุฉนวนกันความร้อนรอบด้านกันความร้อนสูญเสีย

2=เทอร์โมมิเตอร์แบบก้านยาวเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา

3=ท่อทางเดินน้ำเกลือแบบหัวฉีดสเปรย์ ปรับได้ 2 หัว

4=แผงแผงพาความร้อนจากเตาเผาแบบปรับองศาการเอียงได้

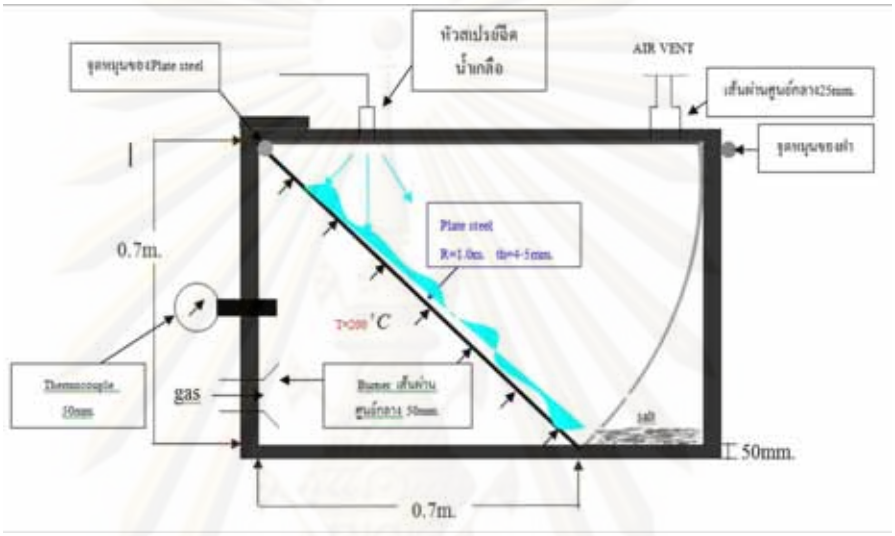
5=ถังแก๊สเชื้อเพลิง(LPG)

6=ชุดอุปกรณ์ควบคุมความดันและปริมาณแก๊ส

7=หัวเผาหรือหัวเบิร์นเนอร์

รูปที่ 3.2 เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อนแยกชิ้นส่วน 1 ถึง 7

ภาพตัดขวางแสดงแบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีพาความร้อน โดยปล่อยน้ำเกลือด้วยหัวสเปรย์จากทางด้านบนลงสู่แผ่นพาความร้อนโดยที่แผ่นพาความร้อนดูดกลืนความร้อนมากักเก็บแล้วเปลี่ยนถ่ายความร้อนไปให้น้ำเกลือส่งผลให้น้ำเกลือมีการระเหยแห้งดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อนด้านข้าง

รูปที่ 3.4 แบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีพาความร้อนด้านบน

3.3.2 **เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือด้วยการทำระเหยแบบจุ่มสันดาป**

เป็นเครื่องมือประยุกต์ซึ่งอาศัยหลักการนำเปลวไฟความร้อนสูงทำการจุ่มสันดาปลงไปในน้ำเกลือโดยตรงเพื่อลงการสูญเสียความร้อนที่อาจจะสูญเสียไปในรูปแบบต่างๆทำให้น้ำเกลือได้รับพลังงานความร้อนจากเปลวไฟโดยตรง ส่งผลให้น้ำเกลือมีการระเหยแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และโดยที่ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีการพาความร้อนแยกตามชิ้นชิ้นส่วนต่างดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีแบบจุ่มสันดาป

1 = กระจกทนความร้อนและความดันชนิดพิเศษ 2ชิ้น

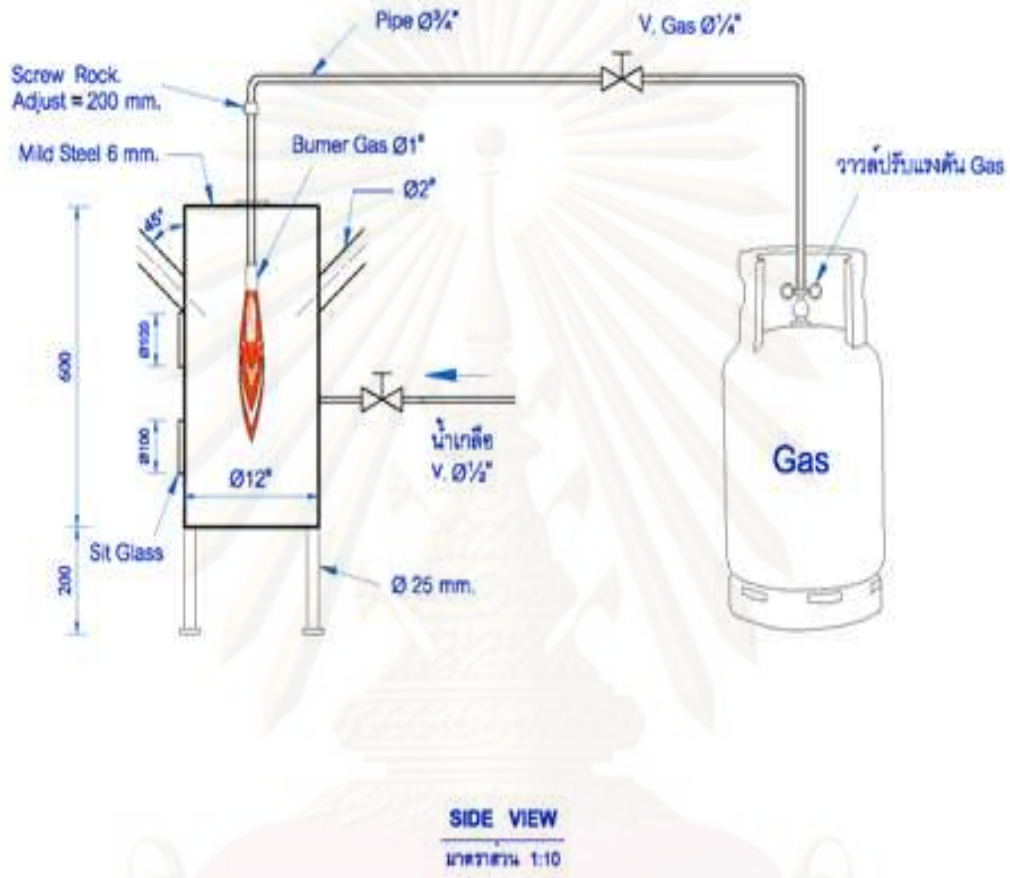
2 = ตัวถังโลหะทนความร้อนและความดันแบบจุ่มสันดาป

3 = ถังแก๊สเชื้อเพลิง LPG, ชุดอุปกรณ์ควบคุมความดันและปริมาณแก๊ส

4 = ถังออกซิเจน

รูปที่ 3.6 เครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีแบบจุ่มสันดาปแยกชิ้นส่วน 1 ถึง 4

แบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือและลักษณะการทำงานโดยวิธีการทำระเหยแบบจุ่มสันดาปดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7แบบการทำงานของเครื่องเร่งการระเหยของน้ำเกลือโดยวิธีแบบจุ่มสันดาป

3.4 ขั้นตอนและวิธีการในการปฏิบัติการทดลอง การสันดาปน้ำเกลือโดยการพาความร้อน

1. นำน้ำเกลือมาจากแอ่งโคราชของบริษัทเกลือพิมาย ความเข้มข้น 20 โบเม่ จำนวน 400 ลิตรมาทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แสดงการขนน้ำเกลือจากแอ่งโคราชของบริษัทเกลือพิมาย

2. ตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำเกลือ และตรวจสอบจุดเดือดของน้ำเกลือจากแหล่งทดลอง โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ เบื้องต้นดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 แสดงการตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำเกลือ และตรวจสอบจุดเดือดของน้ำเกลือ

3. ตรวจสอบความเรียบร้อยของเตาสันดาป พร้อมทั้งตรวจสอบระบบอากาศ ไหลเวียน เข้าและออก ภายในเตาเผา โดยการเจาะรูตามจุดต่างๆ เพื่อให้อากาศไหลเวียนได้เหมาะสมและมีออกซิเจนเพียงพอต่อการเผาดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 แสดงการตรวจสอบความเรียบร้อยของเตาสันดาป พร้อมทั้งตรวจสอบระบบอากาศไหลเวียน

4. ตรวจสอบหัวเผาหรือหัวเบิร์นเนอร์และทำการติดตั้งหัวเบิร์นเนอร์เชื่อมต่อเข้ากับเตาเผา ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 แสดงการตรวจสอบหัวเผา หรือหัวเบิร์นเนอร์ และทำการติดตั้งหัวเบิร์นเนอร์

5. ทดลองจุดหัวเบิร์นเนอร์ และปรับระบบไหลเวียนของอากาศภายในเตาเผาให้เหมาะสม โดยสังเกตจาก สีของเปลวไฟ ต้องให้สีเปลวไฟเป็นสีฟ้าใส ไม่เป็นสีส้ม ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความร้อนจากเปลวไฟมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 แสดงการปรับระบบไหลเวียนของอากาศภายในเตาเผาและปรับเปลวไฟให้ได้ความร้อน

6. ประกอบทุกส่วนเข้าด้วยกัน ประกอบแผงพาความร้อนด้านบนสุดของเตาเผา พร้อมทดลองปรับองศาในการเอียงทำมุมของแผงพาความร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 แสดงการประกอบทุกส่วนเข้าด้วยกันและประกอบแผงพาความร้อนด้านบนสุดของเตาเผา

ติดตั้งท่อทางเดินในการส่งน้ำเกลือและปรับปริมาณในการปล่อยน้ำเกลือของหัวสเปรย์ดังแสดงในรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 แสดงการติดตั้งท่อทางเดินในการส่งน้ำเกลือและปรับปริมาณในการปล่อยน้ำเกลือ

7. ทำการทดลองการปล่อยน้ำเกลือจากหัวสเปรย์ ป้อนเข้าสู่เตาเผา พร้อมทั้งสังเกต การไหลของน้ำเกลือ เมื่อน้ำเกลือไหลผ่านแผ่นพาความร้อน และดูปริมาณ เม็ดเกลือ ที่เกิดจากการระเหยแห้งของน้ำเกลือ ว่ามีปริมาณและลักษณะการจับตัวหรือสะสมบริเวณใดหรือไม่ เพื่อทำการปรับแก้ และปรับองศาของแผ่นพาความร้อน เพื่อให้เหมาะสมต่อการทดลอง พร้อมทั้งตรวจสอบผลึกน้ำเกลือ และปริมาณเม็ดเกลือที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 แสดงการปล่อยน้ำเกลือจากหัวสเปรย์ป้อนเข้าสู่เตาเผา

3.5 ขั้นตอนและวิธีการในการปฏิบัติการทดลอง การสันดาปน้ำเกลือโดยการจุ่มสันดาปโดยตรง

1. นำน้ำเกลือมาจากแอ่งโคราชของบริษัทเกลือพิมาย ซึ่งได้มาจากกระบวนการทำเหมืองละลาย จึงมีความเข้มข้นความเข้มข้น 20 โบเม่ ซึ่งจะแตกต่างจากของชาวบ้านทั่วไปที่จะมีความเข้มข้นไม่คงที่ จำนวน 400 ลิตรมาทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.8

2. ตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำเกลือ และตรวจสอบจุดเดือดของน้ำเกลือจากแหล่งทดลอง โดยเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.9

3. ตรวจสอบความเรียบร้อยของเตาเผาแบบจุ่มสันดาป พร้อมทั้งตรวจสอบระบบท่อส่งแก๊สเชื้อเพลิง ข้อต่อตามจุดต่างๆ เพื่อไม่ให้มีการรั่วไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.16

4. ตรวจสอบหัวเบิร์นเนอร์ หรือหัวเผาและทำการติดตั้งหัวเผากับสายส่งแก๊ส และทำการเชื่อมต่อหัวเผาเข้ากับถังสันดาปตรงดังแสดงในรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.16 แสดงการตรวจสอบความเรียบร้อยของเตาเผาแบบจุ่มสันดาป

รูปที่ 3.17 แสดงการตรวจสอบความเรียบร้อยของหัวเผาและสายส่งแก๊ส

5. ตรวจสอบระบบอากาศไหลเข้าและไหลออกภายในเตาเผาเพื่อให้อากาศไหลเวียนภายในเตาเผาอย่างเหมาะสม และมีออกซิเจนภายในเพียงพอต่อการสันดาป และปรับระบบไหลเวียนของอากาศภายในเตาเผาให้เหมาะสม โดยสังเกตจาก สีของเปลวไฟ ต้องให้สีเปลวไฟเป็นสีฟ้าใส ไม่เป็นสีส้ม ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความร้อนจากเปลวไฟมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 แสดงการตรวจสอบระบบอากาศไหลเข้าและไหลออกภายในเตาเผา(**สีเปลวไฟ**)

6. บรรจุน้ำเกลือที่จะทำการทดลองใส่ลงไปในถังสันดาปดังแสดงในรูปที่ 3.19

รูปที่ 3.19 แสดงการบรรจุน้ำเกลือที่จะทำการทดลองใส่ลงไปในถังสันดาป

7. สังเกตปฏิกิริยาที่เกิดจากการสันดาป ตรวจสอบผลึกน้ำเกลือ และปริมาณของน้ำเกลือที่ถูกสันดาป พร้อมทั้งจับเวลาในการเผา เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง เก็บข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้นำไปทำการเปรียบเทียบกับการเผาเกลือโดยใช้เตาเผาอิฐแบบชาวบ้านดังแสดงในรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดจากการสันดาป

8. ตรวจสอบคุณภาพและปริมาณเม็ดเกลือที่ได้จากการเผาแบบจุ่มสันดาปเพื่อนำไปศึกษาและเปรียบเทียบต่อไปโดยผลึกเม็ดเกลือเป็นผลึกคล้ายๆกับการต้มเกลือของชาวบ้านแต่จะมีกลิ่นของเขม่าเนื่องจากการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21 แสดงเม็ดเกลือและรูปแบบผลึกเกลือที่ได้จากการสันดาป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ตารางผลการทดลอง

จากการทดลองจุ่มสันดาปน้ำเกลือได้ผลออกมาเขียนอยู่ในรูปของตารางที่ 4.1ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของการเผาแบบจุ่มสันดาปในแต่ละช่วงเวลาโดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเตาเผา และน้ำหนักของถัง(LPG)

การเผาครั้งที่	เริ่มจับเวลา		เวลาที่ใช้เผา (นาที)	หยุดจับเวลา		LPGที่ใช้ (kg.)	เกลือที่ได้ (kg.)
	น้ำเกลือ20 โบเม่รวมกับเตาเผา (kg.)	น้ำหนักถังแก๊สLPG ทั้งหมด (kg.)		น้ำเกลือ20 โบเม่รวมกับเตาเผา(kg.)	น้ำหนักถังแก๊สLPGทั้งหมด (kg.)		
1	**ช่วงที่1** 40.1	28.2	12.0	39.6	27.9	0.3	0.17
	ช่วงที่2 39.6	27.9	15.0	38.8	27.4	0.5	0.44
	ช่วงที่3 38.8	27.4	15.0	37.7	27.0	0.4	0.81
2	**ช่วงที่1** 40.5	26.2	13.0	39.9	25.9	0.3	0.23
	ช่วงที่2 39.9	25.9	15.0	39.0	25.4	0.5	0.58

หมายเหตุ น้ำหนักเตาเผาเปล่า = 36.9 kg

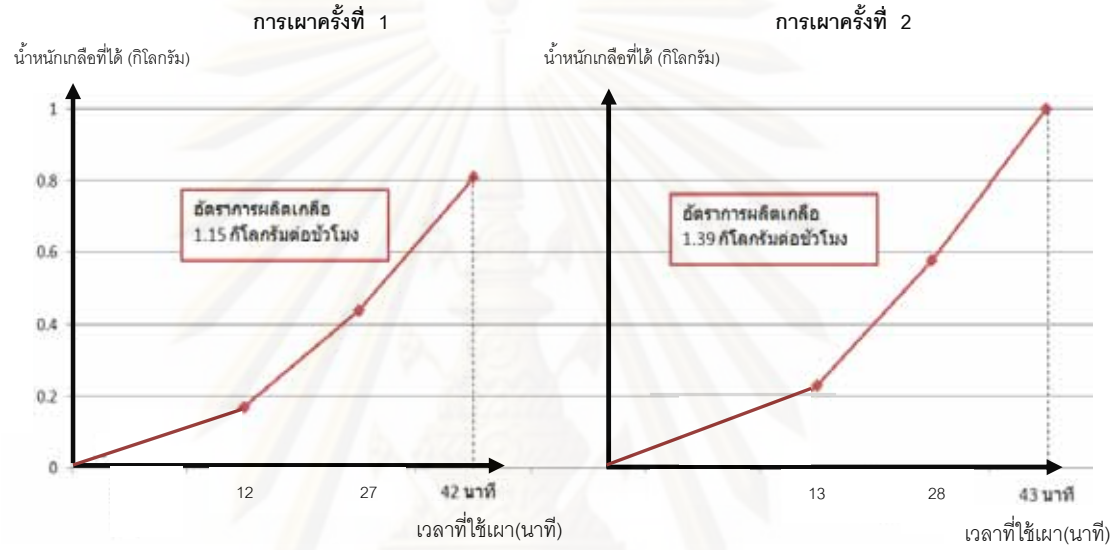
น้ำหนักถังแก๊สLPGเปล่า = 15 kg

ตารางที่ 4.1(ต่อ)

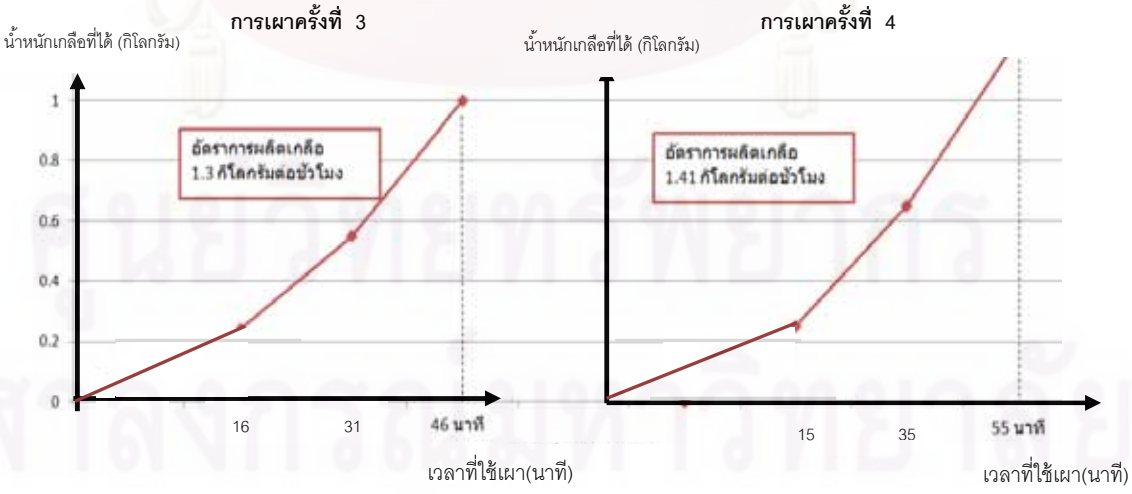
การเผาครั้งที่	เริ่มจับเวลา		เวลาที่ใช้เผา (นาที)	หยุดจับเวลา		LPGที่ใช้ (kg.)	เกลือที่ได้ (kg.)
	น้ำเกลือ20 โบเม่รวมกับเตาเผา (kg.)	น้ำหนักถังแก๊สLPG ทั้งหมด (kg.)		น้ำเกลือ20 โบเม่รวมกับเตาเผา(kg.)	น้ำหนักถังแก๊สLPGทั้งหมด (kg.)		
	ช่วงที่3 39.0	25.4	16.0	37.9	24.9	0.5	1
3	**ช่วงที่1** 40.8	24.0	15.0	40.1	23.5	0.5	0.24
	ช่วงที่2 40.1	23.5	15.0	39.2	23.1	0.4	0.55
	ช่วงที่3 39.2	23.1	15.0	37.9	22.7	0.4	1
4	**ช่วงที่1** 41.4	22.5	15.0	40.7	22.0	0.5	0.25
	ช่วงที่2 40.7	22.0	20.0	39.6	21.4	0.6	0.65
	ช่วงที่3 39.6	21.4	20.0	38.1	20.9	0.5	1.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

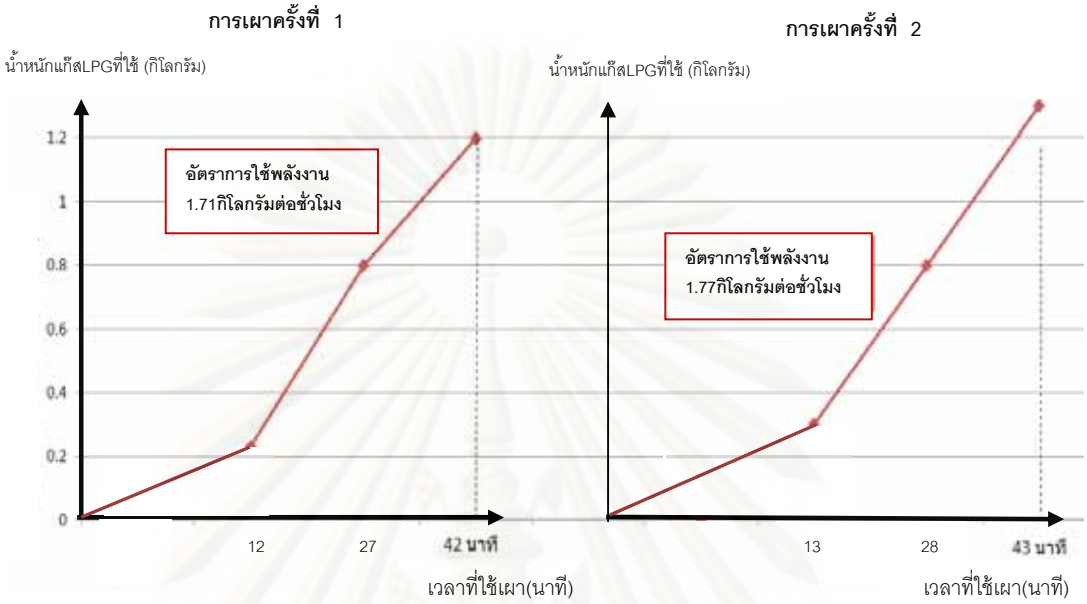
เนื่องจากการสันดาปน้ำเกลือ จะได้เม็ดเกลือหลังจากสันดาปจนน้ำระเหยไปหมดแล้ว จึงสามารถรู้ปริมาณเม็ดเกลือที่ได้ ดังนั้นในระหว่างการเผาจึงเป็นความสัมพันธ์ของน้ำเกลือที่มีน้ำหนักลดลงเนื่องจากน้ำระเหยออกและปริมาณก๊าซ LPG ที่ถูกใช้ไปลดลงเรื่อยๆเนื่องจากระยะเวลาในการเผามากขึ้น ซึ่งการเผาทั้ง 4 ครั้งนำมาวาดเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักน้ำเกลือกับระยะเวลาที่ใช้เผาดังแสดงในรูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.4



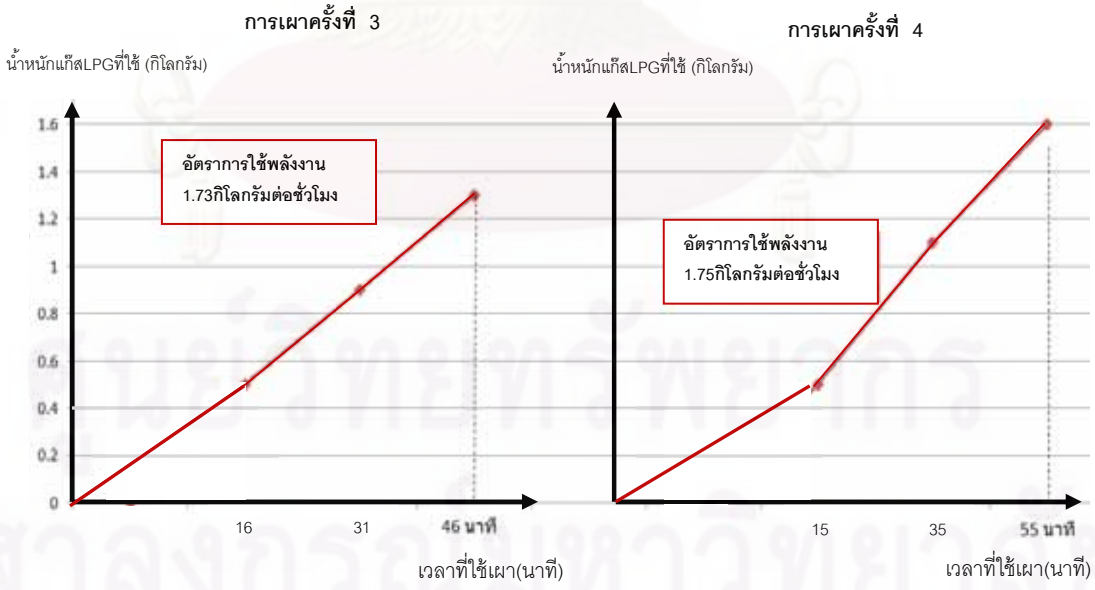
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำเกลือที่ได้ กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่1 กับ 2



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของเกลือที่ได้กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่ 3 กับ 4



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณแก๊ส LPGที่ใช้ กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่ 1 กับ 2



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมแก๊สLPG กับเวลาที่ใช้ในการเผาของการเผาครั้งที่ 3 กับ 4

นำปริมาณเม็ดเกลือที่ได้กับปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้ไป ในการสันดาปน้ำเกลือทุกครั้ง มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยคิดเป็นอัตราการใช้พลังงานต่อตันเกลือในการสันดาปในแต่ละช่วงเวลาหรือแต่ละครั้งที่ทำการเผาดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการใช้พลังงาน / ตันเกลือในการสันดาป

การเผาครั้งที่	ช่วงเวลาที่บันทึก	เวลาที่ใช้เผา (นาที)	ปริมาณเชื้อเพลิง LPG ที่ใช้ (กิโลกรัม)	ปริมาณเกลือที่ได้ (กิโลกรัม)	อัตราการใช้พลังงาน /ตันเกลือ
1	1	12	0.3	0.17	
	2	15	0.5	0.27	
	3	15	0.4	0.37	
รวม		*42*	*1.2*	*0.81*	*1,481*
2	1	13	0.3	0.23	
	2	15	0.5	0.35	
	3	15	0.5	0.42	
รวม		*43*	*1.3*	*1*	*1,300*
3	1	16	0.5	0.24	
	2	15	0.4	0.31	
	3	15	0.4	0.45	
รวม		*46*	*1.3*	*1*	*1,300*
4	1	15	0.5	0.25	
	2	20	0.6	0.40	
	3	20	0.5	0.55	
รวม		*55*	*1.6*	*1.3*	*1,230*

ซึ่งจากตารางที่ 4.2 นี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบปริมาณเกลือที่ได้กับต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการทดลองในขั้นตอนต่อไป

4.2 วิจารณ์ผลการทดลองของการจุ่มสันดาปภาคปฏิบัติ

จากการทดลอง อัตราการใช้พลังงาน(LPG) ต่อตันเกลือโดยเฉลี่ย=1,328 กิโลกรัม / ตันเกลือ แต่จากการทดสอบจากเตาต้นแบบที่ออกแบบ และทำการเผาน้ำเกลือแบบจุ่มสันดาปจริงๆ (ผลตามภาคปฏิบัติ)ปรากฏผลทางการทดลองโดยคำนวณออกมาได้

∴ อัตราการใช้LPG = 1.79 kg / hr (ผลตามภาคปฏิบัติ)เทียบเป็นอัตราการใช้พลังงานต่อตันเกลือเท่ากับ 1,328 กิโลกรัมต่อตันเกลือ

โดยดูรายละเอียดการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จาก ภาคผนวก ก และเมื่อนำมาคิดคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการใช้แก๊สโดยเฉลี่ยต่อตันเกลือ

คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่าย(ปฏิบัติ) = 1,328 ×1.85 ×11.98 = 29,432 บาท / ตัน เกลือ

หมายเหตุ แก๊ส LPG 1 กิโลกรัม = 1.85 ลิตร แก๊ส 1 ลิตร = 11.98 บาท

4.3 วิจารณ์ผลการทดลองของการจุ่มสันดาปภาคทฤษฎี

เปรียบเทียบในการเผาน้ำเกลือในปริมาณที่เท่ากัน เพื่อให้ได้ปริมาณเม็ดเกลือในปริมาณที่เท่ากันสำหรับการคำนวณอัตราการใช้พลังงาน(LPG)โดยใช้สูตรทางความร้อนต่างๆตามหลักทฤษฎีเมื่อนำมาใช้คำนวณในการทดลองจริงๆๆพบว่าค่าพลังงานที่ใช้จริงในการทดลองควรเป็น

∴ อัตราการใช้แก๊ส LPG = 0.14 kg/hr (ผลตามทฤษฎี)เทียบเป็นอัตราการใช้พลังงานต่อตันเกลือเท่ากับ 104 กิโลกรัมต่อตันเกลือ

(ดูรายละเอียดการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จาก ภาคผนวก ก)

และเมื่อนำมาคิดคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการใช้แก๊สโดยเฉลี่ยต่อตันเกลือ

หมายเหตุ แก๊ส LPG 1 กิโลกรัม = 1.85 ลิตร แก๊ส LPG 1 ลิตร = 11.98 บาท

ดังนั้นคิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่าย(ทฤษฎี) = 104 ×1.85 ×11.98 = 2,304 บาท / ตันเกลือ

โดยที่จากการทดลองจะเห็นว่า ค่าอัตราการใช้พลังงาน และต้นทุนค่าใช้จ่าย ที่ได้จากการปฏิบัติ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากผลตามทฤษฎี อันเนื่องมาจากปัญหาต่างๆที่พบในการทดลอง ข้อจำกัดต่างๆในการเผา และรูปแบบของเตาเผาที่ยังคงต้องพัฒนาหรือออกแบบให้สามารถเผาสันดาปน้ำเกลือได้โดยไม่มีการสูญเสียความร้อน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวเรื่องของปัญหาและข้อเสนอแนะในลำดับต่อไป

4.4 วิจารณ์ผลการทดลองของการเผาน้ำเกลือแบบปกติของชาวบ้านโดยใช้เตาเผาแบบอิฐและใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

เป็นการคำนวณปริมาณแกลบที่ต้องใช้ในการต้มเกลือ ของชาวบ้านตามหลักการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) แต่ปริมาณแกลบที่ต้องใช้ในการต้มจริงๆอาจมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากต้องคิดค่าความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้มารวมด้วย

จากค่าความร้อนของแกลบ $3,860\ kcal/kg/hr = 3,860\times4.2\ kJ/kg/hr$

หมายเหตุ จากตัวเลขที่ได้ทำการทดลองภาคสนามในการผลิตเกลือสินเธาว์

$\therefore$ ค่าความร้อนของแกลบ $= 16,212\ kJ/kg/hr$

$\therefore$ ค่าความร้อนที่ต้องใช้ในการต้มเกลือทั้งหมด $= 130,230\ kJ/hr/m^2$

$\therefore$ ต้องใช้แกลบ $= \frac{130,230}{16,212} = 8\ kg/hr/m^2$

ถ้าให้ 8 hr /วันทำงาน และพื้นที่กะทะเท่ากับ $12.65\ m^2 = 8\times12.65\times8 = 810\ kg$

$\therefore$ ใช้แกลบ $= 810\ kg/8\ hr/$ กะทะ

(โดยดูรายละเอียดการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จาก ภาคผนวก ข)

สรุป เป็นการคำนวณปริมาณแกลบที่ต้องใช้ในการต้มเกลือ ของชาวบ้านตามหลักการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) แต่ปริมาณแกลบที่ต้องใช้ในการต้มจริงๆอาจมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากต้องคิดค่าความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้มารวมด้วย

เทียบกับปริมาณเกลือที่ได้

กำหนด ความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือ = 1.2 หรือความหนาแน่น $= 1.20\times10^3\ kg/m^3$

แต่บรรจุน้ำเกลือ 0.30 M / กะทะ จะได้ปริมาตร $= 1.5\times11.5\times0.3 = 5.2\ m^3$

คิดเป็นน้ำหนักน้ำ $5.2\times1.20\times10^3 = 6,240\ kg$ น้ำ

โดยมีน้ำประกอบอยู่ 3 ส่วน เกลือ 1 ส่วน $= 6,240\times\frac{3}{4} = 4,680$ kg น้ำ

$\therefore$ **น้ำหนักเกลือ = 6,240-4,680 =1,560 kg**

คำนวณความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ (L)

$\therefore$ ความร้อนที่สูญเสียจากการเผาไหม้ =15.84 kcal / kg จากทฤษฎี

ซึ่งการเผาไหม้ของแกลบจะมีขี้เถ้าเหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 17% ซึ่งต้องนำมาคิดรวมด้วยในการคำนวณอัตราการใช้แกลบ

<u>สรุป</u> ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ของแกลบ เท่ากับ 15.84 kcal / kg

$\therefore$ ค่าความร้อนของแกลบจริงในการต้มเกลือ = 3,860-15.84 = 3,840.16 kcal / kg

$1\ kcal / kg = 4.2\ kJ / kg$

$= 3{,}840.16 \times 4.2$

$= 16{,}128.672\ kJ / kg$

จาก $q = 130{,}230\ kJ/hr/m^2$

$\therefore$ ต้องใช้แกลบจริง $= \dfrac{130{,}230}{16{,}128.672} = 8.074\ kg/hr/m^2$

ถ้าเผา 8 hr และพื้นที่เท่ากับ $12.65\ m^2$ จะต้องใช้แกลบ $8.074 \times 8 \times 12.65 = 817.08\ kg$

$\therefore$ ใช้แกลบจริง 817 kg / 8hr / กะทะ ได้เกลือเท่ากับ 1,560 kg

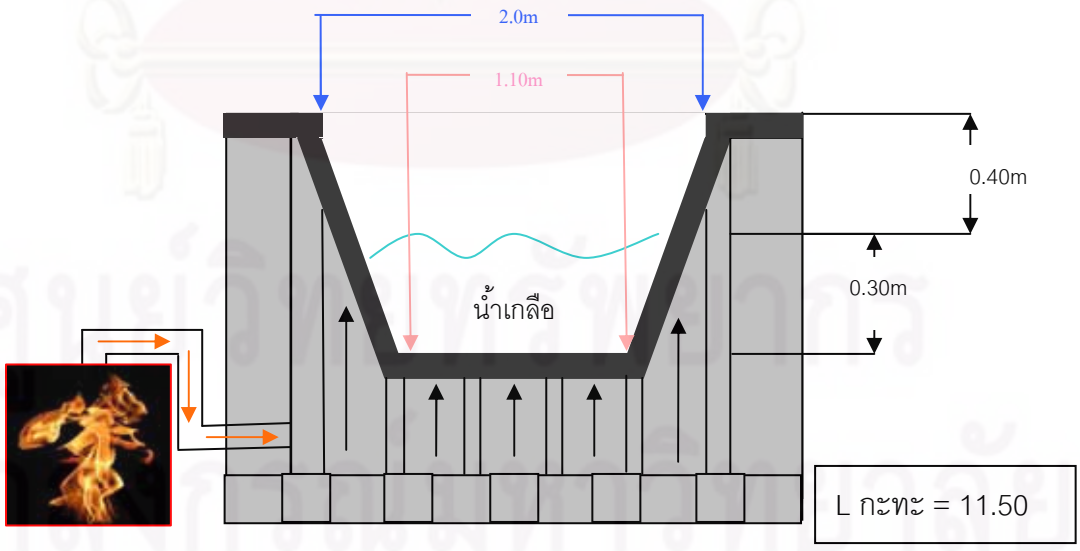
(โดยดูรายละเอียดการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จาก ภาคผนวก ข)

พื้นที่กะทะ(ดูรูปที่ 4.5 ประกอบ) เท่ากับ อลูมิเนียม ที่รับความร้อนคิดที่

$1.1 \times 11.50\ M = 12.65\ m^2$

น้ำเกลือคิดที่อุณหภูมิเท่ากับ $70^{\circ}C$ ที่ได้รับความร้อนจาก HALF SQ PLATE (รณพีร์ ยอดสุวรรณ, 2552)

กำหนดให้ น้ำเกลือต้องมีความร้อนขึ้นไปเป็น$110^{\circ}C$ จึงทำให้น้ำระเหย กลายเป็นไอในอากาศที่เหลือคือเกลือที่ตกผลึก ซึ่งใช้ระบบเตาเผา เป็นแบบชนิดบังคับการไหล เรียกว่า FORCED CONVECTION (โดยดูรายละเอียดการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จาก ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.5 แสดงเตาต้มน้ำเกลือแบบอิสุของชาวบ้านที่นำมาคำนวณเปรียบเทียบ

หมายเหตุ

V_2 =6,240 kg

มีน้ำ 3 ส่วน เกลือ 1 ส่วน

$\therefore$ มีน้ำ เท่ากับ $6,240 \times \frac{3}{4} = 4,680$ kg

มีเกลือตกผลึก เท่ากับ 1,560 kg / กะทะ

คิดการใช้เชื้อเพลิงเป็นแกลบ เตาเผากะทะต้มเกลือเป็นระบบเปิด จึงมีค่าการสูญเสียความร้อนมาก แต่ในทางความเป็นจริง ใช้กะทะต้มเป็นระบบปิด ทำให้การสูญเสียความร้อน ลดลงถึง 70% จึงทำให้สามารถ ประหยัดเชื้อเพลิงได้มากขึ้นอีก ประมาณ 10%

จากทฤษฎี ที่กล่าวไว้ในตอนต้นในหัวเรื่องความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ การเผาแกลบจะได้ขี้เถ้า เท่ากับ 17% ค่าความร้อนสูญเสีย เท่ากับ 15.84 kcal / kg

ทำให้ต้องใช้แกลบทั้งหมดจำนวน 896.34 kg จึงจะได้เกลือ 1,560 กิโลกรัม เทียบเป็นจำนวนต่อตันเกลือเท่ากับ575กิโลกรัมต่อตันเกลือ

(โดยดูรายละเอียดการคำนวณได้จาก ภาคผนวก ข)

หมายเหตุ คิดจากราคาแกลบ ณ ปัจจุบัน โดยเฉลี่ย ที่กิโลกรัมละ 1 ถึง1.30 บาท

ราคาแกลบ = 897 x 1.3 = 1,165.242 บาท / ปริมาณเกลือ 1,560 กิโลกรัม หรือ

คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายของแกลบ = 575 กิโลกรัม x 1.3 บาท = 748 บาท/ ตัน เกลือ

แต่เมื่อนำผลวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกันระหว่างการสันดาปตรงโดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทั้งภาคปฏิบัติและภาคทฤษฎี เทียบกับการต้มน้ำเกลือแบบเตาอิฐโดยใช้แกลบเป็นพลังงานเชื้อเพลิง เปรียบเทียบเป็นค่าใช้จ่ายและอัตราการใช้พลังงานในการในการผลิตเกลือ 1 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการต้มเกลือรูปแบบต่างๆต่อเกลือ 1 ตัน

รูปแบบ	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย / ตัน เกลือ
1.กะทะต้มโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง	575	748
2.การจุ่มสันดาปที่คำนวณตามทฤษฎี	104	2,304
3.การจุ่มสันดาปที่ทำการทดลองปฏิบัติจริง	1,328	29,432

ซึ่งการเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายของการทดลองทั้งทางภาคปฏิบัติและทางภาคทฤษฎี เทียบกับต้นทุนค่าใช้จ่ายในการต้มน้ำเกลือโดยการใช้แกลบของชาวบ้านพร้อมข้อเสนอแนะต่างๆ ทางผู้วิจัยจะกล่าวถึงในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

อัตราการใช้ความร้อนและอัตราการใช้พลังงานในการเผาน้ำเกลือแบบปกติของชาวบ้าน โดยใช้เตาเผาแบบอิฐและใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง จะต้องใช้แกลบทั้งหมดจำนวน 896.34 kg จึงจะได้เกลือ 1,560 kgเทียบเป็นจำนวนต่อตัน เกลือเท่ากับ 575 กิโลกรัมต่อตันเกลือ คิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 748 บาทต่อเกลือ 1 ตัน

ส่วนอัตราการใช้ความร้อนและอัตราการใช้พลังงานในการเผาน้ำเกลือแบบสันดาปตรงและการพาความร้อนของการทดลองโดยใช้เตาเผาที่ออกแบบใหม่และใช้แก๊สLPGเป็นเชื้อเพลิง พบว่าอัตราการใช้พลังงาน(LPG) โดยใช้สูตรทางความร้อนต่างๆตามหลักทฤษฎีเมื่อนำมาใช้คำนวณในการทดลองจริงๆ พบว่าค่าพลังงานที่ใช้จริงในการทดลองเป็น 0.14 kg/hr (ผลตามทฤษฎี) เทียบเป็นอัตราการใช้พลังงานต่อตันเกลือ เท่ากับ104 กิโลกรัมต่อตันเกลือคิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 2,304 บาทต่อเกลือ 1 ตัน

แต่ผลจากการทดสอบจากเตาต้นแบบที่ออกแบบ และทำการเผาน้ำเกลือแบบจุ่มสันดาปจริงๆ(ผลตามภาคปฏิบัติ)ปรากฏผลทางการทดลองโดยคำนวณออกมาได้พบว่าอัตราการใช้LPG เท่ากับ 1.79 kg / hr (ผลตามภาคปฏิบัติ) เทียบเป็นอัตราการใช้พลังงานต่อตันเกลือ เท่ากับ 1,328 กิโลกรัมต่อตันเกลือคิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 29,432 บาทต่อเกลือ 1 ตัน

ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลตามทฤษฎี อันเนื่องมาจากปัญหาต่างๆที่พบในการทดลอง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และกล่าวถึงในหัวเรื่องของปัญหาและข้อเสนอแนะในลำดับต่อไป

5.2 ปัญหาของการวิจัย

เนื่องจากการทดลองครั้งนี้มีปัญหาหลายประการได้แก่

1. ในขณะที่ทำการทดลองเผาจุ่มสันดาปน้ำเกลือ พบว่าในขณะที่หัวเผากำลังทำการเผาไหม้อยู่จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในระหว่างการเผา ซึ่งเตาเผาต้นแบบที่ทำการออกแบบมาไม่สามารถระเหยคาร์บอนไดออกไซด์ออกได้ทัน เปลวไฟในการเผาจึงเกิดอาการสำลัก ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าความร้อนในการเผาลดลงอย่างมาก ซึ่งถ้าหากไม่ทำการแก้ไขก็จะทำให้หัวเผาดับไปในที่สุด แก้ไขโดยคือต้องทำการเปลี่ยนมุมองศาของหัวเผาและตำแหน่งในการจุ่มหัวเผาใหม่ โดยเสียบจากทางด้านข้างทำมุมเอียงลง ประมาณ 60 องศา เพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สามารถระเหยออกทางด้านบนของเตาได้มากขึ้น ทำให้ออกซิเจนสามารถเข้ามาหมุนเวียนภายในเตาได้ทันต่อการเผาไหม้ แต่เปลวไฟยังคงจุ่มสันดาปในน้ำเกลือเหมือนเดิม

2. สาเหตุที่อัตราการใช้พลังงานจากการทดลอง มีค่าสูงกว่าอัตราการใช้พลังงานที่คำนวณได้จากภาคทฤษฎีนั้น อันเนื่องมาจากข้อจำกัดต่างๆในการเผา และรูปแบบของเตาเผาที่ยังคงต้องพัฒนาหรือออกแบบให้สามารถเผาสันดาปน้ำเกลือได้โดยไม่มีการสูญเสียความร้อน หรือให้มีการสูญเสียความร้อนในการเผาน้อยที่สุด เพื่อจะทำให้อัตราการใช้พลังงานลดลง และเป็นไปตามค่าที่คำนวณจากทฤษฎีได้

3. สาเหตุหลักๆที่ทำให้เตาเผาสูญเสียความร้อนก็คือ ในขณะที่ทำการสันดาป เราออกแบบเตาเผาให้ไม่สามารถระบาย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาได้ทัน จึงต้องช่วยเปิดช่องลมเพื่อระบายให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปบางส่วน

4. เนื่องจากตามหลักทฤษฎีของการจุ่มสันดาปในน้ำต่างๆ เช่นการเชื่อมโลหะในใต้ท้องทะเลของนักดำน้ำ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอในการสันดาป จึงจำเป็นต้องใช้ถังออกซิเจนช่วยในการสันดาปด้วยเพื่อดึงออกซิเจนบริสุทธิ์ เข้าสู่กระบวนการสันดาป แต่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะไม่มีการใช้ถังก๊าซออกซิเจนเข้ามาช่วย เนื่องจากชาวบ้านในต่างจังหวัดนั้นจะไม่สามารถหาได้ หรือมีความยากลำบากในการหา และยังเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย

5. ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีรูปแบบที่อยากจะเสนอแนะหรือเพื่อใช้ในการออกแบบเตาเผาสันดาปในรูปแบบใหม่คือสร้างเตาเผาในรูปแบบให้น้ำเกลือไหลวนเพื่อวนมารับความร้อนจากเปลวไฟเป็นการเพิ่มความร้อนโดยใช้การไหลวนของน้ำเกลือภายในเป็นตัวช่วยดังแสดงในรูปที่ 5.2

รูปที่ 5.2 แสดงเตาเผาในรูปแบบให้น้ำเกลือไหลวนภายใน

หากจะเอาไปใช้ในการสันดาปเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นในขั้นตอนต่อไป อาจจะมีการปรับปรุงรูปแบบของหัวเผาเนื่องจากรูปที่แสดงยังเป็นตัวต้นแบบอยู่ หรือเทคนิคในการสันดาปเพื่อประโยชน์ต่อผู้ที่จะสนใจค้นคว้าต่อเพิ่มเติมในภายหน้า

5.3 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โดยตามหลักการแล้วเมื่อเทียบจากค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน การจุ่มสันดาปโดยตรงถือเป็นหลักการที่ไม่คุ้มสำหรับการนำไปผลิตเกลือเนื่องจากมีต้นทุนที่สูงกว่าพลังงานจากการใช้แกลบเป็นจำนวนมาก แต่ก็สามารถนำไปผลิตเกลือได้ เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานแบบเก่าๆหรือรูปแบบการผลิตเกลือแบบเก่าๆ ซึ่งอาจจะไม่สามารถทำเกลือได้ในบางฤดูกาลและแกลบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงอาจจะหาไม่ได้ในตลอดทั้งปี แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการออกแบบเตาเผา รูปแบบของหัวเผา รวมถึงรูปแบบของเตาเผา อาจจะยังไม่สามารถทำให้การสันดาปมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นไปตามผลที่คำนวณได้ตามภาคทฤษฎีได้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้พยายามปรับเปลี่ยนลักษณะเตาหัวเผาให้เหมาะสมกับการทดลองแต่เรื่องการสันดาปโดยตรง เกี่ยวข้องกับความร้อน และความดันค่อนข้างสูง จึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค. ในรายงานความต้องการปริมาณเกลือสินเธาว์. กรุงเทพมหานคร, 2547

เกลือพิมาย. ในรายงานการประชุมเรื่องแผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน(Rock Salt)โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่สำหรับคำขอประธานบัตรที่ 8/2545, 2551

รณพีร์ ยอดสุวรรณ. การเร่งระเหยของน้ำเกลือในการทำนาเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ในรายงานการสัมนาโครงการศึกษาเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือปีงบประมาณ 2551. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ในรายงานการศึกษาโครงการศึกษาศักยภาพการผลิตเกลือสินเธาว์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน. จังหวัดนครราชสีมา, 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณอัตราการใช้ความร้อนและอัตราการใช้พลังงานในการเผาน้ำเกลือแบบสันดาปตรงโดยใช้เตาเผาที่ออกแบบใหม่และใช้แก๊ส LPGเป็นเชื้อเพลิง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณอัตราการใช้ความร้อนและอัตราการใช้พลังงานในการเผาน้ำเกลือแบบสันดาปตรงและการพาความร้อนของการทดลองโดยใช้เตาเผาที่ออกแบบใหม่และใช้แก๊ส LPGเป็นเชื้อเพลิง

1. อัตราการถ่านเทความร้อนจากเตาสู่น้ำเกลือ

$$Q = \frac{kA}{L}\left(T_1 - T_2\right) = W$$

$$K = T\left(^{o}C\right) + 273$$

k = น้ำเกลือ =0.78 w / m.k

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785\left(0.3\right)^2 \quad A = 0.071\ m^2$$

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน)ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

ใส่น้ำเกลือเข้มข้น เท่ากับ 20 baume สูงเท่ากับ 50 mm.

∴ ปริมาตรน้ำเกลือ(V) เท่ากับ $0.071 \times 0.05 = 0.004\ m^3$

เชื้อเพลิงใช้แก๊ส LPG

∴ ค่าความร้อนของแก๊สLPG =อุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ= 1,930 ^{o}C

อุณหภูมิจุดติดไฟของโพรเพน = 460 – 580 ^{o}C

อุณหภูมิจุดติดไฟของบิวเทน = 410 - 550 ^{o}C

อุณหภูมิจุดติดไฟของน้ำมันเบนซิน = 280 – 430 ^{o}C

อุณหภูมิจุดติดไฟของน้ำมันดีเซล = 250 – 340 ^{o}C

2. ค่า Octane Number

โพรเพน =111.4

ไอโซบิวเทน = 102.4

Normal-บิวเทน = 94.0 ซึ่งสูงกว่าน้ำมันเบนซินโดยทั่วไป ประมาณ 10–20 เท่าดังนั้น LPG จึงเหมาะแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์มากกว่า

∴ ค่าความร้อนของการเผาไหม้ LPG โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ชนิดเท่ากับ 10,878.66 $kcal / kg.^{o}C$

3. การเผาไหม้ของ LPG อย่างสมบูรณ์

ก๊าซ O_2 เป็นก๊าซที่ผสมอยู่ในอากาสถึง 21% โดยปริมาตร และเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในการเผานั้นจะต้องมีปริมารที่แน่นอน ในกรณีที่แก๊ส LPG เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

ดังที่แสดงในสมการเคมีดังต่อไปนี้

โพรเพน : $C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$

บิวเทน : $C_4H_{10} + 6.5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

จากสูตร $Q = \frac{kA}{L}\left(\Delta T\right)$

$$= \frac{0.78 \times 0.071 \times \left(140 - 30\right)}{0.05}$$

$$= \frac{0.78 \times 0.071 \times 110}{0.05}$$

$$= 121.84 \approx 122 \text{ w}$$

4.อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่

เท่ากับ $q = \frac{Q}{A} = \frac{122}{0.071} = 1,718.31 \text{ w} / \text{m}^2$

ทำ w / m^2 ให้เป็น kJ / m^2ได้เท่ากับ $\frac{1,718.31 \times 3,600}{10^3} = 6,186 \text{ kJ} / \text{hr} / \text{ m}^2$

จากค่าความร้อนของแก๊ส LPG = 10,878.66 $\text{kcal} / \text{kg.}^{\circ}\text{C}$

1 kcal / kg = 4.2 kJ / kg

$10,878 \text{ kcal} / \text{kg.}^{\circ}\text{C} = 10,878.66 \times 4.2 = 45,690.4 \text{ kJ} / \text{kg}$

$\therefore$ ค่าความร้อนของแก๊ส LPG = 45,690.4 kJ / kg

$\therefore$ ต้องใช้แก๊ส LPG $= \frac{6,186}{45,690.4} = 0.135 \text{ kg} / \text{hr} \approx 0.14 \text{ kg} / \text{hr}$

ภาคผนวก ข

การคำนวณอัตราการใช้ความร้อนและอัตราการใช้พลังงานในการเผาน้ำเกลือแบบปกติของชาวบ้านโดยใช้เตาเผาแบบอิฐและใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณอัตราการใช้ความร้อนและอัตราการใช้พลังงานในการเผาน้ำเกลือแบบปกติของชาวบ้านโดยใช้เตาเผาแบบอิฐและใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

V น้ำเกลือ $= 11.5 \times 1.1 \times 0.2 = 2.53\ m^3$

พื้นที่กะทะอลูมิเนียมใช้ต้มเกลือจริงที่สัมผัสน้ำเกลือ

$A_1 = 1.1 \times 11.50m = 12.65\ m^2$ (เตาต้มของชาวบ้านที่จังหวัดสกลนคร)

กำหนดให้ค่า K_1 น้ำเกลือ = 0.78 w / m.k (มากกว่าน้ำ 20%)

K_2 อลูมิเนียม = 2.04 w /m.k

K_3 อากาศ = 0.026 w /m.k

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน)ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

1. **อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำเกลือ** (Q_1)

$T_1 = 110^{\circ}C$ (อุณหภูมิที่น้ำเกลือสามารถตกผลึกได้)

$T_2 = 70^{\circ}C$ (อุณหภูมิน้ำเกลือที่ผ่านส่วนประกอบของเครื่องแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate))

$Q_1 = \frac{K_1 A_1}{L_1}(T_1 - T_2)$ อัตราการถ่ายเทความร้อน (w)

$= \frac{0.78}{0.3} \times 12.65(110 - 70)$

$= 49.335 \times 40$

$= 1{,}315.6$ w

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน) ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

2. **อัตราการถ่ายเทความร้อนของกะทะ อลูมิเนียม** (Q_2)

$T_3 = 200^{\circ}C$ (อุณหภูมิที่ได้จากการเผาแกลบ)

$T_4 = 110^{\circ}C$ (อุณหภูมิที่น้ำเกลือสามารถตกผลึกได้)

$Q_2 = \frac{K_2 A_2}{L_2}(T_3 - T_4)$

$$= \frac{0.24}{0.006}(200-110) = 30{,}600 \text{ w}$$

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน)ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

3. อัตราการถ่ายเทความร้อนจากอากาศสู่กะทะอลูมิเนียม (Q_3)

T_5 (อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล) = 200

T (อุณหภูมิผนังอิฐ) = 80

$$Q_3 = \bar{h} A(T_s - T)$$

$$= \bar{h} A(200-80)$$

$$= 425{,}040 \text{ w}$$

∴ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม $= Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$= 1{,}973.4+30{,}600+425{,}040 \text{ w}$$

$$= 457{,}613.4 \text{ w}$$

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน)ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

4. หาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ (q)

$q = \frac{Q_{total}}{A}$ $A=12.65 \text{ m}^2$ (กะทะอลูมิเนียม)

$$q = \frac{457{,}613.4}{12.65} = 36{,}175 \text{ w/m}^2$$

ทำ w/m^2 ให้เป็น $\text{kJ/m}^2 = \frac{36{,}175 \times 3{,}600}{10^3}$

$$= 130{,}230 \text{ kJ/hr/m}^2$$

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน)ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

จากค่าความร้อนของแกลบ $3{,}860 \text{ kcal/kg/hr} = 3{,}860 \times 4.2 \text{ kJ/kg/hr}$

หมายเหตุ จากตัวเลขที่ได้ทำการทดลองภาคสนามในการผลิตเกลือสินเธาว์

∴ ค่าความร้อนของแกลบ $= 16{,}212 \text{ kJ/kg/hr}$

$\therefore$ ต้องใช้แกลบ $= \frac{130,230}{16,212} = 8\ kg/hr/m^2$

ถ้าให้ 8 hr /วันทำงาน และพื้นที่กะทะเท่ากับ 12.65 m^2 $= 8 \times 12.65 \times 8 = 810\ kg$

$\therefore$ ใช้แกลบ $= 810\ kg/8\ hr$ / กะทะ

เป็นการคำนวณปริมาณแกลบที่ต้องใช้ในการต้มเกลือ ของชาวบ้านตามหลักการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) แต่ปริมาณแกลบที่ต้องใช้ในการต้มจริง ๆอาจมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากต้องคิดค่าความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้มารวมด้วย เทียบกับปริมาณเกลือที่ได้

<u>กำหนด</u> ความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือ = 1.2 หรือความหนาแน่น $= 1.20 \times 10^3\ kg/m^3$

แต่บรรจุน้ำเกลือ 0.30 M / กะทะ จะได้ปริมาตร $= 1.5 \times 11.5 \times 0.3 = 5.2\ m^3$

คิดเป็นน้ำหนักน้ำ $5.2 \times 1.20 \times 10^3$ kg.น้ำ

โดยมีน้ำประกอบอยู่ 3 ส่วน เกลือ 1 ส่วน $= 6,240 \times \frac{3}{4} = 4,680$ kgน้ำ

$\therefore$ น้ำหนักเกลือ = 6,240-4,680 =1,560 kg

5. คำนวณความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ (L)

สูตร $L = A\Delta T\left(0.529 + \frac{0.572}{1-C}\right)$ มีหน่วยเป็น BTU / lb

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน) ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

A = 0.17 ลากเส้นตัดผ่าน C = 0.33 แทนในสูตรได้

(จากหนังสือ HandBook Engineer ในหัวข้อ Heat Transfer, 2545)

$= 0.17(200-37)\left[0.529 + \frac{0.572(0.33)}{1-0.33}\right]$

$= 27.71\left[0.529 + \frac{0.189}{0.67}\right]$

$= 27.71+0.811$

$= 28.52$ BTU / lb เชื้อเพลิง

1 kcal / kg = 1.8 BTU / lb = 4.2 kJ / kg

$\therefore \frac{28.52}{1.8}$ BTU / lb = 15.84 kcal / kg

∴ ความร้อนที่สูญเสียจากการเผาไหม้ =15.84 kcal/kg จากทฤษฎี

(การเผาไหม้ของแกลบที่มีขี้เถ้าเหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 17%)

สรุป

ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ของแกลบ เท่ากับ 15.84 kcal / kg

ค่าความร้อนของแกลบจริงในการต้มเกลือ = 3,860-15.84 = 3,840.16 kcal / kg

1 kcal / kg = 4.2 kJ / kg

$= 3,840.16 \times 4.2$

$= 16,128.672$ kJ / kg

จาก q = 130,230 kg / hr / m^2

$\therefore$ ต้องใช้แกลบจริง $= \frac{130,230}{16,128.672} = 8.074$ kg / hr / m^2

ถ้าเผา 8 ชั่วโมง และพื้นที่เท่ากับ 12.65 m^2 จะต้องใช้แกลบ 8.074×8×12.65 = 817.08 kg.

∴ ใช้แกลบจริง 817 kg / 8 hr / กะทะ ได้เกลือเท่ากับ 1,560 kg.

6. **คำนวณเทียบโดยใช้สูตร Kreithและ สัมประสิทธิ์ Coefficient of heat transfer**

h = 10-550 w / m^2 (การพาโดยการบังคับเมื่อของไหลเป็นอากาศ)

$\bar{h}$ = 280w / m^2.k (อากาศ)

สูตร $q = \frac{\bar{h} A (T_s - T_w)}{L_1/k_1 + L_2/k_2 + L_3/k_3}$ มีหน่วยคือ w / m^2

กำหนดให้ k_1= น้ำเกลือ 0.78 w / m^2.k

k_2 = กะทะอลูมิเนียม = 2.04 w / m.k

k_3 = อากาศ = 0.026 w / m.k

$\bar{h}$ = อากาศที่ถูกบังคับ = 280 w / m^2.k

A = พื้นที่ของกะทะอลูมิเนียมที่ถูกความร้อน = $1.1 \times 11.5 = 12.65$ m^2

(จากหนังสือ Heat Transfer (การถ่ายเทความร้อน)ของ อ.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547)

แทนค่าลงในสูตร

L_1= ความสูงของน้ำเกลือ

L_2= ความหนาของกระทะ

L_3= ความหนาของช่องอากาศ

$$q = \frac{280 \times 12.65(200 - 110)}{0.3/0.78 + 0.006/2.04 + 0.2/0.026}$$

$$= \frac{318,780}{8.1} = 39,356 \text{ w} / \text{m}^2$$

1 kcal = 4.2 kJ / kg

ทำเป็นหน่วยกิโลจูลได้ เท่ากับ $\frac{39,356 \times 3,600}{10^3} = 141,682 \text{ kJ} / \text{m}^2$

ค่าความร้อนของแกลบ กำหนดไว้ = 3,860 kcal / kg

= 16,212 kJ / kg

∴ ใช้แกลบเผาให้ได้ความร้อน ในเวลา 8 ชั่วโมง และ พื้นที่ของกะทะอลูมิเนียมที่ถูกความร้อนเท่ากับ 12.65 m^2

จะต้องใช้แกลบ เท่ากับ $\frac{141,682}{16,212} \times 8 \times 12.6 = 886 \text{ kg} / \text{กะทะ}$

บรรจุน้ำเกลือที่ V_1ปริมาตร เท่ากับ 11.50×1.5×0.3 M = 5.2 m^2

∴ V_1น้ำเกลือ 5.2 m = V_2น้ำ = 6.24 m^3

∴ ใช้แกลบไป 886 กิโลกรัม ได้เกลือ เท่ากับ 1,560 kg./ 8hr./ กะทะ

<u>หมายเหตุ</u>

V_2 = 6,240 kg

มีน้ำ 3 ส่วน เกลือ 1 ส่วน

∴ มีน้ำ เท่ากับ $6,240 \times \frac{3}{4} = 4,680$ kg

มีเกลือตกผลึก เท่ากับ 1,560 กิโลกรัม / กะทะ

คิดการใช้เชื้อเพลิงเป็นแกลบ เตาเผากะทะต้มเกลือเป็นระบบเปิด จึงมีค่าการสูญเสียความร้อนมาก แต่ในทางความเป็นจริง ใช้กะทะต้มเป็นระบบปิด ทำให้การสูญเสียความร้อน ลดลงถึง 70% จึงทำให้สามารถ ประหยัดเชื้อเพลิงได้มากขึ้นอีก ประมาณ 10%

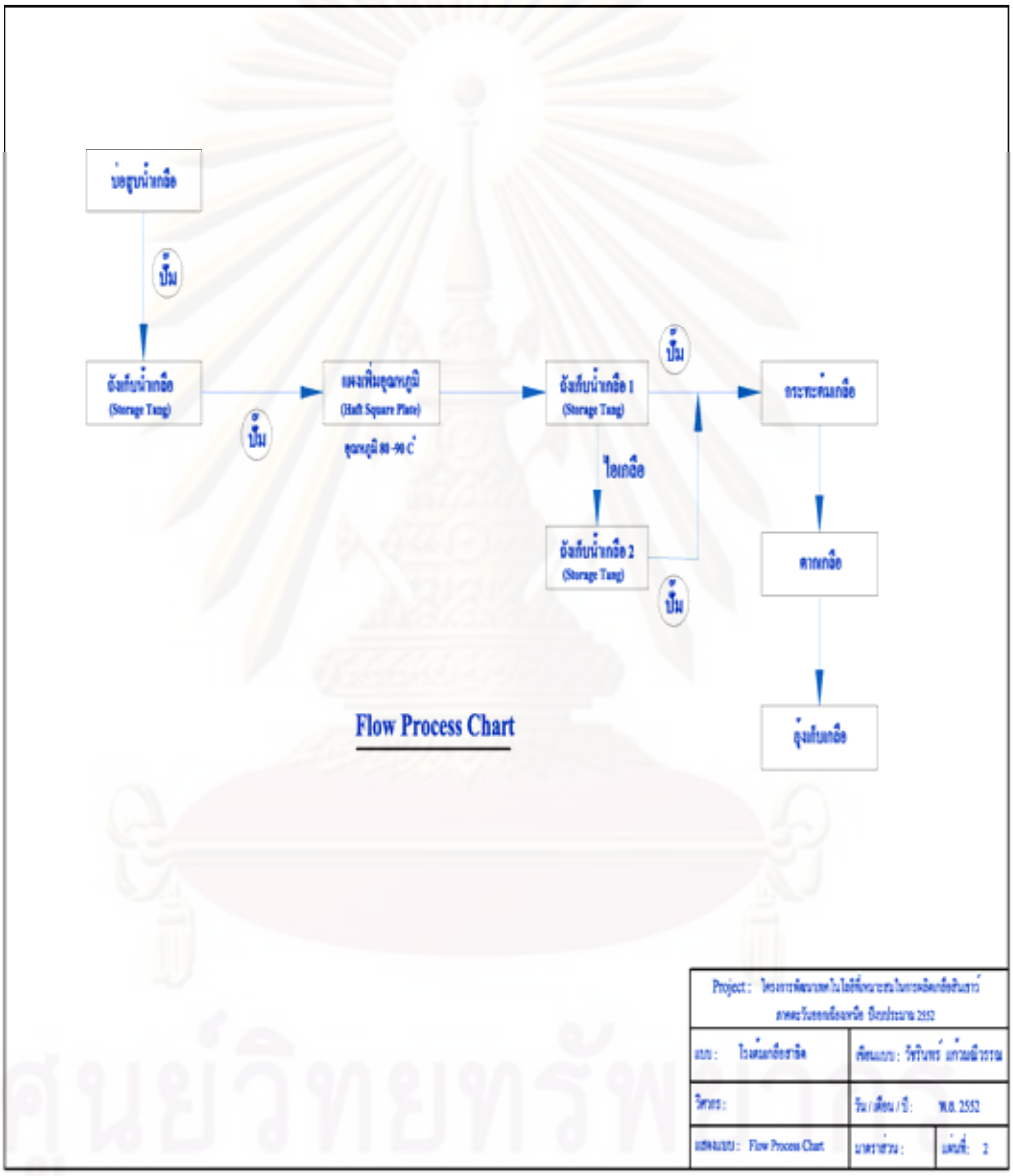
จากทฤษฎี ที่กล่าวไว้ในตอนต้นในหัวเรื่องความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ การเผาแกลบจะได้ขี้เถ้า เท่ากับ 17% ค่าความร้อนสูญเสีย เท่ากับ 15.84 kcal / kg ทำให้เราต้องใช้แกลบเทียบเป็นจำนวน 896.34 กิโลกรัม จึงจะได้เกลือ 1,560 kg./กะทะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

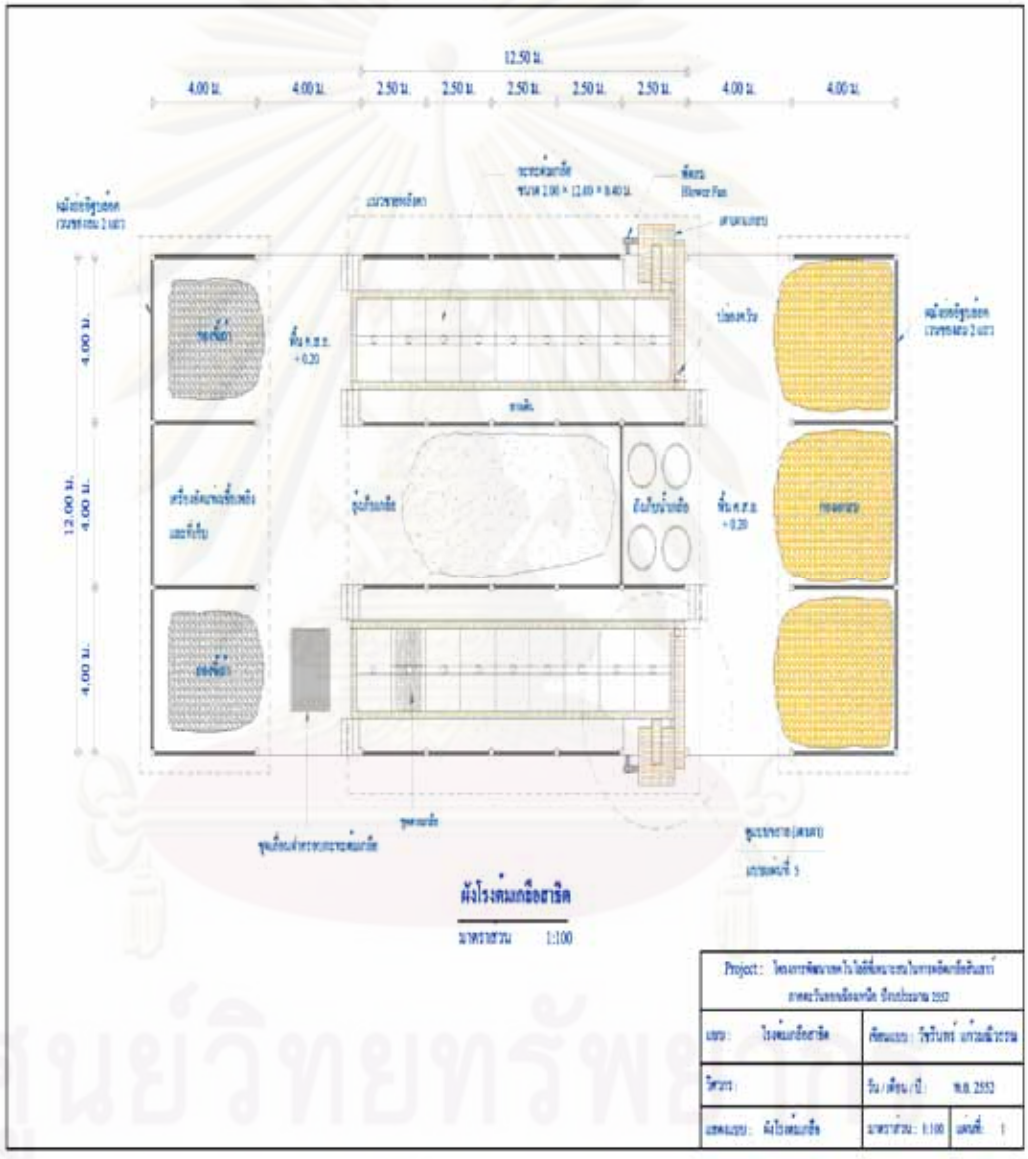
แบบแปลนโรงต้มเกลือแบบเตาอิฐ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

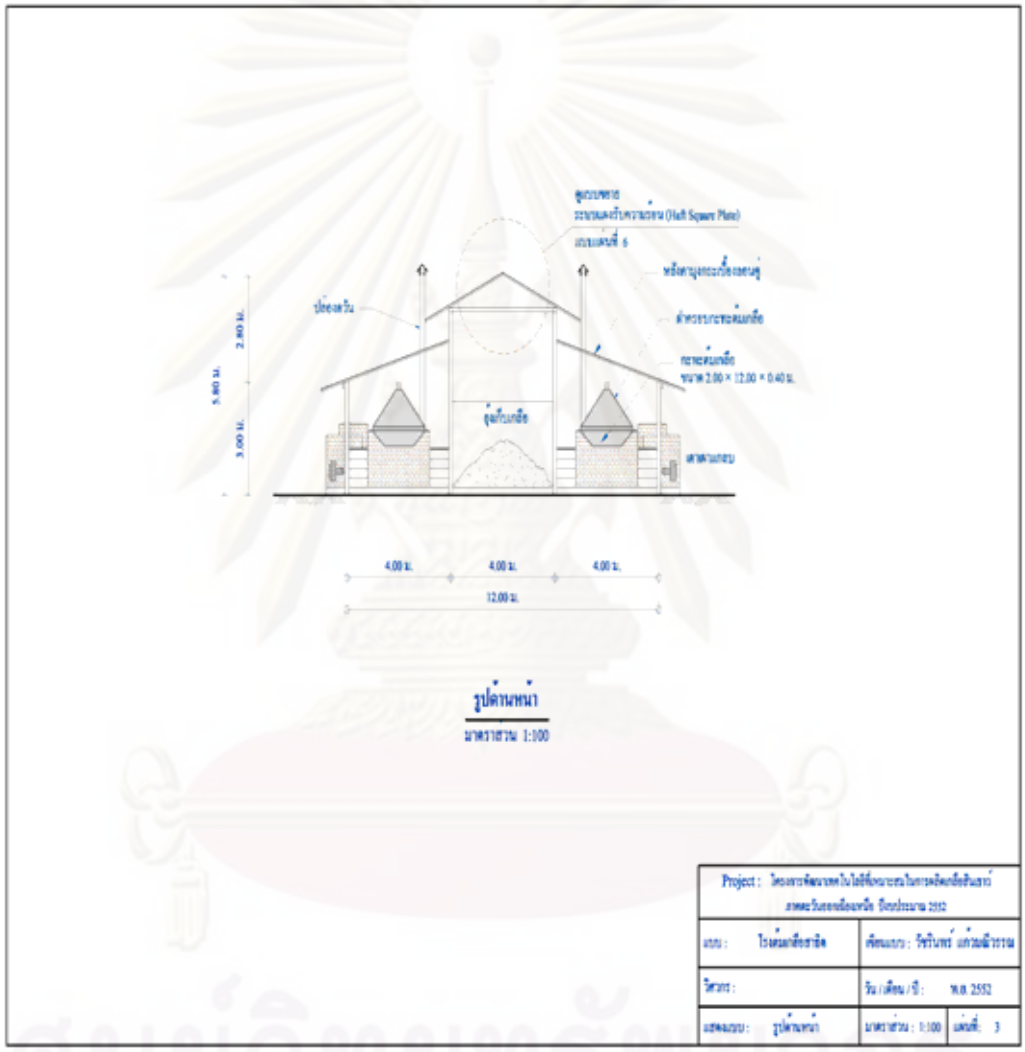


ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

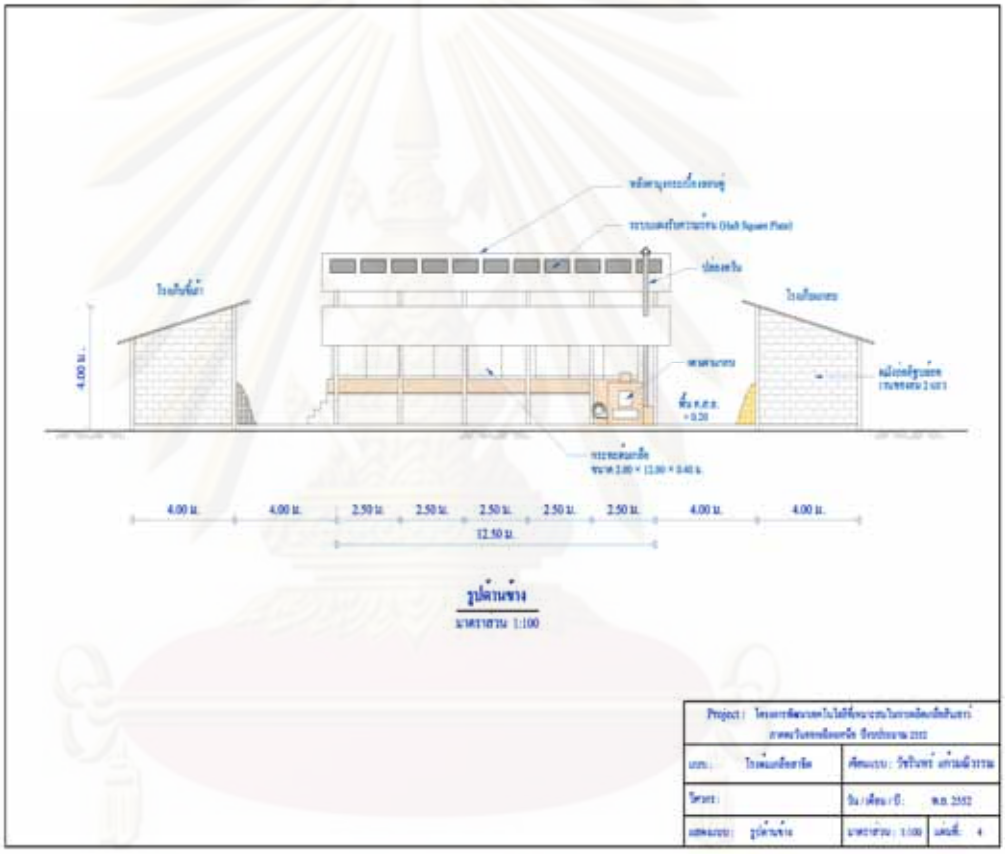
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

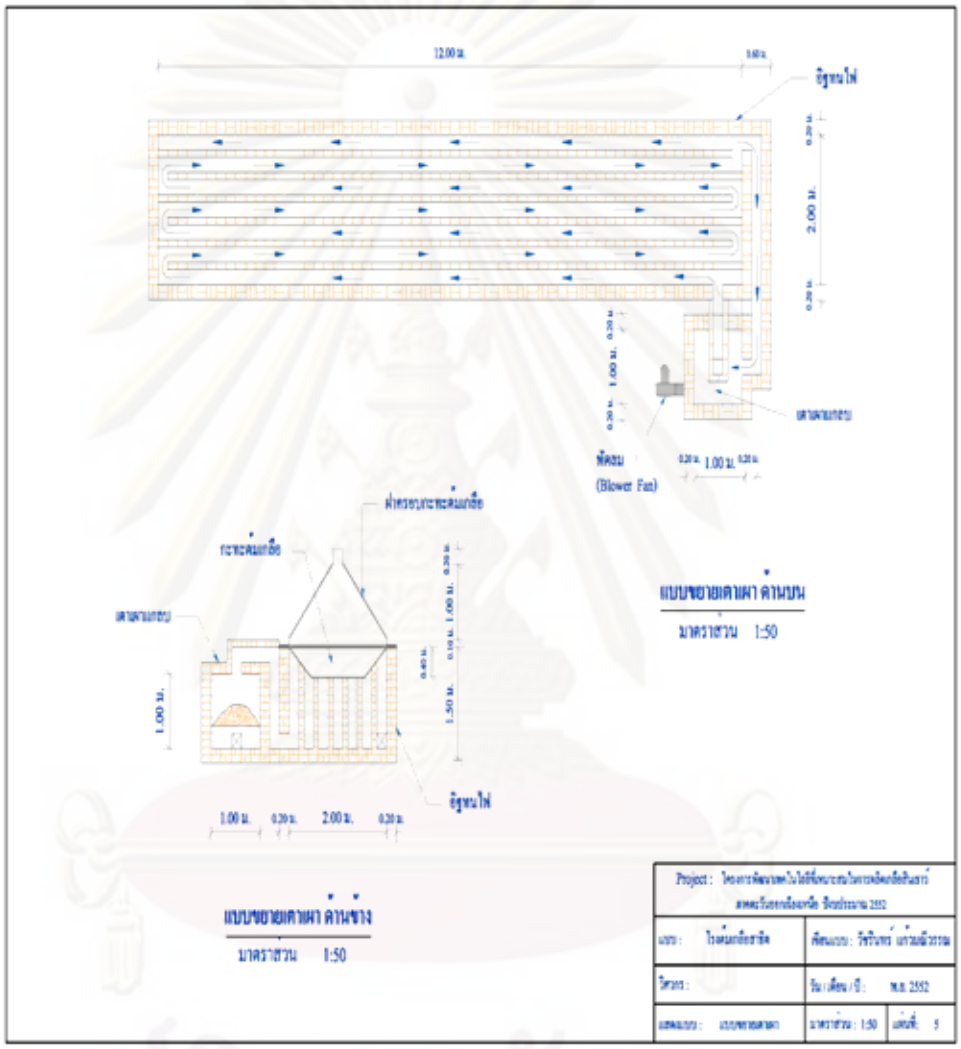


ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548



ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพงศธร ฟักทอง จบการศึกษาด้านคณะวิศวกรรมเหมืองแร่ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ.2547 มีประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับ การเป็นวิศวกรเหมืองแร่ให้กับบริษัท Thai Explosives Co.Ltd หลังจากเรียนจบมาเป็นเวลา 1 ปีหน้าที่ความรับผิดชอบในการทำงานในขณะนั้น คือ ออกแบบวงจรหลุมเจาะระเบิดหินปูนให้กับทางบริษัท คำนวณค่าใช้จ่ายในการระเบิดแต่ละครั้ง และแก้ปัญหาเวลาหลุมเจาะระเบิดหินมีปัญหาให้กับทางบริษัท

ปัจจุบันได้เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2549 มาจนถึงปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย