การเร่งการระเหยของน้ำเกลือในการทำนาเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์

นายรณพีร์ ยอดสุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INCREASING EVAPORATION RATE OF BRINE IN THE SALT FIELD BY SPRAYING NOZZLES

Mr. Ranapee Yodsuwan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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	การเร่งการระเหยของน้ำเกลือในการทำนาเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์
โดย	นายรณพีร์ ยอดสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนไชย ตันไทย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รณพีร์ ยอดสุวรรณ: การเร่งการระเหยของน้ำเกลือในการทำนาเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์. (INCREASING EVAPORATION RATE OF BRINE IN THE SALT FIELDS BY SPRAYING NOZZLES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์.ดร. ภิญโญ มีชำนะ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 97 หน้า

การทำนาเกลือสินเธาว์ในภาคอีสานมีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีกรรมวิธีการผลิตหลัก ๆ อยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือวิธีการต้มน้ำเกลือเพื่อให้น้ำเกลือระเหยจนเกลือตกผลึก และวิธีการตากน้ำเกลือในนาเกลือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์ทั้งสองกรรมวิธี สำหรับกรรมวิธีการต้มน้ำเกลือ ได้นำเทคโนโลยีระบบแผงวงจรความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม (Half Square Plate) จุดประสงค์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเกลือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จากอุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส ให้เพิ่มถึง 80 องศาเซลเซียส ก่อนนำน้ำเกลือเข้าสู่กระทะต้มเกลือ สำหรับกระบวนการผลิตเกลือโดยวิธีต้มเกลือ ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงาน ประหยัดค่าแกลบซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในการต้มน้ำเกลือได้ 10 – 30 % และระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Spraying Nozzles Stair) สำหรับกรรมวิธีการตากน้ำเกลือ เป็นเครื่องมือที่นำมาแทนที่เครื่องมือเพิ่มค่าความเข้มข้นแบบดั้งเดิมที่เรียกว่า "บ้านญี่ปุ่น" จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือที่มีค่าความเข้มข้นไม่เพียงพอต่อการตกผลึก ซึ่งน้ำเกลือจะถูกสูบผ่านปั๊มน้ำส่งเข้าผ่านหัวฉีดสเปรย์ซึ่งเพิ่มพื้นผิวสัมผัสกับอากาศที่ร้อนจัดภายในตู้กระจก ไอน้ำจะระเหยออกอย่างรวดเร็ว ทำให้ลดระยะเวลาในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ประมาณ 3 – 4 เท่าตัว โดยสามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ตลอดทั้งปีแม้กระทั่งฤดูฝนซึ่งมีแดดน้อยและไม่ต้องใช้พื้นที่มาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

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

4970523321 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS : SALT/ BRINE/ EVAPORATION/ NOZZLES/ SPRAY

RANAPEE YODSUWAN: INCREASING EVAPORATION RATE OF BRINE IN THE SALT FIELDS BY SPRAYING NOZZLES. THESIS ADVISOR: ASSOCIATE PROFESSOR PINYO MEECHUMNA, Ph.D., THESIS CO – ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR SOMSAK SAISINCHAI, 97 pp.

Salt production from rock salt in the Northeastern Thailand has been performed from the past many years. The two options of production processes have been applied by solar evaporation of the brine in the salt farm or boiling of brine until salt crystallization occurs. This research is to improve energy efficiency using Half Square Plate and Spraying Nozzles Stair designed to use solar energy to evaporate brine to obtain salt crystals. Firstly, the Half Square Plate was used to increase temperature from 25 °c to about 80 °c under solar expose. Energy saving using solar energy to replace rice husk fuel in brine boiling process has reduced energy cost to be in the range of 10 and 30%. Secondly, the warm brine was then fed to Spraying Nozzles Stair to increase evaporation rate of the warm brine until salt crystallization occurred. The two processes have proved to increase the concentration of salt in the brine with less time (3 - 5 times) than the locally used "Ban Yee Pun". Spraying Nozzles Stair can be operated throughout the year (even in rainy season) with less space.

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

ข้าพเจ้าของขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ อาจารย์ที่ปรึกษา และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนช่วยแก้ไข และคอยกระตุ้นให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณประกรรณ์ ภู่ศรีจันทร์ ที่ได้คอยช่วยเหลือทางด้านเทคนิคการสร้างเครื่องมือการทดลองตลอดจนช่วยแนะนำและช่วยแก้ไขงานและสนับสนุนทางด้านความคิด เพื่อให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพจน์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนไชย ตันไทย และอาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

ขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียมทุกท่านที่อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนให้กำลังใจ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ตามเป้าหมาย

ขอขอบคุณศูนย์บริการทางวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, กรมทรัพยากรธรณี, กรมพัฒนาที่ดิน และกรมป่าไม้ ที่ได้สนับสนุนและให้คำปรึกษาด้านข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพจน์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ เพื่อน พี่ น้อง และบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ ในทุกภูมิภาค ที่ได้สนับสนุนและช่วยผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 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 กรรมวิธีการผลิตโดยการเคี่ยว..... 9

2.3.4 ข้อดีของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยว..... 11

2.3.5 ข้อเสียของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยว..... 11

2.4 ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์..... 11

2.5 ตลาดเกลือสินเธาว์..... 13

2.5.1 สถานภาพของตลาดเกลือในปัจจุบัน..... 13

2.5.2 ระบบตลาดเกลือสินเธาว์..... 13

2.5.3 ความต้องการเกลือในอุตสาหกรรม..... 15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

2.6 การส่งออกและการนำเข้า..... 18
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 การทำเหมืองเกลือด้วยวิธีการละลายแร่..... 28
2.10 เทคโนโลยีในการผลิตเกลือสินเธาว์ในต่างประเทศ..... 31
2.11 การผลิตเกลือจากน้ำเกลือที่ได้จากเหมืองละลายแร่น้ำบาดาล..... 31
1. การระเหยภายใต้สุญญากาศ..... 32
2. กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยแบบ Mechanical Vapour Recompression..... 33
2.12 เทคโนโลยีการตกผลึกเกลือภายในประเทศ..... 34
1. เทคโนโลยีการเคี่ยวเกลือในบริษัทเกลือพิมาย จำกัด..... 34
2. เทคโนโลยีการเคี่ยวเกลือในบริษัทสยามทรัพยมณี จำกัด..... 35
3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 36
3.1 เลือกพื้นที่แหล่งน้ำเกลือ..... 36
3.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำเกลือ..... 36
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 38
3.3.1 ระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)..... 39
3.3.2 ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy)..... 40
3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์เพิ่มเติม..... 42
1. เครื่องตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง..... 42

บทที่ หน้า

2.หัวฉีด…….. 43
3.4 ขั้นตอนการทดลองระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)……..... 44
1. เตรียมวัตถุดิบ……..……. 44
2. วอร์มเครื่อง…….. 44
3. ทดลอง……..……... 45
4. ปรับตั้งและตรวจเช็คอุณหภูมิ……. 45
5. ตรวจเช็คและจดบันทึกค่าการอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น……..……... 46
6. แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเกลือ…… 47
3.5 การทดลองระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy)……. 47
1. วัดค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเกลือ……..... 47
2. เตรียมเครื่องมือ……..…. 48
3. สเปรย์น้ำเกลือจดและบันทึกผลการทดลอง……..... 48
4. แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือในระบบการผลิตเกลือ……..…… 49
4 ผลการทดลอง…… 50
4.1 ผลการทดลองระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)…… 50
4.1.1 ผลการทดลอง……. 50
4.1.2 กราฟและวิเคราะห์ผลการทดลอง……..……... 51
4.1.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลคำนวณทางทฤษฎี……. 54
4.1.4 การเปรียบเทียบต้นทุนค่าเชื้อเพลิง ค่าแกลบของการต้มน้ำเกลือของชาวบ้านกับการต้มน้ำเกลือผ่านแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม(Half Square Plate)……... 55
4.2 ผลการทดลองระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying). 57
4.2.1 กำหนดตัวแปร……..…..... 57

บทที่ หน้า

ก. ตัวแปรที่มีค่าคงที่..... 57
ข. ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนค่า..... 57
4.2.2 ผลการทดลองการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือ..... 57
4.2.3 กราฟการทดลองและการเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 59
4.2.4 การหาค่าพลังงานที่ใช้ของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ
โดยใช้หัวฉีดสเปรย์..... 63
4.2.5 การหาค่าระยะเวลาคืนทุน..... 64

5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 68
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 68
5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความข้นของน้ำเกลือ..... 69
5.3 ปัญหาและอุปสรรค..... 70
5.4 ข้อเสนอแนะ..... 70
รายการอ้างอิง..... 71
ภาคผนวก..... 72
ภาคผนวก ก. 72
ภาคผนวก ข. 79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงราคาเกลือสินเธาว์ในภาคอีสาน……..	14
2.2	แสดงความต้องการใช้เกลือในอุตสาหกรรมต่าง ๆ……	18
2.3	แสดงประเทศและชนิดเกลือที่นำเข้าจากประเทศไทย……..	19
2.4	แสดงข้อดีข้อเสีย และข้อเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของการนำเกลือหินขึ้นมาจากใต้ดิน……..…	30
3.1	แสดงปริมาณไอออนต่างๆของน้ำเกลือ…….....	36
3.2	แสดงสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเกลือ……	37
3.3	แสดงสารประกอบและตะกอนหรือแร่ที่เกิดของน้ำเกลือ……..	38
4.1	สรุปผลการทดลองทั้ง 5 วัน……..….	50
4.2	เปรียบเทียบราคาต้นทุนของแกลบที่ใช้ต้มน้ำเกลือโดยการต้มปกติและต้มจากน้ำเกลือที่ผ่านแผงเพิ่มความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม (Half Square Plate)……	56
4.3	แสดงผลการทดลองการเพิ่มความเข้มข้นด้วยหัวฉีดสเปรย์ทั้ง 7 วัน……	58
4.4	แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณเกลือ(กิโลกรัม)……..	64
4.5	แสดงราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องเพิ่มความเข้มข้นด้วยหัวฉีดสเปรย์……...	65
4.6	แสดงราคาวัตถุดิบ……	65
4.7	แสดงกำลังการผลิตของเครื่องระบบเพิ่มความเข้มข้นด้วยหัวฉีดสเปรย์……..….	65
4.8	แสดงผลรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในปีที่ 1……..	66
4.9	แสดงผลรวมรายได้จากการขายเกลือในปีเริ่มต้น……	66
4.10	แสดงผลรวมรายจ่ายทั้งหมดในปีที่ 2……	66
4.11	แสดงการคำนวณหาปีที่คุ้มทุน……..	66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังแนวทางการดำเนินการวิจัย……..	4
2.1	แสดงแหล่งแร่เกลือหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ……	6
2.2	แสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานตาก……..	7
2.3	แสดงกระบวนการผลิตเหลือสินเธาว์โดยวิธีการต้ม……	8
2.4	แสดงลำดับกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบเคี่ยว……....	10
2.5	แสดงระบบตลาดของเกลือสินเธาว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ……	14
2.6	แสดงการเกิดหลุมยุบ……	21
2.7	แสดงรายละเอียดการทำเหมืองละลายแร่……..	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	แสดงความเข้มข้นของน้ำเกลือและปริมาณที่ผลิตได้กับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม…….	28
2.14	แสดงตำแหน่งระดับท่อ Blanket และขนาดโพรงกับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม……..……	29
2.15	กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ……..….	32
2.16	กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression…….	33
2.17	การตกผลึกเกลือระบบการอัดไอน้ำทางกล (Mechanical Vapor Recompression)……	34
2.18	การตกผลึกเกลือระบบการระเหยภายใต้สุญญากาศแบบ Multiple Effects Evaporator……..	35
3.1	แสดงระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือต้นแบบ “บ้านญี่ปุ่น”……..….	39

รูปที่		หน้า
3.2	แสดงรายละเอียดแผงวงจรความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม (Half Square Plate)……	39
3.3.	แสดงส่วนประกอบส่วนประกอบระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)……	40
3.4.	ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (ด้านบน)…….….	41
3.5	ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (ด้านข้าง)……	41
3.6	ส่วนประกอบระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได……...	42
3.7	เครื่องมือวัดความเข้มแสงที่นำมาใช้ทดลอง……..….	42
3.8	ลักษณะของหัวฉีดแบบใช้ความดัน……...	43
3.9	ขั้นตอนไปรับน้ำเกลือมาทดลอง……..…	44
3.10	การเตรียมเครื่องและการวอร์มเครื่อง……..	44
3.11	น้ำเกลือที่จะนำมาทดลองเตรียมจะถูกดูดเข้าโดอัตโนมัติ……..……..	45
3.12	ตรวจเช็คอุณหภูมิ……..……	45
3.13	แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิ……	46
3.14	แสดงแผงผังวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)…..…	46
3.15	การนำระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ไปประยุกต์ใช้เพิ่มอุณหภูมิในระบบการผลิตเกลือ……..……	47
3.16	วัดความเข้มข้นของน้ำเกลือที่นำมาทดลอง……	47
3.17	แสดงการทำงานของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได……..……	48
3.18	การทำงานของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได……	48
3.19	แนวการนำระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันไดไปประยุกต์ใช้เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือในระบบการผลิเกลือ…….	49

รูปที่ หน้า

3.20 แนวการนำระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันไดและระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ไปประยุกต์ใช้เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือในระบบการผลิตเกลือ..... 49

4.1 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 1 รอบที่ 1 และ 2..... 51

4.2 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 2 รอบที่ 1 และ 2..... 51

4.3 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 3 รอบที่ 1 และ 2..... 52

4.4 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 4 รอบที่ 1 52

4.5 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 5 รอบที่ 1 และ 2..... 53

4.6 แผนภาพการถ่ายโอนค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้กับน้ำเกลือ..... 54

4.7 แผนผังการถ่ายโอนค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้กับน้ำเกลือ..... 54

4.8 การต้มเกลือใน ต.กุดเรือคำ อ.วานรนิวาส จังหวัดสกลนคร..... 55

4.9 การต้มเกลือใน ต.โคกพระ อ.กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม..... 55

4.10 การต้มเกลือใน ต.เชิม อ.โพนพิสัย จังหวัดหนองคาย..... 56

4.11 แสดงแผนผังการทดลอง..... 58

4.12 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา..... 59

4.13 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา..... 60

4.14 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา..... 60

4.15 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา..... 61

4.16 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา..... 61

ภาพที่ หน้า

4.17 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา..... 62
4.18 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา..... 62
5.1 บ้านญี่ปุ่นช่วยเพิ่มอัตราการระเหยน้ำด้วยการให้น้ำเกลือสัมผัสกับอากาศ..... 68
5.2 ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์ขั้นบันได..... 68

.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เกลือเป็นอาหารแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายและใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม โรงงานหลายชนิด เช่น โรงงานทำกระจก โรงงานฟอกหนัง เป็นต้น เกลือที่ใช้อยู่ทั่วไปมี 2 ชนิด คือ เกลือสมุทร ที่ได้จากน้ำทะเลโดยวิธีการนำน้ำทะเลมากักเก็บไว้ให้ระเหยจนเหลือแต่เม็ดเกลือ และเกลือสินเธาว์ที่ได้จากหินเกลือ ชั้นใต้ดิน ส่วนใหญ่จะพบมากในภาคอีสาน ซึ่งมีวิธีการผลิต 2 ชนิดคือ

1. การผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว เป็นการผลิตที่ทำง่าย ๆ ใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยี ขั้นต่ำเพื่อผลิตเกลือไว้รับประทานหรือจำหน่าย

2. การผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมส่งออกเป็นการผลิตที่ใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีระดับสูง มีทั้งชนิดที่สูบน้ำเกลือจากใต้ดินมาต้ม และวิธีอัดแรงดันน้ำเข้าพังทลายชั้นหินเกลือใต้ดิน นำน้ำเกลือมาขังเป็นนาเกลือให้แห้งเช่นเดียวกับการทำเกลือสมุทร การผลิตเกลือทั้ง 2 วิธีดังกล่าว เป็นการผลิตขนาดใหญ่ ที่ต้องการเกลือปริมาณมาก ๆ ส่งขายตามแหล่งอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ

การผลิตเกลือเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว เป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เป็นวิถีชีวิตของชาวอีสาน ที่อยู่ในพื้นที่ที่มีแหล่งเกลือ จะใช้เวลาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นฤดูฝนราวเดือนพฤษภาคม โดยจะเก็บไว้รับประทานและใช้ประโยชน์อื่น ๆ แทนการซื้อเกลือจากร้านมารับประทาน

อุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ในภาคอีสาน เริ่มต้นประมาณปี พ.ศ.2512 บริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม และมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นมาโดยตลอดรวมทั้งในจังหวัดอื่น ๆ โดยเฉพาะในช่วงปี พ.ศ.2514 – 2522 จนทำให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำเค็มเกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นบริเวณกว้างทั้ง 4 ด้าน ที่สำคัญได้แก่ ด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์และคุณค่าต่อคุณภาพชีวิตทำให้เกิดการร้องเรียนจากผู้ที่ได้รับผลกระทบนี้มีมากขึ้นเรื่อย ๆ

การประกอบกิจการโรงงานสูบ ต้ม และตากเกลือสินเธาว์ ตาม พรบ.โรงงาน พ.ศ. 2535 ในอดีตและปัจจุบันก่อปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญคือปัญหาแผ่นดินยุบตัวในบริเวณพื้นที่สูบเกลือสินเธาว์และบริเวณใกล้เคียง รวมถึงปัญหาน้ำเกลือที่แพร่กระจายความเค็มสู่พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม ทางน้ำสาธารณะ แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมถึงผลกระทบต่อการดำเนิน

ชีวิตของราษฎรที่ประกอบอาชีพในบริเวณที่มีการประกอบกิจการโรงงานเหล่านั้น (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)

การผลิตเกลือสินเธาว์ในเขตภาคอีสานทำได้โดยการสูบน้ำเกลือใต้ดิน โดยการเจาะบ่อบาดาล จนถึงชั้นน้ำเกลือใต้ดิน ทำการวางท่อบริเวณชั้นน้ำเกลือ แล้วทำการสูบน้ำเกลือขึ้นมาเพื่อไปตากบนลานจาก หรือนำไปต้ม เพื่อทำให้น้ำเกลือตกผลึก ซึ่งวิธีการผลิตทั้งสองวิธีนั้นจะใช้ระยะเวลาในการผลิตหลายชั่วโมง หรือหลายวันในกรณีของการตากในลานตาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเทคโนโลยีการเร่งระเหยของน้ำเกลือในการทำนาเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์ (Increasing Evaporation Rate of Brine in the Salt Fields by Spraying Nozzles) มาใช้ในการผลิตเกลือเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการทำและเพิ่มผลผลิตในการตกผลึกเกลือ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลด้านต่างๆ ในขั้นรายละเอียดของการผลิตเกลือสินเธาว์ รวมทั้งพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตเกลือสินเธาว์ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. เพื่อพัฒนาและออกแบบขั้นตอน วิธีการ ทางเทคนิควิศวกรรม สำหรับพัฒนาการผลิตเกลือสินเธาว์โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยวิธีการนำน้ำเกลือจากใต้ดินและการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์
3. เพื่อศึกษาปัญหาอุปสรรคที่เกี่ยวข้องกับการเร่งการระเหยของน้ำเกลือเพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือในกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์ของไทย พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. คัดเลือกน้ำเกลือที่นำมาทดลองจากแอ่งโคราช จากบริษัทเกลือพิมาย ซึ่งนำน้ำเกลือมาโดยวิธีการทำเหมืองละลาย ซึ่งให้ค่าความเข้มข้นคงที่ประมาณ 20 โบเม่*
2. ศึกษาข้อมูลการตากระเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือในพื้นที่ที่ผลิตเกลือสินเธาว์จังหวัด สกลนคร อุดรธานี นครศรีธรรมราช

***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 ส่วนโดยน้ำหนักของเกลือโซเดียม-คลอไรด์) ใน 85 ส่วน (โดยน้ำหนักของน้ำ (15% w / w)) ที่12.5 $^{\circ}$ C เป็นคำนิยามเดิมของ 15 $^{\circ}$ Buame

3. ศึกษาข้อมูลด้านเทคโนโลยีรูปแบบต่างๆในการนำน้ำเกลือจากใต้ดินและทำน้ำเกลือ ให้แห้งที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบันทั้งในและต่างประเทศ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องเร่งการระเหยน้ำเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์

4. ออกแบบเครื่องมือและทดลอง การเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ และเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียกับการผลิตเกลือสินเธาว์ในปัจจุบัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การเพิ่มการเร่งการระเหยของน้ำเกลือที่มีประสิทธิภาพ และปลอดภัย ไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม

2. เพิ่มขีดความสามารถการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือในการผลิตเกลือสินเธาว์

3. ลดระยะเวลาที่ใช้ในการเร่งเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตกับวิธีในปัจจุบัน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการเพิ่มค่าความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือในปัจจุบัน และเทคนิคการผลิตเกลือสินเธาว์ของชาวบ้านที่ได้กระทำมาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน

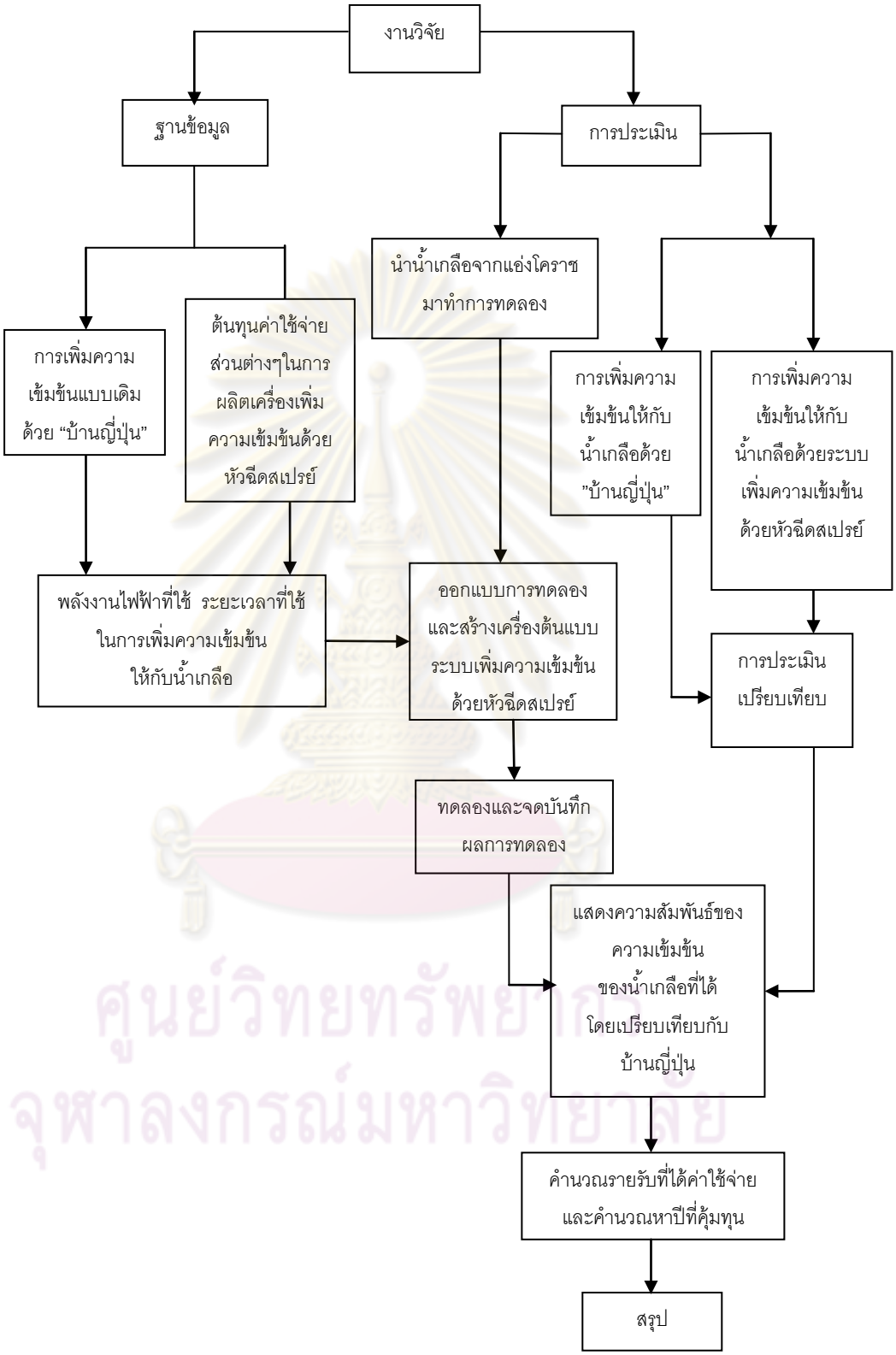
2. นำน้ำเกลือจากแหล่งพื้นที่จริงมาทำการทดลองวิจัย น้ำเกลือที่นำมาทดลองมาจากแอ่งโคราช จากบริษัทเกลือพิมาย ซึ่งนำน้ำเกลือมาโดยวิธีการทำเหมืองละลายซึ่งให้ค่าความเข้มข้นคงที่ประมาณ 20 โบเม่

3. ออกแบบเครื่องมือทดลองต้นแบบ เพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ (โบเม่) โดยใช้หัวสเปรย์ และทำการทดลอง

4. ประเมินเปรียบเทียบต้นทุนและประสิทธิภาพของเครื่องเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ (โบเม่) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการผลิตในปัจจุบัน

5. เสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 แผนผังแนวทางการดำเนินการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมา

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

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

ปัญหาที่พบในปัจจุบันที่ทางผู้วิจัยได้ไปสอบถามจากพื้นที่ที่นำน้ำเกลือมาทดลอง พบว่า น้ำเกลือที่สูบขึ้นมาเพื่อที่จะนำไปตาก มีความเข้มข้นของน้ำเกลือลดน้อยลงจากเดิมที่เคยสูบได้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 20 – 22 โบเม่ น้ำเกลือที่สูบขึ้นมามีค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือเพียง 18 – 20 โบเม่ ซึ่งหลังจากสูบขึ้นมาต้องทำการตากน้ำเกลือเพื่อให้มีความเข้มข้นประมาณ 25 โบเม่ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการตากประมาณ 7 – 10 วัน (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ) การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีเป้าหมายเพิ่มเพิ่มประสิทธิภาพการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือและลดระยะเวลาในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือ เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

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 ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณของเกลือหินไม่ต่ำกว่า 10 ล้านล้านตัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ข่าวสารการธรณี, 2553)

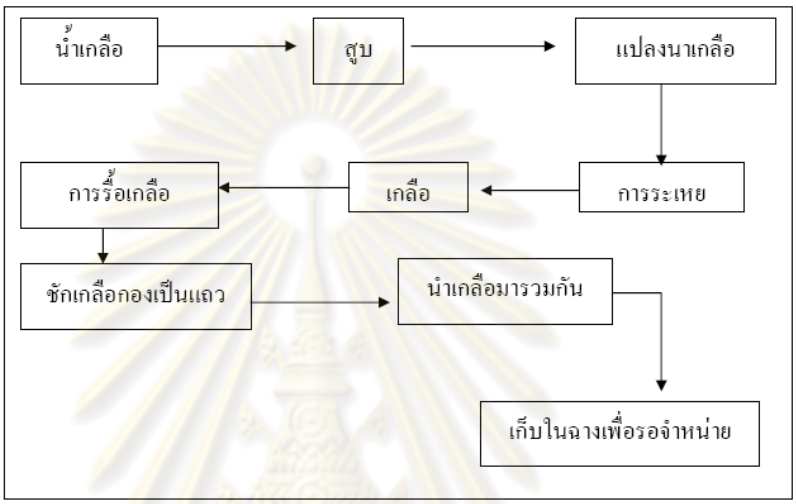
ที่มา: http://mne.eng.psu.ac.th/eng2002/northeast.htm

รูปที่ 2.1 แสดงแหล่งแร่เกลือหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.3 การผลิตเกลือสินเธาว์ในภาคอีสาน

2.3.1 กรรมวิธีการผลิตแบบลานตาก

รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานตากซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรรมวิธีคือ



ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานตาก

1. กรรมวิธีการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานดิน

การทำนาเกลือโดยการสูบน้ำเกลือขึ้นมาขังในแปลงที่เป็นลานดินให้แสงแดดเป็นพลังงานความร้อนระเหยน้ำเกลือเพื่อให้เกลือตกผลึกเป็นเม็ด การผลิตโดยวิธีนี้เป็นการผลิต ที่ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ นิยมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพราะมีแหล่งน้ำเกลือใต้ดินมีความเข้มข้นสูงถึงประมาณ 20 – 25 ดีกรีโบเม่ แต่ต้องมีการควบคุมที่ดีพอไม่ให้ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียงการทำนาเกลือโดยวิธีลานดิน ดินควรจะเป็นดินเหนียวจึงตกแต่งได้ง่าย ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการปรับระดับพื้นที่ให้เรียบเสมอกัน บดจนแน่นแล้วยกคันดินขึ้นสูงประมาณ 60 ซม. โดยรอบแปลง ทำเป็นแปลงขนาด 12 x 4 เมตร จากนั้นจึงสูบน้ำเกลือจากบ่อมาขังไว้ใน นาเกลือใช้เวลาประมาณ 7 วัน ก็จะเริ่มเก็บเกลือได้

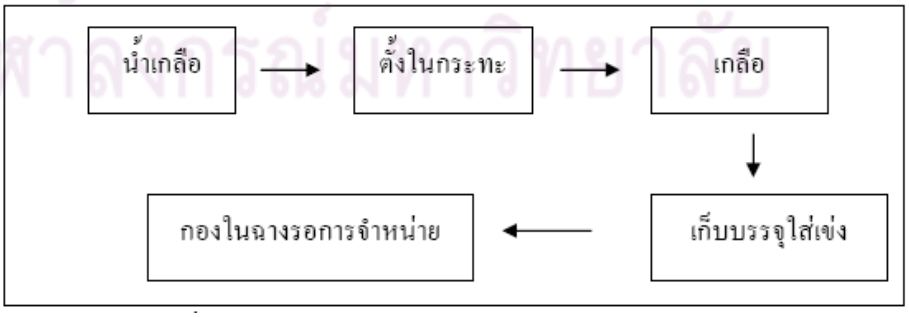
2. กรรมวิธีการผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานคอนกรีต

การผลิตเกลือสินเธาว์แบบลานคอนกรีตนิยมผลิตในพื้นที่ที่สภาพของดินไม่สามารถอุ้มน้ำได้ โดยการปรับพื้นดินให้เสมอกันแล้วเทด้วยคอนกรีตหนาประมาณ 5 ซม.

กั้นคันระหว่างแปลงด้วยบล็อกซีเมนต์สูงประมาณ 60 ซม. ทำเป็นแปลงขนาด 12×24 เมตร จากนั้นจึงจะสูบน้ำเกลือขึ้นมาขังในแปลง การตากเกลือจะทำการเก็บเกลือหลังจากตากแล้วประมาณ 3 – 4 วัน โดยเกลือที่ได้จะให้ผลผลิตสูงกว่าลานดินเกือบเท่าตัวและเกลือจะสะอาดกว่า การเก็บเกลือทั้งสองแบบจะเริ่มจากวิธีการที่เรียกว่า **การรื้อเกลือ** ซึ่งการรื้อเกลือควรจะรื้อในขณะที่ยังมีน้ำท่วมขังอยู่พอสมควรจึงจะได้เกลือขาวสะอาด การรื้อเกลือจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "อีรุนรุน" หรือดันให้เกลือแตกขณะที่เกลือตกผลึกมีความหนาประมาณ 1 – 1.5 นิ้ว ไม่ควรจะปล่อยให้เกลือหนามากเพราะจะใช้แรงคนรื้อลำบาก จึงควรรื้อแปลง 5 วันต่อครั้ง จากนั้นใช้คะทาชักเกลือให้มากองรวมกันเป็นแถวแล้วนำมากองเป็นรูปพีรามิด แต่ละครั้งควรรื้อเกลือ 4 – 5 ครั้ง แล้วจึงปล่อยน้ำเชื้อที่เหลือในแปลงจนแห้ง เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการผลิตครั้งต่อไป จากนั้น จึงหาบเกลือที่ได้เก็บไว้ที่ฉางรอการจำหน่ายต่อไป

2.3.2 กรรมวิธีการผลิตโดยการต้ม

การผลิตเกลือสินเธาว์โดยการสูบน้ำเกลือจากใต้ดินขึ้นมาต้มในกระทะเพื่อจะได้เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมอีกวิธีหนึ่งที่ผู้ผลิตนิยมนำมาใช้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรรมวิธีการผลิตจะเริ่มจากการสูบน้ำเกลือใส่ในกระทะต้ม (ถาดต้มเกลือ) ซึ่งมีความกว้างประมาณ 2 เมตร ยาว 3 - 10 เมตรและสูงประมาณ 20 เซนติเมตร ใช้แกลบเป็นเชื้อในการต้ม เมื่อต้มน้ำเกลือให้ระเหยจนกระทั่งเหลือน้ำเกลือในกระทะประมาณ 5 เซนติเมตร เกลือจะตกผลึกเป็นเม็ดจึงเริ่มตักเกลือใส่ลงในกระทะใส่เข่งที่นำมาเตรียมไว้บนไม้รองที่วางพาดตามขวางบนขอบกระทะ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการเก็บเกลือและให้น้ำเกลือที่ติดมากับเกลือหยดลงไปในกระทะเหลือแต่เกลือที่แห้ง เมื่อเกลือที่ตักได้น้อยลงไปในกระทะเพื่อต้มรอบต่อไป ดังรูปที่ 2.3 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์โดยวิธีการต้ม



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 เมื่อผ่านกระบวนการนี้ แล้วจะได้ น้ำเกลือใสและตะกอนออกมาโดยที่ตะกอนนั้น จะแยกไปยังบ่อบำบัด และน้ำเกลือจะผ่านต่อไปเก็บยังถังเก็บน้ำเกลือ

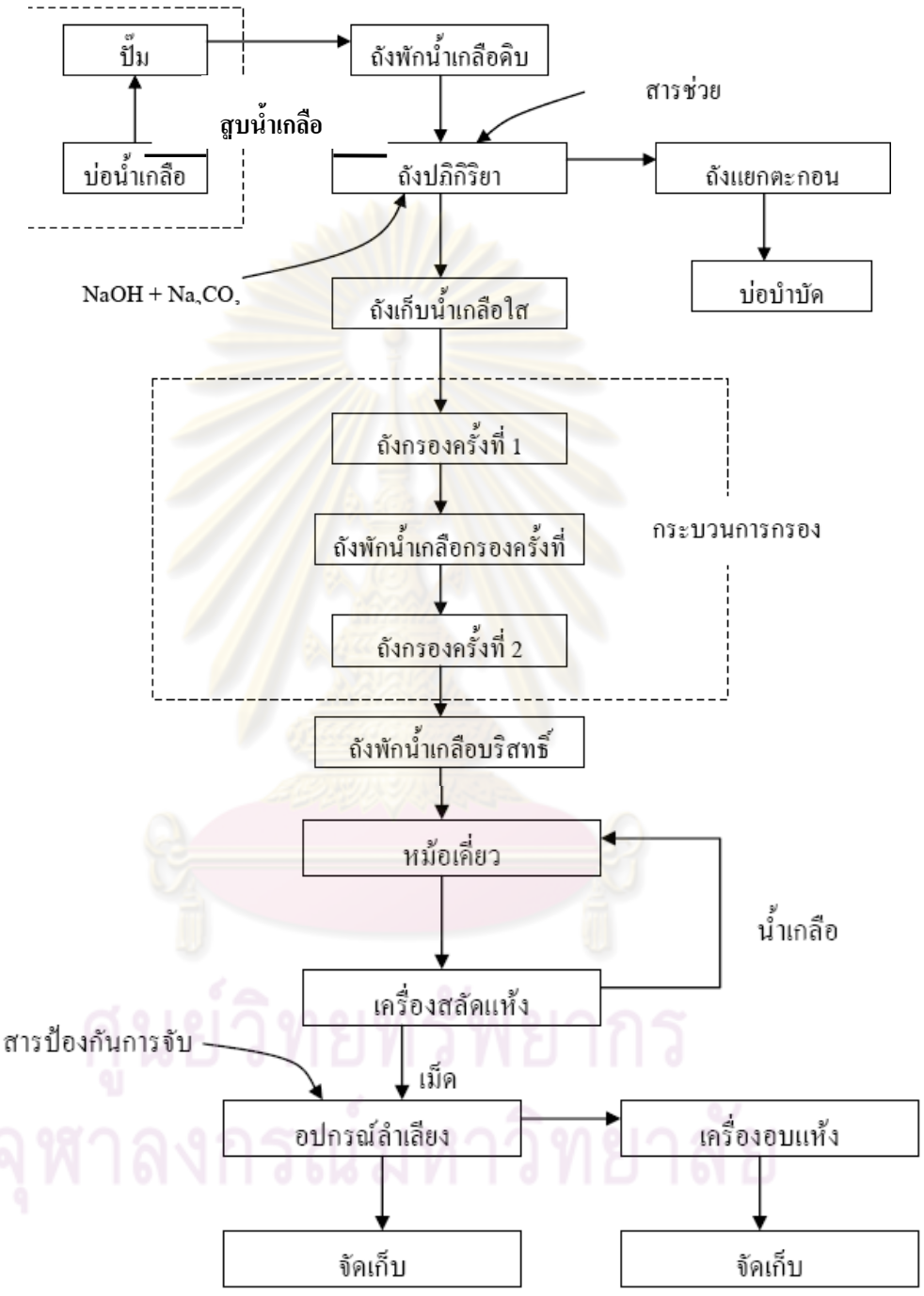
4. กรอง การกรองเป็นการนำน้ำเกลือจากถังเก็บน้ำเกลือใสซึ่งในกระบวนการนี้มีการกรอง 2 รอบด้วยกัน เพื่อให้น้ำเกลือที่ได้นั้นบริสุทธิ์

5. การเคี่ยวหรือต้ม เป็นกระบวนการที่นำน้ำเกลือบริสุทธิ์ที่ผ่านการกรองมาแล้วมาทำการเพิ่มความเข้มข้นโดยการเคี่ยวหรือต้มให้น้ำระเหยออกไป โดยเมื่อน้ำระเหยออกไปแล้วเกลือที่เหลืออยู่จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งตกตะกอนออกมาเป็นเม็ดเกลือ

6. กระบวนการสลัดแห้ง เม็ดเกลือที่ได้นั้นบางส่วนจะมีน้ำปนเข้ามาด้วย ซึ่งจะสามารถแยกน้ำออกจากเกลือหลังจากการเคี่ยวแล้วได้โดยการสลัดแห้ง ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วจะได้เกลือและน้ำโดยน้ำที่ออกมาจะไหลเวียนเข้าสู่กระบวนการเคี่ยวอีกเพื่อทำการเคี่ยวให้ได้เม็ดเกลือออกมาอีกเพราะน้ำส่วนนี้ยังมีเกลือเจือปนอยู่ และเกลือจะออกมายังเครื่องลำเลียงโดยในขณะทำการลำเลียงนั้นก็จะทำการเติมสารป้องกันการจับตัวของเกลือลงไปด้วย

7. กระบวนการอบแห้ง เมื่อได้เกลือออกมาแล้วแต่เกลือยังมีปริมาณความชื้นอยู่ซึ่งจะสามารถลดความชื้นของเกลือได้โดยการนำเกลือมาอบ เพื่อให้ได้เกลือที่มีความชื้นตามต้องการ

กรรมวิธีการผลิตเกลือโดยระบบเคี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบเคี่ยว



ที่มา: ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

รูปที่ 2.4 แสดงลำดับกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์แบบเคี่ยว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 **ข้อดีของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยวในรูปแบบอุตสาหกรรมขนาดกลาง**

ข้อดีของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคียวนั้นจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตเกลือและความสามารถในการแข่งขันในตลาดเกลือของผู้ประกอบการรายย่อยในภาคอีสานได้เป็นอย่างดี อีกทั้งกรรมวิธีการผลิตแบบนี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผลิตเกลือในปัจจุบัน ดังนี้

1. **ด้านสิ่งแวดล้อม**

-ลดการทำลายป่าไม้ การผลิตด้วยการต้มในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังใช้ฟืนเป็นแหล่งพลังงานเพราะกรรมวิธีการต้มที่ล้าสมัย แต่ด้วยกรรมวิธีการต้มที่ทันสมัยนี้จะนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ในการผลิต ทำให้สามารถลดการตัดไม้มาทำเชื้อเพลิงได้

-ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาของบริเวณใกล้เคียงเพราะการผลิตด้วยวิธีนี้จะไม่มีน้ำเกลือซึมผ่านออกนอกรอบเหมือนการผลิตแบบลานตาก

2. **ด้านเศรษฐกิจ**

-ต้นทุนการผลิตต่ำเนื่องมาจากมีเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะต่อการผลิตเพื่อการอุตสาหกรรม

-สามารถทำการเกษตรรอบนอกบริเวณการผลิตเกลือได้

-เกลือที่ได้จากกระบวนการผลิตเป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาสูงถึงประมาณตันละ 1,000 บาท เมื่อเทียบกับการผลิตแบบลานตาก

3. **ลดผลกระทบทางสังคม**

-การผลิตเกลือด้วยกรรมวิธีการผลิตนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาในบริเวณข้างเคียงทำให้สามารถลดการต่อต้านจากชุมชนข้างเคียงผู้ประกอบเกษตรกรรมแบบอื่น จึงเป็นแนวทางในการลดปัญหาทางสังคมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้

2.3.5 **ข้อเสียของกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการเคี่ยวในรูปแบบอุตสาหกรรมขนาดกลาง** (ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

1. พื้นดินทรุดเกิดจากการสูบน้ำเกลือใต้ดินขึ้นมามากเกินไป ถ้าไม่มีการอัดระบายน้ำกลับคืนจะทำให้เกิดช่องว่างใต้ผิวดิน เกิดการทรุดตัวของดิน

2. การลงทุนเริ่มแรกมีมูลค่าค่อนข้างสูง

2.4 ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์

ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์มีผลกระทบในด้านต่างๆ ดังนี้

2.4.1 **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** มีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งก็คือ

1. การทำลายป่าไม้ การผลิตเกลือโดยการต้มส่วนใหญ่เป็นการต้มส่วนใหญ่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพราะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่นถ่านหินน้ำมันเตาที่ต้องใช้อุปกรณ์ในการช่วยสันดาปอีกค่อนข้างมาก

2. พื้นดินทรุดเกิดจากการสูบน้ำเกลือใต้ดินขึ้นมามากเกินไป ใช้กรรมวิธีการสูบที่ไม่ถูกต้องการอัดฉีดน้ำลงไปละลายเกลือ การใช้ลมอัดดันน้ำเกลือขึ้นมา โดยไม่มีการอัดระบายน้ำกลับคืน ทำให้เกิดช่องว่างใต้ผิวดิน เกิดการทรุดตัวของดิน

3. ผลกระทบทางนิเวศ เกิดจากการระบายน้ำเกลือลงสู่พื้นที่ข้างเคียง ทำให้พื้นที่ใกล้เคียงไม่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรหรืออุปโภคบริโภคได้

2.4.2 **ผลกระทบทางเศรษฐกิจ** การผลิตเกลือสินเธาว์เป็นการนำทรัพยากรใต้ดินมาเพิ่มมูลค่า หรือจำหน่ายโดยตรงแต่ยังไม่มีการควบคุมการใช้ทรัพยากรดังกล่าวอย่างเหมาะสม คือ

1. การผลิตเกลือยังใช้เทคนิคและกรรมวิธีที่ล้าสมัย ทำให้การผลิตมีต้นทุนที่สูงไม่มีประสิทธิภาพ มีการใช้ทรัพยากรอย่างไม่คุ้มค่า

2. การที่สูบน้ำเกลือขึ้นมาเพื่อการผลิตยังมีปัญหาเกี่ยวกับการตีความเกี่ยวกับแร่ทางกฎหมาย และการกำหนดหลักเกณฑ์ที่แน่นอนของการขุดเจาะ ทำให้มีนักลงทุนจากต่างถิ่นเข้ามาทำหารลงทุนโดยที่ท้องถิ่นไม่ได้รับผลประโยชน์ตอบแทน

3. การผลิตเกลือที่มีการควบคุมน้ำเสียไม่ดีพอ เกิดปัญหารั่วไหล เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ ผลผลิตทางการเกษตรเสียหายเป็นพื้นที่กว้างคิดเป็นมูลค่ามาก

4. รัฐต้องเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และค่าใช้จ่ายในการทดลองวิจัยอุปกรณ์กรรมวิธีการผลิต ซึ่งส่วนใหญ่ไม่มีการนำไปใช้ปฏิบัติ

2.4.3 **ผลกระทบทางสังคม**

การผลิตเกลือสินเธาว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการต่อต้านจากชุมชนใกล้เคียง และถูกมองภาพในฐานะผู้สร้างปัญหาแก่สิ่งแวดล้อม เกิดความขัดแย้งนำไปสู่ปัญหาสังคมเกลือสินเธาว์เป็นทรัพยากรที่มีมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจมากซึ่งในปัจจุบันการผลิตเกลือในภาคอีสานนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้บริเวณรอบๆ การผลิตเกลือไม่สามารถทำการเกษตรได้ซึ่งหากได้รับการพัฒนากรรมวิธีการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสม ก็จะสามารถลดปัญหาที่เกิดได้และจะสร้างรายได้ชุมชนและประเทศชาติได้อีกด้วย (ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

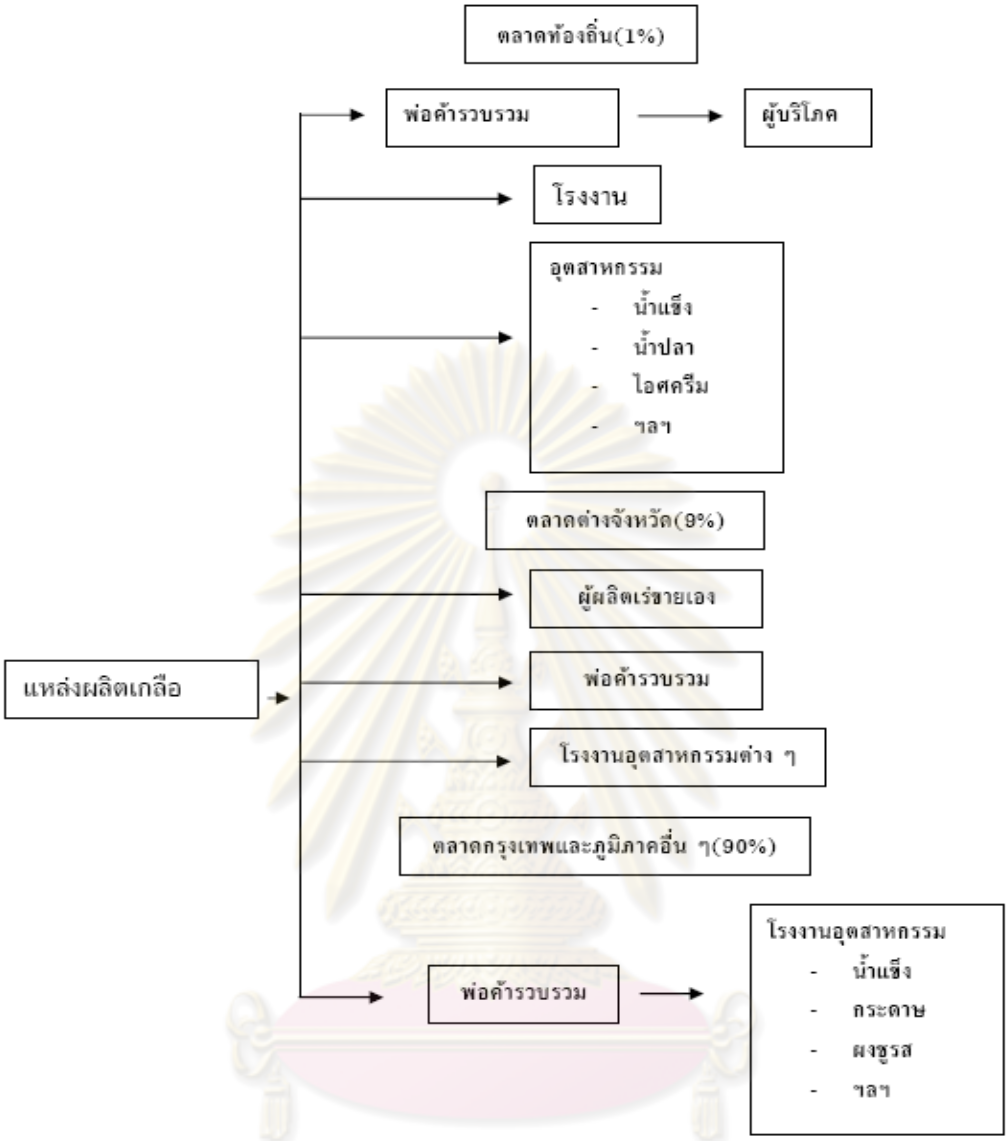
2.5 ตลาดเกลือสินเธาว์

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

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



ที่มา : ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

รูปที่ 2.5 แสดงระบบตลาดของเกลือสินเธาว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 2.1 แสดงราคาเกลือสินเธาว์ในภาคอีสาน

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

ที่มา: ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกลือสินเธาว์ที่ผลิตได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณร้อยละ 90 จะถูกพ่อค้ารวบรวมส่งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในภาคกลาง ตลาดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งจะมีประมาณร้อยละ 10

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 การทำให้เกิดการแตกตัวของโปรตีนในเนื้อปลาโดยจุลินทรีย์และเอนไซม์ในตัวปลา ในการทำปลาร้าเริ่มจากการใช้ปลาที่สะอาดเคล้ากับเกลือแล้วหมักในภาชนะที่ให้ปลาจมอยู่ในน้ำเกลือ 1 วัน แล้วนำปลาที่ได้มาอัดลงไหให้แน่น เพื่อให้น้ำออกมาจากตัวปลา ถ้าน้ำไม่ท่วมก็ให้นำน้ำเกลือเก่าเติมลงไป ทิ้งไว้ 3 เดือน จะได้กลิ่นจากการแตกตัวของโปรตีนและเนื้อปลาจะนิ่ม อาจเติมข้าวคั่ว เพื่อให้กลิ่นดีขึ้น หลังจากคลุกข้าวคั่วแล้วต้องเติมน้ำเกลือลงไปอีก จากนั้นหมักต่ออีก 2 เดือน ก็จะได้ปลาร้า

-ปลาเจ่า เป็นการหมักปลาเช่นเดียวกับปลาร้า แต่จะมีรสชาติต่างไป เนื่องจากมีการหมักจาก Lactic Acid Bacteria และยีสต์ ขั้นตอนการทำเริ่มจากการนำปลาที่สะอาดมาหมักกับเกลือ แล้วอัดใส่ไหไว้ 3 วัน จากนั้นนำปลามาตากแดดให้แห้งหมาด ๆ แล้วคลุกกับดินประสิว และข้าวหมาก แล้วนำไปอัดใส่ไหให้แน่นปิดฝาทิ้งไว้ 15 วัน ก็จะได้ปลาเจ่านำมารับประทานได้

-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 ทำโดยการแช่ไว้ในน้ำเกลืออิ่มตัว ประมาณ 20 วัน โดยให้ไข่จมอยู่ใต้น้ำเกลือตลอด แล้วนำมาต้ม

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

3. อุตสาหกรรมผักและผลไม้

-การใช้เกลือในอุตสาหกรรมผักและผลไม้นั้นส่วนใหญ่จะใช้เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์หมักดอง 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 (หัวไช้โป้) เป็นอาหารชนิดที่ต้องการความเค็มอย่างเดียวซึ่งทำได้โดยนำมาดองกับเกลือที่เข้มข้นไม่มากแต่ต้องค่อย ๆ ตากให้แห้ง ซึ่งเป็นผลทำให้ความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น เมื่อแห้งได้ที่แล้วความเข้มข้นเกลือ และน้ำในอาหารที่เหลือจะเพียงพอต่อการถนอมอาหารนั้น ๆ

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

-ซีอิ้ว (Soy Sauce) ใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ โดยการนึ่งแล้วนำมาคลุกกับแป้งสาลีหรือรำข้าวสาลี แล้วเติมเชื้อรา Aspergillus Oryzae หรือ Aspergillus Soyae เมื่อ

ราเจริญดี แป้งในถั่วจะถูกย่อยให้กลายเป็น Glucose, Maltose และ Dextrins จากนั้นนำถั่วมาแช่น้ำเกลือ แล้วหมักตากแดดเป็นเวลา 2 – 6เดือนขึ้นไป จะได้ซีอิ้วตามต้องการ เรียกซีอิ้วน้ำแรกซึ่งหลังจากสูบน้ำซีอิ้วออกไปแล้ว เราสามารถเติมน้ำเกลือลงไปหมักต่อได้อีกโดยหลักการคือในระหว่างการหมักนั้น จุลินทรีย์พวก Lactic Acid Bacteria จะเจริญและสร้างกรดขึ้นซึ่งเป็นผลให้เชื้ออื่นที่ปนมาหยุดเจริญ และเชื้อ Bacillus Subtilis และยีสต์ที่สามารถเจริญในซีอิ้วได้จะทำหน้าที่สร้างกลิ่นให้ผลิตภัณฑ์ และเมื่อมีการระเหยของน้ำออกไป จะทำให้เกลือมีความเข้มข้นมากขึ้นจนในที่สุด จุลินทรีย์ต่าง 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 ถ้าต้องการอุณหภูมิต่ำกว่านี้ควรใช้เกลือตัวอื่น เช่น เกลือแคลเซียมคลอไรด์

5. ใช้ในการจัดมาตรฐานอาหาร

-การจัดแบ่งมาตรฐาน (Grading) ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น นับว่าสำคัญ เพื่อให้ได้อาหารที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น ถั่ว (Pea, Bean) ความอ่อน แก่ จะแปรผันกับน้ำหนัก ดังนั้น น้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะที่ต่างกัน จะมีประโยชน์ในการนำมาใช้คัดแยกถั่วเกรดต่าง ๆนอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกที่มีความต้องการนำเกลือไปใช้เป็นวัตถุดิบใน อุตสาหกรรมดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 (ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

ตารางที่ 2.2 แสดงความต้องการใช้เกลือในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

บริษัท	ปริมาณความต้องการ (ตัน/ปี)	หมายเหตุ
บริษัทไทยอาซาฮีโซดาไฟ จำกัด	100,000	
บริษัท สหศรีชัย	50,000	
บริษัทราชาชูรส	30,000	
บริษัทอายิโนะโมะโต๊ะ	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

เดิมประเทศญี่ปุ่นเป็นลูกค้าที่นำเข้าเกลือจากประเทศไทย เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากรายใหญ่ที่สุด ต่อมาได้หันไปซื้อเกลือจากประเทศออสเตรเลีย

และอินเดียเนื่องจากเกลือทะเลของประเทศไทยมีความเค็มต่ำ 85 – 88 % และเกลือจากประเทศไทยมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า โดยที่ปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นตลาดใหญ่ที่สุดมีความต้องการใช้เกลือประมาณ 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 (ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

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	ชิชิลี	เกลือแกง
14	ฟิลิปปินส์	เกลือแกง
15	กัมพูชา	เกลือแกง
16	ศรีลังกา	เกลือแกง
17	ปาปัวนิวกินี	เกลือแกง
18	เมียนมาร์	เกลือแกง

ที่มา : การนำเข้าเกลือ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค, 2548

2.6.2 การนำเข้า

การนำเข้าเกลือมีเพียงเล็กน้อยเพื่อใช้ในการวิจัย และเคมีภัณฑ์บางอย่างเท่านั้น ยกเว้นช่วงปี 2525 ประเทศไทยเกิดภาวะขาดแคลนเกลือในประเทศจึงได้มีการนำเข้าเกลือจากประเทศออสเตรเลียและอินเดีย จำนวน 30,000 ตัน เพื่อใช้ในงานโซดาไฟและผงชูรส เป็นต้น (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

จากการสำรวจข้อมูลทั่วไปการผลิตเกลือสินเธาว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพอสรุปแนวทางเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดินซึ่งไม่ส่งผลกระทบก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและอันตรายต่อชีวิตชุมชนทั่วไปเช่นกรณีหลุมยุบ (รูปที่ 2.6) และการปล่อยน้ำเกลือปะปนออกนอกพื้นที่การผลิตเกลือได้แก่การทำผลิตน้ำเกลือโดยวิธี Solution Mining ซึ่งเมื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิตแล้ว ประมาณไม่เกิน 50 บาทต่อตันเกลือที่ผลิตได้ ในขณะที่เทคโนโลยีการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดินซึ่งชาวบ้านรายย่อยทำกันทั่วไปมีค่าใช้จ่ายน้ำเกลือประมาณ 57-125 บาทต่อตันเกลือที่ผลิตได้ ดังนั้นถ้ามีระบบจัดการวางแผนงานที่ดีการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำเกลือโดยวิธีวิธีการทำเหมืองละลายแร่ สามารถนำมาประยุกต์แก้ปัญหาการนำน้ำเกลือแบบชาวบ้านรายย่อยช่วยลดผลกระทบต่างต่อชุมชนได้ รวมทั้งมีข้อดีทำให้ผู้ผลิตเกลือมีต้นทุนในการนำน้ำเกลือขึ้นมาลดลงด้วย (ศูนย์เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2548)

ที่มา : ยิ่งศักดิ์ งามฉวีพันธุ์ หนังสือพิมพ์ฝึกปฏิบัติ สาขาวิชาการสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2551

รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดหลุมยุบ

2.9 เทคโนโลยีการนำน้ำเกลือขึ้นจากใต้ดิน

วิธีการทำเหมืองละลายแร่ (Solution Mining) การทำเหมืองละลายแร่โดยวิธี (Solution Mining) (แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2552) ซึ่งมีขั้นตอนวิธีการทำเหมืองดังนี้

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 กรัมต่อลิตร 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) หลังจากเจาะเก็บแท่งเกลือตัวอย่างแล้วต้องเจาะขยายรู 12¼ นิ้ว ลงไปถึงระยะความลึก 185-195 เมตร เพื่อลงท่อกันพัง ขนาด $9^{5}/_{8}$ นิ้วและในขณะที่เจาะขยายรูจะต้องวัดทิศทางของรูเจาะทุก ๆ ระยะ 15 เมตรที่ Ream ลงไปโดยควบคุมให้เบนจากแนวดิ่ง 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) เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนไหลเลย ไปยังชั้นเกลือที่จะละลาย สำหรับส่วนผสม ของสารที่ใช้อุด มีส่วนผสมดังนี้ สารปรับความหนืด (CMC) 18 กิโลกรัม เบนโทไนต์ 40 กิโลกรัม น้ำโคลนที่ใช้เจาะในช่วงแรก

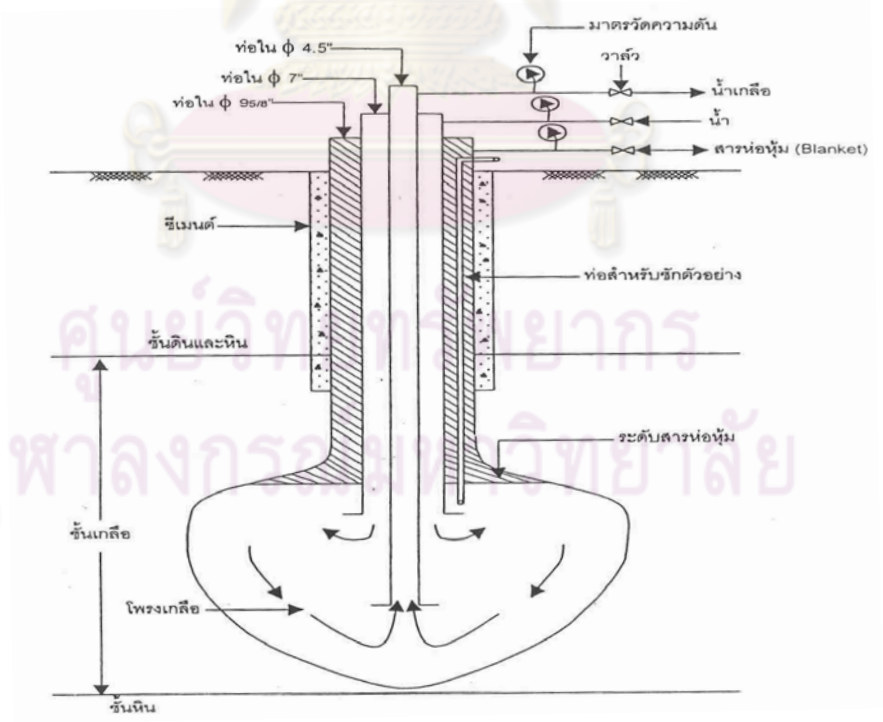
162 กิโลกรัม โซดาไฟ 5 กิโลกรัม เกลือ 300 กิโลกรัม น้ำ 680 ลิตร การอัดน้ำปูนจะอัดด้วยปั๊มแรงดันสูงอัดจนกระทั่งน้ำปูนไหลล้นขึ้นมาจึงหยุดปล่อยให้ซีเมนต์แข็งตัว (Setting)

7. การล้างหลุมเจาะ หลังจากซีเมนต์แข็งตัวแล้ว 72 ชั่วโมงจะล้างรูเจาะด้วยการใช้หัวเจาะขนาด 8½ 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 4½ นิ้ว ชั้นคุณภาพเดียวกับ Casing $9^{5}/_{8}$ นิ้ว ระดับความลึกของท่อทั้งสองชั้นนี้ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในการวางแผนการละลาย เพื่อพัฒนาโพรงเกลือ (Leaching Program) จะมีการยกระดับท่อเพื่อปรับตามแผนละลายเป็นระยะ ๆ

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

การเจาะและลงท่อเพื่อละลายแร่เกลือหินแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงรายละเอียดของการทำเหมืองละลายแร่



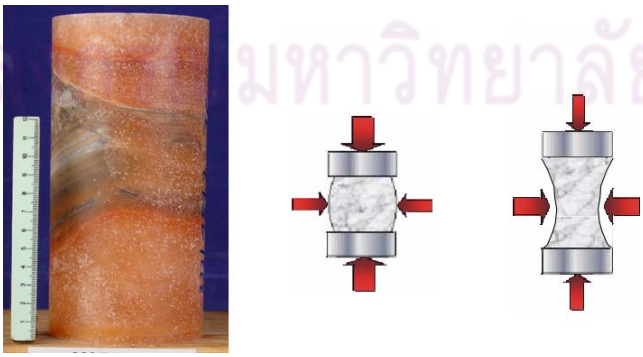
ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2552

รูปที่ 2.7 แสดงรายละเอียดการทำเหมืองละลายแร่

2.9.2 การละลายแร่เกลือหิน

เนื่องจากระดับของชั้นเกลือ ความหนาของชั้นเกลือ คุณลักษณะและโครงสร้างของเกลือหินและสภาพของพื้นดินในแต่ละแห่งจะแตกต่างกันออกไป ฉะนั้นในการละลายโพรงเกลือจำเป็นจะต้องทดสอบคุณสมบัติทุกๆ อย่างของเกลือหินเฉพาะแหล่ง เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบเพื่อสามารถควบคุมโพรง ที่เกิดขึ้น ให้อยู่ในขอบเขตและจะได้เป็นการนำเกลือหินเพื่อขึ้นมาให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด จะได้ไม่เป็นการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติโดยเปล่าประโยชน์ เริ่มจากการเจาะแต่ละครั้งจะต้องเก็บตัวอย่างแท่งเกลือ (Salt Core) ตลอดความหนาของชั้นเกลือทุกชั้น ทำการศึกษาสภาพของชั้นดินบริเวณนั้น เพื่อศึกษาถึงความแข็งแรงโดยนำตัวอย่างแท่งเกลือหินที่ได้มาเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบหาค่าของความแข็งแรง ค่าความเร็วในการละลายในน้ำ (Leaching Velocity of Rock Salt), วิเคราะห์ สารประกอบแร่ที่มีอยู่ ประเภทและปริมาณของสารเจือปนที่ไม่ละลายน้ำเป็นต้น ในการทดสอบนี้จะต้องใช้ห้องปฏิบัติการที่ทันสมัย เพื่อจะได้ข้อมูล ที่ถูกต้อง และพอเพียงที่จะออกแบบรูปร่างขนาดของโพรงได้ หลังจากที่ทดสอบ และคำนวณได้ค่า ต่างๆ และออกแบบตามความต้องการแล้วก็ต้องวางแผนพัฒนาบ่อและติดตั้งท่อบ่อ (Well Casing) จากนั้นก็จะมีการติดตั้งท่อ ชั้นในอีก 2 ท่อตามแผนที่ระบุระยะเวลาหรือขนาดโพรงที่วางไว้ล่วงหน้า ขนาดของท่อและระดับที่จะติดตั้งได้มาจากการคำนวณวางแผนออกแบบทั้งสิ้น การที่ต้องมีท่อหลายชั้น เพราะจะต้องมีการควบคุมขนาดของโพรงโดยใช้น้ำมันใส่ลงไป และมีท่อส่งน้ำลงไป และช่องทางไหลกลับของน้ำเกลือด้วย สิ่งสำคัญอีกอย่างคือ จะต้องมีการอัดซีเมนต์รอบๆ ท่อ (Cement Grouting) อย่างดีและทดสอบอัดแรงดันไม่ให้รั่วซึมได้ เพื่อกันน้ำใต้ดินเข้าไปในบ่อหรือน้ำเกลือ/น้ำมันรั่วซึมออกนอกบ่อได้ (ดูรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9 ประกอบ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



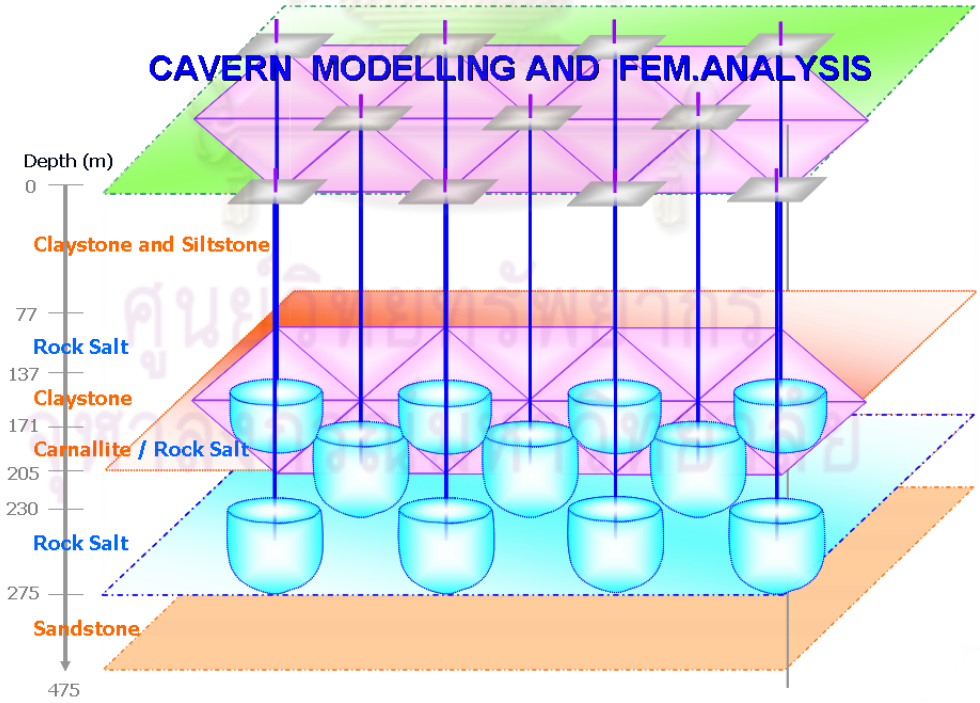
ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2552

รูปที่ 2.8 การทดสอบหาค่าความแข็งแรงของชั้นเกลือหิน

ที่มา: แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2552

รูปที่ 2.9 การทดสอบหาค่าความเร็วในการละลายน้ำ (Leaching Test)

ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาล่าสุดในปัจจุบัน วิศวกรสามารถควบคุมได้ทุกอย่างไม่ว่าโพรงจะอยู่ใต้ดิน ที่ความลึกของชั้นเกลือ ความหนาของชั้นเกลือจะเป็นเท่าใดก็ตามสามารถทำได้ทั้งนั้น และจะต้องมี การตรวจสอบโพรงที่เกิดขึ้นเพื่อเทียบกับการคำนวณเป็นระยะ (รูปที่ 2.10)



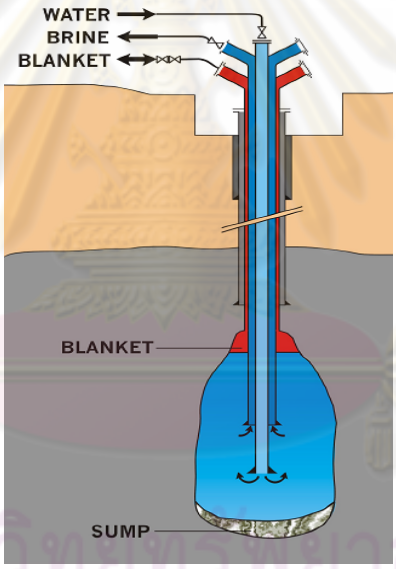
ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2552

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการออกแบบรูปร่างขนาดของโพรงเกลือจากผลการคำนวณ

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

1. Direct Leaching Method

เป็นการอัดน้ำเข้าไปทางท่อใน และได้น้ำเกลือออกมาระหว่างท่อนอกกับท่อใน การละลายแบบนี้จะทำให้ละลายเกลือด้านล่างมากกว่าและน้ำเกลือที่ได้จะไม่เข้มข้นพอที่จะส่งไปโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตเกลือได้ (ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 กรัมต่อลิตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



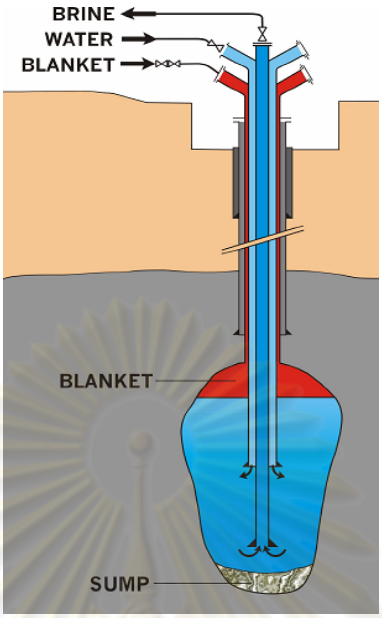
ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2552

รูปที่ 2.11 Direct Leaching Method

2. Indirect Leaching Method

เป็นการอัดน้ำเข้าไประหว่างท่อนอกกับท่อใน และได้น้ำเกลือเข้มข้นออกมาจากท่อในการละลาย แบบนี้จะทำให้ละลายเกลือด้านบนและด้านล่างมากกว่าและน้ำเกลือที่ได้จะมีความเข้มข้นมากกว่าวิธี Direct Leaching Method ซึ่งความเข้มข้นนี้จะมากพอที่จะส่งไปโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตเกลือได้ (ความเข้มข้นมากกว่า 310 กรัมต่อลิตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา : แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2552

รูปที่ 2.12 Indirect Leaching Method

ตามปกติแล้วจะต้องมีการสับเปลี่ยนวิธีการละลาย เพื่อควบคุมโพรงที่เกิดให้ขนาดและรูปร่างอยู่ในขอบเขตที่ต้องการ ในการทำ Solution Mining ด้วยวิธีนี้สำคัญที่สุดคือ Blanket ซึ่งอยู่รอบนอกจะเป็นตัวป้องกันและควบคุมระดับความสูงของการละลายโพรงในแต่ละ Step Blanket ที่ว่านี้อาจจะเป็น Compressed Air, Oil, LPG ก๊าซธรรมชาติหรืออื่นๆ ที่ไม่เป็นตัวละลายเกลือหิน Blanket นี้จะถูกอัดด้วยความดันสูง (ขนาดแรงดันได้จากการทดลองและคำนวณในห้องปฏิบัติการ) และจะต้องมีการควบคุมและเติมอยู่เป็นประจำ (สำหรับการทำเหมือง ตามแผนผังโครงการทำเหมืองนี้จะใช้น้ำมันดีเซลเป็น Blanket) ด้วยวิธีการทั้งหมดตามที่กล่าวมาจะสามารถที่จะควบคุมปริมาณของน้ำเกลือและความเข้มข้นของน้ำเกลือได้

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)

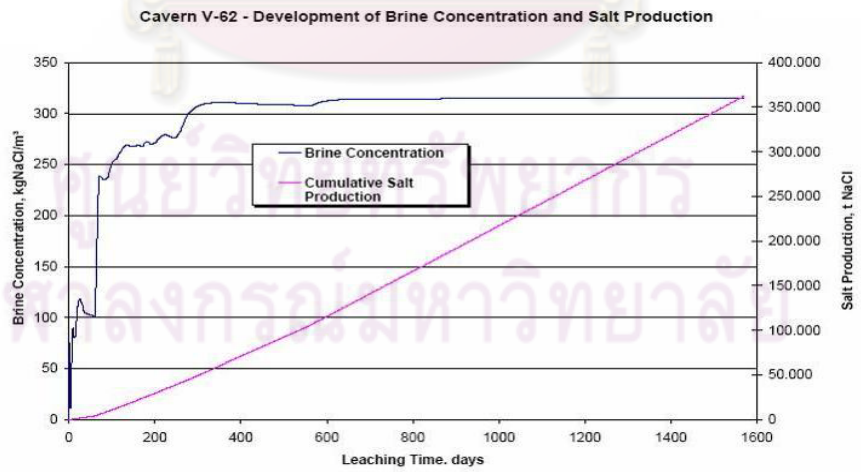
ก่อนที่จะเริ่มทำการละลายเกลือ จะต้องทำการอัดน้ำมันไปควบคุมไม่ให้น้ำละลาย เกลือด้านบน ซึ่งน้ำมันนี้จะมีคุณสมบัติเบากว่าน้ำ และไม่ละลายน้ำและเกลือ

2. **ระยะตั้งกรวยก้นบ่อ** (Sump Phase)

ในการละลายเกลือจะมีสารที่ไม่ละลายที่อยู่รวมกับเกลือหินหลุดออกมาเป็นตะกอนกรวยก้นบ่อนี้ จะทำหน้าที่เหมือนกับที่เก็บตะกอนในโพรงเกลือ โดยกรวยก้นหลุมนี้จะมีลักษณะเป็นกรวยที่มียอดอยู่ด้านล่างการสร้างนี้จะสร้างโดยการละลายแบบ Direct Leaching ยอดกรวยนี้จะทำมุมกับแนวระนาบประมาณ 15 องศา ระยะนี้น้ำเกลือที่ได้จะมีความเข้มข้นไม่อิ่มตัว

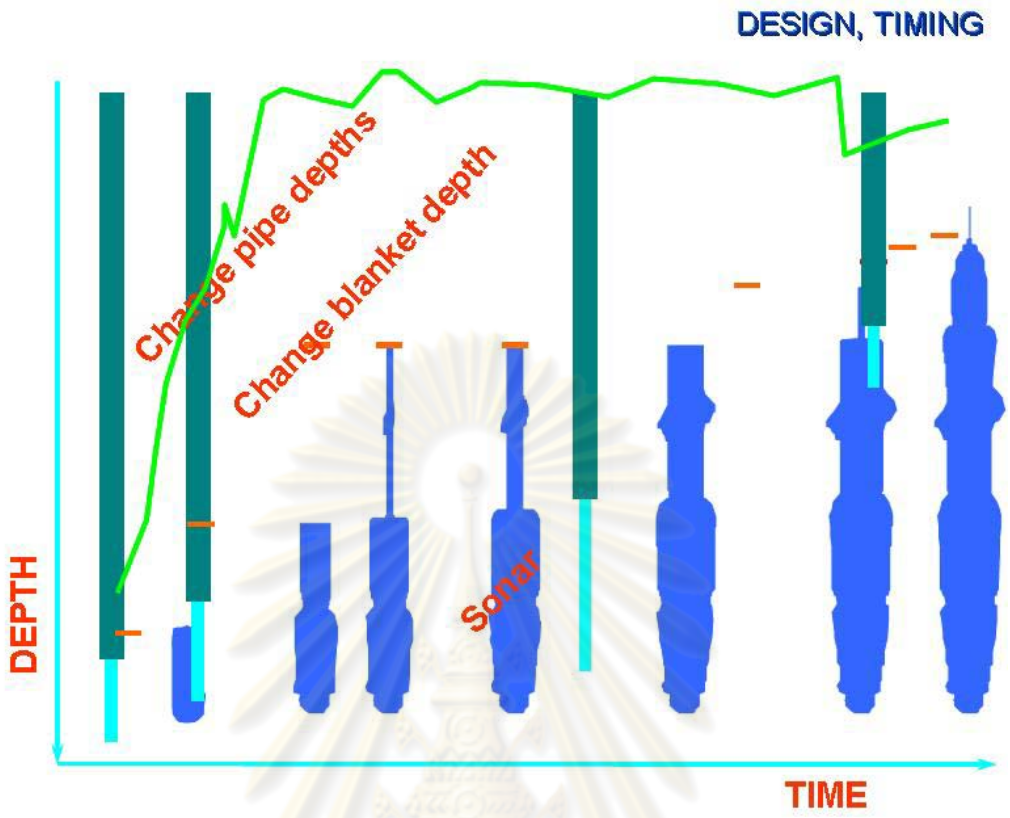
3. **ระยะการผลิต** (Production Phase)

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



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

รูปที่ 2.13 แสดงความเข้มข้นของน้ำเกลือและปริมาณที่ผลิตได้กับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม



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

รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งระดับท่อ Blanket และขนาดโพรงกับช่วงเวลาของหลุมผลิตเกลือ 1 หลุม

4.**การควบคุมโพรงเกลือ** มีวิธีการควบคุมโพรงเกลือหลาย ๆ วิธีการรวมกันคือ

-**การตรวจสอบโพรงเกลือ** (Salt Cavity Surveillance)เพื่อวิเคราะห์ลักษณะโพรง (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 และได้รูปภาพที่สมบูรณ์ของรูปทรงและสภาวการณ์ที่สำคัญรวมทั้งประวัติการพัฒนา รูปร่างและปริมาตรหรือขนาดของโพรงได้ด้วย

-การควบคุมขนาดโพรงโดยสมดุลมวลสาร ในการควบคุมการละลายแร่นั้น การติดตามตรวจสอบการเพิ่มขนาดของโพรงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง เพราะว่าการละลายที่ไม่สม่ำเสมอ ถึงแม้จะในระยะเริ่มต้นสามารถนำมาซึ่งความยุ่งยากในภายหลังได้ และจะต้องไม่ให้การขยายขนาดของโพรงเกินขอบเขตที่กำหนดให้เป็นอันขาด ถึงแม้ว่า Sonar Survey จะแสดงความน่าเชื่อถือ ของการวัดขนาดของโพรงที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน โดยการวัดระยะจากแกนกลางของโพรงถึงผนังที่วัดในแนวระนาบที่ระดับต่างๆ ตามมุมกำหนดต่าง ๆ รอบแกน ประเมินผลได้เป็นรูปร่างและเป็นหลักฐานของโพรงที่มีน้ำเกลือเต็มแต่เนื่องจากการสำรวจ โดย Sonar จะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง จึงมักจะทำเป็นช่วงๆ สำหรับการประมาณการลงทุนเบื้องต้นของเทคโนโลยีการนำน้ำเกลือจากใต้ดิน รวมทั้งข้อดี ข้อเสียพอสรุปได้ดังตารางที่ 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 หลังจากการนำเกลือขึ้นมาจากเหมืองเกลือใต้ดินแล้ว อาจทำได้โดยการละลายน้ำและผ่านกระบวนการผลิตในลักษณะเดียวกันกับน้ำเกลือที่ได้จากเหมืองสารละลาย

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

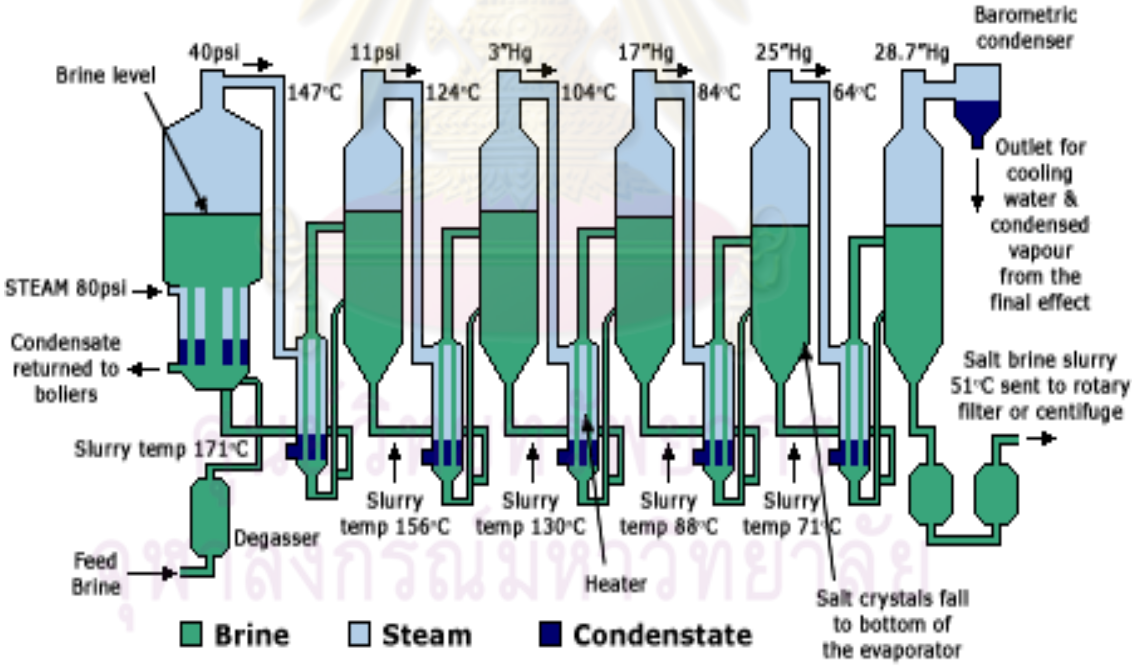
3. **การสูบน้ำบาดาลเค็ม** (Natural Brine Pumping) ในการนำเกลือขึ้นมาใช้ประโยชน์ตามวิธีนี้ น้ำบาดาลเค็มซึ่งเกิดจากการแพร่เข้าไปของ น้ำใต้ดินไปละลายชั้นเกลือจะถูกสูบขึ้นมาใช้ โดยการใช้การอัดอากาศหรือโดยการใช้เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม อนึ่ง การใช้เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มจะพบปัญหาการกัดกร่อนของเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้ไม่มีการใช้ในประเทศที่พัฒนาแล้ว

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

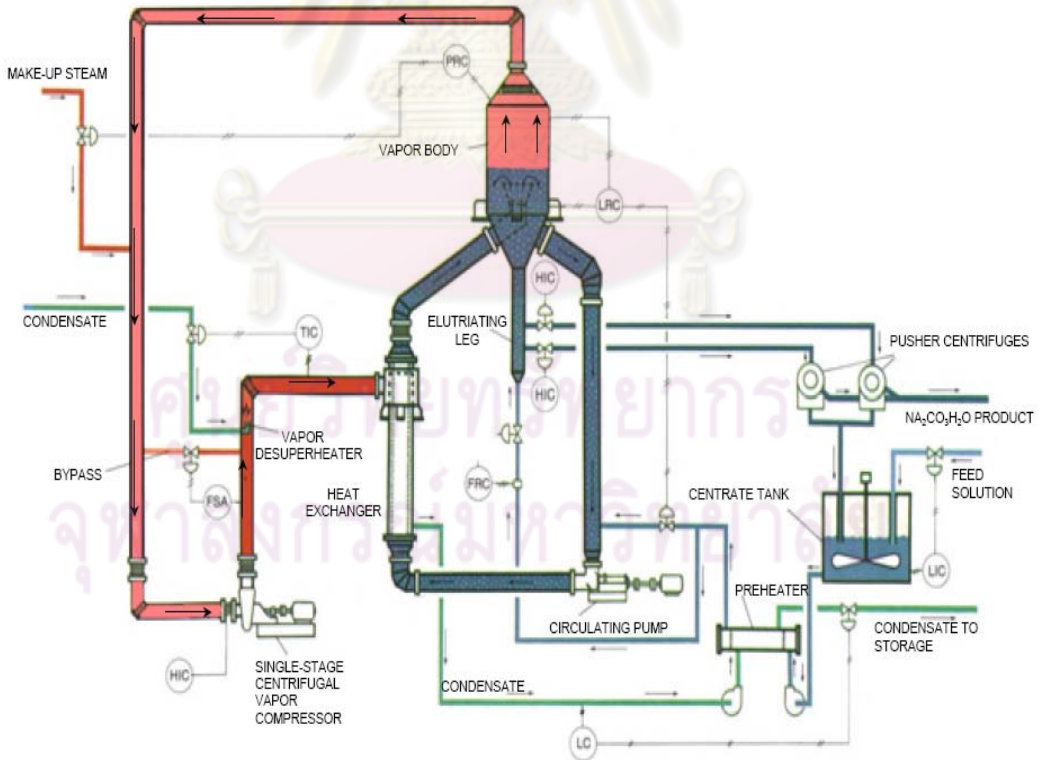
1.การระเหยภายใต้สุญญากาศ ในกระบวนการนี้ น้ำเกลือจะถูกระเหยภายใต้สุญญากาศโดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated Steam) เป็นตัวให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำระเหย ดังแสดงเป็นตัวอย่างใน (รูปที่ 2.15) อนึ่ง ก่อนที่น้ำเกลือจะเข้าไปยังเครื่องระเหย อาจมีการเติมสารเคมีบางตัว อาทิ ในกรณีของบริษัทเกลือพิมายจะมีการเติม โซดาไฟ (NaOH), โซดาแอช (Na_2CO_3) และ แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เพื่อกำจัด โลหะหนัก แคลเซียม และซัลเฟต 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 ซึ่งมีข้อดีโดยนำไอร้อนกลับมาหมุนเวียนด้วยการเพิ่มความดัน ทำให้เป็นไอร้อนใหม่ที่ผ่านการต้มเกลือทั้งนี้น้ำจะถูกกำจัดจนกระทั้งสารละลายน้ำเกลือที่ได้เป็นสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Superheated Solution) ก่อนที่จะถูกผ่านเข้าเครื่องตกตะกอน (Clasifier) เครื่องกรอง (Filter) เครื่องกรองแบบหมุน (Rotary Drum Filter) ซึ่งจะมีตัวปาดผลึกเกลือบนผ้ากรองหรือเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge) ก่อนที่จะนำบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อน (Screen) และอบแห้งต่อ ทั้งนี้เกลือที่ได้จากกระบวนการนี้มีความบริสุทธ์สูงแต่โดยส่วนใหญ่แล้วผู้ใช้กระบวนการผลิตแบบนี้จะเป็นผู้ผลิตเกลือรายใหญ่ อาทิ บริษัทเกลือพิมาย จำกัด และ บริษัทสยามทรัพย์มณีจำกัด เนื่องจากจำเป็นต้องใช้เงินทุนเริ่มต้นที่สูง เกลือที่ได้จากกระบวนการนี้ ส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความบริสุทธ์สูง อาทิ โรงงานผลิตพลาสติก และโรงงาน ผลิตโซดาไฟ ส่วนที่เหลือจึงจะนำไปใช้ในการบริโภค (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)



ที่มา : http://www. whiting.ca

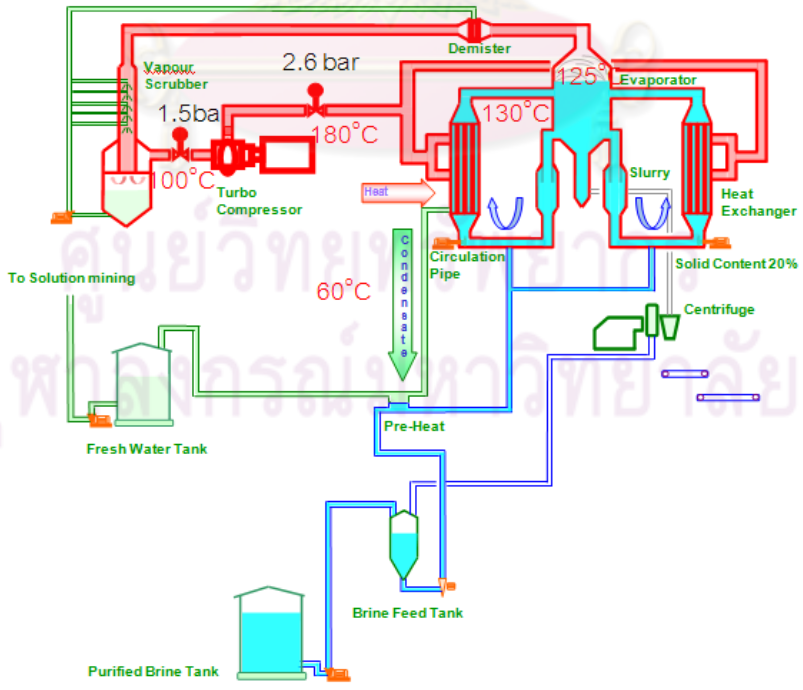
รูปที่ 2.16 กระบวนการผลิตเกลือโดยการระเหยแบบ Mechanical Vapour Recompression

2.12 เทคโนโลยีการตกผลึกเกลือในประเทศ

จากการสำรวจข้อมูลการผลิตเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พอสรุปข้อมูลเทคโนโลยีในการตกผลึกเกลือได้ดังนี้

1. เทคโนโลยีการเคี่ยวเกลือที่ใช้ใน บริษัท เกลือพิมาย จำกัด

ซึ่งมีกำลังการผลิตปัจจุบันรวมประมาณ 1.5 ตัน/ปี แบ่งออกเป็น 5 สายการผลิตเกลือใหญ่ๆ ได้แก่เทคโนโลยีที่ใช้ได้แก่ ระบบ การอัดไอน้ำทางกล (Mechanical Vapour Recompression) ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลายส่วน ดังรูปที่ 2.17 ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Steam Chest) ประกอบด้วยท่อเล็กๆจำนวนมากอยู่ในท่อใหญ่ (Shell and Tube) น้ำเกลือบริสุทธิ์จะถูกปั๊มส่งเข้ามาในท่อจากด้านล่างเพื่อรับความร้อนจากไอน้ำซึ่งอยู่รอบ ๆ ท่อเล็ก ๆ นั้น น้ำเกลือที่ออกจากส่วนบนของท่อจะเดือดและไหลเข้าไปยังหม้อเดี่ยว ระบบหม้อเดี่ยว (Evaporator) น้ำเกลือในหม้อเดี่ยวจะเดือดอย่างรุนแรง น้ำระเหยเป็นไอน้ำและถูกดูดขึ้นไปที่ส่วนยอดของหม้อเดี่ยว ผลึกเกลือจะไหลส่วนล่างของหม้อเดี่ยวไปยังส่วนที่เก็บเกลือ (Salt Leg) น้ำเกลือส่วนหนึ่งจะไหลออกด้านข้างตามท่อที่ต่อกับปั๊มหมุนเวียน (Circulating Pump) มีการเติมน้ำเกลือเข้าที่ท่อนี้ให้หมุนเวียนขึ้นไปรับความร้อนจากไอน้ำที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อตกผลึกใหม่



ที่มา : เทคโนโลยีการเคี่ยวเกลือที่ใช้ใน บริษัท เกลือพิมาย จำกัด, 2551

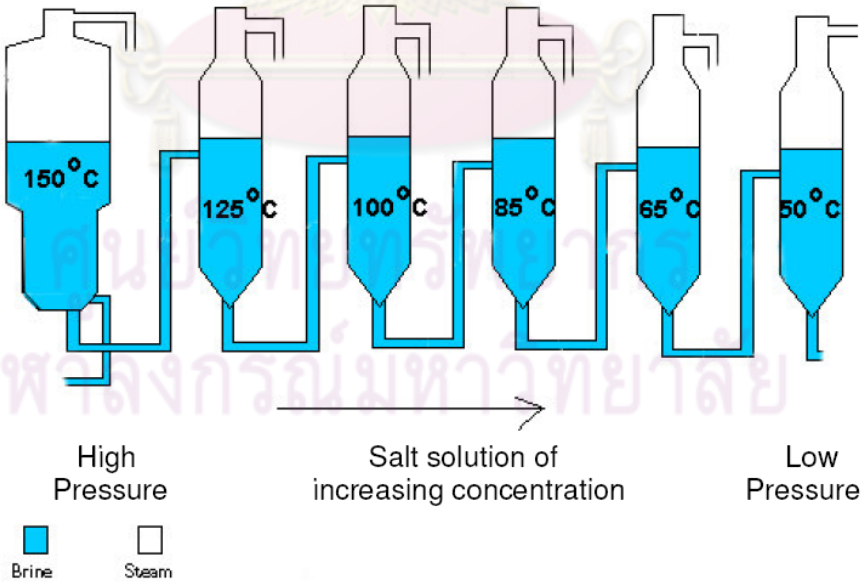
รูปที่ 2.17 การตกผลึกเกลือระบบการอัดไอน้ำทางกล (Mechanical Vapour Recompression)

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 ดังแสดงในรูปที่ 2.18



ที่มา : เทคนิคการเคี่ยวเกลือ บริษัท สยามทรัพย์มณี จำกัด, 2551

รูปที่ 2.18 การตกผลึกเกลือระบบการระเหยภายใต้สุญญากาศแบบ Multiple Effects Evaporator

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เลือกพื้นที่แหล่งน้ำเกลือ

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

3.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำเกลือ

น้ำเกลือที่นำมาทดลองเป็นน้ำเกลือจากแอ่งโคราชของบริษัทเกลือพิมาย เมื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำเกลือ พบว่าน้ำเกลือที่นำมาทดลองพบว่ามีปริมาณ โซเดียม-ไอออน (Na+) และ คลอไรด์ไอออน (Cl-) มากที่สุด แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณไอออนต่าง 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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำมาวิเคราะห์สารประกอบของน้ำเกลือที่นำมาทดลอง ปรากฏว่าน้ำเกลือมีสารประกอบอยู่หลายชนิด ซึ่งมีโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) อยู่มากที่สุด ดังนั้นน้ำเกลือที่นำมาทดลองจะตกผลึกกลายเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งสารประกอบต่าง ๆ ของน้ำเกลือที่นำมาทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงสารประกอบต่าง ๆ ของน้ำเกลือ

Volume (Lites)	Fe_2o_3 (ppm)	$CaCO_3$ (ppm)	$CaSO_4$ $2H_2O$(ppm)	NaCl (ppm)	$MgSO_4$ (ppm)	$MgCl_2$ (ppm)	NaBr (ppm)	KCl (ppm)
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

สารประกอบในน้ำเกลือที่นำมาทดลองมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มากที่สุดซึ่งจะตกผลึกหรือเกิดตะกอนเป็นหินเกลือ และสามารถตกผลึกหรือเกิดตะกอนแร่ได้ดังแสดงที่ 3.3 ดังนี้

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

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนั้น ได้ทำเครื่องต้นแบบ มา 2 เครื่องคือ

1. เครื่องระบบแผงความร้อนรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) จุดประสงค์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเกลือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จากอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ให้เพิ่มถึง 80 องศาเซลเซียส ก่อนนำน้ำเกลือเข้าสู่กระทะต้มเกลือ สำหรับกระบวนการผลิตเกลือโดยวิธีต้มเกลือ ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงาน ประหยัดค่าแกลบ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในการต้มน้ำเกลือ

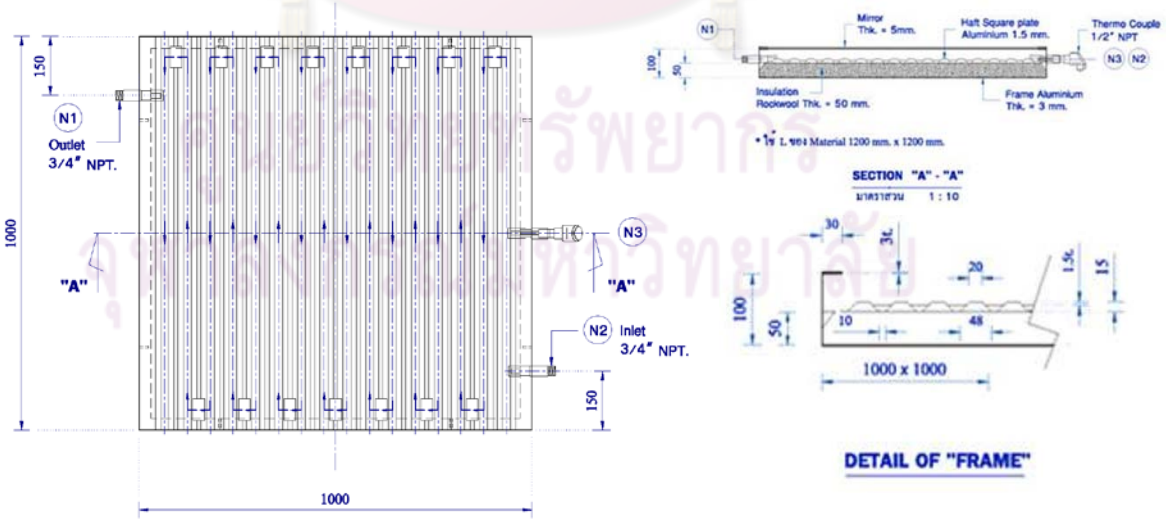
2. ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy) เป็นเครื่องมือที่นำมาแทนที่เครื่องมือเพิ่มค่าความเข้มข้นแบบดั้งเดิมที่เรียกว่า “บ้านญี่ปุ่น” ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือที่มีค่าความเข้มข้นไม่เพียงพอต่อการตกผลึก ซึ่งน้ำเกลือจะถูกสูบผ่านปั๊มน้ำส่งเข้าผ่านหัวฉีดสเปรย์ซึ่งเพิ่มพื้นผิวสัมผัสกับอากาศที่ร้อนจัดภายในตู้กระจก ไอน้ำจะระเหยออกอยากรวดเร็ว ทำให้ย่นระยะเวลาในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ประมาณ 3 – 4 เท่าตัว

ซึ่งเครื่องมือวิจัยทั้งสองแบบนั้นอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและช่วยลดต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิง โดยจุดประสงค์ของเครื่องมือทั้งสองแบบนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเกลือโดยเน้นเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเกลือ กรรมวิธีต้ม และกรรมวิธีตาก เครื่องมือทั้งสองแบบนั้นจะแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

รูปที่ 3.1 แสดงระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือต้นแบบ “บ้านญี่ปุ่น”

3.3.1 ระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)

เป็นเครื่องมือที่เพิ่มประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการผลิตเกลือโดยวิธีการต้มเกลือโดยอาศัยหลักการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มากักเก็บในระบบปิด ทำการดูดกลืนความร้อน มากักเก็บแล้วเปลี่ยนถ่ายความร้อนไปให้น้ำเกลือส่งผลให้น้ำเกลือมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น 80 องศาเซลเซียส ซึ่งรายละเอียดของแบบเครื่องมือแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 แสดง **รายละเอียดระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม** (Half Square Plate) ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ก



รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดแผงวงจรความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม (Half Square Plate)

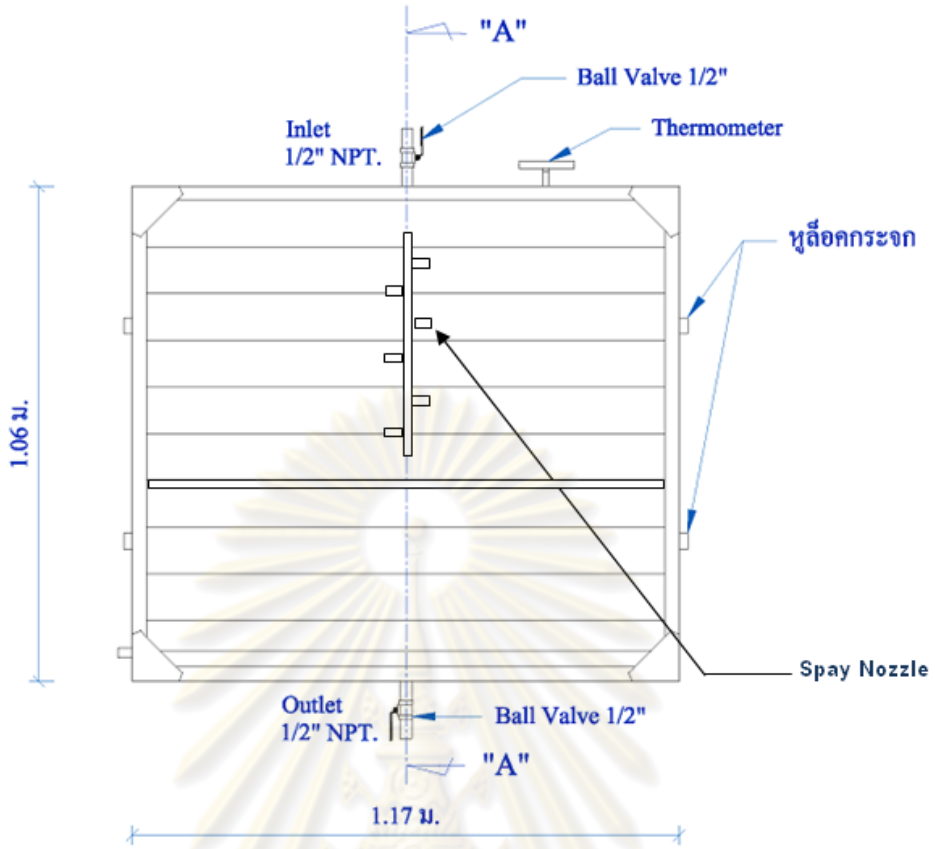
ส่วนประกอบของเครื่องแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)

1. ท่อน้ำออกและวาล์วเปิดปิดควบคุมอัตโนมัติโดยอุณหภูมิ
2. ท่อน้ำเข้าและวาล์วเปิดปิดควบคุมอัตโนมัติโดยอุณหภูมิ
3. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิภายนอกแผ่นความร้อน
4. กระจกกั้นความร้อน
5. แผงระบบวงจรความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม
6. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำเกลือ
7. ตู้ควบคุมวาล์วเปิดปิดอัตโนมัติโดยใช้อุณหภูมิ
8. ปั๊มน้ำ
9. ถังน้ำเกลือ

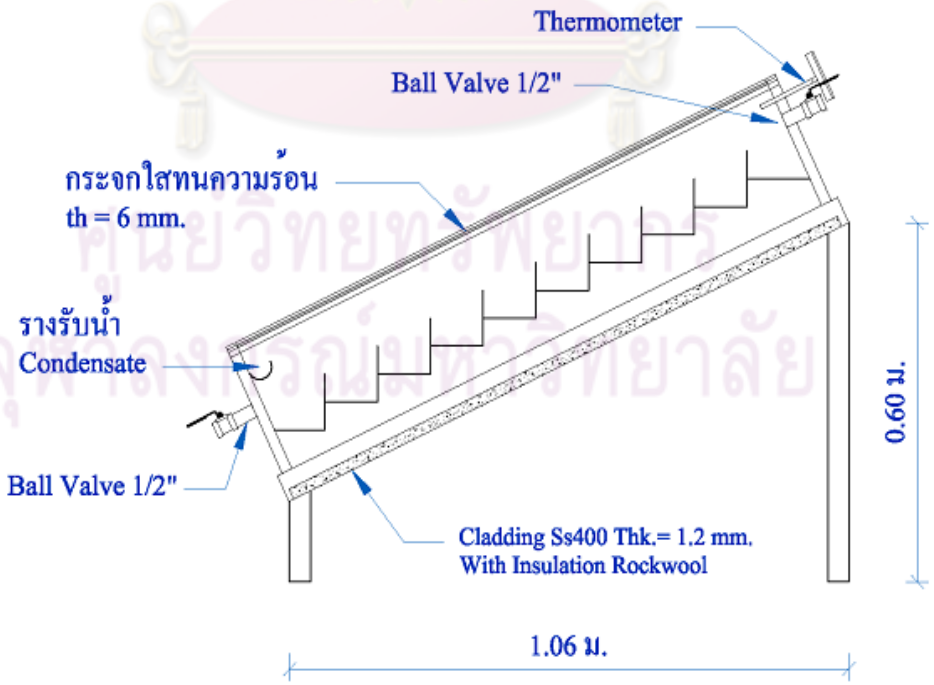
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)

3.3.2 **ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได** (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy)

เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาจาก “บ้านญี่ปุ่น” ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 เป็นเครื่องมือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการผลิตเกลือโดย วิธีการตาก อาศัยหลักการการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มากักเก็บในระบบปิดด้านบน เป็นกระจกเพื่อรับแสงแดดในขณะที่ด้านล่างปิดคลุมด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อน สูบน้ำโดยปั๊มเข้าหัวสเปรย์ออกเป็นละอองขนาดเล็กเพื่อให้ละอองน้ำเกลือเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ ให้มากที่สุดโดยความร้อนในระบบจะทำให้น้ำระเหยออกจากอ่างกักเก็บน้ำเกลือแบบขั้นบันไดแล้วไปกระทบกับแผ่นกระจกซึ่งวางตัวทำมุมกับแนวราบประมาณ 30° ทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นน้ำบริสุทธิ์ไหลแยกออกไปทางรางรับน้ำ ส่วนน้ำเกลือที่เหลือก็จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น รายละเอียดของแบบเครื่องมือแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ก

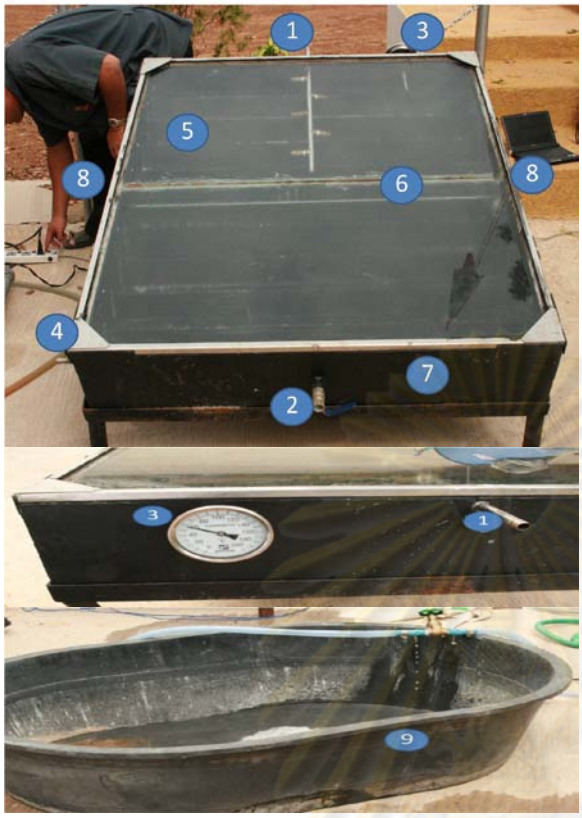


รูปที่ 3.4 ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (ด้านบน)



รูปที่ 3.5 ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (ด้านข้าง)

ส่วนประกอบของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์



1. ท่อน้ำเข้าหัวสเปรย์
2. ท่อน้ำออกสู่ถังพักน้ำเกลือ
3. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิภายในแผ่นความร้อน
4. ท่อออกน้ำควบแน่น (น้ำจืด)
5. แผ่นกระจกเก็บความร้อน
6. แผ่นกระจกกั้นแนวควบแน่นกับแนวสเปรย์น้ำเกลือ
7. ตู้ฉนวนความร้อน
8. รูระบายไอน้ำออก
9. ถังพักน้ำเกลือ

รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์

3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์เพิ่มเติม

1. **เครื่องตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง** ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดค่าความเข้มของแสงสว่าง นำมาใช้วัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองในแต่ละวัน ความเข้มของแสงอาทิตย์ จะส่งผลต่ออุณหภูมิภายในของเครื่องเพิ่มความเข้มข้นน้ำเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์ และระบบแผงวงจรความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม

รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดความเข้มแสงที่นำมาใช้ทดลอง

เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง ซึ่งอ่านค่าเป็น ลักซ์ (ตามกฎกระทรวงฯ เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ.2549) หรือ ฟุตแคนเดิล มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

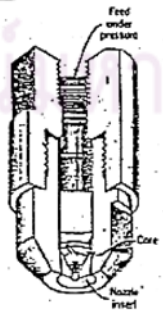
- เซลรับแสง (Photo Cell) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกด้านในเคลือบด้วยสารซิลิกอน (Silicon) หรือ เซเลเนียม (Selenium) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าความเข้มแสงสว่างมาก พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมากตามไปเป็นสัดส่วน เซลรับแสง อาจถูกออกแบบให้โค้งนูนเหล็กน้อยเพื่อให้แสงจากทิศทางต่างๆ ตกกระทบในมุม 90° หรือใกล้เคียงที่สุดได้รอบด้าน

-ส่วนมิเตอร์ (Meter) ส่วนนี้จะรับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลรับแสง และแสดงค่าบนหน้าจอเป็นความเข้มแสงสว่าง

-คุณลักษณะของเครื่องมือสามารถวัดความเข้มแสงสว่างได้ ตั้งแต่ 0 ถึงมากกว่า 10,000 ลักซ์

2. **หัวฉีด** ดังแสดงในรูปที่ 3.8 หัวฉีดเป็นส่วนประกอบที่เป็นปัจจัยหลักในระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได ซึ่งจะอาศัยหลักการการถ่ายโอนอย่างรวดเร็วให้กับละอองของเหลว ดังนั้น หัวฉีดจะต้องทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองที่มีนาดเล็กที่สุดเพื่อที่จะทำให้พื้นที่ผิวของของเหลวสัมผัสกับอากาศร้อนเพิ่มมากขึ้น ทำให้การระเหยเกิดได้อย่างรวดเร็ว

สำหรับหัวฉีดที่เลือกมาใช้ทดลองนั้นเป็นหัวฉีดแบบใช้ความดันเป็นหัวฉีดที่สามารถซื้อได้ง่าย และสามารถทำให้ละอองของเหลวมีขนาดสม่ำเสมอหัวฉีดแบบนี้อาศัยหลักการฉีดของเหลวภายใต้ความดันซึ่งอาจจะสูงตั้งแต่ 1,000 ถึง 7,000 psig ประกอบด้วยแกนและหัวฉีดเป็นรูเล็กๆ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1–5 มิลลิเมตร ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมาก ภายใต้ความดันของเหลวจะถูกเหวี่ยงออก จากหัวฉีดเป็นละอองเล็กๆ หัวฉีดแบบนี้สามารถพ่นน้ำออกมาได้ตั้งแต่ 60 ถึง 1,600 แกลลอนต่อชั่วโมง (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)



ที่มา : สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529

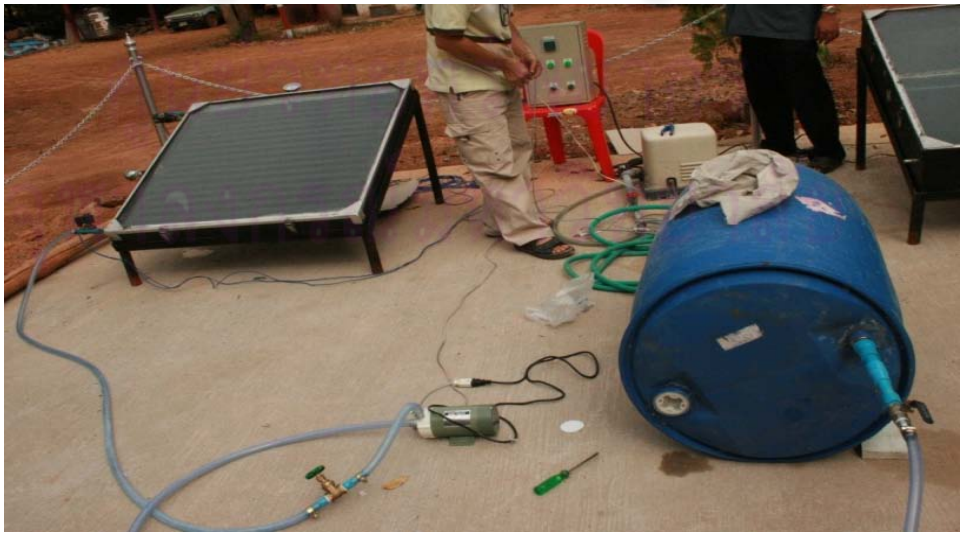
รูป 3.8 ลักษณะของหัวฉีดแบบใช้ความดัน

3.4 ขั้นตอนการทดลองระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม

1. **เตรียมวัตถุดิบ** วัตถุดิบที่นำมาทดลองเป็นน้ำเกลือที่ได้มาจากกรรมวิธีการทำเหมืองละลายแร่ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นคงที่ประมาณ 20 โบเม่ ซึ่งมาจาก น้ำเกลือที่สูบขึ้นมาของ บริษัท เกลือพิมาย นำมาทำการทดลอง ถูกบรรจุไว้ในถัง โดยนำรถกะบะไปทำการบรรทุกมาทดลองทั้งสิ้น ประมาณ 400 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนไปรับน้ำเกลือมาทดลอง

2. **วอร์มเครื่อง** เตรียมพร้อมเครื่องมือสำหรับการทดลอง ตรวจเช็คท่อและสายยาง ข้อต่อบริเวณวาล์วให้แน่นเพื่อป้องกันการซึ่มรั่วของน้ำเกลือ ทดสอบปั้มน้ำและตรวจตู้ควบคุมอุณหภูมิเปิดปิดวาล์วให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.10

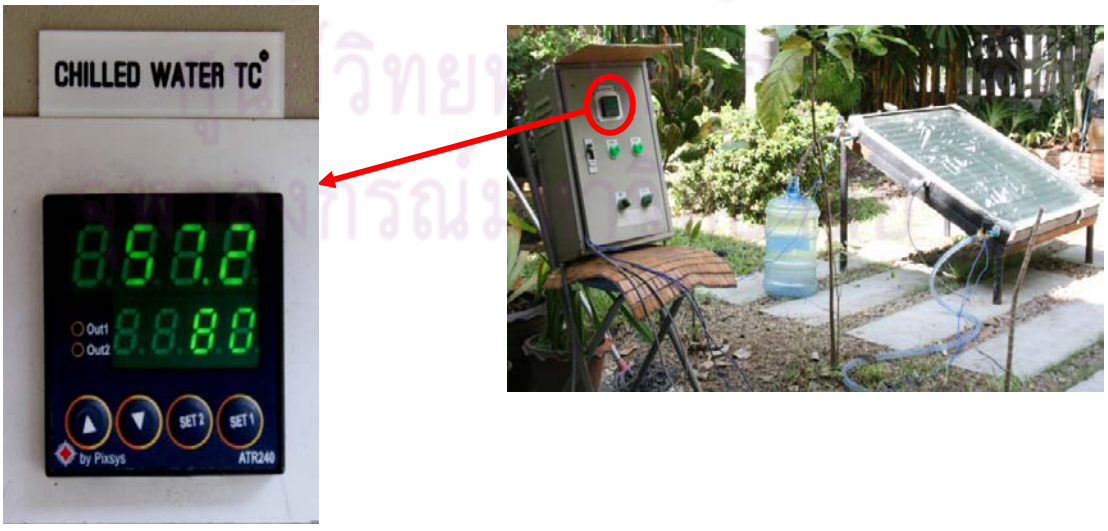


รูปที่ 3.10 การเตรียมเครื่องและการวอร์มเครื่อง

3. **ทดลองเดินเครื่อง** เริ่มทำการทดลองโดยเปิดสวิตซ์ ปั๊มน้ำจะดูดน้ำเกลือจากถังเข้าเครื่องโดยอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 น้ำเกลือที่ทางน้ำเข้าจะมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส น้ำเกลือจะถูกกักไว้จนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจึงจะถูกปล่อยออกมา

รูปที่ 3.11 น้ำเกลือที่จะนำมาทดลองเตรียมจะถูกดูดเข้าโดยอัตโนมัติ

4. **ปรับตั้งและตรวจเช็คอุณหภูมิ** การทดลองสามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิสำหรับเปิดวาลว์ให้น้ำ เข้าและน้ำออกได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 เมื่อปล่อยน้ำเกลือเข้าเครื่องระบบแผงวงจรความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยมแล้ว อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเกลือจากรูปที่ 3.12 อยู่ที่ 57.2 องศาเซลเซียส ซึ่งตั้งให้วาล์วน้ำออกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.12 ตรวจเช็คอุณหภูมิ

5. **ตรวจเช็คและจดบันทึกค่าการอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น** น้ำเกลือจะถูกเพิ่มอุณหภูมิโดยแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ดังแสดงในรูป 3.12 เมื่ออุณหภูมิเป็นไปตามที่กำหนด (80 องศาเซลเซียส) น้ำเกลือจึงจะถูกปล่อยออกมา ทำการจดบันทึกผลการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้

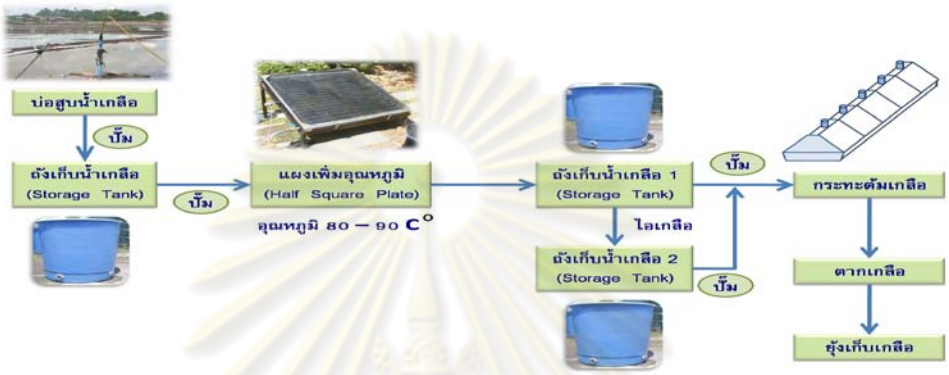
รูปที่ 3.13 แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิ

รูปที่ 3.14 แสดงแผนผังการทำงานอย่างง่าย ของระบบแผงวงจรความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม (Half Square Plate) โดยปั๊มน้ำจะสูบน้ำเกลือจากถังน้ำเกลือเข้าทางวาล์วน้ำเข้า (Brine in) ซึ่งน้ำเกลือที่เข้าท่อนั้นมีอุณหภูมิปกติที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เมื่อถูกกักเก็บไว้ในแผงวงจร แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดความร้อนกักเก็บไว้ในแผงระบบวงจรความร้อน เมื่อน้ำมีอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ (80 องศาเซลเซียส) จะถูกปล่อยออกมา

รูปที่ 3.14 แสดงแผนผังระบบวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)

6. **แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเกลือสินเธาว์**

แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเกลือสินเธาว์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 เป็นแนวทางประยุกต์ใช้กับการผลิตเกลือสินเธาว์โดยวิธีการต้มน้ำเกลือ ซึ่งจากเดิมจะต้องต้มที่อุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) เมื่อผ่านแผงวงจรความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยมจะเพิ่มอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส ก่อนนำน้ำเกลือเข้าสู่กระทะต้ม ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานประหยัดค่าแกลบ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในการต้มน้ำเกลือ



รูปที่ 3.15 การนำระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ไปประยุกต์ใช้เพิ่มอุณหภูมิในระบบการผลิตเกลือ

3.5 วิธีการทดลองระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy)

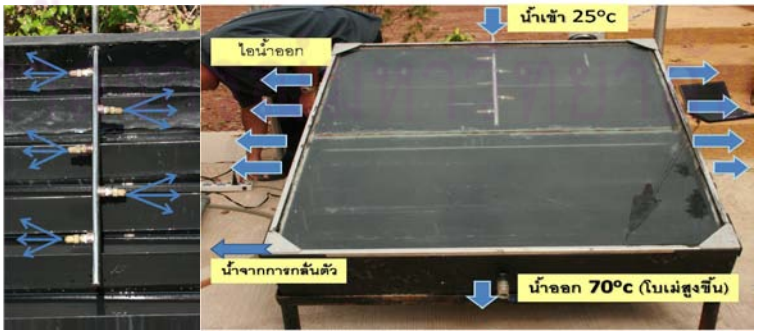
1. **วัดค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเกลือ** น้ำเกลือที่นำมาทดลองมาจากแอ่งโคราชของบริษัทเกลือพิมาย ซึ่งได้มาจากกระบวนการทำเหมืองละลาย จึงมีค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 เป็นการวัดเครื่องค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือด้วยโบเม่มิเตอร์ซึ่งวัดได้ค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือประมาณ 20 โบเม่ ซึ่งแตกต่างจากน้ำเกลือของชาวบ้านทั่วไปจะมีความเข้มข้นไม่คงที่

รูปที่ 3.16 วัดความเข้มข้นของน้ำเกลือที่นำมาทดลอง

2. **เตรียมเครื่องมือ** สูบน้ำจากปั๊มเข้าเครื่องเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวฉีดสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy) โดยตัวเครื่องจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ตอนบนจะเป็นช่วงสเปรย์เพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ ส่วนตอนล่างจะเป็นการระเหยควบแน่น ซึ่งจะมีไอน้ำที่ได้จากการควบแน่น ไปเกาะรวมกันที่กระจกและจะรวมตัวกันตกมาที่ท่อซึ่งน้ำที่ได้จะเป็นน้ำจืด ที่สะอาด ส่วนน้ำที่ไหลล้นออกทางท่อล่างลงสู่จะมีค่าความเข้มข้นสูงขึ้น

รูปที่ 3.17 แสดงส่วนการทำงานของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์

3. **สเปรย์น้ำเกลือต่อเนื่อง** นำน้ำเกลือจากถังพักมาสเปรย์เข้าที่เครื่องดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยจะสเปรย์ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ น้ำจะล้นไหลลงมาตามขั้นบันได ซึ่งความร้อนจากเครื่องซึ่งเลียนแบบจากปรากฏการณ์เรือนกระจกจะทำให้อากาศภายในเครื่องมีอุณหภูมิสูง ทำให้น้ำเกลือระเหยได้ง่าย ไอระเหยซึ่งร้อนจะลอยตัวออกด้านข้าง และส่วนหนึ่งที่ไปควบแน่นเกาะกับกระจก จะไหลตกลงไปด้านล่างควบแน่นกลายเป็นน้ำจืด



รูปที่ 3.18 การทำงานของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได

4. **แนวทางการนำระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์ไปประยุกต์ใช้** ดังแสดงในรูปที่ 3.19 เป็นการนำระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์ไปทดแทนบ้านญี่ปุ่น ซึ่งจะย่นระยะเวลาการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ดีกว่า 3 – 4 เท่าตัว

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.19 แนวทางการนำระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันไดไปประยุกต์ใช้เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือการผลิตเกลือ

ซึ่งในแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์ อาจนำเครื่องมือระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันไดและระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ทั้งสองเครื่องมาประยุกต์ใช้ด้วยกันได้ดังแสดงในรูปที่ 3.20

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.20 แนวการนำระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันไดและระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ไปประยุกต์ ใช้เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือในระบบการผลิตเกลือ

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)

จุดประสงค์ของการทดลองเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเกลือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ให้เพิ่มถึง 80 องศาเซลเซียส ก่อนนำน้ำเกลือเข้าสู่กระทะต้มเกลือ สำหรับกระบวนการผลิตเกลือโดยวิธีต้มเกลือ ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงาน ประหยัดค่าแกลบ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในการต้มน้ำเกลือ

4.1.1 ผลการทดลอง

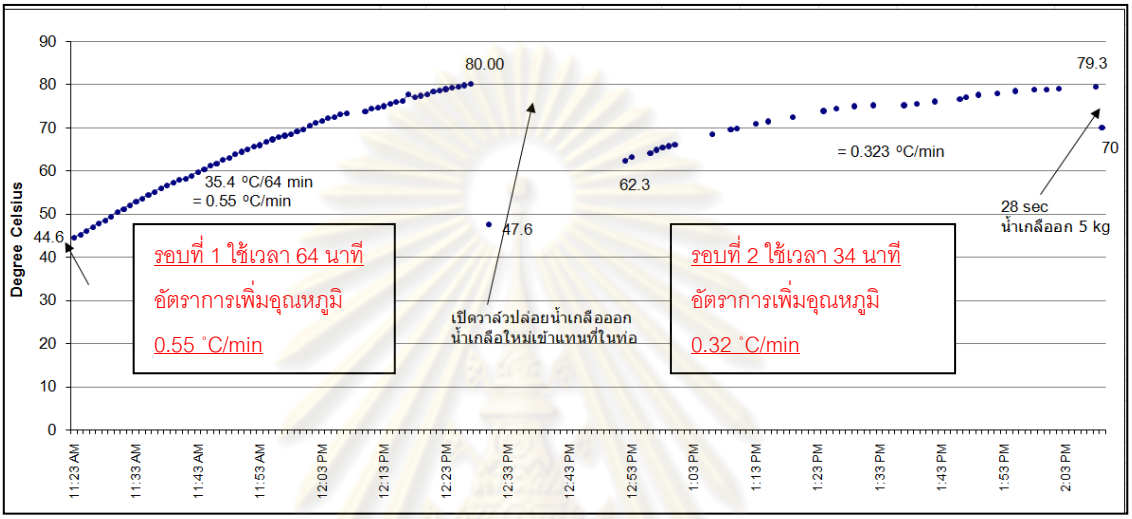
ผลการทดลองระบบแผ่นความร้อนรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ระยะเวลาทำการทดลองทั้งสิ้น 5 วัน ซึ่งการทดลองนี้อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งการทดลองในแต่ละวันมีแสงแดดไม่เท่ากัน ส่งผลต่อค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของระบบแผ่นความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ข ของรายงานวิจัยฉบับนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองทั้ง 5 วัน

	ความเข้มแสง (ลักซ์)	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)	เวลาทั้งหมดที่ใช้ (นาที)	อัตราเพิ่มของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อนาที)
วันที่ 1 รอบที่ 1	475	35.4	64	0.55
วันที่ 1 รอบที่ 2	475	17	34	0.5
วันที่ 2 รอบที่ 1	934	36.5	38	0.96
วันที่ 2 รอบที่ 2	934	8.6	26	0.33
วันที่ 3 รอบที่ 1	1,244	35.9	38	0.96
วันที่ 3 รอบที่ 2	1,244	10	13	0.77
วันที่ 4 รอบที่ 1	415	38	96	0.39
วันที่ 5 รอบที่ 1	1,136	39.9	26	1.53
วันที่ 5รอบที่ 2	1,136	19.8	11	1.04

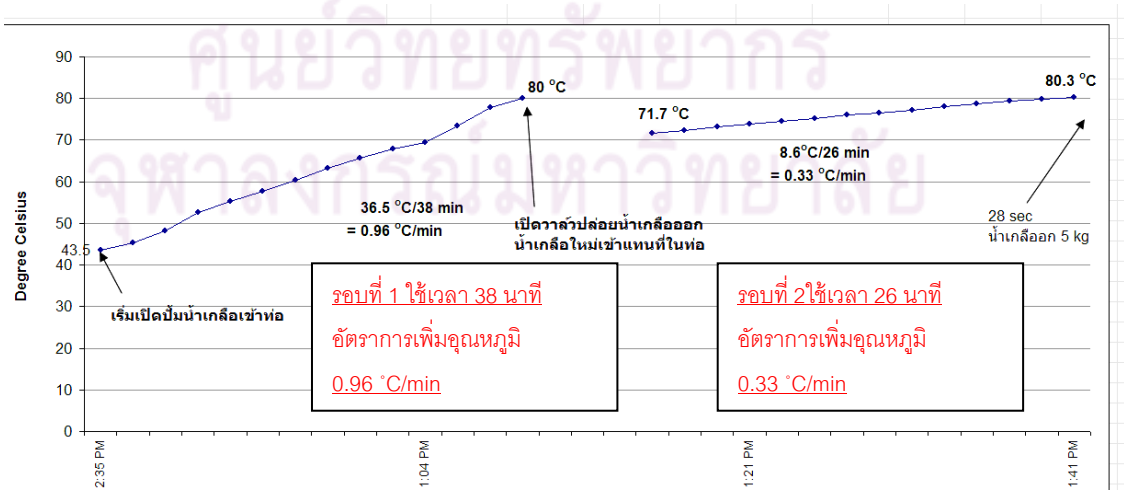
4.1.2 **กราฟและวิเคราะห์ผลการทดลองแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม** (Half Square Plate)

กราฟการทดลองวันที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเกลือกับเวลา ที่ใช้ มีค่าความเข้มของแสง 475 ลักซ์ น้ำเกลือในถัง ความเข้มข้น 20 โบเม่ อุณหภูมิของน้ำเกลือ 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิใต้กระจก 52 องศาเซลเซียส



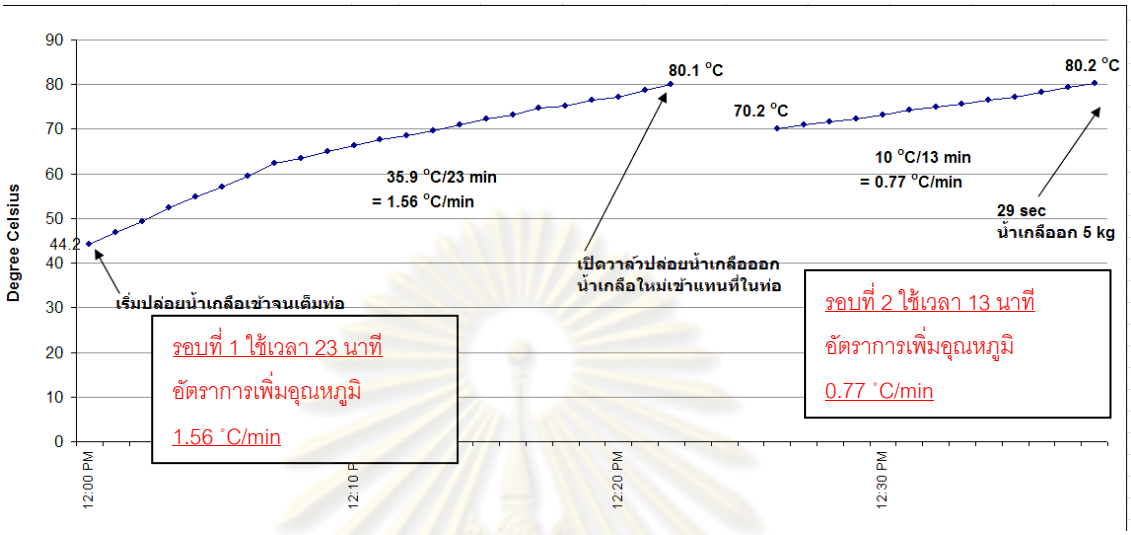
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 1 รอบที่ 1 และ 2

กราฟการทดลองวันที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ มีค่าความเข้มของแสง 934 ลักซ์ น้ำเกลือในถัง ความเข้มข้น 20 โบเม่ อุณหภูมิของน้ำเกลือ 27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิใต้กระจก 60 องศาเซลเซียส



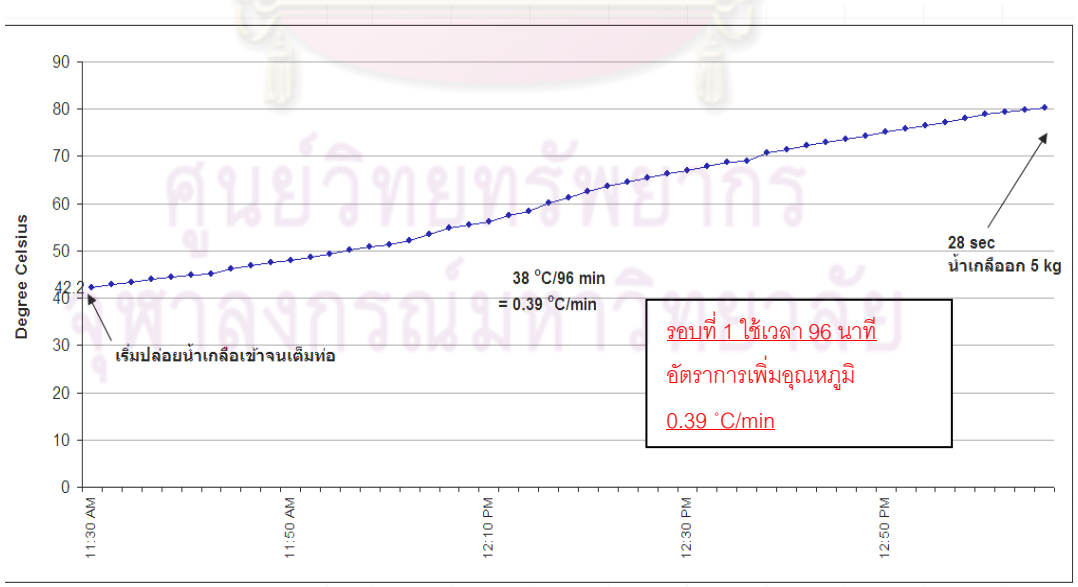
รูป 4.2 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 2 รอบที่ 1 และ 2

กราฟการทดลองวันที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ มีค่าความเข้มของแสง 1,244 ลักซ์ น้ำเกลือในถังความเข้มข้น 20 โบเม่ อุณหภูมิของน้ำเกลือ 26 องศาเซลเซียส อุณหภูมิใต้กระจก 65 องศาเซลเซียส



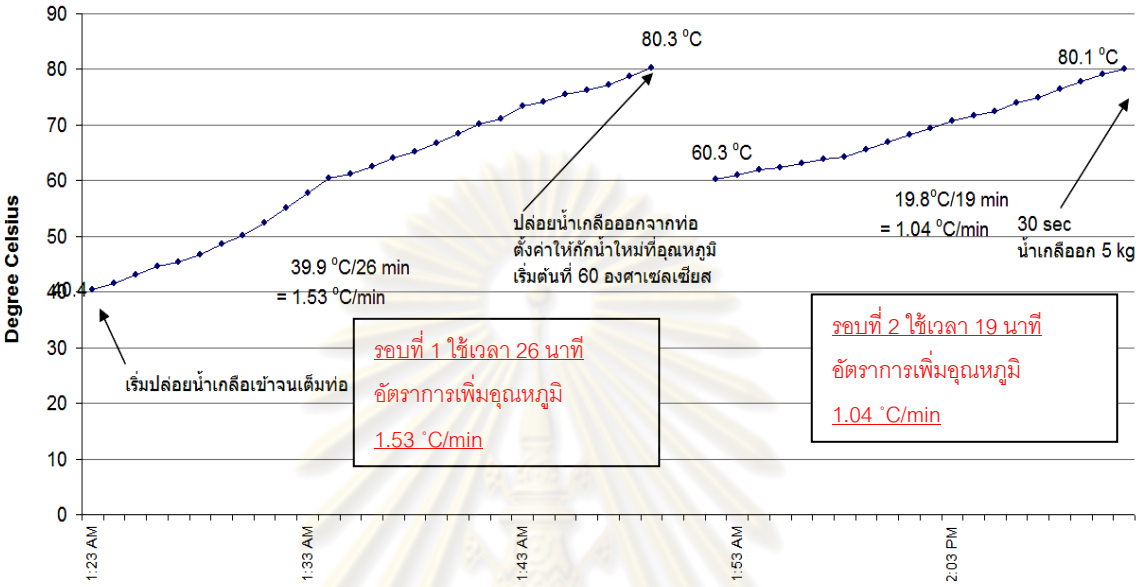
รูป 4.3 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 3 รอบที่ 1 และ 2

กราฟการทดลองวันที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ มีค่าความเข้มของแสง 415 ลักซ์ น้ำเกลือในถัง ความเข้มข้น 20 โบเม่ อุณหภูมิของน้ำเกลือ 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิใต้กระจก 50 องศาเซลเซียส



รูป 4.4 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 4 รอบที่ 1

กราฟการทดลองวันที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ มีค่าความเข้มของแสง 1,136 ลักซ์ น้ำเกลือในถัง ความเข้มข้น 20 โบเม่ อุณหภูมิ ของน้ำเกลือ 25 องศาเซลเซียสอุณหภูมิใต้กระจก 62 องศาเซลเซียส

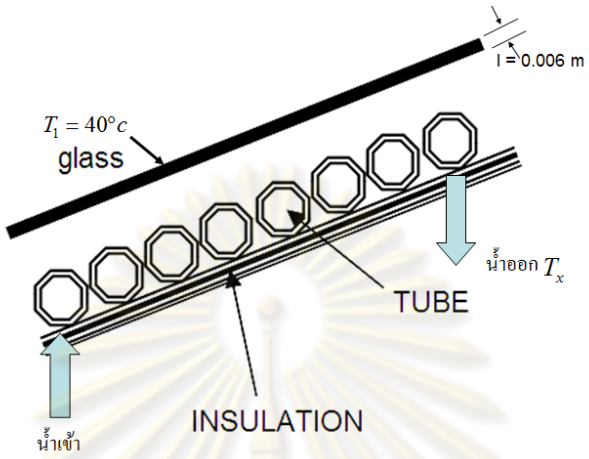


รูป 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 5 รอบที่ 1 และรอบที่ 2

จากการทดลองทั้ง 5 วัน โดยเฉลี่ยแล้วทำการทดลองวันละ 2 รอบ พบว่าน้ำเกลือที่ออกมาจากระบบแผงความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยมออกมาตามที่กำหนดค่าจากตู้ควบคุมที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส แต่เวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมินั้นแตกต่างกันเนื่องจากค่าความเข้มแสงแดดที่แตกต่างกัน จากการทดลองสรุปได้ว่าระบบแผงความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยมจะทำงานได้ดี หากมีค่าความเข้มแสงแดดสูงเกินกว่า 1,000 ลักซ์ จะใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำเกลือประมาณ 15 – 20 นาที ซึ่งในการทดลองทำการทดลองที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีความเข้มแสงที่ไม่มากนัก ต่างจากพื้นที่ที่นำน้ำเกลือที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีแสงแดดแรงความเข้มแสงมาก

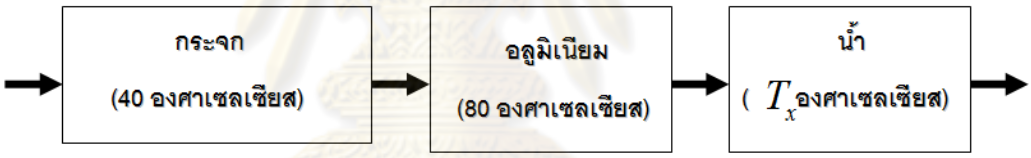
4.1.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

ในการทดลองได้อุณหภูมิน้ำเข้าโดยเฉลี่ยประมาณ 40 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิสุดท้ายจากท่อน้ำออกประมาณ 80 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบการคำนวณค่าอุณหภูมิของน้ำเกลือที่ได้ในภาคทฤษฎี ดังแผนภาพที่ 4.6 และแผนผังที่ 4.7 สามารถคำนวณได้ดังนี้



รูป 4.6 แผนภาพการถ่ายโอนค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้กับน้ำเกลือ

แผนผังการถ่ายโอนความร้อน



รูป 4.7 แผนผังการถ่ายโอนค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้กับน้ำเกลือ

$$Q_{Glass} = \left[\frac{kA}{L}\right](40 - T_x) = \left[\frac{2.04 \times 1.2}{0.0015}\right](40 - T_x)$$

$$Q_{Glass} = 5,080 - 127T_x$$

$$Q_{Al} = 1,632(80 - T_x) = 1,632T_x - 130,560$$

$$Q_{Glass} = Q_{Al}$$

$$5,080 - 127T_x = 1,632T_x - 130,560$$

$$127T_x + 1,632T_x = 130,560 + 5,080$$

$$1,759T_x = 135,640$$

$$T_x = \frac{135,640}{1,759} = 77.11°C$$

T_x = **อุณหภูมิของน้ำที่ออกได้ค่าใกล้เคียงผลการทดลองประมาณ 80 องศาเซลเซียส**

4.1.4 การเปรียบเทียบต้นทุนค่าเชื้อเพลิง ค่าแกลบของการต้มน้ำเกลือของชาวบ้าน กับการต้มน้ำเกลือผ่านระบบแผงความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม

จากการสำรวจค่าใช้จ่ายในการต้มเกลือของชาวบ้านในการผลิตเกลือสินเธาว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่

- จังหวัดสกลนคร ต.กุดเรือคำ อ.วานรนิวาส ดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยเริ่มทำการต้มน้ำเกลือที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ขนาดเตากว้าง 3.4 เมตรยาว 12 เมตรสูง 0.4 เมตรระยะเวลาในการต้มน้ำเกลือ 12 ชั่วโมง จะผลิตเกลือได้ประมาณ 3.5 ตัน อัตราการสิ้นเปลืองแกลบ 1.2 ตันต่อตันเกลือที่ผลิตได้ราคาแกลบประมาณ 1,000 บาท ต่อตัน ค่าใช้จ่ายในการต้มเกลือประมาณ 1,200 บาทต่อตันเกลือที่ผลิตได้ ราคาเกลือที่ชาวบ้านขายประมาณ 1,700 บาทต่อตัน (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

รูปที่ 4.8 การต้มเกลือในการผลิตเกลือสินเธาว์ใน ต.กุดเรือคำ อ.วานรนิวาส จังหวัดสกลนคร

- จังหวัดมหาสารคาม ต.โคกพระ อ.กันทรวิชัย ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ชาวบ้านซื้อน้ำเกลือมีความเข้มข้นประมาณ 22 โบเม่ ใส่กะทะประมาณ 5 ลูกบาศก์เมตร ระยะเวลาในการต้ม 12 ชั่วโมงจะผลิตเกลือได้ประมาณ 1.7 ตันค่าแกลบประมาณ 1,200 บาทต่อตันเกลือที่ผลิตได้ (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

รูปที่ 4.9 การต้มเกลือในการผลิตเกลือสินเธาว์ใน ต.โคกพระ อ.กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

- จังหวัดหนองคาย ต.เซิม อ.โพนพิสัย ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เป็นการต้มเกลือโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ความจุกระทะประมาณ 4 ลูกบาศก์เมตรจะผลิตเกลือได้ประมาณ 0.5 ตันค่าใช้แกลบประมาณ 1,130 บาทต่อตันเกลือที่ผลิตได้ (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552)

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

รูปที่ 4.10 การต้มเกลือในการผลิตเกลือสินเธาว์ใน ต.เซิม อ.โพนพิสัย จังหวัดหนองคาย

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบราคาต้นทุนของแกลบที่ใช้ต้มน้ำเกลือโดยการต้มปกติและต้มจากน้ำเกลือที่ผ่านแผงเพิ่มความร้อนรูปครึ่งเหลี่ยม (Half Square Plate)

	ราคาของแกลบที่ใช้ต้มน้ำเกลือ (ราคาต่อตันเกลือที่ผลิตได้)		
	จังหวัดสกลนคร	**จังหวัดมหาสารคาม**	**จังหวัดหนองคาย**
น้ำเกลือที่ต้มปกติ (เริ่มต้มที่ 25 องศาเซลเซียส)	1,000 บาท	1,200 บาท	1,130 บาท
น้ำเกลือที่ผ่านแผงเพิ่มความร้อนแบบรูปครึ่งเหลี่ยม (เริ่มต้มที่ 80 องศาเซลเซียส)	**900 บาท**	**1,080 บาท**	**1,017 บาท**

จากตารางที่ 4.2 การต้มน้ำเกลือที่ผ่านแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) จะเป็นการต้มน้ำเกลือที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 80 องศาเซลเซียสให้น้ำเกลือระเหยถึงจุดเดือด (จุดเดือดน้ำเกลือประมาณ 104 องศาเซลเซียส) ซึ่งจะลดการใช้พลังงานในการต้มน้ำเกลือช่วงเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ประมาณ 30 % และจะลดการใช้พลังงานในการต้มน้ำเกลือจนระเหยทั้งหมด (ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ + ช่วงเปลี่ยนสถานะ) ได้ประมาณ 10 % เนื่องจากการใช้พลังงานความร้อนในช่วงเปลี่ยนแปลงสถานะจะสูงกว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก

4.2 ผลการทดลองระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy)

เป็นเครื่องมือที่นำมาแทนที่เครื่องมือเพิ่มค่าความเข้มข้นแบบดั้งเดิมที่เรียกว่า “บ้านญี่ปุ่น” ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือที่มีค่าความเข้มข้นไม่เพียงพอต่อการตกผลึก (น้ำเกลือที่สูบขึ้นมาจะมีค่าความเข้มข้นประมาณ 18 – 20 โบเม่ น้ำเกลือจะเริ่มตกผลึกได้ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 25 โบเม่ขึ้นไป) ซึ่งน้ำเกลือจะถูกสูบผ่านปั๊มน้ำส่งเข้าผ่านหัวฉีดสเปรย์ ซึ่งเพิ่มพื้นผิวสัมผัสกับอากาศที่ร้อนจัดภายในตู้กระจก ไอน้ำจะระเหยออกอยากรวดเร็ว ส่งผลให้ย่นระยะเวลาในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือซึ่งจากเดิมระบบเพิ่มความเข้มข้นแบบเก่าเพิ่มค่าความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้วันละ 1 โบเม่ ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์จะสามารถเพิ่มค่าความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ประมาณ 3 – 4 โบเม่ต่อวัน

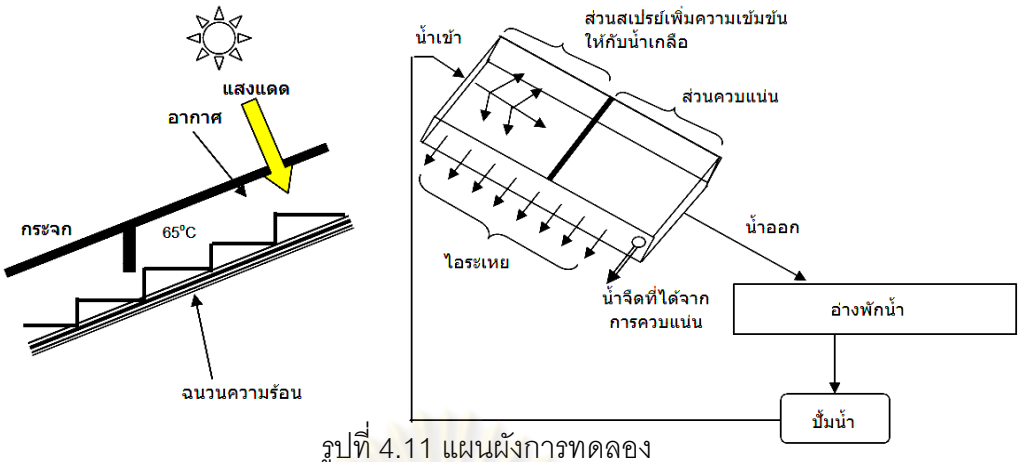
4.2.1 **ตัวแปรในการทดลอง** ตัวแปรในการทดลองได้แบ่งเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. **ตัวแปรในการทดลองที่คงที่คือ**
    1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร
    2. ปริมาตรน้ำเกลือที่ใช้ฉีดขนาด 0.1 ลูกบาศก์เมตร
    3. ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเกลือที่ใช้ 20 โบเม่
    4. เวลาที่ใช้ในการทดลอง 450 นาที
    5. อัตราการฉีดของปั๊มน้ำ 23 ลิตรต่อนาที
2. **ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนค่าคือ**
    1. อุณหภูมิภายในกระจก
    2. ค่าความเข้มของแสงแดด
    3. ปริมาตรของน้ำที่ระเหย

4.2.2 **ผลการทดลอง**

ผลการทดลองระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได (Increasing Evaporation of Brine in the Salt by Spraying Nozzles Stair Solar Energy) ระยะเวลาทำการทดลองทั้งสิ้น 7 วัน ดังแสดงแผนผังการทดลองในรูปที่ 4.11 และผลการทดลองสรุปโดยรวมทั้ง 7 วันดังแสดงในตารางที่ 4.3 การทดลองนี้อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งการทดลองในแต่ละวันมีแสงแดดไม่เท่ากัน ส่งผลต่อค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ ซึ่งผลการทดลองทั้งหมด สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ข ของงานวิจัยฉบับนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แผนผังการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการเพิ่มความเข้มข้นด้วยหัวฉีดสเปรย์ทั้ง 7 วัน

	วันที่ทำการทดลอง						
	1	2	3	4	5	6	7
ความเข้มแสงสูงสุด (ลักซ์)	975	1,167	423	864	1,483	455	847
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด (องศาเซลเซียส)	65	70	60	64	74	60	65
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง (โบเม่)	20	20	20	20	20	20	20
ความเข้มข้นน้ำเกลือหลังการทดลอง (โบเม่)	24	25	22	24	24.5	22	23
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง (ลิตร)	100	100	100	100	100	100	100
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง (ลิตร)	88	84	94	89	82	93	90
ปริมาตรน้ำเกลือที่ระเหยไป (ลิตร)	12	16	6	11	18	7	10
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง(องศาเซลเซียส)	25	25	25	24	25	25	26
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง(องศาเซลเซียส)	66	72	63	65	77	62	66
อัตราการเพิ่มความเข้มข้นน้ำเกลือ(โบเม่ต่อนาที)	0.0088	0.011	0.0044	0.0088	0.01	0.0044	0.0067

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 กราฟการทดลองและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

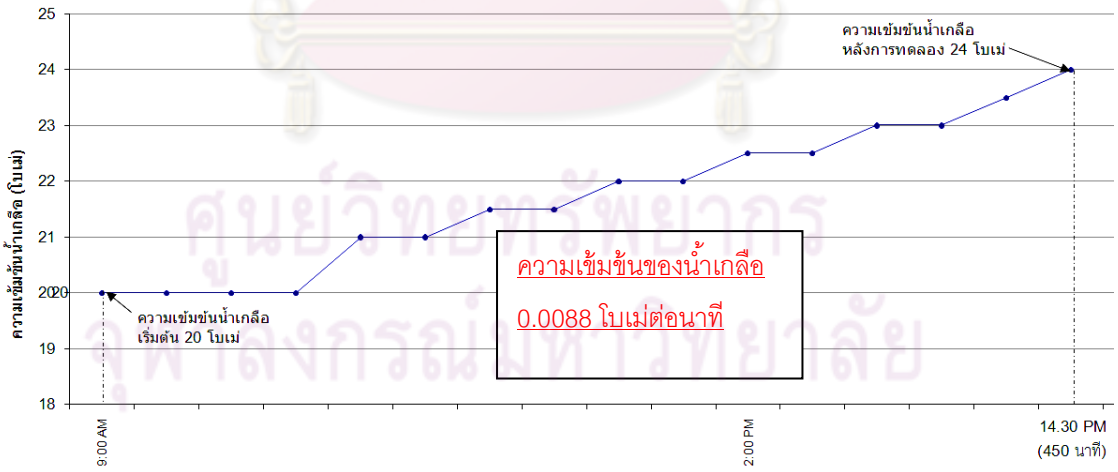
ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์ และการใช้พลังงานให้เหมาะสมที่สุดตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุดนั้น จะต้องใช้องค์ประกอบต่อไปนี้ในการพิจารณา คือ

1. ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร
2. ปริมาตรน้ำเกลือที่ใช้ฉีดขนาด 0.1 ลูกบาศก์เมตร (100 ลิตร)
3. แรงดันน้ำของหัวฉีดสเปรย์ 140 กิโลปาสคาล
4. อัตราการฉีดของปั้มน้ำ 23 ลิตรต่อนาที

การทดลองทั้ง 7 วันนี้กำหนดค่าตัวแปรควบคุมที่เหมือนกันทั้ง 7 วันคือ

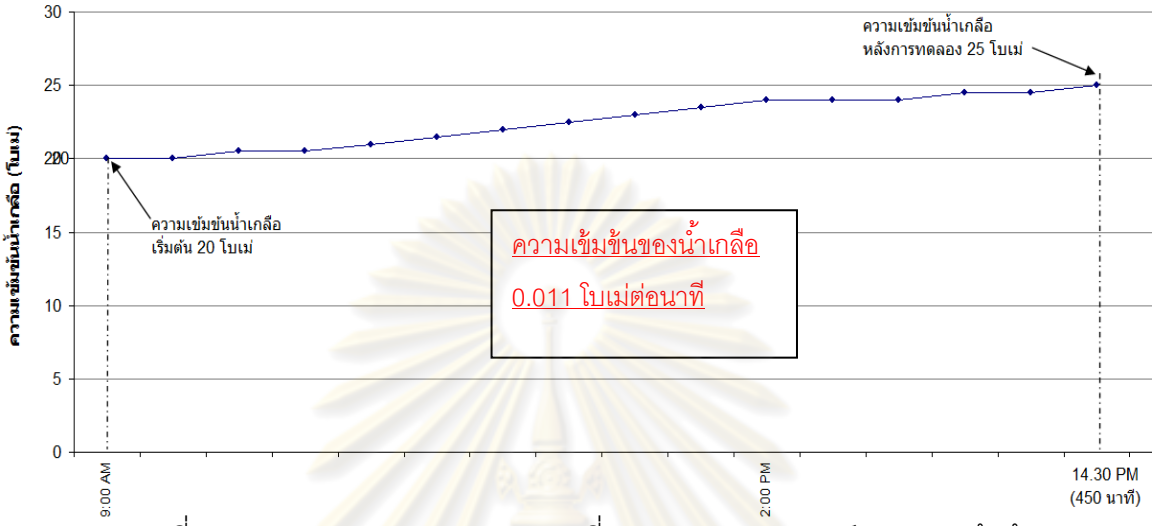
1. เวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งสิ้น 450 นาที (7 ชั่วโมง 30 นาที)
2. ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง 9.00 – 16.30 น.
3. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง 100 ลิตร (0.1 ลูกบาศก์เมตร)
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร
5. อัตราการฉีดของปั้มน้ำ 23 ลิตรต่อนาที

กราฟการทดลองวันที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ในการฉีดน้ำเกลือจำนวน 0.1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสงแดด 975 ลักซ์



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับเวลา

กราฟการทดลองวันที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ในการฉีดน้ำเกลือจำนวน 0.1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ0.10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสงแดด 1,167 ลักซ์

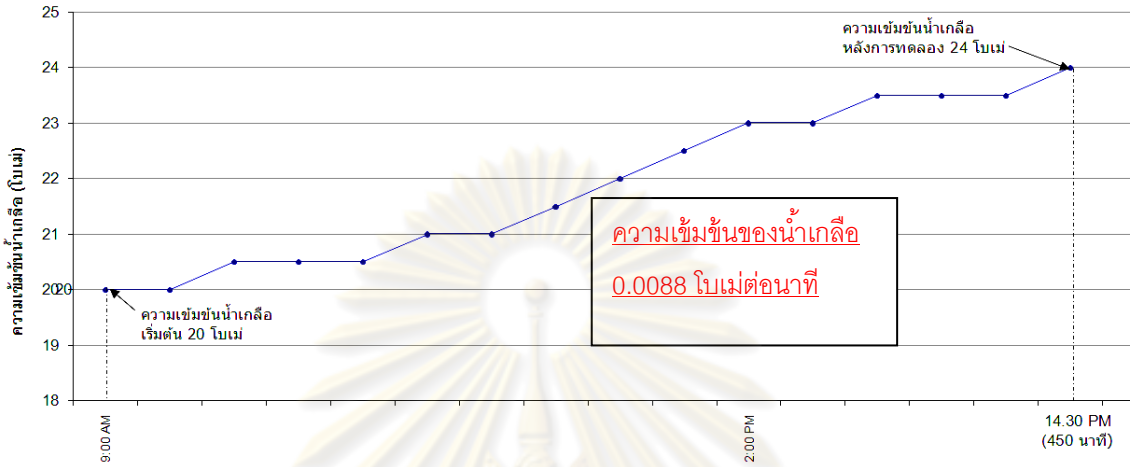


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับ เวลา

กราฟการทดลองวันที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ในการฉีดน้ำเกลือจำนวน 0.1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ0.10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสงแดด 423 ลักซ์

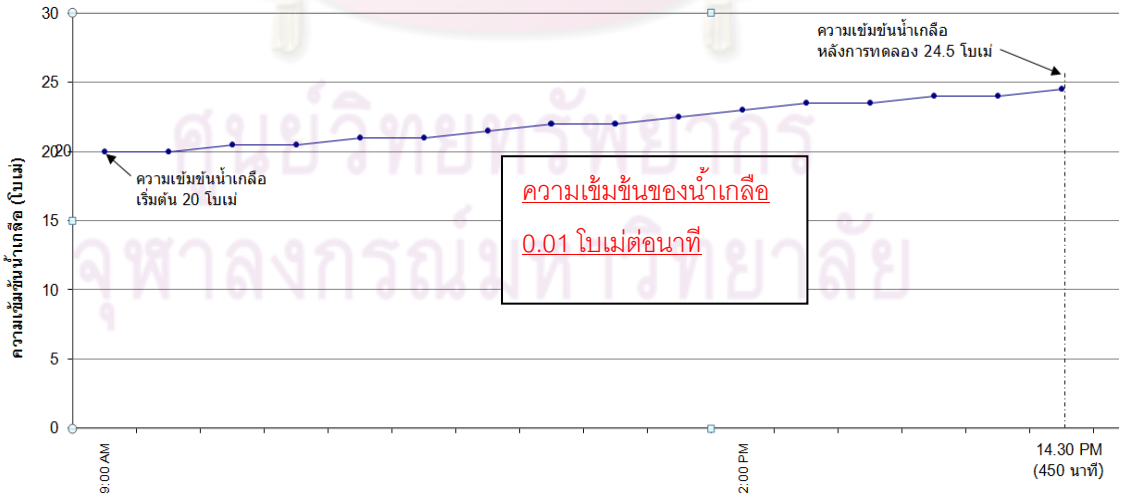
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับ เวลา

กราฟการทดลองวันที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ในการฉีดน้ำเกลือจำนวน 0.1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ0.10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสงแดด 864 ลักซ์



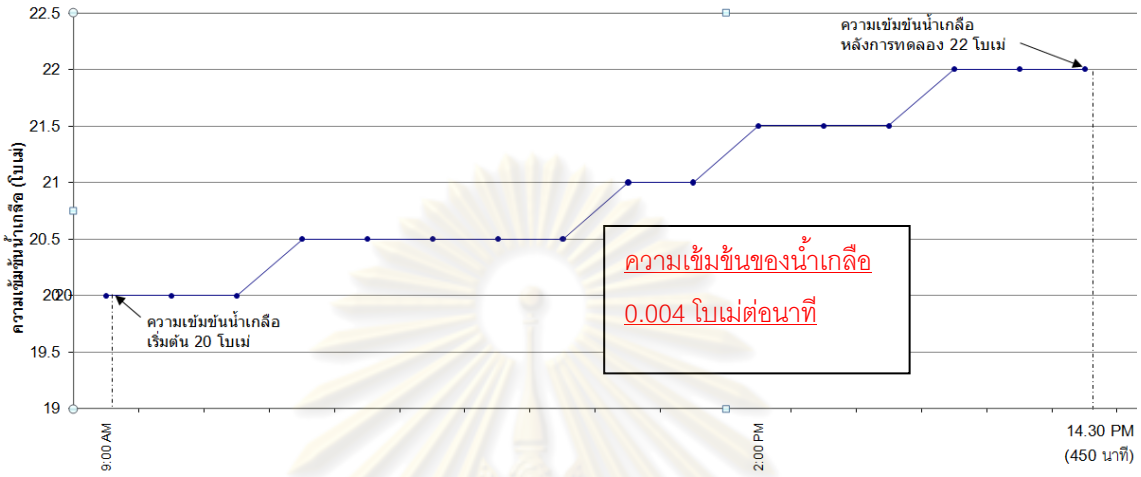
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับ เวลา

กราฟการทดลองวันที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ในการฉีดน้ำเกลือจำนวน 0.1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ0.10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสงแดด 1,483 ลักซ์



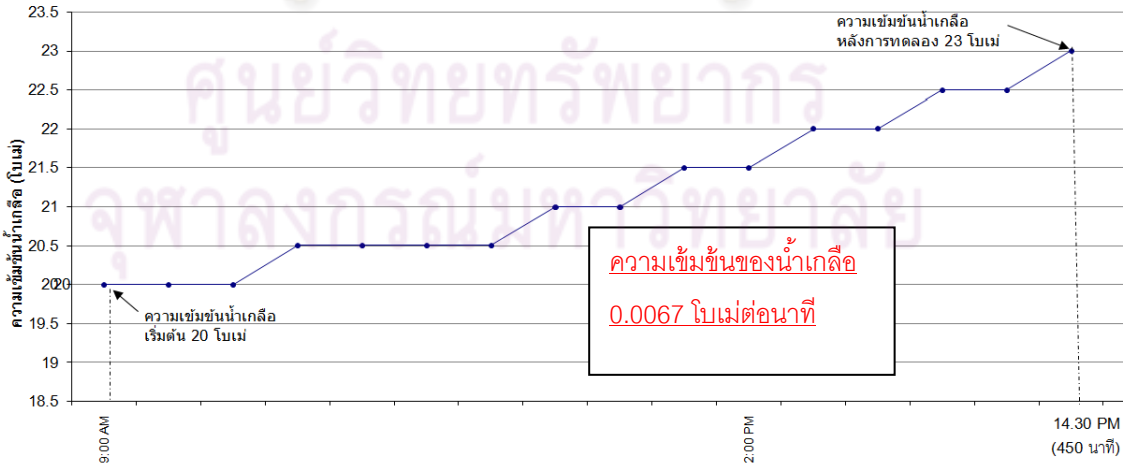
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับ เวลา

กราฟการทดลองวันที่ 6 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ในการฉีดน้ำเกลือจำนวน 0.1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ0.10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสงแดด 455 ลักซ์



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับ เวลา

กราฟการทดลองวันที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือกับเวลาที่ใช้ในการฉีดน้ำเกลือจำนวน 0.1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ0.10 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสงแดด 847 ลักซ์



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลการทดลองวันที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือ (โบเม่) กับ เวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลองพบว่า อัตราการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในกระจก และปริมาณความเข้มแสงเพียงอย่างเดียว ยิ่งแดดจัด อัตราการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือจะยิ่งมากตามไปด้วย จากการทดลองทั้ง 7 วันพบว่าวันที่ 5 ของการทดลอง แสงแดดมีค่าความเข้มแสงสูงสุดที่ 1,483 ลักซ์ อุณหภูมิภายในกระจกสูงสุดที่ 74 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้ ซึ่งโดยเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 7 วันแล้ว ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์ สามารถลดระยะเวลาเพิ่มค่าความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือจาก 18 – 20 โบเม่ ให้มีความเข้มข้นประมาณ 25 โบเม่ เพื่อเหมาะแก่การตกผลึกของน้ำเกลือได้ประมาณ 4.6 เท่าตัว

4.2.4 การหาค่าพลังงานที่ใช้ ของระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวฉีดสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได

พลังงานที่ต้องใช้ในโครงการนี้ส่วนใหญ่จะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักซึ่งได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับ Motor ของ ปั๊มน้ำ Hitachi Model WM-P175K ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 175 วัตต์ จำนวนใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และค่าไฟฟ้าที่ใช้สำหรับกรณีที่เหมาะสมที่สุดนี้คือ คำนวณได้จากสูตร

[(กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ชนิดนั้น ๆ) ÷1000] x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1วัน = จำนวนหน่วยหรือยูนิต (การคิดค่าไฟฟ้าด้วยตนเอง การไฟฟ้านครหลวง, 2541)

จะได้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ = $\frac{(175)}{1000}\times 8 = 1.4 unit(watt-hr)$ ต่อวันต่อ 1 เครื่อง

= 42 ยูนิต ต่อเดือนต่อ 1 เครื่อง

ค่าไฟฟ้า 5 หน่วยแรกมีค่าเป็น 4.96 บาท/ยูนิต = 4.96 บาท

ค่าไฟฟ้าหน่วยที่ 6 – 15 มีค่าเป็น 0.7124 บาท/ยูนิต = 10×0.7124 = 7.124 บาท

ค่าไฟฟ้าหน่วยที่ 16 – 25 มีค่าเป็น 0.8993 บาท/ยูนิต = 10×0.8993 = 8.993 บาท

ค่าไฟฟ้าหน่วยที่ 26 – 35 มีค่าเป็น 1.1516 บาท/ยูนิต = 10×1.1516 = 11.516 บาท

ค่าไฟฟ้าหน่วยที่ 36 – 42 มีค่าเป็น 1.5348 บาท/ยูนิต = 7×1.5348 = 10.7436 บาท

รวมค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่าย = <u>43.336 บาท/ เดือน / 1เครื่อง</u>

= <u>520 บาท / ปี / 1 เครื่อง</u>

ซึ่งหากต้องการอัตราการเร่งการระเหยของน้ำเกลือเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของลานขนาด (5 x 3 x 0.10 เมตร) (ปริมาตรน้ำ 1.5 ลูกบาศก์เมตร) ให้ได้พร้อมกันทั้งหมดจะต้องใช้ปั้มทั้งหมด 15 ตัว และเครื่องมือเร่งอัตราการเร่งการระเหยของน้ำเกลือด้วยหัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได 15 ชุด

ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่จะต้องใช้กับปั้มน้ำทั้ง 15 ตัว คือ 43.336x 15 = **650 บาทต่อเดือน**

= **7,800 บาทต่อปี**

ดังนั้นใน 1 เดือนการผลิต ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์จะสามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ทั้งสิ้น 29,644 ลิตร ที่ความเข้มข้นพอเหมาะแก่การตกผลึกเกลือ (25 โบเม่) ซึ่งเมื่อนำไปตากแล้ว**จะได้เกลือทั้งสิ้นประมาณ 7,411 กิโลกรัม** ซึ่งแสดงเปรียบเทียบต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณเกลือที่ผลิตได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณเกลือ (กิโลกรัม)

เปรียบเทียบกรณี	**ปริมาณน้ำเกลือที่เพิ่มความเข้มข้นได้ในแต่ละเดือน**	**ปริมาณเกลือที่ได้จากการตากหลังจากนำมาเพิ่มความเข้มข้นในแต่ละเดือน**	**ต้นทุนค่าไฟฟ้า**
เพิ่มความเข้มโดยใช้บ้านญี่ปุ่น (1 โบเม่/วัน)	6,000 ลิตร	1,500 กิโลกรัม	**0.44 บาท/กก.**
เพิ่มความเข้มข้นผ่านระบบหัวฉีดแบบสเปรย์ (3.25 โบเม่ต่อวัน)	29,644 ลิตร	7,411 กิโลกรัม	**0.022 บาท/กก.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.5 การหาค่าระยะเวลาคืนทุน

สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายเริ่มแรก ซึ่งประกอบไปด้วยค่าเครื่องมือและอุปกรณ์ ค่าแรง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้ ค่าบำรุงรักษา รายจ่ายทั้งหมดที่จะต้องจ่ายในปีถัดไป และรายรับที่ได้ในแต่ละปี ตลอดจนคำนวณจำนวนปีที่คุ้มทุนซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.5 – 4.11 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องเพิ่มความเข้มข้นด้วยหัวฉีดสเปรย์

ลำดับ	รายการราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องฯ	ราคา	หน่วย
1	ค่าแรง + ค่าอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องฯ	25,000	บาท
2	ค่าแรง + ค่าซื้ออุปกรณ์ในการสร้างหัวฉีด	1,000	บาท
3	ปั๊มน้ำ	5,000	บาท
4	ค่าบำรุงรักษา/ต่อปี	5,000	บาท
	รวม	**36,000**	**บาท/เครื่อง**
	รวม	**540,000**	**บาท/ 15 เครื่อง**

ตารางที่ 4.6 แสดงราคาวัตถุดิบ

ลำดับ	รายการวัตถุดิบ	ราคา	หน่วย
1	เวลาการทำงานต่อวัน	8	ชั่วโมง
2	เวลาการทำงานต่อปี	2,920	ชั่วโมง
3	ปริมาณน้ำเกลือที่เพิ่มความเข้มข้นได้ในแต่ละวัน	988	ลิตร
4	ปริมาณน้ำเกลือที่เพิ่มความเข้มข้นได้ในแต่ละเดือน	29,644	ลิตร
5	ต้นทุนราคาน้ำเกลือต่อลิตร	0.0125	บาท
	รวมราคาวัตถุดิบในแต่ละวัน	12.35	บาท/วัน
	รวมราคาวัตถุดิบในแต่ละเดือน	370.5	บาท/เดือน
	รวมราคาวัตถุดิบในแต่ละปี	**4,446**	**บาท/ปี**

ตารางที่ 4.7 แสดงกำลังการผลิตของเครื่องระบบเพิ่มความเข้มข้นด้วยหัวฉีดสเปรย์

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	อัตราการเพิ่มความเข้มข้นให้น้ำเกลือใน 1 วัน	988	ลิตร
2	ปริมาณเกลือที่ได้ใน 1 วัน จากการตากหลังเพิ่มความเข้มข้น	247	กิโลกรัม
3	อัตราการเพิ่มความเข้มข้นให้น้ำเกลือใน 1 เดือน	29,644	ลิตร
4	ปริมาณเกลือที่ได้ใน 1 เดือน จากการตากหลังเพิ่มความเข้มข้น	7,411	กิโลกรัม
5	อัตราการเพิ่มความเข้มข้นให้น้ำเกลือใน 1 ปี	355,728	ลิตร
6	ปริมาณเกลือที่ได้ใน 1 ปี จากการตากหลังเพิ่มความเข้มข้น	88,932	กิโลกรัม
7	**สรุปปริมาณเกลือที่ได้ใน 1 ปี**	**89**	**ตัน**

ตารางที่ 4.8 แสดงผลรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในปีที่ 1

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	รวมราคาต้นทุนในการสร้างเครื่อง 15 เครื่อง	540,000	บาท
2	รวมราคาวัตถุดิบที่ใช้ใน 1 ปี	4,446	บาท
3	**รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในปีเริ่มต้น**	544,446	**บาท**

ตารางที่ 4.9 แสดงผลรวมรายได้จากการขายเกลือในปีเริ่มต้น

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	ราคาเกลือต่อตัน	1000	บาท/ตัน
2	**รายได้จากการขายเกลือในปีเริ่มต้น**	89,000	**บาท**

ตาราง 4.10 แสดงผลรวมรายจ่ายทั้งหมดในปีที่ 2

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินเครื่องต่อปี	7,800	บาท/ปี
2	ค่าบำรุงรักษา (คิดวันละ 10 บาท)	3,650	บาท
3	รวมราคาวัตถุดิบที่ใช้ใน 1 ปี	4,446	บาท
4	**รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในปีที่ 2**	15,896	**บาท**

รายได้จากการขายเกลือในปีที่ 2 และปีต่อ ๆ มา จะเท่ากับปีเริ่มต้นคือ 89,000 บาท/ปี เมื่อหักกับค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในปีที่ 2 จะเท่ากับ 89,000 – 15,896 = 73,104 บาท

ตาราง 4.11 แสดงการคำนวณหาปีที่คุ้มทุน

ปี	ราคาต้นทุนต่อปี	รายรับจากเกลือที่ขายได้ต่อปี	กำไร(บาท)
1	544,446	89,000	-455,446
2	15,896	89,000	73,104
3	15,896	89,000	73,104
4	15,896	89,000	73,104
5	15,896	89,000	73,104
6	15,896	89,000	73,104
7	15,896	89,000	73,104
รวม	655,718	712,000	56,282

สรุป ถ้าขายเกลือที่ได้จากการตาก ตันละ 1,000 บาท จะสามารถคืนทุนได้ภายใน 7 ปี

4.2.6 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ

-กรณีการตากบนลานขนาด (5 x 3 x 0.10 เมตร) ปริมาตรของน้ำเกลือประมาณ 1.5 ลูกบาศก์เมตร ใช้ระยะเวลาในการได้เกลือประมาณ 5 - 7 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศด้วย ซึ่งการตากแบบบ้านญี่ปุ่น จะได้ความเข้มข้นเฉลี่ยวันละ 1 โบเม่ (น้ำเกลือจะเริ่มตกผลึกได้ดีที่ความเข้มข้นของน้ำเกลือ 25 – 27 โบเม่)

-กรณีการใช้เทคโนโลยีการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวฉีดแบบสเปรย์ใช้ปริมาตรน้ำเกลือเท่ากับ 0.1 ลูกบาศก์เมตร ใช้ระยะเวลาในเพิ่มความเข้มข้นโดยเฉลี่ยจากการทดลองตลอด 7 วัน (ระยะเวลาทดลองวันละ 7 ชั่วโมง 30 นาที) ที่มีทั้งวันที่ความเข้มแสงแรง และความเข้มแสงอ่อน โดยเฉลี่ยวัดอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของน้ำเกลือได้ดังนี้

ตารางที่ 4.12 แสดงอัตราการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือโดยรวมทั้ง 7 วัน

วันที่	1	2	3	4	5	6	7
อัตราการเพิ่มความเข้มข้นน้ำเกลือ(โบเม่ต่อนาที)	0.0088	0.011	0.0044	0.0088	0.01	0.0044	0.0067
อัตราการเพิ่มความเข้มข้นน้ำเกลือ(โบเม่ต่อชั่วโมง)	0.528	0.666	0.264	0.528	0.6	0.264	0.402

หรือคิดโดยเฉลี่ยทั้ง 7 วัน

$$\frac{0.528+0.66+0.264+0.528+0.6+0.264+0.402}{7}=0.464 \text{ โบเม่ต่อชั่วโมง}$$

หรือคิดเป็นโดยเฉลี่ย = 3.252 โบเม่ต่อวัน

เปรียบเทียบระยะเวลาที่ระเหยกับแสงอาทิตย์โดยตรงโดยใช้บ้านญี่ปุ่น

ระยะเวลาที่ได้ความเข้มข้นพอเหมาะ (25 – 27 โบเม่) (อัตราเพิ่มความเข้มข้นวันละ 1 โบเม่)

$$=(7day)\times(\frac{24hr}{1day})\times(\frac{60\min}{hr})\times(\frac{1baume}{1day})=10,080\min$$

ปริมาตรของน้ำเกลือเท่ากับ 1.5 ลูกบาศก์เมตร **ใช้เวลาทั้งสิ้น 10,080 นาที**

เปรียบเทียบกับการเร่งการระเหยโดยวิธีหัวฉีดแบบสเปรย์

ถ้าปริมาตรของน้ำเกลือเท่ากับ 0.1 ลูกบาศก์เมตร (อัตราเพิ่มความเข้มข้นโดยเฉลี่ยวันละ 3.252 โบเม่)

$$\frac{(10,080)\times(0.1m^3)\times(\frac{3.252baume}{day})}{(1.5m^3)}=2,186.344\min$$

ปริมาตรของน้ำเกลือเท่ากับ 0.1 ลูกบาศก์เมตร **จะใช้เวลา = 2,186.344 นาที**

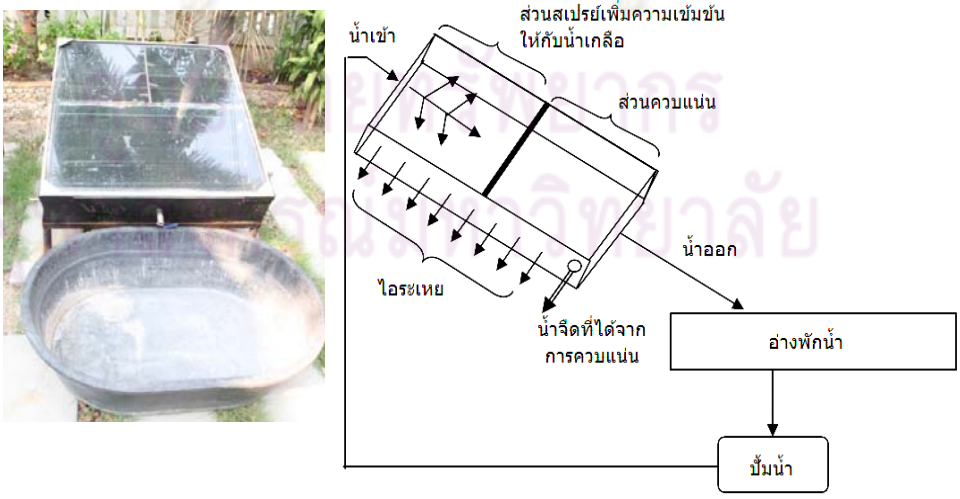
บทที่ 5

อภิปรายสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายสรุปผลการวิจัย

จากการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือแบบเดิมโดยบ้านญี่ปุ่น (รูปที่ 5.1) การปล่อยระเหยโดยตรงสู่อากาศภายนอกโดยอุณหภูมิของน้ำและอากาศที่สัมผัสจะต่างกันประมาณ 10 องศา-เซลเซียส จากข้อมูลพบว่าการปล่อยระเหยแบบธรรมดาจะเพิ่มค่าความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้วันละ 1 โบเม่ (ระยะเวลาการตากแดดประมาณ 10 ชั่วโมง) ซึ่งต้องใช้เวลาตากระเหยประมาณ 5 – 7 วัน และจะเพิ่มความเข้มข้นได้เมื่อฝนไม่ตกเท่านั้น

รูปที่ 5.1 บ้านญี่ปุ่นช่วยเพิ่มอัตราการระเหยน้ำด้วยการให้น้ำเกลือสัมผัสกับอากาศ



รูปที่ 5.2 ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์ขั้นบันได

จากรูปที่ 5.2 ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์ขั้นบันได น้ำเกลือที่ผ่านระบบเพิ่มความเข้มข้นด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์ ถูกขับเคลื่อนด้วยปั๊มความดัน 2 บาร์ อัตราการไหลวนของน้ำเกลือ 23 ลิตรต่อนาที หรือ 1,380 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำจะแตกต่างกันประมาณ 30 – 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเพิ่มค่าความเข้มข้นได้วันละ 2 – 4.5 โบเม่ต่อวัน (ระยะเวลา การตากแดด 7 ชั่วโมงต่อวัน) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของน้ำเกลือ ถ้าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในกระจกมีค่าลดลง อัตราการระเหยของน้ำเกลือที่ถูกสเปรย์ก็จะลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นที่ได้มีค่าน้อยลงเช่นกัน

ในการวิจัยนี้สรุปว่าหากค่าความเข้มแสงสูงกว่า 1,000 ลักซ์ขึ้นไป จะสามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้วันละ 3 – 4 โบเม่ และสามารถทำได้ทุกฤดูแม้ว่าจะมีฝนก็ตามอีกทั้งสามารถทำได้ในพื้นที่จำกัด และน้ำที่ได้จากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเป็นน้ำจืด สามารถปล่อยคืนสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาดินเค็ม ต่างจาก “บ้านญี่ปุ่น” ซึ่งจะต้องอาศัยลานขนาดใหญ่ทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำเกลือสู่พื้นดินได้

5.2 การเปรียบระหว่างผลการทดลองกับผลที่คาดว่าจะได้รับและสรุปผล

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้มากขึ้น
2. ช่วยลดระยะเวลาในการผลิตเกลือจากวิธีแบบพื้นบ้าน

จากผลที่คาดว่าจะได้รับในข้อที่ 1 สามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ 2 – 4 เท่าของอัตราการระเหยแบบปกติ

จากผลที่คาดว่าจะได้รับในข้อที่ 2 ช่วยลดระยะเวลาในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือ จากเดิมด้วยบ้านญี่ปุ่น ซึ่งเพิ่มความเข้มข้นได้วันละ 1 โบเม่ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือด้วยหัวฉีดแบบสเปรย์ ซึ่งสามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้สูงสุดถึงวันละ 5 โมเม่

สรุป เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาตร 1.5 ลูกบาศก์เมตร

กรณีเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยบ้านญี่ปุ่นใช้เวลาประมาณ 10,080 นาที
กรณีใช้เทคโนโลยีการเร่งการระเหยโดยวิธีหัวฉีดแบบสเปรย์ ใช้เวลา 2,186 นาที
ซึ่งจะใช้เวลาน้อยกว่าประมาณ 5 เท่าตัว

ดังนั้นเทคโนโลยีการเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวฉีดแบบสเปรย์จึงมีข้อได้เปรียบดังนี้

1. สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มค่าความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือได้ดีกว่าการเพิ่มความเข้มข้นด้วย “บ้านญี่ปุ่น” 3 – 5 เท่าตัว

2. ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์สามารถปฏิบัติงานได้ในบริเวณพื้นที่จำกัด ต่างจากระบบ “บ้านญี่ปุ่น” ซึ่งจะต้องทำขนาดใหญ่และต้องใช้พื้นที่กว้างเพื่อตากน้ำเกลือ

3. ระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือด้วยหัวฉีดสเปรย์สามารถปฏิบัติงานได้ตลอดทั้งปีแม้จะเป็นฤดูฝน เพราะน้ำเกลือที่ถูกเพิ่มความเข้มข้นถูกเก็บอยู่ในถัง ต่างจากระบบ “บ้านญี่ปุ่น” ซึ่งจะทำได้ในฤดูแล้งเท่านั้น ซึ่งในหนึ่งปีจะทำได้ ประมาณ 6 เดือน

4. น้ำที่ได้จากการควบแน่นจะเป็นน้ำจืดสามารถปล่อยคืนสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาดินเค็ม ต่างจากระบบ “บ้านญี่ปุ่น” ซึ่งจะต้องมีลานตากน้ำเกลือ ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาการรั่วซึมของน้ำเกลืออันก่อให้เกิดปัญหาดินเค็มได้

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาการอุดตันของหัวสเปรย์ ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากหยุดใช้งานเป็นเวลานาน เกลือจะตกผลึกอุดตันที่บริเวณหัวสเปรย์ วิธีการแก้ไขต้องปั้มสูบน้ำจืดสเปรย์ทิ้งไว้สักพักเพื่อให้ผลึกเกลือ ที่อุดตันบริเวณหัวสเปรย์ละลายจนหมดจึงจะเริ่มใช้งานได้

2. ปัญหาการตกผลึกของเกลือในขั้นบันได หากมีการใช้เครื่องเป็นเวลานาน น้ำเกลือที่ขังอยู่ในช่องบันไดจะถูกทิ้งไว้ในช่อง เมื่อเลิกใช้งานอุณหภูมิภายในห้องสเปรย์ต่ำลง น้ำเกลือจะเริ่มตกผลึก หากใช้งานหลายวันจะเกิดการสะสมตัวของผลึกเกลือจนเป็นแผ่นหนา วิธีการแก้ไขจะต้องมีการตรวจดูร่องขั้นบันไดทุก ๆ 3 วันว่ามีผลึกเกลือมากเกินไปหรือไม่ จากนั้นจึงทำการเคาะเอาผลึกเกลือออก

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีดอื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่าการทดลองนี้เพื่อว่าจะมีผลต่อค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือหรือไม่

2. ควรศึกษาว่าการปรับยกระดับหัวฉีดสเปรย์ให้สูงขึ้นและยกระดับส่วนที่เป็นห้องสเปรย์ให้สูงขึ้น เพื่อให้ละอองน้ำที่ถูกสเปรย์ออกมาสัมผัสกับอากาศมากที่สุดได้ระยะเท่าได จึงจะทำให้ค่าความเข้มข้นของเกลือออกมาดีที่สุด

3. ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันไดและระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate) ไปประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือในระบบการผลิตเกลือ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือปีงบประมาณ พ.ศ.2551, ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มีนาคม 2552

บริษัท เกลือพิมาย จำกัด แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่ สำหรับคำขอประทานบัตรที่8/2545, พ.ศ.2551

บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด.รายงานการศึกษาขั้นต้นการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมการทำเกลือจากน้ำเกลือใต้ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวง-ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ยิ่งศักดิ์ งามฉวีพันธุ์, หนังสือพิมพ์ฝึกปฏิบัติ สาขาวิชาการสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยมหา - สารคาม, พ.ศ. 2551

รายงานความต้องการปริมาณเกลือสินเธาว์ , กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค, 2547

รายงานการศึกษาโครงการศึกษาศักยภาพการผลิตเกลือสินเธาว์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน, ศูนย์ - เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, พ.ศ.2548

แผนผังโครงการทำเหมืองแร่เกลือหิน (Rock Salt) โดยวิธีการทำเหมืองละลายแร่, บริษัท เกลือพิมายจำกัด, พ.ศ.2551

สมบัติ ขอทวีวัฒนา , กรรมวิธีการอบแห้ง, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ, พ.ศ.2529

การคิดค่าไฟฟ้าด้วยตนเอง , วารสารภายในการไฟฟ้านครหลวง ปีที่ 18 ฉบับที่ 178 กรกฎาคม พ.ศ.2541

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

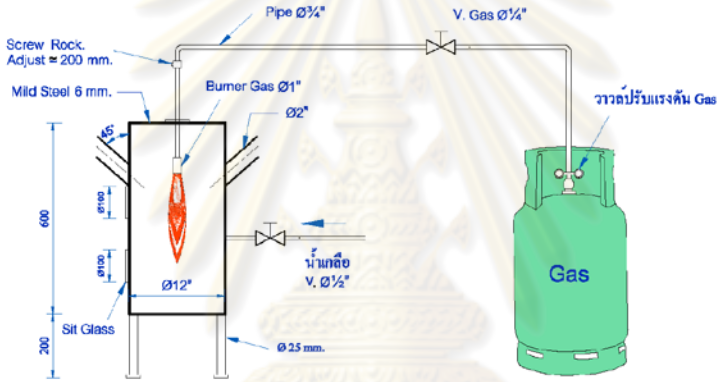
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แบบแปลนเทคโนโลยีการตกผลึกเกลือสินเธาว์

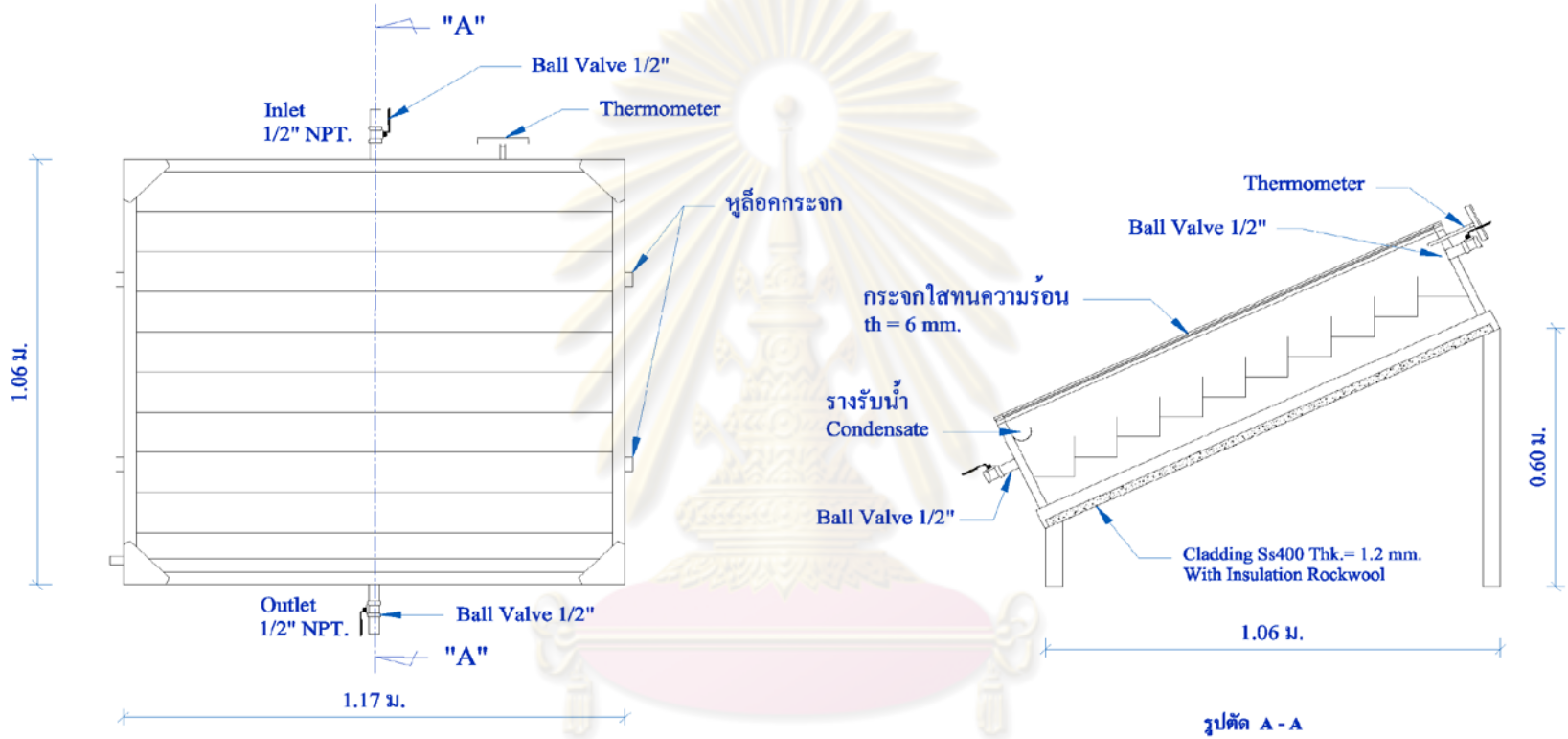
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปด้านข้าง
มาตราส่วน 1:10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project : โครงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552		
แบบ : เทคโนโลยีการต้มเกลือให้ผลการสูญเสียความร้อน	เขียนแบบ : วัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ	
วิสวกร :	วัน / เดือน / ปี ค.ศ. 2552	
แสดงแบบ : ระบบเตาต้มเกลือโดยการสัมผัสตรง	มาตราส่วน 1:10	แผ่นที่: 1

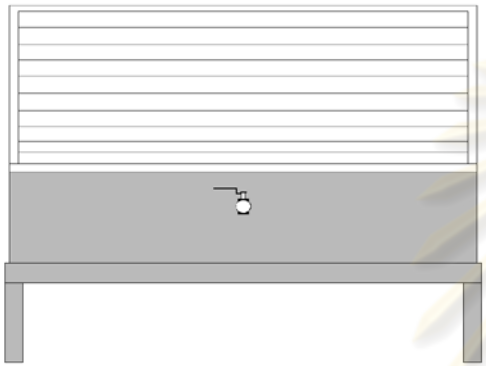


รูปด้านบน
มาตราส่วน 1:10

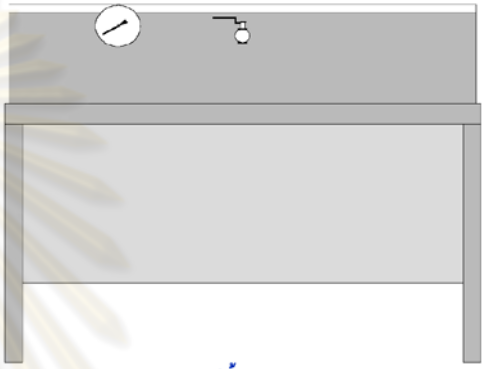
รูปตัด A - A
มาตราส่วน 1:10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

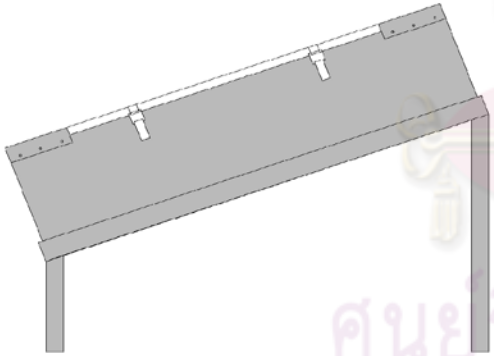
Project : โครงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552		
แบบ : ระบบแผงความร้อนการไพลเวียนแบบชั้นบันได	เขียนแบบ : วัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ	
วิศวกร :	วัน / เดือน / ปี : ก.ย. 2552	
แสดงแบบ : รูปด้าน บน , รูปตัด A-A	มาตราส่วน : 1:10	แผ่นที่: 1



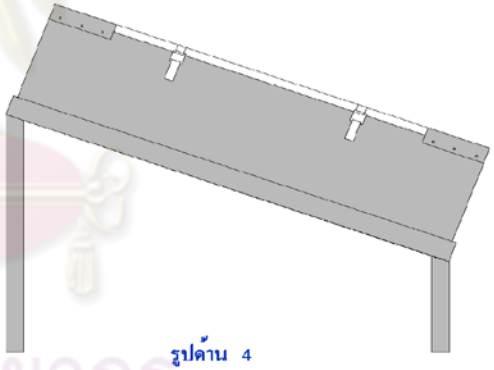
รูปด้าน 1
มาตราส่วน 1 : 10



รูปด้าน 2
มาตราส่วน 1 : 10



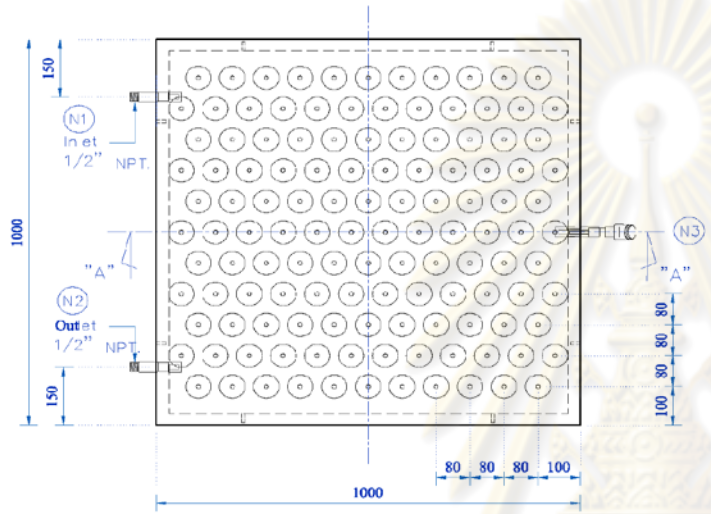
รูปด้าน 3
มาตราส่วน 1 : 10



รูปด้าน 4
มาตราส่วน 1 : 10

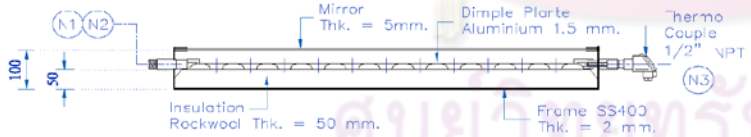
Project : โครงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552		
แบบ : ระบบแผงความร้อนการไหลเวียนแบบชั้นเดียว	เขียนแบบ : วัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ	
วิศวกร :	วัน / เดือน / ปี : ก.ย. 2552	
แสดงแบบ : รูปด้าน 1, 2, 3, 4	มาตราส่วน : 1:10	แผ่นที่: 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



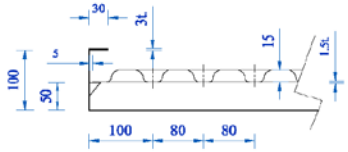
รูปด้านบน

มาตราส่วน 1:10

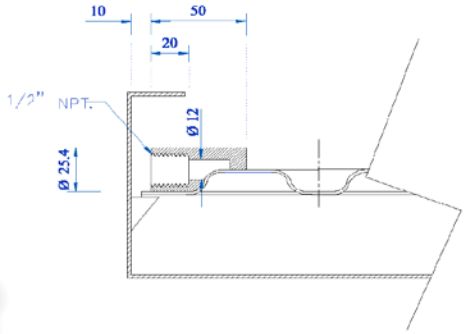


รูปตัด "A" - "A"

มาตราสวน 1 : 10



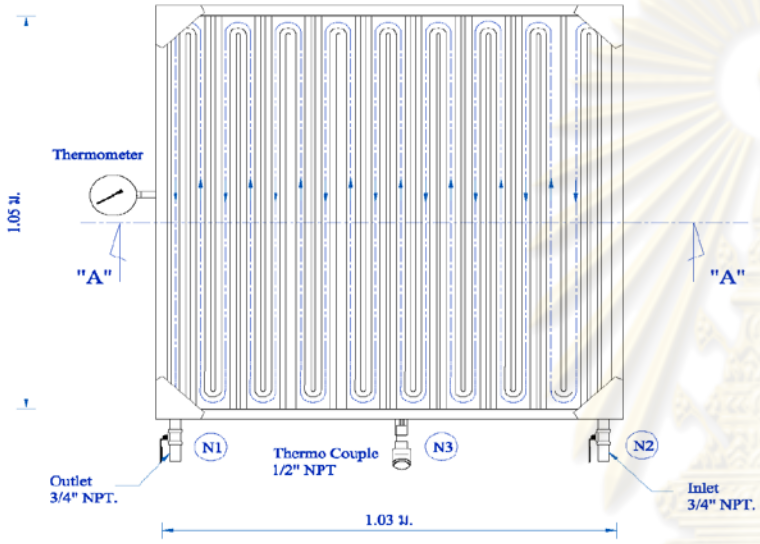
DETAIL OF "FRAME"



DETAIL OF "N1" , "N2" , "N3"

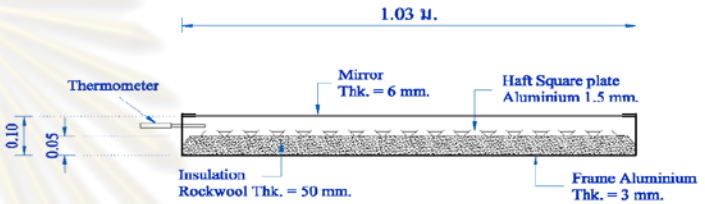
Project : โครงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552		
แบบ : ระบบแลงวงชะแล่นความร้อนแบบรดตุม	เขียนแบบ : วัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ	
วิศวกร :	วัน / เดือน / ปี : ก.ย. 2552	
แสดงแบบ : รูปด้านบน , รูปตัด A - A	มาตราส่วน : 1:10	แผ่นที่ : 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปด้านบน

มาตราส่วน 1 : 10



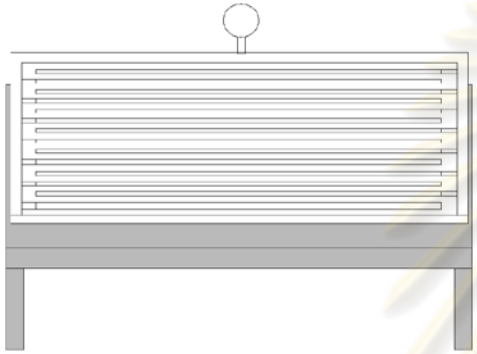
* ใช้ L ของ Material 1200 mm. x 1200 mm.

รูปตัด "A"-"A"

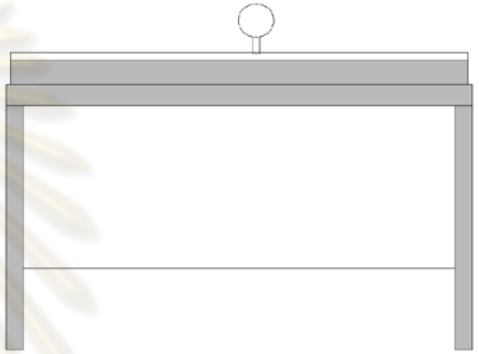
มาตราส่วน 1 : 10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

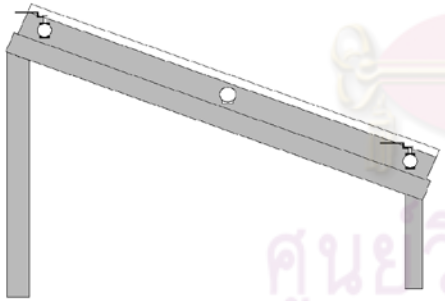
Project : โครงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552			
แบบ : ระบบเผาวงจรแผ่ความร้อน แบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม		เขียนแบบ : วัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ	
วิศวกร :		วัน / เดือน / ปี : ก.ย. 2552	
แสดงแบบ : รูปด้านบน , รูปตัด A - A		มาตราส่วน : 1:10	แผ่นที่: 1



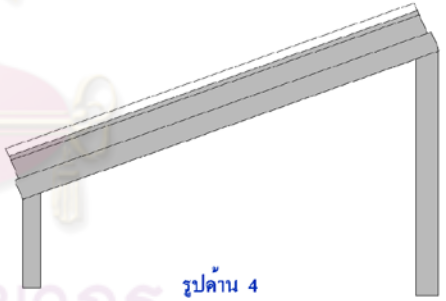
รูปด้าน 1
มาตราส่วน 1 : 10



รูปด้าน 2
มาตราส่วน 1 : 10



รูปด้าน 3
มาตราส่วน 1 : 10



รูปด้าน 4
มาตราส่วน 1 : 10

Project : โครงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเกลือสินเธาว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552		
แบบ : ระบบแลงวงจรแค่ความร้อน แบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม	เขียนแบบ : วัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ	
วิทวกร :	วัน / เดือน / ปี : ก.ย. 2552	
แสดงแบบ : รูปด้าน 1,2,3,4	มาตราส่วน : 1:10	แผ่นที่: 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองระบบแผงวงจรแผ่นความร้อนแบบรูปครึ่งสี่เหลี่ยม (Half Square Plate)

ผลการทดลองวันที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองวันที่ 1 รอบที่ 1 ปล่อยน้ำเกลือเข้าท่ออุณหภูมิเริ่มต้น 44.6 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
11.23	44.6	0
11.25	46.1	2
11.29	49.4	4
11.31	51.2	6
11.33	52.9	8
11.35	54.5	10
11.37	56.0	12
11.39	57.2	14
11.41	58.2	16
11.43	59.7	18
11.45	61.2	20
11.47	62.6	22
11.49	63.8	24
11.51	65..0	26
11.53	65.9	28
11.55	67.2	30
11.57	68.1	32
11.59	69.0	34
12.01	70.4	36
12.03	71.5	38
12.05	72.4	40
12.07	73.3	42
12.09	73.7	44
12.11	74.3	4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงผลการทดลองวันที่ 1 รอบที่ 1

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
12.13	74.9	48
12.15	75.8	50
12.17	77.6	52
12.19	77.3	54
12.21	78.2	56
12.23	78.8	58
12.25	79.4	60
12.27	80.0	62

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองวันที่ 1 รอบที่ 2 ตั้งค่าให้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่ 47 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
12.30	47.6	0
12.32	49.2	2
12.34	52.4	4
12.36	54.3	6
12.38	55.6	8
12.40	56.9	10
12.42	58.3	12
12.44	59.5	14
12.46	60.1	16
12.48	61.0	18
12.50	61.5	20
12.52	62.3	22
12.54	63.2	24
12.56	64.1	26
12.58	65.4	28
13.00	66	30
13.02	66.8	32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 (ต่อ) แสดงผลการทดลองวันที่ 1 รอบที่ 2

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
13.04	67.4	34
13.06	68.5	36
13.08	69.1	38
13.10	69.8	40
13.12	70.2	42
13.14	70.8	44
13.16	71.4	46
13.18	72.3	48
13.20	72.7	50
13.22	73.1	52
13.24	73.5	54
13.26	73.8	56
13.28	74.9	58
13.30	75.0	60
13.32	75.2	62
13.34	75.2	64
13.36	75.2	66
13.38	75.4	68
13.40	75.4	70
13.42	76.0	72
13.44	76.2	74
13.46	76.4	76
13.48	77.5	78
13.50	77.6	80
13.52	77.8	82
13.54	78.4	84
13.56	78.7	86
13.58	78.7	88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 (ต่อ) แสดงผลการทดลองวันที่ 1 รอบที่ 2

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
14.00	79.0	90
14.02	79.0	92
14.04	79.1	94
14.06	79.2	96
14.08	79.3	98

การทดลองวันที่ 2

ตารางที่ 3. **แสดงผลการทดลองวันที่ 2 รอบที่** 1 ปล่อยน้ำเกลือเข้าท่ออุณหภูมิเริ่มต้น 43.5 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
12.35	43.5	0
12.38	45.4	3
12.41	48.3	6
12.44	52.6	9
12.47	55.2	12
12.50	57.7	15
12.53	60.3	18
12.55	63.2	20
12.58	65.7	23
13.01	67.8	26
13.04	69.5	29
13.07	73.4	32
13.10	77.8	35
13.13	80.0	38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4. **แสดงผลการทดลองวันที่** 2 **รอบที่** 2 ตั้งค่าให้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่ 70 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
13.15	71.7	0
13.17	72.3	2
13.19	73.3	4
13.21	73.9	6
13.23	74.5	8
13.25	75.1	10
13.27	76.0	12
13.29	76.6	14
13.31	77.2	16
13.33	78.1	18
13.35	78.7	20
13.37	79.3	22
13.39	79.9	24
13.41	80.3	26

การทดลองวันที่ 3

ตารางที่ 5. **แสดงผลการทดลองวันที่** 3 **รอบที่** 1 ปล่อยน้ำเกลือเข้าท่ออุณหภูมิเริ่มต้น 44.2 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
12.00	44.2	1
12.01	46.8	2
12.02	49.4	3
12.03	52.3	4
12.04	54.8	5
12.05	57.1	6

12.06	59.5	7
12.07	62.3	8
12.08	63.4	9
12.09	65.1	10
12.10	66.3	11
12.11	67.7	12
12.12	68.6	13
12.13	69.7	14
12.14	71.0	15
12.15	72.3	16
12.16	73.2	17
12.17	74.7	18
12.18	75.2	19
12.19	76.6	20
12.20	77.1	21
12.21	78.8	22
12.22	80.1	23

ตารางที่ 6. แสดงผลการทดลองวันที่ 3 รอบที่ 2 ตั้งค่าให้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่ 70 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
12.26	70.2	1
12.27	70.9	2
12.28	71.6	3
12.29	72.4	4
12.30	73.1	5
12.31	74.3	6
12.32	74.9	7
12.33	75.7	8
12.34	76.5	9
12.35	77.2	10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12.36	78.3	11
12.37	79.4	12
12.38	80.2	13

การทดลองวันที่ 4

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดลองวันที่ 4 ปล่อยน้ำเกลือเข้าท่ออุณหภูมิเริ่มต้น 42.2 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
11.30	42.2	0
11.32	42.8	2
11.34	43.3	4
11.36	43.9	6
11.38	44.4	8
11.40	44.8	10
11.42	45.2	12
11.44	46.3	14
11.46	46.9	16
11.48	47.5	18
11.50	48.0	20
11.52	48.6	22
11.54	49.3	24
11.56	50.1	26
11.58	50.8	28
12.00	51.4	30
12.02	52.2	32
12.04	53.6	34
12.06	54.8	36
12.08	55.5	38
12.10	56.2	40
12.12	57.5	42
12.14	58.3	44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 (ต่อ) แสดงผลการทดลองวันที่ 4

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
12.16	60.1	46
12.18	61.2	48
12.20	62.5	50
12.22	63.7	52
12.24	64.5	54
12.26	65.4	56
12.28	66.3	58
12.30	67.1	60
12.32	67.9	62
12.34	68.7	64
12.36	69.0	66
12.38	70.7	68
12.40	71.5	70
12.42	72.4	72
12.44	73.0	74
12.46	73.7	76
12.48	74.3	78
12.50	75.2	80
12.52	75.9	82
12.54	76.5	84
12.56	77.2	86
12.58	78.1	88
13.00	78.9	90
13.02	79.3	92
13.04	79.8	94
13.06	80.2	96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองวันที่ 5

ตารางที่ 8 **แสดงผลการทดลองวันที่** 5 **รอบที่** 1 ปล่อยน้ำเกลือเข้าท่ออุณหภูมิเริ่มต้น 40.4 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
11.23	40.4	0
11.24	41.5	1
11.25	43.1	2
11.26	44.6	3
11.27	45.3	4
11.28	46.8	5
11.29	48.7	6
11.30	50.2	7
11.31	52.5	8
11.32	55.1	9
11.33	57.8	10
11.34	60.4	11
11.35	61.3	12
11.36	62.5	13
11.37	64.0	14
11.38	65.3	15
11.39	66.7	16
11.40	68.5	17
11.41	70.1	18
11.42	71.2	19
11.43	73.4	20
11.44	74.2	21
11.45	75.5	22
11.46	76.3	23
11.47	77.2	24
11.48	78.8	25
11.49	80.3	26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองวันที่ 5 รอบที่ 2 ตั้งค่าให้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่ 60 องศาเซลเซียส

เวลาเริ่มต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	รวมเวลา (นาที)
11.52	60.3	0
11.53	61.1	1
11.54	61.9	2
11.55	62.4	3
11.56	63.1	4
11.57	63.8	5
11.58	64.2	6
11.59	65.5	7
12.00	67.0	8
12.01	68.2	9
12.02	69.5	10
12.03	70.7	11
12.04	71.6	12
12.05	72.5	13
12.06	73.9	14
12.07	75.0	15
12.08	76.5	16
12.09	77.8	17
12.10	79.2	18
12.11	80.1	19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองระบบเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำเกลือโดยใช้หัวสเปรย์ไหลเวียนแบบขั้นบันได

<u>การทดลองวันที่ 1</u>

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองวันที่ 1

ความเข้มแสงสูงสุด (วัดตอน 12.00 น.)	975 ลักซ์
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด	65 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง	20 โบเม่
ความเข้มข้นหลังการทดลอง	24 โบเม่
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง	100 ลิตร
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง	88 ลิตร
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง	25 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง	66 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองวันที่ 1 (ต่อ)

นาที	เวลา	ความเข้มข้น (โบเม่)	อุณหภูมิใต้กระจก (องศาเซลเซียส)
0	9:00 AM	20	45
30	9:30 AM	20	53
60	10:00 AM	20	57
90	10:30 AM	20	60
120	11:00 AM	21	62
150	11:30 AM	21	65
180	12:00 PM	21.5	65
210	12:30 PM	21.5	65
240	1:00 PM	22	65
270	1:30 PM	22	65
300	2:00 PM	22.5	65
330	2:30 PM	22.5	62
360	3:00 PM	23	62
390	3:30 PM	23	60
420	4:00 PM	23.5	56
450	4:30 PM	24	54

<u>การทดลองวันที่ 2</u>

ตารางที่ 11 แสดงผลการทดลองวันที่ 2

ความเข้มแสงสูงสุด (วัดตอน 12.00 น.)	1,167 ลักซ์
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด	70 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง	20 โบเม่
ความเข้มข้นหลังการทดลอง	25 โบเม่
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง	100 ลิตร
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง	84 ลิตร
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง	25 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง	72 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองวันที่ 2 (ต่อ)

นาที	เวลา	ความเข้มข้น (โบเม่)	อุณหภูมิใต้กระจก (องศาเซลเซียส)
0	9:00 AM	20	50
30	9:30 AM	20	55
60	10:00 AM	20.5	57
90	10:30 AM	20.5	60
120	11:00 AM	21	64
150	11:30 AM	21.5	66
180	12:00 PM	22	69
210	12:30 PM	22.5	70
240	1:00 PM	23	70
270	1:30 PM	23.5	70
300	2:00 PM	24	68
330	2:30 PM	24	65
360	3:00 PM	24	62
390	3:30 PM	24.5	60
420	4:00 PM	24.5	57
450	4:30 PM	25	55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลองวันที่ 3</u>

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดลองวันที่ 3

ความเข้มแสงสูงสุด (วัดตอน 12.00 น.)	423 ลักซ์
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด	60 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง	20 โบเม่
ความเข้มข้นหลังการทดลอง	22 โบเม่
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง	100 ลิตร
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง	94 ลิตร
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง	25 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง	63 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดลองวันที่ 3 (ต่อ)

นาที	เวลา	ความเข้มข้น (โบเม่)	อุณหภูมิใต้กระจก (องศาเซลเซียส)
0	9:00 AM	20	45
30	9:30 AM	20	47
60	10:00 AM	20	50
90	10:30 AM	20	53
120	11:00 AM	20.5	56
150	11:30 AM	20.5	58
180	12:00 PM	20.5	60
210	12:30 PM	20.5	60
240	1:00 PM	21	60
270	1:30 PM	21	60
300	2:00 PM	21	60
330	2:30 PM	21.5	58
360	3:00 PM	21.5	58
390	3:30 PM	22	55
420	4:00 PM	22	52
450	4:30 PM	22	52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลองวันที่ 4</u>

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดลองวันที่ 4

ความเข้มแสงสูงสุด (วัดตอน 12.00 น.)	864 ลักซ์
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด	64 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง	20 โบเม่
ความเข้มข้นหลังการทดลอง	24 โบเม่
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง	100 ลิตร
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง	89 ลิตร
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง	24 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง	65 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดลองวันที่ 4 (ต่อ)

นาที	**เวลา**	**ความเข้มข้น (โบเม่)**	**อุณหภูมิใต้กระจก (องศาเซลเซียส)**
0	9:00 AM	20	48
30	9:30 AM	20	50
60	10:00 AM	20.5	52
90	10:30 AM	20.5	54
120	11:00 AM	20.5	58
150	11:30 AM	21	60
180	12:00 PM	21	62
210	12:30 PM	21.5	64
240	1:00 PM	22	64
270	1:30 PM	22.5	64
300	2:00 PM	23	62
330	2:30 PM	23	62
360	3:00 PM	23.5	60
390	3:30 PM	23.5	60
420	4:00 PM	23.5	58
450	4:30 PM	24	54

<u>การทดลองวันที่ 5</u>

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดลองวันที่ 5

ความเข้มแสงสูงสุด (วัดตอน 12.00 น.)	1483 ลักซ์
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด	74 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง	20 โบเม่
ความเข้มข้นหลังการทดลอง	24.5 โบเม่
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง	100 ลิตร
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง	82 ลิตร
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง	25 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง	77 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดลองวันที่ 5 (ต่อ)

นาที	เวลา	ความเข้มข้น (โบเม่)	อุณหภูมิใต้กระจก (องศาเซลเซียส)
0	9:00 AM	20	46
30	9:30 AM	20	50
60	10:00 AM	20.5	56
90	10:30 AM	20.5	58
120	11:00 AM	21	60
150	11:30 AM	21	62
180	12:00 PM	21.5	66
210	12:30 PM	22	70
240	1:00 PM	22	74
270	1:30 PM	22.5	74
300	2:00 PM	23	74
330	2:30 PM	23.5	72
360	3:00 PM	23.5	65
390	3:30 PM	24	62
420	4:00 PM	24	60
450	4:30 PM	24.5	58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลองวันที่ 6</u>

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดลองวันที่ 6

ความเข้มแสงสูงสุด (วัดตอน 12.00 น.)	455 ลักซ์
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด	60 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง	20 โบเม่
ความเข้มข้นหลังการทดลอง	22 โบเม่
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง	100 ลิตร
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง	93 ลิตร
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง	25 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง	62 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดลองวันที่ 6 (ต่อ)

นาที	เวลา	ความเข้มข้น (โบเม่)	อุณหภูมิใต้กระจก (องศาเซลเซียส)
0	9:00 AM	20	44
30	9:30 AM	20	46
60	10:00 AM	20	48
90	10:30 AM	20.5	53
120	11:00 AM	20.5	56
150	11:30 AM	20.5	58
180	12:00 PM	20.5	60
210	12:30 PM	20.5	60
240	1:00 PM	21	60
270	1:30 PM	21	60
300	2:00 PM	21.5	58
330	2:30 PM	21.5	58
360	3:00 PM	21.5	56
390	3:30 PM	22	54
420	4:00 PM	22	52
450	4:30 PM	22	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองวันที่ 7

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดลองวันที่ 7

ความเข้มแสงสูงสุด (วัดตอน 12.00 น.)	847 ลักซ์
อุณหภูมิใต้กระจกสูงสุด	65 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นน้ำเกลือก่อนการทดลอง	20 โบเม่
ความเข้มข้นหลังการทดลอง	23 โบเม่
ปริมาตรน้ำเกลือก่อนการทดลอง	100 ลิตร
ปริมาตรน้ำเกลือหลังการทดลอง	90 ลิตร
อุณหภูมิของน้ำเกลือก่อนการทดลอง	26 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำเกลือหลังการทดลอง	66 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดลองวันที่ 7 (ต่อ)

นาที	เวลา	ความเข้มข้น (โบเม่)	อุณหภูมิใต้กระจก (องศาเซลเซียส)
0	9:00 AM	20	46
30	9:30 AM	20	48
60	10:00 AM	20	50
90	10:30 AM	20.5	54
120	11:00 AM	20.5	56
150	11:30 AM	20.5	58
180	12:00 PM	20.5	60
210	12:30 PM	21	62
240	1:00 PM	21	65
270	1:30 PM	21.5	65
300	2:00 PM	21.5	65
330	2:30 PM	22	62
360	3:00 PM	22	60
390	3:30 PM	22.5	60
420	4:00 PM	22.5	58
450	4:30 PM	23	52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรณพีร์ ยอดสุวรรณ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ในปี พ.ศ. 2547 จากนั้นได้ออกมาทำงานอิสระเป็นเวลา 2 ปี

ในปี พ.ศ. 2549 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มาจนถึงปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย