การกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้นและลดความชื้น

Seawater Desalination System Based Humidification - Dehumidification Technique

รุ่งทิพย์ จันทวิลัย
RUNGTHIP JANTAWILAI
ภัทรพรรณ ไชยโกฏิ
PATTARAPAN CHAIYAKOTE
สิทธินนท์ บัวชุม
SITTINON BUACHUM

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลแขนงเครื่องเกษตรและอาหาร และวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Seawater Desalination System Based Humidification - Dehumidification Technique

RUNGTHIP JANTAWILAI
PATTARAPAN CHAIYAKOTE
SITTINON BUACHUM

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN
AGRICULTURAL ENGINEERING AND ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2021
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น
PROJECT TITLE	Seawater Desalination System Based Humidification - Dehumidification Technique
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรุ่งทิพย์ จันทวิลัย **รหัสประจำตัว** 60513016
	นางสาวภัทรพรรณ ไชยโกฏิ **รหัสประจำตัว** 60514037
	นายสิทธินนท์ บัวชุม **รหัสประจำตัว** 60514051
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลแขนงเครื่องเกษตรและอาหาร และวิศวกรรมพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์			**ลายมือชื่อ**
ผศ.ดร.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์	กรรมการสอบ	
ดร.วิสิทธิ์	เอกวานิช	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ปราโมทย์	กุศล	อาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.ศรีรัตน์	ช่วยบุญ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 28 พฤษภาคม 2564 เวลา 9.00 - 17.00 น.
สถานที่สอบ สอบแบบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

ชื่อนักศึกษา นางสาวรุ่งทิพย์ จันทวิลัย **รหัสประจำตัว** 60513016
นางสาวภัทรพรรณ ไชยโกฏิ **รหัสประจำตัว** 60514037
นายสิทธินนท์ บัวชุม **รหัสประจำตัว** 60514051

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลแขนงเครื่องเกษตรและอาหาร และวิศวกรรมพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นศึกษาการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น ในการทดลองได้ออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเลเพื่อผลิตน้ำจืด ได้เริ่มจากการ Simulation โดยใช้โปรแกรม SolidWorks เวอร์ชั่น 2020 เพื่อหาตำแหน่ง และขนาดของท่อทางออกของความเร็วลม และความชื้นที่เหมาะสม นำผลที่ได้มาทำการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล เพื่อผลิตน้ำสำหรับการบริโภค ปัจจัยในการควบคุมประกอบด้วย หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว คอนเดนเซอร์มีลักษณะเป็นทรงกรวย ทำการเปรียบเทียบระดับความสูงของหัวฉีด 3 ระดับ ได้แก่ระดับความสูงของหัวฉีดที่ระดับ 70 80 และ 90 เซนติเมตร ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็มของน้ำที่ได้ ผลจากการทดลองสรุปได้ว่า เราจึงเลือกใช้ระดับความสูงของหัวฉีด 80 เซนติเมตร เนื่องจากที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร สามารถกลั่นได้ปริมาณน้ำจืด 148.77 มิลลิลิตร/ชั่วโมง มีปริมาณความเค็ม 0.43 ppt และสอดคล้องตามเกณฑ์คุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกที่น้ำจืดสามารถนำไปใช้บริโภค กำหนดให้มีค่า TDS ไม่เกิน 0.6 ppt โดยมีต้นทุนการผลิต/หน่วย เท่ากับ 3.5 บาท และมีระยะการคืนทุน 21.2 ปี

คำสำคัญ: เครื่องกลั่นน้ำทะเล, กระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title Seawater Desalination System Based Humidification - Dehumidification Technique

Student Miss Rungthip Jantawilai **Student ID** 60513016
Miss Pattarapan Chaiyakote **Student ID** 60514037
Mr. Sittinon Buachum **Student ID** 60514051

Degree Bachelor of Engineering
Program Agricultural Engineering and Energy Engineering
Project Advisor Asst.Prof.Dr.Pramote Kuson

ABSTRACT

This project aims to study fresh water production from seawater by humidification and dehumidification process. The desalination system was designed and constructed to produce fresh water. The simulation using SolidWorks program version 2020 was first applied to determine the proper location and size of the outlet pipes in order to find optimum the wind speed and humidity. Then, such results were used to construct the seawater desalination system. The control factor consists of 4 nozzles with size 0.5 mm, and a condenser unit featured cone shape. The nozzles heights with 3 levels of 70, 80 and 90 cm were compared to determine the amount of fresh water and the most suitable amount of water salinity. The experimental results showed that the 80 cm height of the was found to be the best location for producing fresh water with volume of 148.77 ml/hr and salinity of 0.43 ppt, in agreement with the World Health Organization's drinking water quality criteria (TDS value lass than 0.6 ppt). A production cost/unit was equal to 3.5 baht, and a payback period of was 21.2 years.

Keywords: sea water desalination machine, the humidification – dehumidification system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอน และวิธีการในการทำปริญญานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้ คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณ และเป็นที่เคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุน และกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำ และสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากก็น้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

รุ่งทิพย์ จันทวิลัย
ภัทรพรรณ ไชยโกฎิ
สิทธินนท์ บัวชุม
28 พฤษภาคม 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VIII
สารบัญรูป IX
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
1.3 สมมุติฐานการศึกษา 2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา 2
1.5 ระยะเวลา และสถานที่ทำปริญญาณิพนธ์ 2
1.6 แผนการดำเนินงาน 2
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1.1 หลักการของกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น 4
2.1.1.1 เครื่องทำความชื้น (เครื่องระเหย) ในกระบวน การเพิ่มความชื้น และลดความชื้น 4
2.1.1.2 เครื่องลดความชื้น (คอนเดนเซอร์) ในกระบวน การเพิ่มความชื้น และลดความชื้น 4
2.1.2 การจำแนกประเภทการกลั่นด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น 5
2.1.2.1 ระบบทำน้ำร้อนแบบอาศปิดน้ำเปิด (CAOW) 6
2.1.2.2 ระบบทำน้ำร้อนแบบอาศปิดน้ำเปิด แบบหลายขั้นตอน (CAOW) 7
2.1.2.3 ระบบน้ำร้อนแบบปิดน้ำอากาศเปิด (CWOA - WH) 8
2.1.2.4 ระบบอากาศร้อนแบบอากาศปิดน้ำเปิด (CAOW - AH) 8
2.1.2.5 ระบบอากาศร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - AH) 9
2.1.2.6 ระบบน้ำร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - WH) 9
2.1.3 พารามิเตอร์ประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.3.1 อัตราส่วนผลผลิตที่ได้รับ (GOR) 10
2.1.3.2 อัตราส่วนการฟื้นตัว (RR) 10
2.1.3.3 ปัจจัยการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ (f) 10
2.1.3.4 การสร้างเอนโทรปีเฉพาะ 11
2.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น 11
2.1.4.1 การสร้างแบบจำลองความชื้น 11
2.1.4.2 การสร้างแบบจำลองเครื่องลดความชื้น 13
2.1.4.3 แบบจำลองแหล่งน้ำร้อน 14
2.1.4.4 ความสัมพันธ์ของแบบจำลอง 15
2.1.5 การพาความร้อนแบบบังคับ 16
2.1.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 17
2.1.5.2 สมการความสัมพันธ์ของการพาความร้อนที่สำคัญ 18
2.1.5.3 การพาความร้อนในการเปลี่ยนสถานะ 20
2.1.5.3.1 การพาความร้อนในการเดือด 20
2.1.5.3.2 การพาความร้อนในการควบแน่น 23
2.1.5.4 การแลกเปลี่ยนความร้อน 24
2.1.5.5 ฉนวนความร้อน และการเลือกใช้ 26
2.1.6 กลศาสตร์ของไหล 27
2.1.6.1 สมการพื้นฐานของการไหล 28
2.1.6.1.1 สมการของการอนุรักษ์มวล 28
2.1.6.1.2 สมการของการอนุรักษ์พลังงาน 29
2.1.6.2 การไหลในท่อกลม 30
2.1.6.3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล 32
2.1.6.3.1 ปั๊ม (Pump) 32
2.1.6.3.1.1 แรงขับเคลื่อนของปั๊ม 32
2.1.6.3.1.2 ลักษณะสมบัติของปั๊ม 33
2.1.6.3.2 อุปกรณ์ส่งลม (Blower) 34
2.1.6.3.2.1 แรงขับเคลื่อนของอุปกรณ์ส่งลม 34
2.1.7 SolidWorks Simulation 35
2.1.7.1 Simulation 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.7.2 Motion Analysis 36
2.1.7.3 Flow Simulation 37
2.1.8 ปริมาณความเค็มที่เหมาะสมแก่น้ำดื่ม 37
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 39

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 43
3.1 การออกแบบ และการสร้างเครื่องการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้นและลดความชื้น 44
3.1.1 การ Simulation ด้วยโปรแกรม SolidWorks 44
3.1.1.1 เปรียบเทียบตำแหน่งของความเร็วลมและความชื้นที่เหมาะสม 44
3.1.2 อุปกรณ์ และวิธีการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้นและลดความชื้น 48
3.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ของจำนวนหัวฉีดต่อปริมาณของน้ำจืดที่ได้ 55
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 55
3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง 56

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล 62
4.1 ผลการออกแบบ และการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล 62
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับระดับความสูงของหัวฉีด 63
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาปริมาณความเค็มกับระดับความสูงของหัวฉีด 64
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับปริมาณความเค็ม 65
4.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 66

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 68
5.1 สรุปผลการทดลอง 68
5.2 ปัญหาที่พบ 69
5.3 ข้อเสนอแนะ 70
เอกสารอ้างอิง 71
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก แบบชิ้นส่วนเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้นและลดความชื้น 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำกลั่น และปริมาณความเค็ม ในแต่ละระดับ 89

ประวัติผู้จัดทำ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า

1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล 2
2.1 วัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ 5
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 61
4.1 ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับระดับความสูงของหัวฉีด 63
4.2 ผลการทดลองการหาปริมาณความเค็มกับระดับความสูงของหัวฉีด 64
4.3 ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับปริมาณความเค็ม 65
ข.1 ตารางผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็ม ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง (จับเวลาทุกๆ 5 นาที) 90
ข.2 ตารางผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็ม ที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง (จับเวลาทุกๆ 5 นาที) 91
ข.3 ตารางผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็ม ที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง (จับเวลาทุกๆ 5 นาที) 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล	3
2.1	การจำแนกประเภทของกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นทั่วไป (ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าวงจร)	6
2.2	ระบบน้ำร้อนแบบอากาศปิดน้ำเปิด (CAOW - WH)	7
2.3	วัฏจักรการทำความร้อนแบบหลายขั้นตอน (CAOW)	7
2.4	วัฏจักรน้ำร้อนแบบอากาศเปิดน้ำปิด (OACW - WH)	8
2.5	ระบบอากาศร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - AH)	8
2.6	ระบบอากาศร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - AH)	9
2.7	ระบบน้ำร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - WH)	9
2.8	ความร้อน และสมดุลมวลสำหรับกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น	13
2.9	แสดงแผนผังการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	19
2.10	ไหลผ่านกระบอกสูบโดยมีแกนตั้งฉากกับการไหล $2100<N_{Re}<6000$	20
2.11	แผนภาพของอุณหภูมิ และค่าความร้อนในการเดือดแต่ละช่วง	21
2.12	Overall heat transmission ของผนังเรียบ	24
2.13	การไหลในสภาวะปกติ	28
2.14	การไหลภายในท่อกลม	31
2.15	แผนภูมิเส้นแสดงลักษณะสมบัติของปั๊ม	34
2.16	การวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศขาออก	37
2.17	กราฟแสดงค่าความเค็มสูงสุดรายวันที่สถานีสูบน้ำสำแล ปี พ.ศ. 2,550 – 2,564	38
3.1	ภาพแสดงอุปกรณ์ในการทดลอง	43
3.2	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 5 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด	45
3.3	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 7 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด	45
3.4	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 9 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด	45
3.5	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 5 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง	46
3.6	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 7 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง	46
3.7	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 9 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง	46
3.8	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 5 เซนติเมตร ในตำแหน่งด้านขวาสุด	47
3.9	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 7 เซนติเมตร ในตำแหน่งด้านขวาสุด	47
3.10	ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 9 เซนติเมตร ในตำแหน่งด้านขวาสุด	47
3.11	โต๊ะที่ทำเป็นฐานรองรับการติดตั้งเครื่องกลั่นน้ำทะเล	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.12 ท่อลดขนาดทำด้วยสแตนเลสประกอบกับข้องอ 90 องศา เชื่อมเข้ากับท่อขนาด 15.24 เซนติเมตร 49
3.13 กรวยคอนเดนเซอร์ 49
3.14 ภาชนะบรรจุน้ำทะเลสแตนเลสขนาด 0.164 ลูกบาศก์เมตร 50
3.15 ปั๊มหน้าหมู ขนาด 1 นิ้ว 0.5 แรงม้า รุ่น C - JET QB60 51
3.16 สายส่งน้ำทะเลที่ส่งน้ำทะเล 51
3.17 ขดลวดทองแดงขนาด 10 มิลลิเมตร 52
3.18 หัวฉีดเชื่อมต่อกับข้อต่อ 3 ทางขนาด 6 มิลลิเมตร และท่อทองแดง ขนาด 6 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นวงกลม 52
3.19 โบลเวอร์หอยโข่ง ยี่ห้อ Chuanfan รุ่น CX series 53
3.20 ท่อลมอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหยืดหยุ่น 53
3.21 ปั๊มน้ำDCขนาด 12 โวลต์ 350 วัตต์ รุ่น FY – 1 - 12DC 53
3.22 กรวยขนาดเล็กรองรับน้ำจืด 54
3.23 ตู้ควบคุม 54
3.24 หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว 56
3.25 เครื่องวัดความเค็ม รุ่น MASTER - S10α 57
3.26 เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 ช่องโพรบ รุ่น TM - 1947SD ยี่ห้อ Lutron 57
3.27 เครื่องวัดความเร็วลม และความดันลม รุ่น DT - 8920 57
3.28 เครื่องชั่งดิจิตอล ADAM รุ่น Nimbus Series 58
3.29 บีกเกอร์ภาชนะรับน้ำจืดขนาด 250 มิลลิลิตร 58
3.30 นาฬิกาจับเวลา 58
3.31 ภาชนะบรรจุน้ำขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตร 59
3.32 ชาร์จแบตเตอรี่ ขนาด 30 แอมแปร์ ยี่ห้อ BONTA 59
3.33 ระดับของหัวฉีดที่ความสูง 70 เซนติเมตร 80 เซนติเมตร และ 90 เซนติเมตร 60
3.34 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 60
4.1 เครื่องกลั่นน้ำทะเลโดยใช้กระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น 62
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำจืดที่ได้กับระดับความสูงของหัวฉีด 63
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเค็มกับระดับความสูงหัวฉีด 64
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำจืดที่ได้กับปริมาณความเค็ม 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.1	ฐานลองหัวฉีด	76
ก.2	ข้อต่อ 3 ทาง เชื่อมต่อระหว่างท่อขนาด 1.3 เซนติเมตร กับลวดทองแดงขนาด 6 มิลลิเมตร	77
ก.3	ลวดทองแดงทำมุมรัศมี 38 มิลลิเมตร กับข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร	78
ก.4	ลวดทองแดงทำมุมรัศมี 53 มิลลิเมตร กับข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร	79
ก.5	ลวดทองแดงทำมุมรัศมี 47 มิลลิเมตร กับข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร	80
ก.6	ข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร เชื่อมต่อระหว่างท่อทองแดง ขนาด 6 มิลลิเมตร กับหัวฉีด	81
ก.7	หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร	82
ก.8	โต๊ะฐานรองรับเครื่องกลั่นน้ำทะเล	83
ก.9	กรวยคอนเดนเซอร์	84
ก.10	ท่อขดลวดทองแดง	85
ก.11	ท่อทางเชื่อมระหว่างห้องทำความชื้น และห้องลดความชื้น	86
ก.12	ห้องทำความชื้น	87
ก.13	ห้องลดความชื้น	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทั่วโลก และประเทศไทยในบริเวณหมู่เกาะต่างๆ กำลังเผชิญกับการขาดแคลนน้ำจืด ซึ่งเมื่อเทียบอัตราส่วนของปริมาณน้ำทั่วโลกพบว่ามหาสมุทรมีสัดส่วนของปริมาณน้ำที่ใหญ่ที่สุดของโลก คิดเป็น 97.5 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนทั้งหมด และน้ำจืด 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำจืดจะพบในบรรยากาศ น้ำแข็งขั้วโลก และน้ำบาดาล [1]

ปริมาณความต้องการน้ำของประชากรโลกมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การเจริญเติบโต เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมและรวมไปถึงแหล่งน้ำที่เกิดการเน่าเสียซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการขาดแหล่งน้ำ ซึ่งได้สร้างแรงผลักดันในการมองหาแหล่งน้ำอื่นๆ เพื่อให้มีปริมาณน้ำที่เพียงพอเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นของมนุษย์ [2] หนึ่งในวิธีแก้ปัญหาที่สำคัญสำหรับปัญหานี้ คือ การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลจึงเป็นทางออกที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ เทคโนโลยีการแยกเกลือแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ 1) ระบบการให้ความร้อนที่ใช้ในการระเหย และการควบแน่นซึ่งเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล 2) ระบบเมมเบรนที่ใช้แรงดันหรือสนามไฟฟ้าซึ่งนำไปใช้กับโมเลกุลของเกลือในน้ำทะเลเพื่อบังคับให้ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และเหลือเกลือไว้ด้านหลัง [3]

ระบบกลั่นน้ำทะเลเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในโลก กระบวนการทำความชื้นและลดความชื้นถือเป็นหนึ่งในวิธีการที่สำคัญที่สุดของกระบวนการดังกล่าวกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นนั้นคล้ายคลึงกับวัฏจักรของฝนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งน้ำทะเลเกิดการระเหยแล้วอากาศจะพาให้ไอน้ำลอยตัวขึ้นสูง (กระบวนการเพิ่มความชื้น) และควบแน่น (กระบวนการลดความชื้น) จากนั้นจะได้น้ำออกมา [4] กระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นเหมาะกับการผลิตขนาดเล็ก และมีต้นทุนต่ำสามารถปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ และโครงสร้างให้เหมาะสมในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งการได้น้ำจืดจากกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ และสร้างประโยชน์ได้เป็นอย่างมากในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษา และออกแบบเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

1.2.2 เพื่อหาปริมาณของน้ำจืดที่ได้ และปริมาณความเค็มที่ตกค้างหลังจากการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานการศึกษา

1.3.1 การกลั่นน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืดด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นจะสามารถนำมาใช้ในการศึกษานี้ได้

1.3.2 ระดับความสูงของหัวฉีดจากท่อทางเข้าของโบลเวอร์ส่งผลการเปลี่ยนสถานะของไอในการกลั่นน้ำทะเล

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 หัวฉีดที่มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 4 หัว

1.4.2 ใช้น้ำทะเลที่มีความเค็มของน้ำทะเลที่ 35 ppt

1.4.3 อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าที่ 90 องศาเซลเซียส

1.4.4 อุณหภูมิของน้ำที่คอนเดนเซอร์ที่อุณหภูมิห้อง

1.4.5. ใช้ความเร็วลมขาเข้าที่ 8 เมตร/วินาที

1.5 ระยะเวลาและสถานที่ทำปริญญาณิพนธ์

ระยะเวลาทำโครงงาน 1 ปีการศึกษา ตั้งแต่ สิงหาคม 2,563 - มิถุนายน 2,564 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร

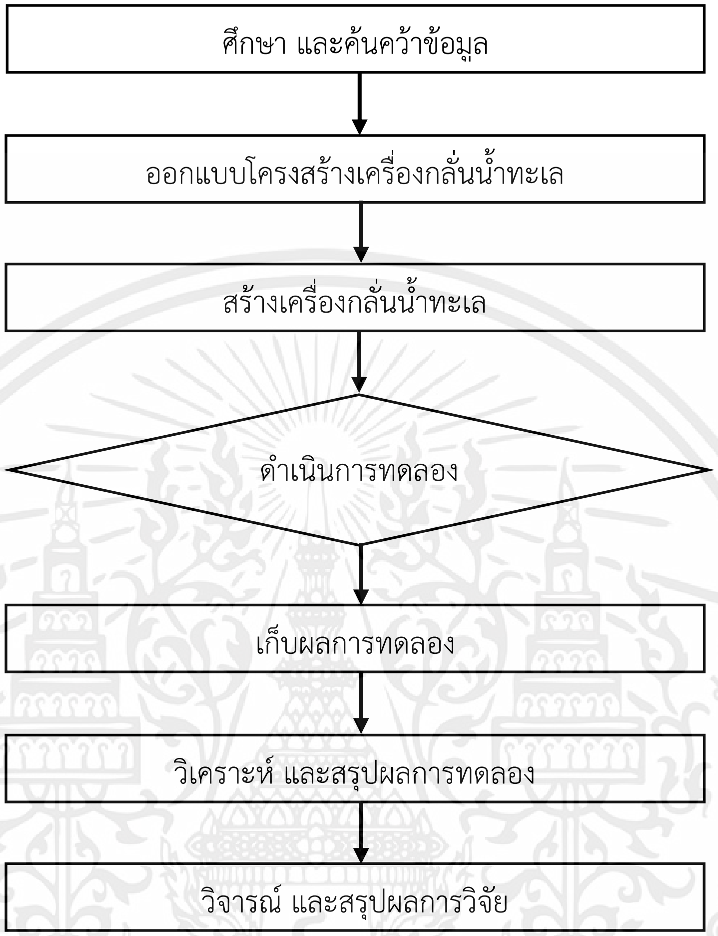
1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินการ 2563-2564										
	ส.ค. 63	ก.ย 63	ต.ค 63	พ.ย. 63	ธ.ค. 63	ม.ค. 64	ก.พ. 64	มี.ค. 64	เม.ย 64	พ.ค. 64	มิ.ย. 64
ศึกษา และออกแบบโครงสร้างเครื่อง	↔	↔									
สร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล		↔	↔	↔	↔						
ดำเนินการทดลอง และเก็บผล					↔	↔	↔	↔			
สรุปผลการทดลอง									↔		
จัดทำเล่มรายงาน										↔	↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นเพื่อสามารถผลิตน้ำจืด

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 หลักการของกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

กระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นขึ้นอยู่กับข้อเท็จจริงที่ว่าอากาศสามารถรวมกับปริมาณไอได้ โดยที่เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้อากาศมีการพาไอน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อการไหลของอากาศสัมผัสกับน้ำเกลือ อากาศจะดึงไอจำนวนหนึ่งออกมาที่ด้านนอกของความร้อนที่เหมาะสมของน้ำเกลือ (ให้ความเย็นเข้า) ในทางกลับกันน้ำกลั่นจะถูกกู้คืนโดยการรักษาอากาศชื้นเมื่อสัมผัสกับพื้นผิวทำความเย็นทำให้เกิดการควบแน่นของไอส่วนหนึ่งที่ผสมกับอากาศ การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกิดขึ้นในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนอีกตัวหนึ่งซึ่งน้ำเกลือถูกทำให้ร้อนก่อนโดยการกู้คืนความร้อนแฝง

ส่วนหลักของระบบการกลั่นด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ เครื่องเพิ่มความชื้นเครื่องลดความชื้น เครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องทำอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

2.1.1.1 เครื่องทำความชื้น (เครื่องระเหย) ในกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น

ในเครื่องระเหยของกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น อากาศจะกักเก็บไอน้ำไว้เมื่อฉีดน้ำร้อนและอากาศจะต้องมีความชื้นมากที่สุด เนื่องจากอากาศมีความชื้นอยู่ภายในเครื่องระเหย เครื่องระเหยจึงเรียกอีกอย่างว่า "เครื่องเพิ่มความชื้น" อุปกรณ์จำนวนมากใช้สำหรับการทำความชื้นในอากาศรวมถึงบริเวณสเปรย์ไอน้ำ [5] หลักการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้เหมือนกัน เมื่อน้ำสัมผัสกับอากาศที่ไม่อิ่มตัวด้วยไอน้ำน้ำจะกระจายไปในอากาศและเพิ่มความชื้นในอากาศ แรงผลักดันสำหรับกระบวนการแพร่กระจายนี้คือความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างส่วนต่อประสานของน้ำกับอากาศและไอน้ำในอากาศ ความเข้มข้นที่แตกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับความดันไอที่ก๊าซ – ของเหลวในพื้นผิว และความดันบางส่วนของไอน้ำในอากาศ

2.1.1.2 เครื่องลดความชื้น (คอนเดนเซอร์) ในกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น

สำหรับการออกแบบระบบระบายความร้อนมักจำเป็นเพื่อวัตถุประสงค์ในการเลือกเพื่อทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้สภาวะการทำงานที่เฉพาะเจาะจง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ซับซ้อนความซับซ้อนเกิดจากทั้งรูปทรงเรขาคณิต และทางกายภาพ ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน มีการศึกษานอกรอบหลายครั้งเพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อน และมวลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่บรรจุภายในหอกลั่น เรียกว่า เสากลั่นแบบบรรจุ และชนิดพิเศษที่ใช้ทำน้ำเย็น เรียกว่า หอระบายความร้อน เสาที่บรรจุเหล่านี้เป็นเพียงเสาแนวตั้งที่เต็มไปด้วยวัสดุบรรจุภัณฑ์ และน้ำทะเลจะถูกฉีดพ่นที่ด้านบนในขณะที่อากาศไหลในเคาน์เตอร์หรือการจัดเรียงแบบไขว้ นักวิจัยหลายคนใช้เสากลั่นแบบแพ็คเป็นอุปกรณ์เพิ่มความชื้นในระบบกรองน้ำทะเล เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่า มีการใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันดังแสดงใน (ตารางที่ 2.1) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้วัสดุบรรจุ ได้แก่ ความร้อน ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลคุณภาพของน้ำแรงดันตกต้นทุน และความทนทาน

ตารางที่ 2.1 วัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ

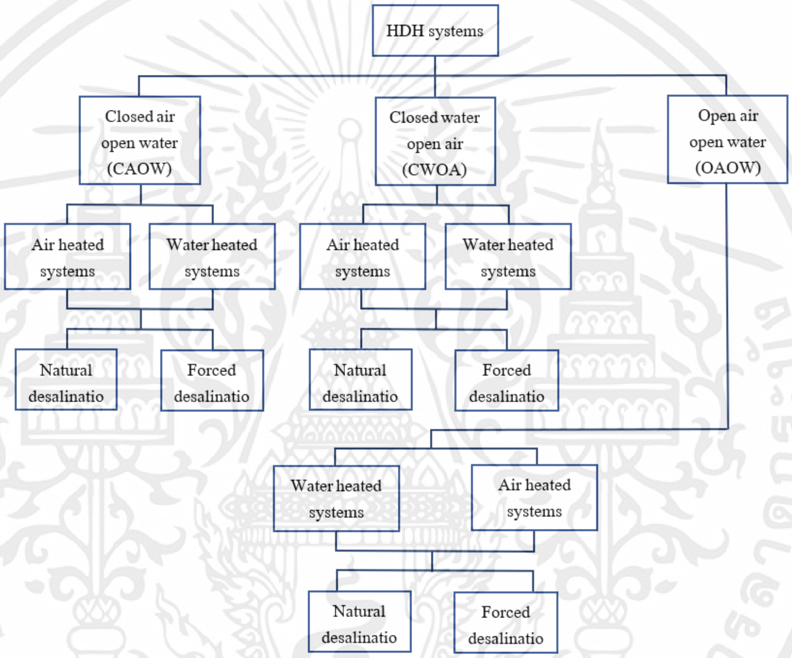
นักวิจัย	วัสดุ
Nawayseh et al.	Wooden slates packing
Amer et al.	Wooden, pvc, Gunny bag cloth
Nafey et al.	Canvas
Hermosillo et al.	Cellulose paper
Yamali et al.	Plastic packing
Yuan G., Zhang H.	Honeycomb paper
Dai and Zhang	Honeycomb paper
Efat Chafik	Corrugated cellulose material
Klausner	HD Q-PAC
Al-Enezi et al.	Plastic packing
Farid M., Al-Hajaj A	Wooden shaving
Eslamimanesh A., Hatamipour M.	Rasching ring ceramic
Hou S., Zhang H.	Wooden slates packing
Farsad S., Behzadmehr A.	Wooden slates packing
Khedr	Ceramic Raschig rings
Garg et al.	Indigenous structure
Al-Hallaj et al.	Wooden surface
Ben-Bacha et al.	Thorn trees
Houcine et al.	Corrugated cellulose material

2.1.2 การจำแนกประเภทการกลั่นด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

การกลั่นด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นแบ่งออกเป็น 3 ประเภทกว้างๆ ตามประเภทของพลังงานที่ใช้การกำหนดวงจร และประเภทของระบบทำความร้อน การกลั่นด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นสามารถจำแนกได้ตามรูปแบบของพลังงานที่ใช้ เช่น ระบบแสงอาทิตย์ความร้อนความร้อนใต้พิภพหรือระบบไฮบริด การจำแนกประเภทที่ดีสุดของแนวคิดการทำความชื้น และลดความชื้น คือแนวคิดในการผลิตน้ำโดยใช้พลังงานคุณภาพต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากทรัพยากรที่นำกลับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ใหม่ได้ ตามการกำหนดค่าวงจรของการกลั่นด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นแบ่งออกเป็นระบบปิดน้ำเปิดโล่ง ระบบน้ำปิดหรือระบบน้ำเปิดโล่ง ในการกำหนดค่าทั้งหมดนี้การไหลสามารถเป็นแบบบังคับหรือแบบตามธรรมชาติได้ดังแสดงใน (รูปที่ 2.1) การกลั่นด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้นและลดความชื้นถูกจัดประเภทเป็นระบบอุ่นอากาศหรือระบบน้ำอุ่นประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับว่าอากาศหรือน้ำร้อนหรือไม่ และจะกล่าวถึงในส่วนย่อยต่อไปนี้ ในขณะที่มีภูมิปัญญามานานหลายสิบปีเกี่ยวกับอุปกรณ์ทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แต่มีงานเพียงเล็กน้อยในการทำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนด้วยอากาศโดยพิจารณาถึงความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นโดยรวม

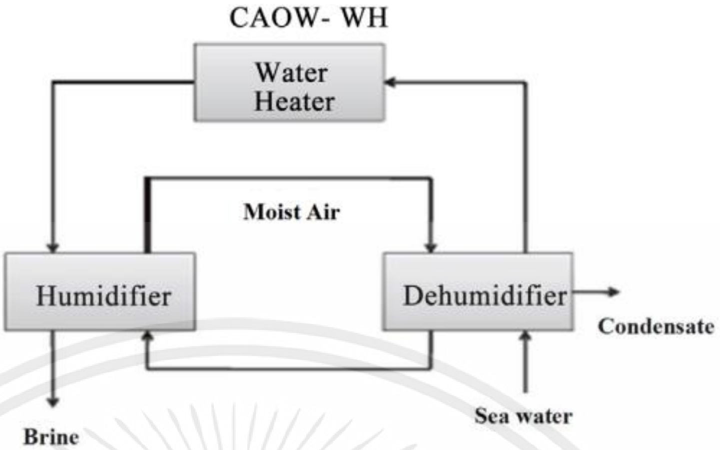


รูปที่ 2.1 การจำแนกประเภทของกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นทั่วไป (ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าวงจร) [6]

2.1.2.1 ระบบทำน้ำร้อนแบบอากาศปิดน้ำเปิด (CAOW)

ระบบทำความร้อนน้ำทะเลเข้าสู่ระบบที่เครื่องลดความชื้น และใช้ในการระบายความร้อนและลดความชื้นในกระแสอากาศที่ร้อน และชื้น น้ำทะเลจะถูกทำให้ร้อนก่อนเนื่องจากเอนทัลปีของการกลายเป็นไอถูกถ่ายเทจากอากาศชื้น (กระบวนการควบแน่น) จากการรวมตัวกันแน่นจะถูกกำจัดออกเป็นผลิตภัณฑ์น้ำ และจากนั้นน้ำทะเลจะถูกทำให้ร้อนต่อไปในตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์หรือเครื่องทำน้ำอุ่นก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องทำให้ชื้นดังแสดงใน (รูปที่ 2.2) น้ำทะเลร้อนจะถูกใช้เพื่อสร้างความชื้นให้กับกระแสอากาศที่เย็นกว่าดังนั้นมวล และความร้อนจะถูกถ่ายเทจากน้ำทะเลร้อนไปยังกระแสอากาศชื้น (กระบวนการระเหย) และน้ำทะเลที่เหลือจะถูกสกัดเป็นน้ำเกลือ กระแสอากาศไหลเวียนอย่างต่อเนื่องในวงปิดระหว่างเครื่องเพิ่มความชื้น และเครื่องลดความชื้น

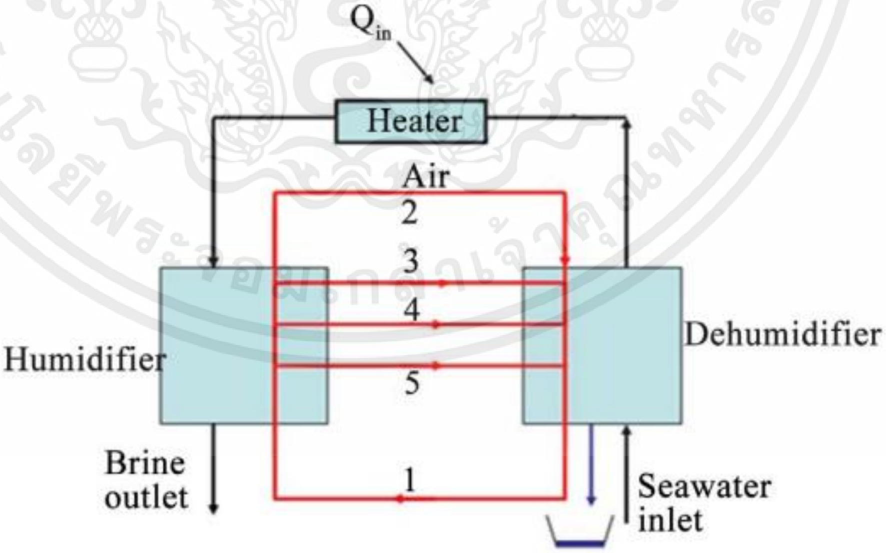
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระบบน้ำร้อนแบบอากาศปิดน้ำเปิด (CAOW - WH) [6]

2.1.2.2 ระบบทำน้ำร้อนแบบอากาศปิดน้ำเปิดแบบหลายขั้นตอน (CAOW)

เพื่อเพิ่มการกู้คืนความร้อน อากาศจากเครื่องทำความชื้นจะถูกดึงออกตามจุดต่างๆ และส่งไปยังเครื่องลดความชื้น ณ จุดที่สอดคล้องกันดังแสดงใน (รูปที่ 2.3) ทำให้สามารถแบ่งชั้นของอุณหภูมิได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีช่องว่างของอุณหภูมิเล็กน้อยเพื่อให้กระบวนการทำงานต่อไป ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องลดความชื้นสามารถกู้คืนความร้อนได้สูงขึ้น ในความเป็นจริงพลังงานส่วนใหญ่ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการทำความชื้นจะกลับคืนมาจากเครื่องลดความชื้นซึ่งทำให้ความต้องการพลังงานลดลง

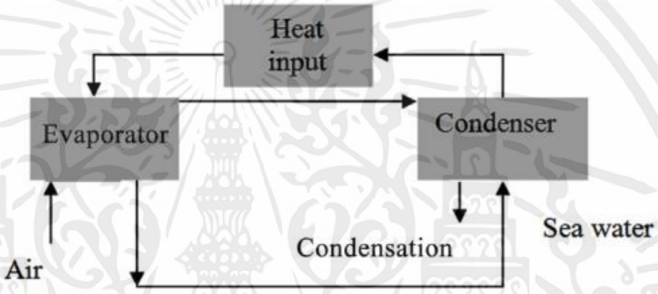


รูปที่ 2.3 วัฏจักรการทำความร้อนแบบหลายขั้นตอน (CAOW) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 ระบบน้ำร้อนแบบปิดน้ำอากาศเปิด (CWOA - WH)

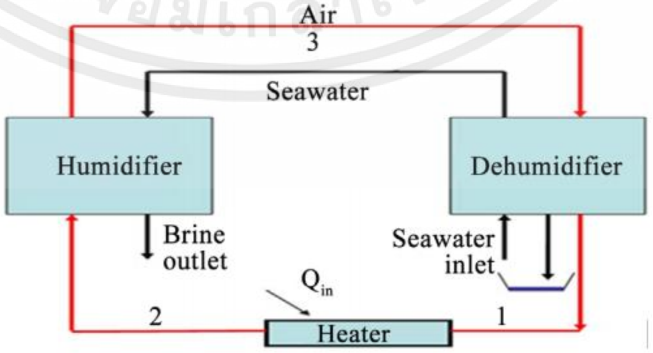
ในระบบนี้หลังจากอุ่นน้ำในเครื่องลดความชื้นแล้วน้ำจะเข้าสู่ตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงทำงานในวงปิดดังแสดงใน (รูปที่ 2.4) อากาศที่ผ่านการลดความชื้นจะถูกปล่อยออกมาให้อยู่โดยรอบ ข้อเสียอย่างหนึ่งของ CWOA - AH คือ เมื่อกระบวนการทำความชื้นไม่ทำให้น้ำเย็นลงอย่างเพียงพอ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้าของเครื่องลดความชื้นจะสูงขึ้น สิ่งนี้จำกัดการลดความชื้นของอากาศชื้นส่งผลให้การผลิตน้ำลดลงเมื่อเทียบกับวัฏจักรของน้ำเปิด อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เครื่องทำความชื้นที่มีประสิทธิภาพในสภาวะการทำงานที่เหมาะสมน้ำอาจถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิแวดล้อม (สูงสุดถึงขีดจำกัดของอุณหภูมิกระเปาะเปียกโดยรอบ) ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวระบบน้ำปิดจะมีประสิทธิผลมากกว่าระบบน้ำเปิด



รูปที่ 2.4 วัฏจักรน้ำร้อนแบบอากาศเปิดน้ำปิด (OACW - WH) [6]

2.1.2.4 ระบบอากาศร้อนแบบอากาศปิดน้ำเปิด (CAOW - AH)

การกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นอีกระดับหนึ่งที่ได้รับความสนใจมากคือระบบอุ่นอากาศคือระบบ CAOW - AH ระบบเหล่านี้มี 2 ประเภท ได้แก่ ระบบเดียว และหลายขั้นตอน อากาศถูกทำให้ร้อนในตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์จนถึงอุณหภูมิสูงสุดดังแสดงใน (รูปที่ 2.5) และส่งไปยังเครื่องทำความชื้น ในเครื่องเพิ่มความชื้นอากาศจะถูกทำให้เย็นลง และอิ่มตัว อากาศจะร้อนขึ้นหลังจากใช้เครื่องทำความชื้น

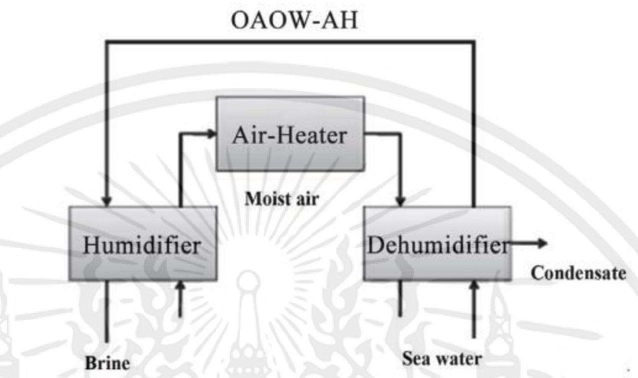


รูปที่ 2.5 ระบบอากาศร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - AH) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5 ระบบอากาศร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - AH)

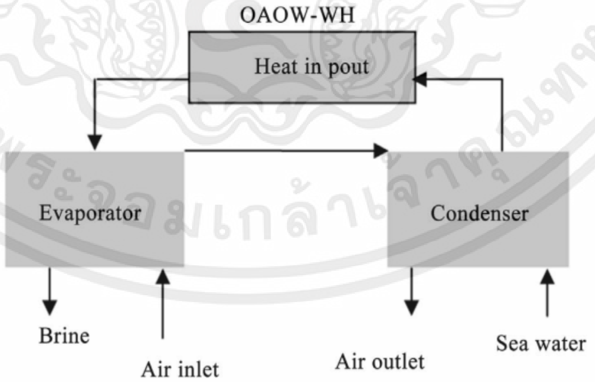
วงจรเปิดโล่งน้ำเปิด (OAOW) เกิดขึ้นเมื่อการเชื่อมต่อในกระแสอากาศระหว่างเครื่องเพิ่มความชื้น และเครื่องลดความชื้นขาดเนื่องจากกระแสอากาศไหลผ่านระบบเพียงครั้งเดียว (รูปที่ 2.6) การทำงานของวงจรนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะที่คล้ายกันกับส่วนของเครื่องปรับอากาศแบบปิด ที่นี่เครื่องทำความร้อนอากาศจะอยู่ระหว่างเครื่องเพิ่มความชื้น และเครื่องลดความชื้นในกระแสอากาศ



รูปที่ 2.6 ระบบอากาศร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - AH) [6]

2.1.2.6 ระบบน้ำร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - WH)

วงจรนี้จะคล้ายกับวงจรความร้อนของน้ำที่เปิดโล่ง ทั้งกระแสอากาศ และน้ำไหลตามเส้นทางการไหลเดียวกันผ่านเครื่องเพิ่มความชื้น และเครื่องลดความชื้น แต่แทนที่จะให้ความร้อนกับกระแสอากาศเครื่องทำความร้อนจะถูกวางไว้ในกระแสน้ำ (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 ระบบน้ำร้อนแบบอากาศเปิดน้ำเปิด (OAOW - WH) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 พารามิเตอร์ประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

มีหลายวิธีในการกำหนดลักษณะการแสดงของกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น พารามิเตอร์ที่สำคัญบางอย่างถูกใช้เพื่อกำหนด และประเมินผลการดำเนินงาน เช่น อัตราส่วนผลผลิตที่ได้รับ (GOR) การผลิตน้ำเฉพาะการกู้คืนอัตราส่วน (RR) ปัจจัยการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ (f) และเอนโทรปีเฉพาะรุ่น

2.1.3.1 อัตราส่วนผลผลิตที่ได้รับ (GOR)

อัตราส่วนเอาต์พุตที่ได้รับ (GOR) บางครั้ง เรียกว่า อัตราส่วนประสิทธิภาพ และประเมินโดยการวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้แบบไร้มิติสำหรับสินค้าที่กำหนดอินพุตความร้อนที่กำหนดเช่นเดียวกัน [7]

$$GOR = \frac{m_p h_{fg}}{Q_{in}} \tag{1}$$

โดยที่ GOR คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพ

h_{fg} คือ ความร้อนของการกลายเป็นไอที่ประเมินที่อุณหภูมิของน้ำขาเข้า

สำหรับรอบที่พิจารณากรณีนี้ $Q_{in} = Q_{HT}$ ในกรณีของแสงอาทิตย์ยังคงมีความเป็นเอกภาพเท่ากันของ GOR [8] นั่นหมายความว่าระบบต้องการความร้อนเพียงพอที่จะทำให้น้ำที่ผลิตทั้งหมดกลายเป็นไอได้โดยตรง และมีการกู้คืนพลังงานที่ไม่ได้ผล แสงอาทิตย์พื้นฐานจะมี GOR ประมาณ 1 หรือน้อยกว่าเนื่องจากการสูญเสีย GOR สูงเป็นที่น่าพอใจเพราะมันหมายความว่าความร้อนน้อยจะต้องต่อน้ำหน่วยผลิต เมื่อแหล่งความร้อนเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล GOR ที่สูงขึ้นหมายถึงต้นทุนเชื้อเพลิงที่ลดลง เมื่อแหล่งความร้อนเป็นรังสีดวงอาทิตย์ GOR ที่สูงขึ้นหมายถึงพื้นที่เก็บพลังงานแสงอาทิตย์ที่เล็กลง และด้วยเหตุนี้ต้นทุนเงินทุนจึงลดลง

2.1.3.2 อัตราส่วนการฟื้นตัว (RR)

อัตราส่วนการฟื้นตัว (RR) หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ต่อกิโลกรัมของการฟีดน้ำ พารามิเตอร์นี้เรียกอีกอย่างว่าประสิทธิภาพการสกัด [9] อัตราส่วนนี้โดยทั่วไปพบว่ากระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นต่ำกว่ากระบวนการอื่นๆ มาก ข้อได้เปรียบของอัตราส่วนการฟื้นตัวที่ต่ำ คือกระบวนการเตรียมน้ำเกลือที่ซับซ้อนหรือกระบวนการกำจัดน้ำเกลือซึ่งอาจไม่จำเป็นสำหรับระบบนี้

2.1.3.3 ปัจจัยการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ (f)

ปัจจัยการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานที่กู้คืนจากของไหลที่ให้ความร้อนต่อพลังงานที่จ่ายให้กับของเหลวที่ให้ความร้อน [10] นอกจากนี้ยังสะท้อนดัชนีการกู้คืนความร้อนของระบบอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.4 การสร้างเอนโทรปีเฉพาะ

การสร้างเอนโทรปีเฉพาะสำหรับวัฏจักรถูกกำหนดให้เป็นเอนโทรปีทั้งหมดที่สร้างขึ้นในกระบวนการกลั่นน้ำทะเลหารด้วยอัตราการไหลของมวลของน้ำผลิตภัณฑ์ อาร์กิวเมนต์ทางอุณหพลศาสตร์สำหรับการใช้พารามิเตอร์นี้ในการวิเคราะห์วัฏจักรของงการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นโดยพิจารณาจากความร้อนที่น้อยที่สุดของการแยก [11]

2.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบการแยกเกลือออกจากการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นนั้นรวมถึงพลังงาน และความสมดุลของมวลสำหรับส่วนประกอบที่รวมเข้ากับระบบการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นซึ่งสามารถประเมินอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ และผลผลิตได้ในสภาวะต่างๆ

สมมติฐานของแบบจำลองดังต่อไปนี้

- อากาศเข้าสู่เครื่องทำความชื้นในสภาวะแวดล้อม (การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมจะจำกัดอยู่ที่ 1 - 2 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาทดลอง)
- สันนิษฐานว่าอุปกรณ์การกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นจะทำงานในสภาพที่มั่นคง ซึ่งจะเก็บรักษาอุณหภูมิน้ำร้อน และน้ำป้อนคงที่
- ไม่มีการสูญเสียความร้อน (ไม่มีการจัดเก็บพลังงานไว้ในวัสดุของแต่ละส่วนประกอบ)
- ไม่คำนวณแรงดันตกคร่อมในระบบการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น

2.1.4.1 การสร้างแบบจำลองความชื้น

แผนผังของเครื่องทำความชื้นจะแสดงใน (รูปที่ 2.8) อากาศเข้าสู่ความชื้นจากด้านล่างที่สภาวะการทำงานของอุณหภูมิ ($T_{a,in\ h}$) ความชื้น ($\omega_{a,in\ h}$) เอนทาลปี ของอากาศแห้ง ($H_{a,in\ h}$) และอัตราการไหลของมวล ($\dot{m}_a$) อากาศออกจากด้านบนของเครื่องเพิ่มความชื้นที่อุณหภูมิ ($T_{a,o\ h}$) ความชื้น ($\omega_{a,o\ h}$) และเอนทาลปีของอากาศชื้น ($H_{a,o\ h}$) น้ำทะเลร้อนกับอัตราการไหลของมวล ($\dot{m}_w$) ความจุ (Cp_w) อุณหภูมิ ($T_{w,in\ h}$) และเอนทาลปี ($H_{w,in,\ h}$) ถูกพ่นที่ด้านบนของเครื่องเพิ่มความชื้นในขณะที่น้ำเกลือออกจากด้านล่างของเครื่องเพิ่มความชื้นด้วยอุณหภูมิ ($T_{w,o\ h}$) ความร้อน 15 ความจุ (Cp_b) และเอนทาลปี ($H_{w,o\ h}$)

สมดุลพลังงานในเครื่องสร้างความชื้นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{in,h} - \dot{Q}_{o,h} = \dot{Q}_{L,h} \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่เข้าสู่ความชื้น คือ

$$\dot{Q}_{in,h} = \dot{m}_a H_{a,in,h} + \dot{m}_w Cp_w T_{w,in,h} \quad (3)$$

พลังงานจากความชื้น คือ

$$\dot{Q}_{o,h} = \dot{m}_a H_{a,o,h} + \dot{m}_w Cp_b T_{w,o,h} \quad (4)$$

การสูญเสียพลังงานในเครื่องทำความชื้น คือ

$$\dot{Q}_{o,h} = U_{L,h} A_h (T_{av,h} - T_{amb}) \quad (5)$$

โดยที่

$$T_{av,h} = \frac{T_{a,in\ h} + T_{a,o\ h}}{2} \quad (6)$$

จากนั้นแทนค่าสมการ (3) - (5) ในสมการ (2)

$$\dot{m}_a (H_{a,in,h} - H_{a,o,h}) + \dot{m}_w Cp_w (T_{w,in,h} - T_{w,o,h}) = U_{L,h} A_h (T_{av,h} - T_{amb}) \quad (7)$$

โดยที่ $U_{L,h}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมในเครื่องทำความชื้น

A_h คือ พื้นที่ภายนอกของเครื่องทำความชื้น

$T_{av,h}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยในเครื่องทำความชื้น

อัตราการถ่ายโอนมวลในเครื่องทำความชื้นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_w}(H_{a,in,h} - H_{a,o,h}) = \frac{k.a.V}{\dot{m}_w}\left[\frac{(H_{w,in,h} - H_{a,o,h}) - (H_{w,o,h} - H_{a,in,h})}{\ln\frac{(H_{w,in,h} - H_{a,o,h})}{(H_{w,o,h} - H_{a,in,h})}}\right] \quad (8)$$

โดยที่ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลโดยรวมของน้ำในอากาศ (กิโลกรัม/ตารางเมตร*วินาที)

a คือ พื้นที่การถ่ายโอนมวลแบบเฉพาะ (ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร)

V คือ ปริมาตรความจุ (ลูกบาศก์เมตร)

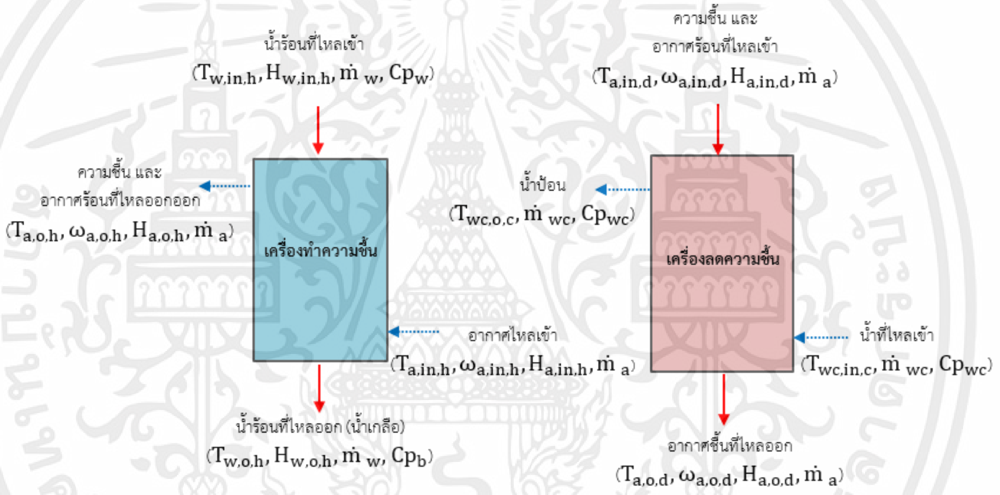
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 การสร้างแบบจำลองเครื่องลดความชื้น

ในเครื่องลดความชื้น อากาศร้อน และการป้อนน้ำไม่ได้ส่งผ่านโดยตรง อากาศชื้นเคลื่อนตัวผ่านช่องว่างระหว่างครีบ และท่อคอนเดนเซอร์ในระหว่างกระบวนการลดความชื้นความร้อนที่เหมาะสมและความร้อนแฝงจะถูกถ่ายโอนจากกระแสอากาศร้อนชื้นไปยังน้ำป้อน

แผนผังของเครื่องลดความชื้นแสดงใน (รูปที่ 2.8) อากาศชื้นเข้าสู่เครื่องลดความชื้นจากด้านบนที่อุณหภูมิการใช้งาน ($T_{a,in,d}$) อัตราส่วนความชื้น ($\omega_{a,in,d}$) เอนทาลปีของอากาศชื้น ($H_{a,in,d}$) และอัตราการไหลของมวล ($\dot{m}_a$)

ในขณะที่อากาศออกจากด้านล่างของเครื่องลดความชื้นที่อุณหภูมิ ($T_{a,o,d}$) ความชื้น ($\omega_{a,o,d}$) และเอนทาลปีของอากาศชื้น ($H_{a,o,d}$) น้ำป้อนจะถูกนำไปใช้ที่อุณหภูมิ ($T_{wc,in,c}$) และอัตราการไหลของมวล ($\dot{m}_{wc}$) ในขณะที่อุณหภูมิขาออก คือ ($T_{wc,o,c}$)



รูปที่ 2.8 ความร้อน และสมดุลมวลสำหรับกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น [12]

สมดุลพลังงานในเครื่องลดความชื้นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{in,d} - \dot{Q}_{o,d} = \dot{Q}_{L,d} \quad (9)$$

พลังงานที่เข้าสู่เครื่องลดความชื้น คือ

$$\dot{Q}_{in,d} = \dot{m}_a H_{a,in,d} + \dot{m}_{wc} Cp_w c T_{wc,in,c} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ปล่อยออกจากเครื่องลดความชื้น คือ

$$\dot{Q}_{o,d} = \dot{m}_a H_{a,o,d} + \dot{m}_{wc} Cp_{wc} T_{wc,o,c} \quad (11)$$

การสูญเสียพลังงานในเครื่องลดความชื้น คือ

$$\dot{Q}_{L,d} = U_{L,d} A_d (T_{av,d} - T_{amb}) \quad (12)$$

โดยที่

$$T_{av,d} = \frac{T_{a,in\ d} + T_{a,o\ d}}{2} \quad (13)$$

จากนั้นแทนค่าสมการ (10) - (12) ในสมการ (9)

$$\dot{m}_a (H_{a,in,d} - H_{a,o,d}) + \dot{m}_{wc} Cp_{wc} (T_{wc,in,c} - T_{wc,o,c}) = U_{L,d} A_d (T_{av,d} - T_{amb}) \quad (14)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนในเครื่องลดความชื้นสามารถเขียนได้เป็น

$$\dot{m}_{wc} Cp_{wc} (T_{wc,o,c} - T_{wc,in,c}) = U_c A_c LMTD_c \quad (15)$$

โดยที่ U_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของคอนเดนเซอร์ (จูล/ตะรางเมตร*วินาที*องศาเซลเซียส)

A_c คือ พื้นที่ถ่ายโอนความร้อนของคอนเดนเซอร์ (ตารางเมตร)

$LMTD_c$ คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์แบบลอการิทึม (องศาเซลเซียส)

ซึ่งอธิบายโดย

$$LMTD_c = \frac{(T_{a,in,d} - T_{wc,o,c}) - (T_{a,o,d} - T_{wc,in,c})}{\ln\frac{(H_{a,in,d} - H_{wc,o,c})}{(H_{a,o,d} - H_{wc,in,c})}} \quad (16)$$

2.1.4.3 แบบจำลองแหล่งน้ำร้อน

น้ำทะเลจะถูกทำให้ร้อนในระบบการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้หลอดสุญญากาศซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการประมาณค่าพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบ $\dot{Q}_s$ ถูกเพิ่มระหว่างทางเข้า และทางออกของความชื้นตามสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_w Cp_w(T_{w,in,h} - T_{w,o,h}) \quad (17)$$

หนึ่งในเป้าหมายของการวิจัยนี้ คือ การคำนวณปริมาณน้ำจืดที่ได้รับจากระบบแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยเทคนิคการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องประเมินความแตกต่างของปริมาณน้ำในอากาศระหว่างช่องอากาศเข้า และทางออกจากเครื่องลดความชื้นตามที่แสดงโดยสมการถัดไป

$$\dot{m}_{Fw} = \dot{m}_a(\omega_{a,in,d} - \omega_{a,o,d}) \quad (18)$$

2.1.4.4 ความสัมพันธ์ของแบบจำลอง

คุณสมบัติทางกายภาพของกระแสอากาศ และน้ำจำเป็นต้องมี และกำหนดไว้ดังนี้ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้รับจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\omega_a = 0.62198\frac{P_{db}}{P_{atm}-P_{db}} \quad (19)$$

แรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

$$P_{db} = \phi P_{st} \quad (20)$$

เมื่อ ϕ คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

P_{st} คือ ความดันอากาศอิ่มตัวที่ T_a

ความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะ

$$P_{st} = \mathrm{Exp}\left[\frac{-6096.938}{T_a} + 21.240964 - (2.71119\times10^{-2}T_a) + (1.67395\times10^{-5}T^2{}_a) + 2.4335(T_a)\right] \quad (21)$$

เอนทัลปีอากาศตามที่กำหนดไว้ใน (18)

$$H_a = \left(Cp_a - Cp_v\omega_a\right)T_a + \lambda\omega_a \quad (22)$$

โดยที่ H_a คือ เอนทัลปีของอากาศแห้ง (กิโลจูล/กิโลกรัม)

Cp_a คือ ความจุความร้อนของอากาศ (กิโลจูล/กิโลกรัม*องศา)

Cp_v คือ ความจุความร้อนของไอ (กิโลจูล/กิโลกรัม*องศา)

λ คือ ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่ได้รับ

$$\lambda = 2501.897149 - 2.407064037T_w + 1.192217 \times 10^{-2}T^2_w - 1.5863\times 10^{-5}T^3_w \quad (23)$$

โดยที่ T_w คือ อุณหภูมิของน้ำ (องศา)

2.1.5 การพาความร้อนแบบบังคับ

ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน เมื่อพิจารณาในเชิงจุลภาคเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุจะพบว่าที่จริงแล้วการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจากการนำความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหลที่ผิวสัมผัสนั่นเอง โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจะขึ้นอยู่กับการกระจายของอุณหภูมิของชั้นผิวสัมผัส (กล่าวคือขึ้นอยู่กับความชันของเส้น การแผ่กระจายของอุณหภูมิในตัวของไหลที่อยู่ใกล้มากๆ กับผิวหน้าของวัตถุ) ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท จึงไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของของไหล และรูปร่างของวัตถุเท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นราบเรียบหรือปั่นป่วน และขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นอยู่ในช่วงเร่งความเร็วหรือมีความเร็วคงที่แล้ว เป็นต้น อีกด้วย ในที่นี้เราจะรวมเอาปัจจัยที่ซับซ้อนเหล่านี้ไว้ในค่าที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h (วัตต์/ตารางเมตร*เคลวิน) โดยฟลักซ์ความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$q = h(T_\infty - T_w) \quad (24)$$

T_w เป็นอุณหภูมิที่ผิวหน้าวัตถุ T_∞ เป็นอุณหภูมิของกระแสหลัก ณ จุดที่ห่างเพียงพอจากผิวหน้า มีสมการต่างๆ มากมายที่ใช้ในการคำนวณอัตราการพาความร้อน (h) ของวัตถุรูปร่างต่างๆ ที่อยู่ในการไหลแบบต่างๆ ซึ่งจะได้กล่าวในภายหลัง ตัวอย่างช่วงของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆ

เนื่องจากสรรพสิทธิ์การพาความร้อนไม่ได้เป็นสมบัติผ่านกายภาพของสสารเหมือนกับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ดังนั้น ค่าของมันบางครั้งจึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนผิวหน้าของวัตถุ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนผิวหน้า เรียกว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ (h_x) และค่าเฉลี่ยทั่วผิวหน้าเรียกว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h_m) หากให้พื้นที่ที่มีความร้อนถ่ายเทเท่ากับ A แล้วปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านในหนึ่งหน่วยเวลา Q จะเท่ากับ

$$Q = h_m\left(T_\infty - T_w\right)A \quad (25)$$

กล่าวคือคิดเสมือนว่า

$$\text{(ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทด้วยการพาความร้อน)} = \frac{\text{(ความแตกต่างของอุณหภูมิ)}}{\text{(ความต้านทานการพาความร้อน)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ความต้านทานการพาความร้อนเท่ากับ R_t แล้วจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$Q = \frac{(T_\infty - T_w)}{R_t}, \quad R_t = \frac{1}{h_m A} \tag{26}$$

2.1.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การพาความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหล เป็นปรากฏการณีที่ซับซ้อนซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุประเภทของของไหลโครงสร้างของชั้นผิวสัมผัส ฯลฯ อย่างไรก็ตามเราสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในรูปของฟังก์ชันของปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ในการพาความร้อนด้วยการบังคับจะมีปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องได้แก่สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_x (วัตต์/ตารางเมตร*เคลวิน) ความเร็วของกระแสหลัก u_∞ (เมตร/วินาที) ความยาวที่เป็นตัวแทนของวัตถุหรือระยะทาง x (เมตร) ตัวอย่าง เช่น ในกรณีของการไหลในท่อ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในหรือในกรณีของการไหลบนแผ่นวัตถุ ได้แก่ ระยะทางจากขอบแผ่นวัตถุเป็นต้น) สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล μ [Pa·s] ความหนาแน่น ρ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ความร้อนจำเพาะ h_p (จูล/กิโลกรัม*เคลวิน) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน λ (วัตต์/เมตร*เคลวิน) ซึ่งจากการทำ Dimensional analysis พบว่าปรากฏการณ์การพาความร้อนด้วยการบังคับสามารถอธิบายด้วยฟังก์ชันของปริมาณต่างๆ ดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{h_x x}{\lambda}\right) = f\left\{\left(\frac{u_\infty x}{\mu/\rho}\right)\left(\frac{c_p x}{\lambda}\right)\right\} \tag{27}$$

พจน์ทั้ง 3 ในสมการข้างต้นเป็นปริมาณไม่มีหน่วยซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณทางฟิสิกส์หลายตัวมีชื่อ เรียกว่า Nusselt number (Nu_x) Reynolds number (Re_x) และ Prandtl number (Pr) ตามลำดับ$Nu_x = \left(\frac{h_x x}{\lambda}\right)$

$$Re_x \equiv \left(\frac{u_\infty x}{\mu/\rho}\right) = \left(\frac{u_\infty x}{\nu}\right)$$

$$Pr \equiv \frac{c_p \mu}{\lambda} = \frac{\mu/\rho}{\lambda/c_p \mu} = \frac{\nu}{a} \tag{28}$$

ในที่นี้ ν เป็นสัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ ($\nu = \mu/\rho$) และ a เป็น Thermal diffusivity ($a = \lambda/(c_p\ \mu)$) ดังนั้นสมการจึงเขียนได้ว่า

$$Nu_x = f(Re_x, Pr) \tag{29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือ Nu_x สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชันของ Re_x กับ Pr และจาก Nu_xจะสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $h_x(h_x = Nu_x (\lambda / x))$ ได้สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติปริมาณที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ h_x (วัตต์/ตารางเมตร*เคลวิน) b (นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร) x (เมตร) μ (ปาสคาล*วินาที) ρ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) c_p (จูล/กิโลกรัม*เคลวิน) λ (วัตต์/เมตร*เคลวิน) เป็นต้น และจากการทำ Dimensional analysis จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการต่อไปนี้ทั้งนี้ b เป็นแรงลอยตัวที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นที่กระทำต่อของไหลหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$\left(\frac{h_x x}{\lambda}\right) = f\left\{\left(\frac{x^3 \rho b}{\mu^2}\right), \left(\frac{c_p \mu}{\lambda}\right)\right\} \quad (30)$$

ในทีนี้พจน์แรกของด้านขวาของสมการ เรียกว่า Grashof number (Gr) โดยถ้าให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวของปริมาตรของของไหลเท่ากับ β และให้ความเร่งแรงโน้มถ่วงเท่ากับ g แล้ว $b = g\left(\rho_\infty - \rho_w\right) = g\beta\rho(T_\infty - T_w)$ และจะคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$Gr \equiv \frac{x^3 \rho b}{\mu^2} = \frac{x^3 g}{\nu^2}\frac{\left(\rho_\infty - \rho_w\right)}{\rho} = \frac{x^3 g \beta (T_\infty - T_w)}{\nu^2} \quad (31)$$

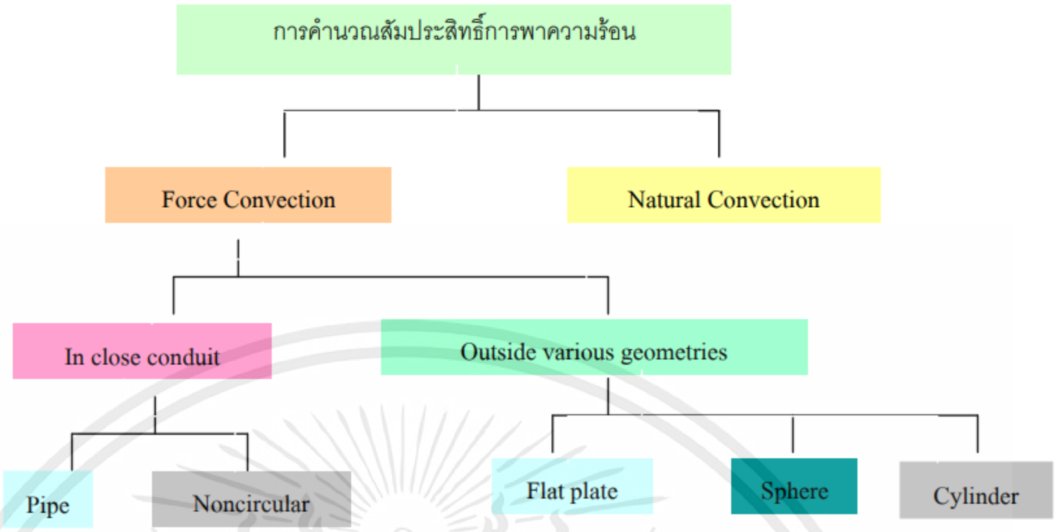
ดังนั้น ในการพาความร้อนตามธรรมชาติ Nu_x จึงสามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชันของ Gr กับ Pr

$$Nu_x = f(Gr, Pr) \quad (32)$$

2.1.5.2 สมการความสัมพันธ์ของการพาความร้อนที่สำคัญ

การค้นพบสมการความสัมพันธ์ของการพาความร้อนมากมาย ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหล ช่วงอุณหภูมิ และความเร็วกระแส และประเภทของของไหลเป็นต้น แสดงสมการที่สำคัญเอาไว้ในการใช้สมการเหล่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึงเงื่อนไขในสมการ (รูปที่ 2.9) เช่น การไหลอยู่ในช่วงเร่งความเร็วหรือมีความเร็วคงที่ แล้วอุณหภูมิ และความเร็วกระแสอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ จะใช้ค่าใดเป็นอุณหภูมิตัวแทนของของไหล “สมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น สัมประสิทธิ์ความหนืด ความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ฯลฯ จะใช้ค่าที่อุณหภูมิเท่าใด” เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงแผนผังการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน [13]

การไหลในท่อ, Flow in pipe

$$N_{Re}=\frac{\rho v D}{\mu} \tag{33}$$

Laminar flow in pipe, $N_{Re}<2100$

$$(N_{Re})_a=\frac{h_a D}{k}=1.86\left(N_{Re}N_{Pr}\frac{D}{L}\right)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \tag{34}$$

สมการบนจะให้ค่าที่ถูกต้องเมื่อ $N_{Re}N_{Pr}D/$>100 เราสามารู้ค่า μ ρ Cp และ k ได้จากตาราง ในภาคผนวกคค่า D มักจะมาจากโจทย์กำหนด ซึ่งมีค่าเป็น 2 เท่าของรัศมีท่อ และ L คือ ความยาวของท่อ Turbulent flow in pipe $N_{Re}> 6000$

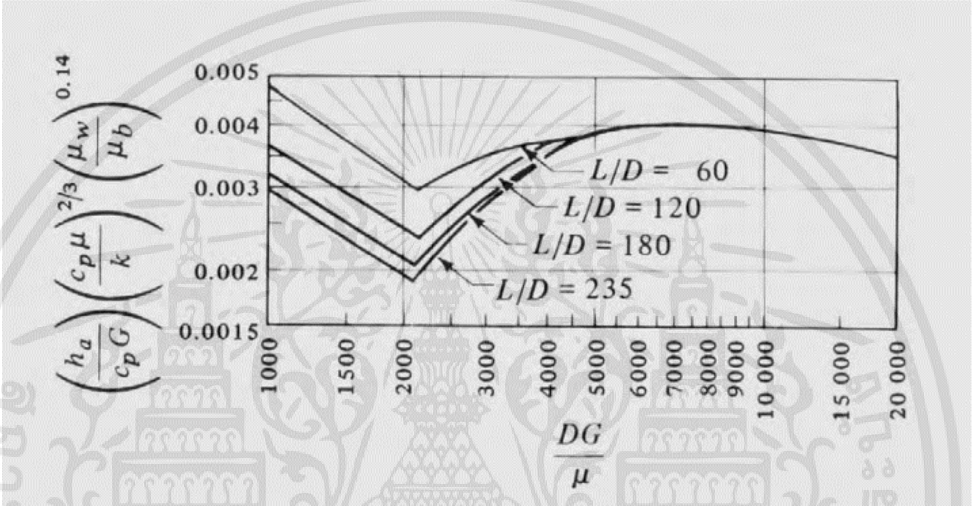
$$N_{Re}=\frac{h_L D}{k}=0.027N_{Re}^{0.8}N_{Pr}^{\frac{1}{3}}\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \tag{35}$$

สมการข้างบนจะใช้ได้ดีเมื่อ $N_{Re} > 6000$, $0.7 < N_{Pr} < 16000$ และ L/D >60 ถ้าท่อสั้น L/D>60 ถ้าท่อสั้น L/D<60 เราจะมีการปรับค่า h_L ที่คำนวณได้เพื่อ h ให้ได้ค่าแท้จริง ดังตัวอย่างใน (รูปที่ 2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{h}{h_L} = 1 + \left(\frac{D}{L}\right)^{0.7} \quad 2 < \frac{L}{D} < 20\ , \quad \frac{h}{h_L} = 1 + 6\left(\frac{D}{L}\right) \quad 20 < \frac{L}{D} < 60 \qquad (36)$$

แล้วใช้ค่า h ในการคำนวณพลังงานความร้อนที่เราต้องเปลี่ยนค่า h เพราะว่าที่ทางเข้าท่อ Temperature profile จะมีค่าเปลี่ยนแปลงกับระยะทางไม่ Develop เต็มที่ทำให้ค่า local h มีค่ามากกว่า h_L



รูปที่ 2.10 ไหลผ่านกระบอกสูบโดยมีแกนตั้งฉากกับการไหล2100<N_{Re}<6000 [13]

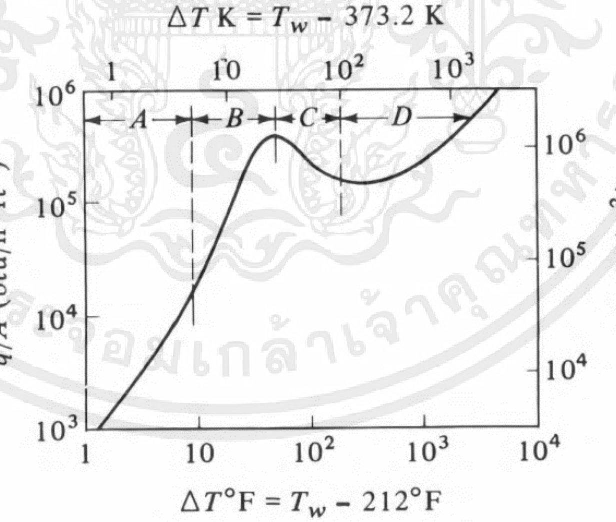
2.1.5.3 การพาความร้อนในการเปลี่ยนสถานะ20

2.1.5.3.1 การพาความร้อนในการเดือด

เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวไปเรื่อยๆ จะเริ่มเกิดการกลายเป็นไอขึ้นที่ผิวหน้าของของเหลว และเมื่อของเหลวมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวหรือสูงกว่า การกลายเป็นไอจะเกิดขึ้นภายในตัวของเหลวด้วยปรากฏการณ์นี้ เรียกกว่า การเดือด ซึ่งโดยทั่วไปจะเกิดฟองก๊าซขึ้นบนผิวหน้าที่ได้รับความร้อน (รูปที่ 2.11) แสดงผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของเส้นลวดทองคำขาวกับอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ T_W- T_s กับ ฟลักซ์ความร้อน q ที่พาความร้อนจากผิวหน้าเส้นลวดทองคำขาวไปสู่น้ำ เมื่อใชลวดทองคำขาวที่แช่อยู่ในน้ำความร้อนแก่น้ำภายใต้ความดัน 0.1 เมกกะปาสคาล เส้นกราฟที่แสดงลักษณะของการถ่ายเทความร้อนในการเดือดในลักษณะนี้ เรียกว่า เส้นกราฟการเดือด ก่อนที่อุณหภูมิของพื้นผิวถ่ายเทความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวพอสมควรนั้น การพาความร้อนโดยวิธีธรรมชาติที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจะมีสัดส่วนสูง (ช่วง A - B) เมื่อ Degree of superheat ของพื้นผิวถ่ายเทความร้อน (ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลว) มีค่าสูงขึ้นไปอีกของเหลวจะเริ่มเดือดทำให้เกิดฟองก๊าซ และจำนวนฟองดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตาม Degree of superheat ที่เพิ่มขึ้น (ช่วง B – C - D) สภาวะที่ฟองก๊าซแต่ละฟองเกิดขึ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกตัวออกไป เรียกว่า Nucleate boiling ซึ่งในช่วง nucleate boiling ทั้งค่า Degree of superheat และฟลักซ์ความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะถึงจุดที่ฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูงสุด D หลังจากนั้นหากเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้ความร้อนเพื่อเพิ่ม Degree of superheat ขึ้นไปอีกอุณหภูมิที่พื้นผิวถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันไปที่จุด F โดยทั่วไปจุด F จะมีอุณหภูมิสูง มักจะทำให้เส้นลวดความร้อนเองหลอมละลาย ดังนั้น จุด D เรียกว่า Burnout และค่าสูงสุดของฟลักซ์ความร้อนก่อนที่จะกระโดดไปที่จุด F เรียกว่า ฟลักซ์ความร้อน Burnout หากที่จุด F นี้เส้นลวดความร้อนยังไม้หลอมละลายจะไม่เกิดปรากฏการณ์ที่ฟองก๊าซเกิดขึ้นที่พื้นผิวของเส้นลวดความร้อนแล้วแยกตัวออกไป แต่จะเกิดชั้นฟิล์มของก๊าซที่บางมาก และมีเสถียรภาพห่อหุ้มอยู่รอบพื้นผิว และเกิดการกลายเป็นไอขึ้น ณ จุดที่อยู่ห่างออกไปจากพื้นผิวของเส้นลวดความร้อนปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า Film boiling และหากสามารถเพิ่ม degree of superheat ขึ้นไปอีก ฟลักซ์ความร้อนจะเพิ่มขึ้นในสภาพ Film boiling (ช่วง F - G) ในทางกลับกัน หากค่อยๆ ลดอุณหภูมิที่พื้นผิวถ่ายเทความร้อนจากจุด G ให้ Degree of superheat ลดลง เมื่อผ่านจุด F ลงมาของเหลวจะยังอยู่ในสภาวะ Film boiling ต่อไปจนถึงจุดที่ฟลักซ์ความร้อนมีค่าต่ำสุดที่จุด E ในช่วง D - E ชั้นฟิล์มของก๊าซที่ไม่มีเสถียรภาพบนพื้นผิวถ่ายเทความร้อนจะกลายเป็นฟองอากาศแยกตัวออกไปหลังจากนั้นของเหลวจะเข้ามาแทนที่ และเกิดชั้นฟิล์มของก๊าซขึ้นใหม่อย่างรวดเร็ววนเวียนไปเช่นนี้ต่อเนื่อง เรียกว่า ช่วง Transition boiling ในช่วง Nucleate boiling หรือ B – C - D เนื่องจากของเหลวซึ่งมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงกว่าก๊าซจะสัมผัสกับเส้นลวดความร้อน โดยตรง และเมื่อฟองก๊าซที่เกิดขึ้น แยกตัวออกไปจากพื้นผิวถ่ายเทความร้อน การเคลื่อนที่นั้นจะทำให้ความชันของอุณหภูมิในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นผิวถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นในช่วงนี้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจึงมีค่าสูงมาก



รูปที่ 2.11 แผนภาพของอุณหภูมิ และค่าความร้อนในการเดือดแต่ละช่วง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการเดือดจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง

ช่วง A น้ำเริ่มได้รับความร้อนจากผิวหน้าโลหะที่ร้อนกว่า ฟองไอน้ำเล็กๆ เริ่มเกิดและลอยขึ้นจากผิวของโลหะสู่ผิวหน้าของน้ำการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบ Natural convection บนผิวของ slab วางแบบนอน ค่า h จะแปรตาม $\Delta T^{0.25}$

ช่วง B เริ่มเกิด Nucleate boiling เมื่อผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำกับผิวโลหะให้ความร้อนมีค่าประมาณ 5 – 25 เคลวิน ที่ 1 ความดันบรรยากาศฟองไอน้ำจะเกิดมากขึ้น และอัตราเร็วของฟองที่วิ่งขึ้นมาบนผิวหน้าจะเพิ่มขึ้น

Horizontal Surface (outside)

$$h = 1043\Delta T^{1/3} \qquad \frac{q}{A} < 16 \tag{37}$$

$$h = 5.56\Delta T^{3} \qquad 16 < \frac{q}{A} < 240 \tag{38}$$

Vertical Surface (outside)

$$h = 537\Delta T^{1/7} \qquad \frac{q}{A} < 3 \tag{39}$$

$$h = 7.95\Delta T^{3} \qquad 3 < \frac{q}{A} < 63 \tag{40}$$

แต่ถ้าในการเดือดนั้นมีการกวนหรือทำให้มี Force convection ค่า h ต้องคำนวณโดยใช้สมการ

$$h = 2.55\Delta T^{3} e^{p/1551} \tag{41}$$

ช่วง C เป็นช่วง Transition boiling ฟองไอน้ำจะเกิดขึ้นรวดเร็วมาก และจะชนกันเองทำให้ฟองมีขนาดใหญ่ขึ้น บางครั้งจะใหญ่จนเกิดเป็นชั้นของไอในน้ำทำให้ขัดขวางการถ่ายเทความร้อนยิ่งมากจะเกิดชั้นของไอหนาขึ้น ทำให้ q/A และ h ต่ำลง ช่วง D เป็นช่วงการเกิด Film boiling ฟองไอน้ำก่อนโตจากช่วงที่แล้วจะเริ่มหลุดออกจากผิวเส้นลวด และลอยขึ้นสู่ผิวหน้าเร็วขึ้น และเมื่อ ΔT มากขึ้น ค่าการถ่ายเทความร่อนโดยการแผ่รังสีจากไอจะช่วยเพิ่มค่า q/A

ค่า h ในช่วง film boiling จะคำนวณได้จากสมการ

$$h = 0.62\left[\frac{k_v^3 \rho_v(\rho_l - \rho_v)g(h_{fg} + 0.4c_{pv}\Delta T)}{D\mu_v \Delta T}\right]^{1/4} \tag{42}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนในช่วง Nucleate boiling จะขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซอย่างมาก ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจึงขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ อย่างซับซ้อน เช่น รูปร่างของพื้นผิวถ่ายเทความร้อน ลักษณะของพื้นผิวเป็นต้น อย่างไรก็ตามในการเดือดแบบ Nucleate boiling โดยทั่วไปส่วนมากแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ความร้อน q กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_b จะใกล้เคียงกับสมการต่อไปนี้ โดยประมาณ

$$q \propto (T_w - T_s)^n \quad h_b \propto (T_w - T_s)^{n-1} \quad n = 3\sim4 \qquad (43)$$

นอกจากนี้ในกรณีของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนใกล้ๆ กับจุด Burnout จะมีค่าประมาณ 60 (กิโลวัตต์/ตารางเมตร*เคลวิน) แต่ในการเดือดแบบ Film boiling เนื่องจากชั้นฟิล์มของไอน้ำที่ปก คลุมพื้นผิวถ่ายเทความร้อนจะกลายเป็นฉนวนความร้อนที่มีความต้านทานสูง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจึงมีค่าต่ำในกรณีของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศจะมีค่าปริมาณ 1 (กิโลวัตต์/ตารางเมตร*เคลวิน) เท่านั้น

ในกรณีที่ให้ความร้อนแก่ของเหลวในภาชนะที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่การเดือดในกรณีที่กระแสที่เกิดขึ้นในของเหลวเป็นการพาความร้อนตามธรรมชาติ เรียกว่า Pool boiling แต่ถ้ามีการบังคับให้ของเหลวให้ไหลตามพื้นผิวถ่ายเทความร้อนด้วยปั๊มหรืออุปกรณ์อื่นๆ จะเรียกว่า Forced convection boiling นอกจากนี้การเดือดที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของของเหลวเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวเรียกว่า Saturated boiling และการเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว เรียกว่า Sub-cooled boiling ในกรณีนี้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลวกับอุณหภูมิจริงๆ ของของเหลว เรียกว่า Degree of sub-cool ในการเดือดแบบ Sub-cool boiling แม้ว่าจะเกิดฟองก๊าซขึ้นที่พื้นผิวให้ร้อน แต่เนื่องจากอุณหภูมิของของเหลวรอบๆ มีค่าต่ำฟองก๊าซจะไม่ขยายตัวใหญ่ขึ้น ส่วนมากระหว่างที่ฟองลอยขึ้นไปในของเหลวมักจะควบแน่นกลับเป็นของเหลว และหายไป

2.1.5.3.2 การพาความร้อนในการควบแน่น

เมื่อก๊าซสัมผัสกับพื้นผิวเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวก๊าซจะควบแน่นบนพื้นผิวนั้นหากพื้นผิวเย็นไม่ได้เป็นพื้นผิวราบของเหลวที่เกิดขึ้นจะไหลลงไปตามพื้นผิวเย็นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกในกรณีนี้เราสามารถแบ่งการถ่ายเทความร้อนออกได้เป็น 2 รูปแบบ รูปแบบแรก ได้แก่ กรณีที่ของเหลวควบแน่นเปียกกระจายทั่วพื้นผิวเย็นโดยของเหลวควบแน่นจะแผ่เป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวเย็นและไหลไปในทิศทางตามแรงโน้มถ่วงโลกส่วนก๊าซที่เหลือก็อาจควบแน่นอยู่บนชั้นของเหลวบางๆ นั้นต่อไปรูปแบบนี้ เรียกว่า Film-wise condensation รูปแบบที่สอง ได้แก่ กรณีที่พื้นผิวเย็นเปียกได้ยากของเหลวควบแน่นจะไม่แผ่กระจายเป็นชั้นบางๆ แต่จะควบแน่นเป็นหยดของเหลวจำนวนมากด้วยแรงตึงผิวหยดของเหลวจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ด้วยการควบแน่นหรือหยดเล็กๆ หลายๆ หยดอาจรวมกันเป็นหยดใหญ่ และเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นถึงระดับหนึ่งก็ไหลตกลงไปด้วยแรงโน้มถ่วงรูปแบบนี้ เรียกว่า drop - wise condensation

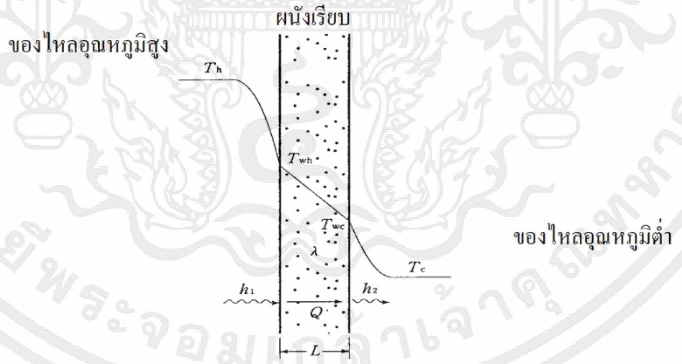
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของทั้ง 2 รูปแบบข้างต้น Drop-Wise condensation จะมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงกว่า film-wise condensation ค่อนข้างมาก กล่าวกันว่าสูงประมาณ 6 เท่า สำหรับ Drop-wise condensation เมื่อหยดของเหลวไหลตกลงไปนั้นจะทำให้พื้นผิวเย็นที่มันเคยอยู่กลายเป็นที่ว่าง และพื้นผิวเย็นจะสัมผัสกับก๊าซโดยตรงหรือเมื่อหยดเล็กๆ รวมตัวกันพื้นผิวเย็นใกล้ๆ หยดของเหลวจะเปิดโล่งสัมผัสกับก๊าซโดยตรงไม่ว่าในกรณีใดพื้นผิวที่สัมผัสกับก๊าซโดยตรงหรือมีชั้นของเหลวที่บางมากๆ ปกคลุมอยู่จะมีการถ่ายเทความร้อนเร็วกว่าพื้นผิวที่มีชั้นของเหลวปกคลุมอยู่หนาคาดว่านี่เป็นสาเหตุที่ทำให้ Drop wise condensation มีอัตราการพาความร้อนสูงกว่า

2.1.5.4 การแลกเปลี่ยนความร้อน

ในจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อน อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ให้ และรับพลังงานความร้อน (แลกเปลี่ยนความร้อน) ระหว่างของไหลที่ทำหน้าที่ขนถ่ายความร้อน (ตัวกลางความร้อน) เรียกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) โดยทั่วไป ความร้อนจากตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทเข้ามาสะสมอยู่ในผนังของแข็งด้วยการพาความร้อน และความร้อนจะถ่ายเทภายในผนังของแข็งด้วยการนำความร้อน และถ่ายเทสู่ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำอีกด้านหนึ่งของผนังของแข็งด้วยการพาความร้อน การถ่ายเทของความร้อนนี้เมื่อพิจารณารวมทั้งหมด เรียกว่า overall heat transmission (รูปที่ 2.12)

Overall heat transmission resistance และ Coefficient of overall heat transmission ต่อไปนี้จะพิจารณารูปแบบที่พื้นฐานที่สุด ได้แก่ การถ่ายเทของความร้อนจากของไหลอุณหภูมิสูงผ่านผนังเรียบไปยังของไหลอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2.12 Overall heat transmission ของผนังเรียบ [13]

ถ้าให้ของไหลอุณหภูมิสูงมีอุณหภูมิ T_h ของไหลอุณหภูมิต่ำมีอุณหภูมิ T_c ผนังด้านที่สัมผัสกับของไหลอุณหภูมิสูงมีอุณหภูมิ T_{wh} ผนังด้านที่สัมผัสกับของไหลอุณหภูมิต่ำมีอุณหภูมิ T_{wc} ให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างของเหลวอุณหภูมิสูงกับพื้นผิวผนัง และระหว่างของเหลวอุณหภูมิต่ำกับพื้นผิวผนังเท่ากับ h_1 และ h_2 ตามลำดับ และให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังเท่ากับ λ ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีนี้ถ้าให้ความหนาของผนังเรียบเท่ากับ ℓ และให้ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังพื้นที่ A ต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากับ Q แล้ว

$$Q = h_1 A \left(T_h - T_{wh} \right)$$
$$Q = \frac{\lambda A}{l} \left(T_{wh} - T_{wc} \right)$$
$$Q = h_2 A (T_{wc} - T_c) \qquad (44)$$

ดังนั้น จากสมการเหล่านี้

$$\frac{Q}{h_1 A} + \frac{Q}{\left(\frac{\lambda A}{l}\right)} + \frac{Q}{h_2 A} = \left(T_h - T_{wh}\right) + \left(T_{wh} - T_{wc}\right) + \left(T_{wc} - T_c\right)$$
$$= (T_h - T_c) \qquad (45)$$
$$Q = \frac{T_h - T_c}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{l}{\lambda A} + \frac{1}{h_2 A}} \qquad (46)$$

ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = \frac{T_h - T_c}{R}$$
$$R = \frac{1}{h_1 A} + \frac{l}{\lambda A} + \frac{1}{h_2 A} \qquad (47)$$

เราสามารถคิดได้ว่า Overall heat transmission เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากของไหลอุณหภูมิสูงไปยังของไหลอุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากับ (T_h-T_c) และมีความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (Overall heat transmission resistance) เท่ากับ R และค่า Overall heat transmission resistance ของทั้งระบบจะเท่ากับผลบวกของความต้านทานการพาความร้อน และความต้านทานการนำความร้อนในแต่ละส่วน

$$\text{(Overall heat transmission)} = \frac{\{(\text{อุณหภูมิของไหลอุณหภูมิสูง}) - (\text{อุณหภูมิของไหลอุณหภูมิต่ำ})\}}{\text{(Overall heat transmission resistance)}} \qquad (48)$$

(Overall heat transmission resistance) = Σ(ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนแต่ละส่วน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกลับของผลคูณของ Overall heat transmission resistance กับพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน A เรียกว่า coefficient of overall heat transmission K ซึ่งจากสมการ (47) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

(Overall heat transmission) = (coefficient of overall heat transmission) x (พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน) x (อุณหภูมิของไหลอุณหภูมิสูง) - (อุณหภูมิของไหลอุณหภูมิต่ำ)}

$$Q = KA\left(T_h - T_c\right) \quad K = \frac{1}{RA} \tag{49}$$

ในกรณีที่ผนังระหว่างของไหลอุณหภูมิสูงกับของไหลอุณหภูมิต่ำเป็นแผ่นวัสดุหลายชั้น เนื่องจากความต้านทานการนำความร้อน $R_c = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{l_i}{\lambda_i A}\right)$ ดังนั้น Overall heat transmission resistance R จึงเท่ากับ

$$R = \frac{1}{h_1 A} + \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{l_i}{\lambda_i A}\right) + \frac{1}{h_2 A} \tag{50}$$

นอกจากนี้ Overall heat transmission resistance R ในกรณีที่ผนังกั้นเป็นท่อกลมหลายชั้นที่มีความยาว L จะเท่ากับ

$$R = \frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{1}{2\pi\lambda_i L}\ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)\right\} + \frac{1}{2\pi r_{n+1} L h_2} \tag{51}$$

2.1.5.5 ฉนวนความร้อน และการเลือกใช้

ฉนวนโดยทั่วไป หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่ายการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุใดๆ หรือการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ระหว่างวัตถุสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีความแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนนั้นมี 3 วิธี โดยอาจเกิดขึ้นจากวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายๆ วิธีพร้อมกัน ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) การแผ่รังสี (Radiation) การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนให้ถูกต้องจำเป็นต้องเข้าใจถึงกลไกลที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ ก่อนฉนวนกันความร้อนโดยทั่วไปแล้ว เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยช่องโพรงเล็กๆ และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบปิดทึบ (Totally Enclosed) เรียกว่า ฉนวนมวลสาร (Mass Insulation) นั่นเอง ช่องเล็กๆ เหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากเกล็ด (Flakes) เส้นใย (Fibers) ปมแข็ง (Nodules of Solids) หรือเซลล์ของตัววัสดุนั้นเองยกเว้นฉนวนสะท้อนความร้อน (Reflective

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Insulation) กลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนมวลสารเกิดขึ้นได้โดยอาศัยช่องเล็กๆ ที่อยู่ภายในวัสดุ และลักษณะของการเป็นโพรงอากาศนี้เองที่ทำหน้าที่ต้านทานการไหลของอากาศหรือก๊าซ ทำให้มีความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะสามารถถ่ายเทผ่านจากด้านหนึ่งของวัสดุไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยกระบวนการพาความร้อนได้ เมื่อพิจารณากระบวนการการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวนที่ค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนใดๆ นั้น สภาพการนำความร้อนปรากฏ (Apparent Thermal Conductivity) ที่เกิดขึ้นจะลดลงได้เนื่องจากการพาความร้อน โดยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลงเพราะการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเซลล์ของเส้นใยที่ทำให้อากาศภายในฉนวนกันความร้อนหยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่จนมีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดีถึงแม้ว่าภายในเซลล์บางส่วนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้นภายในฉนวนนั้นก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยสู่เส้นใย และพื้นผิวสู่พื้นผิวจะลดลงทำให้สภาพการนำความร้อนปรากฏลดลงด้วยจนกระทั่งเมื่อเส้นใยหรือเซลล์ต่อเชื่อมจนเป็นเนื้อเดียวกันจะเกิดการนำความร้อนขึ้นภายในวัสดุจนถึงจุดที่การแผ่รังสีความร้อนที่ลดลงมีค่าน้อยกว่า

การนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น (จากผลของการเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุที่ทำให้เส้นใยชิดกันมากขึ้น) สภาพการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะเริ่มมีค่ามากกว่าการแผ่รังสีความร้อนที่ลดลงดังนั้นฉนวนกันความร้อนที่ดีจึงควรเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนปรากฏรวมต่ำสุด

ฉนวนกันความร้อนประเภทสะท้อนความร้อนประกอบด้วยช่องว่างสำหรับการสะท้อนความร้อนกลับอยู่ระหว่างแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนโดยมีกระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุ ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำฉนวนประเภทนี้ส่วนมากทำจากอลูมิเนียมหรือเหล็กปลอดสนิมการออกแบบ และใช้งานวัสดุประเภทสะท้อนความร้อนมักไปประยุกต์ใช้ในระบบร่วมกับการก่อสร้างมากกว่าการแยกใช้เป็นชิ้นเดียวโดยเฉพาะ และด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้คุณสมบัติของฉนวนสะท้อนความร้อนถูกแยกออกจากฉนวนประเภทอื่นๆ หรือฉนวนมวลสารที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene Foam) ที่เลือกใช้เป็นฉนวนหุ้มตัวเครื่องมีข้อดี คือ ค่าการนำความร้อนต่ำใช้เป็นตัวผนึกหรือกันซึมได้ ไม่เป็นพิษ การแทรกซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ ส่วนข้อจำกัด คือ ติดไฟได้ และอุณหภูมิใช้งานสูงสุดประมาณ 82 องศาเซลเซียล

2.1.6 กลศาสตร์ของไหล

ของไหล (Fluid) คือ ของเหลว และก๊าซในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้าง แต่ต้องใช้ความดันสูงมากจึงพิจารณาว่า ของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ของไหลอัดตัวได้คือ ของไหลที่ความหนาแน่นไม่คงที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ก๊าซอยู่ในภาชนะปิดสนิทเมื่อได้รับความร้อน ความหนาแน่นของก๊าซก็จะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามถ้าสูญเสียความร้อนความหนาแน่นก็จะลดลงในที่นี้จะกล่าวเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้เท่านั้น

ความหนาแน่น (Density, ρ) คือ มวล (m) ของสารนั้นหารด้วยปริมาตร (V)

ปริมาตรเฉพาะ (Specific volume, V) คือ ปริมาตรของสารนั้นหารด้วยมวล ซึ่งจะมีค่าเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น

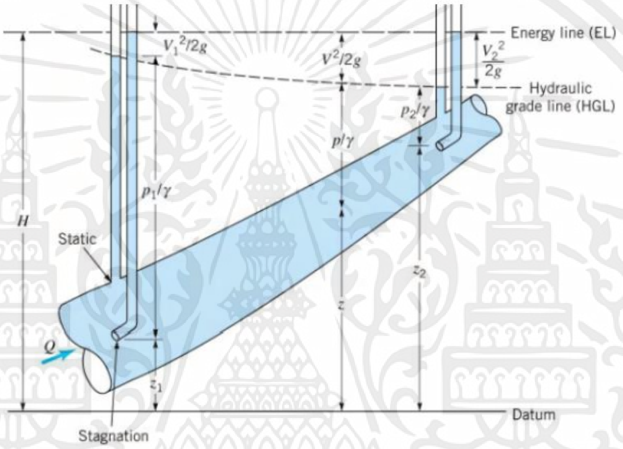
ความหนืด (Viscosity, μ) คือ คุณสมบัติการต้านการเคลื่อนที่ของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, γ) คือ ความหนาแน่นคูณกับค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (กรัม) หรือน้ำหนัก (มิลลิกรัม) หารด้วยปริมาตร

2.1.6.1 สมการพื้นฐานของการไหล

ในรูปที่ (2.13) แสดงการไหลของของไหลเมื่อกำหนดพื้นที่ตัดขวาง (Cross Section Area) ให้เป็น A (ตารางเมตร) ความเร็วเฉลี่ยในการไหลผ่านพื้นที่ตัดขวางเป็น V (เมตร/วินาที) และคิดให้เป็นการไหลแบบคงตัว (Steady Flow) ตัวเลข 1 และ 2 ที่เป็นตัวห้อยจะหมายถึงพื้นที่ตัดขวางที่ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 2.13 การไหลในสภาวะปกติ [14]

2.1.6.1.1 สมการของการอนุรักษ์มวล

มวลสารที่เกิดการไหลในระบบหนึ่งจะเท่ากันตลอดทุกๆ หน้าตัด เมื่อให้ปริมาณการไหลของมวลสาร เป็น $\dot{M}$ (กิโลกรัม/วินาที) จะเขียนสมการได้ว่า

$$\dot{M} = \rho VA = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \text{ค่าคงที่}$$
$$= \rho Q = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \text{ค่าคงที่} \qquad (52)$$

ในสมการนี้ค่า ρ คือ ค่าความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) Q เป็นอัตราการไหลของปริมาตร (Volume flow rate) หรือเรียกสั้นๆ ว่าอัตราการไหล (Flow rate) ของของไหล (ลูกบาศก์เมตร/วินาที) ถ้าให้ค้า Q เท่ากับ $\dot{M}/\rho$ และ ρ เป็นค่าคงที่ (เป็นของเหลวที่อัดตัวไม่ได้) ในกรณีนี้จะทำให้ Q ก็เป็นค่าคงที่เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.1.2 สมการของการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลต่อหน่วยมวลคือ ค่าเอนทัลปีจำเพาะ (จูล/กิโลกรัม) พลังงานจลน์ $v^2/2$ (จูล/กิโลกรัม) และพลังงานศักย์ gz (จูล/กิโลกรัม) ในระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ 1 และ 2 เมื่อมีพลังงานจากภายนอกเข้ามา โดยจะให้พลังงานนี้เป็น E_{in} (จูล/กิโลกรัม) (ยกตัวอย่างเช่น พลังงานจากปั๊มโบลเวอร์หรือการเพิ่มความร้อน) และถ้าให้พลังงานจากของไหลที่ออกไปสู่สิ่งแวดล้อมเป็น E_{out} (เช่น งานจากกังหันการทำความเย็น) จากกฎของการอนุรักษ์พลังงานกรณีการไหลคงตัวจะเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1\right) + (E_{in} - E_{out}) = \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2\right) \qquad (53)$$

โดยค่าเป็นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก $g_n = 9.80665$ (เมตร/วินาทีกำลังสอง) สมการนี้จะเป็นสมการทั่วไปของการไหล สำหรับการไหลที่คิดค่าความหนืดเป็นการไหลในบริเวณที่ใกล้กับผนังแข็ง เช่น ผิวท่อ งานที่เกิดจากความเสียดทานในการไหลอันเนื่องมาจากความหนืด ฯลฯ จำเป็นที่จะต้องคิดพลังงานในส่วนนี้แยกออกมาอีก ซึ่งงานจำนวนนี้ก็จะกลายเป็นความร้อน และกลายเป็นพลังงานไม่มีประสิทธิภาพ (ไม่สามารถนำมาใช้งานได้) การสูญเสียพลังงานที่มีประสิทธิภาพจำนวนนี้จะสูญเสียในรูปแบบของความดัน โดยพลังงานที่สูญเสียไปนี้เป็น E_{loss} ในวิชาอุณหภูมิพลศาสตร์นั้น การเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปี Δh กับการเปลี่ยนแปลงความดัน Δp สามารถเขียนเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์กันได้ดังนี้ ($\Delta h = \Delta q + v\Delta p = \Delta q + \Delta p/\rho$) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า $\Delta h = E_{loss} + \Delta p/\rho$ จากสมการที่ (53) เมื่อใช้ค่า $h_1 - h_2 = E_{loss} + (p_2 - p_1)/\rho$ แทนลงไป และไม่คิดถึงเรื่องการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหลจะเขียนสมการได้เป็น

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1\right) + (E_{in} - E_{out} - E_{loss}) = \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2\right) \qquad (54)$$

สมการนี้เป็นสมการของการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ของไหลไม่สามารถอัดตัวได้ สมการนี้ไม่เพียงแต่จะใช้กับของเหลวได้เท่านั้น ในกรณีของแก๊สมีการเปลี่ยนแปลงความดัน และอุณหภูมิน้อยมากจนถือได้ ว่า ρ มีค่าคงที่สมการนี้ก็สามารถนำไปใช้ได้อีกด้วย สมการนี้ไม่มีพลังงานเข้าหรือออกจากภายนอก และไม่มี E_{loss} จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gz = \text{ค่าคงที่} \qquad (55)$$

สมการเบอร์นูรี่ (Bernoulli’s Equation) ข่างบนนี้ใช้ในกรณีที่การไหลไม่มีการสูญเสียพลังงานไม่มีงานเข้า - ออกจากระบบ และไม่สามารถอัดตัวได้ในการไหลเทอมนี้ ในสมการนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายถึง แรงดันสถิต (Static Pressure) ความดันขับ และความดันรวม อนึ่งค่า ρ ของแก๊สจะมีค่าน้อยมาก และถ้าค่า z ของจุดที่พิจารณา 2 จุดมีค่าไม่แตกต่างกันมากทำให้เทอม ρgz ในสมการที่ (54) และสมการที่ (55) สามารถตัดทิ้งไปได้

2.1.6.2 การไหลในท่อกลม

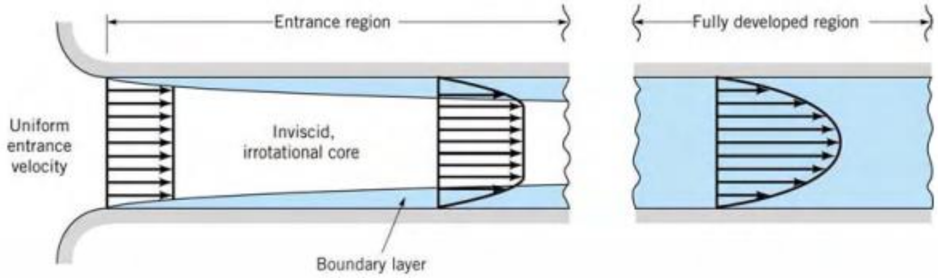
การไหลในท่อกลมที่บริเวณทางเข้าท่อที่แสดงในรูปที่ (2.14) นั้นจะเห็นว่าตั้งแต่ที่บริเวณทางเข้าชั้นขอบเขตของความเร็วจะค่อยๆ พัฒนาเพิ่มขึ้นที่ละเล็กที่ละน้อยจนถึงระยะทางค่าหนึ่ง (Le) ชั้นของความเร็วจะซ้อนกันทั้งบน และล่างหลังจากนั้นการกระจายความเร็วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เรียกว่าการไหลได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ (Fully Developed) ค่าเรย์โน Re สำหรับการไหลภายในท่อนั้นถ้าให้ y เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของพื้นที่ตัดขวางท่อแล้วจะได้

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{\left[M/\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\right]D}{\mu} \qquad (56)$$

อนึ่งค่า ρv (กิโลกรัม/ตารางเมตร*วินาที) จะเป็นค่าการไหลของมวลสารต่อพื้นที่หน้าตัดในการไหลสำหรับในกรณีของแก๊สนั้นการเพิ่มความร้อนภายในท่อจะทำให้แก๊สขยายตัวมีความเร็ว v เพิ่มขึ้นค่า ρv จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงที่ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สะดวกในการคำนวณนอกจากนั้นโดยปกติจะถือว่าค่าสัมประสิทธิความหนืดจะไม่เปลี่ยนแปลงไปกับความดันอีกด้วยส่วนค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ v ซึ่งเท่ากับ μ/ρ ในกรณีของแก๊สจะเป็นค่าที่ผกผันกับความดันซึ่งจะต้องระมัดระวัง

ค่าเรย์โนวิกฤติ Re_c ของการไหลภายในท่อที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์แล้วคือค่าเรย์โนที่การไหลเปลี่ยนจากการไหลราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจะมีค่า Re_c= 230 หรืออยู่ในช่วงระหว่าง 2,000 – 4,000 โดยประมาณทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนในการไหลความขรุขระภายในท่อที่ไหลหรือรูปทรง และสภาพของทางเข้าส่วนค่าเรย์โนที่ต่ำกว่า 2,000 ไม่ว่าท่อจะมีความยาวมากเพียงใดการไหลก็จะไม่เปลี่ยนแปลงไปสู่การไหลแบบปั่นป่วนจะยังคงรักษาสภาพการไหลแบบเป็นชั้นหรือราบเรียบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การไหลภายในท่อกลม [14]

การไหลแบบเป็นชั้น/การไหลแบบราบเรียบภายในท่อกลมรูปที่ (2.15) เป็นรูปที่แสดงให้เห็นว่าการกระจายความเร็วที่ได้พัฒนาอย่างสมบูรณ์แล้วจะเป็นรูปพาราโบล่าถ้าให้ V เป็นความเร็วเฉลี่ยในการไหล และให้ U_c เป็นความเร็วที่จุดศูนย์กลางของท่อเราสามารถแสดงความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

$$V = \frac{\dot{M}}{\rho\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} = \frac{U_c}{2} \qquad (57)$$

ในท่อที่มีความยาวเป็น L จะมีการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากการสูญเสียความดัน คือ $\Delta p/\rho$ (จูล/กิโลกรัม) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \frac{64}{Re}\frac{L}{D}\frac{V^2}{2} \qquad (58)$$

ในที่นี้คือ $\Delta p/\rho$ จะเรียกว่า ความดันที่สูญเสียไป

รูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นการกระจายความเร็วที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์การกระจายความเร็วจะมีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อความเร็วเฉลี่ยหาได้จาก

$$V = 0.82U_c \qquad (59)$$

อนึ่งสำหรับการไหลภายในท่อที่ไม่ใช้ท่อกลมนั้นจะใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล) De ซึ่งหาได้จาก

$$De = \frac{4A}{Lp} \qquad (60)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย A จะเป็นพื้นที่หน้าตัดในการไหล L_p จะเป็นความยาวเส้นรอบรูปของพื้นที่หน้าตัดของของไหลที่สัมผัสผนังของท่อในกรณีของท่อกลม De = D

2.1.6.3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล

2.1.6.3.1 ปั๊ม (Pump)

ปั๊มที่ถูกใช้เพื่อขนถ่ายของไหล คือ เครื่องมือที่ให้พลังงานอย่างต่อเนื่องแกของไหล เมื่อปั๊มถูกใช้งาน เราต้องตรวจสอบแรงขับเคลื่อนสมรรถนะของปั๊มนอกจากนั้นแล้วต้องระมัดระวังในเรื่องการเกิดแควิเตชั่น (Cavitation) การกัดกร่อนอีกด้วย

2.1.6.3.1.1 แรงขับเคลื่อนของปั๊ม เมื่อพิจารณาการไหลของปั๊มโดยให้ตรงบริเวณทางเข้า และตรงบริเวณทางออกของปั๊มเป็นตัวเลขกำกับ 1 และ 2 ตามลำดับ จากตัวปั๊มของไหลจะได้รับพลังงานที่มีประสิทธิภาพต่อปริมาณการไหลเป็น ($E_{in} - E_{loss}$) (จูล/กิโลกรัม) โดย

$$E_{in} - E_{loss} = \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{V^2{}_2}{2} + gz_2\right) - \left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{V^2{}_1}{2} + gz_1\right) = gH_t \qquad (61)$$

ในสมการนี้ H_t [m] จะเป็นผลต่างของเฮดรวมทั้งหมดที่ตรงบริเวณทางเข้า และทางออกของปั๊ม เรียกว่า เฮดรวม (Total Head) กำลังขับที่ปั๊มต้องการใช้ คือ P

$$P = \frac{(E_{in} - E_{loss})\dot{M}}{\eta_p}$$

$$= \left[\left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{V^2{}_2}{2} + gz_2\right) - \left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{V^2{}_1}{2} + gz_1\right)\right]\frac{\dot{M}}{\eta_p}$$

$$= gH_t\frac{\dot{M}}{\eta_p} \qquad (62)$$

ในสมการนี้ η_p (เป็นค่าประสิทธิภาพของปั๊ม) เท่ากับ ($E_{in} - E_{loss}$) /E_{in} และ $\dot{M}$ เป็นอัตราการไหลของมวลขาออก (กิโลกรัม/วินาที) H_t เป็นเฮดรวมค่า ρ เป็นค่าความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศ์เมตร) และ g เป็นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตร/วินาทีกำลังสอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.3.1.2 ลักษณะสมบัติของปั๊ม (Pump Characteristics)

ในระหว่างปั๊ม A และ B ที่มีความคล้ายคลึงทางเรขาคณิตที่จุดที่ปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด (จุดที่ออกแบบ) โดยกฎของความคล้ายคลึง (Similarity Rules) จะได้ว่า

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 , \frac{H_2}{H_1}\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 , \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \qquad (63)$$

โดยที่ Q คือ เป็นค่าปริมาตรของการไหลขาออก

H คือ เฮดรวม

P คือ กำลังขับของปั๊ม

N คือ ความเร็วรอบของปั๊ม

D คือ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดของปั๊ม

ตัวอักษร 1 และ 2 ที่ห้อยเป็นปั๊มตัวที่ 1 และปั๊มตัวที่ 2 ตามลำดับ จากกฎของความคล้ายคลึงกันของปั๊มหนึ่งๆ ในสมการที่ (63) เมื่อกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดปั๊มตัวที่ 1 เท่ากับตัวที่ 2 ($D_1 = D_2$) ณ จุดที่ปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจะได้ว่า Q จะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ N และ H จะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคกับ N^2 และ P จะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคกับ N^3

การหาค่าความเร็วจำเพาะ (Specific Speed: N_s) จากสมการที่ (63) โดยทำการย้ายข้างสมการชุดที่หนึ่ง และสองให้อยู่ในรูปของ D_2/D_1 แล้วให้สมการชุดที่หนึ่งเท่ากับสมการชุดที่สองแล้วกำหนดให้ค่า $H_2 = 1, Q_2 = 1, Q_1 = Q, H_1 = H, N_1 = N, N_2 = N_s$ แทนลงไปจะได้สมการที่ (64) ซึ่งความเร็วจำเพาะ N_s จะเป็น Parameter ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกแบบของปั๊ม

$$N_s = N\frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \qquad (64)$$

เมื่อ N คือ จำนวนรอบต่อนาที (1/นาที)

Q คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร /นาที)

H คือ เฮดรวม

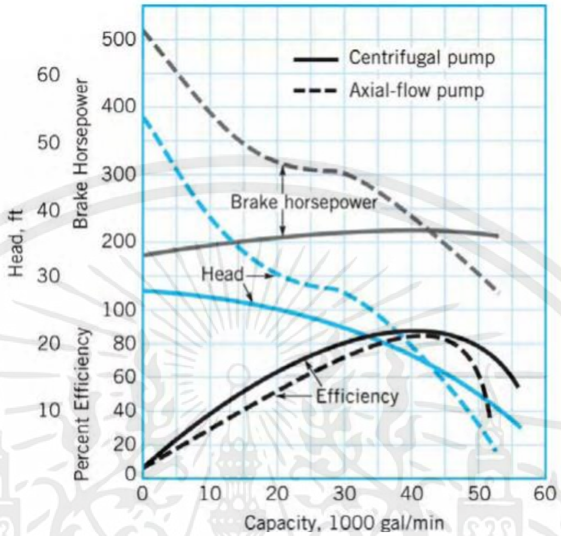
Centrifugal Pump (ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์): N_s = 100 – 400

Diagonal Flow Pump: N_s = 800 – 1000

Axial Flow Pump (ปั๊มไหลตามแกน) N_s: = มากกว่า 1000 ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามปั๊มแบบ Axial Flow จะเหมาะกับการส่งของไหลที่มีปริมาตรมากๆ (ต้องการส่งของไหลจำนวนมากๆ) แต่มีเฮดรวมต่ำๆ (Low Total Head) ปั๊มแบบนี้สามารถเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้นได้ (รูปที่ 2.15) เป็นแผนภูมิแสดงเส้นสมรรถนะของของปั๊ม 2 แบบ



รูปที่ 2.15 แผนภูมิเส้นแสดงลักษณะสมบัติของปั๊ม [14]

ปั๊มแบบ Centrifugal Pump ในเส้นแสดงประสิทธิภาพจะมีส่วนโค้งที่กลมใหญ่กว่าจึงจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลเปลี่ยนไปประสิทธิภาพของปั๊มจะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย สำหรับปั๊มแบบ Axial Flow นั้นจะเหมาะสมกับสถานที่ต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงเฮด (Head) แต่ต้องการอัตราการไหลมากๆ ข้อเสียของปั๊มแบบนี้คืออัตราการไหลที่ได้เพิ่มขึ้น แต่ Head ที่ได้จะต่ำลง

2.1.6.3.2 อุปกรณ์ส่งลม (Blower)

ในระหว่างที่ใช้อุปกรณ์/เครื่องส่งลมกำลังสมรรถนะเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องตรวจสอบ นอกจากนั้นการเกิดการสูญเสียของความเร็วก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังเช่นกัน และควรมีมาตรการป้องกันในเรื่องของเสียงดังรบกวนอีกด้วย

2.1.6.3.2.1 แรงขับเคลื่อนของอุปกรณ์ส่งลม

แรงขับเคลื่อนในแนวแกนของอุปกรณ์ส่งลมหรือเครื่องอัดอากาศ (Compressor) สามารถหาได้ เช่น เดียวกับกับสมการที่ (62) ที่เป็นสมการของปั๊ม คือ

$$P = E_{in}\dot{M}$$

$$= \left(E_{in} - E_{loss}\right)\dot{M}/\eta_c \qquad (65)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสมการนี้ η_c คือ ค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ส่งลม เครื่องอัดอากาศ ค่า $(E_{in} - E_{loss})$ (จูล/กิโลกรัม) คือ ค่าพลังงาน จากการไหลของแก๊ส ซึ่งมีหน่วยเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพที่ได้รับมาจากภายนอกต่อหน่วยของมวลสารที่ไหลเมื่อแก๊สที่มีความดัน p_1 ถูกอัดให้เป็นความดัน p_2 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบเอนโทรปีคงที่ (กระบวนการที่ผันกลับได้แบบแอเดียแบติค) พลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการนี้ (งานทางอุดมคติ) ซึ่งก็จะเหมือนกันกับสมการที่ (61) ซึ่งจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$E_{in} - E_{loss} = gH_{ad} \tag{66}$$

ในสมการนี้ค่า H_{ad} เรียกว่า ค่า Adiabatic head ซึ่งก็จะเหมือนกันกับค่าเฮดรวม (Total Head) ของปั๊มของไหลเมื่อได้รับพลังงานจากภายนอกสามารถแสดงในรูปของพลังงานศักย์ได้โดยใช้สมการที่ (62) และสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$P = gH_{ad}\dot{M}/\eta_c \tag{67}$$

อัตราส่วนความดันรวม (p_{t2}) ในด้านที่ขับลมออกมาจากอุปกรณ์ส่งลมกับความดันรวม (p_{t1}) ในด้านที่ดูดลมเข้าไปในอุปกรณ์ในกรณีของอุปกรณ์ส่งลมที่ค่ามีอัตราส่วนนี้น้อยๆ (เช่น ในกรณีของพัดลม) เมื่อพิจารณาให้เป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้กำลังขับเคลื่อนของพัดลมสามารถหาได้เช่นเดียวกันกับในสมการที่ (62) เมื่อไม่คำนึงถึงพลังงานศักย์จะได้สมการใหม่ว่า [14]

$$\begin{aligned} P &= \dot{M}\left(p_{t2} - p_{t1}\right)/\left(\rho\eta_c\right) \\ &= \left(p_{t2} - p_{t1}\right)Q/\eta_c \end{aligned} \tag{68}$$

2.1.7 SolidWorks Simulation

โปรแกรม SolidWorks เวอร์ชั่น 2020 เป็นโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ ซึ่งใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับการศึกษา และระดับอุตสาหกรรมมีทั้งการข้อมูลในเว็บไซต์ต่างๆ เช่น YouTube มีการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัย มีสถานที่ที่จัดสอนโปรแกรมโดยเฉพาะ และมีคนที่รับสอนนอกสถานที่ทำให้โปรแกรม SolidWorks มีผู้ใช้จำนวนมากเพราะมีแหล่งศึกษาที่หาได้ง่าย และสามารถฝึกใช้งานได้อย่างรวดเร็ว แต่ยังมีคนจำนวนน้อยนักที่จะรู้ว่าโปรแกรม SolidWorks สามารถเพิ่มฟังก์ชั่น Add - in เพื่อให้มีความสามารถอย่างอื่นนอกเหนือจากการวาดโมเดล 3 มิติ ฟังก์ชั่น Simulation ก็เป็นหนึ่งในฟังก์ชั่น Add - in ที่มีอยู่มากมาย ฟังก์ชั่น Simulation ในโปรแกรม SolidWorks แบ่งหลักๆได้ 4 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.1 Simulation

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล 3 มิติ (Strength Analysis) โดยใช้วิธี Finite Element Analysis (FEA) ในการคำนวณหาความแข็งแรง ซึ่งจะมีโมดูลย่อยๆ อีกหลายชนิดเพื่อให้ตอบโจทย์ความเสียหายที่มีได้หลากหลายรูปแบบดังต่อไปนี้

- Linear Static คือ การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำสามารถดูการรับแรง (Stress) ที่ตำแหน่งต่างๆ ของชิ้นงาน และดูการบิดงอ (Displacement) ได้
- Frequency คือ การวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติ และ Mode Shape (ลักษณะหรือทิศทางของการสั่น)
- Buckling คือ การวิเคราะห์ความเสียหายแบบโก่งเดาะ (Buckling) โดยแสดงผลในรูปของ Buckling Load Factor (คล้ายๆ กับ Safety factor ที่บอกว่าชิ้นงานสามารถรับแรงได้อีกกี่เท่าจึงจะเกิดความเสียหาย)
- Thermal คือ การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี
- Fatigue คือ การวิเคราะห์ความล้าหรืออายุการใช้งานของชิ้นงานเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำซ้ำๆ
- Drop Test คือ การวิเคราะห์การตกกระแทกโดยสามารถกำหนดความสูงหรือความเร็วตอนชิ้นงานเกิดการกระแทกกับพื้น กำหนดมุมตกกระแทก และกำหนดค่าความแข็งของพื้นที่ชิ้นงานมากระแทกได้
- Optimization คือ การหาขนาดที่เหมาะสมของชิ้นงานด้วยโปรแกรม สามารถกำหนดตัวแปรที่ต้องการเปลี่ยน เช่น ขนาดของชิ้นงาน เป็นต้น กำหนดเงื่อนไข เช่น ต้องมี Safety factor มากกว่า 2 หรือมีการบิดงานไม่เกิน 1 มิลลิเมตร เป็นต้น และกำหนดเป้าหมายที่ต้องการ เช่น หาว่าชิ้นงานที่มีน้ำหนักเบาที่สุดเท่ากับเท่าไร โดยโปรแกรมจะเปลี่ยนขนาดของชิ้นงานตามตัวแปรที่กำหนดโดยอัตโนมัติ และหาชิ้นงานที่เบาที่สุดโดยที่ชิ้นงานตัวนั้นต้องผ่านเงื่อนไขของเราด้วย
- Pressure Vessel คือ การวิเคราะห์ถังความดันโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน ASME Code Section VII, Division 2, Appendix 4
- Linear Dynamic คือ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกำหนดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น แล้วคำนวณหา Stress หรือ Displacement ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆ ได้
- Non-linear คือ การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นซึ่งมีได้ 3 แบบคือ วัสดุไม่เชิงเส้น (Material non - linear) เช่น พลาสติก ยาง เป็นต้น มีการสัมผัสหรือการเคลื่อนที่มาชนกันระหว่างชิ้นงานประกอบ (Contact non - linear) และชิ้นงานมีการบิดงอไปจากรูปเดิมมากๆ (Geometry non - linear)

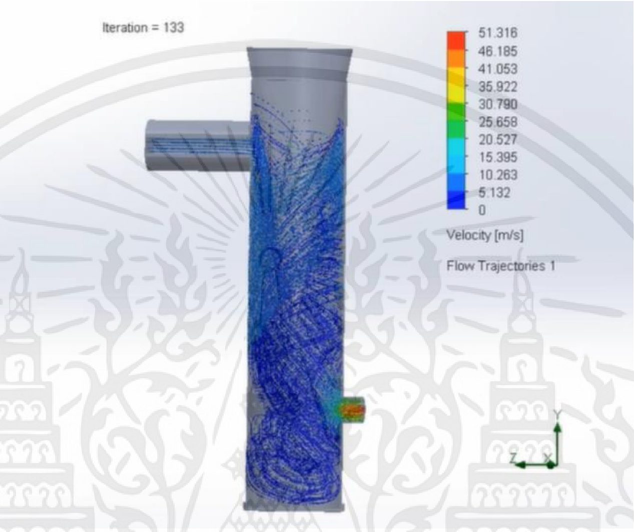
2.1.7.2 Motion Analysis

การวิเคราะห์งานที่เป็นระบบกลไกซึ่งมีการเคลื่อนไหวของชิ้นงานโดยอาจจะเคลื่อนไหวได้จากการใส่มอเตอร์ กระบอกสูบ แรงโน้มถ่วง ฯลฯ ผลลัพธ์ที่ได้คือการจำลองการทำงานของเครื่องจักรนั้นๆ รวมถึงความเร็ว ความเร่ง และทิศทางการเคลื่อนที่กำลังมอเตอร์ที่ต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.3 Flow Simulation

การวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลที่ไหลผ่านโมเดล 3 มิติ โดยใช้วิธี Finite Volume ในการวิเคราะห์ความสามารถของ Flow Simulation สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล (รูปที่ 2.16) เช่น ความเร็ว ทิศทางการไหลความดัน อุณหภูมิ อัตราการไหล ความชื้น ฯลฯ รวมถึงการวิเคราะห์ชิ้นงานที่มีการหมุน เช่น วิเคราะห์น้ำไหลผ่านปั๊ม เป็นต้น



รูปที่ 2.16 การวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศขาออก [15]

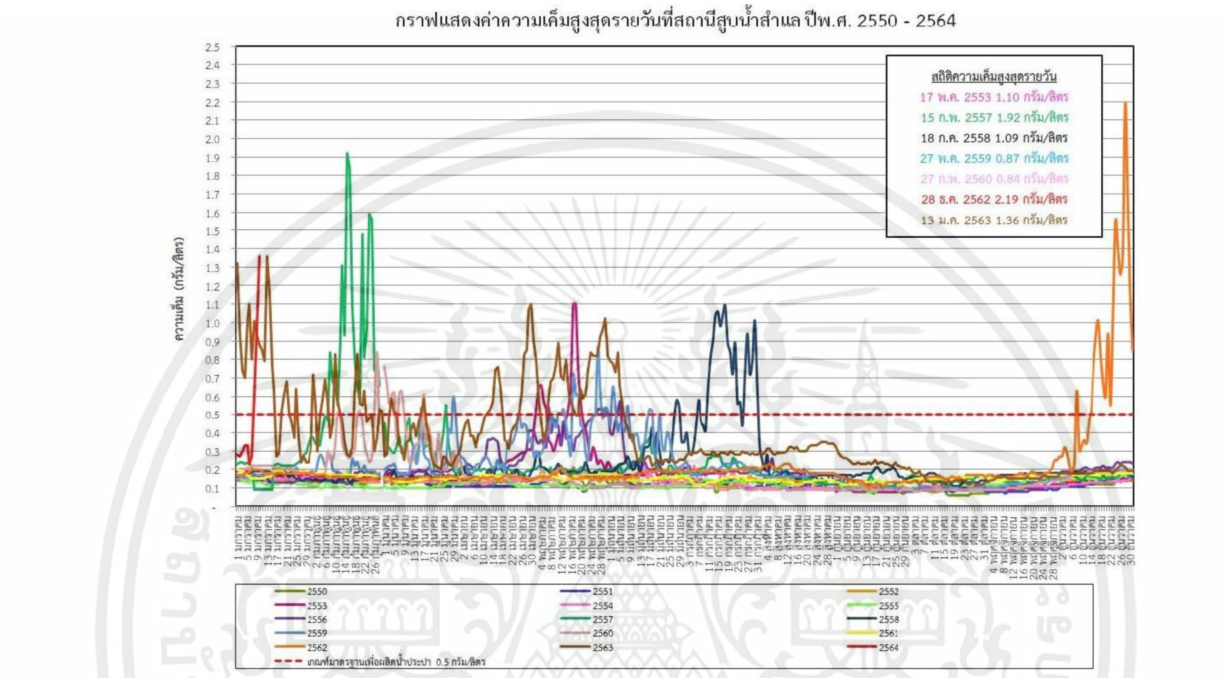
2.1.8 ปริมาณความเค็มที่เหมาะสมแก่น้ำดื่ม

โดยธรรมชาติน้ำจากธรรมชาติจะมีแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่แล้วจำนวนหนึ่ง อาทิ โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ และคาร์บอเนต โดยในการตรวจวัดตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำจืดจะตรวจวัดเป็นปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดหรือนิยม เรียกว่า TDS (มาจากคำว่า Total dissolved solid) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์โดยนำน้ำตัวอย่างไปกรองผ่านกระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร) เพื่อเอาของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกแล้วนำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วไปอบระเหยน้ำจนแห้ง แล้วนำไปชั่งดูว่ามีน้ำหนักเหลืออยู่เท่าไร น้ำหนักที่พบนี้ คือ น้ำหนักของของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำโดยจะมีหน่วยการวัดเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

น้ำผิวดินในแม่น้ำในประเทศไทยมักจะมีค่า TDS น้อยกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร แต่สำหรับบริเวณปากแม่น้ำ จะได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล ทำให้มีค่า TDS สูงขึ้น (TDS ของน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยประมาณ 10,000 - 30,000 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งหากน้ำในแม่น้ำที่ไหลมาจากต้นน้ำลดลง ผนวกกับน้ำทะเลที่หนุนสูงขึ้น ก็จะทำให้ความเค็มจากน้ำทะเลแพร่จากปากแม่น้ำเข้ามายังแม่น้ำที่อยู่บนแผ่นดินไกลขึ้นเรื่อยๆ เช่น ณ จุดรับน้ำสำแล ซึ่งอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี ไกลจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 100 กิโลเมตร ก็ยังได้รับผลกระทบจากการแพร่เข้ามาของเกลือจากน้ำทะเล จนส่งผลกระทบต่อระดับ TDS ของน้ำประปาในในช่วงที่น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาลดน้อยลงจากภัยแล้ง โดยเมื่อสืบค้นจากข้อมูลย้อนหลังของความเค็มสูงสุดรายวันที่สถานีสูบน้ำสำแล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2,550 - 2,564 จะพบว่าช่วงเวลาที่น้ำมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เค็มสูงเกินกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นเกณฑ์เฝ้าระวังของการผลิตน้ำประปา เกิดขึ้นได้ตั้งแต่เดือนธันวาคมจนถึงเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นผลจากปัจจัยหลายอย่างทั้งระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน และการจัดการน้ำอันจะมีผลต่อปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งอาจมีค่าสูงเกินกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และเคยสูงถึง 2,190 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อ 28 ธ.ค. 2562 (รูปที่ 2.17)



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงค่าความเค็มสูงสุดรายวันที่สถานีสูบน้ำสำแล ปี พ.ศ. 2,550 – 2,564

ประเทศไทยมีมาตรฐานตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความเค็มของน้ำอยู่หลายมาตรฐาน โดยในที่นี้ ยกตัวอย่างมาตรฐานที่อ้างอิงได้อย่างเหมาะสมในประเด็นของความเค็มของน้ำดื่มได้ คือ 1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 257 - 2549 กำหนดให้น้ำดื่มมีค่า TDS ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร และ 2) ประกาศกรมอนามัย เรื่องเกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้ (2,553) กำหนดให้มีค่า TDS ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เห็นได้ว่า ตัวเลขในมาตรฐานดังกล่าว คือ 500 มิลลิกรัม/ลิตร กับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีความน่าสนใจในการศึกษา

แนวทางการพิจารณาคุณภาพของน้ำดื่มของ WHO (World Health Organization, 2017) มาทบทวนเพื่อให้ทราบรายละเอียดที่มาของเกณฑ์เหล่านี้ จึงพบว่าสำหรับความเค็มในหน่วย TDS นั้น WHO ไม่ได้กำหนดคุณภาพมาตรฐานจากผลกระทบต่อสุขภาพเหมือนสารอื่นๆ แต่กำหนดไว้ด้วยการพิจารณาจากรสชาติโดยระบุไว้ว่าน้ำดื่มที่มีรสชาติที่คนทั่วไปยอมรับได้จะมี TDS น้อยกว่า 600 มิลลิกรัม/ลิตร หากสูงกว่านี้จะเริ่มรู้สึกว่ามีรสเค็มๆ เฝื่อนๆ และจะมีรสชาติที่คนทั่วไปยอมรับไม่ได้ที่ TDS มากกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยระบุไว้ด้วยว่ายังไม่มีผลการศึกษาว่าค่า TDS สูงแค่ไหนถึงจะไม่ควรนำมาใช้เป็นน้ำดื่ม [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Abu ElNasr M et at. [17] ได้ทดลองในห้องปฏิบัติการแยกเกลือออกจากน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการทำความชื้น และการลดความชื้นได้รับการออกแบบ การสร้าง การประกอบ และทดสอบ เพื่อพิสูจน์แนวคิดของเทคนิคการกลั่นน้ำทะเลนี้ เพื่อศึกษาผลของน้ำที่ไหลเข้าต่อเครื่องทำความชื้น และผลผลิตของน้ำที่ผ่านการกลั่นจากน้ำทะเล ระบบประกอบด้วยชนิดสเปรย์ที่ไม่มีเครื่องเพิ่มความชื้นแบบหอกลั่น ขดทองแดง และเครื่องลดความชื้นแบบท่อ เครื่องทำน้ำอุ่น พลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเครื่องเป่าลม ปั๊มน้ำ เครื่องวัดการไหลของน้ำ ถังเก็บน้ำ เทอร์โมคัปเปิล 3 ตัว และวาล์วน้ำ 4 ทาง พบว่าผลผลิตของน้ำที่ผ่านการกลั่นกรองแล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าสู่เครื่องทำให้ชื้น ผลผลิต 0.59 กิโลกรัม/ชั่วโมง ทำได้ด้วยอุณหภูมิน้ำเข้าที่ร้อน 59 องศา และอุณหภูมิแวดล้อม 33 องศา ซึ่งถือเป็นผลผลิตที่ค่อนข้างดีเนื่องจากขนาดของต้นแบบไม่มีการบรรจุในเครื่องเพิ่มความชื้น จำนวนหัวฉีดทำงานที่อุณหภูมิต่ำ

Yamali et at. [18] ศึกษาการตรวจสอบเชิงทดลองเกี่ยวกับระบบเพิ่มความชื้น และลดความชื้นจากแสงอาทิตย์ 1,000 ลิตร/วัน ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 100 ตารางเมตร เครื่องเก็บน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 12 ตารางเมตร เครื่องเพิ่มความชื้น และเครื่องลดความชื้นระบบก่อนการบำบัด หลังการบำบัด และระบบย่อยอื่นๆ ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องเพิ่มความชื้นได้รับการตรวจสอบโดยการทดสอบ และวิเคราะห์เชิงทดลอง การทดสอบการผลิตน้ำได้ดำเนินการในวันปกติหลายวัน และผลการวิจัยพบว่าการผลิตน้ำในระบบสามารถทำได้ถึง 1,200 ลิตร/วัน เมื่อความเข้มเฉลี่ยของรังสีดวงอาทิตย์สูงถึง 550 วัตต์/ตารางเมตร มีการนำเสนอการตรวจสอบเชิงทดลองของระบบลดความชื้นจากแสงอาทิตย์สาธิต 1,000 ลิตร/วัน อุณหภูมิช่องระบายอากาศที่ช่องเครื่องทำอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 118 องศา เมื่อการฉายรังสีแสงอาทิตย์สูงถึง 760 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิของอากาศที่ช่องระบายความชื้นอยู่ระหว่าง 40 - 55 องศา และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ การผลิตน้ำในระบบสูงถึง 1,200 ลิตร/วัน เมื่อความเข้มเฉลี่ยของรังสีดวงอาทิตย์ถึง 550 วัตต์/ตารางเมตร

A.S.A. Mohamed et at. [19] ได้ศึกษาระบบกลั่นน้ำทะเลทำงานภายใต้กระบวนการทำความชื้น และลดความชื้นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนามาเพื่อทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยมีองค์ประกอบทางมวล การคำนวณอุณหภูมิเพื่อให้ผลผลิตของระบบการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น กระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นที่สภาวะคงที่ และเปรียบเทียบกับการทดลอง นอกจากนี้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ถูกจำลองเพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบของสภาวะการทำงานที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของระบบการทำความชื้น และลดความชื้น (ฮีตเตอร์ความร้อนที่มีความสัมพันธ์กับอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์) และพารามิเตอร์แบบไม่มีมิติของความชื้น ผลจากการวิจัยพบว่าผลการคำนวณนั้นสอดคล้องกัน มีประสิทธิภาพของอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งมีอัตราส่วนการไหลของมวล และอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าไปในระบบวัดค่าได้ 0.81 กิโลกรัม/นาที 4.5 กิโลกรัม/นาที และ 4 กิโลกรัม/นาที ผลผลิตเฉลี่ยของระบบ (ฮีตเตอร์ความร้อนที่มีความสัมพันธ์กับอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์) คือ 2.45 กิโลกรัม/ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Al Sahali M et at. [20] ได้ออกแบบ และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการกลั่นตัวลดความชื้นเพื่อลดความชื้น (กระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น) ผ่านการวัดการทดลอง ความสัมพันธ์ได้รับการพัฒนาขึ้นสำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับด้านอากาศชื้นในคอนเดนเซอร์แบบท่อคู่ การวัด และการทำนายความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับอากาศชื้นที่มีการควบแน่นของไอน้ำมีค่าเกือบ 10 เท่า ของอากาศแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนยังคงน้อย และต้องใช้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อครีบ เนื่องจากตัวแลกเปลี่ยนท่อแบบครีบให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนใหญ่กว่าโครงแบบท่อเปลือก 10 เท่า ลักษณะของระบบการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น ค่อนข้างคล้ายกับระบบการกรองน้ำด้วยความร้อนแบบขั้นตอนเดียวที่มีการบีบอัดไอโดยที่อัตราส่วนประสิทธิภาพมากกว่าหนึ่ง พื้นที่การถ่ายเทความร้อนเฉพาะสำหรับคอนเดนเซอร์อยู่ที่ประมาณ 300 ตารางเมตร/กิโลกรัม และค่าเฉพาะอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นอยู่ที่ประมาณ 3 ผลิตภัณฑ์น้ำจืดที่ได้สูงสุด 100 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยมีทางเข้าของเครื่องระเหยอยู่ที่ 60 - 90 องศา อัตราการไหลของน้ำ 0.003 - 0.007 กิโลกรัม/วินาที และอัตราการไหลของอากาศ 0.0013 - 0.0034 กิโลกรัม/วินาที

E.H. Amer et at. [21] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์การทำงานที่มีต่อลักษณะของระบบ มีการสร้าง และประกอบชุดการทดสอบทดลอง การติดตั้งได้รับการติดตั้งอุปกรณ์วัด และควบคุมที่เหมาะสม การทดลองโดยละเอียดได้ดำเนินการในสภาพการใช้งานที่หลากหลาย และใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์หลายชนิด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มวลได้รับการทดลอง และติดตั้งในรูปแบบของความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ช่องเพิ่มความชื้น ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ของหน่วยทั้งหมดเพิ่มขึ้น คืออุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิอากาศที่ช่องคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิของอากาศที่ทางออกของคอนเดนเซอร์ อัตราส่วนความชื้นที่ทางเข้าของคอนเดนเซอร์ อัตราส่วนความชื้นที่ทางออกคอนเดนเซอร์ และผลผลิตต่อในขณะที่อุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของคอนเดนเซอร์จะลดลงตาม อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นพารามิเตอร์ที่เหลือทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วอากาศ และอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นเมื่อใช้การหมุนเวียนแบบบังคับอุณหภูมิของอากาศ และอัตราส่วนความชื้นที่ช่องคอนเดนเซอร์จะลดลงในขณะที่พารามิเตอร์หน่วยอื่นๆ ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น ผลผลิตที่สูงขึ้นของหน่วยจะได้รับโดยใช้กระดานไม้ และการไหลเวียนของอากาศที่บังคับ ผลผลิตสูงสุดที่ได้ คือ ประมาณ 5.8 ลิตร/ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของมวลน้ำ 2.8 กิโลกรัม/นาที และอุณหภูมิของน้ำที่ช่องเติมความชื้น 85 องศาเซลเซียส การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอันเป็นผลมาจากการใช้การหมุนเวียนแบบบังคับจะสูงกว่ามากในกรณีของถุงผ้า ผลผลิตเพิ่มขึ้น 5 15 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอัตราการไหลลดลงจาก 2.8 2.3 เป็น 1.8 กิโลกรัม/นาที ตามลำดับ อัตราการไหลที่ลดลงอีกจะนำไปสู่การลดขนาดของการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ที่อุณหภูมิของน้ำที่มีค่าน้อยลงที่ทางเข้าของเครื่องเพิ่มความชื้น การเพิ่มผลผลิตจะเด่นชัดมากขึ้นเมื่อใช้การหมุนเวียนอากาศ ค่าเบี่ยงเบนสัมพัทธ์เฉลี่ยของการคาดการณ์จากการวัด คือ (-0.9 เปอร์เซ็นต์) ในอุณหภูมิอากาศที่ช่องคอนเดนเซอร์ (3.8 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วนความชื้นที่ทางออกคอนเดนเซอร์ และ (-1 เปอร์เซ็นต์) ในอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของคอนเดนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Al-Enezi G et at. [22] คุณลักษณะของกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลเพื่อลดความชื้น โดยการลดความชื้นตามสภาพการใช้งาน ระบบทดลองความจุขนาดเล็กใช้ในการประเมินลักษณะของอัตราการไหลของกระแสน้ำอากาศอุณหภูมิของกระแสน้ำ และอุณหภูมิของกระแสน้ำหล่อเย็น ระบบทดลองประกอบด้วยช่องทำความชื้นแบบบรรจุ คอนเดนเซอร์แก้วท่อคู่ ถังหมุนเวียนน้ำอุณหภูมิคงที่ และเครื่องทำความเย็นสำหรับน้ำหล่อเย็น ลักษณะการทำงานของระบบกรองความชื้นแบบลดความชื้นจะถูกวัด และวิเคราะห์ที่อุณหภูมิการทำงานต่ำ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตพบว่าได้รับผลกระทบอย่างมากจากอุณหภูมิของน้ำร้อน และน้ำเย็น อัตราการผลิตสูงสุดจะได้รับที่อุณหภูมิน้ำร้อนสูง อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำ อัตราการไหลของอากาศสูง และอัตราการไหลของน้ำร้อนต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลโดยรวมของระบบเป็นไปตามรูปแบบที่คล้ายกันกับอัตราการผลิตน้ำ ข้อได้เปรียบหลักสำหรับการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ คือ การประหยัดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับเงินทุนของอุปกรณ์ให้ความร้อนน้ำป้อน เช่น ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้าหรือไอน้ำ

Eslamimanesh A et at. [23] ได้ทำการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้เครื่องชั่งมวลและพลังงานเพื่อสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของกระบวนการ พารามิเตอร์ที่พิจารณา ได้แก่ อากาศขาเข้าและอุณหภูมิหมุนเวียนของน้ำจืด อัตราการไหลของอากาศขาเข้าน้ำเกลือ อัตราการไหลของน้ำจืดที่นำกลับมาหมุนเวียนใหม่ และอัตราส่วนน้ำเกลือต่อการไหลของอากาศ ผลการวิจัยรวมผลของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันต่ออัตราการผลิตน้ำจืด พบว่าการเพิ่มอากาศเข้า และอัตราการไหลเวียนของน้ำจืดจะเพิ่มการผลิตน้ำจืด นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ความร้อนของอากาศขาเข้าไปยังช่องของการทำความชื้นหรือการทำให้น้ำที่ไหลเข้าสู่ช่องลดความชื้นทำให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มอัตราส่วนการไหลของน้ำต่ออากาศในเครื่องทำความชื้นจะทำให้อัตราการผลิตลดลง

Y.J. Dal et at. [24] ได้ทำการทดสอบการกลั่นน้ำทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการทำความชื้น และการลดความชื้น ในส่วนนี้ได้ทำการพัฒนาเพื่อให้ได้ผลของการระเหย และเพิ่มอุณหภูมิที่ดีขึ้นในการระเหย และลดอุณหภูมิการควบแน่นในเวลาเดียวกันโดยการใช้เครื่องทำความชื้นแบบฟิล์ม การระเหยขนาดใหญ่ และการพาความร้อนแบบบังคับเพื่อเพิ่มความร้อน และการถ่ายเทมวล อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมมีอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด การนำน้ำทะเลเข้มข้นกลับมาใช้ใหม่ในช่วงที่จำกัดและการนำความร้อนจากน้ำหล่อเย็นการใช้เป็นสิ่งที่ดีสำหรับการประหยัดพลังงาน แหล่งความร้อนคุณภาพต่ำอื่นๆ เช่น ความร้อนที่เหลือสามารถขับเคลื่อนหน่วยอื่นได้เช่นกัน โดยได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอยู่ที่ประมาณ 0.85 ภายใต้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมได้รับการพิสูจน์แล้วว่าระบบนี้มีศักยภาพที่จะใช้เป็นหน่วยกลั่นน้ำทะเลได้

W.F. He et at. [25] มีการกำหนดค่าระบบกกลั่นด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นที่ทำให้เกิดความร้อนจากการแลกเปลี่ยนจากแผ่นความร้อนเพื่อนำความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เสนอตามกฎหมายอุณหพลศาสตร์ซึ่งได้รับการตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลที่มีอยู่ในผลงานการวิจัยการวิเคราะห์ความไวของระบบกลั่นด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นจะถูกนำไปใช้หลังจากการจำลอง และการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องจะได้ข้อสรุปโดยละเอียด 1) ควรใช้ค่าของการสร้างเอนโทรปีเฉพาะสำหรับส่วนประกอบเพื่อกำหนดความสามารถในการปฏิบัติได้ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

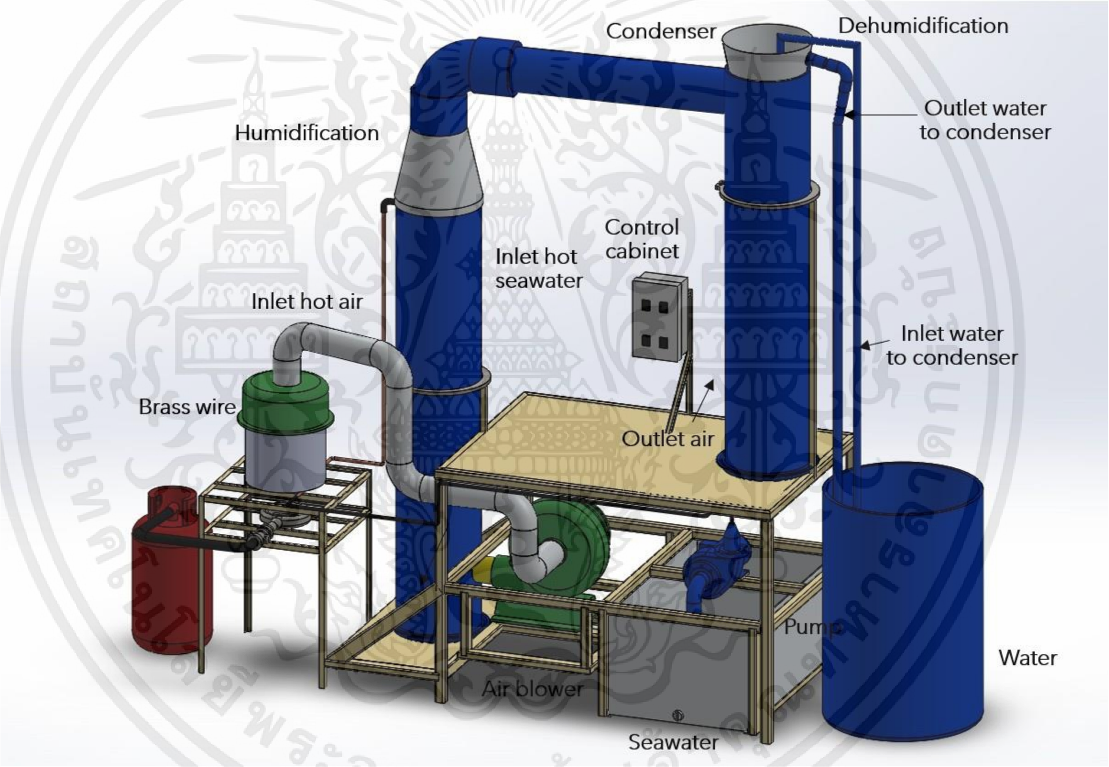
ระบบกลั่นน้ำทะเลด้วยเทคนิคเพิ่มความชื้น และลดความชื้นที่ให้ความร้อนด้วยอากาศ สรุปได้ว่ากรณีสมดุลที่ HCR_d = 1 เป็นไปไม่ได้ที่จะบรรลุเนื่องจากค่าติดลบแม้ว่าจะมีค่าสูงสุดของ GOR ก็ตาม 2) ความสูงของค่า GOR และการลดพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนสำหรับ PHE จะได้รับเมื่อประสิทธิภาพของเครื่องเพิ่มความชื้นหรือเครื่องลดความชื้นสูงขึ้น ค่าสูงสุดของ GOR มีการปรับปรุง 37.02 เปอร์เซ็นต์ จาก ε_h = 0.85 เป็น ε_h = 0.95 และระดับความสูง 53.27 เปอร์เซ็นต์ จะได้รับที่เพิ่มขึ้นเท่ากันสำหรับประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้นที่ HCR_h = 1 3) พบว่าค่า GOR ที่ ρ = 0.05 เมกะปาสคาล เพิ่มขึ้นจาก GOR = 2.73 ที่ m_{sw}/m_{da} = 3.07 ถึง GOR = 3.40 ที่ m_{sw}/m_{da} = 2.11 มากกว่าค่า ρ = 0.1 เมกะปาสคาล และ ρ = 0.15 เมกะปาสคาล ที่เงื่อนไขเดียวกัน 4) เพื่อตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขาเข้าสำหรับน้ำทะเลของเครื่องลดความชื้นการเปลี่ยนแปลงทั้งความจุความร้อน และการผลิตน้ำกลั่นส่งผลให้ค่า GOR สูงขึ้นในที่สุด และกำไร 13.69 เปอร์เซ็นต์ จะได้รับจาก $T_{sw,0}$ = 298 เคลวิน ถึง $T_{sw,0}$ = 308 เคลวิน ที่ HCR_h = 15 เมื่ออุณหภูมิสูงสุดได้รับการส่งเสริมความร้อนทั้งสองสำหรับ PHE ที่นำกลับมาใช้ใหม่ และการผลิตน้ำกลั่นจะลดลง ในที่สุด GOR จะแตกต่างกันอย่างจำกัด จาก $T_{a,3}$ = 348 เคลวิน ถึง $T_{a,3}$ = 358 เคลวิน

Dahiru U. Lawal et at. [26] บทความนี้นำเสนอการตรวจสอบเชิงทดลอง และเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับการกำหนดค่าใหม่ของน้ำแบบเปิดโล่ง (OAOW) น้ำอุ่น (WH) กระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น (HDH) ควบคู่ไปกับปั๊มความร้อนแบบบีบอัดไอ (HP) ที่พิจารณาความเป็นไปได้สองประการในการกู้คืนพลังงาน การกำหนดค่ากระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น ที่แตกต่างกันสามแบบรวมถึงระบบพื้นฐานกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น (โดยไม่ต้องกู้คืนพลังงานน้ำเกลือ) ระบบ A (ระบบพื้นฐานที่มีการกู้คืนพลังงานน้ำเกลือสำหรับน้ำเกลือที่ให้ความร้อนล่วงหน้า) และระบบ B (ระบบพื้นฐานที่มีการกู้คืนพลังงานน้ำเกลือสำหรับการอุ่นล่วงหน้าอากาศโดยรอบ) จะถูกนำเสนอประสิทธิภาพของระบบพื้นฐานถูกตรวจสอบโดยการทดลองในขณะที่ระบบ A และ B ได้รับการประเมินตามทฤษฎี นอกจากนี้การวิเคราะห์เชิงทฤษฎียังขยายไปสู่ระบบพื้นฐานเพื่อแก้ไขขอบเขตข้อจำกัด และข้อจำกัดของอุปกรณ์ทดลองโดยการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบที่เงื่อนไขการทำงานที่ขยายออกไป ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดกับผลการทดลองผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นว่าระบบ A และ B แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าระบบพื้นฐาน (โดยเฉพาะระบบ A) เนื่องจากการกู้คืนพลังงานของน้ำเกลือที่สูญเสียไป GOR สูงสุด 2.72 และ RR 2.56 เปอร์เซ็นต์ การผลิตน้ำ 9.23 กิโลกรัม/ชั่วโมง และต้นทุนน้ำจืดขั้นต่ำ 15.14 ดอลลาร์สหรัฐ/ลูกบาศก์เมตร ได้รับการทดลองในขณะที่ผลทางทฤษฎีสำหรับระบบ A เปิดเผยค่า GOR สูงสุด 5.06, RR ที่ 3.98 เปอเซ็นต์ การผลิตน้ำ 11.46 กิโลกรัม/ชั่วโมง และราคาขั้นต่ำของน้ำจืด 12.38 ดอลลาร์สหรัฐ/ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษากระบวนการการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น ทำโดยการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเลเพื่อผลิตน้ำจืด (รูปที่ 3.1) โดยใช้ท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 30.48 เซนติเมตร และ 15.24 เซนติเมตร ทำเป็นตัวโครงสร้าง และใช้โครงเหล็กทำเป็นฐาน จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องทำความร้อน และตัวคอนเดนเซอร์ เพื่อศึกษาการวิธีการกลั่นน้ำทะเล และสามารถกลั่นน้ำจืดออกมาได้



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบ และการสร้างเครื่องการกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

3.1.1 การ Simulation ด้วยโปรแกรม SolidWorks

จากการ Simulation ด้วยโปรแกรม SolidWorks เวอร์ชั่น 2020 เพื่อหาตำแหน่ง และขนาดของท่อทางออกของความเร็วลม และความชื้นที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบตำแหน่ง 3 ตำแหน่ง และขนาดท่อทางออก 3 ขนาด โดยมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างอากาศ และน้ำที่ 50/50 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อจะดูพฤติกรรมการไหลของเม็ดสีในบริเวณทางออกของท่อระบายอากาศออกที่เหมาะสม เพื่อให้นำอากาศบางส่วนที่มีความชื้นอยู่ไหลกลับขึ้นมาชนกับคอนเดนเซอร์ ได้ดังนี้

3.1.1.1 เปรียบเทียบตำแหน่งของความเร็วลม และความชื้นที่เหมาะสม

พฤติกรรมการไหลของเม็ดสีในการหาตำแหน่ง และขนาดท่อทางออกของความเร็ว และความชื้นนั้นมีพฤติกรรมการกระจุกตัวในบริเวณที่ตำแหน่งที่แตกต่างกัน

นั่นคือ ตำแหน่งที่ตั้งฉากกับท่อลดขนาดทางเข้าของไอน้ำเข้าสู่ห้องลดความชื้น มีขนาดท่อทางออก 5 เซนติเมตร ที่ระยะ 13.4 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด (รูปที่ 3.2 (ก) และรูปที่ 3.2 (ข)) และขวาสุด (รูปที่ 3.8 (ก) และรูปที่ 3.8 (ข)) และระยะ 16 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง (รูปที่ 3.5 (ก) และรูปที่ 3.5 (ข))

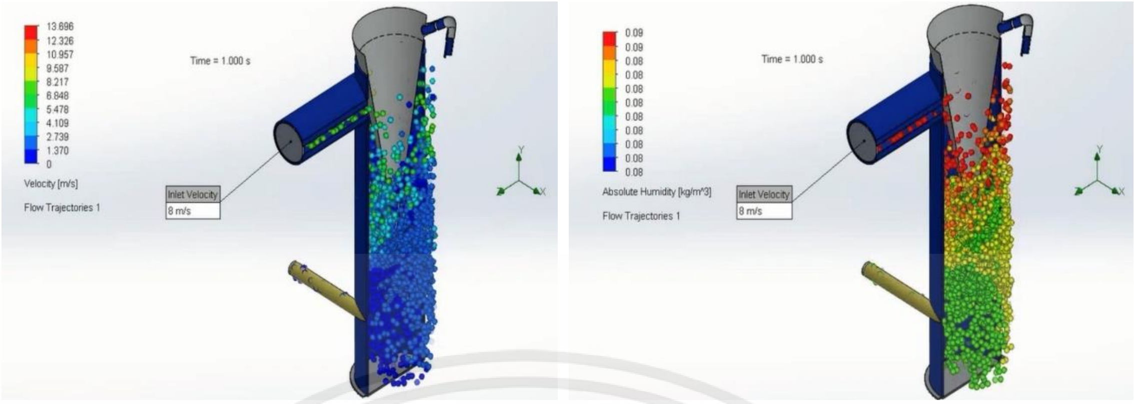
ตำแหน่งที่ตั้งฉากกับท่อลดขนาดทางเข้าของไอน้ำเข้าสู่ห้องลดความชื้น มีขนาดท่อทางออก 7 เซนติเมตร ระยะ 12.4 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด (รูปที่ 3.3 (ก) และรูปที่ 3.3 (ข)) และขวาสุด (รูปที่ 3.9 (ก) และรูปที่ 3.9 (ข)) และระยะ 16 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง (รูปที่ 3.6 (ก) และรูปที่ 3.6 (ข))

ตำแหน่งที่ตั้งฉากกับท่อลดขนาดทางเข้าของไอน้ำเข้าสู่ห้องลดความชื้น มีขนาดท่อทางออก 9 เซนติเมตร ที่ระยะ 11.4 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด (รูปที่ 3.4 (ก) และรูปที่ 3.4 (ข)) และขวาสุด (รูปที่ 3.10 (ก) และรูปที่ 3.10 (ข)) และระยะ 16 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง (รูปที่ 3.7 (ก) และรูปที่ 3.7 (ข))

พบว่า ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับท่อลดขนาดทางเข้าของไอน้ำเข้าสู่ห้องลดความชื้น ระยะ 13.4 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุดของขนาดท่อทางออก 5 เซนติเมตร ระยะ 12.4 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุดของขนาดท่อทางออก 7 เซนติเมตร และระยะ 11.4 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุดของขนาดท่อทางออก 9 เซนติเมตร มีพฤติกรรมการไหลของเม็ดสีที่ไหลออกทางท่อทางออกมีการไหลวนกลับของอากาศ และความชื้นกลับเข้าไปชนพื้นผิวคอนเดนเซอร์เหมาะสมที่สุด

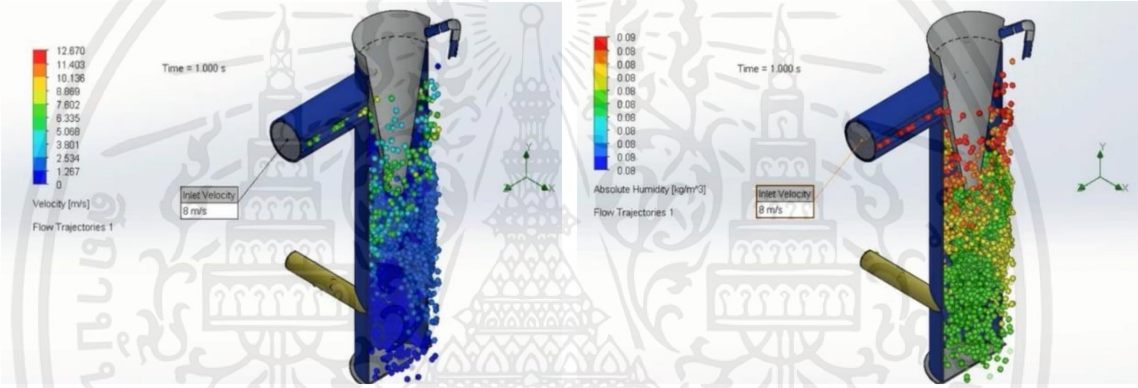
สามารถสรุปได้ว่า ที่ตำแหน่งตั้งฉากกับท่อลดขนาดทางเข้าของไอน้ำเข้าสู่ห้องลดความชื้น ระยะ 12.4 เซนติเมตร โดยที่ขนาดท่อ 7 เซนติเมตร มีพฤติกรรมการไหลของเม็ดสีซึ่งเป็นความเร็ว และความชื้นที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเลในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



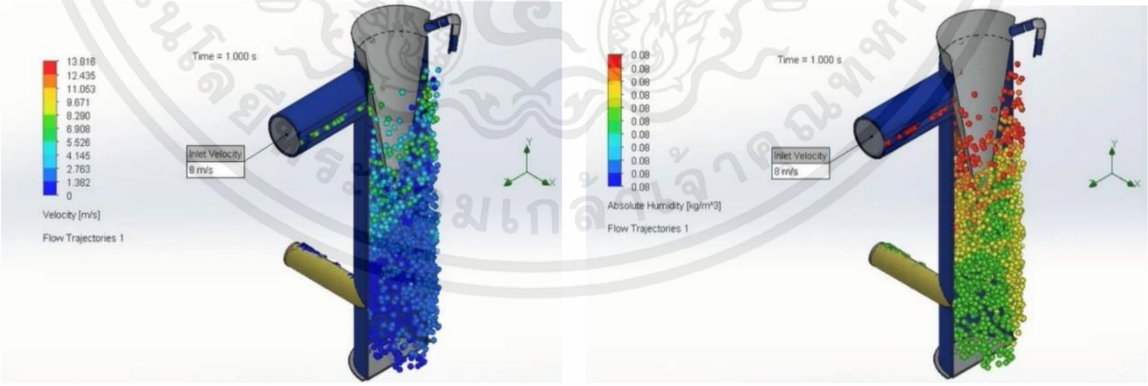
(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 5 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด



(ก) (ข)

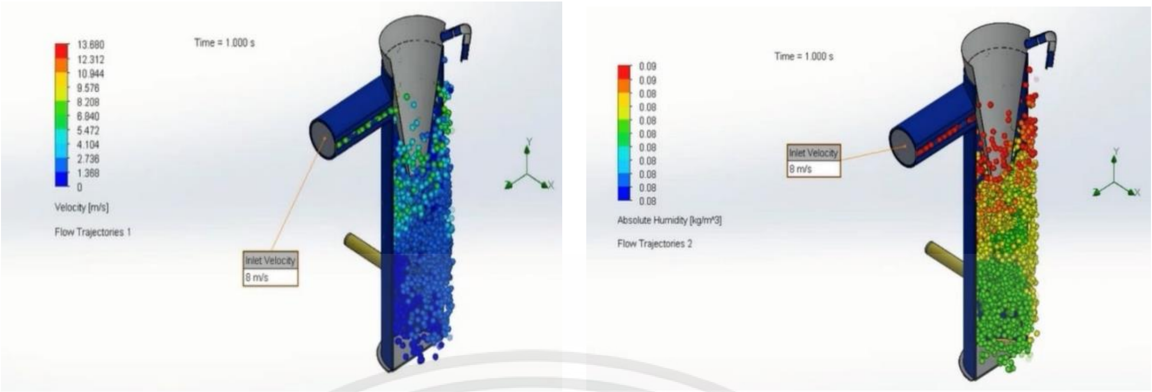
รูปที่ 3.3 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 7 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด



(ก) (ข)

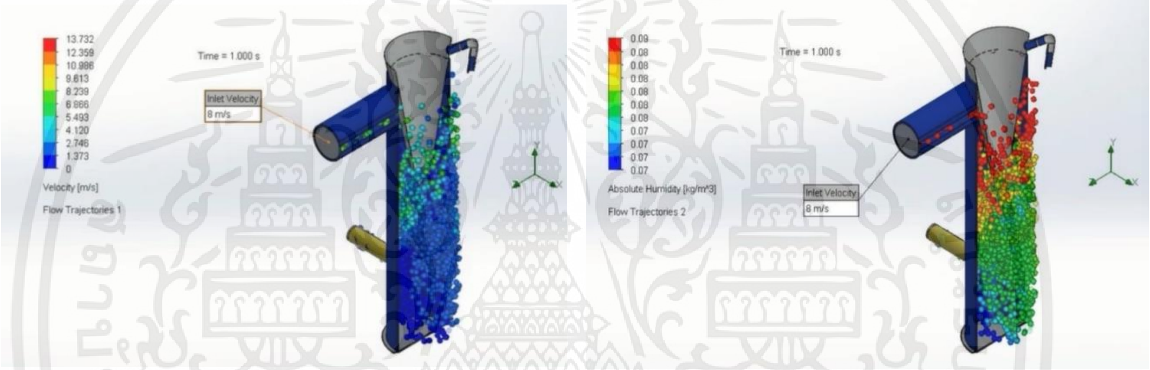
รูปที่ 3.4 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 9 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านซ้ายสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



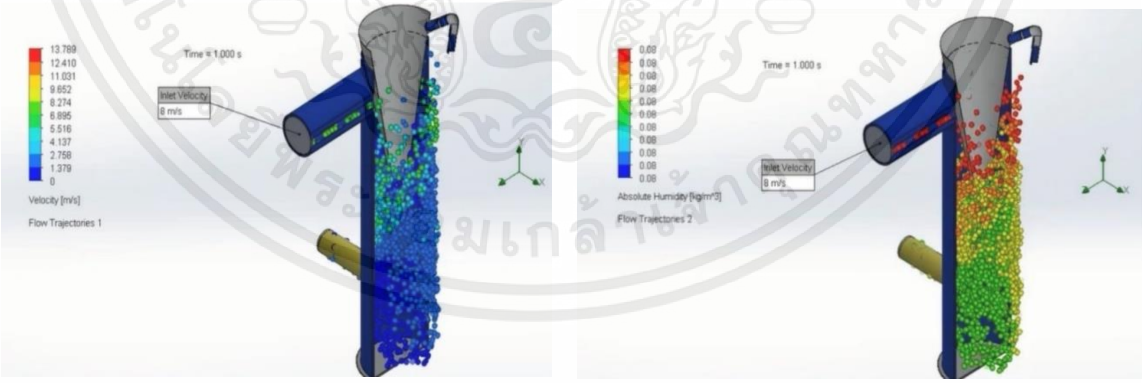
(ก) (ข)

รูปที่ 3.5 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 5 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง



(ก) (ข)

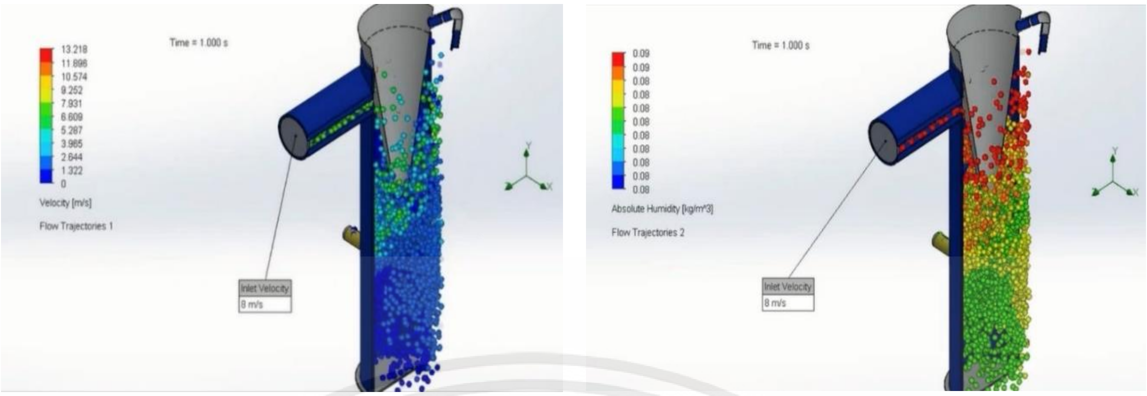
รูปที่ 3.6 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 7 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง



(ก) (ข)

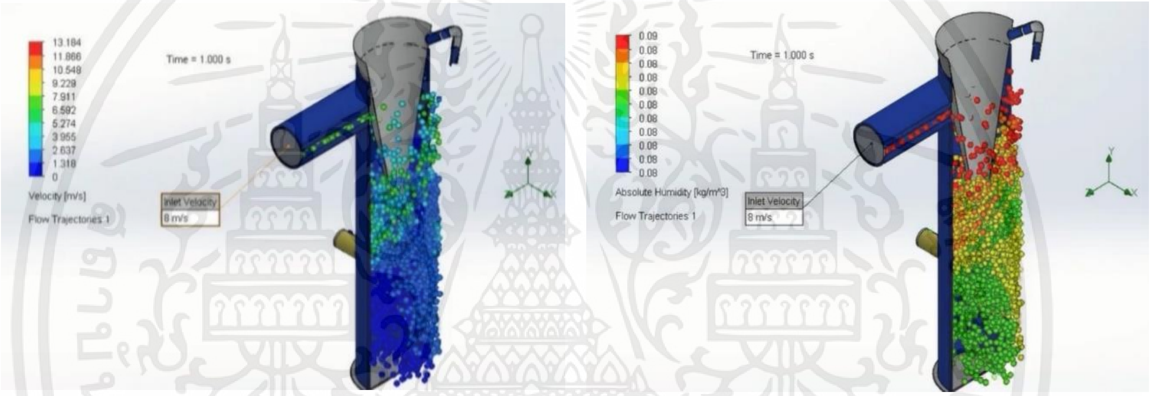
รูปที่ 3.7 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 9 เซนติเมตร ในตำแหน่งตรงกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



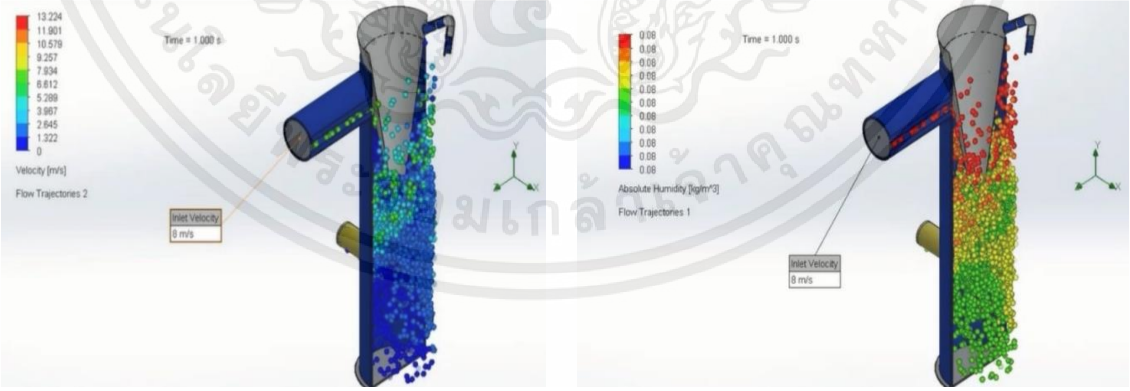
(ก) (ข)

รูปที่ 3.8 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 5 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านขวาสุด



(ก) (ข)

รูปที่ 3.9 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 7 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านขวาสุด



(ก) (ข)

รูปที่ 3.10 ความเร็ว และความชื้นในท่อขนาด 9 เซนติเมตร ในตำแหน่งทางด้านขวาสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์ และวิธีการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น

3.1.2.1 โครงสร้างของตัวเครื่องประกอบไปด้วยท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 30.48 เซนติเมตร และ 15.24 เซนติเมตร

3.1.2.2 โต๊ะที่ประกอบไปด้วยเหล็กกล่อง และเหล็กแผ่นที่มีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 124 เซนติเมตร และความสูง 95 เซนติเมตร เพื่อทำเป็นตัวฐานรองรับการติดตั้งเครื่องกลั่นน้ำทะเล (รูปที่ 3.11)

3.1.2.3 ท่อลดขนาดทำด้วยสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.48 เซนติเมตร และความสูง 30 เซนติเมตร ประกอบกับข้องอ 90 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร เพื่อใช้ลดขนาดท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.48 เซนติเมตร ไปยังท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.24 เซนติเมตร (รูปที่ 3.12)

3.1.2.4 ตัวคอนเดนเซอร์ทำจากสแตนเลสรูปทรงกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 เซนติเมตร และความสูง 85 เซนติเมตร (รูปที่ 3.13)

3.1.2.5 ติดตั้งภาชนะบรรจุน้ำทะเลทำจากสแตนเลสขนาด 0.16 ลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 3.14)

3.1.2.6 ติดตั้งปั๊มน้ำทะเลขนาด 1 นิ้ว 0.5 แรงม้า รุ่น C - JET QB60 (รูปที่ 3.15) และติดตั้งสายส่งน้ำทะเล (รูปที่ 3.16)

3.1.2.7 ขดลวดทองแดงขนาด 10 มิลลิเมตร เป็นตัวส่งผ่านความร้อนให้น้ำทะเลก่อนถูกส่งไปยังหัวฉีด (รูปที่ 3.17)

3.1.2.8 หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร โดยมีการจัดเรียงให้มีระยะห่างเท่าๆ กันซึ่งใช้ท่อทองแดงขนาด 6 มิลลิเมตร เชื่อมต่อกับข้อต่อ 3 ทางขนาด 6 มิลลิเมตร ที่มีลักษณะวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร (รูปที่ 3.18)

3.1.2.9 ติดตั้งโบลเวอร์หอยโข่งเพื่อเร่งให้ไอน้ำมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น (รูปที่ 3.19)

3.1.2.10 ติดตั้งท่อลมอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหยืดหยุ่น (รูปที่ 3.20) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เพื่อดึงไอร้อนจากถังครอบของขดลวดทองแดงที่ได้รับความร้อน จึงทำให้เกิดลมร้อนที่เป่าเข้าไปยังห้องทำความชื้น

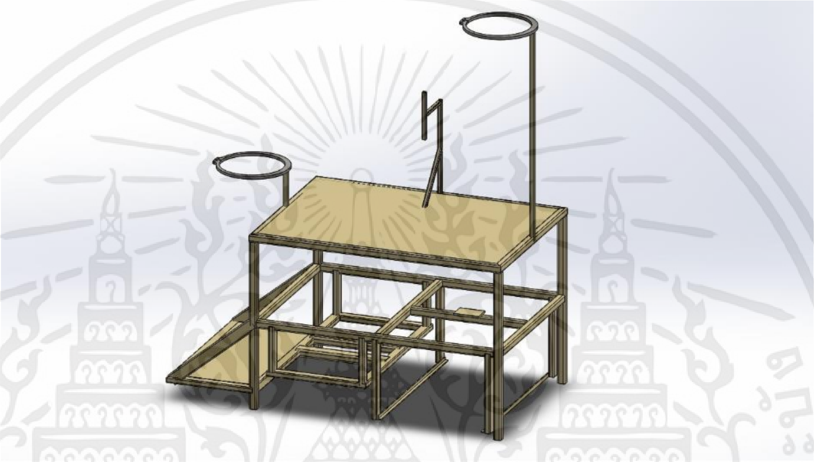
3.1.2.11 ทำการหุ้มฉนวนฝั่งทำความชื้น และท่อลดขนาดเพื่อลดความร้อนที่จะสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.12 ติดตั้งปั๊มน้ำDC ขนาด 12 โวลต์ 350 วัตต์ รุ่น FY – 1 - 12DC (รูปที่ 3.21) เพื่อปั๊มน้ำขึ้นไปยังกรวยคอนเดนเซอร์

3.1.2.13 ติดตั้งกรวยขนาดเล็กเพื่อรองรับน้ำจืดที่บริเวณปรายกรวยคอนเดนเซอร์ และต่อสายยางมายังภาชนะเก็บน้ำจืด (รูปที่ 3.22)

3.1.2.14 ติดตั้งตู้ควบคุมใช้สำหรับเปิด – ปิด ปั๊มน้ำ และโบลเวอร์ (รูปที่ 3.23)



รูปที่ 3.11 โต๊ะที่ทำเป็นฐานรองรับการติดตั้งเครื่องกลั่นน้ำทะเล

รูปที่ 3.12 ท่อลดขนาดทำด้วยสแตนเลสประกอบกับข้องอ 90 องศา
เชื่อมเข้ากับท่อขนาด 15.24 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 กรวยคอนเดนเซอร์

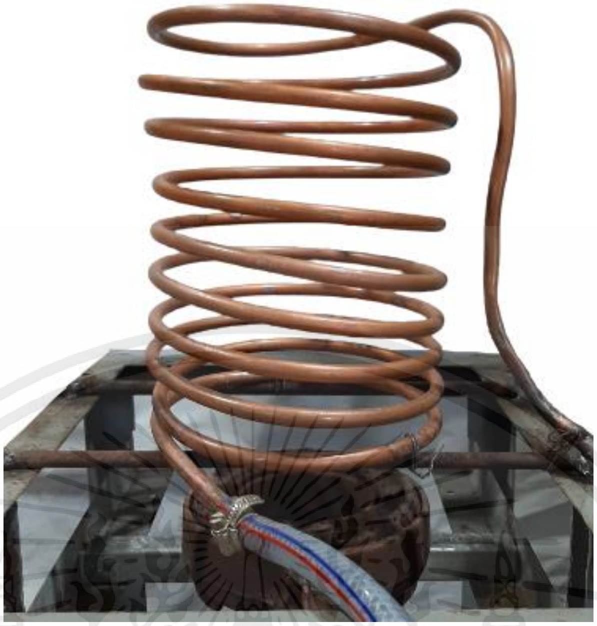
รูปที่ 3.14 ภาชนะบรรจุน้ำทะเลสแตนเลสขนาด 0.16 ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 ปั๊มหน้าหมู ขนาด 1 นิ้ว 0.5 แรงม้า รุ่น C - JET QB60

รูปที่ 3.16 สายส่งน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ขดลวดทองแดงขนาด 10 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.18 หัวฉีดเชื่อมต่อกับข้อต่อ 3 ทางขนาด 6 มิลลิเมตร และท่อทองแดงขนาด 6 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นวงกลม

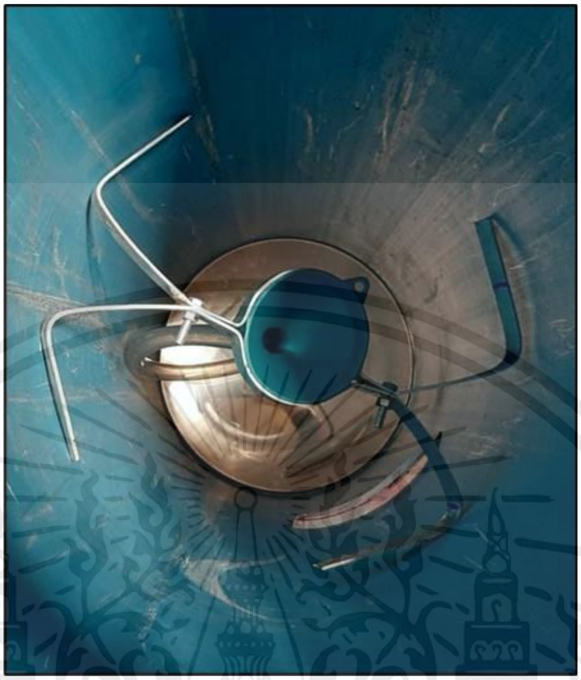
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.19 โบลเวอร์หอยโข่ง ยี่ห้อ Chuanfan รุ่น CX series

รูปที่ 3.20 ท่อลมอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหยืดหยุ่น

รูปที่ 3.21 ปั๊มน้ำ DC ขนาด 12 โวลต์ 350 วัตต์ รุ่น FY – 1 - 12DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 กรวยขนาดเล็กรองรับน้ำจืด

รูปที่ 3.23 ตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ของระดับของหัวฉีดต่อปริมาณของน้ำกลั่น และปริมาณความเค็มของน้ำกลั่นที่ได้

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว (รูปที่ 3.24)

3.2.1.2 เครื่องวัดความเค็ม รุ่น MASTER - S/Mill Alpha ยี่ห้อ ATAGO ผลิตโดย บริษัท เอส.พี.เอส.แล็บ จำกัด (รูปที่ 3.25)

3.2.1.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 ช่องโพรบ รุ่น TM - 1947SD ยี่ห้อ Lutron ผลิตโดย บริษัท เลกะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (รูปที่ 3.26)

3.2.1.4 เครื่องวัดความเร็วลม และความดันลม รุ่น DT - 8920 ผลิตโดย บริษัท โปรโทรนิกส์ จำกัด (รูปที่ 3.27)

3.2.1.6 เครื่องชั่งดิจิตอล ADAM รุ่น Nimbus Series ผลิตโดย บริษัท ไทย เมโทรโลยี กรุ๊ป จำกัด (รูปที่ 3.28)

3.2.1.7 ปีกเกอร์ภาชนะรับน้ำจืดขนาด 250 มิลลิลิตร (รูปที่ 3.29)

3.2.1.8 นาฬิกาจับเวลา Puning รุ่น PN - 6301 ผลิตโดย Ningbo Puning Electronic Technology Co., Ltd. (รูปที่ 3.30)

3.2.1.9 น้ำทะเลที่มีความเค็มของน้ำทะเลระหว่าง 35 ส่วน/พัน

3.2.1.10 ภาชนะบรรจุน้ำขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 3.31)

3.2.1.11 ตู้ชาร์จแบตเตอรี่ รุ่น 30 แอมแปร์ ยี่ห้อ BONTA ผลิตโดย บริษัท วิเศษสิริ จำกัด (รูปที่ 3.32)

3.2.1.12 เครื่องกลั่นน้ำทะเล (รูปที่ 3.33)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.2.1 นำน้ำทะเลใส่ลงในภาชนะบรรจุน้ำทะเลปริมาตร 0.16 ลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 3.14)

3.2.2.2 นำน้ำจืดเติมลงในภาชนะบรรจุน้ำปริมาตร 0.2 ลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 3.31)

3.2.2.3 ใช้หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว (รูปที่ 3.24) ติดตั้งลงในห้องทำความชื้นที่ระดับความสูงของระดับหัวฉีดโดยวัดจากขอบด้านสุดของห้องทำความชื้นที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร (รูปที่ 3.22)

3.2.2.4 ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง คือ ห้องทำความชื้น น้ำร้อนขาเข้า คอนเดนเซอร์ และห้องลดความชื้น (รูปที่ 3.26)

3.2.2.5 เปิดสวิตซ์ให้โบลเวอร์ดูดอากาศจากเครื่องทำความร้อนผ่านไปยังห้องทำความชื้นด้วยความเร็วลมขาเข้า 8 เมตร/วินาที

3.2.2.6 เปิดปั๊มดูดน้ำจากภาชนะบรรจุน้ำจืดเข้าไปในตัวคอนเดนเซอร์

3.2.2.7 เปิดเครื่องทิ้งไว้ 20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของห้องทำความชื้นคงที่

3.2.2.8 ใช้บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร (รูปที่ 3.29) รองรับน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์พร้อมกับจับเวลา 1 ชั่วโมง (รูปที่ 3.30)

3.2.2.9 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3.2.2.3 จนถึงข้อ 3.2.2.8 โดยการเปลี่ยนระยะความสูงของหัวฉีดกับท่อทางเข้าของโบลเวอร์ที่ระดับความสูงที่ 80 และ 90 เซนติเมตร จำนวน 3 ซ้ำ

3.2.2.10 บันทึกค่าปริมาณน้ำจืดที่ได้ และนำน้ำที่ได้ไปวัดหาค่าความเค็ม

รูปที่ 3.24 หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 เครื่องวัดความเค็ม รุ่น MASTER - S10α

รูปที่ 3.26 เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 ช่องโพรบ รุ่น TM - 1947SD ยี่ห้อ Lutron

รูปที่ 3.27 เครื่องวัดความเร็วลม และความดันลม รุ่น DT - 8920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.28 เครื่องชั่งดิจิตอล ADAM รุ่น Nimbus Series

รูปที่ 3.29 บีกเกอร์ภาชนะรับน้ำจืดขนาด 250 มิลลิลิตร

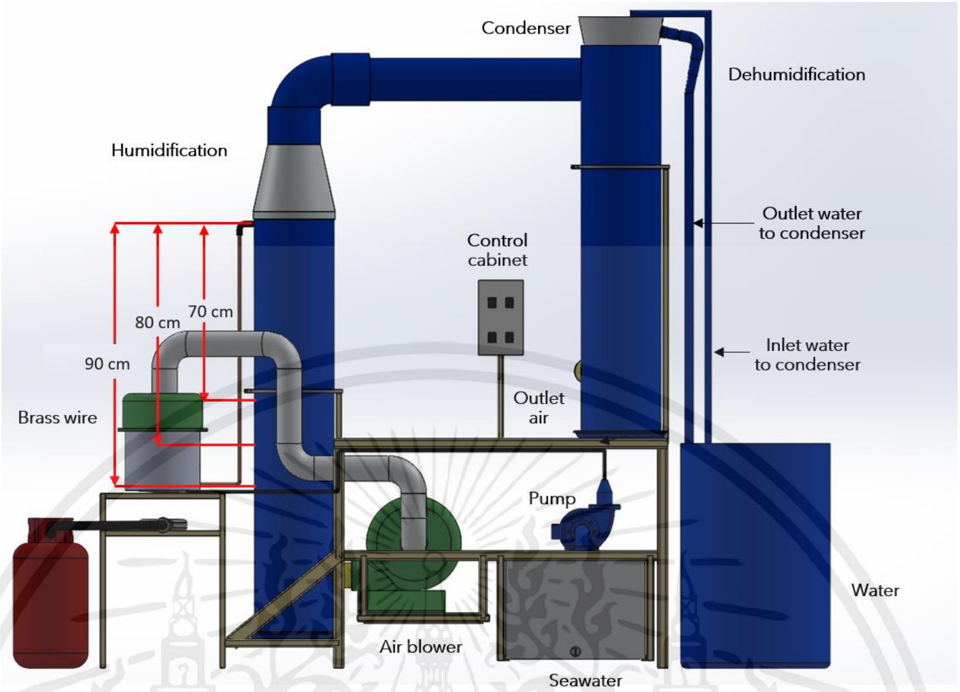
รูปที่ 3.30 นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

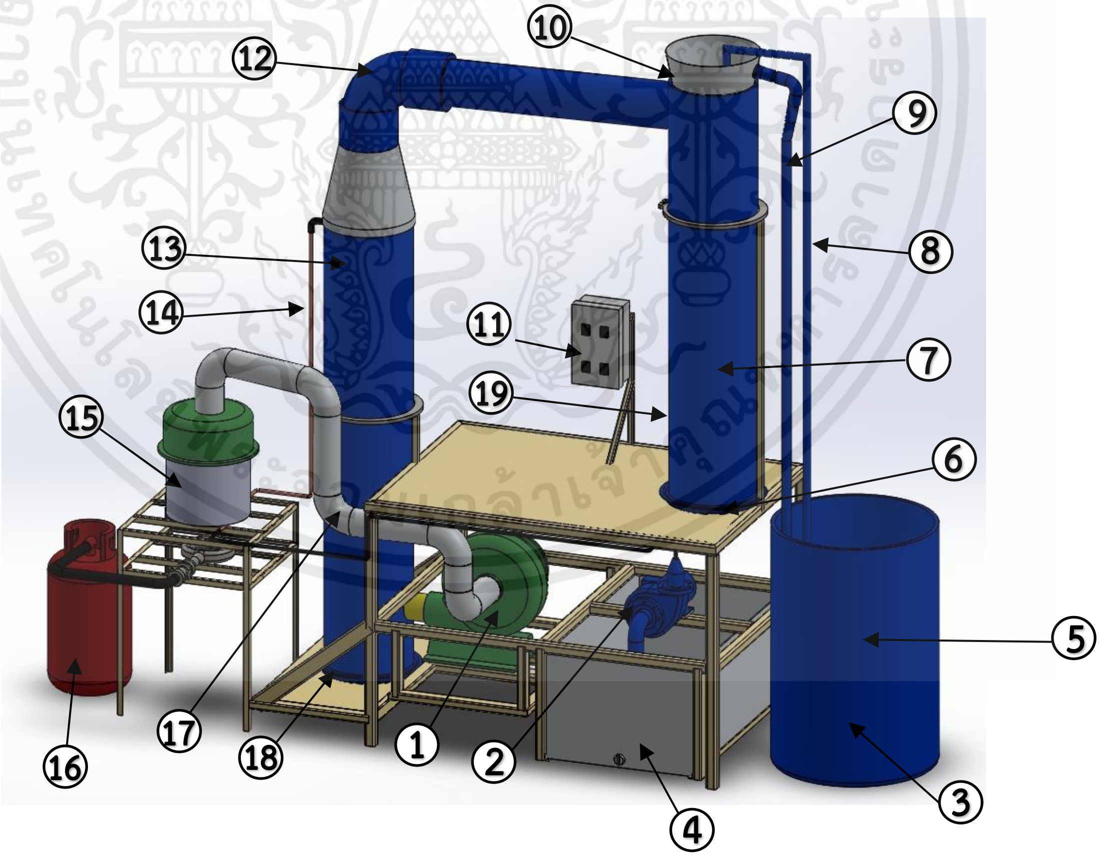
รูปที่ 3.31 ภาชนะบรรจุน้ำขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 3.32 ตู้ชาร์จแบตเตอรี่ รุ่น 30 แอมแปร์ ยี่ห้อ BONTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 ระดับของหัวฉีดที่ความสูง 70 เซนติเมตร 80 เซนติเมตร และ 90 เซนติเมตร



รูปที่ 3.34 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

หมายเลข	ชิ้นส่วน
1	โบลเวอร์หอยโข่ง ยี่ห้อ Chuanfan รุ่น CX series
2	ปั๊มหน้าหมู ขนาด 1 นิ้ว 0.5 แรงม้า รุ่น C - JET QB60
3	ปั๊มน้ำDCขนาด 12 โวลต์ 350 วัตต์ รุ่น FY – 1 - 12DC
4	ภาชนะบรรจุน้ำทะเลสแตนเลสขนาด 0.16 ลูกบาศก์เมตร
5	ภาชนะบรรจุน้ำขนาด 0.2 ลูกบาศก์เมตร
6	ถาดรองรับ (ป้องกันน้ำไหลลงสู่ภาชนะบรรจุน้ำทะเล)
7	ห้องลดความชื้น
8	ทางน้ำเข้าไปยังคอนเดนเซอร์
9	ทางน้ำออกจากคอนเดนเซอร์
10	คอนเดนเซอร์
11	ตู้ควบคุม
12	ท่อลดขนาดทำด้วยสแตนเลสประกอบกับข้องอ 90 องศา เชื่อมเข้ากับท่อขนาด 15.24 เซนติเมตร
13	ห้องทำความชื้น
14	ท่อลำเลียงน้ำทะเลร้อน
15	เตาทำความร้อน
16	ถังเชื้อเพลิง
17	ท่อลมอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหยืดหยุ่น
18	ถาดรองรับ (ป้องกันน้ำทะเลไหลลงสู่โต๊ะ)
19	ท่อระบายอากาศออก

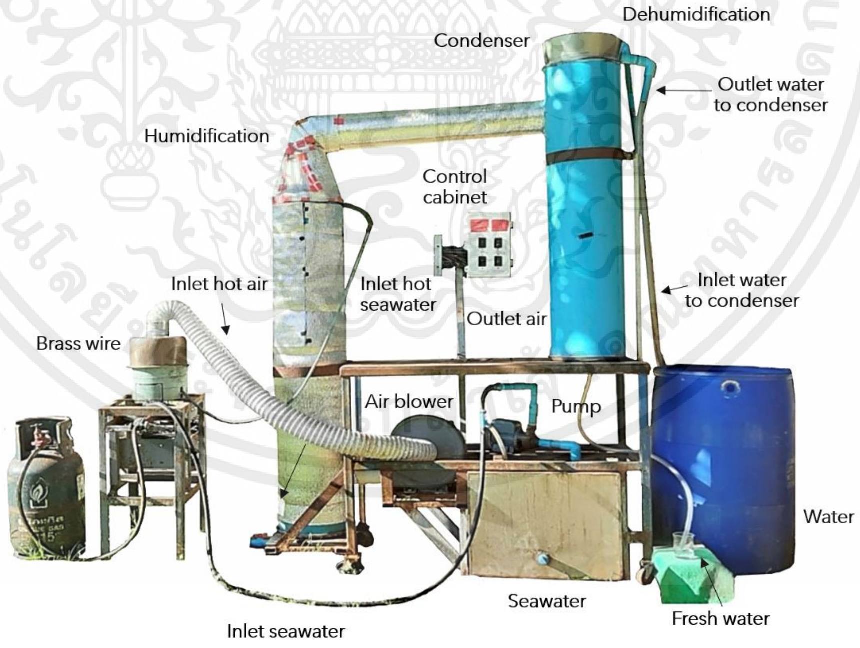
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผล

ในการทดลองได้แบ่งออกเป็น การทดลองที่ระดับความสูง 3 ระดับ โดยกำหนดระดับความสูงจากขอบด้านบนสุดของห้องทำความชื้น คือ 1) ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร 2) ที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร และ 3) ที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร โดยใช้หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำคอนเดนเซอร์ที่อุณหภูมิห้อง ความเค็มของน้ำทะเล 35 ส่วน/พัน และที่ความเร็วลมขาเข้า 8 เมตร/วินาที เพื่อทดสอบหาปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็มที่ตกค้างในน้ำจืด

4.1 ผลการออกแบบ และการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล

ผลการออกแบบ และการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล (รูปที่ 4.1) ทำให้ได้เครื่องกลั่นน้ำทะเลที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1) ท่อวัสดุเป็น PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.48 เซนติเมตร ความหนาของท่อ 1 เซนติเมตร และระดับความสูงที่แตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ฝั่ง คือ ฝั่งทำความชื้นที่ระดับความสูง 160 เซนติเมตร และฝั่งลดความชื้นที่ระดับความสูง 135 เซนติเมตร 2) ท่อเชื่อมระหว่างฝั่งทำความชื้นกับฝั่งลดความชื้นวัสดุทำจากท่อ PVC โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.24 เซนติเมตร ความหนาของท่อ 1 เซนติเมตร ประกบเข้ากับสแตนเลส และข้องอ 90 องศา ที่ความยาวรวมเท่ากับ 101 เซนติเมตร



รูปที่ 4.1 เครื่องกลั่นน้ำทะเลโดยใช้กระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

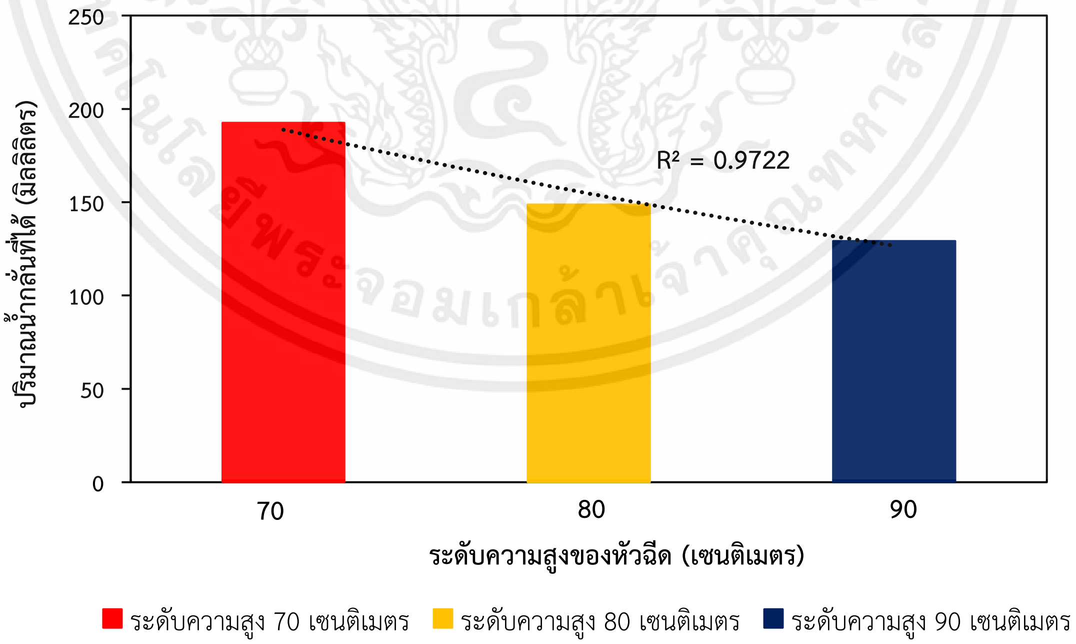
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับระดับความสูงของหัวฉีด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับระดับความสูงของหัวฉีด

ระดับความสูงหัวฉีด (เซนติเมตร)	ปริมาณน้ำจืด (มิลลิลิตร)
70	192.53
80	148.77
90	129.20

ผลจากการทดลอง การหาค่าปริมาณน้ำจืดจากการกำหนดระดับความสูงของหัวฉีดนั้น (ตารางที่ 4.1) พบว่าที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ระดับความสูง 80 เซนติเมตร และระดับความสูง 90 เซนติเมตร สามารถทำให้ปริมาณน้ำจืดที่ได้มีความแตกต่างกัน คือ ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำจืดเท่ากับ 192.53 มิลลิลิตร ที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำจืดเท่ากับ 148.77 มิลลิลิตร และที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำจืดเท่ากับ 129.20 มิลลิลิตร สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำจืดสูงสุด

เมื่อนำผลจากการทดลองมาพล็อตกราฟ พบว่าปริมาณน้ำที่ได้กับระดับความสูงของหัวฉีดมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (รูปที่ 4.2) เมื่อระดับความสูงของหัวฉีดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำจืดที่ได้ลดลง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.97



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำจืดที่ได้กับระดับความสูงของหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

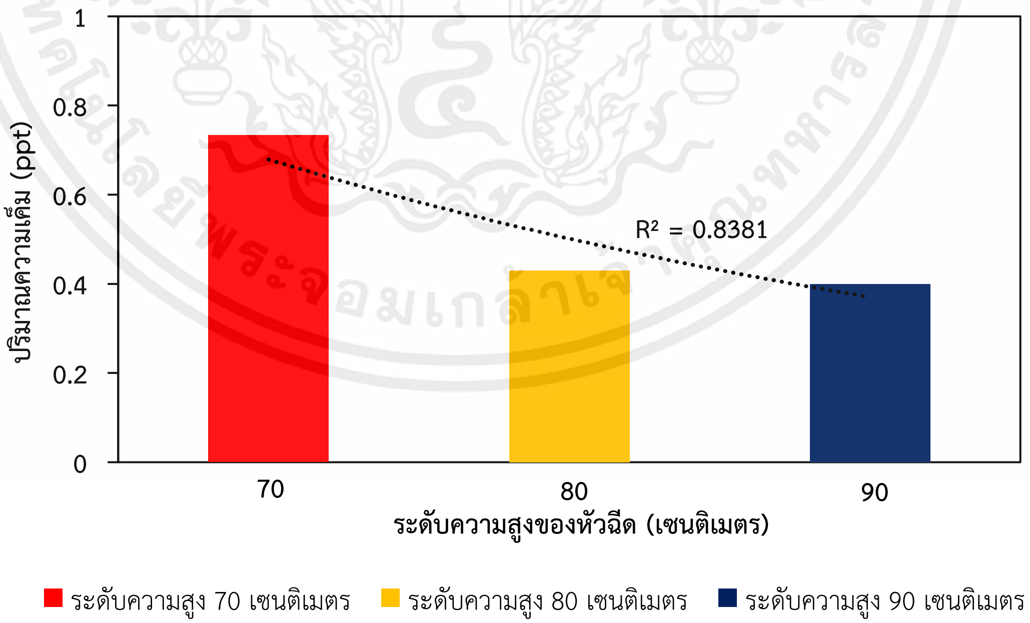
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาปริมาณความเค็มกับระดับความสูงของหัวฉีด

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหาปริมาณความเค็มกับระดับความสูงของหัวฉีด

ระดับความสูงหัวฉีด (เซนติเมตร)	ปริมาณความเค็ม (ppt)
70	0.73
80	0.43
90	0.42

ผลจากการทดลอง การหาค่าปริมาณความเค็มจากการกำหนดระดับความสูงของหัวฉีดนั้น (ตารางที่ 4.2) พบว่าที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ระดับความสูง 80 เซนติเมตร และระดับความสูง 90 เซนติเมตร สามารถทำให้ปริมาณความเค็มที่ได้มีความแตกต่างกัน คือ ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ได้ปริมาณความเค็มที่ 0.73 ppt ที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร ได้ปริมาณความเค็มที่ 0.43 ppt และที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร ได้ปริมาณความเค็มที่ 0.42 ppt สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร ได้ปริมาณความเค็มที่น้อยที่สุด

เมื่อนำผลจากการทดลองมาพล็อตกราฟ พบว่าปริมาณน้ำที่ได้กับความสูงของหัวฉีดมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (รูปที่ 4.3) เมื่อระดับความสูงของหัวฉีดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความเค็มที่ได้ลดลง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.84



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเค็มกับระดับความสูงหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

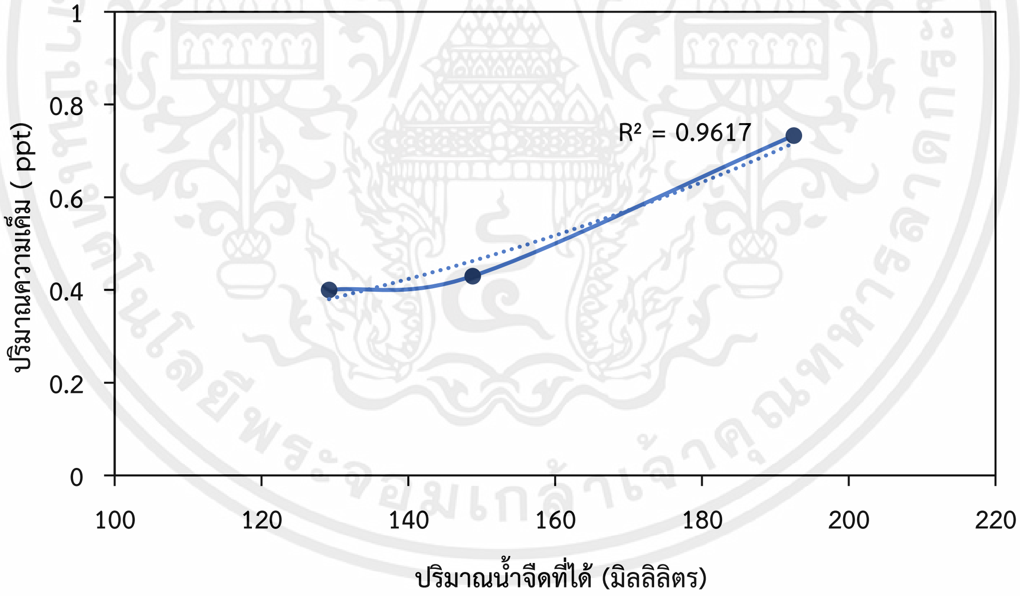
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับปริมาณความเค็ม

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืดที่ได้กับปริมาณความเค็ม

ปริมาณน้ำจืด (มิลลิลิตร)	ปริมาณความเค็ม (ppt)
192.53	0.73
148.73	0.43
129.20	0.42

ผลจากการทดลอง สังเกตได้จากปริมาณน้ำจืดเมื่อปริมาณน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณความเค็มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากปริมาณน้ำจืดที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถเพิ่มได้จากระดับของหัวฉีดที่สูงขึ้น

เมื่อนำผลจากการทดลองมาพล็อตกราฟ พบว่าปริมาณน้ำจืดที่ได้กับปริมาณความเค็มมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (รูปที่ 4.4) เมื่อปริมาณน้ำจืดที่ได้เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณเค็มลดลง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.96



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำจืดที่ได้กับปริมาณความเค็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบเขตที่จำกัดสำคัญๆ เช่น อายุการใช้งานของระบบ ต้นทุนผันแปร และต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์น้ำจืด ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์น้ำจืดเท่ากับผลรวมของต้นทุนผันแปร และต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์น้ำจืด

ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเลเท่ากับ 16,000 บาท

ต้นทุนเชื้อเพลิง

ราคาค่าเชื้อเพลิง 450บาท/ถัง (เชื้อเพลิง 16 กิโลกรัม) = 28.125 บาท/กิโลกรัม

น้ำหนักของเชื้อเพลิงพร้อมถังก่อนการทดลอง = 31.03 กิโลกรัม

น้ำหนักของเชื้อเพลิงพร้อมถังหลังการทดลอง = 29.74 กิโลกรัม

จะได้อัตราการใช้เชื้อเพลิง (31.03-29.74)/16 = 0.143 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ค่าเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง = 0.143 × 28.125 = 4.02 บาท

การผลิตใช้เวลา 12 ชั่วโมง/วัน = 4.02 บาท/ชั่วโมง × 12 ชั่วโมง = 48.24 บาท

ดังนั้น ค่าการใช้เชื้อเพลิงรวมต่อปี = 48.24 × 30 × 12 = 17,366.40 บาท/ปี

ต้นทุนค่าไฟ

ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 3.2484 บาท

โบลเวอร์มีกำลังไฟฟ้า = 1.95 กิโลวัตต์

ปั๊มหน้าหมูมีกำลังไฟฟ้า = 0.37 กิโลวัตต์

ปั๊ม DC มีกำลังไฟฟ้า = 0.37 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับ = 1.95 + 0.37 + 0.37 = 0.94 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่อชั่วโมง = 0.94 × 3.2484 = 3.053 บาท

การผลิตใช้เวลา 12 ชั่วโมง/วัน = 3.053 บาท/ชั่วโมง × 12 ชั่วโมง = 36.636 บาท

ดังนั้น ค่าการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปี = 36.636 × 30 × 12 = 13,188.96 บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติค่าบำรุงรักษาเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนทั้งหมดของอุปกรณ์เครื่องกลั่นน้ำทะเลต่อปี

ค่าบำรุงรักษา (10% × 16000) × 1 ปี = 1,600 บาท

โดยที่

ต้นทุนผันแปร = ค่าบำรุงรักษา + ต้นทุนเชื้อเพลิง + ต้นทุนค่าไฟ (69)

= 1600 + 17,366.40 + 13,188.96

= 32,155.36 บาท

ต้นทุนรวมของการผลิตภัณฑ์น้ำกลั่น = ต้นทุนผันแปร + ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล (70)

= 32,155.36 + 16,000 = 48155.36 บาท

น้ำจืดที่ผลิตได้ต่อวัน (ระยะเวลาการทำงานของระบบเครื่องกลั่นน้ำทะเล คือ 12 ชั่วโมง/วัน)

จะได้ น้ำจืดที่ผลิตได้ต่อวัน = 150 มิลลิลิตร/ชั่วโมง × 12 ชั่วโมง/วัน

= 1,800 มิลลิลิตร/วัน

สมมติอุปกรณ์เครื่องกลั่นน้ำทะเลทำงาน 360 วัน/ปี

จำนวนลิตรน้ำจืดที่จะผลิต = การผลิตต่อวัน × ระยะเวลาการผลิต (71)

ดังนั้นจะได้น้ำกลั่นทั้งหมด = 1,800 มิลลิลิตร/วัน × 360 วัน/ปี

= 648 ลิตร

ราคาน้ำจืดต่อลิตร (ราคาในท้องตลาด) = 3.5 บาท

คิดเป็นจำนวนเงินต่อปี

648 ลิตร × 3.5 = 2,268 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน

$$\frac{48,155.36}{2,268} = 21.2 \text{ ปี}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษา และออกแบบเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้นเพื่อกลั่นน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืด ซึ่งได้ทำการ Simulation ด้วยโปรแกรม SolidWorks เวอร์ชั่น 2020 เพื่อหาตำแหน่ง และขนาดของท่อทางออกของความเร็วลม และความชื้นที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบตำแหน่ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งตั้งฉากกับท่อลดขนาดทางเข้าของไอน้ำเข้าสู่ห้องลดความชื้นที่ระยะ 11.4 เซนติเมตร 12.4 เซนติเมตร และ 13.4 เซนติเมตร และขนาดท่อทางออก 3 ขนาด ได้แก่ ท่อขนาด 5 เซนติเมตร 7 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร พบว่า ที่ตำแหน่งตั้งฉากกับท่อลดขนาดทางเข้าของไอน้ำเข้าสู่ห้องลดความชื้น ระยะ 12.4 เซนติเมตร โดยที่ขนาดท่อ 7 เซนติเมตร มีพฤติกรรมการไหลของเม็ดสีซึ่งเป็นความเร็ว และความชื้นที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นน้ำทะเล

การทดลองได้แบ่งระดับความสูง 3 ระดับที่กำหนดระดับความสูงจากขอบด้านบนสุดของห้องทำความชื้น คือ ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร 80 เซนติเมตร และ 90 เซนติเมตร โดยใช้หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำคอนเดนเซอร์ที่อุณหภูมิห้อง ความเค็มของน้ำทะเล 35 ppt และที่ความเร็วลมขาเข้า 8 เมตร/วินาที พบว่า ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำกลั่น เท่ากับ 192.53 มิลลิลิตร มีปริมาณความเค็ม 0.73 ppt ที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำกลั่นเท่ากับ 148.77 มิลลิลิตร/ชั่วโมง มีปริมาณความเค็ม 0.43 ppt และที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำกลั่นเท่ากับ 129.20 มิลลิลิตร/ชั่วโมง มีปริมาณความเค็ม 0.42 ppt

จากการทดลองสรุปได้ว่า เราจึงเลือกใช้ระดับความสูงของหัวฉีด 80 เซนติเมตร เนื่องจากที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร สามารถกลั่นน้ำได้ในปริมาณที่เหมาะสม มีปริมาณความเค็ม 0.43 ppt และสอดคล้องตามเกณฑ์คุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกที่น้ำจืดสามารถนำไปใช้บริโภค กำหนดให้มีค่า TDS ไม่เกิน 0.6 ppt [16] โดยมีต้นทุนการผลิต/หน่วย เท่ากับ 3.5 บาท และมีระยะการคืนทุน 21.2 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น และลดความชื้น พบปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

5.2.1 ปรับปรุงรูปแบบคอนเดนเซอร์เพื่อทำให้เกิดความเหมาะสมกับโครงสร้างของตัวเครื่อง และมีพื้นที่สัมผัสในการควบแน่นของไอน้ำมากขึ้น

5.2.2 เปลี่ยนลักษณะหัวฉีดจากแบบกระดุมเป็นแบบเข็ม เนื่องจากความกว้างของพุ่มนั้นมีการกระจายตัวดีกว่า

5.2.3 กรองตะกอนของน้ำทะเลก่อนเข้าปั๊ม และใส่ผ้ากรองบริเวณท่อส่งน้ำก่อนเข้าหัวฉีด เพื่อลดการอุดตัน

5.2.4 ปรับเปลี่ยนชนิด และขนาดของสายยางส่งน้ำทะเลก่อนเข้าเครื่องทำน้ำร้อน เนื่องจากแรงดันของปั๊ม และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ไหลย้อนกลับทำให้เกิดการระเบิดของสายยาง

5.2.5 ปรับเปลี่ยนแหล่งความร้อนจากเครื่องทำน้ำอุ่นเป็นเตาแก๊สที่ใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำความร้อนให้แก่น้ำทะเล เนื่องจากเครื่องทำน้ำอุ่นไม่สามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลถึงจุดที่กำหนดได้

5.2.6 การเกิดสนิมของโครงสร้างเครื่อง เนื่องจากกรดเกลือของน้ำทะเลกัดเซาะ

5.2.7 ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายนอกได้ เช่น ฝนตก ลมพัด และช่วงเวลา

5.2.8 การควบแน่นของไอน้ำใช้เวลานาน

5.2.9 อุปกรณ์ในการทดลองไม่พร้อม เช่น เครื่องวัดความเค็ม ตาชั่ง และเครื่องวัดความเร็วลม

5.2.10 มีการเปลี่ยนสถานที่ในการทดลองถึง 3 ครั้ง เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด – 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรใช้วัสดุในการทำโครงสร้างของตัวเครื่องเป็นวัสดุที่ไม่ทำให้เกิดสนิม เช่น สเตนเลส 304

5.3.2 เปลี่ยนแหล่งกำเนิดความร้อนเป็นพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์

5.3.3 เปลี่ยนการใช้ไฟฟ้าเป็นโซล่าเซลล์ เนื่องจากจุดคุ้มทุนมีระยะที่นาน

5.3.4 นำน้ำทะเลที่เหลือทิ้งในกระบวนการผลิตสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ได้อีกครั้ง

5.3.5 ลดอุณหภูมิของน้ำคอนเดนเซอร์ให้มีอุณหภูมิต่ำลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกลั่นตัวของไอน้ำ

5.3.6 ใช้ไส้กรองตะกอนให้มีคุณภาพเพื่อเพิ่มความสะอาดให้กับน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] 1 A.E. Kabeel, M.H. Hamed, Z.M. Omara, S.W. Sharshir Water desalination using a humidification-dehumidification technique—a detailed review Nat. Resour., 04 (03) (2013), pp. 286-305

[2] A.S.A. Mohamed, M.Salem Ahmed, Abanob.G. Shahdy, Theoretical and Experimental Study of a Seawater Desalination System Based on Humidification-Dehumidification Technique, Renewable Energy (2020), doi: 10.1016/j.renene.2020.01.116

[3] P.G. Youssef, S.M. Mahmoud, R.K. Al-Dadah Seawater desalination technologies Int. J. Innov. Sci. Res., 4 (8) (2015), pp. 402-422

[4] J.A. Miller, J.H. Lienhard V Impact of extraction on a humidification-dehumidification desalination system Desalination, 313 (2013), pp. 87-96

[5] R. E. Treybal, "Mass Ttansfer Operation," McGraw-Hill, NewYork, 1980.

[6] A. E. Kabeel, "Water Desalination Using a Humidification-Dehumidification Technique A Detailed Review," Tanta, Egypt, 2013.

[7] H. Karan, A. Mitsos and H. John, "Optimal Operating Conditions and Configurations for Humidification-Dehumidification Desalination Cycles," International Journal of Thermal Sciences, Vol. 50, No. 5, 2011, pp. 779- 789. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2010.12.013

[8] S. B. Hou and H. F. Zhang "A Hybrid Solar Desalination Process of the Multi-Effect humidification Dehumidification and Basin-Type Unit," Desalination, Vol. 220, No. 1-3, 2008, pp. 552-557. doi:10.1016/j.desal.2007.01.055

[9] J. F. Klausner, R. Mei and Y. Li, "Innovative Fresh Water Production Process for Fossil Fuel Plants," Annual Report, University of Florida, Gainesville, 2003, 58 Pa

[10] B. M. Hamieh and J. R. Beckmann, "Seawater Desalination Using Dew-Vaporation Technique: Theoretical Development and Design Evolution," Desalination, Vol. 195, No. 2, 2006, pp. 1-13. doi:10.1016/j.desal.2005.09.034

[11] K. H. Mistry, J. H. Lienhard and S. M. Zubair, "Effect of Entropy Generation on the Performance of Humidification-Dehumidification Desalination Cycles," International Journal of Thermal Sciences, Vol. 49, 2010, pp. 1837-1847. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2010.05.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] A.S.A. Mohamed, M.Salem Ahmed, Abanob.G. Shahdy, Theoretical and Experimental Study of a Seawater Desalination System Based on Humidification-Dehumidification Technique, Renewable Energy (2020), doi: 10.1016/j.renene.2020.01.116

[13] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน (Principle of heat transfer). [Online]. เข้าถึงจาก: www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_4.pdf

[14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, กลศาสตร ของไหลเบื้องต้น (Fundamental of fluid mechanics). [Online]. เข้าถึงจาก: <4D6963726F736F667420576F7264202D2030333032303248733275325F3533303230355F415FA1C5C8D2CAB5C3ECA2CDA7E4CBC5E0BAD7E9CDA7B5E9B970312E646F63> (dede.go.th)

[15] SimAdviser. (2557). SolidWorks Simulation. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2564, จากเว็บไซต์ https://thaisolidworkssimulation.blogspot.com/2014/10/solidworkssimulation.html?fbclid=IwAR0mdBoQkdJldzCxRvA055SaJIc8cmv6pVxTisCyQMHx4yjCCLapGAm81-I

[16] ศีลาวุธ ดำรงศิริ. (2564). น้ำดื่ม เค็มได้แค่ไหน ?. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 25 (ฉบับที่ 1).สืบค้นเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2564, จากเว็บไซต์ http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6137/293

[17] Abu ElNasr M, Kamal M, Saad H, Elhelaly M (2015) Water Desalination using Solar Energy: Humidification and Dehumidification Principle. Innov Ener Res 4: 121. doi: 10.4172/2576-1463.1000121

[18] Yamali, C., and Solmus, I., "Theoretical Investigation of a Humidification Dehumidification Desalination System Configured by a Double Pass Flat Plate Solar Air Heater", Desalination 205 (2007) 163-177.

[19] A.S.A. Mohamed, M.Salem Ahmed, Abanob.G. Shahdy, “Theoretical and Experimental Study of a Seawater Desalination System Based on Humidification-Dehumidification Technique”, Renewable Energy (2020), doi: 10.1016/j.renene.2020.01.116

[20] Al-Sahali and M. Hisham, “Humidification Dehumidification Desalination Process: Design and Performance Evaluation,” Chemical Engineering Journal, Vol. 143, No. 1-3, 2008, pp. 257-264. doi:10.1016/j.cej.2008.04.030

[21] E. H. Amer, H. Kotb, G. H. Mostafa and A. R. El-Ghalban, “Theoretical and Experimental Investigation of Humidification-Dehumidification Desalination Unit,” Desalination, Vol. 249, No. 3, 2009, pp. 949-959. doi:10.1016/j.desal.2009.06.063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[22] G. Al-Enezi, H. Ettouney and N. Fawzy, “Low Tempera ture Humidification Dehumidification Desalination Process,” Energy Conversion and Management, Vol. 47, No. 4, 2006, pp. 470-484.doi:10.1016/j.enconman.2005.04.010

[23] Eslamimanesh and M. S. Hatamipour, “Mathematical Modeling of a Direct Contact Humidification-Dehumidification Desalination Process,” Desalination, Vol. 237, No. 1-3, 2009, pp. 296-304. doi:10.1016/j.desal.2008.01.023

[24] Y. J. Dai and H. F. Zhang, “Experimental Investigation of a Solar Desalination Unit with Humidification and Dehumidification,” Desalination, Vol. 130, No. 2, 2000, pp. 169-175. doi:10.1016/S0011-916400 00084-9

[25] W.F. He, L.N. Xu, D. Han, L. Gao, Performance analysis of an air-heated humidification dehumidification desalination plant powered by low grade waste heat, Energy Convers. Manag. 118 (2016) 12–20.

[26] Lawal DU, Jawad SA, Antar MA, Experimental and theoretical study on a heat pump driven open-air humidification dehumidification desalination system,Energy(2020),doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118252.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

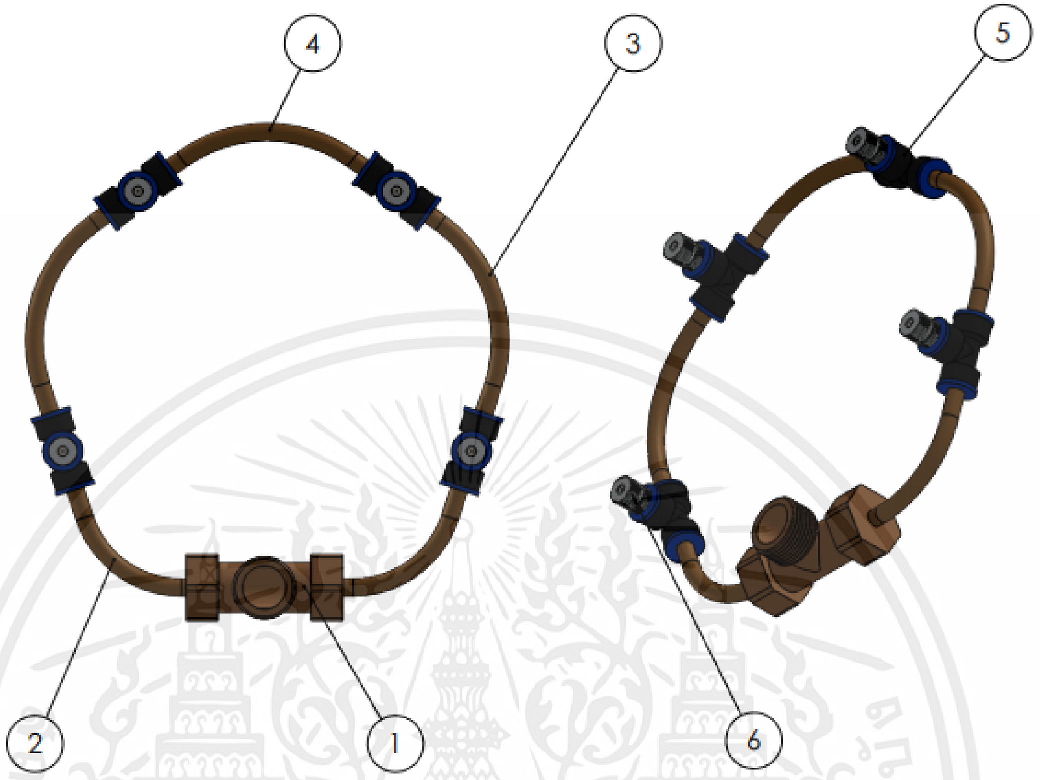
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบชิ้นส่วนเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยกระบวนการทำความชื้น และลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

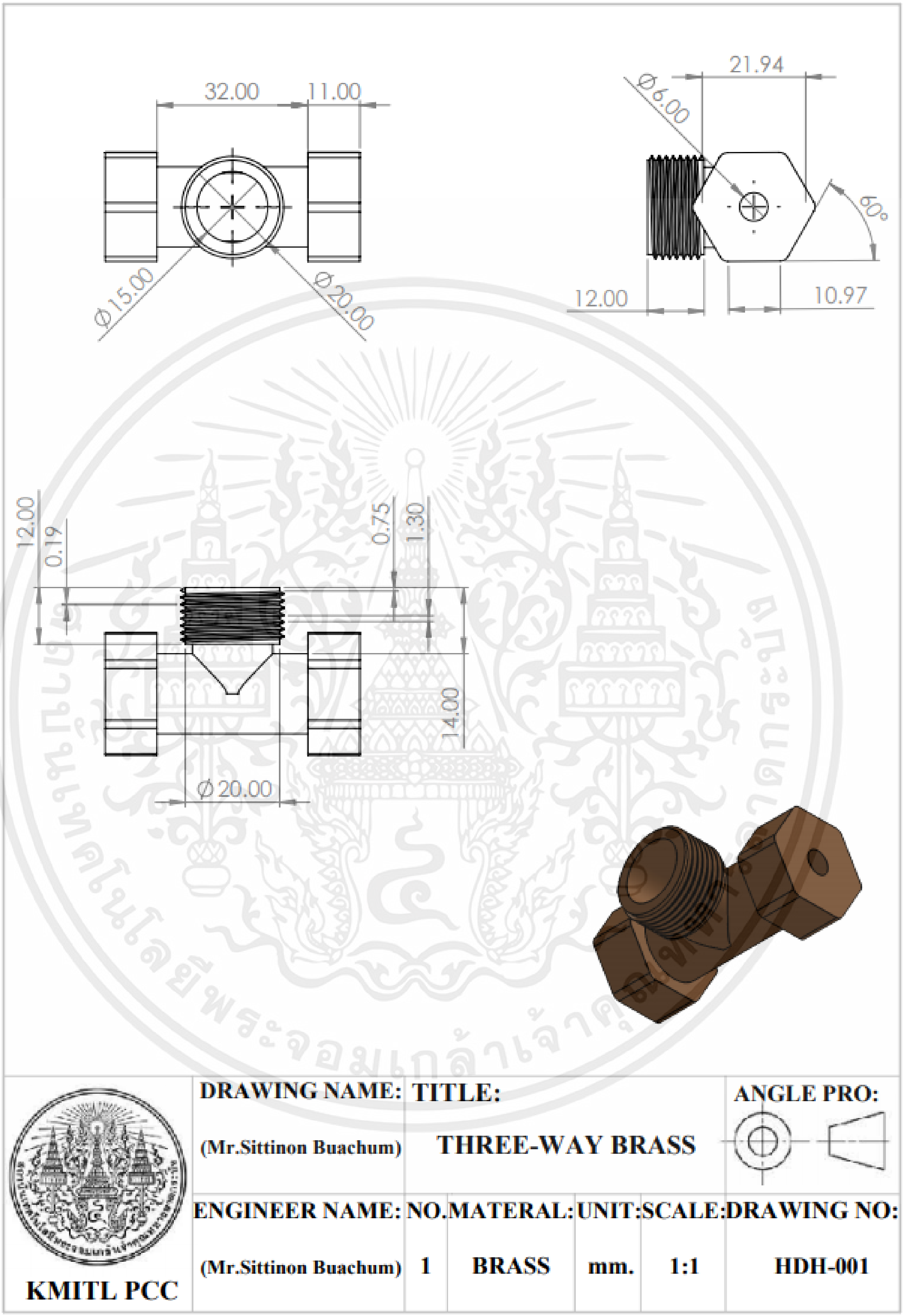


NUMBER	TITLE	MATERIAL	DRAW-NO
1	THREE-WAY BRASS	BRASS	HDH-001
2	COPPER PIPE 1.	COPPER	HDH-002
3	COPPER PIPE 2.	COPPER	HDH-003
4	COPPER PIPE 3.	COPPER	HDH-004
5	THREE-WAY	PVC	HDH-005
6	NOZZLE	STAINLESS STEEL	HDH-006

KMITL PCC	DRAWING NAME: (Mr.Sittinon Buachum)	TITLE: NOZZLE BASE				ANGLE PRO:
	ENGINEER NAME: (Mr.Sittinon Buachum)	NO. 1	MATERAL: COPPER,BRASS, STAINLESS STEEL AND PVC	UNIT: mm.	SCALE: 1:2	DRAWING NO: HDH-000

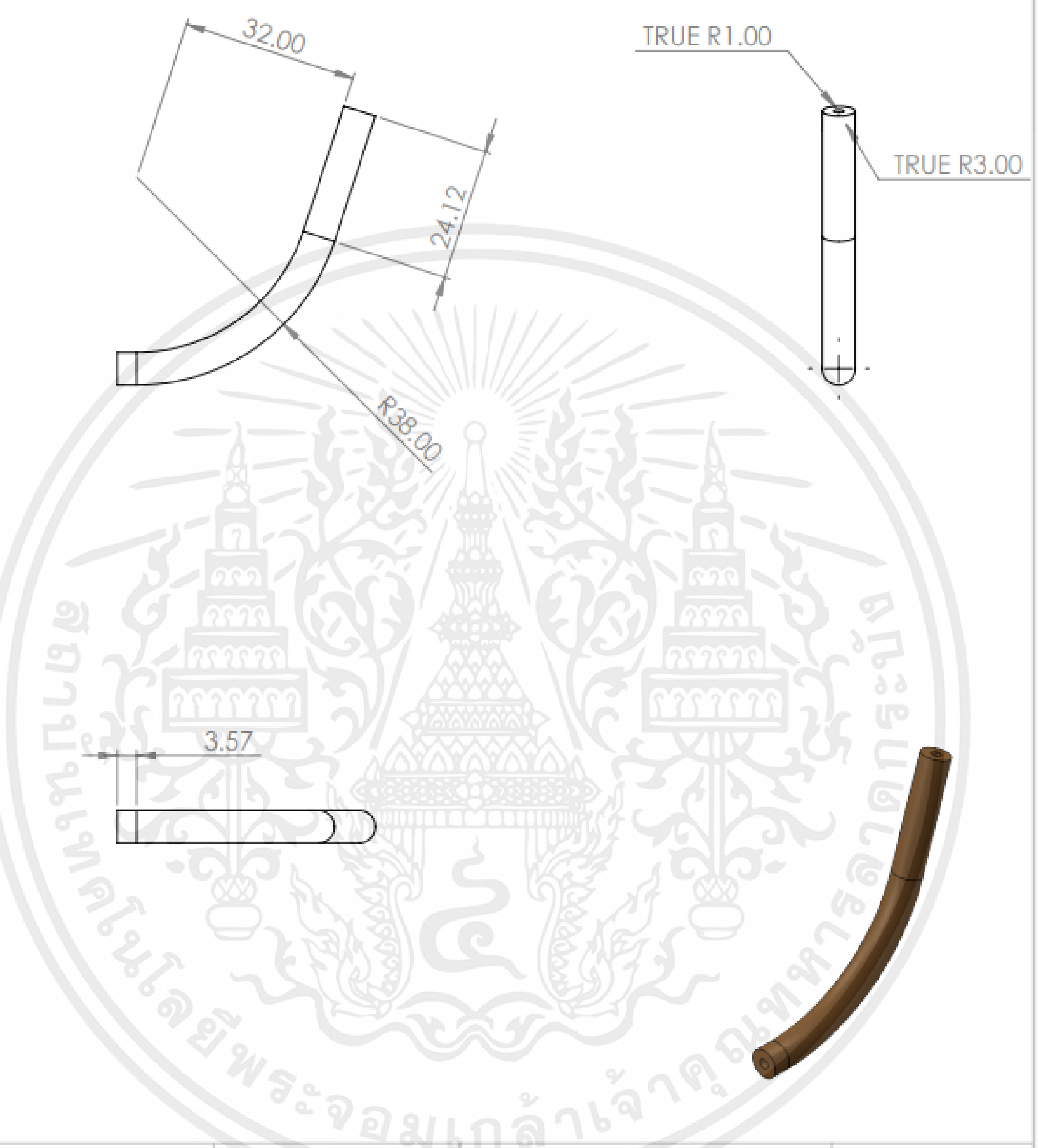
รูปที่ ก.1 ฐานลองหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ข้อต่อ 3 ทาง เชื่อมต่อระหว่างท่อขนาด 1.3 เซนติเมตร กับลวดทองแดงขนาด 6 มิลลิเมตร

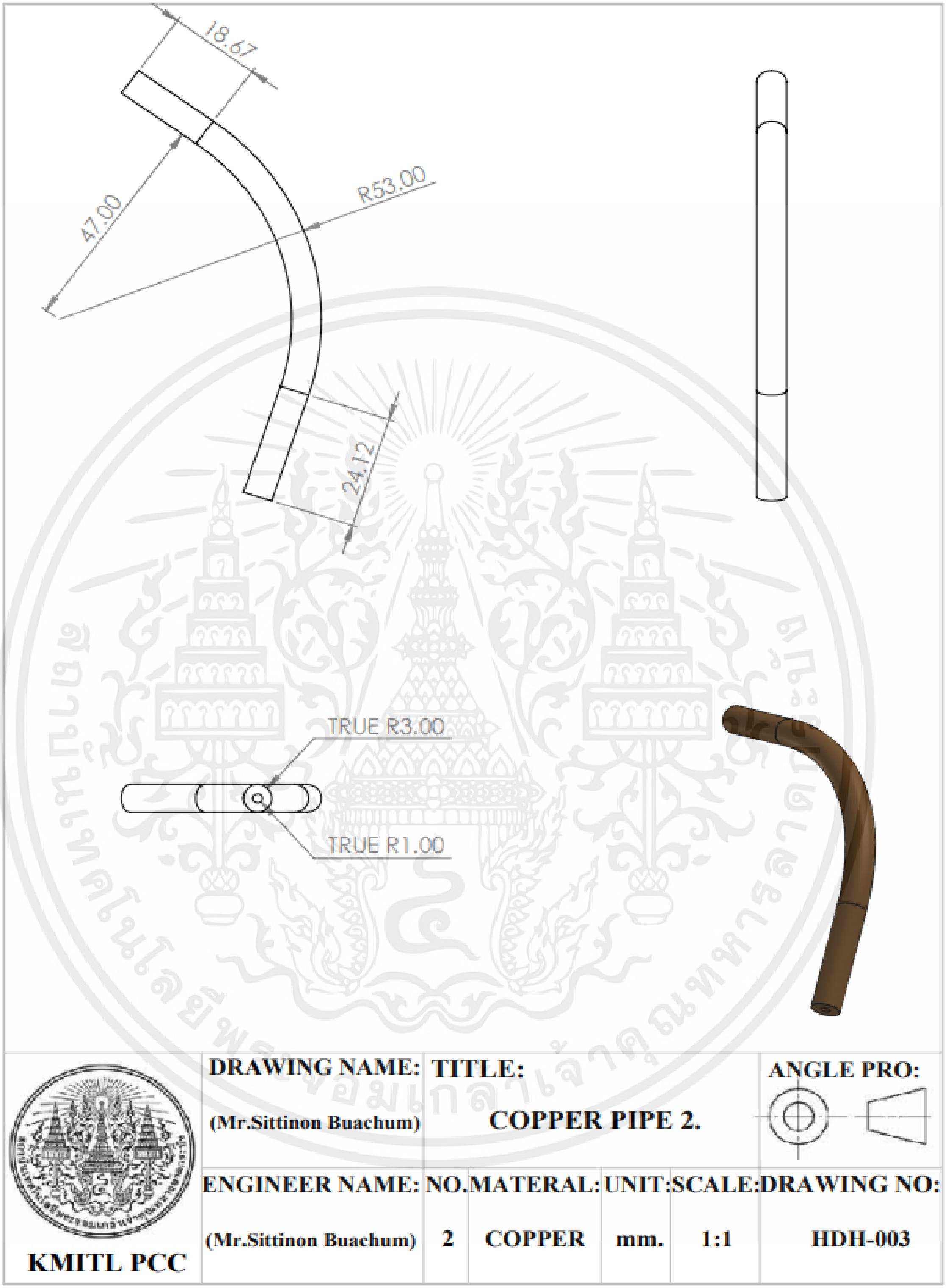
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



KMITL PCC	DRAWING NAME: (Mr.Sittinon Buachum)	TITLE: COPPER PIPE 1.				ANGLE PRO:
	ENGINEER NAME:	NO.	MATERAL:	UNIT:	SCALE:	DRAWING NO:
	(Mr.Sittinon Buachum)	2	COPPER	mm.	1:1	HDH-002

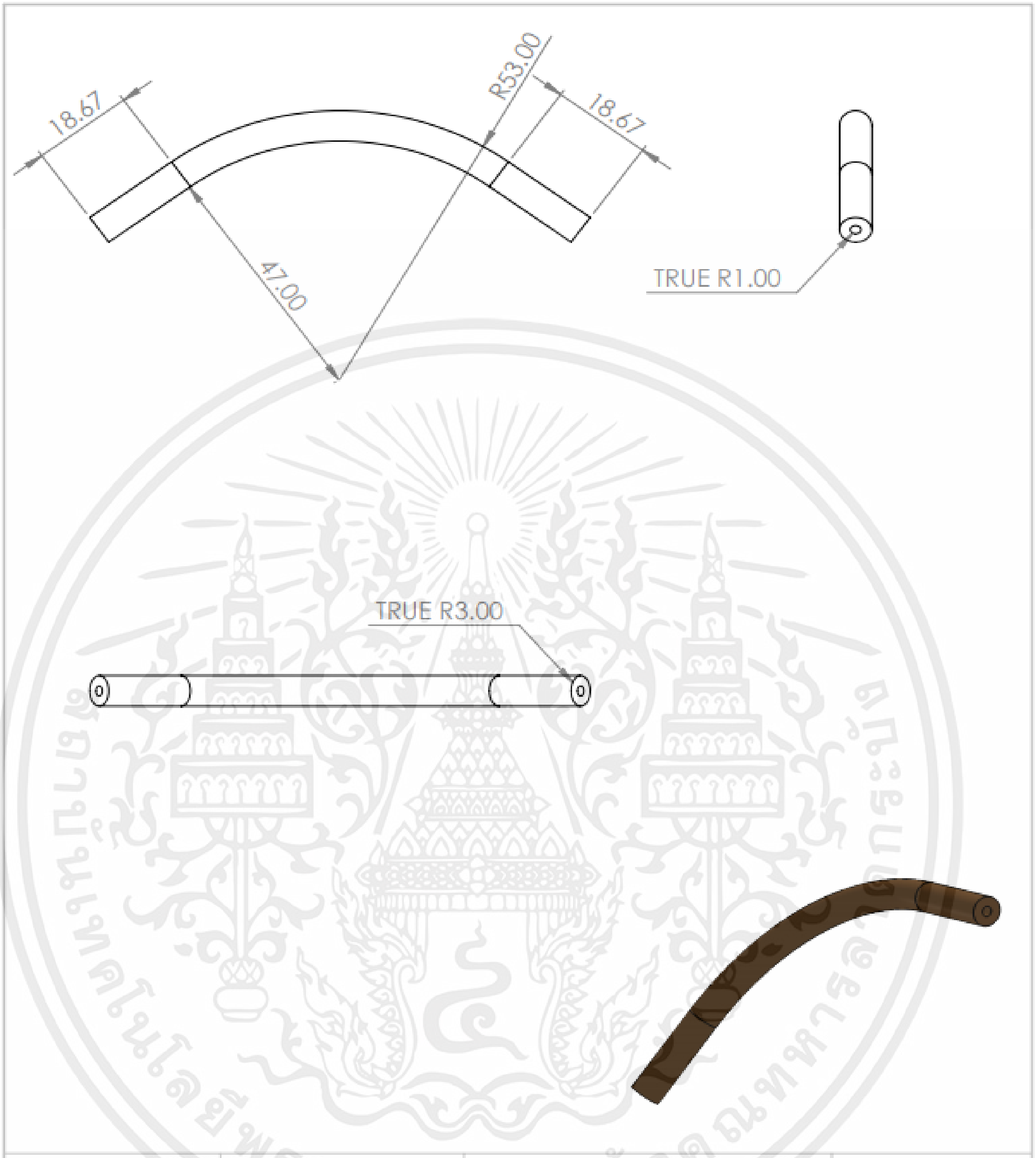
รูปที่ ก.3 ลวดทองแดงทำมุมรัศมี 38 มิลลิเมตร กับข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ลวดทองแดงทำมุมรัศมี 53 มิลลิเมตร กับข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร

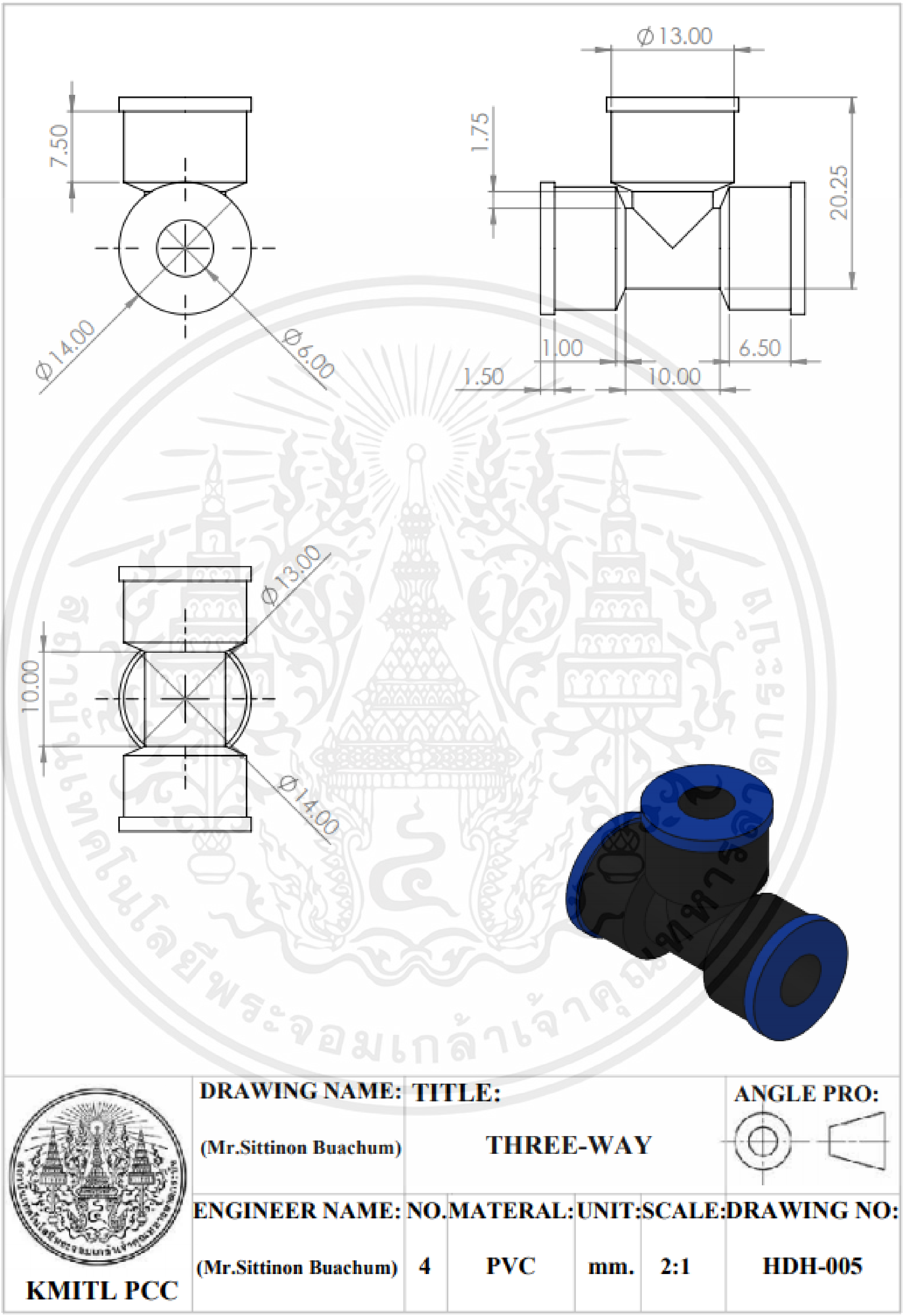
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



KMITL PCC	DRAWING NAME: (Mr.Sittinon Buachum)	TITLE: COPPER PIPE 3.				ANGLE PRO:
	ENGINEER NAME: (Mr.Sittinon Buachum)	NO. 1	MATERAL: COPPER	UNIT: mm.	SCALE: 1:1	DRAWING NO: HDH-004

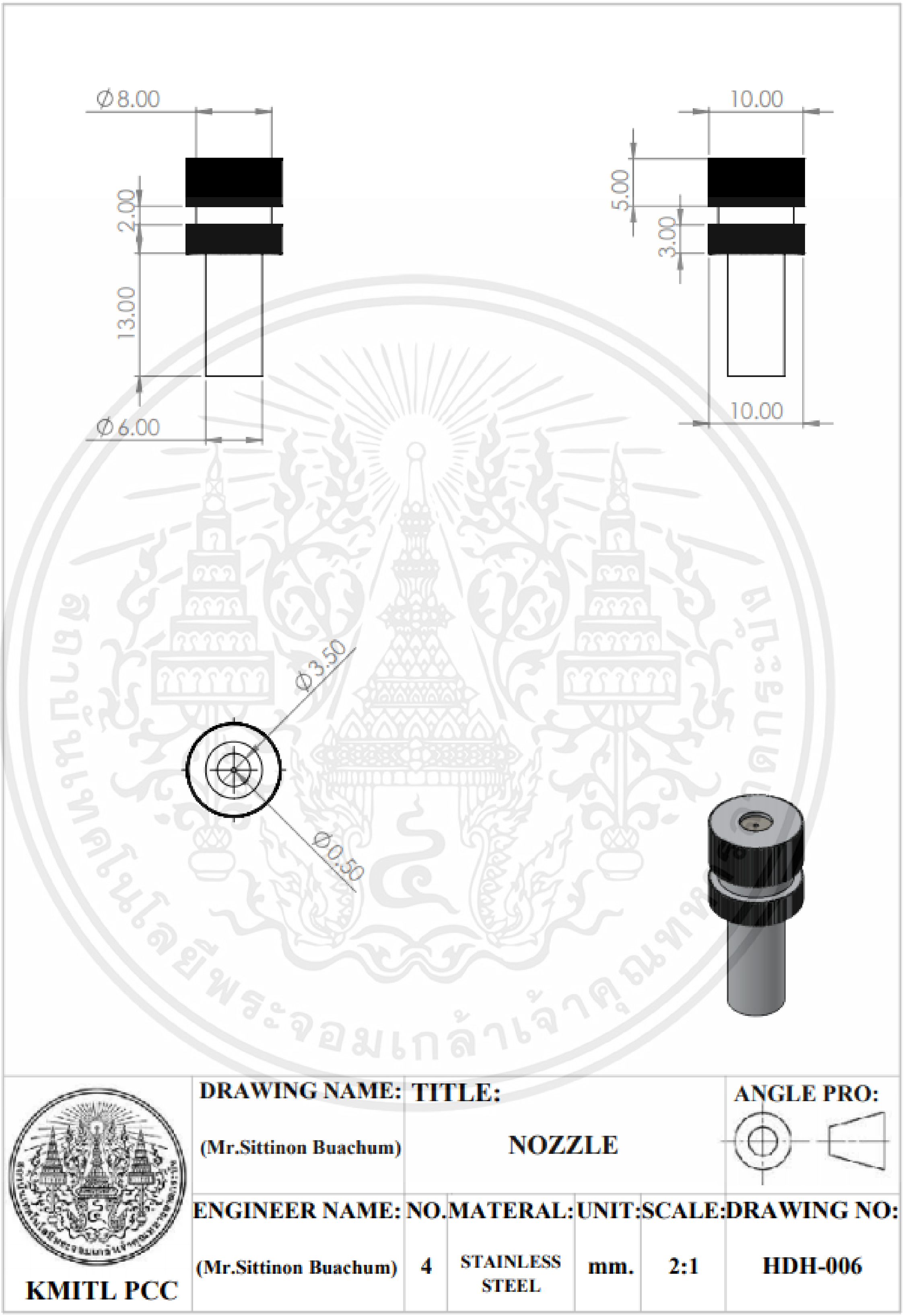
รูปที่ ก.5 ลวดทองแดงทำมุมรัศมี 47 มิลลิเมตร กับข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



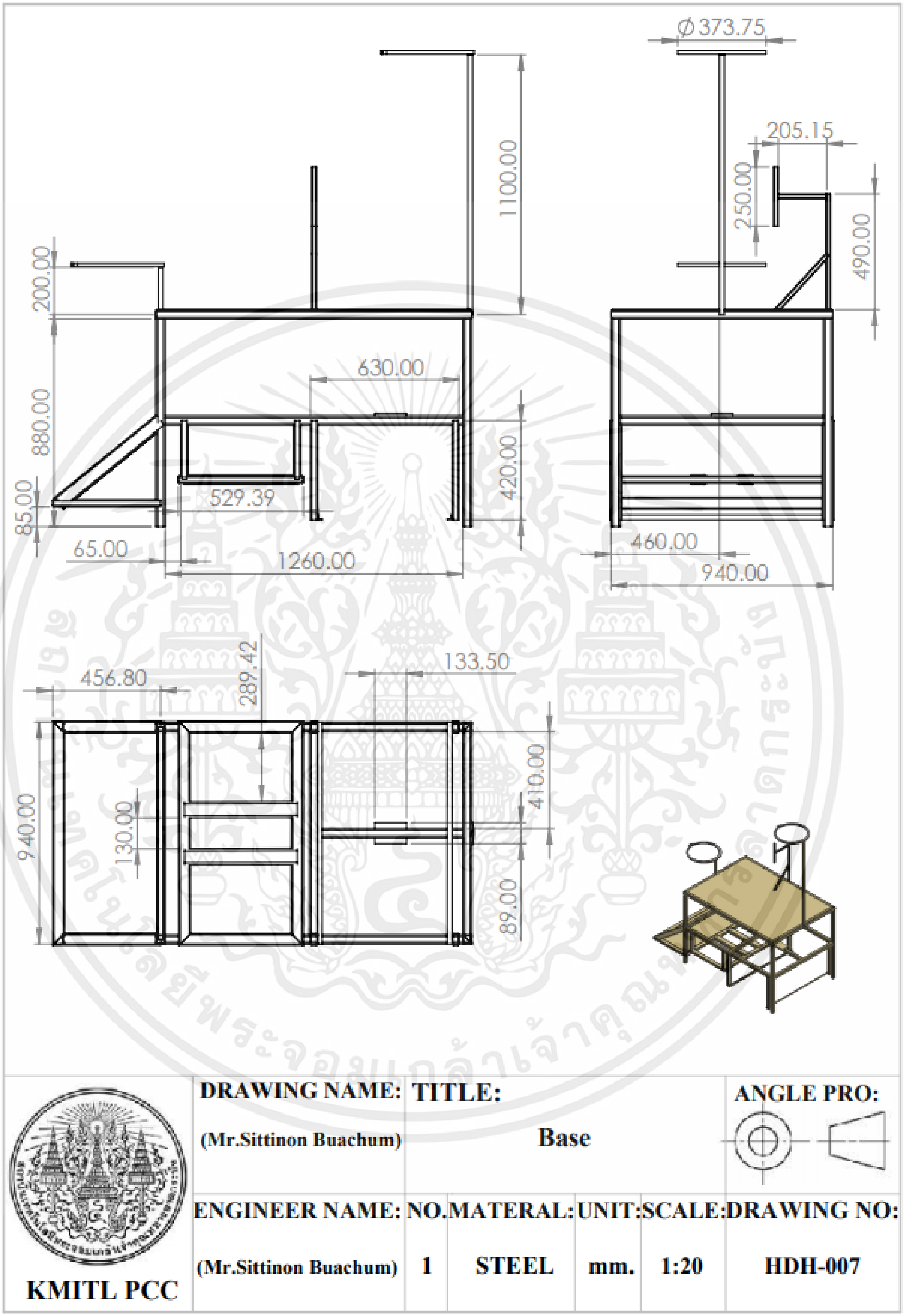
รูปที่ ก.6 ข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 6 มิลลิเมตร เชื่อมต่อระหว่างท่อทองแดงขนาด 6 มิลลิเมตร กับหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



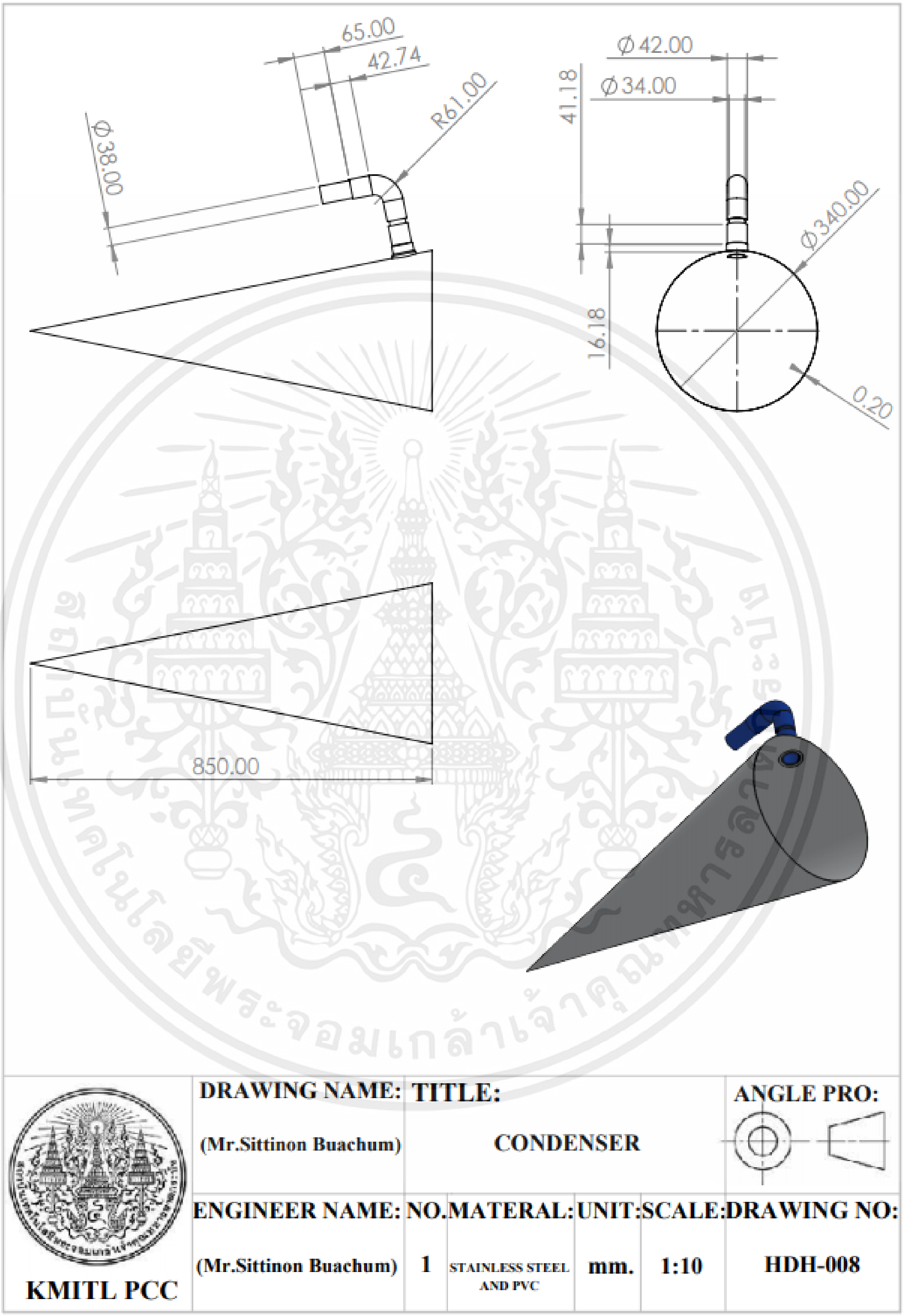
รูปที่ ก.7 หัวฉีดขนาด 0.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 โต๊ะฐานรองรับเครื่องกลั่นน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

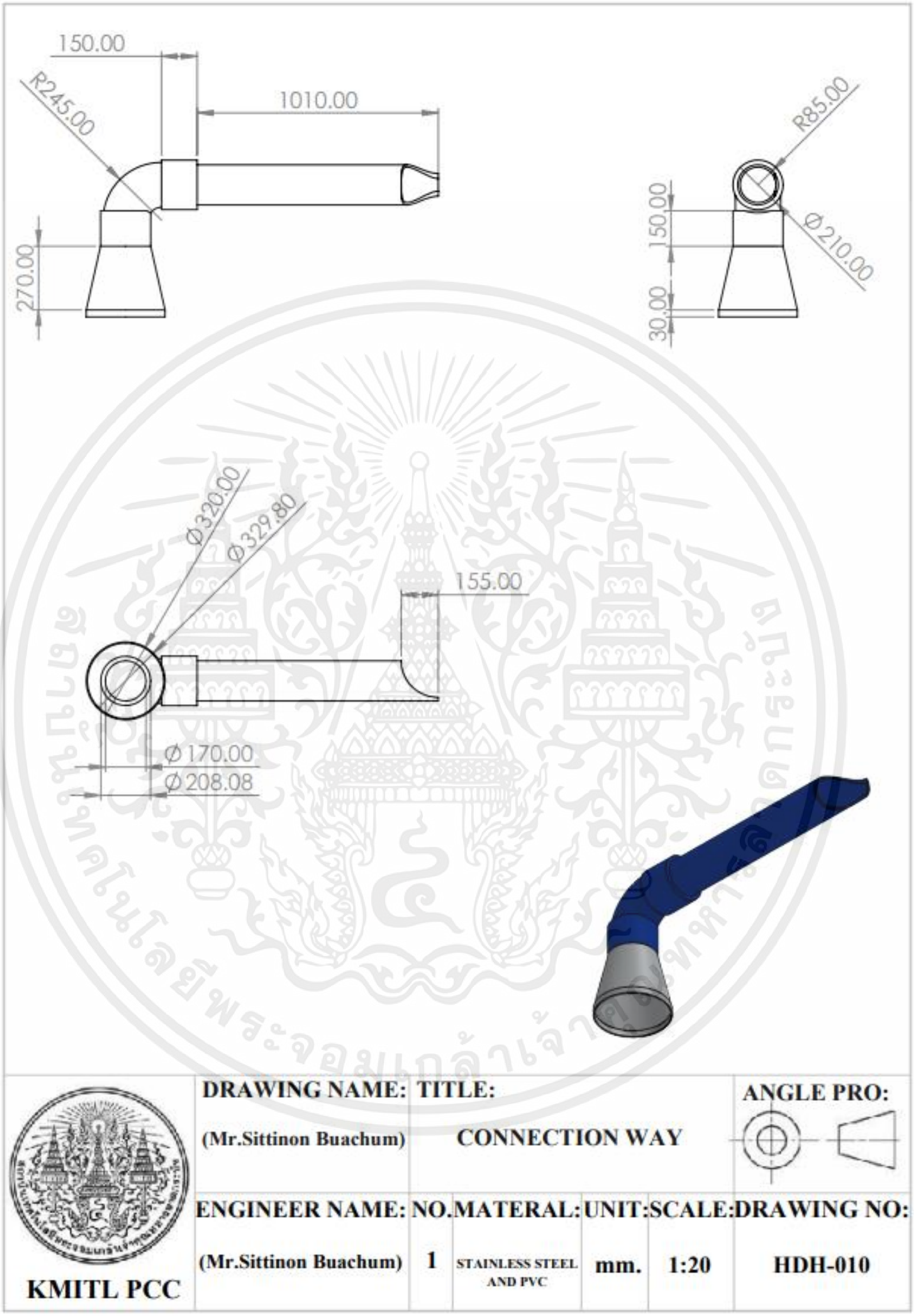


รูปที่ ก.9 กรวยคอนเดนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

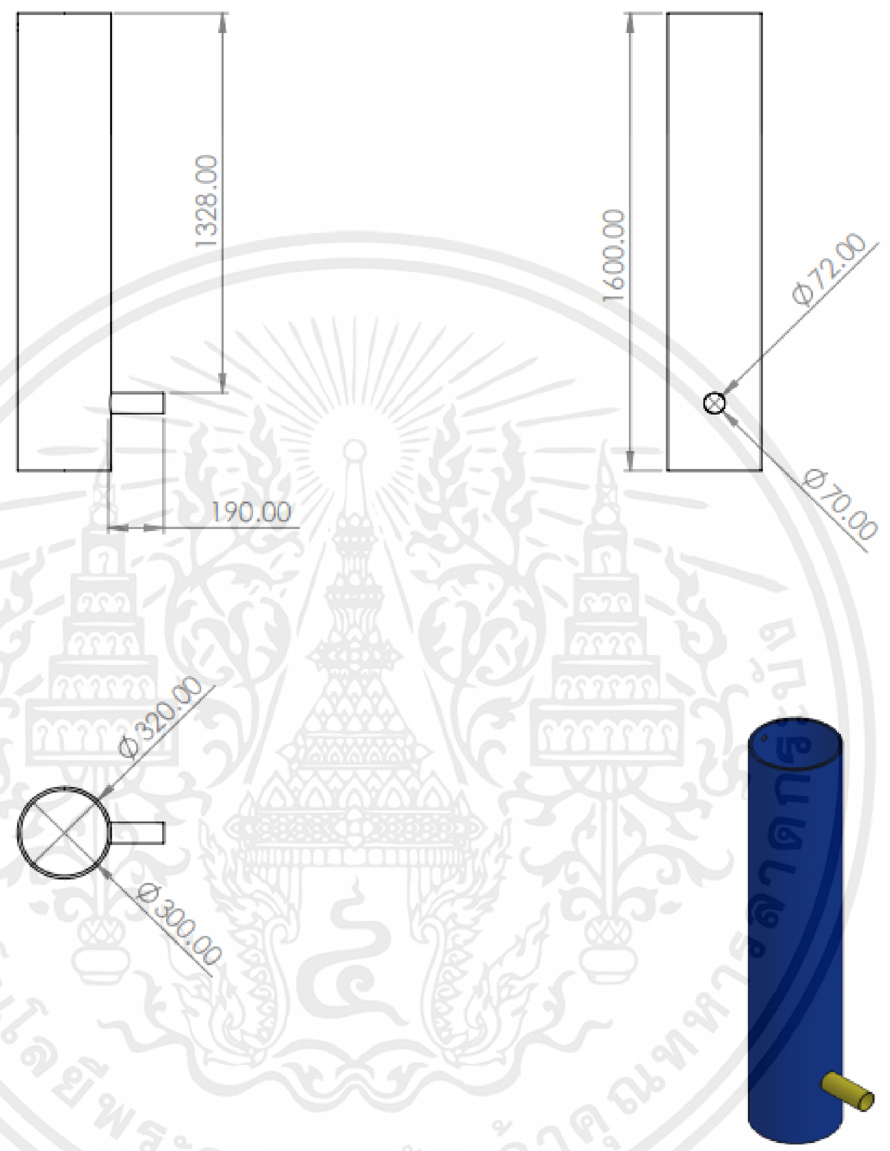
รูปที่ ก.10 ท่อขดลวดทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 ท่อทางเชื่อมระหว่างห้องทำความชื้น และห้องลดความชื้น

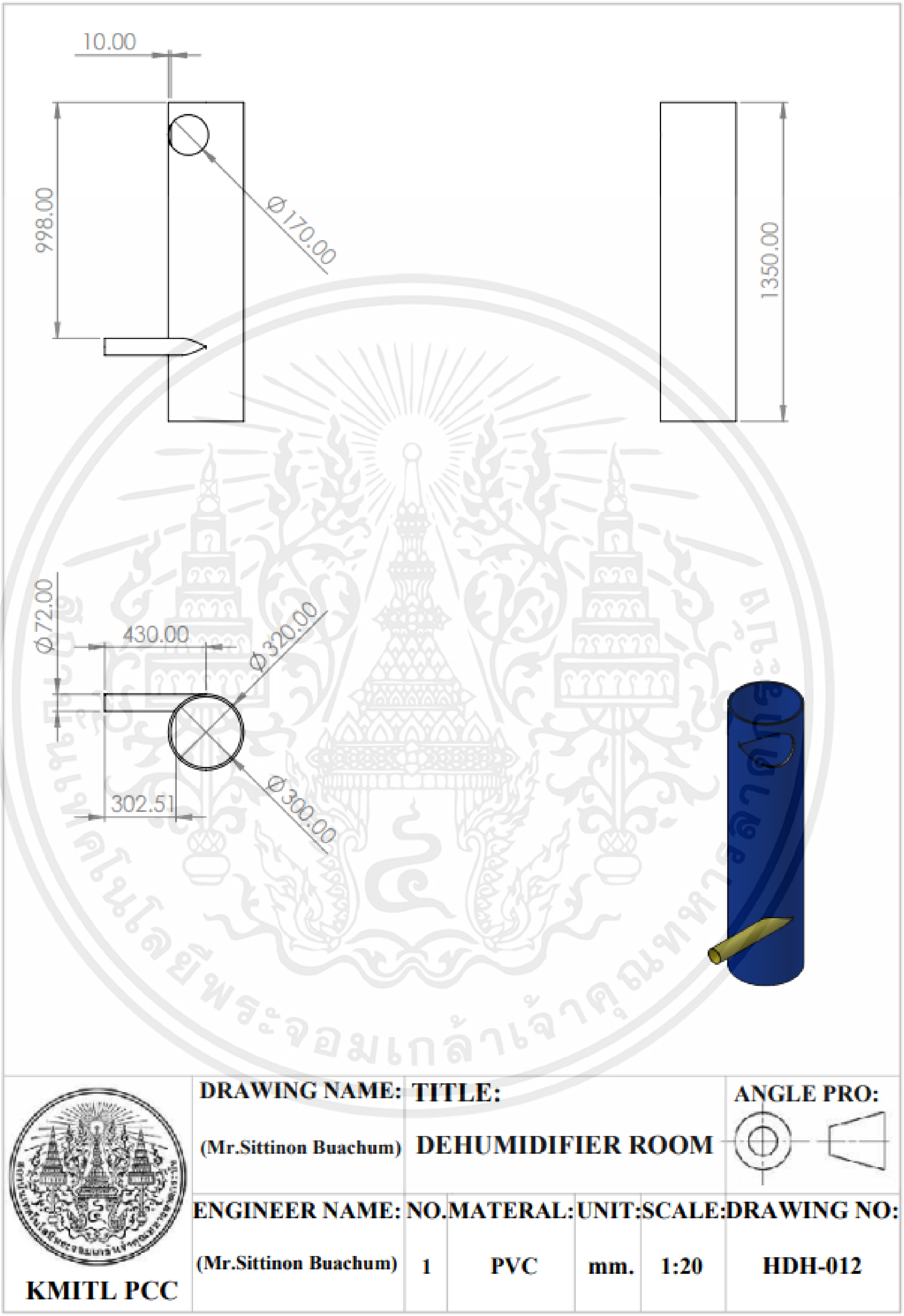
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



KMITL PCC	DRAWING NAME: (Mr.Sittinon Buachum)	TITLE: HUMIDIFIER ROOM				ANGLE PRO:
	ENGINEER NAME: (Mr.Sittinon Buachum)	NO. 1	MATERAL: PVC	UNIT: mm.	SCALE: 1:20	DRAWING NO: HDH-011

รูปที่ ก.12 ห้องทำความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 ห้องลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำกลั่น และปริมาณความเค็มในแต่ละระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตารางผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็ม ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง (จับเวลาทุกๆ 5 นาที)

ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	37.4	93.5	33.0	26.6
10	36.0	98.9	33.6	30.1
15	36.7	98.0	34.2	30.2
20	36.6	98.8	34.2	30.3
25	36.2	99.2	34.1	30.3
30	37.8	93.3	34.8	30.4
35	37.3	97.9	34.5	30.4
40	36.9	97.3	34.5	30.4
45	37.3	98.1	34.6	30.5
50	37.1	98.4	34.4	30.4
55	37.0	97.8	34.5	30.5
60	36.5	98.1	34.2	30.4
ค่าเฉลี่ย	36.90	97.44	34.22	30.04

ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	36.3	94.3	33.4	28.3
10	37.5	97.3	34.2	28.3
15	37.3	97.6	34.6	28.4
20	37.2	98.0	34.6	28.6
25	37.4	98.0	35.0	28.6
30	37.4	97.9	35.1	28.7
35	36.5	93.4	34.4	28.6
40	37.2	97.4	34.5	28.7
45	37.8	97.2	34.9	28.8
50	38.5	97.6	35.0	28.8
55	37.3	97.9	35.0	29.0
60	37.9	97.6	35.2	29.1
ค่าเฉลี่ย	37.36	97.02	34.66	28.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	40.6	94.0	38.5	27.6
10	40.5	91.5	35.2	29.1
15	40.2	88.2	35.0	29.1
20	40.2	93.3	35.0	29.3
25	40.9	91.2	31.1	29.3
30	41.0	90.1	35.3	29.4
35	40.0	92.3	35.7	29.4
40	41.2	92.8	35.1	29.5
45	41.2	92.5	35.3	29.6
50	41.4	92.3	36.1	29.7
55	41.1	90.2	36.1	29.7
60	40.7	89.1	36.7	29.8
ค่าเฉลี่ย	40.75	91.46	35.43	29.30

ตารางที่ ข.2 ตารางผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็ม ที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง (จับเวลาทุกๆ 5 นาที)

ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	37.1	95.3	33.9	26.7
10	35.1	95.4	34.1	30.0
15	35.4	95.9	34.3	30.0
20	35.2	93.8	34.3	30.1
25	35.4	93.7	34.4	30.2
30	35.4	98.3	34.2	30.1
35	35.3	90.0	34.9	30.2
40	35.8	92.2	34.4	30.1
45	35.4	91.1	33.9	30.2
50	35.1	93.1	33.8	30.1
55	35.3	92.9	33.6	30.2
60	34.9	93.4	33.6	30.1
ค่าเฉลี่ย	35.45	93.76	34.12	29.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	37.7	105	38.8	29.8
10	41.8	104	42.3	29.7
15	50.6	105.9	35.4	29.8
20	37.9	99.7	35.6	30.5
25	38.2	100.3	35.7	30.5
30	36.8	100.6	36.2	30.5
35	37.6	62.28	35.8	30.6
40	37.1	101.3	36.1	30.7
45	37.3	101.4	36.2	30.8
50	36.6	101.7	36.3	30.8
55	38.9	106.9	35.2	31.0
60	34.1	103.2	35.5	30.9
ค่าเฉลี่ย	38.72	99.36	36.59	30.47

ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	35.7	99.6	34.5	30.0
10	36.8	99.6	35.2	30.0
15	37.1	101.2	35.5	30.2
20	37.3	99.0	35.7	30.2
25	37.1	99.5	35.1	30.1
30	37.1	100.8	35.2	30.2
35	37.1	100.0	35.2	30.3
40	37.5	100.1	35.3	30.3
45	37.4	102.0	35.2	30.3
50	36.8	102.0	35.2	30.5
55	37.0	102.1	35.4	30.3
60	36.8	99.8	35.2	30.4
ค่าเฉลี่ย	36.98	100.48	35.23	30.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางผลการทดลองการหาปริมาณน้ำจืด และปริมาณความเค็ม ที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง (จับเวลาทุกๆ 5 นาที)

ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	36.4	89.5	34.5	29.5
10	36.2	90.1	34.3	29.5
15	36.6	89.1	34.2	29.6
20	36.5	90.2	34.3	29.6
25	36.8	90.2	34.3	29.6
30	36.5	90.7	34.3	29.7
35	36.2	90.8	35.0	29.7
40	35.7	90.0	34.7	29.7
45	35.7	90.3	34.7	29.8
50	35.7	89.3	34.6	29.8
55	35.6	89.3	34.8	29.9
60	35.8	89.1	34.7	30.0
ค่าเฉลี่ย	36.14	89.88	34.53	29.70

ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	36.2	89.9	37.8	27.1
10	35.8	88.1	35.9	26.6
15	35.1	88.1	35.6	27.0
20	35.2	90.2	34.4	26.4
25	35.2	90.0	34.5	26.8
30	35.2	90.8	34.5	26.3
35	35.9	91.8	34.5	26.6
40	35.6	92.6	34.8	26.2
45	35.7	91.4	34.4	26.1
50	35.2	90.4	34.5	25.9
55	36.2	86.6	34.2	26.3
60	39.1	78.6	34.5	26.1
ค่าเฉลี่ย	35.87	89.04	34.97	26.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิห้องทำความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำทะเลร้อน (องศา)	อุณหภูมิห้องลดความชื้น (องศา)	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ (องศา)
5	40.3	91.7	37.0	29.9
10	35.9	89.9	35.0	30.0
15	35.7	89.9	34.8	30.0
20	35.4	89.2	34.5	30.0
25	35.5	88.2	34.5	30.0
30	35.3	88.9	34.5	30.1
35	35.6	87.8	34.6	30.1
40	36.1	89.2	36.1	30.0
45	35.9	87.7	35.5	30.0
50	36.1	90.0	35.7	30.1
55	36.0	90.0	35.2	30.0
60	36.0	89.5	35.1	30.1
ค่าเฉลี่ย	36.15	89.33	35.21	30.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวรุ่งทิพย์ จันทวิลัย
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่อยู่	24 หมู่ 2 ตำบลเขาน้อย อำเภอสิชล จังหวัด นครศรีธรรมราช 80120

ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต-อังกฤษ) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาภาคใต้
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกลแขนงเครื่องกลเกษตรและอาหาร) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงาน และกิจกรรม
- ได้รับเกียรติบัตรและทุนเรียนดีประจำปี สำหรับนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลแขนงเครื่องกลเกษตรและอาหาร 3 ปีซ้อน
- ผ่านการเข้าร่วมกิจกรรม Design Camp Startup Oriented ประจำปีการศึกษา 2562
- ได้ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการและระดับคะแนนดีเยี่ยมด้าน “การใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวภัทรพรรณ ไชยโกฏิ
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา จังหวัดอุบลราชธานี
ที่อยู่ 78 หมู่ 1 ตำบลระเว อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี 34110

ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนพิบูลมังสาหาร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2563 จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงาน และกิจกรรม
- 2561 นักศึกษาช่วยสอนในโครงการเพชรยอดมงกฎ
- 2562 นักศึกษาในโครงการการศึกษาหลักสูตรด้านวิทยาการพลังงาน (วพศ.) รุ่นที่ 4
- 2563 โครงการการประกวดแนวคิด “สานสร้างชุมชนด้วย Circular Living”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสิทธินนท์ บัวชุม
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา	จังหวัดตรัง
ที่อยู่	93/3 หมู่ 4 ตำบลย่านซื่อ อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง 92110

ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนกันตังพิทยากร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2563 จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ผลงาน และกิจกรรม	- 2562 For participating in ‘Design Camp’ Startup oriented - เข้าร่วมการอบรมความรู้ และศึกษางานบริษัทโอเฟียร์ไทยแลนด์ (บัวหลวง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้