

เครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์
Liquid nutrient temperature reduction for hydroponic



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาของเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์
Liquid nutrient temperature reduction for hydroponic



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาของเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LIQUID NUTRIENT TEMPERATURE REDUCTION FOR HYDROPONIC



THAPANEE SINGKHONKHET
THANANOP WONGSANTHAPOSIT
PITCHAPORN FUNSUK
ANURAK PIMONRAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ADACAMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์

Liquid nutrient temperature reduction for hydroponic

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวธัญปณี สิงขรเขต รหัสนักศึกษา 60010260

นายธนาท พวงศ์เศรษฐ์ภูษิต รหัสนักศึกษา 60010434

นางสาวพิชชาพร ฝั้นสุข รหัสนักศึกษา 60010697


นายอนุรักษ์ พิมลรัตน์ รหัสนักศึกษา 60011142

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร)

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทรชัย วิชัยยะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวฐาปนี	สิงขรเขต	60010260
	นายธนานพ	วงศ์เศรษฐภูษิต	60010434
	นางสาวพิชชาพร	ผื่นสุข	60010697
	นายอนุรักษ	ทิมลรัตน์	60011142
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทรชัย	วิชัยยะ	
ปีการศึกษา	2563		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องต้นแบบเพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารซึ่งสามารถควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานในการเปิด-ปิดพัดลม และเปิด-ปิดปั๊มสเปรย์ด้วยแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งการทดสอบเครื่องนั้นดำเนินการร่วมกับโรงเรียน คณะวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อสารละลายธาตุอาหารที่ไหลผ่านรางปลูกพืชได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ส่งผลให้สารละลายธาตุอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้ไม่สูงเกิน 30 °C และอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหารได้ปกติคือ 24 - 28 °C ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1. ปิดระบบทั้งหมด (Fans off spray off) 2. เปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on spray on) โดยของไหลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำประปา ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้า 50 °C อุณหภูมิของน้ำทางออก 34.50 °C ได้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ 31.42 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้า 40 °C อุณหภูมิของน้ำทางออก 31.23 °C ได้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ 22.55 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้า 35 °C อุณหภูมิของน้ำทางออก 29.73 °C ได้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ 15.08 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้า 32 °C อุณหภูมิของน้ำทางออก 29.21 °C ได้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ 8.72 % จากข้อมูลทั้งหมดนี้สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำทางเข้า ถ้าอุณหภูมิของน้ำทางเข้าสูง ประสิทธิภาพก็จะสูงด้วย แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำทางเข้าต่ำ ประสิทธิภาพก็จะต่ำ เนื่องจากมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นเครื่องลดอุณหภูมิน้ำสารละลายธาตุอาหารที่ถูกพัฒนาขึ้นมาี้ สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้จริง

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title Liquid Nutrient temperature reduction for Hydroponic

Authors Ms. Thapanee Singkhonkhet 60010260

Mr. Thananop Wongsanthaposit 60010434

Ms. Pitchaporn Funsuk 60010697

Mr. Anurak Pimonrat 60011142

Thesis Advisor Asst. Prof. Pattarachai Vichaiya

Year 2020

ABSTRACT

The objective of this project was to assign a cooling system for hydroponic liquid nutrient for plant grown in Evaporative cooling Greenhouse. During the days, sunlight transfer heat through plant grown duct to liquid nutrient and raised its temperature to almost 50°C. At this temperature liquid not only destroy plant's root but also inhibited plant grow. Liquid temperature of 24 – 28 °C is an ideal temperature for plant grow reduction of liquid nutrient is essential. A heat exchanger with evaporative cooling is unstructured to reduce liquid temperature. It consists of 4 heat exchangers and a set of [width x length] m² of evaporative cooling system. Experiments were conduct based on “on” and “off” of evaporative cooling system. The reduction efficiency of the liquid at 31.42%, 22.55%, 15.06%, and 8.72% were observed for 50 °C, 40 °C, 35 °C, and 32 °C of water temperature inlet. It was found that the more the different temperature between liquid nutrient and air temperature was, the more efficiency of the unit were. It is concluded that the cooling system was successfully operational.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทรชัย วิชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่ช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ ชาววิศวกรรมเกษตร ที่สละเวลาให้คำปรึกษาให้ความช่วยเหลือ ทั้งกำลังกายและกำลังใจในการทดลองเสมอ

ขอบคุณพี่ได้ พี่แอม น้าสิทธ์ และบิดาของนางสาวธัญปวี สิงขรเขต ที่ให้การสนับสนุนการทำงานและให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณงามความดีที่เกิดจากปณิธานอันแน่วแน่ของข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดาที่รักและเคารพ ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้วิจัย



ฐาปนี สิงขรเขต
 ธนานพ วงศ์เศียรฐภูมิ
 พิชาพร ฝันสุข
 อนรรักษ์ พิมลรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การปลูกพืชแบบไฮโดรโปรอนิกส์	3
2.2 Internet of Things (IoT)	3
2.3 ระบบควบคุม แสดงผล และอุปกรณ์ตรวจวัดของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	4
2.3.1 NodeMCU ESP8266	4
2.3.2 Blynk Platform	5
2.3.2.1 Blynk app	5
2.3.2.2 Blynk Server	5
2.3.2.3 Blynk Libraries	5
2.3.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20)	6
2.3.4 เซนเซอร์วัดอัตราการไหล (YF-S201)	7
2.4 Heat transfer	7
2.4.1 Conduction	7
2.4.2 Convection	8
2.4.3 Radiation	8
2.5 Heat exchanger	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 Heat	9
2.6.1 Sensible heat	9
2.6.2 Latent heat	9
2.7 แผนภูมิไซโครเมตริก	10
2.7.1 อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)	11
2.7.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	11
2.7.3 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume)	12
2.7.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)	12
2.7.5 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)	13
2.7.6 อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)	13
2.7.7 เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line)	14
2.7.8 เอนทัลปี (Enthalpy)	14
2.8 การลดอุณหภูมิของอากาศด้วย Evaporative Cooling	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	16
3.1 การออกแบบและสร้างโครงสร้างเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	16
3.2 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมการเปิด-ปิด พัดลม, บั๊มสเปรย์, บั๊มน้ำ และแสดงค่า อุณหภูมิน้ำ, อุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลของน้ำ	18
3.3 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	19
3.3.1 เครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	19
3.3.2 การใช้งานของผู้ควบคุม	19
3.3.3 หลักการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	21
3.4 การหาความเร็วของอากาศ ณ ทางเข้าและทางออกของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารด้วยเครื่องวัดความเร็วลม Hot wire Anemometer Testo รุ่น 435	21
3.5 การทดลองหาอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	23
3.6 การทดลองหาอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger	23
3.7 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad	23
3.8 การหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat Exchanger	24
3.8.1 คำนวณหาพลังงานความร้อนของน้ำที่คายออกไปในอากาศ (Q_{water})	24
3.8.2 คำนวณหาพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเทออกไปให้น้ำ (Q_{air})	24
3.8.3 คำนวณประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat Exchanger (\mathcal{E})	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4 ผลการทดลอง	25
4.1 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำ	25
4.2 การทดลองหาอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger	26
4.3 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ heat exchanger	26
4.3.1 การหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	27
4.3.2 การหาพลังงานความร้อนที่น้ำคายออกไปให้อากาศ (Q_{water})	28
4.3.3 การหาพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเทออกไปให้น้ำ (Q_{air})	28
4.3.4 คำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร (\mathcal{E})	29
4.4 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%)	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ	32
 บรรณานุกรม	33
 ภาคผนวก	34
ภาคผนวก ก. ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำ	35
ภาคผนวก ข. ความเร็วลมเฉลี่ย	37
ภาคผนวก ค. ผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger	39
ภาคผนวก ง. ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่ 2.1 NodeMCU ESP8266	4
รูปที่ 2.2 Blynk Platform	5
รูปที่ 2.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20)	6
รูปที่ 2.4 เซนเซอร์วัดอัตราการไหล (YF-S201)	7
รูปที่ 2.5 ขนาดพื้นผิวครีบริบที่วางตัวในแนวตั้ง	8
รูปที่ 2.6 Psychometric Chart ของ ASHRAE	10
รูปที่ 2.7 แสดงอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)	11
รูปที่ 2.8 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	11
รูปที่ 2.9 แสดงปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume)	12
รูปที่ 2.10 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)	12
รูปที่ 2.11 แสดงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)	13
รูปที่ 2.12 แสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)	13
รูปที่ 2.13 แสดงเอนทัลปี (Enthalpy)	14
รูปที่ 2.14 Evaporative Cooling Systems	15
รูปที่ 2.15 แสดงการลดอุณหภูมิโดยเอนทัลปีคงที่	15
รูปที่ 3.1 แสดงภาพ 3 มิติ ของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	16
รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านบนของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	17
รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	17
รูปที่ 3.4 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	18
รูปที่ 3.5 ระบบการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร	20
รูปที่ 3.6 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน Blynk ที่แสดงค่าต่าง ๆ ผ่านสมาร์ตโฟน	20
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งในการวัดหาความเร็วลมจำนวน 95 จุด	21
รูปที่ 3.8 จุดสีแดงคือตัวอย่างตำแหน่งที่วัดความเร็วลม	22
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ Hot wire Anemometer Testo รุ่น 435	22
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ (%) กับเงื่อนไขการทดลอง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1	ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ (°C) ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	25
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	26
ตารางที่ 4.3	ความเร็วลมเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ	27
ตารางที่ 4.4	ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on)	29
ตารางที่ 4.5	ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on)	31
ตารางที่ ก	ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำ (°C) ในแต่ละการทดลอง	36
ตารางที่ ข	ความเร็วลมเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	38
ตารางที่ ค	ผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	40
ตารางที่ ง	ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ในเงื่อนไขการทดลองแบบระบบ Evaporative cooling	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ สารละลายธาตุอาหารที่ไหลผ่านรากปลูกพืชเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ส่งผลให้สารละลายธาตุอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสารละลายธาตุอาหารที่มีอุณหภูมิสูงนั้นไม่เหมาะต่อการดูดซึมธาตุอาหาร ดังนั้นควรรักษาอุณหภูมิของน้ำไม่ให้เกิน 30 °C และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหารได้ปกติคือ 24 – 28 °C เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี

ดังนั้นการลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารจึงเป็นเรื่องสำคัญ จึงได้มีการออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารโดยอาศัยหลักการ 2 หลักการ คือ 1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางคือท่อทองแดง โดยที่น้ำร้อนจะไหลไปที่ท่อทองแดงและจากท่อทองแดงจะถ่ายเทความร้อนไปที่ครีป 2. การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางซึ่งคืออากาศ ในการระบายความร้อนจากครีปไปยังอากาศ จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถบอกได้ว่าวิธีการของเครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารนั้นมีลักษณะเป็น Heat Exchanger

ซึ่งการจะถ่ายเทความร้อนได้ดีนั้น จะต้องเกิดการลดอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นจึงใช้ระบบ Evaporative cooling ในการลดอุณหภูมิของอากาศ โดยการสเปรย์น้ำลงบน Cooling pad เมื่ออากาศภายนอกจะไหลผ่าน Cooling pad โดยพัดลมแล้ว จะส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดลง

ดังนั้นเป้าหมายของโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบเครื่องต้นแบบเพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร ที่สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในทุกพื้นที่ได้สะดวก และสามารถแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิของน้ำทางเข้า, อุณหภูมิของน้ำทางออก, อุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องที่ผ่าน Cooling pad พร้อมทั้งควบคุมการทำงานเปิด-ปิดพัดลม, เปิด-ปิดปั๊มสเปรย์ได้จากทุกที่ผ่านทางแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อสร้างความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบเครื่องต้นแบบเพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในโรงเรือนปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ โดยอาศัยวิธีการของ Heat Exchanger
- 2) เพื่อทดสอบการลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในโรงเรือนปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ โดยใช้แผงคอยล์ร้อนที่มาจาก Condensing unit ของแอร์จำนวน 4 แผง, พัดลมที่มาจากแอร์เพื่อการระบายอากาศจำนวน 4 ตัว, Cooling pad กว้าง 60 cm ยาว 45 cm สูง 15 cm จำนวน 6 แผง, หัวพ่นหมอกจำนวน 12 หัว, NodeMCU ESP 8266 จำนวน 2 บอร์ด, เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 จำนวน 10 ตัว ในการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำ และแอปพลิเคชัน Blynk ในการควบคุมการเปิด-ปิดของพัดลม และเปิด-ปิดปั๊มสเปรย์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องต้นแบบเพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร ที่เหมาะสมกับโรงเรือนปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ พร้อมทั้งมีแอปพลิเคชันในการสื่อสารและให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการของ Heat Exchanger และงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) วัดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารทางเข้าและทางออกที่ได้จากการทดลองเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างเครื่องต้นแบบ
- 3) ออกแบบเครื่องต้นแบบการลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร
- 4) สร้างเครื่องต้นแบบการลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร
- 5) เขียนโปรแกรมโดยใช้ NodeMCU ESP8266 เพื่อควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ในการวัดอุณหภูมิ
- 6) ทดสอบเครื่องต้นแบบลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร
- 7) ปรับปรุงเครื่องต้นแบบลดอุณหภูมิเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นหลังจากการทดสอบเครื่อง
- 8) สรุปผลการทดลองและอภิปรายผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์

Hydroponics เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก (nonsubstrate หรือ water culture) กล่าวคือ จะทำการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืช โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง (Water culture) เนื่องจาก คำว่า Hydroponics มาจากการรวมคำในภาษากรีกสองคำ คือ คำว่า "Hydro" หมายถึง "น้ำ" และ "Ponos" หมายถึง "งาน" ซึ่งเมื่อรวมคำสองคำเข้าด้วยกัน ความหมายก็คือ "Water-working" หรือหมายถึง "การทำงานของน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช" การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์นี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของพืชให้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต

เมื่อสารละลายธาตุอาหารที่ไหลผ่านรากพืชได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ส่งผลให้อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารจะลดต่ำลง ทำให้พืชดูดซึมธาตุอาหารทางรากได้ไม่เต็มที่ พืชจึงมีอาการขาดธาตุอาหาร

กรณีที่สารละลายธาตุอาหารมีอุณหภูมิสูงมากติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน จะพบอาการขอบใบไหม้ (Tip burn) โดยต้นเหตุของอาการนี้เกิดจากการขาดธาตุแคลเซียมในพืช แต่ส่วนใหญ่ไม่ได้เกิดจากธาตุแคลเซียมในระบบปลูกไม่เพียงพอ แต่เกิดจากรากพืชมีอัตราการดูดซึมธาตุแคลเซียมต่ำ เนื่องจากสภาพรากพืชเจริญเติบโตและทำงานได้ไม่ดี เพราะรากพืชขาดออกซิเจน สาเหตุมาจากอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารสูง

2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things คือ อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ซึ่งหมายถึง เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ, รถยนต์, ตู้เย็น, โทรทัศน์ และอื่น ๆ เข้าไว้ด้วยกัน โดยเครื่องมือต่าง ๆ สามารถเชื่อมโยงและสื่อสารกันได้โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า, โทรศัพท์มือถือ และเครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 ระบบควบคุม แสดงผล และอุปกรณ์ตรวจวัดของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

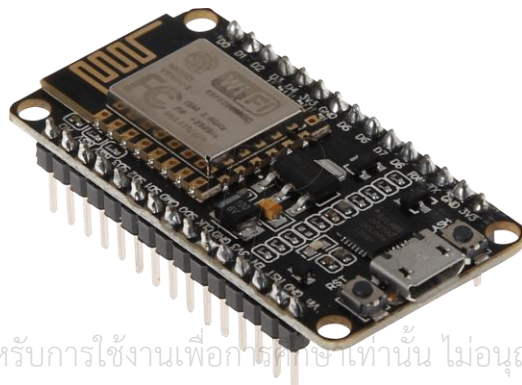
2.3.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU คือ บอร์ดคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะการทำงานตามคำสั่งภาษา C ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้สามารถเขียนในภาษา C++ คล้าย Arduino แต่มีลักษณะพิเศษเนื่องจากการเชื่อมต่อกับ Wi-Fi การควบคุมการทำงานสามารถใช้ โปรแกรม Arduino IDE ได้เช่นเดียวกันกับบอร์ด Arduino

NodeMCU ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้ มีจำนวนขาพอร์ต อินพุต และเอาต์พุตมากพอสำหรับการนำไปใช้งานจริง สามารถต่อกับเซ็นเซอร์ได้ทั้งแบบดิจิตอล และอนาล็อก อีกทั้งสามารถต่อเพื่อขับอุปกรณ์เอาต์พุตให้ทำงานโดยที่ผู้ใช้งานต้องเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานให้ NodeMCU ESP8266 สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ หรือ ปลั๊กไฟฟ้า เป็นต้น

โครงสร้างของ NodeMCU ESP8266

- GPIO 0 เป็นขาสำหรับเลือกโหมด โดยเมื่อต่อกับ GND จะเข้าสู่โหมดโปรแกรม
- GPIO 15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เพื่อให้โมดูลทำงาน
- CH_PD หรือ EN เป็นขาที่ต้องต่อไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ ให้โมดูลทำงาน
- โมดูลบางรุ่นไม่มีขา Reset มาให้ เมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อขา CH_PD กับ GNDReset ต่อกับไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ โดยเมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อกับไฟ
- VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเลี้ยง ใช้ไฟเลี้ยง 3.0 - 3.6 V
- GND ต่อกับไฟ 0 V และ GPIO เป็นขาดิจิตอล INPUT/OUTPUT ทำงานที่ไฟ 3.3 V
- ADC เป็นขา Analog INPUT รับแรงดันสูงสุด 1 V ความละเอียด 10 bit หรือ 1024 ค่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัด **รูปที่ 2.1** NodeMCU ESP8266 เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 Blynk Platform

Blynk Platform เป็น Open Source แพลตฟอร์มอย่างหนึ่ง ซึ่งออกแบบมาสำหรับควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์จากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน รองรับการทำงานใน iOS Platform และ Android Platform Blynk มีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน ประกอบด้วย

2.3.2.1 Blynk app

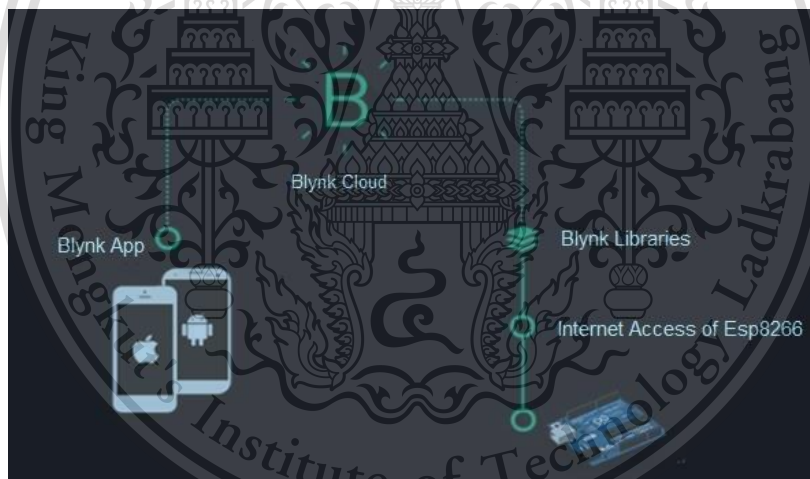
Blynk app คือ แอปพลิเคชันบนมือถือมีทั้งระบบ Android และระบบ iOS ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ

2.3.2.2 Blynk Server

Blynk Server คือ ตัวกลางในรูปแบบ Cloud service สำหรับทำให้อุปกรณ์ IoT สื่อสารกับสมาร์ตโฟนสามารถเก็บข้อมูลและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้

2.3.2.3 Blynk Libraries

Blynk Libraries คือ ชุด Libraries สำหรับพัฒนาโปรแกรมใน Platform ของอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 2.2 Blynk Platform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20)

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ คือ เซ็นเซอร์เพื่อการรับรู้หรือตรวจจกระดับอุณหภูมิ โดยทำการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อกไปสู่สัญญาณดิจิทัล โดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

DS18B20 เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดระดับอุณหภูมิได้ในช่วง $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความแม่นยำ $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ใช้แรงดันไฟเลี้ยงในช่วง 3.0 V ถึง 5.5 V มี 3 ขา คือ GND (Pin 1), DQ (Pin 2), VDD (Pin 3) สามารถนำไอซีมาพ่วงต่อกันในบัสเดียว (เส้นสัญญาณ DQ) ได้หลายอุปกรณ์ ในการใช้งานต้องต่อ pull-up $4.7\text{ k}\Omega$ (หรือน้อยกว่าเล็กน้อย) ที่ขา DQ กับแรงดันไฟเลี้ยง และใช้เวลาในการแปลงข้อมูลสำหรับ ADC ไม่เกิน $750\text{ m}\cdot\text{sec}$ (มิลลิวินาที) สำหรับข้อมูล 12 บิต

สามารถนำเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้าน IoT, Smart Farm, Temperature Monitor, Weather Station หรืองานด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดอุณหภูมิได้ ข้อดีของ DS18B20 Temperature Sensor คือมีรูปแบบแพ็คเกจของตัวเซ็นเซอร์หลากหลายรูปแบบ เช่น รูปแบบ IC (Integrated Circuit) รูปแบบหัวเซ็นเซอร์แบบกันน้ำ ทำให้สามารถใช้วัดอุณหภูมิในของเหลวได้ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้แพ็คเกจของเซ็นเซอร์ DS18B20 ให้เหมาะสมกับชนิดของงานที่ใช้ได้ตามต้องการ



รูปที่ 2.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.4 เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล (YF-S201)

เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลเชิงกลที่สามารถวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและก๊าซ ออกแบบโดยใช้ชุดกังหันติดตั้งภายในท่อที่ของเหลวไหลผ่านทำให้วงล้อใบพัดหมุน โดยทั่วไปความเร็วที่ใบพัดหมุน สามารถวัดได้ด้วยหลักการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากคอยล์ตรวจจับแม่เหล็ก (Magnetic pick-up coil) มีลักษณะเป็นขดลวดพันรอบแม่เหล็กถาวรติดตั้งอยู่ที่ตัวเครื่องมือวัด โดยใบพัดต้องทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก เมื่อใบพัดแต่ละใบเคลื่อนที่ตัดผ่านคอยล์ตรวจจับแม่เหล็กจะเกิดค่าแรงดันไฟฟ้า ทางด้านเอาต์พุตออกมา มีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse)



รูปที่ 2.4 เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล (YF-S201)

2.4 Heat transfer

Heat transfer คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อน เนื่องจากมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ ซึ่งมีหลักการในการถ่ายเทความร้อนอยู่ 3 ประเภท คือ 1. Conduction 2. Convection 3. Radiation

2.4.1 Conduction

Conduction เป็นวิธีการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างพื้นผิวของของแข็งด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง โดยอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนนี้เป็นของแข็ง (ภัทรชัย วิชัยยะ, 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2 Convection

Convection เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อน โดยอาศัยตัวกลางคือของไหล ซึ่งอาจมีแหล่งความร้อนเป็นของแข็งผ่านความร้อนไปสู่ของเหลว หรือก๊าซ หรืออีกกรณีคือ แหล่งความร้อนเป็นของเหลวผ่านความร้อนไปสู่ของเหลว หรือก๊าซ (ภัทรชัย วิชัยยะ, 2560)

2.4.3 Radiation

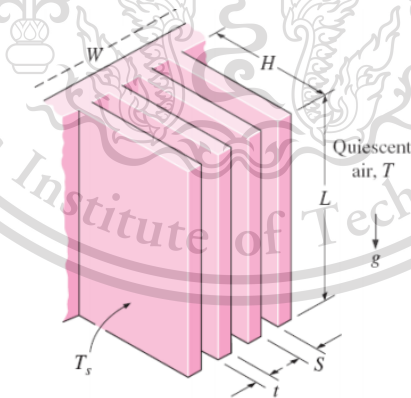
Radiation เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนรูปแบบนี้ จะถ่ายเทพลังงานความร้อนโดยอาศัยคลื่น Electromagnetic Wave เมื่อคลื่นนี้กระทบสสาร จะเปลี่ยนพลังงานคลื่นเป็นพลังงานความร้อน (ภัทรชัย วิชัยยะ, 2560)

2.5 Heat exchanger

Heat exchanger คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการถ่ายโอนความร้อนของของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลต้องไม่ผสมกัน

พื้นผิวครีป (Heat sinks) มีหลายรูปร่าง ซึ่งถูกใช้บ่อยในการระบายความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยพลังงานสลายไป โดยอุปกรณ์ที่ได้รับความร้อนจะถูกถ่ายโอนความร้อนไปสู่ผิวครีปจากการนำความร้อน และจากผิวครีปไปสู่อากาศแวดล้อม ด้วยการพาความร้อน

โดยในกรณีนี้ ผิวครีปนั้นมีอุณหภูมิที่คงที่ และความหนาครีป t มีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับระยะห่าง S ระยะห่างครีปที่เหมาะสมสำหรับผิวครีปในแนวตั้งเป็น



รูปที่ 2.5 ขนาดพื้นผิวครีปที่วางตัวในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 Heat

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ที่มีการถ่ายเทพลังงานจาก ระบบ, ขอบเขต หรือวัตถุหนึ่ง โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ

2.6.1 Sensible heat

Sensible heat คือ พลังงานหรือความร้อนที่ใส่เข้าไปในระบบแล้ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบ โดยความร้อนเปลี่ยนแปลงไปนั้น จะทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทของความร้อน ดังสมการ (ภัทรชัย วิชัยยะ, 2560)

$$\dot{Q} = \dot{m}c(\Delta T)$$

\dot{Q} : อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)

\dot{m} : อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

c : ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)

ΔT : ความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C)

2.6.2 Latent heat

Latent heat คือ พลังงานหรือความร้อนที่ใส่เข้าไปในระบบ แล้วอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง แต่สถานะของระบบมีการเปลี่ยนแปลง (ภัทรชัย วิชัยยะ, 2560)

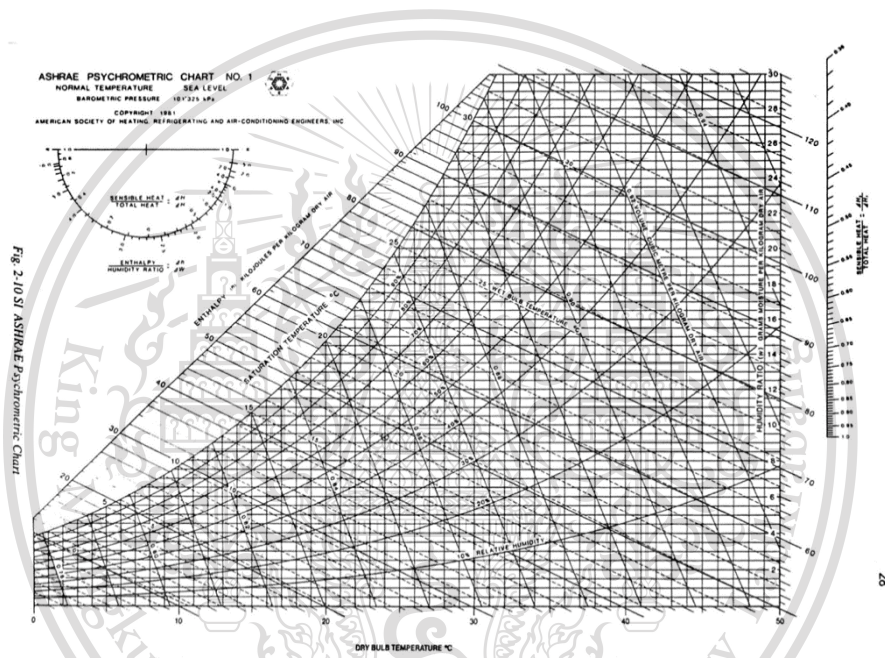
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 แผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิไซโครเมตริก เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์คุณสมบัติของของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปนอยู่ และนิยมใช้ในการคำนวณด้านการปรับอากาศ ช่วยให้คำนวณผลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีคุณสมบัติอากาศที่สำคัญต่าง ๆ ในแผนภูมิไซโครเมตริก ประกอบด้วย ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity), อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature), อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature), อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature), ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) และ เอนทัลปี (Enthalpy) รวมอยู่ในแผนภูมิ



รูปที่ 2.6 Psychrometric Chart ของ ASHRAE

ในกรณีที่ต้องการทราบสภาพอากาศ (state) จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติของอากาศอย่างน้อย 2 ค่า โดยคุณสมบัติของอากาศที่กำหนดในแผนภูมิไซโครเมตริก ประกอบด้วย

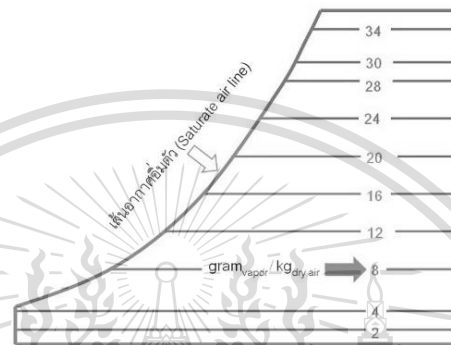
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.1 อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)

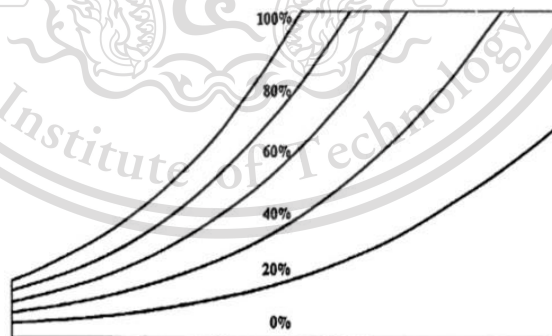
อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของปริมาณน้ำในอากาศกับมวลของอากาศแห้ง ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นอัตราส่วนความชื้น เป็นเส้นที่ลากจากเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) โดยที่ ค่าอัตราส่วนความชื้นด้านล่างจะน้อยเพราะอุณหภูมิต่ำส่วนที่อุณหภูมิสูง อัตราส่วนความชื้นก็จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอัตราส่วนความชื้นที่ปรากฏในแผนภูมิไซโครเมตริกมีหน่วยเป็นกรัมต่อกิโลกรัมมวลอากาศแห้ง (g vapor/kg dry Air)



รูปที่ 2.7 แสดงอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)

2.7.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนมวลของไอน้ำในอากาศต่อจำนวนมวลของไอน้ำอิ่มตัวในสถานะที่พิจารณา โดยเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นเส้นเดียวกับเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) หรือจุดที่อากาศสามารถรองรับปริมาณไอน้ำได้สูงสุดที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 2.8 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

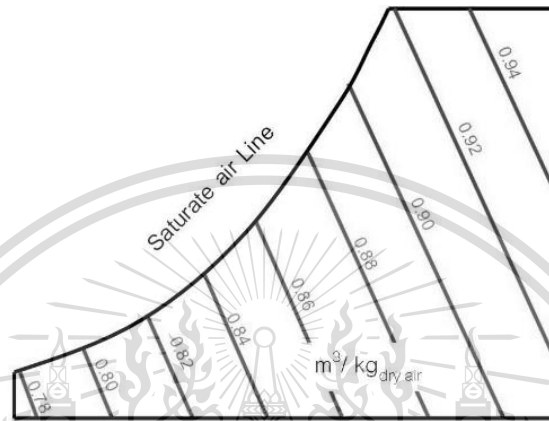
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.3 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume)

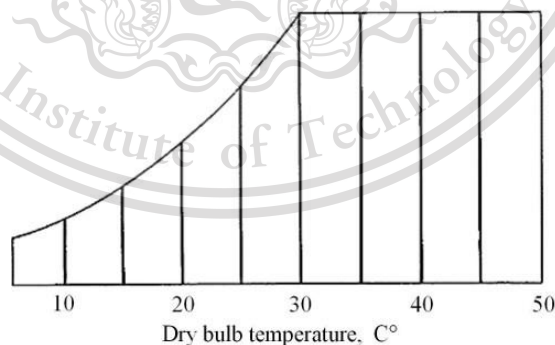
ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่อมวลของอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมมวลอากาศแห้ง ($\text{m}^3/\text{kg dry air}$) สำหรับเส้นแสดงปริมาตรจำเพาะที่อยู่ในแผนภูมิอากาศนั้นจะเป็นเส้นทแยงจากซ้ายลงไปขวา โดยเส้นที่อยู่ด้านล่างจะมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไปสู่ด้านบน



รูปที่ 2.9 แสดงปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

2.7.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) คือ อุณหภูมิอากาศที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ ค่าอุณหภูมิดังกล่าวคืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นตามแนวตั้ง โดยค่าจะเรียงตั้งแต่น้อยไปหามากจากซ้ายมือไปยังขวามือ



รูปที่ 2.10 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)

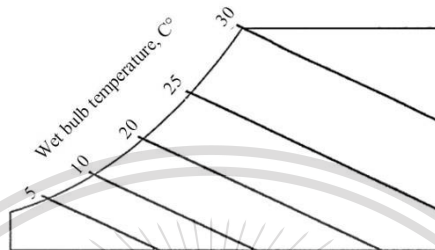
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.5 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) คือ อุณหภูมิของน้ำที่กำลังระเหย ในการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้นจะใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเดียวกับที่วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง โดยที่ปลายกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์มีผ้าชุบน้ำพอมพันกระเปาะไว้ สำหรับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่อยู่ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้น จะเอียงทแยงจากซ้ายไปขวาและค่าจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา

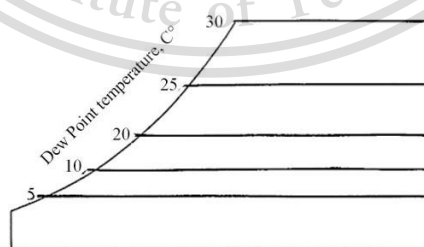


รูปที่ 2.11 แสดงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

ดังที่กล่าวข้างต้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศในบริเวณที่ทำการวัด ถ้ามีความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกมาก หมายความว่า มีความชื้นในอากาศน้อย น้ำจะระเหยได้มาก แต่ถ้ามีความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกน้อย หมายความว่า มีความชื้นในอากาศมาก น้ำจะระเหยได้น้อย

2.7.6 อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) คือ Unsaturated air สามารถทำให้กลายเป็น Saturated air โดยการลดอุณหภูมิอากาศให้ถึง Dew point Temperature เมื่ออากาศมีอุณหภูมิเท่ากับ Dew point Temperature ไอน้ำในอากาศจะควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ คือ ไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะ (State) จากก๊าซเป็นของเหลว (ภทรชัย วิชัยยะ, 2560)



รูปที่ 2.12 แสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

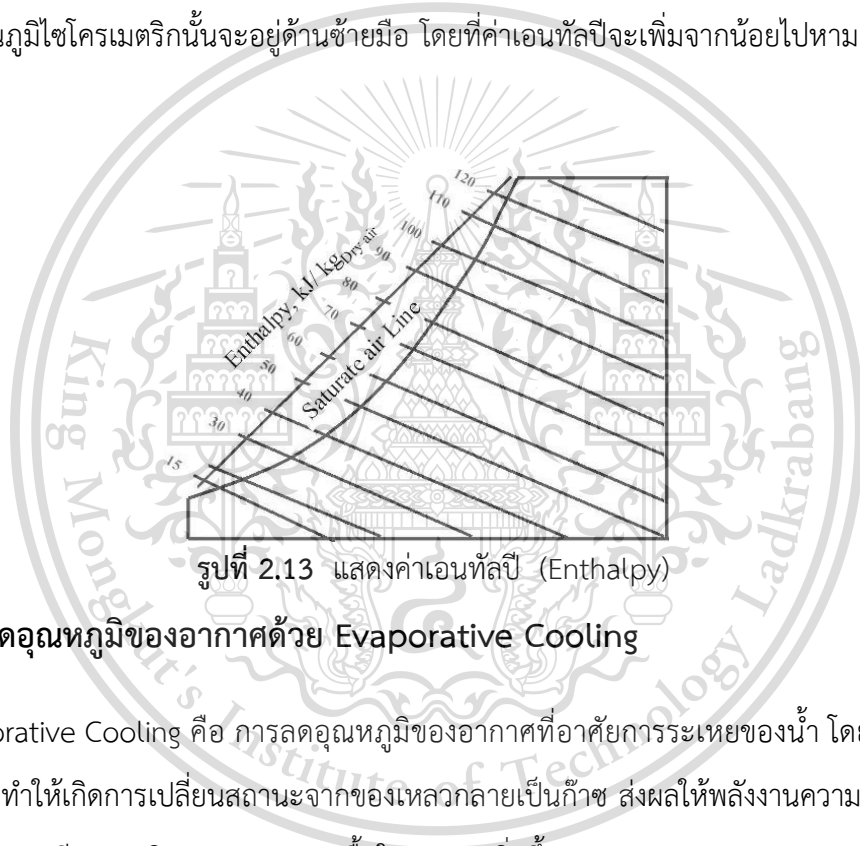
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.7 เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line)

เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line) เป็นเส้นที่อยู่ในแนวเดียวกันเส้นความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกสุดซ้ายมือในแผนภูมิอากาศ หรือเส้นอากาศอิ่มตัวคือเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% (100%RH) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ โดยจุดอากาศอิ่มตัวก็คือจุดที่อากาศ ณ อุณหภูมินั้น ๆ สามารถรองรับไอน้ำไว้ได้มาก

2.7.8 เอนทัลปี (Enthalpy)

ในทางเทอร์โมไดนามิกค่าเอนทัลปี (Enthalpy) คือ ค่าที่เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับพลังงานของความร้อนแฝงที่มีในอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัมมวลอากาศแห้ง (kJ/kg dry Air) เส้นแสดงระดับค่าเอนทัลปีในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะอยู่ด้านซ้ายมือ โดยที่ค่าเอนทัลปีจะเพิ่มจากน้อยไปหามากตามอุณหภูมิของอากาศ



รูปที่ 2.13 แสดงค่าเอนทัลปี (Enthalpy)

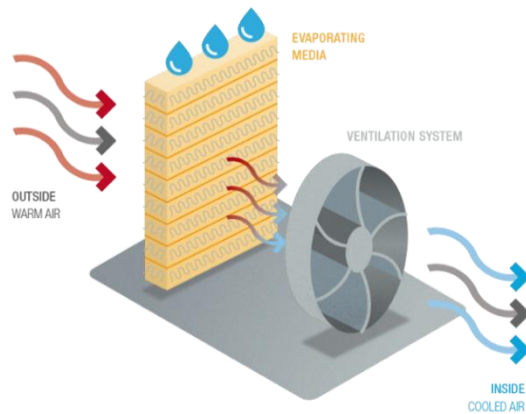
2.8 การลดอุณหภูมิของอากาศด้วย Evaporative Cooling

Evaporative Cooling คือ การลดอุณหภูมิของอากาศที่อาศัยการระเหยของน้ำ โดยความร้อนของอากาศเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นก๊าซ ส่งผลให้พลังงานความร้อนหายไปจากอากาศ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

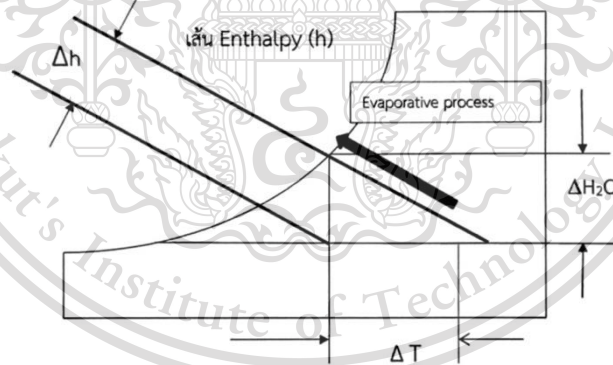
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.14 Evaporative Cooling Systems

การเกิดกระบวนการ Evaporative Cooling เป็นการเปลี่ยนแปลงโดยที่เอนทัลปีของอากาศไม่เปลี่ยนแปลง โดยที่ ความร้อนแฝง มีค่าเท่ากับ ความร้อนสัมผัส กล่าวคือ พลังงานเอนทัลปี ที่อยู่ในรูปของ ความร้อนแฝง ที่สามารถเปลี่ยนน้ำกลายเป็นไอน้ำและทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง ในกระบวนการเกิด Evaporative Cooling นั้น อุณหภูมิจะลดลงในทิศทางที่ความชื้นอากาศเพิ่มขึ้น ในทางทฤษฎี สามารถลด อุณหภูมิถึง อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (T_{dp}) หรือ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) = 100% ในทางปฏิบัติ ไม่สามารถทำได้ กล่าวคือ Evaporative Cooling สามารถทำได้ไม่เกิน 85% ของค่าทางทฤษฎี (ภัทรชัย วิชัยยะ, 2560)



รูปที่ 2.15 แสดงการลดอุณหภูมิโดยเอนทัลปีคงที่

จุดเด่นของ Evaporative Cooling เมื่ออากาศภายนอกร้อน และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะสามารถลดอุณหภูมิได้ถึง 8-10 °C ทั้งนี้ถ้าหากมีความเร็วลมที่ดี สามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้เพิ่มขึ้นการลดอุณหภูมิของอากาศที่อาศัยการระเหยของน้ำ เหมาะสำหรับการติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีพื้นที่มาก เพื่อประหยัดต้นทุนในการติดตั้งระบบระบายอากาศแบบใช้เครื่องปรับอากาศ สามารถติดตั้งเพื่อระบายความร้อนให้เครื่องแอร์คอมเพลสเซอร์ (ปั๊มลม) รวมทั้งการนำไปติดตั้งเพื่อระบายความร้อนให้กับเครื่อง Chiller และ Condensing unit ทำให้อายุการใช้งานของ compressor

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

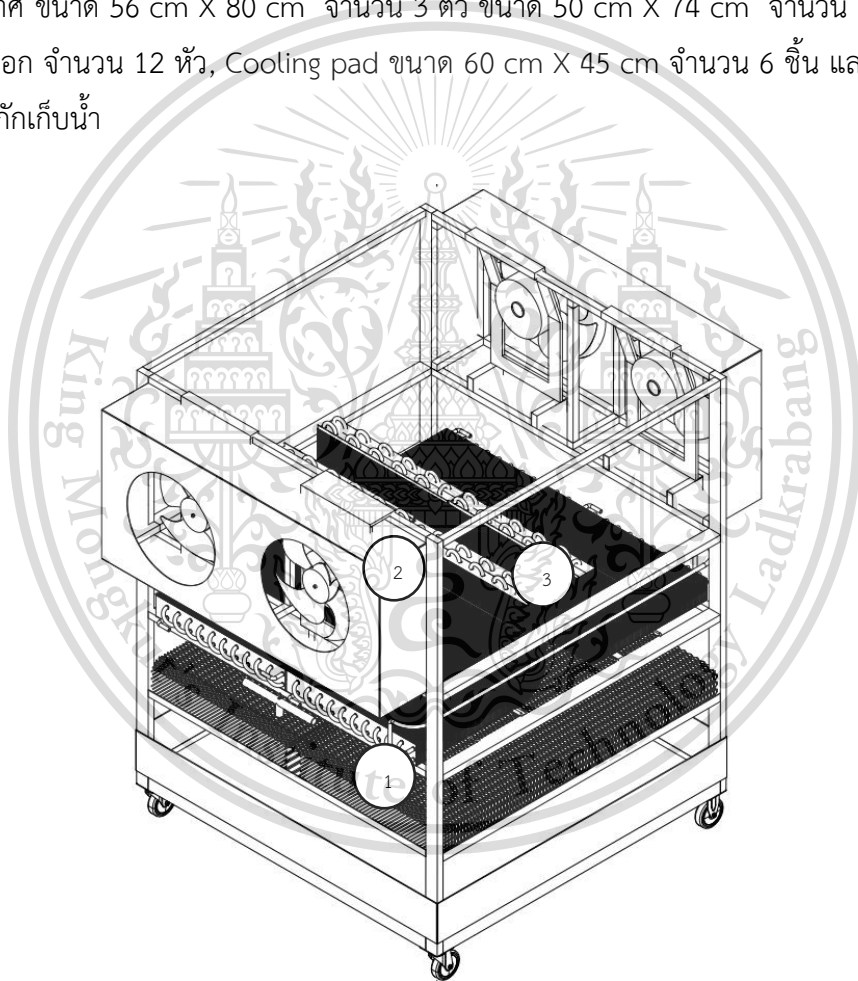
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

3.1 การออกแบบและสร้างโครงสร้างเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

โครงสร้างเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารมีลักษณะดังรูปที่ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ในผนังทั้ง 4 ด้านเป็นแผ่นไม้เพื่อบังคับทิศทางลมเข้าและออก และมีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 18 นิ้ว จำนวน 2 ตัว, 17 นิ้ว จำนวน 1 ตัว และ 15 นิ้ว จำนวน 1 ตัว ที่ส่วนบนของเครื่อง มีการติดตั้งคอยล์ร้อนจากเครื่องปรับอากาศ ขนาด 56 cm X 80 cm จำนวน 3 ตัว ขนาด 50 cm X 74 cm จำนวน 1 ตัว และมีการติดตั้งหัวพ่นหมอก จำนวน 12 หัว, Cooling pad ขนาด 60 cm X 45 cm จำนวน 6 ชั้น และในส่วนล่างสุดเป็นส่วนในการกักเก็บน้ำ



1 Cooling pad

2 พัดลมระบายอากาศ

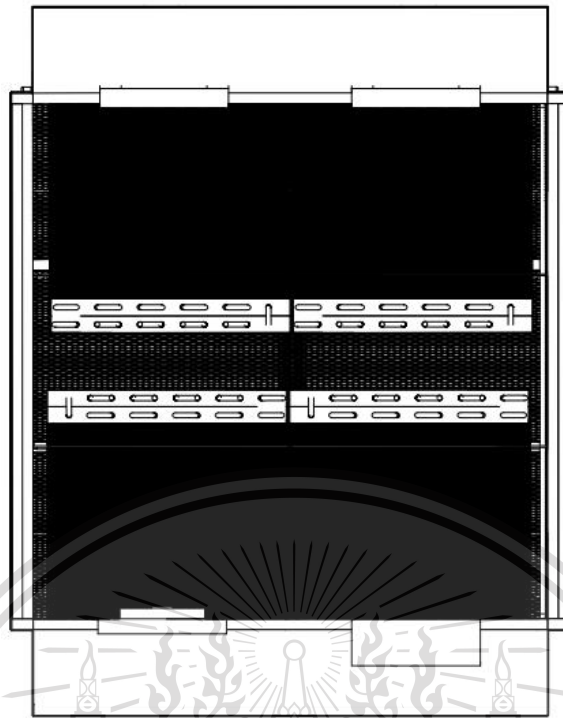
3 คอยล์ร้อนจากเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 3.1 แสดงภาพ 3 มิติ ของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

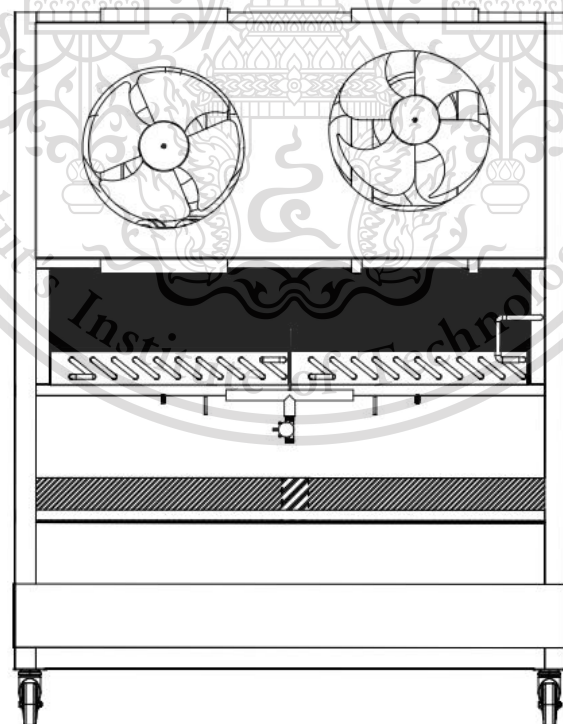
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



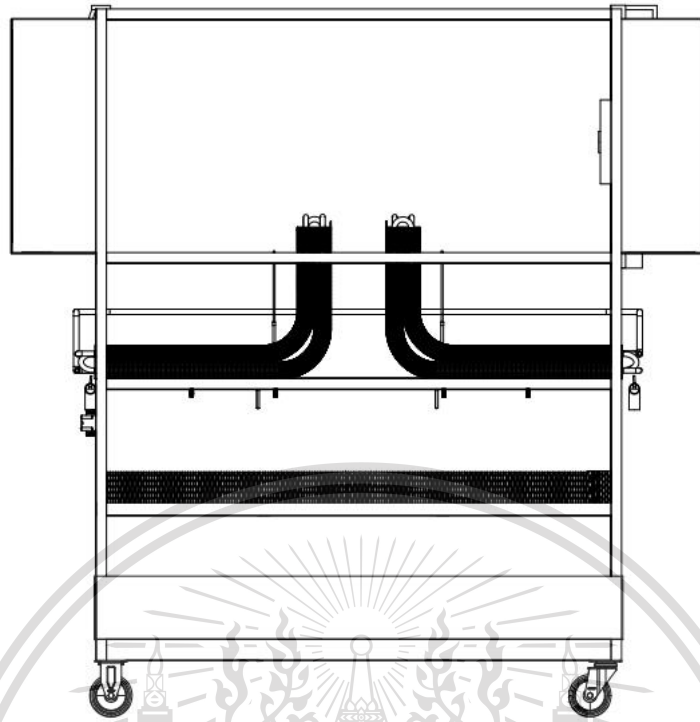
รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านบนของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

3.2 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมการเปิด-ปิด พัดลม, ปั๊มสเปรย์, ปั๊มน้ำ และแสดงค่า อุณหภูมิน้ำ, อุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลของน้ำ สำหรับเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

ระบบคอนโทรลประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266) จำนวน 2 ตัว สวิตซ์ซิ่ง 12V 5A จำนวน 1 ตัว สวิตซ์ซิ่ง 5V 5A จำนวน 1 ตัว เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล (YF-S201) จำนวน 1 ตัว เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20) จำนวน 10 ตัว relay module 12V 4 channel จำนวน 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

เครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักซึ่งถูกพัฒนาขึ้น ได้แก่ 1. เครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร 2. การใช้งานของผู้ควบคุม 3. หลักการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร

3.3.1 เครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

ส่วนประกอบหลักของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร ได้แก่ แผงแลกเปลี่ยนความร้อน, พัดลมระบายอากาศ, Cooling pad, หัวพ่นหมอก, บั้มสเปรย์, บั้มน้ำ, ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266), เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20) และเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล (YF-S201)

หลักการลดอุณหภูมิของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร คือ การนำความร้อน (Conduction) ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนมีตัวกลางคือท่อทองแดง โดยความร้อนจะถูกนำไปที่ท่อทองแดง และจากท่อทองแดงนำความร้อนไปที่ครีป และอาศัยการพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางคืออากาศ ในการระบายความร้อนจากครีปไปยังบรรยากาศ ก่อนที่อากาศที่ไหลผ่านครีปจะมีการลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้ขบวนการ Evaporative cooling โดยการสเปรย์น้ำไปที่ Cooling pad เมื่ออากาศภายนอกไหลผ่าน Cooling pad โดยพัดลมแล้ว จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลง

หลักการทำงานในการควบคุมการทำงานเปิด-ปิดเครื่องคือเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ อ่านค่าอุณหภูมิทางเข้าของสารละลายธาตุอาหาร ส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266) ซึ่งถูกตั้งฟังก์ชันเงื่อนไขควบคุมการทำงานของบั้มน้ำ, พัดลมระบายอากาศ และบั้มสเปรย์เพื่อให้ทำงานและหยุดตามที่ต้องการ

เมื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร, อุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลของน้ำ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ทางเข้ากับทางออกของน้ำและอากาศ จะส่งสัญญาณมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266) จากนั้นส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน Blynk และสามารถดึงข้อมูลได้จาก widget super chart ให้ส่งข้อมูลไปยังอีเมลที่ได้ตั้งค่าไว้

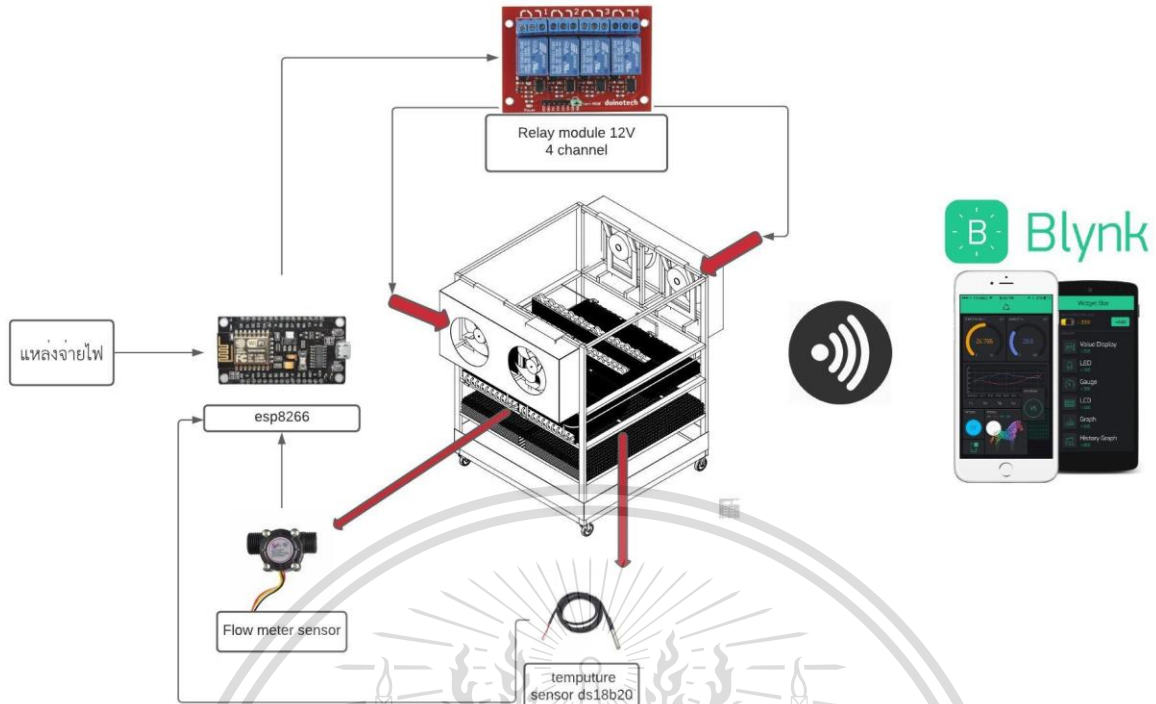
3.3.2 การใช้งานของผู้ควบคุม

แอปพลิเคชันสำเร็จรูป Blynk ถูกนำมาใช้แสดงผลและควบคุมการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android อีกทั้งยังสามารถดึงและเก็บค่าข้อมูลได้โดยตรงกับทางแอปพลิเคชัน โดยแอปพลิเคชันมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.6

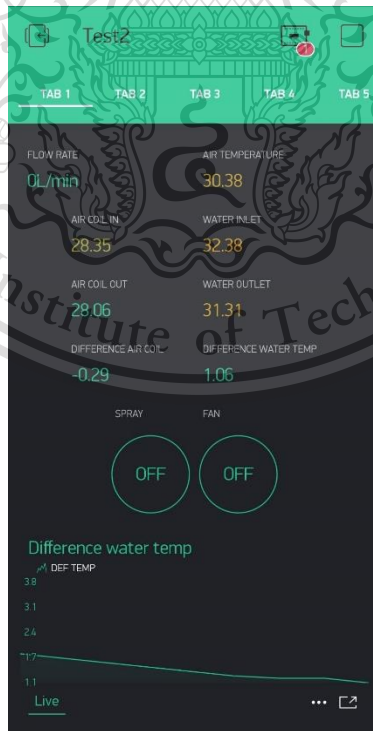
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 ระบบการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 3.6 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน Blynk ที่แสดงค่าต่างๆ ผ่านสมาร์ทโฟน ครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

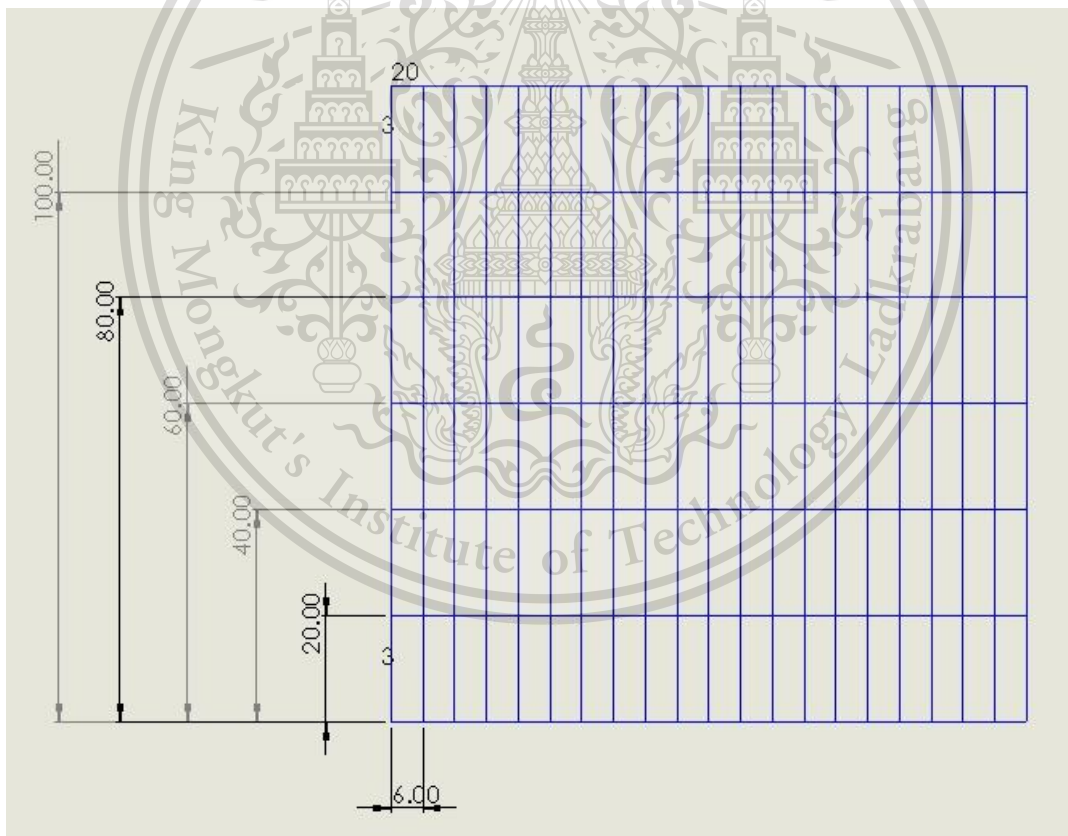
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.3 หลักการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

หลักการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำทางเข้า หากอุณหภูมิเกิน 35 องศาเซลเซียส ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ปั๊มสเปรย์และพัดลมทำงาน หากอุณหภูมิภายนอกของอากาศมากกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำการเปิดสเปรย์เพื่อเปิดระบบ Evaporative cooling และลดอุณหภูมิของอากาศ

3.4 การหาความเร็วของอากาศ ณ ทางเข้าและทางออกของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารด้วยเครื่องวัดความเร็วลม Hot wire Anemometer Testo รุ่น 435

การใช้อากาศภายนอกเครื่องเพื่อทำการลดอุณหภูมิของน้ำจำเป็นต้องรู้ความเร็วลมเฉลี่ยภายในเครื่อง จึงกำหนดตำแหน่งความเร็วลมทั้ง 95 ตำแหน่ง แบ่งระยะระหว่างตำแหน่งแต่ละตำแหน่งให้ห่างกัน 6 cm และแต่ละตำแหน่งจะแบ่งออกเป็นความลึกจำนวน 5 ค่า ที่ 20, 40, 60, 80, 100 cm ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 เป็นจำนวน 5 ชั้น แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย

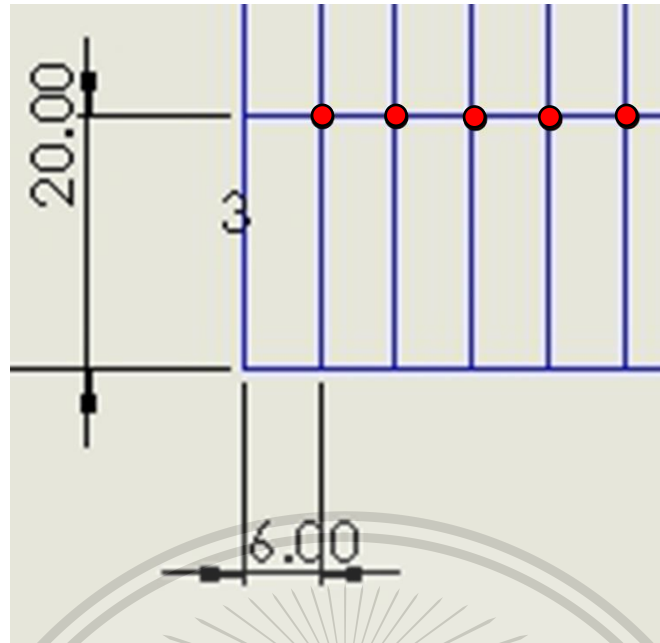


รูปที่ 3.7 ตำแหน่งในการวัดหาความเร็วลมจำนวน 95 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 จุดสีแดงคือตัวอย่างตำแหน่งที่วัดความเร็วลม



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ Hot wire Anemometer Testo รุ่น 435

จากนั้นทำการหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (\dot{V}) ได้จากสมการ

$$\dot{V} = Av$$

\dot{V} = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัด (m^2)

v = ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากนั้นนำไปหาอัตราการไหลเชิงมวล (\dot{m}) ได้จากสมการ

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

\dot{V} = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m³/s)

3.5 การทดลองหาอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของเครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร

แบ่งออกได้เป็น 2 การทดลอง

- การทดลองปิดระบบทั้งหมด (Fans off spray off)
- การทดลองเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on spray on)

จากนั้นทำการเก็บค่าอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออก เป็นจำนวน 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

3.6 การทดลองหาอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger

แบ่งออกได้เป็น 1 การทดลอง

- การทดลองเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on spray on)

ทำการเก็บค่าอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger เป็นจำนวน 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

3.7 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad

สามารถหาประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad ได้ 1 การทดลอง

- การทดลองเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on spray on)

ทำการเก็บค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเครื่อง (T_{in}) และอุณหภูมิอากาศหลังผ่าน Cooling pad (T_{out}) และ

นำมาคำนวณหา ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad

$$\text{ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (\%)} = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.8 การหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat Exchanger

สามารถหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat Exchanger ได้ 1 การทดลอง

- การทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on spray on)

3.8.1 คำนวณหาพลังงานความร้อนของน้ำที่คายออกไปในอากาศ (Q_{water})

$$Q_{water} = \dot{m}_{water} C_p \Delta T \quad (\text{kW})$$

\dot{m}_{water} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)

C_p = Heat capacity of water (kJ/kg°C)

ΔT = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของน้ำ (°C)

3.8.2 คำนวณหาพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเทออกไปให้น้ำ (Q_{air})

$$Q_{air} = \dot{m}_{air} C_p \Delta T \quad (\text{kW})$$

\dot{m}_{air} = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

C_p = Heat capacity of air (kJ/kg°C)

ΔT = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของอากาศ (°C)

3.8.3 คำนวณประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat Exchanger (\mathcal{E})

$$\mathcal{E} (\%) = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

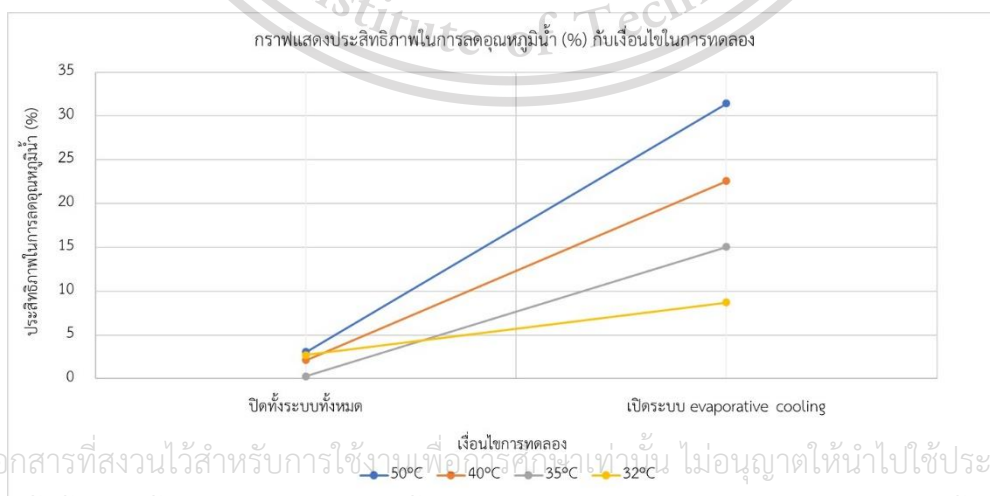
ผลการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ

จากการทดลองหาอุณหภูมิน้ำทางออกที่ไหลผ่านเครื่องลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร แบ่งเงื่อนไขการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ ปิดระบบทั้งหมด (Fans off spray off) และ เปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on spray on) ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำแต่ละการทดลองแตกต่างกัน แสดงดัง ตารางที่ 4.1 และมีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำกับเงื่อนไขการทดลอง แสดงดัง รูปที่ 4.1 (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ (°C) ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

อุณหภูมิน้ำทางเข้า (°C)	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำทางออก (°C)		ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ (%)	
	ปิดระบบทั้งหมด	เปิดระบบ Evaporative cooling	ปิดระบบทั้งหมด	เปิดระบบ Evaporative cooling
50.00	48.46	34.29	3.08	31.42
40.00	39.15	30.98	2.13	22.55
35.00	34.90	29.73	0.28	15.06
32.00	31.13	29.21	2.72	8.72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ (%) กับเงื่อนไขการทดลอง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟที่ 4.1 จะเห็นว่า การทดลองแบบปิดระบบทั้งหมด สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้น้อยกว่า การทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling

4.2 การทดลองหาอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger

อุณหภูมิของอากาศสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเท ออกไปให้น้ำ (Q_{air}) ได้ และหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ heat exchanger ต่อไป แสดงดัง ตารางที่ 4.2 (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

อุณหภูมิของน้ำทางเข้า (°C)		ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศ (°C)	
		ปิดระบบทั้งหมด	เปิดระบบ Evaporative cooling
50	เข้า	31.10	27.75
	ออก	32.77	38.58
	ΔT	1.67	10.83
40	เข้า	29.30	27.95
	ออก	30.79	32.95
	ΔT	1.49	5.00
35	เข้า	28.31	27.96
	ออก	30.16	31.22
	ΔT	1.85	3.26
32	เข้า	28.77	28.45
	ออก	29.96	30.30
	ΔT	1.19	1.85

4.3 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน จำเป็นต้องทราบพลังงานความร้อนที่น้ำคาย ออกไปให้อากาศ (Q_{water}) และการหาพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเทออกไปให้น้ำ (Q_{air})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.1 การหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

การหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศนั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลของความเร็วม เพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อไป แสดงดัง ตารางที่ 4.3 (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.3 ความเร็วมเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ

ความเร็วมเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ (m/s)	
Avg	1.065

จากตาราง 4.3 สรุปได้ค่าความเร็วมเฉลี่ยก่อนผ่าน Heat exchanger เท่ากับ 1.065 m/s อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหาได้จาก

$$\dot{V} = Av \quad (1)$$

\dot{V} = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของ Cooling pad (m^2) = 1.44 m^2

v = ความเร็วมเฉลี่ย (m/s) = 1.065 m/s

แทนค่า A และ v ในสมการที่ 1 จะได้

$$\dot{V} = 1.44 \times 1.065$$

$$\dot{V} = 1.533 \text{ m}^3/s$$

จากสมการหาอัตราการไหลเชิงมวล

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \quad (2)$$

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3) = 1.2 kg/m^3

\dot{V} = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)

แทนค่า ρ และ \dot{V} ในสมการที่ 2 จะได้

$$\dot{m} = 1.2 \times 1.533$$

$$\dot{m} = 1.84 \text{ kg/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 การหาพลังงานความร้อนที่น้ำคายออกไปให้อากาศ (Q_{water})

จากการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าเท่ากับ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิของน้ำทางออกเท่ากับ $34.29\text{ }^{\circ}\text{C}$ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s) ที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลมีค่าเท่ากับ 0.25 kg/s สามารถหาพลังงานความร้อนที่น้ำคายออกไปให้อากาศได้จากสมการ

$$Q_{water} = \dot{m}_{water} C_p \Delta T$$

$$\dot{m}_{water} = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)} = 0.25\text{ kg/s}$$

$$C_p = \text{Heat capacity of water (kJ/kg }^{\circ}\text{C)} = 4.187\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C @}25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

จาก Table A-3 Source of Data : B, G. Kyle, Chemical and Process Thermodynamics, 3rd. (Upper Saddle, NJ: Prentice Hall, 2000).

$$\Delta T = \text{ผลต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของน้ำ (}^{\circ}\text{C)} = 15.71\text{ }^{\circ}\text{C}$$

จะได้

$$Q_{water} = 0.25 \times 4.187 \times 15.71$$

$$Q_{water} = 16.44\text{ kW}$$

4.3.3 การหาพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเทออกไปให้น้ำ (Q_{air})

จากการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าเท่ากับ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิของอากาศก่อนเปิดเครื่องเท่ากับ $27.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิของอากาศหลังเปิดเครื่องเท่ากับ $38.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ สามารถหาพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเทออกไปให้น้ำได้จากสมการ

$$Q_{air} = \dot{m}_{air} C_p \Delta T$$

$$\dot{m}_{air} = \text{อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)} = 1.84\text{ kg/s}$$

$$C_p = \text{Heat capacity of Air (kJ/kg }^{\circ}\text{C)} = 1.005\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C @}27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

จาก Table A-2 Source of Data : B, G. Kyle, Chemical and Process Thermodynamics, 3rd. (Upper Saddle, NJ: Prentice Hall, 2000).

$$\Delta T = \text{ผลต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของอากาศ (}^{\circ}\text{C)} = 10.83\text{ }^{\circ}\text{C}$$

จะได้

$$Q_{air} = 1.84 \times 1.005 \times 10.83$$

$$Q_{air} = 20.03\text{ kW}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.4 คำนวณหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger (ϵ)

จากการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าเท่ากับ 50 °C สามารถหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger (%) ได้จากสมการจากการคำนวณในหัวข้อที่ 4.3.2 และ 4.3.3 จะได้ $Q_{water} = 16.44$ kW และ $Q_{air} = 20.03$ kW

$$\epsilon = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100$$

$$\epsilon = \frac{Q_{water}}{Q_{air}} \times 100$$

$$\epsilon = \frac{16.44}{20.03} \times 100$$

$$\epsilon = 82.07 \%$$

จากการทดลองหาพลังงานความร้อนของน้ำที่คายออกไปในอากาศ (Q_{water}) และพลังงานความร้อนของอากาศที่ถูกถ่ายเทออกไปให้น้ำ (Q_{air}) ทำให้ทราบประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger (%) ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fan on Spray on) แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on)

เงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling

อุณหภูมิน้ำ (°C)	Q_{water} (kW)	Q_{air} (kW)	ประสิทธิภาพ (%)
50.00	16.44	20.03	82.07
40.00	9.44	9.25	102.05*
35.00	5.52	6.03	91.54

เอกสารนี้เป็น 32.00 บาท ที่สงวนไว้สำหรับ 2.92 ใช้งานเพื่อการศึกษา 3.43 บาท ไม่อนุญาตให้นำไป 85.13 โยชน์ด้านการค้า

ไม่*อาจมีความคลาดเคลื่อนในการวัดอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ DS18B20 จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%)

จากการทดลองหาประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on) แสดงดัง ตารางที่ 4.5 (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

ตัวอย่าง การหาประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ที่อุณหภูมิน้ำทางเข้า 50 °C แบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on spray on)

ให้ $T_{in} = 28.92 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $T_{out} = 27.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$

หาได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (\%)} = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in}} \times 100$$

T_{in} = อุณหภูมิอากาศก่อนผ่าน Cooling pad ($^{\circ}\text{C}$)

T_{out} = อุณหภูมิอากาศก่อนผ่าน Heat exchanger ($^{\circ}\text{C}$)

$$\text{ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (\%)} = \frac{28.92 - 27.75}{28.92} \times 100$$

จะได้

$$\text{ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad} = 4.06 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on)

เปิดระบบ Evaporative cooling			
อุณหภูมิน้ำ ทางเข้า (°C)	อุณหภูมิ อากาศก่อนผ่าน Cooling pad (°C)	อุณหภูมิ อากาศหลังผ่าน Cooling pad(°C)	ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ อากาศของ Cooling pad (%)
50.00	28.92	27.75	4.06
40.00	29.02	27.95	3.69
35.00	29.86	27.96	6.39
32.00	30.90	28.45	7.93

การทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on) มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) แสดงดัง ตารางที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

เครื่องลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ มีความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำ สารละลายธาตุอาหาร และสามารถติดตามการทำงานและออกคำสั่งในการเปิด- ปิดพัดลม และเปิด-ปิดปั๊มสเปร์ย์ ได้ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบถึงอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารได้ตลอดการทำงาน

จากตารางที่ 4.1 ที่การทดลองแบบปิดระบบทั้งหมดและการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling ที่อุณหภูมิน้ำทางเข้า 50 °C มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำเท่ากับ 3.08 %, 31.42 % อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 40 °C เท่ากับ 2.13 %, 22.55 % อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 35 °C เท่ากับ 0.28 %, 15.06 % และอุณหภูมิ น้ำทางเข้า 32 °C เท่ากับ 2.72 %, 8.72 % ตามลำดับ สรุปได้ว่าการทดลองแบบปิดระบบทั้งหมด มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ น้ำ (%) น้อยกว่า แบบเปิดระบบ Evaporative cooling ทุกอุณหภูมิ

จากตารางที่ 4.3.4 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling ที่อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 50 °C เท่ากับ 82.07 %, อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 40 °C เท่ากับ 102.05 %, อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 35 °C เท่ากับ 91.47 %, และอุณหภูมิ น้ำทางเข้า 32 °C เท่ากับ 85.21 % สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Heat exchanger มากกว่า 80 % ทุกอุณหภูมิ น้ำทางเข้า ที่อุณหภูมิ น้ำทางเข้าเท่ากับ 40 °C อาจมีการคลาดเคลื่อนจากการวัดอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ DS18B20

จากตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling ที่อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 50 °C เท่ากับ 4.06 %, อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 40 °C เท่ากับ 3.69 %, อุณหภูมิ น้ำทางเข้า 35 °C เท่ากับ 6.39 %, และอุณหภูมิ น้ำทางเข้า 32 °C เท่ากับ 7.93 % สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ น้ำทางเข้า แต่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในช่วงเวลาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- Zen. 2556. **ปลูกผักไร้ดินในฤดูร้อน**. [Online]. Available:
<http://zen-hydroponics.blogspot.com/2013/02/blog-post.html>
- DevBun. 2560. **Internet of Things (IoT)**. [Online]. Available:
[https://blog.sogoodweb.com/Article/Detail/59554/Internet-of-Things-\(IoT\)-คืออะไร-มาหาคำตอบกัน](https://blog.sogoodweb.com/Article/Detail/59554/Internet-of-Things-(IoT)-คืออะไร-มาหาคำตอบกัน)
- Sayan Sunyu. 2016. **Arduino ESP8266**. [Online]. Available:
http://www.geocities.ws/sunya/microcontroller/arduino/NodeMCU_LAB1.pdf
- Thai Easy Elec. 2020. **เริ่มต้น IoT App ด้วย Blynk**. [Online]. Available:
<https://blog.thaieasyelec.com/getting-started-iot-with-blynk/>
- วิสิทธิ์ เวียงนา. 2018. **เตรียมความพร้อมก่อนการใช้ Blynk App**. [Online]. Available:
<https://medium.com/@visitwnk/ใส่ใจ-7-เตรียมความพร้อมก่อนการใช้-blynk-app-1ab60aa1b9e9>
- ภัทรชัย วิชัยยะ. 2560. **อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภัทรชัย วิชัยยะ. 2560. **Convection**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภัทรชัย วิชัยยะ. 2560. **Radiation**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภัทรชัย วิชัยยะ. 2560. **Sensible heat Latent heat**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์ และสมัคร รักแม่. 2021. **Psychrometric chart**. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0573/psychrometric-chart-แผนภูมิไซโครเมทริก>
- Kaset Supply. 2018. **Evaporative Cooling System**. [Online]. Available:
<https://www.คู่มือสิ่งแปด.net/ระบบอีแวป- evaporative-cooling-system/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ก

ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำ (°C) ในแต่ละการทดลอง

อุณหภูมิน้ำทางเข้า (°C)	ครั้งที่	อุณหภูมิน้ำทางออก (°C)		ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิน้ำ (%)	
		ปิดระบบ ทั้งหมด	เปิดระบบ Evaporative cooling	ปิดระบบ ทั้งหมด	เปิดระบบ Evaporative cooling
50.00	1	48.25	38.31		
	2	48.44	32.75		
	3	48.69	31.81		
	ค่าเฉลี่ย	48.46	34.29	3.08	31.42
40.00	1	38.75	32.75		
	2	39.19	30.31		
	3	39.50	29.88		
	ค่าเฉลี่ย	39.15	30.98	2.13	22.55
35.00	1	34.94	30.56		
	2	35.25	29.31		
	3	34.50	29.31		
	ค่าเฉลี่ย	34.90	29.73	0.28	15.06
32.00	1	31.00	29.75		
	2	31.25	28.94		
	3	31.13	28.94		
	ค่าเฉลี่ย	31.13	29.21	2.72	8.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ข

ความเร็วลมเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข ความเร็วลมเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

รูที่	ความเร็วลมเฉลี่ย ณ ตำแหน่งที่ (m/s)					Avg
	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	
1	0.994	1.030	1.108	0.990	0.900	0.984
2	0.960	1.138	1.248	1.020	0.936	1.023
3	0.972	1.016	1.138	1.012	0.892	0.980
4	0.916	1.066	1.108	1.046	0.870	0.980
5	0.930	0.948	1.024	1.056	0.902	0.962
6	0.896	0.976	1.058	1.000	0.952	0.960
7	0.900	0.978	1.040	1.208	1.048	1.034
8	0.906	1.130	0.990	1.136	1.196	1.088
9	0.984	1.014	0.954	1.096	1.282	1.088
10	1.194	1.136	2.906	0.992	1.056	1.167
11	1.236	1.298	1.072	1.112	0.996	1.157
12	1.072	1.228	1.064	0.984	1.044	1.081
13	1.014	1.208	1.050	0.916	1.102	1.060
14	0.876	1.162	1.064	1.036	1.076	1.039
15	0.936	1.090	1.058	0.954	1.132	1.029
16	0.958	1.214	0.960	1.232	1.100	1.119
17	0.972	1.152	1.010	1.124	1.200	1.108
18	1.052	1.220	1.028	1.478	1.156	1.219
19	1.036	1.240	1.086	1.270	1.088	1.156
					Avg	1.065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ค

ผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ค ผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ก่อนและหลังผ่าน Heat exchanger ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

อุณหภูมิของน้ำ		อุณหภูมิของอากาศ (°C)							
ทางเข้า (°C)		ปิดระบบทั้งหมด				เปิดระบบ Evaporative cooling			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
50	เข้า	31.00	31.11	31.20	31.10	28.36	27.58	27.30	27.75
	ออก	32.72	32.75	32.84	32.77	38.88	38.88	37.97	38.58
	ΔT	1.72	1.64	1.64	1.67	10.52	11.30	10.67	10.83
40	เข้า	29.27	29.30	29.34	29.30	28.40	27.80	27.65	27.95
	ออก	30.88	30.75	30.75	30.79	32.75	33.16	32.94	32.95
	ΔT	1.61	1.45	1.41	1.49	4.35	5.36	5.29	5.00
35	เข้า	28.38	28.46	28.08	28.31	27.83	27.96	28.08	27.96
	ออก	29.84	29.94	30.69	30.16	31.28	31.25	31.13	31.22
	ΔT	1.46	1.48	2.61	1.85	3.45	3.29	3.05	3.26
32	เข้า	28.71	28.81	28.80	28.77	28.41	28.41	28.52	28.45
	ออก	30.00	29.94	29.94	29.96	30.56	30.31	30.03	30.30
	ΔT	1.29	1.13	1.14	1.19	2.15	1.90	1.51	1.85



ภาคผนวก ง

ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ง ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศของ Cooling pad (%) ในเงื่อนไขการทดลองแบบเปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on)

เปิดระบบ Evaporative cooling (Fans on Spray on)				
อุณหภูมิ น้ำทางเข้า (°C)	ครั้งที่	อุณหภูมิ อากาศก่อนผ่าน Cooling pad(°C)	อุณหภูมิ อากาศหลังผ่าน Cooling pad(°C)	ประสิทธิภาพในการลด อุณหภูมิอากาศ (%)
50.00	1	29.00	28.36	
	2	28.88	27.58	
	3	28.88	27.30	
	ค่าเฉลี่ย	28.92	27.75	4.06
40.00	1	29.00	28.42	
	2	29.00	27.80	
	3	29.06	27.65	
	ค่าเฉลี่ย	29.02	27.95	3.69
35.00	1	29.69	27.83	
	2	29.88	27.96	
	3	30.00	28.08	
	ค่าเฉลี่ย	29.86	27.96	6.39
32.00	1	31.00	28.41	
	2	30.81	28.41	
	3	30.88	28.52	
	ค่าเฉลี่ย	30.90	28.45	7.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.