

การพัฒนาแบบจำลองสมรรถนะเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน



นางสาวภัททิรา ล้อมเล็ก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
ปีการศึกษา 2556  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

MODEL DEVELOPMENT OF ABSORPTION CHILLER PERFORMANCE

Miss Pattira Lomlek

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and  
Management  
(Interdisciplinary Program)  
Graduate School  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2013  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาแบบจำลองสมรรถนะเครื่องทำน้ำเย็นแบบ  
ดูดกลืน

โดย

นางสาวภัททิรา ล้อมเล็ก

สาขาวิชา

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณเดชะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรรย์ญาณ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด)

ภัททิรา ล้อมเล็ก : การพัฒนาแบบจำลองสมรรถนะเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน.  
(MODEL DEVELOPMENT OF ABSORPTION CHILLER PERFORMANCE) อ.ที่  
ปริญญาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ , 77 หน้า.

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาแบบจำลองสมรรถนะเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 10 กิโลวัตต์ ด้วยการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ตัวแปรในแบบจำลองมีอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าและออกในช่วง 80 ถึง 100°C อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออกในช่วง 5 ถึง 18°C และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าและออกในช่วง 27 ถึง 40°C เพื่อทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็น มีฟังก์ชัน Log-Sigmoid เป็นฟังก์ชันการแปลงในการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอน เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ที่แม่นยำที่สุด โดยสมการที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยการปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) และอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) ตามภาระการทำความเย็น (Load) ที่ 100% 75% และ 50% เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุดของเครื่องทำน้ำเย็น

ผลจากการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 4-3-3-4-1 ที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล คือ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) และอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 0.0176 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้มีค่ามากที่สุด 0.9780 เมื่อนำสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากแบบจำลองนี้มาควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน ให้มีอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 5°C พบว่า ที่ภาระการทำความเย็น 100% (8.28 kW) จะใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) 28°C อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) 70°C ที่ภาระการทำความเย็น 75% (6.21 kW) จะใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) 28°C อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) 70°C และที่ภาระการทำความเย็น 50% (4.14 kW) จะใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) 27°C อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) 70°C

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิติต .....  
ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปริญญาวิทยานิพนธ์หลัก .....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำและให้คำปรึกษาจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ ซึ่งเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการศึกษาและ การทำการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์อย่างยิ่ง ได้ ช่วยเหลือแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหา ชี้แจงถึงข้อบกพร่องต่างๆ และข้อแนะนำดีๆ มาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	3
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน.....	5
2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน.....	5
2.2.2 วัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืน.....	6
2.2.3 หลักการพื้นฐานของการทำความเย็นระบบดูดกลืน .....	8
2.2.4 สารทำความเย็นและสารดูดกลืนในการทำความเย็นระบบดูดกลืน.....	12
2.2.5 คุณสมบัติของสารทำความเย็นและสารดูดกลืนในเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน.....	13
2.2.6 ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน .....	14
2.2.7 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน .....	16
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม.....	17
2.3.1 ประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม.....	17
2.3.2 ความหมายและหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม .....	17
2.3.3 ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม .....	19
2.3.4 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม .....	19
2.3.5 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม .....	21
2.3.6 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ .....	22
2.3.7 ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ .....	22

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ .....	25
3.1 การหาประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์ .....	25
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ .....	25
3.1.2 วิธีการทดสอบ .....	28
3.2 การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ .....	29
3.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับชนิดที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล .....	29
3.2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล .....	30
3.3 การนำสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์ COP ไปประยุกต์ใช้ .....	32
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	33
4.1 ผลทดสอบการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ.....	33
4.1.1 การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์.....	33
4.1.2 การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจากงานวิจัย Jerko Labus .....	39
4.2 ผลทดสอบการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ .....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.1.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ.....	52
5.1.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ .....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
รายการอ้างอิง .....	55
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้และทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม.....	58
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ .....	74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	77



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานนับเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญในการตอบสนองความต้องการของมนุษย์มาตั้งแต่อดีต ปัจจุบันและอนาคต ทั้งในภาคครัวเรือนที่อยู่อาศัย ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรมและภาคธุรกิจต่างๆ ซึ่งการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันนั้น ได้ส่งผลให้ปริมาณความต้องการใช้พลังงานสูงขึ้น โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น จากรายงานปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายสาขาของประเทศไทยปี 2555 พบว่าสาขาที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุด คือ ภาคอุตสาหกรรม ที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 46 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประมาณร้อยละ 40-60 ถูกใช้สำหรับระบบปรับอากาศ ที่ส่วนใหญ่เป็นเครื่องทำน้ำเย็นระบบอัดไอ ซึ่งทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้า แต่มีระบบทำความเย็นเพื่อปรับอากาศอีกชนิดหนึ่งคือเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน (Absorption Chiller) ที่ทำงานโดยอาศัยพลังงานความร้อนแทนพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าลงได้มาก แต่จะต้องจัดหาพลังงานความร้อนเพื่อป้อนให้ระบบซึ่งอาจจะนำพลังงานที่เหลือใช้ หรือพลังงานจากภายนอก เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด ที่สำคัญเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะกับโอโซนในชั้นบรรยากาศน้อยกว่าเครื่องทำน้ำเย็นระบบอัดไออีกด้วย เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจะใช้น้ำเป็นสารทำความเย็น เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจึงมีความเหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบันอย่างยิ่ง แต่การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนนั้นจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ ปริมาณความร้อนที่ต้องการ ความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำเย็นและอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งการสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนนั้นจะสามารถนำไปประยุกต์สำหรับควบคุมระบบทำความเย็นให้มีความทำงานที่มีสมรรถนะเพิ่มขึ้นได้

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนโดยการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความสามารถในการเรียนรู้ต่อเนื่องแบบไม่เป็นเชิงเส้นหลายชนิดได้อย่างแม่นยำ โดยการนำข้อมูลค่าที่มีการเก็บบันทึกไว้มาทำการเรียนรู้โดยโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซพตรอนแบบหลายชั้น เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อหาแบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

- 2) เพื่อเสนอแนวทางการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนให้มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุด ด้วยสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนนี้ สามารถใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนแบบ Single Stage ที่มีสารละลายลิเทียมโบรไมด์เป็นสารดูดกลืน และมีน้ำเป็นสารทำความเย็นเท่านั้น
- 2) การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจะกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำเย็น น้ำหล่อเย็น และน้ำร้อนคงที่ และบันทึกเฉพาะอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนเท่านั้น

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1) มีสมการสำหรับทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน
- 2) มีแนวทางสำหรับการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP มีค่าเหมาะสมที่สุดกับสภาวะการใช้งาน

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย [1] ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนโดยการจำลองระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 12,000 Btu/hr ที่ใช้สารละลายลิเทียมโบรไมด์กับน้ำ โดยกำหนดให้น้ำเป็นสารทำความเย็นและสารละลายลิเทียมโบรไมด์เป็นสารดูดกลืน โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของเครื่องผลิต เครื่องระเหย เครื่องควบแน่น และเครื่องดูดกลืน จากผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอุปกรณ์ทั้ง 4 มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP เปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 0.8 และจากการศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า ที่อุณหภูมิเครื่องผลิต 90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเครื่องระเหย 7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเครื่องควบแน่น 45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเครื่องดูดกลืน 33 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของระบบมีค่าเท่ากับ 0.78

หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ [2] ศึกษากระบวนการแนะนำสำหรับระบบทำน้ำเย็นขนาดใหญ่โดยใช้ช่างงานระบบประสาธ ในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการแนะนำผู้ควบคุมระบบ Glycol & Water Chillers Plant ของอาคารสำนักงานใหญ่ ธนาคารไทยพาณิชย์ (SCB Phase I) เนื่องจากการทำงานของระบบมีพฤติกรรมแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ เงื่อนไขของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละวัน, อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ อาทิเช่น ปั๊ม, วาล์วแบบปรับได้ เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อลดค่าใช้จ่ายของการใช้ไฟฟ้าให้ต่ำสุดในขณะที่ยังรักษาประสิทธิภาพการทำงานไว้สูงสุด ในการทำนายพฤติกรรมของระบบนั้นจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเชิงสถิติของ Grabec มาประยุกต์ใช้เพื่อทำนายสภาวะอากาศและภาระความร้อนของตึก เพื่อนำไปคำนวณหาจุดปฏิบัติงานที่ดีที่สุด สำหรับผลการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิภายนอก ณ เวลาถัดไปหนึ่งชั่วโมง นั้น จะใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล คือ เวลาปัจจุบัน อุณหภูมิภายนอกย้อนหลังไป 4 ชั่วโมง อุณหภูมิภายนอกย้อนหลังไป 3 ชั่วโมง อุณหภูมิภายนอกย้อนหลังไป 2 ชั่วโมง อุณหภูมิภายนอกย้อนหลังไป 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิภายนอก ณ เวลาปัจจุบัน ในการเรียนรู้ ส่วนการทำนายค่าภาระความร้อนของอาคาร ณ เวลาปัจจุบัน จะใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล คือ เวลาปัจจุบัน วันทำงานหรือวันหยุด (มีค่า 1 หรือ 2 ตามลำดับ) อุณหภูมิภายนอกย้อนหลังไป 3 ชั่วโมง อุณหภูมิภายนอกย้อนหลังไป 2 ชั่วโมง อุณหภูมิภายนอกย้อนหลังไป 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิภายนอก ณ เวลาปัจจุบัน ในการเรียนรู้ จากนั้นจึงนำอุณหภูมิภายนอก ณ เวลาถัดไปหนึ่งชั่วโมง และค่าภาระความร้อนของอาคาร ณ เวลาปัจจุบัน ที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียมไปคำนวณหาค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า และจุดปฏิบัติงานที่เหมาะสม

Baiju V. และ Muraleedharan C. [3] ศึกษาการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบดูดซับด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Single Stage ที่ใช้ ถ่านกัมมันต์-เอธานอล เป็นสารคู่ทำงาน ในการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนี้ จะใช้ข้อมูลป้อนเข้า 3 ข้อมูล คือ อุณหภูมิ ความดัน และ ความเข้มแสง เพื่อทำนายประสิทธิภาพของระบบ โดยมีข้อมูลส่งออก 3 ข้อมูล คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็น อัตราการทำความเย็นจำเพาะ (Specific Cooling Power) และ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของระบบการทำความเย็นด้วยแสงอาทิตย์ มาทำการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) 3 แบบ คือ แบบ Scaled Conjugate Gradient (SCG) แบบ Pola-Ribiere Conjugate Gradient (CGP) และ แบบ Levenberg-Marquardt (LM) ที่มีฟังก์ชันการแปลง log-sigmoid ผลการศึกษาพบว่า การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับด้วย Levenberg-Marquardt (LM) ที่มีฟังก์ชันการแปลง Log-sigmoid 14 นิวรอน มีความแม่นยำมากที่สุด โดยผลจากการทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับผลจากการทดลองมีค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 และมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 5%

Labus J. [4] ศึกษาวิธีการสำหรับการหาแบบจำลองของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาดเล็ก 2 เครื่อง ที่มีสารคู่ทำงานเป็นสารละลายลิเทียมโบรไมด์กับน้ำ และสารละลายแอมโมเนียกับน้ำ ด้วย 5 วิธีการที่แตกต่างกัน ได้แก่ วิธีทางอุณหพลศาสตร์ วิธีของ Gordon-Ng วิธีสมการคุณลักษณะของระบบที่ขึ้นกับอุณหภูมิ วิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั้ง 5 วิธีการ จะหาค่าปริมาณความร้อนที่เครื่องผลิต และภาระการทำความเย็น ซึ่งผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 3-7-1 (3 ข้อมูลป้อนเข้า, 7 นิวรอนในชั้นซ่อน และ 1 ข้อมูลส่งออก) ที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 3 ข้อมูล คือ อุณหภูมิ น้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น และอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น ส่วนข้อมูลส่งออก 1 ข้อมูล คือ ปริมาณความร้อน (มี 2 ข้อมูลที่แตกต่างกัน คือ ปริมาณความร้อนที่ส่วนผลิตน้ำร้อน และภาระการทำความเย็น) ที่ใช้ฟังก์ชันการแปลง Tan-sigmoid และ Purelin ที่ชั้นซ่อนและชั้นข้อมูลส่งออกตามลำดับ มีความแม่นยำมากที่สุด สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนที่มีสารละลายลิเทียมโบรไมด์กับน้ำเป็นสารคู่ทำงานนั้น แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถคำนวณค่าปริมาณความร้อนที่ส่วนผลิตน้ำร้อนกับภาระการทำความเย็นได้แม่นยำที่สุด โดยค่าปริมาณความร้อนที่ส่วนผลิตน้ำร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.99844 ส่วนภาระการทำความเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.99922 สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนที่มีสารละลายแอมโมเนียกับน้ำเป็นสารคู่ทำงานนั้น แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถคำนวณค่าปริมาณความร้อนที่ส่วนผลิตน้ำร้อนกับภาระการทำความเย็นได้แม่นยำที่สุดเช่นกัน โดยค่าปริมาณความร้อนที่ส่วนผลิตน้ำร้อนและภาระการทำความเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากัน คือ 0.99807 ซึ่งแม่นยำกว่าแบบจำลองที่ได้จากวิธีการอื่น

Manohar H.J., Saravanan R. และ Renganarayanan S. [5] ทำการศึกษาแบบจำลองของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้นที่ใช้ไอน้ำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 6-6-9-1 (6 ข้อมูลป้อนเข้า, 6 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 9 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 และ 1 ข้อมูลส่งออก)แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward) ที่ใช้การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) ซึ่งในการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนี้ จะนำข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล คือ

อุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ความดันไอน้ำ และ เวลา ที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลใน 1 ปี เพื่อมาทำนายข้อมูลส่งออกหรือค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 10,000 ครั้ง ด้วยฟังก์ชันการแปลง tan-sigmoid โดยค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม 6-6-9-1 นี้มีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ประมาณ  $\pm 1.2\%$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) 0.99975

Sencan A. และคณะ [6] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ด้านอุณหพลศาสตร์ของระบบทำความเย็นระบบดูดกลืนด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยศึกษาระบบทำความเย็นระบบดูดกลืนลิเทียมโบรไมด์กับน้ำ และระบบทำความเย็นระบบดูดกลืนลิเทียมคลอไรด์กับน้ำ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward) ที่ใช้การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) จำนวน 1,000 รอบ ในการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของทั้งสองระบบนั้นจะใช้ข้อมูลป้อนเข้า 2 ข้อมูล คือ อุณหภูมิ และ ความเข้มข้นของสารละลาย ส่วนข้อมูลส่งออก มีเพียง 1 ค่า คือ เอนทัลปีผลการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของระบบทำความเย็นระบบดูดกลืนลิเทียมโบรไมด์กับน้ำ เป็นแบบ 2-8-1 (2 ข้อมูลป้อนเข้า, 8 นิวรอนในชั้นซ่อน และ 1 ข้อมูลส่งออก) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9999 และผลการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของระบบทำความเย็นระบบดูดกลืนลิเทียมคลอไรด์กับน้ำ เป็นแบบ 2-4-1 (2 ข้อมูลป้อนเข้า, 8 นิวรอนในชั้นซ่อน และ 1 ข้อมูลส่งออก) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9990

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าโครงข่ายประสาทเทียม เป็นความก้าวหน้าอย่างหนึ่งของการพยายามที่จะพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถทำนายสิ่งต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมนั้น สามารถหาความสัมพันธ์ของข้อมูลป้อนเข้าและข้อมูลส่งออกได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยไม่สนใจว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบใด และไม่ต้องอาศัยความสัมพันธ์ทางด้านคณิตศาสตร์เลย ดังนั้น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจ ที่จะใช้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานต่อไป

## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

### 2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

ระบบทำความเย็นระบบดูดกลืนเป็นเทคโนโลยีที่มีการค้นพบและใช้กันมานานแล้ว [7] ในปี พ.ศ.2393 นาย Edmond Carre เป็นบุคคลแรกที่นำเสนอเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนเป็นเครื่องแรกโดยใช้น้ำกับกรดซัลฟูริกเป็นสารทำงาน จากนั้นในปี พ.ศ.2402 นาย Ferdinan Carre (Edmond's brother) ได้นำเสนอเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนที่ใช้แอมโมเนียกับน้ำเป็นสารทำงานเป็นเครื่องแรก และใช้เป็นครั้งแรกในการผลิตน้ำแข็งในประเทศสหรัฐอเมริกา

ในปี พ.ศ.2503 มีการเริ่มต้นการพัฒนาเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียว (Single Effect Absorption Chiller) โดยใช้สารละลายลิเทียมโบรไมด์เป็นสารดูดกลืนและใช้น้ำเป็นสารทำ

ความเย็นเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศ ต่อมาได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น โดยพัฒนาเป็นระบบดูดกลืนสองชั้น (Double Effect Absorption Chiller) ในปี พ.ศ.2499-2502 โดย J.S. Swearingen และ E.P. Whitlow งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสมาคมแก๊สของสหรัฐอเมริกา (American Gas Association) หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงระบบดูดกลืนสองชั้นอย่างต่อเนื่องและผลิตรอกจำหน่ายไปทั่วโลก [8]

ในช่วงก่อนปี พ.ศ.2513 ประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มผลิตเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้นที่ใช้การเผาไหม้โดยตรง (Direct Fired Double Effect Chiller) และปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนทั้งแบบชั้นเดียวและสองชั้นจนมียอดขายทั่วโลกมากมาย ทำให้ตลาดของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะผู้ผลิตจากหลายประเทศมีการพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนมีประสิทธิภาพทำความเย็นสูงขึ้นและที่สำคัญเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนนั้นยังประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เมื่อมีภาวะวิกฤตพลังงานเกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ.2545 ก็ส่งผลให้เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนได้รับความสนใจในหมู่นักวิจัยและพัฒนาเป็นอย่างมาก ทางผู้ผลิตจึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนให้มีขนาดเล็กลง และสามารถนำมาใช้ในการปรับอากาศสำหรับครัวเรือนหรืออาคารขนาดเล็กได้

ส่วนเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนแบบสามชั้น ยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนา ในปัจจุบันจึงมีการแบ่งเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนตามลักษณะการใช้งานได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มที่ใช้กับงานที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ใช้กับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้ใช้สารทำความเย็นธรรมชาติ (Natural Refrigerant) ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยกลุ่มที่ใช้กับงานที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาเซลเซียสนิยมใช้สารลิเทียมโบรไมด์เป็นสารดูดกลืนและใช้น้ำเป็นสารทำความเย็น ส่วนกลุ่มที่ใช้กับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียสจะใช้น้ำเป็นสารดูดกลืน และแอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น

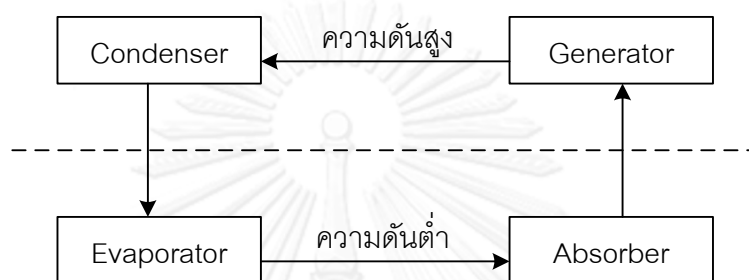
สำหรับการทำความเย็นระบบดูดกลืนที่เป็นวัฏจักรของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารทำความเย็นและสารดูดกลืน โดยพลังงานที่ต้องการใช้ในระบบเพื่อให้เกิดการทำงานจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเป็นส่วนใหญ่ สามารถใช้ความร้อนได้จากหลายแหล่ง เช่น ใช้น้ำจากหม้อไอน้ำ น้ำร้อนจากพลังแสงอาทิตย์ เป็นต้น

## 2.2.2 วัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืน

การทำความเย็นระบบดูดกลืน ทำงานโดยอาศัยหลักการระเหยและการควบแน่นของสารทำความเย็นเช่นเดียวกับหลักการของระบบทำความเย็นแบบอัดไอทั่วไป วัฏจักรการทำความเย็นทั้ง 2 ชนิด ต่างมีส่วนประกอบหลักๆ ที่เหมือนกัน คือ เครื่องควบแน่น (Condenser) วาล์วขยายตัว (Expansion Valve) และเครื่องระเหย (Evaporation) ส่วนข้อแตกต่างระหว่างการทำ ความเย็นระบบดูดกลืนกับระบบอัดไอคือ ระบบทำความเย็นระบบดูดกลืนจะใช้ตัวดูดกลืน (Absorber) และเครื่องผลิต (Generator) ทดแทนเครื่องอัด (Compressor) ในวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ โดย

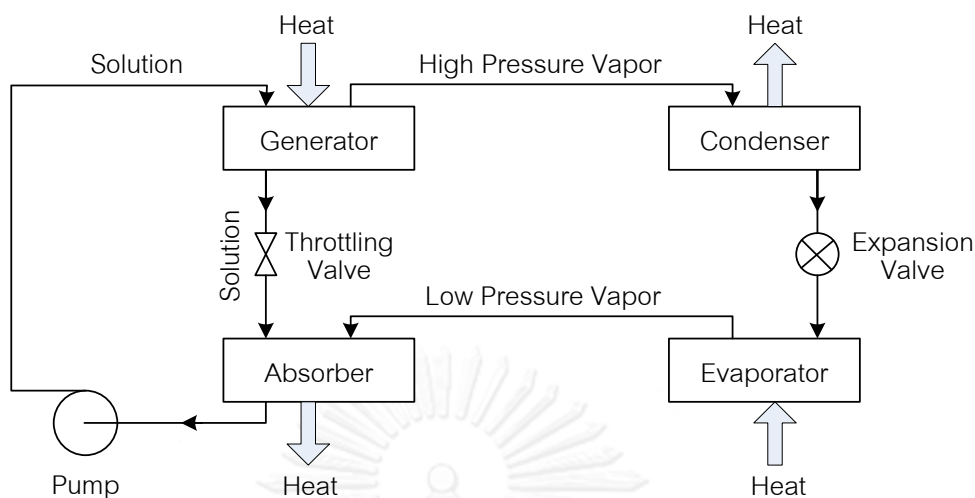
มีของเหลว 2 ชนิด ที่ทำงานในระบบการทำความเย็นระบบดูดกลืน คือ สารทำความเย็น (Refrigerant) และสารดูดกลืน (Absorbent)

ในวัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืนจะประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วนคือ เครื่องผลิต (Generator) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องระเหย (Evaporator) และเครื่องดูดกลืน (Absorber) [9] ซึ่งจะทำงานอยู่ในสภาพความดันที่แตกต่างกัน คือ เครื่องผลิตและเครื่องควบแน่น จะทำงานที่ความดันสูง ส่วนเครื่องระเหยและเครื่องดูดกลืนก็จะทำงานที่ความดันต่ำ แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพการทำความเย็นระบบดูดกลืน

การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนเริ่มต้นจากสารละลายผสมระหว่างสารทำความเย็นและสารดูดกลืนในเครื่องผลิตได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง ทำให้สารทำความเย็นในสารละลายผสมจะระเหยกลายเป็นไอ สารละลายผสมที่เหลือจึงมีความเข้มข้นมากขึ้น จากนั้นไอของสารทำความเย็นจะผ่านไปที่เครื่องควบแน่นและทำให้เย็นลงด้วยน้ำหล่อเย็นหรืออากาศ จึงควบแน่นกลับตัวเป็นของเหลวแล้วไหลต่อไปยังเครื่องระเหย โดยอาศัยความแตกต่างของความดันซึ่งควบคุมด้วยวาล์วขยายตัว (Expansion Valve) และที่เครื่องระเหยสารทำความเย็นเหลวจะดูดเอาความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้ามา ทำให้สารทำความเย็นเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งมีผลทำให้สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำลง และเป็นอุณหภูมิที่ต้องการสำหรับระบบทำความเย็น เมื่อไอสารทำความเย็นระเหยกลายเป็นไอ ก็จะไหลออกจากเครื่องระเหยไปยังเครื่องดูดกลืนด้วยความแตกต่างของความดัน เนื่องจากความดันในเครื่องดูดกลืนต่ำกว่าความดันในเครื่องระเหย ไอของสารทำความเย็นนี้ก็จะถูกดูดกลืนโดยสารละลายผสมเข้มข้น ซึ่งไหลมาจากเครื่องผลิตและผ่านวาล์วลดความดัน (Throttling Valve) ที่มีจุดประสงค์เพื่อลดความดันซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างของความดันในเครื่องผลิตและเครื่องดูดกลืน เมื่อไอสารทำความเย็นถูกสารละลายเข้มข้นดูดกลืนก็จะมีปริมาณความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นที่เครื่องดูดกลืนจึงจำเป็นต้องมีน้ำหล่อเย็นระบายความร้อนออก ซึ่งความร้อนนี้เกิดจากความร้อนแฝงที่ไอสารทำความเย็นคายออกเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว และความร้อนจากสารละลายผสมเข้มข้นเกิดเจือจางลง หลังจากสารละลายเจือจางลงก็จะถูกปั๊มขึ้นไปยังเครื่องผลิตต่อไป เพื่อรับความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วระเหยแยกตัวกลายเป็นไออีกครั้ง ซึ่งจะครบวัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืน สำหรับแผนภาพแสดงวัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืน แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืน

การถ่ายเทความร้อนที่เข้าและออกจากวัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืนที่อุปกรณ์หลักทั้ง 4 ส่วน คือ ความร้อนอุณหภูมิสูงจะเข้าสู่วัฏจักรการทำความเย็นที่เครื่องผลิต และความร้อนอุณหภูมิต่ำจะเข้าสู่วัฏจักรการทำความเย็นที่เครื่องระเหยขณะทำความเย็น ส่วนความร้อนที่ออกจากวัฏจักรจะเกิดที่เครื่องดูดกลืนและเครื่องควบแน่น ซึ่งจะถ่ายเทออกสู่บรรยากาศโดยตรง

### 2.2.3 หลักการพื้นฐานของการทำความเย็นระบบดูดกลืน

เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนมีหน้าที่ผลิตน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำ เพื่อนำไปใช้กับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ (Central Air System) โดยจะใช้แหล่งพลังงานความร้อน เช่น ไอน้ำ น้ำร้อน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน เป็นต้น เป็นแหล่งพลังงานในการทำงานของระบบทำความเย็น การทำงานของการทำความเย็นระบบดูดกลืนได้นำเอาคุณสมบัติการเดือดของน้ำที่มีค่าแปรผันตามความดัน ที่ความดันบรรยากาศปกติ จุดเดือดของน้ำจะอยู่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และน้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำลงเมื่อความดันบรรยากาศลดลง โดยจุดเดือดของน้ำที่ความกดอากาศ 6 มิลลิเมตรปรอท จะอยู่ที่อุณหภูมิเพียง 3.7 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอต่อการทำน้ำเย็น (Chilled Water) ในระบบปรับอากาศ [10]

การทำงานเบื้องต้นของวัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืนที่มีสารดูดกลืนเป็นสารละลายลิเทียมโบรไมด์ และสารทำความเย็นเป็นน้ำนั้น จะเริ่มต้นที่สารละลายสารละลายลิเทียมโบรไมด์เข้มข้น และอุณหภูมิสูงที่ไหลลงมาจากเครื่องผลิต จะถูกฉีดกระจายลงบนชุดท่อ น้ำหล่อเย็นที่มีน้ำหล่อเย็นหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ โดยสารละลายลิเทียมโบรไมด์นี้ จะดูดกลืนไอระเหยของน้ำซึ่งเป็นสารทำความเย็น จากเครื่องระเหยไปพร้อมๆ กัน เมื่อสารละลายลิเทียมโบรไมด์ดูดกลืนสารทำความเย็น และลดอุณหภูมิลงแล้ว ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นสารละลายลิเทียมโบรไมด์ที่เจือจาง และจะไหลมารวมกันบริเวณด้านล่างของตัวถัง เพื่อให้เครื่องสูบลมวนเวียนของสารละลายลิเทียมโบรไมด์สูบล้างไปยังเครื่องผลิตเพื่อแยกสารทำความเย็นที่ส่วนใหญ่จะ

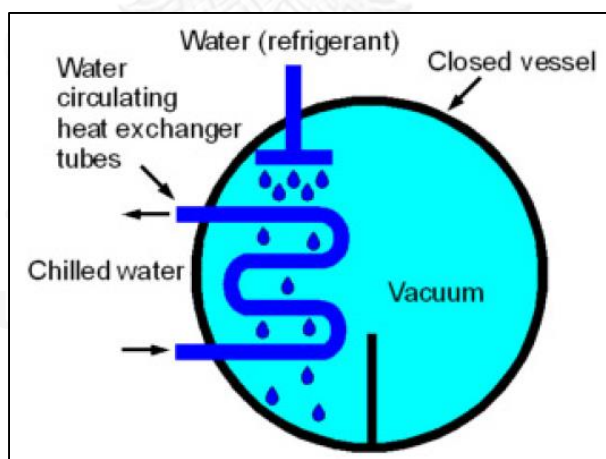


ใช้น้ำ ออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ ด้วยการให้ความร้อนที่เครื่องผลิต เพื่อแยกสารทำความเย็น ออกจากลิเทียมโบรไมด์ ซึ่งความร้อนนี้อาจจะเป็นน้ำร้อน ไอน้ำ ไอเสียจากกระบวนการต่างๆ หรือ การเผาไหม้โดยตรง น้ำที่เป็นสารทำความเย็นก็จะแยกตัวออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ และไหล ไปควบแน่นที่เครื่องควบแน่น จากนั้นสารละลายลิเทียมโบรไมด์ในเครื่องผลิต ก็จะกลับมาเข้มข้นขึ้น อีกครั้งและไหลไปที่ตัวถังเพื่อดูดกลืนน้ำ ก็จะครบเป็นวัฏจักรการทำความเย็นระบบดูดกลืน ส่วนสาร ทำความเย็นที่ควบแน่นในเครื่องควบแน่น โดยมีน้ำหล่อเย็นช่วยในการลดอุณหภูมิ สารทำความเย็น จะไหลลงไปที่เครื่องระเหยหลังจากการควบแน่น โดยฉีดกระจายผ่านขดท่อทำความเย็น ซึ่งสารทำ ความเย็นจะระเหยกลายเป็นไอภายใต้ความกดดันบรรยากาศ และดูดความร้อนจากน้ำเย็นที่ไหล หมุนเวียนอยู่ในขดท่อทำความเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำเย็น [11]

สำหรับกระบวนการหลักของการทำความเย็น มี 5 กระบวนการดังนี้

### 1) กระบวนการระเหย (Evaporation)

สารทำความเย็นในเครื่องระเหยจะถูกเครื่องสูบลำสารทำความเย็น ซึ่งอยู่ด้านล่างของเครื่อง ระเหยสูบล และฉีดกระจายลงบนขดท่อทำความเย็นที่มีน้ำเย็นหมุนเวียนไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอเพื่อทำ ความเย็น สารทำความเย็นจะระเหยกลายเป็นไอ โดยดูดเอาความร้อนแฝงของการระเหยจากน้ำเย็นที่ ไหลหมุนเวียนอยู่ในขดท่อทำความเย็น ไอน้ำที่ระเหยออกมานั้น จะถูกดูดเข้าไปในเครื่องดูดกลืนที่ติด ตั้งอยู่บริเวณส่วนล่างของเครื่องระเหย ภายในเครื่องระเหยจะต้องทำให้เป็นสุญญากาศ ที่ความดัน 6 – 7 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งน้ำที่ใช้เป็นสารทำความเย็นจะระเหยที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส โดยน้ำเย็นที่ไหลหมุนเวียนผ่านขดท่อทำความเย็นจะถูกลดอุณหภูมิจาก 12 องศาเซลเซียส เป็น 7 องศา เซลเซียส

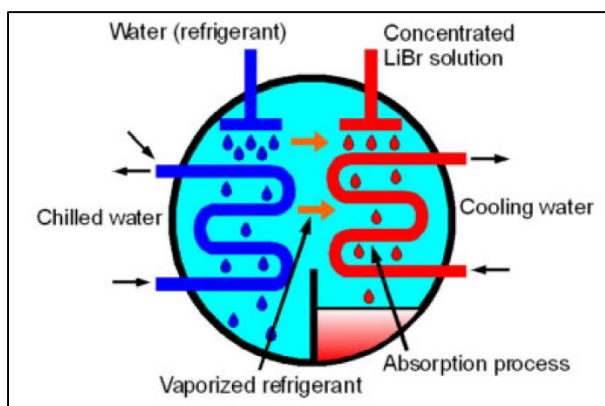


ภาพที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องระเหย (Evaporator)

### 2) กระบวนการดูดกลืน (Absorption)

ในกระบวนการดูดกลืนสารละลายลิเทียมโบรไมด์ที่เข้มข้นจะถูกเครื่องสูบลำสารละลายสูบลและ ฉีดกระจายลงบนท่อหล่อเย็นซึ่งมีน้ำหล่อเย็นไหลหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา โดยสารละลายลิเทียม โบรไมด์ที่เข้มข้นนี้จะดูดกลืนไอระเหยจากสารทำความเย็น (น้ำ) ในกระบวนการการระเหยที่เครื่อง ระเหยตลอดเวลา เพื่อรักษาสุญญากาศในเครื่องระเหยไว้ระหว่างกระบวนการนี้ สารละลายลิเทียม

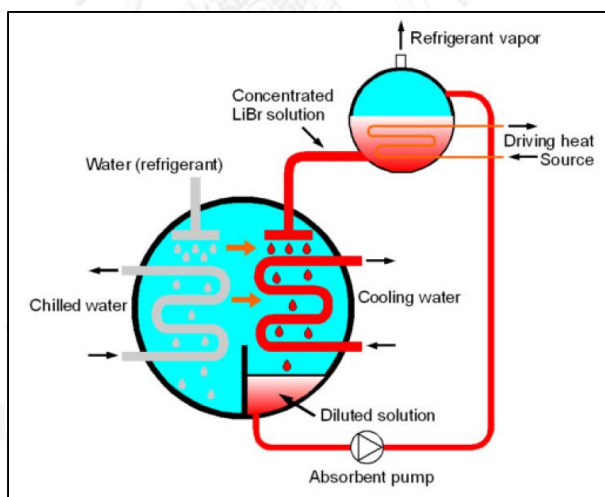
โบรไมด์จะถูกเจือจางด้วยไอระเหยของสารทำความเย็น (น้ำ) และความร้อนของการดูดกลืนจะถูกระบายออกมา เครื่องดูดกลืนที่ร้อนจากความร้อนของการดูดกลืนก็就会被ทำให้เย็นลงด้วยน้ำหล่อเย็นหมุนเวียน



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของเครื่องดูดกลืน (Absorber)

### 3) กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

สารละลายลิเทียมโบรไมด์เจือจางที่อยู่ภายในเครื่องดูดกลืนจะถูกเครื่องสูบสารละลาย (Absorbent Pump) สูบ โดยสารละลายลิเทียมโบรไมด์เจือจาง จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายลิเทียมโบรไมด์เข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูงทำให้สารละลายลิเทียมโบรไมด์เจือจางร้อนขึ้น

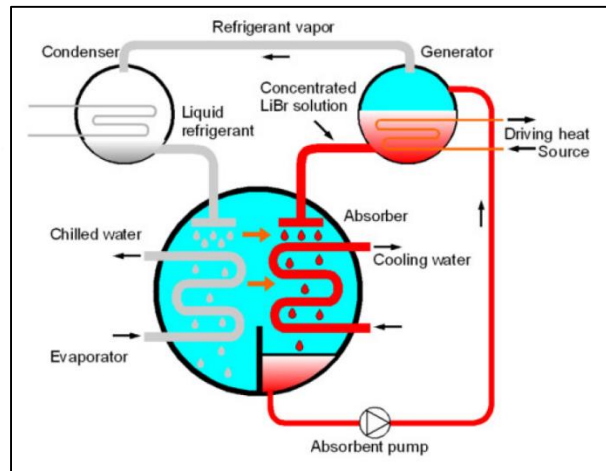


ภาพที่ 2.5 กระบวนการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

### 4) กระบวนการผลิตสารทำความเย็น (Generation)

สารละลายลิเทียมโบรไมด์เจือจางจะสะสมอยู่บริเวณด้านล่างของเครื่องผลิตซึ่งติดตั้งอยู่เหนือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและจะถูกทำให้ร้อนโดยท่อทำความร้อนที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องผลิต เมื่อได้รับความร้อน สารทำความเย็นที่ผสมอยู่ในสารละลายลิเทียมโบรไมด์เจือจางจะระเหยออกไป ทำให้สารละลายลิเทียมโบรไมด์เจือจางนี้เข้มข้นขึ้นอีกครั้งหนึ่ง แหล่งให้ความร้อนที่เครื่องผลิตอาจใช้แหล่งให้ความร้อนภายนอก เช่น ใช้น้ำความดันต่ำ น้ำร้อน ไอเสีย หรือแก๊สร้อน เป็นต้น

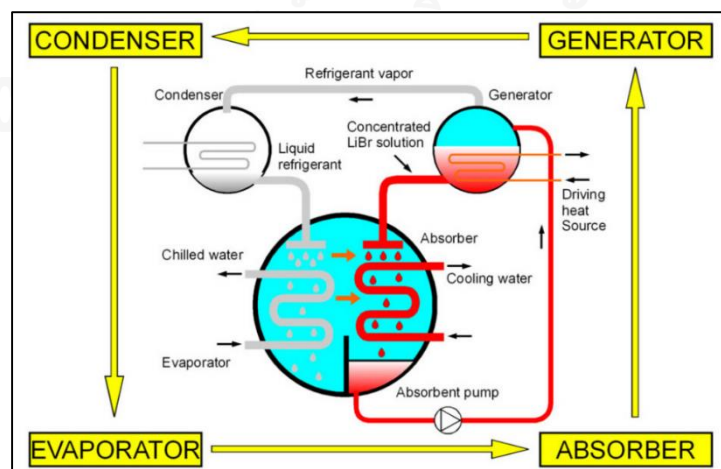
สารละลายลิเทียมโบรไมด์ที่เข้มข้นจะไหลไปที่บริเวณของเครื่องดูดกลืนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอาศัยความถ่วงและความแตกต่างของความดัน จากนั้นก็จะถูกเครื่องสูบสารละลายสูบให้หมุนเวียน เป็นวัฏจักรในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ความร้อนจะแลกเปลี่ยนระหว่างสารลิเทียมโบรไมด์ที่เข้มข้นและเจือจางที่เครื่องสูบสารละลาย สูบเข้าไปเป็นการประหยัดความร้อนในเครื่องผลิต ขณะเดียวกันอุณหภูมิของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ที่เข้มข้นที่ถูกสูบเข้าไปในเครื่องดูดกลืนก็จะลดลง เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน



ภาพที่ 2.6 กระบวนการทำงานของเครื่องผลิต (Generator)

#### 5) กระบวนการควบแน่น (Condensation)

ไอของสารทำความเย็นที่ระเหยในเครื่องผลิตจะถูกทำให้เย็นลงและควบแน่นโดยใช้น้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านท่อในเครื่องควบแน่นซึ่งติดตั้งอยู่ส่วนบนของเครื่องผลิต สารทำความเย็นที่ควบแน่นแล้วจะไหลกลับไปยังเครื่องระเหย โดยอาศัยความถ่วง และความแตกต่างของความดัน จากนั้นจะถูกเครื่องสูบสารทำความเย็นสูบให้หมุนเวียนเป็นวัฏจักรการทำงานระบบดูดกลืน แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 กระบวนการควบแน่นและวัฏจักรการทำงานระบบดูดกลืน

## 2.2.4 สารทำความเย็นและสารดูดกลืนในการทำความเย็นระบบดูดกลืน

สารทำความเย็นและสารดูดกลืนที่นิยมใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจะมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสารคู่ระหว่างสารทำความเย็นและสารดูดกลืน

สารทำความเย็น (Refrigerant)	สารดูดกลืน (Absorbent)
น้ำ (H <sub>2</sub> O)	ลิเทียมโบรไมด์ (LiBr)
แอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> )	น้ำ (H <sub>2</sub> O)
แอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> )	โซเดียมไทโอไซยาเนต (NaSCN)
น้ำ (H <sub>2</sub> O)	ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl)
แอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> )	ลิเทียมไนเตรต (LiNO <sub>3</sub> )
ฟร็อน 21 (CHCl <sub>2</sub> F)	สารละลาย Glycol ether

สำหรับสารทำความเย็นและสารดูดกลืนที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในท้องตลาดจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ สารละลายลิเทียมโบรไมด์กับน้ำ, และแอมโมเนียกับน้ำ ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

### 1) สารละลายลิเทียมโบรไมด์-น้ำ

น้ำเป็นสารทำความเย็น สารละลายลิเทียมโบรไมด์เป็นสารดูดกลืน สารละลายต้องทำงานที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมาก จึงต้องระวังการรั่วซึมของอากาศภายนอกไหลเข้าสู่ระบบ มีค่าความร้อนแฝงกลายเป็นไอน้ำ จึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนแฝงในการแยกน้ำออกจากสารละลายมากนัก มีค่าการนำความร้อนสูงจึงใช้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อย แต่สารละลายลิเทียมโบรไมด์สามารถตกผลึกได้ง่าย หากอุณหภูมิของสารละลายในเครื่องผลิตสูงเกินไป และไม่สัมพันธ์กับอัตราการไหลเวียน สำหรับความเข้มข้นของสารละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดกลืน ประสิทธิภาพการดูดกลืนของสารละลายจะต่ำลง ถ้าการระบายความร้อนภายในเครื่องดูดกลืนไม่ดีพอ สารละลายลิเทียมโบรไมด์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานเนื่องจากจะไม่ระเหยกกลายเป็นไอ

### 2) แอมโมเนีย-น้ำ

แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นส่วนน้ำเป็นสารดูดกลืน สำหรับระบบที่ใช้แอมโมเนีย-น้ำจะมีชุดกลั่นสารทำความเย็นเป็นตัวต้มน้ำ หรือหน่วยแยกน้ำ (Rectifying or Distillation Column) ความดันในระบบสูงกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้สามารถตรวจหารอยรั่วได้ง่าย อุณหภูมิการทำงานที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ในระบบที่ใช้แอมโมเนีย-น้ำ จะใช้อุณหภูมิในการแยกสารละลายไม่สูงนัก ทำให้ใช้แหล่งพลังงานภายนอก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานได้ สารละลายในระบบนี้ราคาถูกหาซื้อได้ง่ายแต่ถ้าเกิดการรั่วซึมก็จะเป็นพิษต่อมนุษย์ จึงต้องใช้ระบบทำความเย็นด้วยน้ำ ระบบนี้มีค่าความร้อนแฝงในการระเหยสูง จึงต้องใช้แหล่งความร้อนในการแยกสารละลายมาก มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ ต้องมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้พื้นที่ ค่า

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ต่ำเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้สารละลายชนิดอื่น นอกจากนี้แอมโมเนียมีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ในการใช้งานจึงควรใช้ประกอบกับสารยับยั้งการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitor) โดยคุณสมบัติของสารยับยั้งการกัดกร่อนในระบบทำความเย็นระบบดูดกลืน แสดงดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** คุณสมบัติของสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

ชนิดของสารเคมี	คุณสมบัติ
Lithium Molybdate ( $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ )	ไม่เป็นอันตราย ไม่มีพิษ เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีมาก แต่ละลายได้ไม่ดีกับสารละลายลิเทียมโบรไมด์
Lithium Nitrate ( $\text{LiNO}_3$ )	มีประสิทธิภาพในการลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจน เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดี ไม่เป็นอันตราย และไม่มีพิษ
Lithium Chromate ( $\text{LiCrO}_4$ )	ใช้กันอย่างแพร่หลายในอดีต แต่เป็นอันตราย และมีพิษ

### 2.2.5 คุณสมบัติของสารทำความเย็นและสารดูดกลืนในเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

- 1) สารทั้งสองต้องรวมตัวกันได้ดี คือ สารดูดกลืนต้องสามารถดูดกลืนไอของสารทำความเย็นได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นผลจาก พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) ซึ่งเป็นการเกิดพันธะทางเคมี (Chemical Bonding) และเมื่อได้รับความร้อนสารทั้งสองต้องสามารถแยกออกจากกันได้
- 2) สารทั้งสองต้องอยู่ในสถานะของสารละลายตลอดเวลาการใช้งานในระบบ
- 3) สารดูดกลืนต้องไม่ระเหยกลายเป็นไปในเครื่องผลิต
- 4) มีคุณสมบัติคงที่ตลอดอายุการใช้งาน เพราะสารทั้งสองจะต้องแยกและผสมกันตลอดเวลาการใช้งาน
- 5) ต้องไม่กัดกร่อนอุปกรณ์ที่ใช้งาน
- 6) มีความดันในการทำงานที่เหมาะสม คือมีความความดันสูงหรือความดันต่ำใกล้เคียงกับบรรยากาศ จึงช่วยป้องกันการรั่วซึมของสารละลาย
- 7) มีความปลอดภัยในการทำงาน ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ
- 8) มีความหนืดต่ำ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนดีและใช้พลังงานในการไหลเวียนภายในระบบน้อยลง
- 9) ต้องมีพลังงานความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูง ทำให้สารละลายที่ใช้ไหลเวียนในระบบน้อยลง

## 2.2.6 ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

ในปัจจุบันเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนที่มีการผลิตออกมาสู่ผู้ใช้ สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียว (Single Effect) และเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้น (Double Effect) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [12]

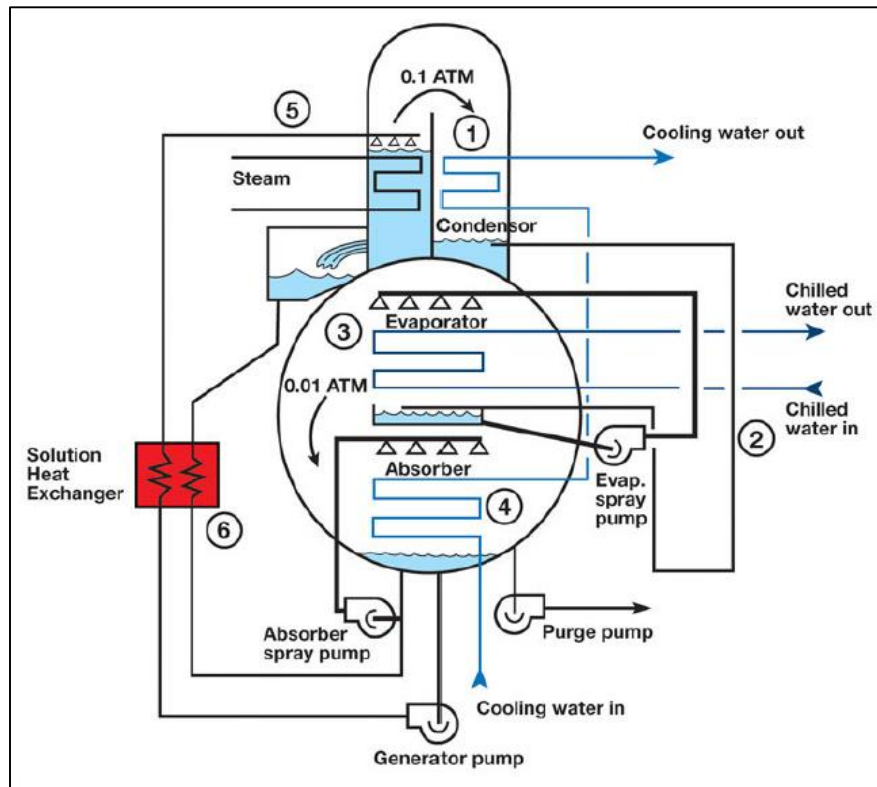
### 1) เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียว (Single Effect)



ภาพที่ 2.8 เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียว (Single Effect) [13]

ในถึงความดันสูง เมื่อสารทำความเย็นที่อยู่ในเครื่องผลิตได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ จะกระจายไปสู่เครื่องควบแน่นที่อยู่ใกล้เคียงกัน (จุดที่ 1) จะถูกทำให้กลายเป็นของเหลว เมื่อของเหลวจากเครื่องควบแน่นไหลลงไปสู่ถึงความดันต่ำ (จุดที่ 2) ก็จะถูกทำให้กลายเป็นไออีกครั้งภายในเครื่องระเหย จากนั้นจะกระจายลงไปสู่เครื่องดูดกลืน การกลายเป็นไอในเครื่องระเหย (จุดที่ 3) จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำที่มีภาระทำความเย็น (Chilled Water) มาสู่สารทำความเย็นโดยการอัดสารทำความเย็นและพ่นให้เป็นฝอยลอยอยู่เหนือท่อน้ำเย็นภายในเครื่องระเหยจะให้น้ำจากภาระทำความเย็นที่อยู่ในท่อมืดอุณหภูมิลดลง

ไอของสารทำความเย็นเมื่อได้รับการถ่ายเทความร้อนจนกลายเป็นไอแล้วจะกระจายไปสู่เครื่องดูดกลืน (จุดที่ 4) ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายเครื่องระเหย คือ ใช้เครื่องพ่นสารดูดกลืนให้เป็นฝอยเพื่อดูดกลืนไอสารทำความเย็นที่อยู่เหนือท่อน้ำหล่อเย็น เมื่อสารดูดกลืนผสมกับสารทำความเย็นแล้วจะเป็นสารละลายเจือจาง และจะมีความร้อนออกมา โดยความร้อนนี้จะถ่ายเทไปยังน้ำหล่อเย็น แล้วน้ำออกทิ้งที่หอทำน้ำเย็น (Cooling Tower) น้ำหล่อเย็นนี้จะรับความร้อนจากเครื่องควบแน่นด้วย โดยจะรับความร้อนจากเครื่องดูดกลืนก่อน (เพราะมีอุณหภูมิต่ำกว่า) แล้วจะต่อไปยังเครื่องควบแน่นตามลำดับที่แสดงดังภาพ 2.9 สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียว จะมีการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้งาน (จุดที่ 6) เพื่อถ่ายเทความร้อนจากสารละลายเข้มข้นอุณหภูมิสูงไปสู่เครื่องผลิตเพื่อเริ่มวัฏจักรต่อไป (จุดที่ 5)



ภาพที่ 2.9 การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียว

2) เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้น (Double Effect)

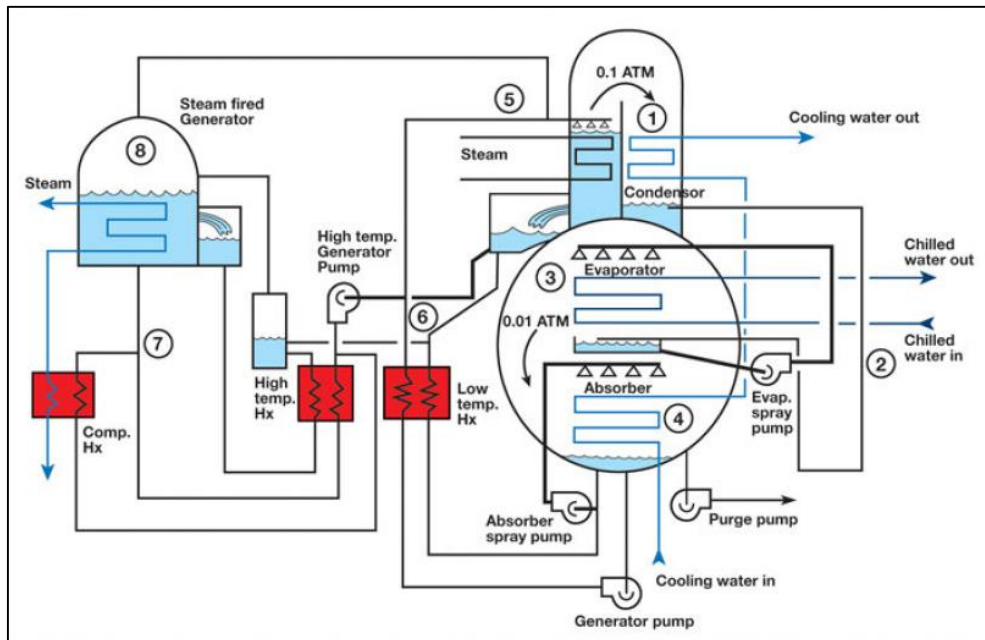


ภาพที่ 2.10 เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้น (Double Effect)

เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้น ออกแบบมาเพื่อลดค่าใช้จ่าย โดยการลดปริมาณความร้อนที่ต้องการด้วยการใช้พลังงานความร้อนในเครื่องผลิตให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากภาพที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าในเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้นจะติดตั้งเครื่องผลิต (จุดที่ 8) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (จุดที่ 7) เพิ่มขึ้นมาจากเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียวอีกชุดหนึ่ง

ในเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนชั้นเดียว ไอสารทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องผลิตจะกลายเป็นสารทำความเย็นเหลวจากการที่ไ้ระบายความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น แต่

ในส่วนเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้น ความร้อนแฝงของไอสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องผลิตอุณหภูมิสูงจะถูกนำไปใช้สำหรับทำให้สารละลายดูดกลืนในเครื่องผลิตอุณหภูมิต่ำร้อนขึ้น เพราะฉะนั้นเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้นจึงต้องการความร้อนที่น้อยกว่า ในการแยกสารทำความเย็นต่อต้านความเย็นมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีขึ้น ความต้องการปริมาณของสารทำความเย็นที่ควบแน่นในเครื่องควบแน่นจะน้อยกว่า ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ระบายให้น้ำหล่อเย็นในจะมีค่าน้อยกว่า



ภาพที่ 2.11 การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนสองชั้น

## 2.2.7 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

ในทางปฏิบัติความสามารถของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน สามารถหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ COP (Coefficient of Performance) ดังสมการที่ (2.1)

$$\text{COP} = \frac{Q_E}{Q_G} = \frac{\rho_E \dot{V}_E C_{pE} (T_{E,i} - T_{E,o})}{\rho_G \dot{V}_G C_{pG} (T_{G,i} - T_{G,o})} \quad (2.1)$$

- โดยที่
- $Q_E$  = ปริมาณความร้อนที่เครื่องระเหยสามารถถ่ายเทเพื่อทำความเย็น
  - $Q_G$  = ปริมาณความร้อนที่เครื่องผลิตได้รับจากแหล่งความร้อน
  - $\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ
  - $\dot{V}$  = อัตราการไหลของน้ำ
  - $C_p$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ
  - $T_i$  = อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน



$T_o$  = อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม

### 2.3.1 ประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่เน้นด้านการคำนวณ ที่ลอกเลียนความสามารถของสมองมนุษย์ ซึ่งมีการเรียนรู้ สามารถฝึกฝนได้ และสามารถนำความรู้และทักษะไปแก้ปัญหาต่างๆ มีนักวิจัยจำนวนมากได้คิดค้นรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โดยในปี พ.ศ.2486 แม็คคัลลอคและพิตส์ แห่งมหาวิทยาลัยชิคาโก ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำเสนอบทความวิชาการ “Boolean brain” ซึ่งเป็นแบบจำลองของเซลล์ประสาท และได้แสดงให้เห็นว่าในทางทฤษฎีนั้น โครงข่ายของแบบจำลองเซลล์ประสาทสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ จึงถือว่างานนี้เป็นปีแห่งการกำเนิดของสาขาโครงข่ายประสาทเทียมในวงการวิทยาศาสตร์ ต่อมาในปี พ.ศ.2492 โดแนลด์ เฮบบ์ ได้เสนอผลงานวิจัยที่แสดงได้ว่า การเรียนรู้ของสมองสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบของการประกอบเซลล์ประสาทเข้าด้วยกันเป็นโครงข่าย และได้เสนอกฎการเรียนรู้ของเฮบบ์ (Hebb's rule) ที่ทำให้โครงข่ายของเซลล์ประสาทเทียมที่แม็คคัลลอคและพิตส์เสนอไว้ สามารถเรียนรู้ปัญหาต่างๆ ได้สำเร็จ แต่การเรียนรู้ในแบบของเฮบบ์ เป็นการเรียนรู้แบบ “ไม่มีผู้สอน” ซึ่งไม่เหมาะสมกับปัญหาที่ต้องมีการควบคุมการเรียนรู้ ทำให้ในปี พ.ศ.2501 แฟรงค์ เซ็นแบลทท์ จึงพัฒนาลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้แบบจำลองของแม็คคัลลอคและพิตส์เป็นแนวทางในการพัฒนา จนได้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซพตรอน (Perceptron) ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบ “มีผู้สอน” ที่มีความเหมาะสมกับงานประเภทที่ต้องมีการระบุชนิดข้อมูล [14]

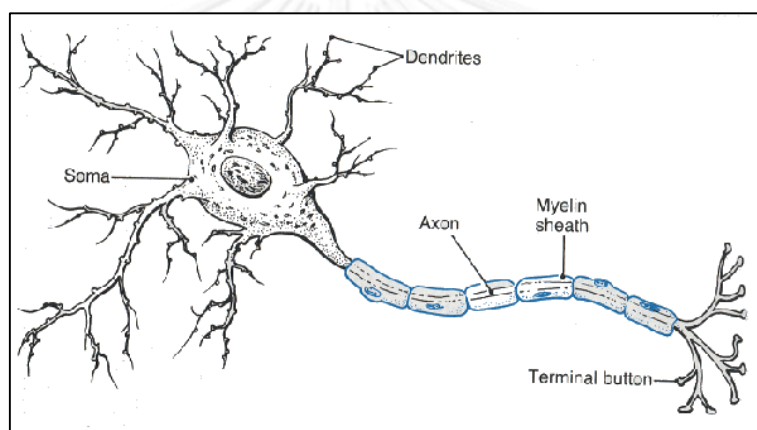
### 2.3.2 ความหมายและหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการประมวลผลที่เรียกว่านิวรอน (Neuron) ทุกๆ นิวรอนสามารถมีข้อมูลป้อนเข้า (Input) ได้หลายข้อมูล แต่จะมีข้อมูลส่งออก (Output) ได้เพียงข้อมูลเดียวเท่านั้น และทุกๆ ข้อมูลส่งออก จะแยกไปยัง ข้อมูลป้อนเข้าของนิวรอนอื่นๆ ภายในโครงข่าย โดยการเชื่อมต่อกันภายในระหว่างนิวรอนไม่ใช่ลักษณะการเชื่อมต่อกันแบบธรรมดา เพราะทุกข้อมูลป้อนเข้าจะมีน้ำหนักเป็นตัวกำหนดกำลังของการเชื่อมต่อภายในและช่วยในการตัดสินใจ การทำงานของนิวรอนในบางโครงข่ายจะถูกกำหนดไว้ตายตัว แต่บางโครงข่ายสามารถที่จะปรับแต่งได้ซึ่งอาจจะเป็นการปรับแต่งจากภายนอกโครงข่ายหรือนิวรอนสามารถปรับได้ด้วยตัวเอง นั้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเรียนรู้และการจดจำของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) และจุดประสานประสาท หรือไซแนปส์ (Synapses) โดยโครงสร้างของการส่งสัญญาณประสาทเริ่มจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทหลายพันล้านเซลล์ ซึ่งเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะมีแขนงรับสัญญาณประสาทซึ่งเป็น

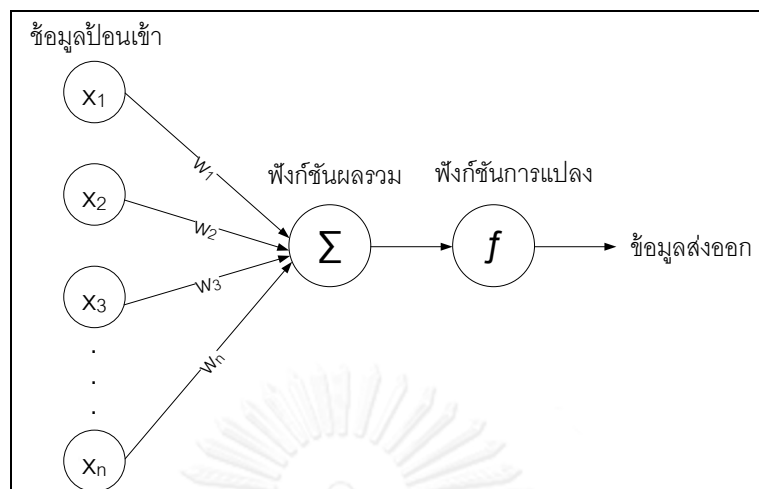
เสมือนหน่วยรับข้อมูลป้อนเข้า ที่เรียกว่า “เดนไดรต์” (Dendrites) และส่วนปลายของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาทซึ่งเปรียบเสมือนหน่วยส่งข้อมูลออกของเซลล์ ที่เรียกว่า “แอกซอน” (Axon) ในการส่งสัญญาณประสาทอาจทำให้เกิดได้ทั้งการกระตุ้นและยับยั้ง นอกจากนี้วิธีการประมวลผลภายในเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ก็ยังคงมีการขยายหรือลดขนาดของสัญญาณได้อีกด้วย โดยสัญญาณจากเดนไดรต์ต่างๆ จะรวมกันเข้าสู่เซลล์ประสาท และหากสัญญาณรวมมีความแรงเกินค่าระดับ (Threshold) ที่เซลล์ประสาทนั้นๆ รับผิดชอบได้ เซลล์ประสาทก็จะส่งสัญญาณออกทางแอกซอนต่อไป

กระบวนการเรียนรู้ในสิ่งมีชีวิตจะมีผลให้เกิดการสร้างไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาทขึ้นมาใหม่ หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของไซแนปส์ต่างๆ ในโครงข่ายของเซลล์ประสาท โครงข่ายประสาทของสิ่งมีชีวิตจึงไม่ได้ทำงานแบบเป็นลำดับขั้นตอน (Sequential) แต่เพียงอย่างเดียว สำหรับลักษณะโดยทั่วไปของโครงข่ายประสาทของมนุษย์แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ลักษณะโดยทั่วไปของโครงข่ายประสาทของมนุษย์

สำหรับในคอมพิวเตอร์ หนึ่งนิวรอนจะประกอบด้วยข้อมูลป้อนเข้าและข้อมูลส่งออก โดยจำลองให้ข้อมูลป้อนเข้าแต่ละอันมีค่าน้ำหนัก (Weight) เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของข้อมูลป้อนเข้า ซึ่งน้ำหนักรวมที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังฟังก์ชันการแปลงและส่งต่อไปยังข้อมูลส่งออก เพื่อส่งไปยังนิวรอนตัวอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.13 และเมื่อนำแต่ละนิวรอนมาเชื่อมต่อให้ทำงานร่วมกันการทำงานนี้ก็จะมีเหมือนกับการทำงานของโครงข่ายระบบประสาทของมนุษย์



ภาพที่ 2.13 การทำงานของนิวรอน

### 2.3.3 ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ข้อมูลป้อนเข้า ข้อมูลส่งออก ค่าน้ำหนัก ฟังก์ชันผลรวม และฟังก์ชันการแปลง มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ข้อมูลป้อนเข้า (Input) คือ ข้อมูลเริ่มต้นของการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นตัวเลข
- 2) ข้อมูลส่งออก (Output) คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
- 3) ค่าน้ำหนัก (Weight) คือ ค่าความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และใช้สำหรับการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน
- 4) ฟังก์ชันผลรวม (Summation of Function) คือ ผลรวมระหว่างข้อมูลป้อนเข้าและค่าน้ำหนัก
- 5) ฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) คือ การคำนวณการจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยฟังก์ชันการแปลงแบบเชิงเส้น (Linear) ฟังก์ชันการแปลงแบบลอจิสติกมอยด์ (Log-sigmoid) หรือฟังก์ชันการแปลงแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-sigmoid)

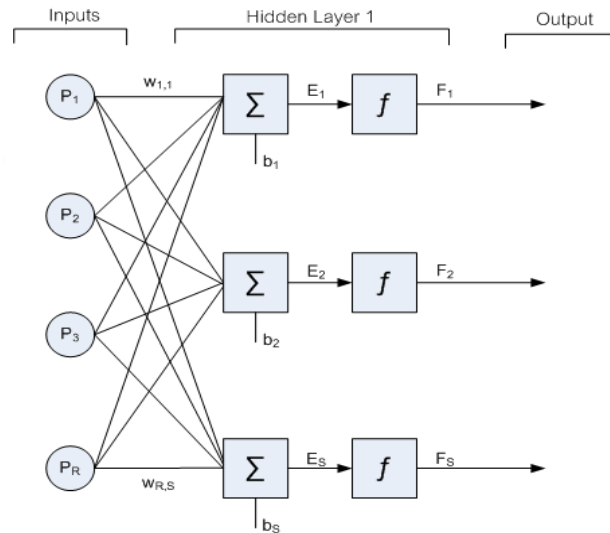
### 2.3.4 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วยนิวรอนจำนวนมากเชื่อมต่อกัน โดยการเชื่อมต่อกันจะแบ่งเป็นชั้น (Layer) ชั้นแรกเป็นชั้นข้อมูลป้อนเข้า (Input Layer) ซึ่งมีหน้าที่รับข้อมูลป้อนเข้า ชั้นสุดท้ายเรียกว่า ชั้นข้อมูลส่งออก (Output Layer) ส่วนชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นข้อมูลป้อนเข้าและชั้นข้อมูลส่งออก จะเรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งอาจจะมียามากกว่า 1 ชั้น ดังนั้น ถ้าเราแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่าย จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Perceptron) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Perceptron) [15]

### 1) โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Perceptron)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวหลายนิวรอนจะมีหลายสัญญาณเข้าและหลายสัญญาณออก ซึ่งทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีหลายตัวแปรได้ แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

จากภาพที่ 2.14 สามารถคำนวณข้อมูลส่งออกได้ดังสมการต่อไปนี้

$$E_1 = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + w_{1,3}p_3 + \dots + w_{1,R}p + b_1$$

$$E_2 = w_{2,1}p_1 + w_{2,2}p_2 + w_{2,3}p_3 + \dots + w_{2,R}p + b_2$$

$$E_S = w_{S,1}p_1 + w_{S,2}p_2 + w_{S,3}p_3 + \dots + w_{S,R}p + b_S$$

ดังนั้น ข้อมูลส่งออก คือ

$$F_1 = f(E_1) = f(w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + w_{1,3}p_3 + \dots + w_{1,R}p + b_1)$$

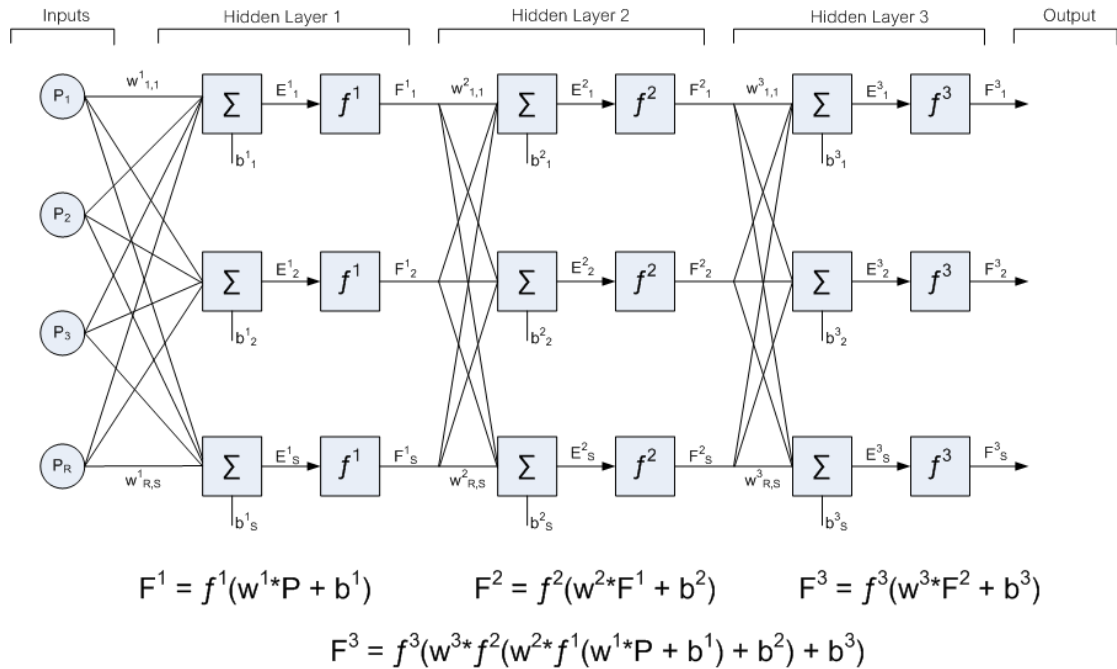
$$F_2 = f(E_2) = f(w_{2,1}p_1 + w_{2,2}p_2 + w_{2,3}p_3 + \dots + w_{2,R}p + b_2)$$

$$F_S = f(E_S) = f(w_{S,1}p_1 + w_{S,2}p_2 + w_{S,3}p_3 + \dots + w_{S,R}p + b_S)$$

### 2) โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Perceptron)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่สามารถทำงานที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ คือ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานเกือบทุกประเภท แต่มีข้อแม้ว่าต้องมีจำนวนของชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสม โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีหลายรูปแบบ เช่น การแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) เซลล์ออร์แกนไนซิงแมปส์ (Self Organizing Maps) และ เคาน์เตอร์พอพะเกชั่น (Counter Propagation)

เป็นต้น ซึ่งการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบสามชั้น แสดงดังภาพที่ 2.15

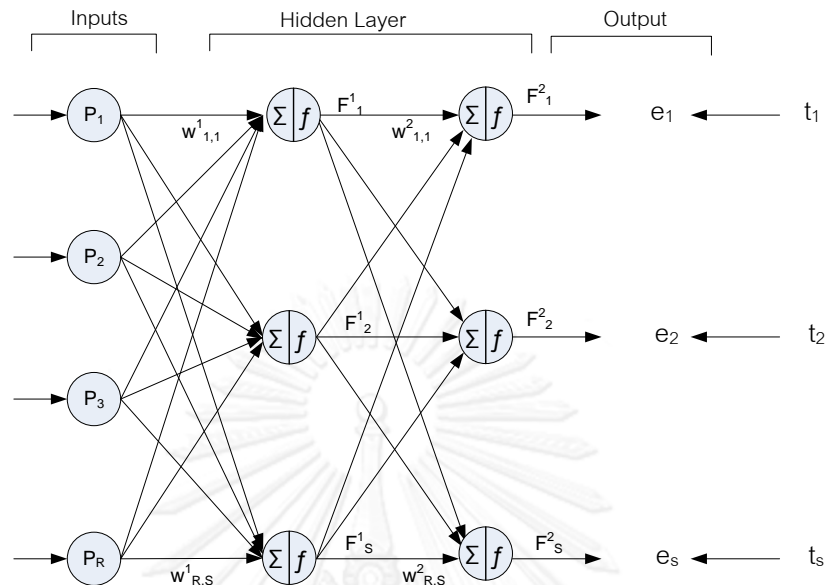


ภาพที่ 2.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสามชั้น

### 2.3.5 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม สามารถใช้งานได้หลายประเภท เช่น ประเภทที่ใช้สำหรับการทำนาย การพยากรณ์ หรือประเภทที่ใช้สำหรับการจัดลำดับหมวดหมู่ เป็นต้น โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ต่าง ๆ นั้น มันจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่มีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน คือมีการนำผลลัพธ์จริงกับผลลัพธ์ที่คำนวณได้ ไปหาค่าความผิดพลาดเพื่อนำมาปรับค่าน้ำหนักให้ค่าที่พยากรณ์ได้กับค่าจริงมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้ามาทำนายข้อมูลส่งออก ส่วนการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการจัดกลุ่มหรือจัดหมวดหมู่นั้น จะใช้ข้อมูลป้อนเข้ามากำหนดลักษณะสำหรับการจัดหมวดหมู่ โดยไม่มีการปรับค่าน้ำหนักจากค่าความผิดพลาดที่เป็นตัวเลข [16]

### 2.3.6 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ



ภาพที่ 2.16 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ หรือ แบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้น ที่แสดงดังภาพที่ 2.16 ซึ่งนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ มีลักษณะดังนี้ คือ

- 1) จำนวนชั้นต่างๆ ของโครงข่ายประสาทเทียม จะประกอบด้วย ชั้นข้อมูลป้อนเข้า ชั้นข้อมูลส่งออก และชั้นซ่อนที่อยู่ระหว่างชั้นข้อมูลป้อนเข้าและชั้นข้อมูลส่งออก
- 2) การเชื่อมต่อระหว่างชั้นต่างๆ จะมีลักษณะที่ทุกนิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้าจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อน และทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนจะส่งสัญญาณไปยังชั้นข้อมูลส่งออก
- 3) ในชั้นข้อมูลป้อนเข้าจะไม่มีผลกระทบใดๆ ทั้งสิ้น แต่จะทำหน้าที่เพียงแค้รับข้อมูลป้อนเข้าและส่งไปยังนิวรอนในชั้นซ่อน ส่วนชั้นซ่อนและชั้นข้อมูลส่งออกจะเป็นชั้นที่มีการประมวลผล

### 2.3.7 ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

- 1) กำหนดจำนวนข้อมูลป้อนเข้าและข้อมูลส่งออก
- 2) กำหนดจำนวนนิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน จำนวนนิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก และกำหนดจำนวนรอบที่จะทำการเรียนรู้
- 3) การสุ่มน้ำหนักเริ่มต้นให้กับทุกๆ เส้นที่เชื่อมโยงภายในโครงข่ายประสาทเทียม
- 4) รับข้อมูลป้อนเข้าของข้อมูลชุดแรก เพื่อคำนวณหาข้อมูลส่งออกของโครงข่ายประสาทเทียม

- 5) คำนวณค่าผลรวมของนิวรอนในชั้นซ่อน และปรับค่าด้วยฟังก์ชันการแปลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชัน Log-sigmoid ดังภาพที่ 2.17 ซึ่งจะทำให้ค่าของนิวรอนในชั้นซ่อนอยู่ในช่วง  $[0, 1]$  รายละเอียดดังสมการที่ (2.2) – (2.4)

ค่าของข้อมูลส่งออกของชั้นซ่อนก่อนทำการปรับค่า ดังสมการ (2.2)

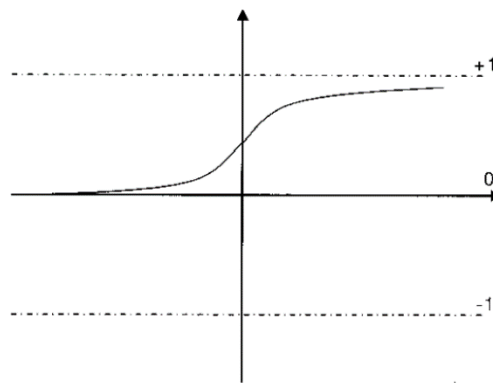
$$E_S^1 = \sum_{r=1}^R P_R * w_{R,S}^1 \quad (2.2)$$

ค่าของข้อมูลส่งออกของชั้นซ่อนหลังทำการปรับค่า ดังสมการ (2.3)

$$F_S^1 = f(E_S^1) \quad (2.3)$$

ฟังก์ชันการแปลง Log-sigmoid ดังสมการ (2.4)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.4)$$



ภาพที่ 2.17 ค่าที่ได้จากฟังก์ชันการแปลง Log-sigmoid

- 6) คำนวณค่าของข้อมูลส่งออกในชั้นข้อมูลส่งออกด้วยสมการที่ (2.5) และปรับค่าของผลรวมด้วยฟังก์ชันการแปลง Log-sigmoid ด้วยสมการที่ (2.4) ซึ่งค่าของข้อมูลส่งออกก็จะอยู่ในช่วง  $[0, 1]$  เช่นเดียวกัน ส่วนค่าของผลลัพธ์ของนิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออกหลังปรับค่าแสดงดังสมการที่ (2.6)

ค่าของข้อมูลส่งออกของชั้นข้อมูลส่งออกก่อนทำการปรับค่า ดังสมการ (2.5)

$$E_S^2 = \sum_{r=1}^R F_R^1 * w_{R,S}^2 \quad (2.5)$$

ค่าของข้อมูลส่งออกของชั้นข้อมูลส่งออกหลังทำการปรับค่า ดังสมการ (2.6)

$$F_S^2 = f(E_S^2) \quad (2.6)$$

- 7) หาค่าความผิดพลาดของนิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก โดยนำข้อมูลส่งออกที่คำนวณได้จริง ( $F_S^2$ ) เปรียบเทียบกับข้อมูลส่งออกที่กำหนดไว้ ( $t_S$ ) โดยค่าผิดพลาดในแต่ละจุดข้อมูล ( $e(j)$ ) แสดงดังสมการ (2.7)

$$e(j) = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^S (t_s - F_s^2)^2 \quad (2.7)$$

- 8) เมื่อทำการเรียนรู้ครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ ให้คำนวณค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Sum Squared Errors: SSE) ดังสมการที่ (2.8)

$$\text{Sum Squared Errors (SSE)} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^q (e_i(j))^2 \quad (2.8)$$

โดย  $e_i(j)$  = ค่าผิดพลาดของข้อมูลชุดที่  $j$  รอบที่  $i$

- 9) นำข้อมูลส่งออกที่คำนวณได้ในชุดสุดท้ายเปรียบเทียบกับข้อมูลส่งออกที่กำหนดไว้ ด้วยสมการ (2.9) ซึ่งเป็นสมการของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination:  $R^2$ ) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลส่งออกจริง ( $X$ ) และข้อมูลส่งออกที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม ( $Y$ ) ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด

$$R^2 = \left[ \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (2.9)$$

โดย  $R^2$  = ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

$X$  = ข้อมูลส่งออกจริง

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลส่งออกจริง

$Y$  = ข้อมูลส่งออกที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

$\bar{Y}$  = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลส่งออกที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม



### บทที่ 3 วิธีดำเนินการ

#### 3.1 การหาประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์

##### 3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน (Absorption Chiller) เป็นอุปกรณ์สำคัญในระบบปรับอากาศ มีสารละลายลิเทียมโบรไมด์-น้ำ เป็นสารคู่ทำงาน แสดงดังภาพที่ 3.1

รายละเอียดเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

• ขนาดการทำความเย็น		23	กิโลวัตต์
• น้ำเย็น	อุณหภูมิเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	15	องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	10	องศาเซลเซียส
	อัตราการไหล	4.0	ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง
	แรงดันตกคร่อม	0.03	เมกะปาสคาล
• น้ำร้อน	อุณหภูมิเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	90	องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	85	องศาเซลเซียส
	อัตราการไหล	5.8	ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง
	แรงดันตกคร่อม	0.04	เมกะปาสคาล



ภาพที่ 3.1 เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

- 2) หอระบายความร้อน (Cooling Tower) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ เพื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่ลดลงจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ แสดงดังภาพที่ 3.2

รายละเอียดหอระบายความร้อน

- |   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| • อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น   | 30   | องศาเซลเซียส         |
| • อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น | 35   | องศาเซลเซียส         |
| • อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น                    | 10.0 | ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง |
| • แรงดันตกคร่อม                             | 0.04 | เมกะปาสคาล           |



ภาพที่ 3.2 หอระบายความร้อน

- 3) อุปกรณ์ทำความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า (Heater) เป็นอุปกรณ์ทำความร้อน โดยใช้หลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำ ที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน แสดงดังภาพที่ 3.3

รายละเอียดอุปกรณ์ทำความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า

- |              |       |           |    |        |
|--------------|-------|-----------|----|--------|
| • ขนาดแรงดัน | 380   | โวลต์     | 50 | เฮิร์ต |
| • ขนาดกำลัง  | 9 x 4 | กิโลวัตต์ |    |        |



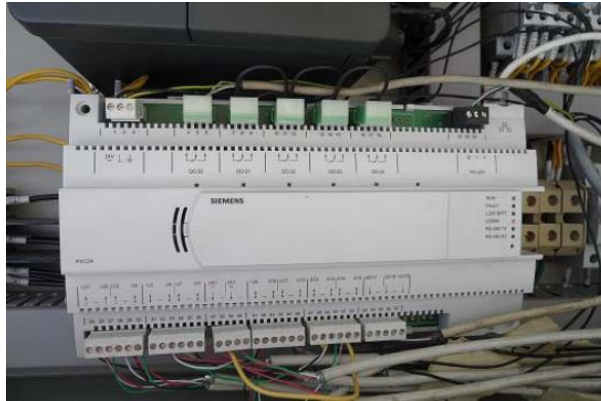
ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ทำความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า

- 4) ชุดตรวจวัดอุณหภูมิ (Cable Temperature Sensor) ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น เวลาใช้งานต้องทาซิลิโคน สำหรับนำความร้อนที่หัววัดก่อน เพื่อให้หน้าสัมผัสของเซนเซอร์สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้นและใส่หัววัดใน Pocket แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ชุดตรวจวัดอุณหภูมิ และ Pocket สำหรับใส่หัววัด

- 5) ชุดควบคุมการทำงาน ใช้เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger) ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นข้อมูลได้ทันที และเก็บบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 3.5

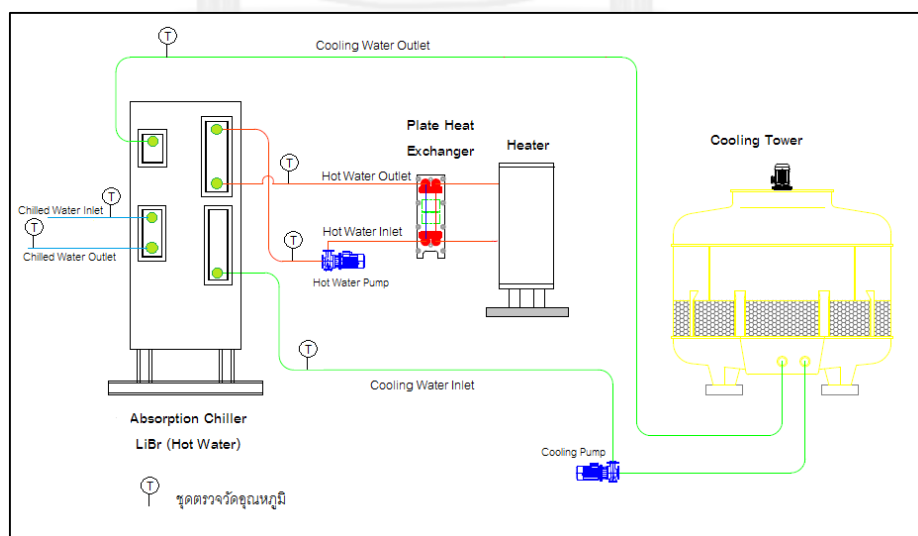


ภาพที่ 3.5 ชุดควบคุมการทำงาน

- 6) คอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล

### 3.1.2 วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็นดังภาพที่ 3.6
- 2) เปิดเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน เครื่องทำความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า (Heater) และหอระบายความร้อน (Cooling Tower)
- 3) เก็บข้อมูลอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,o}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) และอุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,o}$ ) ทุก 1 นาที ด้วยชุดคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล
- 4) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากสมการ (2.1)



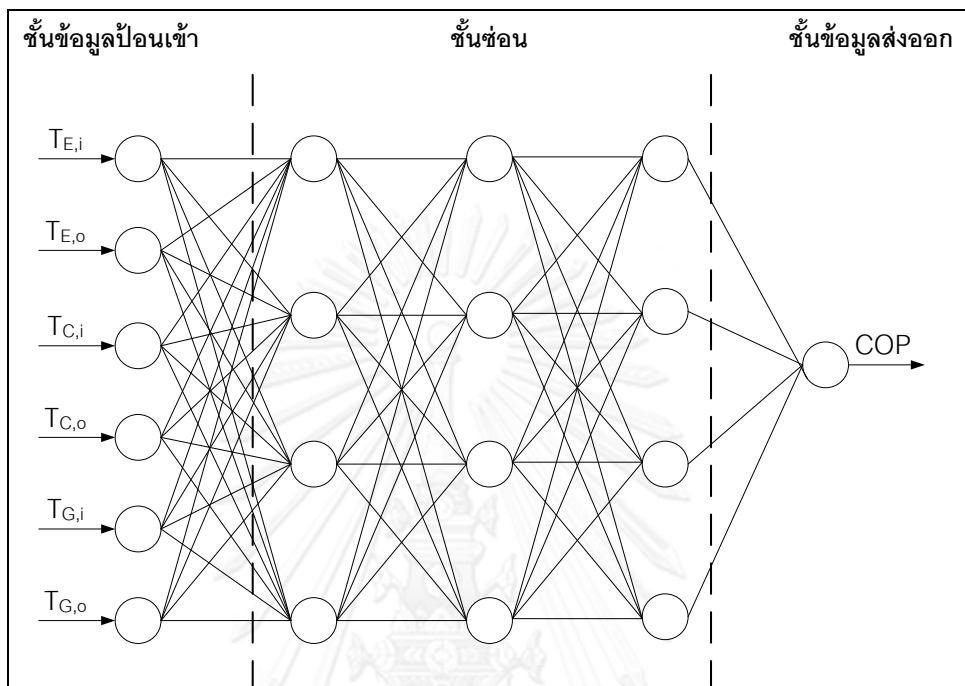
ภาพที่ 3.6 แผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนและจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

## 3.2 การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

### 3.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับชนิดที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล

- 1) นำข้อมูลที่บันทึกจากการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน มาแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ และข้อมูลสำหรับการทดสอบ โดยการสุ่มให้ 75% ของข้อมูลใช้ในการเรียนรู้ และอีก 25% ใช้สำหรับการทดสอบ
- 2) นำข้อมูลป้อนเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับทั้งชุดการเรียนรู้และชุดทดสอบ 6 ข้อมูล ที่ประกอบด้วยอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,o}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,o}$ ) มาลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Normalize) ด้วยหารหาร 100
- 3) เตรียมข้อมูลส่งออกของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับคือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP
- 4) นำข้อมูลป้อนเข้าและข้อมูลส่งออกในชุดการเรียนรู้ มาเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ จากโมเดลที่เขียนไว้ในโปรแกรม MATLAB โดยใช้ฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) คือ Log-Sigmoid (logsig)
- 5) เริ่มต้นการเรียนรู้ด้วยการกำหนดจำนวนชั้นซ่อน และจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นซ่อน
- 6) ทำการเรียนรู้ทั้งหมด 100,000 ครั้ง เมื่อสิ้นสุดการเรียนรู้ให้บันทึกค่าน้ำหนักต่างๆที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ
- 7) นำข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ มาคำนวณค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ตามสมการ (2.8) และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ดังสมการ (2.9) ระหว่างข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับและข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
- 8) นำข้อมูลป้อนเข้าในชุดการทดสอบ มาทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ระหว่างข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับและข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
- 9) ทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อนทั้ง 1 ชั้นซ่อน, 2 ชั้นซ่อน หรือ 3 ชั้นซ่อน และทดลองปรับจำนวนนิวรอนตั้งแต่ 1 – 6 นิวรอน เพื่อเปรียบเทียบแต่ละแบบจำลอง

- 10) เลือกแบบจำลองที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) น้อยที่สุด และสร้างสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากค่าน้ำหนักที่บันทึกไว้

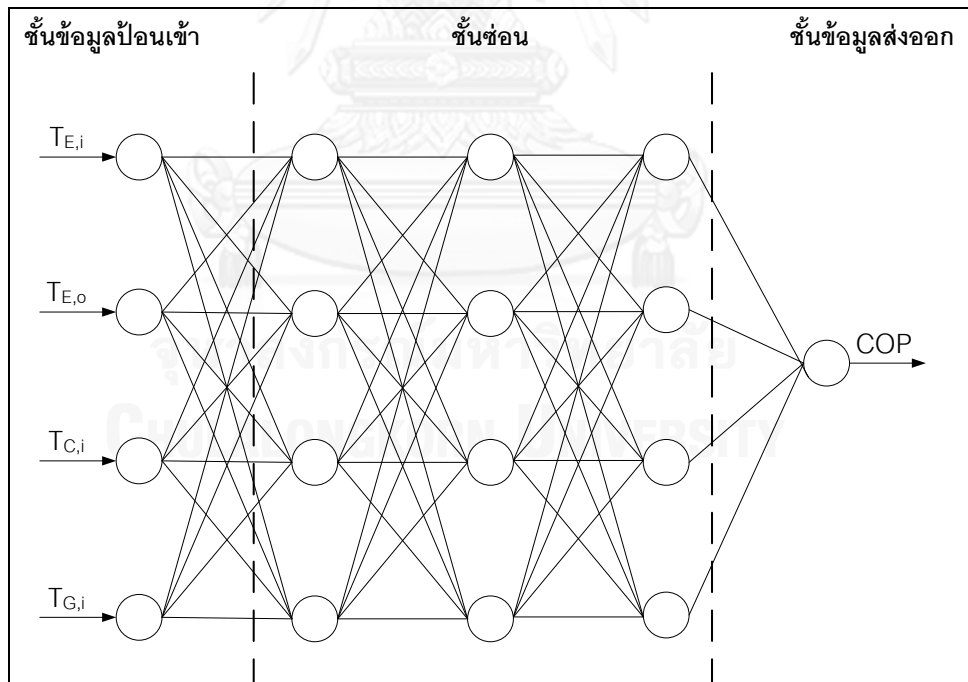


ภาพที่ 3.7 เรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับชนิด 6 ข้อมูลป้อนเข้า

### 3.2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล

- นำข้อมูลที่บันทึกจากการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน มาแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ และข้อมูลสำหรับการทดสอบ โดยการสุ่มให้ 75% ของข้อมูลใช้ในการเรียนรู้ และอีก 25% ใช้สำหรับการทดสอบ
- นำข้อมูลป้อนเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับทั้งชุดการเรียนรู้และชุดทดสอบ 4 ข้อมูล ที่ประกอบด้วยอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) มาลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Normalize) ด้วยการหาร 100
- เตรียมข้อมูลส่งออกของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับคือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP
- นำข้อมูลป้อนเข้าและข้อมูลส่งออกในชุดการเรียนรู้ มาเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ จากโมเดลที่เขียนไว้ในโปรแกรม MATLAB โดยใช้ฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) คือ Log-Sigmoid (logsig)
- เริ่มต้นการเรียนรู้ด้วยการกำหนดจำนวนชั้นซ่อน และจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นซ่อน

- 6) ทำการเรียนรู้ทั้งหมด 100,000 ครั้ง เมื่อสิ้นสุดการเรียนรู้ให้บันทึกค่าน้ำหนักต่างๆ ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ
- 7) นำข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ มาคำนวณค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ตามสมการ (2.8) และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ดังสมการ (2.9) ระหว่างข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับและข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
- 8) นำข้อมูลป้อนเข้าในชุดการทดสอบ มาทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ระหว่างข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับและข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
- 9) ทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อนทั้ง 1 ชั้นซ่อน, 2 ชั้นซ่อน หรือ 3 ชั้นซ่อน และทดลองปรับจำนวนนิวรอนตั้งแต่ 1 – 6 นิวรอน เพื่อเปรียบเทียบแต่ละแบบจำลอง
- 10) เลือกแบบจำลองที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) น้อยที่สุด และสร้างสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากค่าน้ำหนักที่บันทึกไว้



ภาพที่ 3.8 การเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับชนิด 4 ข้อมูลป้อนเข้า

### 3.3 การนำสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์ COP ไปประยุกต์ใช้

- 1) เลือกข้อมูลอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) มา 1 ชุดข้อมูล เพื่อคำนวณหาภาระการทำความเย็น  $Q_{Evap}$  และกำหนดให้เป็นภาระการทำความเย็นที่ 100%
- 2) ที่ภาระการทำความเย็น 100 % ให้คำนวณอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) ใหม่ โดยกำหนดอุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) ที่ 5.00 องศาเซลเซียส
- 3) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ด้วยสมการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยการปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) 27, 28, 29, 30, 31 และ 33 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) 70, 75, 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุด
- 4) คำนวณหาภาระการทำความเย็น  $Q_{Evap}$  ที่ 75% และ 50 %



## บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน ขนาด 23 กิโลวัตต์ ที่ติดตั้ง ณ ชั้นดาดฟ้า อาคารสถาบัน 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในวันที่ 6 พฤษภาคม 2555 เวลา 12.00 – 15.00 น. มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ข้อมูลเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์

อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{E,i}$ [°C]	21.73 – 22.84
อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{E,o}$ [°C]	20.54 – 21.98
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{C,i}$ [°C]	26.81 – 27.84
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{C,o}$ [°C]	28.20 – 29.34
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{G,i}$ [°C]	60.01 – 70.84
อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{G,o}$ [°C]	56.88 – 67.76
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP	0.17 – 0.28

**หมายเหตุ** อัตราการไหลน้ำเย็น อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น และอัตราการไหลน้ำร้อน คงที่ที่ 4, 10 และ 5.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

### 4.1 ผลทดสอบการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

#### 4.1.1 การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์

การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์นั้น ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล คือ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,o}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,o}$ ) และข้อมูลส่งออก 1 ข้อมูล คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** แบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล

โมเดลที่	จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1	จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2	จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 3	ค่า SSE	R <sup>2</sup> จากการเรียนรู้	R <sup>2</sup> จากทดสอบ
1	5	-	-	0.00324	0.9314	0.9249
2	1	5	-	0.00244	0.9493	0.8389

3	2	3	-	0.00235	0.9513	0.9668
4	2	5	-	0.00257	0.9463	0.9637
5	3	1	-	0.00259	0.9461	0.9615
6	3	5	-	0.00237	0.9507	0.9658
7	4	2	-	0.00244	0.9492	0.9672
8	4	4	-	0.00243	0.9495	0.9644
9	2	3	3	0.00250	0.9479	0.9667
10	3	1	2	0.00269	0.9437	0.9624
11	3	1	4	0.00273	0.9427	0.9619
12	3	3	2	0.00238	0.9506	0.9685
13	3	3	4	0.00251	0.9477	0.967
14	3	4	1	0.00251	0.9476	0.967
15	3	4	2	0.00271	0.9432	0.9621
16	3	4	3	0.00237	0.9508	0.9684
17	4	1	3	0.00227	0.9528	0.9679
18	4	1	4	0.00237	0.9506	0.9686
19	4	3	3	0.00239	0.9503	0.9686
20	4	3	4	0.00239	0.9503	0.9686

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-1-3-1 (6 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 1 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 3 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.00227 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้และการทดสอบ 0.9528 และ 0.9676 ตามลำดับ ดังนั้น การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับชั้นข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล สามารถหาได้จากสมการที่ (4.1) ถึง (4.18)

$$E^1_1 = 1.912T_{E,i} + 4.037T_{E,o} + 1.203T_{C,i} + 2.408T_{C,o} - 4.84T_{G,i} - 6.196T_{G,o} + 4.229 \quad (4.1)$$

$$F^1_1 = 1/(1 + e^{-E^1_1}) \quad (4.2)$$

$$E^1_2 = -0.819T_{E,i} - 0.713T_{E,o} + 0.354T_{C,i} + 0.449T_{C,o} + 0.205T_{G,i} + 1.909T_{G,o} - 0.779 \quad (4.3)$$

$$F^1_2 = 1/(1 + e^{-E^1_2}) \quad (4.4)$$

$$E^1_3 = 11.139T_{E,i} + 0.678T_{E,o} + 0.937T_{C,i} - 0.478T_{C,o} - 1.852T_{G,i} - 0.923T_{G,o} + 0.942 \quad (4.5)$$

$$F_3^1 = 1/(1 + e^{-E_3^1}) \quad (4.6)$$

$$E_4^1 = -0.815T_{E,i} - 2.449T_{E,o} - 1.833T_{C,i} - 2.703T_{C,o} + 5.464T_{G,i} + 5.938T_{G,o} - 4.694 \quad (4.7)$$

$$F_4^1 = 1/(1 + e^{-E_4^1}) \quad (4.8)$$

$$E_1^2 = 9.39F_1^1 - 1.907F_2^1 + 2.397F_3^1 - 9.094F_4^1 + 0.111 \quad (4.9)$$

$$F_1^2 = 1/(1 + e^{-E_1^2}) \quad (4.10)$$

$$E_1^3 = -2.059F_1^2 - 0.583 \quad (4.11)$$

$$F_2^3 = 1/(1 + e^{-E_2^3}) \quad (4.12)$$

$$E_2^3 = -7.566F_2^1 + 0.358 \quad (4.13)$$

$$F_1^3 = 1/(1 + e^{-E_1^3}) \quad (4.14)$$

$$E_3^3 = 0.016F_2^1 - 2.871 \quad (4.15)$$

$$F_3^3 = 1/(1 + e^{-E_3^3}) \quad (4.16)$$

$$E_1^4 = -1.629F_1^3 + 1.471F_2^3 - 0.108F_3^3 - 1.264 \quad (4.17)$$

$$COP = F_1^4 = 1/(1 + e^{-E_1^4}) \quad (4.18)$$

การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์ โดยใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล คือ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,o}$ ) และข้อมูลส่งออก 1 ข้อมูล คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล

โมเดล ที่	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 1	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 2	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 3	ค่า SSE	R <sup>2</sup> จาก การเรียนรู้	R <sup>2</sup> จาก การทดสอบ
1	4	-	-	0.00370	0.9196	0.9209
2	5	-	-	0.00350	0.9251	0.9249
3	6	-	-	0.00310	0.9335	0.9146
4	3	1	-	0.00370	0.9212	0.9354
5	4	4	-	0.00250	0.9474	0.9591
6	4	5	-	0.00273	0.9430	0.9581
7	5	2	-	0.00252	0.9473	0.9645
8	2	1	1	0.00315	0.9335	0.9527

9	3	2	3	0.00263	0.9450	0.9645
10	3	3	3	0.00257	0.9464	0.9661
11	3	4	2	0.00255	0.9468	0.9663
12	3	4	4	0.00254	0.9471	0.9666
13	4	1	3	0.00272	0.9431	0.9620
14	4	2	1	0.00277	0.9420	0.9609
15	4	3	1	0.00255	0.9467	0.9661
16	4	3	2	0.00239	0.9503	0.9685
17	4	3	4	0.00239	0.9502	0.9682
18	4	4	2	0.00257	0.9464	0.9659
19	4	4	3	0.00239	0.9502	0.9683
20	4	4	4	0.00251	0.9476	0.9669

ในตารางที่ 4.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-4-3-2-1 (4 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 2 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 3 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-4-3-4-1 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-4-4-3-1 มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากัน คือ 0.00239 แต่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-4-3-2-1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้และการทดสอบมากที่สุด คือ 0.9503 และ 0.9685 ตามลำดับ ดังนั้น การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับชั้นข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล สามารถหาได้จากสมการที่ (4.19) ถึง (4.38)

$$E^1_1 = -0.109T_{E,i} - 1.248T_{E,o} - 1.75T_{C,i} + 4.225T_{G,i} - 1.792 \quad (4.19)$$

$$F^1_1 = 1/(1 + e^{-E^1_1}) \quad (4.20)$$

$$E^1_2 = -0.487T_{E,i} - 2.753T_{E,o} - 1.396T_{C,i} + 3.092T_{G,i} - 0.861 \quad (4.21)$$

$$F^1_2 = 1/(1 + e^{-E^1_2}) \quad (4.22)$$

$$E^1_3 = 0.373T_{E,i} - 0.325T_{E,o} - 1.429T_{C,i} + 2.336T_{G,i} - 1.022 \quad (4.23)$$

$$F^1_3 = 1/(1 + e^{-E^1_3}) \quad (4.24)$$

$$E^1_4 = 2.496T_{E,i} + 4.608T_{E,o} + 2.508T_{C,i} - 9.676T_{G,i} + 3.552 \quad (4.25)$$

$$F^1_4 = 1/(1 + e^{-E^1_4}) \quad (4.26)$$

$$E_1^2 = -1.11F_1^1 - 2.134F_2^1 + 0.027F_3^1 + 4.776F_4^1 - 0.012 \quad (4.27)$$

$$F_1^2 = 1/(1 + e^{-E_1^2}) \quad (4.28)$$

$$E_2^2 = 3.676F_1^1 + 3.217F_2^1 + 2.274F_3^1 - 7.875F_4^1 - 1.013 \quad (4.29)$$

$$F_2^2 = 1/(1 + e^{-E_2^2}) \quad (4.30)$$

$$E_3^2 = 1.504F_1^1 + 0.358F_2^1 + 1.129F_3^1 - 3.642F_4^1 - 0.877 \quad (4.31)$$

$$F_3^2 = 1/(1 + e^{-E_3^2}) \quad (4.32)$$

$$E_1^3 = 1.957F_1^2 - 3.343F_2^2 - 1.783F_3^2 - 1.17 \quad (4.33)$$

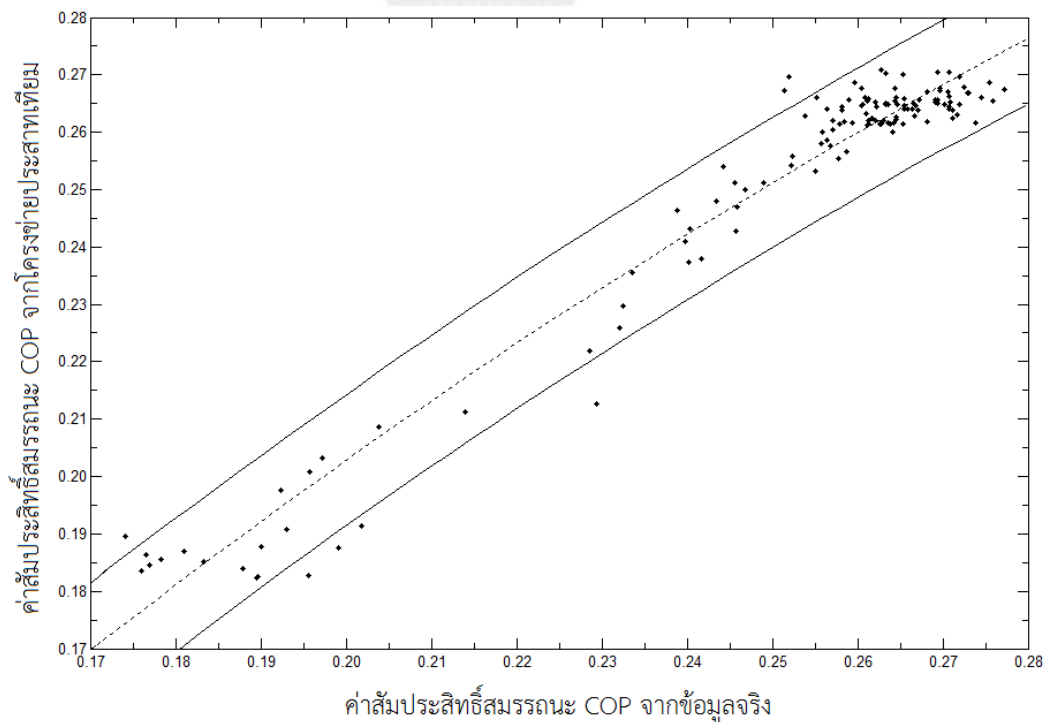
$$F_1^3 = 1/(1 + e^{-E_1^3}) \quad (4.34)$$

$$E_2^3 = 5.164F_1^2 - 6.243F_2^2 - 2.635F_3^2 + 1.848 \quad (4.35)$$

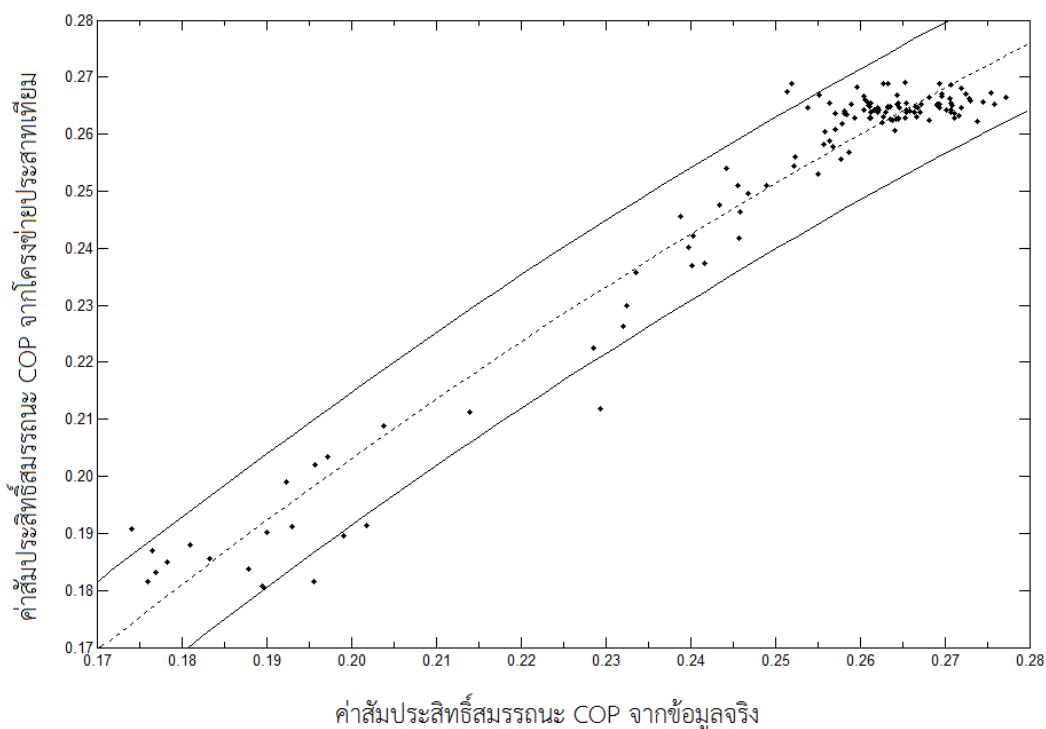
$$F_2^3 = 1/(1 + e^{-E_2^3}) \quad (4.36)$$

$$E_4^3 = 2.655F_3^1 - 1.006F_3^2 - 1.006 \quad (4.37)$$

$$COP = F_1^4 = 1/(1 + e^{-E_1^4}) \quad (4.38)$$



ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากข้อมูลจริงและจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-1-3-1 ที่ความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากข้อมูลจริงและจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-4-3-2-1 ที่ความเชื่อมั่น 95%

สำหรับการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์ ที่ได้จากข้อมูลจริงและโครงข่ายประสาทเทียมในช่วงความเชื่อมั่น 95% พบว่าแบบจำลองในการหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล ดังภาพที่ 4.1 จะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ 1.94% และแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล ดังภาพที่ 4.2 จะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ 1.99% สมการสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองจึงสามารถนำมาใช้สำหรับประยุกต์ใช้ในการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นได้ แต่การนำสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูลไปประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นนั้น อาจทำได้ยาก เนื่องจากต้องมีการปรับข้อมูลถึง 6 ข้อมูล ทำให้สมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 23 กิโลวัตต์นั้น อยู่ในช่วงที่แคบมาก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำข้อมูลของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน จากงานวิจัย [4] มาเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเพื่อหาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP

#### 4.1.2 การทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจากงานวิจัย Jerko Labus

ข้อมูลอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจากงานวิจัย Jerko Labus [4] รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนจากงานวิจัย Jerko Labus

อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{E,i}$ [°C]	5.52 – 17.78
อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{E,o}$ [°C]	4.98 – 12.10
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{C,i}$ [°C]	26.95 – 35.01
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{C,o}$ [°C]	30.84 – 39.49
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{G,i}$ [°C]	79.90 – 100.12
อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, $T_{G,o}$ [°C]	73.89 – 94.60
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP	0.11 – 0.76

หมายเหตุ อัตราการไหลน้ำเย็น อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น และอัตราการไหลน้ำร้อน คงที่ที่ 1.72, 4.77 และ 2.24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

ผลการเรียนรู้และทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับจากข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล คือ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,o}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,o}$ ) และข้อมูลส่งออก 1 ข้อมูล คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล

โมเดล ที่	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 1	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 2	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 3	ค่า SSE	R <sup>2</sup> จาก การเรียนรู้	R <sup>2</sup> จาก การทดสอบ
1	2	-	-	0.0075	0.9908	0.9864
2	3	-	-	0.0078	0.9905	0.9860
3	4	-	-	0.0066	0.9919	0.9881
4	2	2	-	0.0099	0.9878	0.9846
5	2	5	-	0.0121	0.9850	0.9754
6	3	3	-	0.0122	0.9850	0.9679
7	3	5	-	0.0096	0.9881	0.9793
8	4	3	-	0.0069	0.9915	0.9770

9	4	4	-	0.0057	0.9930	0.9879
10	4	5	-	0.0089	0.9891	0.9735
11	5	2	-	0.0075	0.9908	0.9862
12	5	4	-	0.0103	0.9873	0.9757
13	5	5	-	0.0059	0.9928	0.9865
14	2	3	4	0.0140	0.9827	0.9450
15	2	4	3	0.0087	0.9893	0.9699
16	3	3	4	0.0122	0.9850	0.9717
17	4	1	3	0.0124	0.9847	0.9818
18	4	3	2	0.0110	0.9864	0.9722
19	4	3	4	0.0070	0.9914	0.9774
20	4	4	4	0.0057	0.9930	0.9761

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-4-1 (6 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-4-4-1 (6 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 3 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้ 0.0057 และ 0.9930 เท่ากัน แต่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-4-1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการทดสอบมากกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-4-4-1 ดังนั้น สมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน สามารถหาได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-4-1 รายละเอียดแสดงดังสมการที่ (4.39) ถึง (4.56)

$$E^1_1 = 5.836T_{E,i} - 3.181T_{E,o} + 9.747T_{C,i} - 0.847T_{C,o} - 24.604T_{G,i} + 4.435T_{G,o} + 14.322 \quad (4.39)$$

$$F^1_1 = 1/(1 + e^{-E^1_1}) \quad (4.40)$$

$$E^1_2 = -18.67T_{E,i} + 6.233T_{E,o} + 22.232T_{C,i} - 12.608T_{C,o} - 14.337T_{G,i} - 7.433T_{G,o} + 5.946 \quad (4.41)$$

$$F^1_2 = 1/(1 + e^{-E^1_2}) \quad (4.42)$$

$$E^1_3 = -7.803T_{E,i} - 4.223T_{E,o} - 0.263T_{C,i} - 2.788T_{C,o} - 0.0717T_{G,i} + 0.046T_{G,o} + 0.497 \quad (4.43)$$

$$F^1_3 = 1/(1 + e^{-E^1_3}) \quad (4.44)$$

$$E^1_4 = -21.274T_{E,i} - 19.843T_{E,o} + 0.833T_{C,i} - 7.936T_{C,o} - 20.01T_{G,i} + 25.195T_{G,o} - 2.512 \quad (4.45)$$



$$F_4^1 = 1/(1 + e^{-E_4^1}) \quad (4.46)$$

$$E_1^2 = 15.367F_1^1 - 4.942F_2^1 + 0.315F_3^1 - 1.99F_4^1 - 12.398 \quad (4.47)$$

$$F_1^2 = 1/(1 + e^{-E_1^2}) \quad (4.48)$$

$$E_2^2 = 4.511F_1^1 - 10.506F_2^1 - 4.121F_3^1 - 2.778F_4^1 + 2.099 \quad (4.49)$$

$$F_2^2 = 1/(1 + e^{-E_2^2}) \quad (4.50)$$

$$E_3^2 = 0.143F_1^1 - 2.414F_2^1 + 3.729F_3^1 - 10.909F_4^1 + 0.332 \quad (4.51)$$

$$F_3^2 = 1/(1 + e^{-E_3^2}) \quad (4.52)$$

$$E_4^2 = 0.25F_1^1 - 9.871F_2^1 + 1.171F_3^1 + 7.75F_4^1 - 4.243 \quad (4.53)$$

$$F_4^2 = 1/(1 + e^{-E_4^2}) \quad (4.54)$$

$$E_1^3 = 3.683F_1^2 + 2.838F_2^2 - 4.724F_3^2 + 4.342F_4^2 - 2.277 \quad (4.55)$$

$$COP = F_1^3 = 1/(1 + e^{-E_1^3}) \quad (4.56)$$

สำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล คือ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) และข้อมูลส่งออก 1 ข้อมูล คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล

โมเดล ที่	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 1	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 2	จำนวนนิวรอน ในชั้นซ่อนที่ 3	ค่า SSE	R <sup>2</sup> จาก การเรียนรู้	R <sup>2</sup> จาก การทดสอบ
1	2	-	-	0.03380	0.957	0.934
2	2	2	-	0.03380	0.957	0.945
3	2	4	3	0.02740	0.965	0.946
4	3	-	-	0.02570	0.968	0.941
5	3	4	-	0.02670	0.966	0.952
6	3	3	1	0.02560	0.968	0.954
7	3	3	4	0.01760	0.978	0.963
8	3	4	4	0.02040	0.974	0.956
9	4	-	-	0.02426	0.969	0.951
10	4	2	-	0.02950	0.963	0.950

11	4	4	-	0.02090	0.974	0.959
12	4	2	2	0.02333	0.971	0.954
13	4	3	2	0.02140	0.973	0.955
14	4	4	2	0.02040	0.974	0.956
15	4	4	4	0.01900	0.976	0.963
16	5	-	-	0.02350	0.970	0.949
17	5	3	-	0.02650	0.966	0.956
18	5	4	-	0.01800	0.977	0.973
19	5	5	-	0.02570	0.967	0.956
20	6	-	-	0.02160	0.973	0.958

จากตารางที่ 4.6 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-3-3-4-1 (4 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 4 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 0.0176 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้มีค่ามากที่สุด 0.978 สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP แสดงดังสมการที่ (4.57) – (4.78)

$$E^1_1 = 0.278T_{E,i} + 4.074T_{E,o} - 4.579T_{C,i} + 17.954T_{G,i} - 15.387 \quad (4.57)$$

$$F^1_1 = 1/(1 + e^{-E^1_1}) \quad (4.58)$$

$$E^1_2 = 21.626T_{E,i} + 1.498T_{E,o} + 8.017T_{C,i} - 0.803T_{G,i} - 2.773 \quad (4.59)$$

$$F^1_2 = 1/(1 + e^{-E^1_2}) \quad (4.60)$$

$$E^1_3 = 18.692T_{E,i} - 13.953T_{E,o} - 30.28T_{C,i} + 8.906T_{G,i} + 0.529 \quad (4.61)$$

$$F^1_3 = 1/(1 + e^{-E^1_3}) \quad (4.62)$$

$$E^2_1 = -2.824F^1_1 + 9.449F^1_2 + 3.362F^1_3 - 8.197 \quad (4.63)$$

$$F^2_1 = 1/(1 + e^{-E^2_1}) \quad (4.64)$$

$$E^2_2 = 4.747F^1_1 - 1.5220F^1_2 + 13.085F^1_3 - 3.01 \quad (4.65)$$

$$F^2_2 = 1/(1 + e^{-E^2_2}) \quad (4.66)$$

$$E^2_3 = -15.505F^1_1 + 8.385F^1_2 - 13.259F^1_3 - 1.046 \quad (4.67)$$

$$F^2_3 = 1/(1 + e^{-E^2_3}) \quad (4.68)$$

$$E_1^3 = -6.433F_1^2 - 0.829F_2^2 - 6.758F_3^2 + 2.078 \quad (4.69)$$

$$F_1^3 = 1/(1 + e^{-E_1^3}) \quad (4.70)$$

$$E_2^3 = 2.287F_1^2 - 6.656F_2^2 - 4.326F_3^2 + 2.181 \quad (4.71)$$

$$F_2^3 = 1/(1 + e^{-E_2^3}) \quad (4.72)$$

$$E_3^3 = -5.925F_1^2 - 5.023F_2^2 - 6.313F_3^2 + 11.583 \quad (4.73)$$

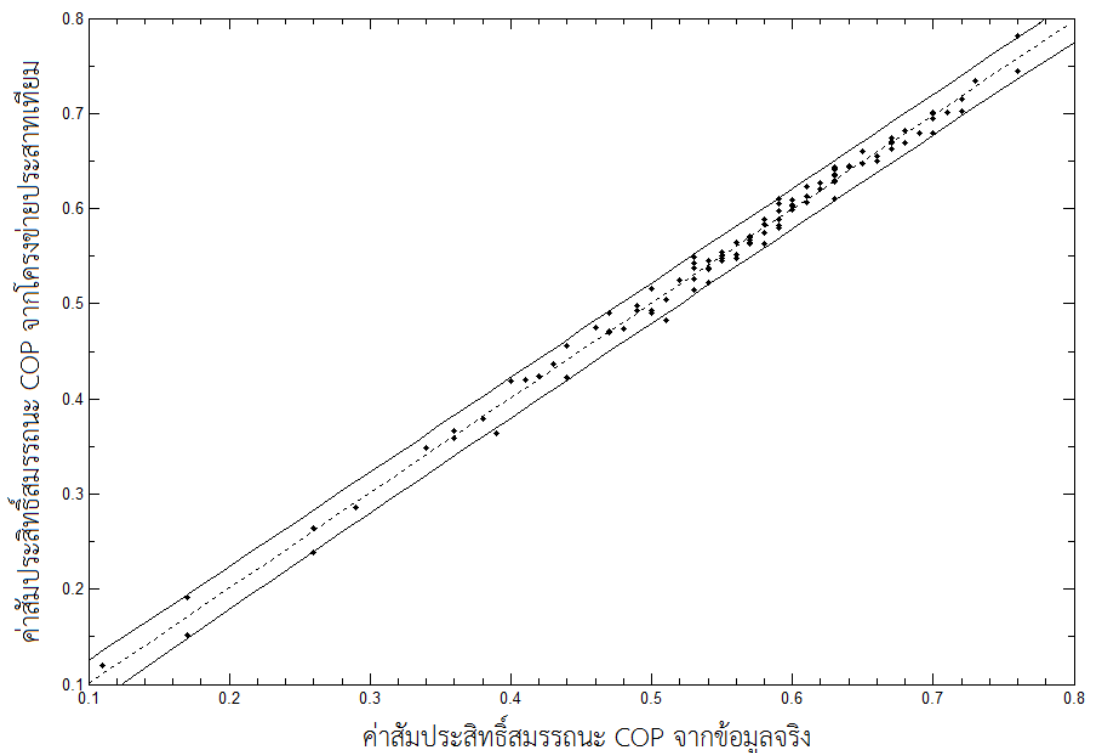
$$F_3^3 = 1/(1 + e^{-E_3^3}) \quad (4.74)$$

$$E_4^3 = -2.804F_1^2 - 13.947F_2^2 - 0.735F_3^2 + 0.974 \quad (4.75)$$

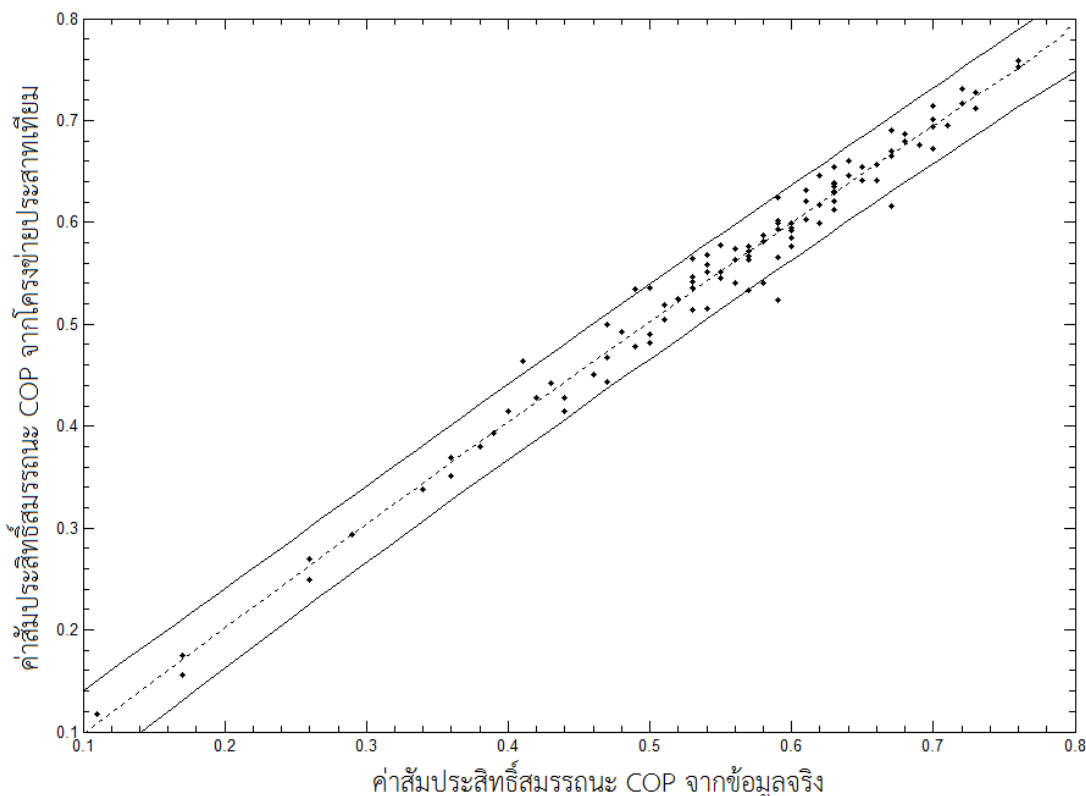
$$F_4^3 = 1/(1 + e^{-E_4^3}) \quad (4.76)$$

$$E_1^4 = -0.855F_1^3 - 2.306F_2^3 - 2.933F_3^3 - 7.943F_4^3 + 3.344 \quad (4.77)$$

$$COP = F_1^4 = 1/(1 + e^{-E_1^4}) \quad (4.78)$$



ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากข้อมูลจริงและจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-4-1 ที่ความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP จากข้อมูลจริงและจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-3-3-4-1 ที่ความเชื่อมั่น 95%

สำหรับการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนที่ได้จากข้อมูลจริงและโครงข่ายประสาทเทียมของงานวิจัย Jerko Labus พบว่า ในช่วงความเชื่อมั่น 95% แบบจำลองในการหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล ดังภาพที่ 4.3 จะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ 1.76% ซึ่งมีความแม่นยำในการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP มากกว่าแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล ดังภาพที่ 4.4 ที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ 2.60% สมการสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูลจึงสามารถนำมาใช้สำหรับประยุกต์ใช้ในการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นได้ แต่การนำสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล ไปประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นนั้นอาจจะทำได้ยาก เนื่องจากต้องมีการปรับข้อมูลถึง 6 ข้อมูล ทำให้สมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่สร้างจากข้อมูลงานวิจัย Jerko Labus ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 4 ข้อมูล มาประยุกต์ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

## 4.2 ผลทดสอบการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

ในวิทยานิพนธ์นี้มีการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับมาประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น ด้วยสมการที่ (4.57) ถึง (4.78) จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-3-3-4-1 โดยการปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) และอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) ตามภาระการทำความเย็น (Load) ที่ 100% 75% และ 50% เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุดของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

ภาระการทำ ความเย็น (Load)	อุณหภูมิน้ำ เย็นเข้าเครื่อง ( $T_{E,i}$ ) [°C]	อุณหภูมิน้ำเย็น ออกจากเครื่อง ( $T_{E,o}$ ) [°C]	อุณหภูมิน้ำหล่อ เย็นเข้าเครื่อง ( $T_{C,i}$ ) [°C]	อุณหภูมิน้ำ ร้อนเข้าเครื่อง ( $T_{G,i}$ ) [°C]	ค่าสัมประสิทธิ์ สมรรถนะ COP
100% 8.28 kW	9.17	5.00	27.00	70.00	0.610
				75.00	0.582
				80.00	0.580
				85.00	0.574
				90.00	0.554
				95.00	0.522
100% 8.28 kW	9.17	5.00	28.00	70.00	0.632
				75.00	0.593
				80.00	0.576
				85.00	0.572
				90.00	0.555
				95.00	0.526
100% 8.28 kW	9.17	5.00	29.00	70.00	0.625
				75.00	0.611
				80.00	0.573
				85.00	0.568
				90.00	0.554
				95.00	0.528
100% 8.28 kW	9.17	5.00	30.00	70.00	0.563
				75.00	0.623
				80.00	0.575
				85.00	0.562

				90.00	0.551
				95.00	0.527
100%	9.17	5.00	31.00	70.00	0.444
8.28 kW				75.00	0.601
				80.00	0.581
				85.00	0.552
				90.00	0.546
				95.00	0.525
100%	9.17	5.00	33.00	70.00	0.248
8.28 kW				75.00	0.400
				80.00	0.556
				85.00	0.519
				90.00	0.527
				95.00	0.515
75%	8.12	5.00	27.00	70.00	0.580
6.21 kW				75.00	0.550
				80.00	0.544
				85.00	0.538
				90.00	0.515
				95.00	0.488
75%	8.12	5.00	28.00	70.00	0.586
6.21 kW				75.00	0.565
				80.00	0.540
				85.00	0.535
				90.00	0.516
				95.00	0.490
75%	8.12	5.00	29.00	70.00	0.556
6.21 kW				75.00	0.578
				80.00	0.540
				85.00	0.531
				90.00	0.515
				95.00	0.492
75%	8.12	5.00	30.00	70.00	0.454
6.21 kW				75.00	0.573
				80.00	0.546

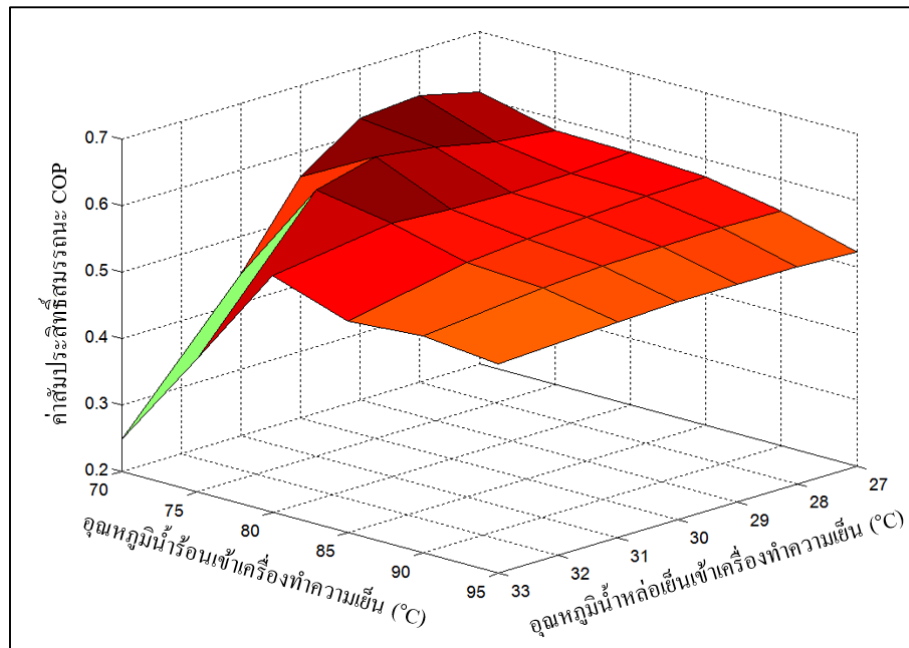
				85.00	0.524
				90.00	0.512
				95.00	0.491
75%	8.12	5.00	31.00	70.00	0.316
6.21 kW				75.00	0.521
				80.00	0.551
				85.00	0.514
				90.00	0.507
				95.00	0.489
75%	8.12	5.00	33.00	70.00	0.169
6.21 kW				75.00	0.282
				80.00	0.479
				85.00	0.476
				90.00	0.488
				95.00	0.481
50%	7.08	5.00	27.00	70.00	0.554
4.14 kW				75.00	0.512
				80.00	0.501
				85.00	0.496
				90.00	0.480
				95.00	0.462
50%	7.08	5.00	28.00	70.00	0.549
4.14 kW				75.00	0.534
				80.00	0.498
				85.00	0.494
				90.00	0.480
				95.00	0.464
50%	7.08	5.00	29.00	70.00	0.476
4.14 kW				75.00	0.549
				80.00	0.500
				85.00	0.489
				90.00	0.478
				95.00	0.464
50%	7.08	5.00	30.00	70.00	0.328
4.14 kW				75.00	0.524

				80.00	0.509
				85.00	0.482
				90.00	0.476
				95.00	0.463
50%	7.08	5.00	31.00	70.00	0.206
4.14 kW				75.00	0.421
				80.00	0.515
				85.00	0.470
				90.00	0.472
				95.00	0.462
50%	7.08	5.00	33.00	70.00	0.113
4.14 kW				75.00	0.186
				80.00	0.378
				85.00	0.417
				90.00	0.452
				95.00	0.458

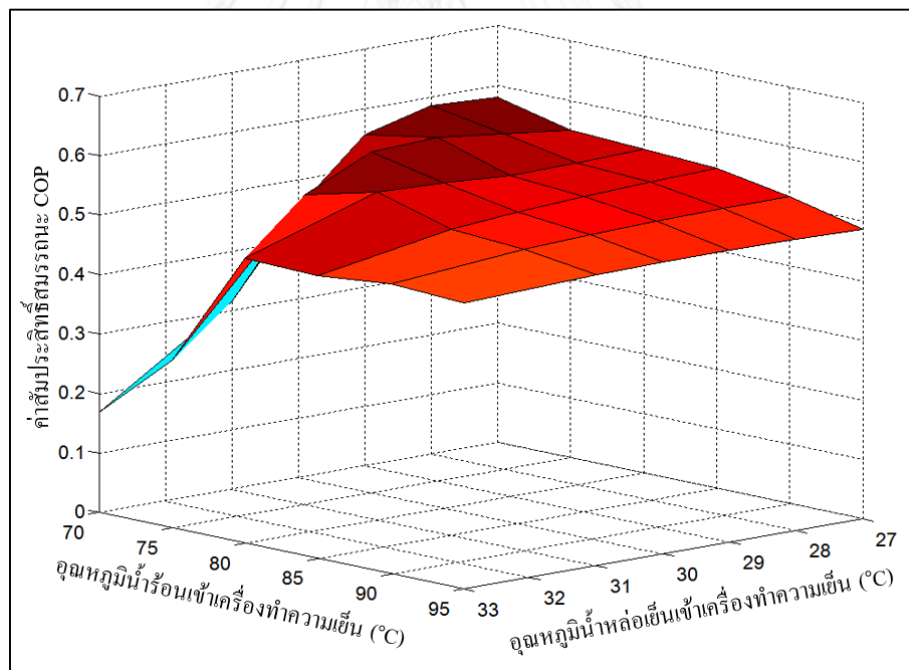
**หมายเหตุ** อัตราการไหลน้ำเย็น อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น และอัตราการไหลน้ำร้อน คงที่ที่ 1.72, 4.77 และ 2.24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.7 พบว่าในแต่ละภาระการทำความเย็นนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิน้ำร้อน ที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ในแต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นนั้น บางครั้งไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิน้ำร้อนที่สูงมาก หรือไม่จำเป็นต้องระบายความร้อนจากน้ำหล่อเย็นให้มีอุณหภูมิที่ต่ำมากเกินไป ดังนั้น วิธีการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP นี้ จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น หรืออุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อรักษาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีและเหมาะสมที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระการทำความเย็นได้อย่างรวดเร็ว สำหรับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำร้อน ที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP แสดงดังภาพที่ 4.5 – 4.7

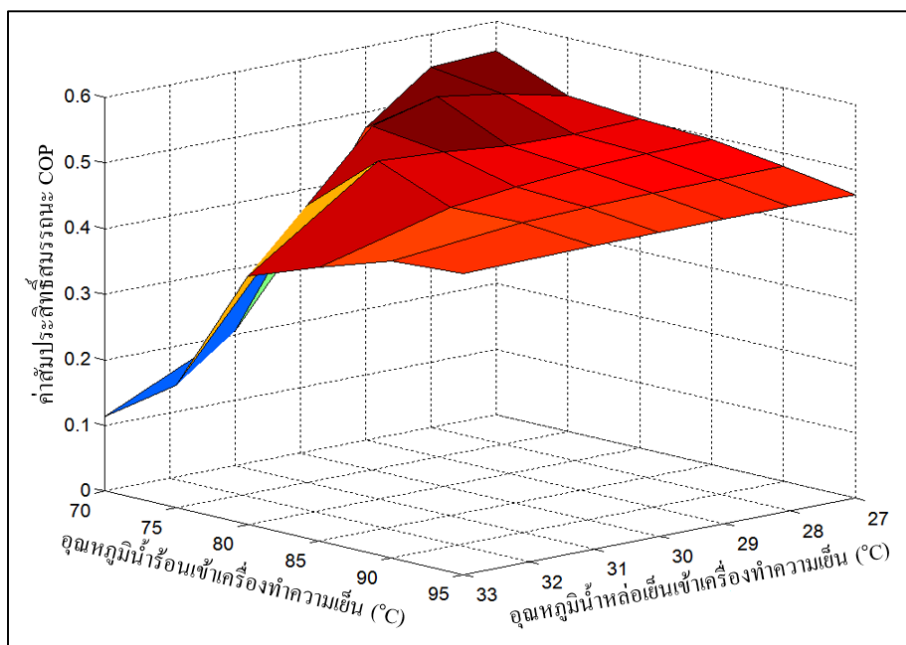




ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำร้อน ที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ภาระการทำความเย็น 100%



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำร้อน ที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ภาระการทำความเย็น 75%



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำร้อน ที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ภาระการทำความเย็น 50%

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ที่ภาระการทำความเย็น 100% การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 70 – 75 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ในช่วง 0.4 – 0.7 ส่วนการใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 80 – 95 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้อยู่ระหว่าง 27 – 33 องศาเซลเซียส จึงจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ระหว่าง 0.5 – 0.6 สำหรับภาพที่ 4.6 พบว่าที่ภาระการทำความเย็น 75% การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 70 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ในช่วง 0.4 – 0.6 การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 75 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ในช่วง 0.4 – 0.6 การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 80 – 95 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้อยู่ระหว่าง 27 – 33 องศาเซลเซียส จึงจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ระหว่าง 0.4 – 0.6 และภาพที่ 4.7 พบว่าที่ภาระการทำความเย็น 50% การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 70 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้น้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ในช่วง 0.4 – 0.6 การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 75 – 80 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ในช่วง 0.4 – 0.6 การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น 85 – 95 องศาเซลเซียส ควรควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้อยู่ระหว่าง 27 – 33 องศาเซลเซียส จึงจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ระหว่าง 0.4 – 0.5

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่ดีที่สุดของเครื่องทำน้ำเย็น

ภาระทำ ความเย็น (Load)	อุณหภูมิน้ำเย็น เข้าเครื่อง ( $T_{E,i}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	อุณหภูมิน้ำเย็น ออกจากเครื่อง ( $T_{E,o}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	อุณหภูมิน้ำหล่อ เย็นเข้าเครื่อง ( $T_{C,i}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	อุณหภูมิน้ำ ร้อนเข้าเครื่อง ( $T_{G,i}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	ค่าสัมประสิทธิ์ สมรรถนะ COP
100% 8.28 kW	9.17	5.00	28.00	70.00	0.632
75% 6.21 kW	8.12	5.00	28.00	70.00	0.586
50% 4.14 kW	7.08	5.00	27.00	70.00	0.554

**หมายเหตุ** อัตราการไหลน้ำเย็น อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น และอัตราการไหลน้ำร้อน คงที่ที่ 1.72, 4.77 และ 2.24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ที่อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน 70 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP สูงที่สุดในแต่ละภาระการทำความเย็น ดังนั้น ในการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นสูงมาก ซึ่งจะช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานด้วย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

สมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน ขนาด 23 กิโลวัตต์ ที่ติดตั้ง ณ ชั้นตาดฟ้า อาคารสถาบัน 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นั้น สามารถหาได้จาก ข้อมูลของอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,o}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,o}$ ) ด้วย แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-1-3-1 (6 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 1 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 3 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.00227 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้และการทดสอบ 0.9528 และ 0.9676 ตามลำดับ หรือสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP อาจจะได้หาจากข้อมูลอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) เพียงแค่ 4 ข้อมูล ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-4-3-2-1 (4 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 2 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 3 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.00239 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้และการทดสอบ มากที่สุด คือ 0.9503 และ 0.9685 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองแบบจำลอง สามารถนำมาใช้สำหรับการทำนายค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

แต่เนื่องจากข้อมูลของอุณหภูมิน้ำเย็น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น มีช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างแคบ (ประมาณ 2 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิน้ำร้อนก็ต่ำเกินไป (สูงสุด 70 องศาเซลเซียส) ที่จะนำมาประเมินค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน ในงานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลจากงานวิจัยอื่นมาทดสอบด้วยวิธีการเดียวกัน

ข้อมูลจากงานวิจัย [4] พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 6-4-4-1 (6 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.0057 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการเรียนรู้และการทดสอบ 0.9930 และ 0.9879 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-3-3-4-1 (4 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 4 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) มีค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 0.0176 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจใน

การเรียนรู้มีค่ามากที่สุด 0.978 ดังนั้น หากเราต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน ก็สามารถหาได้จากสมการของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับทั้งแบบที่ใช้ข้อมูลป้อนเข้า 6 ข้อมูล หรือ 4 ข้อมูล ก็ได้

สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 4-3-3-4-1 (4 นิวรอนในชั้นข้อมูลป้อนเข้า, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1, 3 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2, 4 นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 4 และ 1 นิวรอนในชั้นข้อมูลส่งออก) โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) เพียงแค่ 4 ข้อมูล เพื่อนำมาใช้สร้างสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

### 5.1.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

ในการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนด้วยสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ เพื่อให้เครื่องทำน้ำเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุด ในแต่ละสภาวะการทำงาน

สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนนี้ จะกำหนดให้อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,o}$ ) มีค่าคงที่ 5 องศาเซลเซียส โดยที่ 8.28 กิโลวัตต์ คิดเป็น 100% ของภาระการทำความเย็น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุด คือ 0.632 ซึ่งที่ 100% ของภาระการทำความเย็น ใช้อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) 9.17 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) 28.00 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) 70.00 องศาเซลเซียส ที่ 6.21 กิโลวัตต์ หรือคิดเป็น 75% ของภาระการทำความเย็น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุด คือ 0.586 ซึ่งที่ 75% ของภาระการทำความเย็น ใช้อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) 8.12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) 28.00 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) 70.00 องศาเซลเซียส ที่ 4.14 กิโลวัตต์ หรือคิดเป็น 50% ของภาระการทำความเย็น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ดีที่สุด คือ 0.554 ซึ่งที่ 50% ของภาระการทำความเย็น ใช้อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{E,i}$ ) 7.08 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{C,i}$ ) 27.00 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ( $T_{G,i}$ ) 70.00 องศาเซลเซียส

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

การควบคุมขนาดการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน จะต้องควบคุมให้อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นมีค่าคงที่ เมื่อภาระการทำความเย็นน้อยกว่าภาระการทำความเย็นสูงสุด (Full Load) ก็จะต้องมีการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นให้มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ดีที่สุด

งานวิจัยนี้เลือกใช้การควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นที่การปรับอุณหภูมิน้ำร้อนที่และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น ทั้ง 2 วิธี เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาทั้งระบบ จึงไม่สามารถตัดสินได้ว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP เท่ากัน การปรับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น หรือ การปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น วิธีใดจะประหยัดพลังงานมากกว่า หากมีการศึกษาทั้งระบบก็สามารถเลือกวิธีการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นที่มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่ดีที่สุด และประหยัดพลังงานมากที่สุด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## รายการอ้างอิง

1. ชาญชัย วิรุณฤทธิ์ชัย. การจำลองระบบการทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดปิดที่ใช้ลิเธียมโบรไมด์-น้ำ: ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
2. หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. ระบบแนะนำสำหรับระบบทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ โดยใช้ข่ายงานระบบประสาท: ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2541.
3. Baiju V., Muraleedharan C. Application of neural network for the performance prediction of single stage solar adsorption refrigeration system. International Journal of Engineering Research & Technology. 2013;2(1).
4. Labus J. Modelling of small capacity absorption chillers driven by solar thermal energy or waste heat: Rovira i Virgili University; 2011.
5. Manohar H.J., Saravanan R., Renganarayanan S. Modelling of steam fired double effect vapour absorption chiller using neural network. Energy Conversation & Management. 2006;47(15-16):2202-10.
6. Şencan A., et al. Thermodynamic analysis of absorption systems using artificial neural network. Renewable Energy. 2006;31(1):29-43.
7. พิชัย กฤษไมตรี. ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม อดีต ปัจจุบัน และอนาคต. บทความวิชาการ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ. 27:18-23.
8. ทนงศักดิ์ วัฒนา. ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมพลังงานแสงอาทิตย์ [cited 2014 7 January]. Available from: <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=12493&section=9&rcount=Y>
9. ณรงค์ศักดิ์ ศุภพิทักษ์. ศักยภาพการใช้ระบบ Absorption Chiller ในโรงแรมขนาดใหญ่ในกรุงเทพมหานคร: ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2541.
10. วุฒิชัย สิทธิวงษ์. การศึกษาสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ความร้อนทิ้งจากไอเสียเครื่องยนต์: ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาครุศาสตร์เครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2546.
11. วัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึม [cited 2013 13 December]. Available from: <http://www.pts-service.com/files/Absorp.pdf>.

12. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration) [cited 2014 7 January]. Available from: [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web\\_display/websemple/Industrial\(PDF\)/Bay30%20Absorption%20Refrigeration.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay30%20Absorption%20Refrigeration.pdf).
13. งานด้านระบบทำน้ำเย็น [cited 2013 12 December]. Available from: <http://www.thaiapollo.com>.
14. ธนาวุฒิ ประกอบผล. โครงข่ายประสาทเทียม Artificial Neural Network. วารสาร มจร วิชาการ 74. 2552;12(24).
15. พยุง มีสีจ. ระบบฟuzzyและโครงข่ายประสาทเทียม: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2551.
16. สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา. เอกสารประกอบการสอนวิชาข่ายงานประสาทเทียม (Artificial Neural Networks): ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2552.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้และทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน ขนาด 23 กิโลวัตต์

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
22.840	21.980	26.810	60.010	60.012	56.876	0.190
22.840	21.960	26.910	60.100	60.097	57.037	0.199
22.740	21.940	26.970	60.290	60.286	57.206	0.181
22.620	21.820	27.050	60.610	60.611	57.542	0.178
22.550	21.770	27.130	60.780	60.775	57.728	0.177
22.520	21.740	27.150	60.980	60.983	57.913	0.176
22.560	21.720	27.120	61.250	61.248	58.173	0.190
22.610	21.750	27.070	61.420	61.424	58.318	0.189
22.650	21.780	27.070	61.570	61.572	58.490	0.196
22.570	21.730	27.090	61.850	61.851	58.778	0.188
22.500	21.690	27.120	62.010	62.011	58.950	0.183
22.430	21.650	27.170	62.170	62.172	59.120	0.176
22.340	21.560	27.290	62.580	62.582	59.502	0.174
22.360	21.510	27.240	62.710	62.713	59.661	0.193
22.390	21.500	27.170	62.780	62.775	59.753	0.202
22.360	21.470	26.940	63.150	63.152	59.962	0.192
22.300	21.410	27.000	63.290	63.292	60.155	0.196
22.220	21.340	27.130	63.420	63.421	60.352	0.197
22.090	21.190	27.210	63.710	63.705	60.656	0.204
22.110	21.150	27.170	63.870	63.865	60.760	0.214
22.150	21.140	27.220	63.930	63.932	60.918	0.229
22.140	21.100	27.100	64.370	64.367	61.229	0.229
22.150	21.100	27.120	64.500	64.495	61.375	0.232

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
22.140	21.090	27.160	64.670	64.672	61.559	0.232
22.140	21.080	27.100	64.970	64.973	61.839	0.233
22.170	21.090	27.190	65.100	65.103	61.990	0.240
22.190	21.120	27.310	65.170	65.171	62.128	0.242
22.210	21.150	27.310	65.360	65.357	62.297	0.240
22.240	21.160	27.350	65.480	65.483	62.429	0.246
22.260	21.200	27.240	65.490	65.492	62.455	0.240
22.250	21.190	27.160	65.720	65.723	62.668	0.239
22.230	21.140	27.250	65.820	65.822	62.765	0.246
22.220	21.130	27.250	65.960	65.964	62.898	0.243
22.240	21.140	27.280	66.180	66.178	63.109	0.247
22.240	21.130	27.290	66.360	66.361	63.264	0.246
22.240	21.140	27.340	66.410	66.406	63.364	0.249
22.210	21.080	27.260	66.620	66.615	63.567	0.255
22.200	21.110	27.290	66.760	66.758	63.669	0.244
22.200	21.070	27.290	66.840	66.841	63.756	0.252
22.170	21.020	27.410	67.080	67.077	64.010	0.258
22.130	21.030	27.480	67.140	67.141	64.126	0.252
22.150	21.010	27.530	67.300	67.297	64.261	0.259
22.130	21.010	27.530	67.460	67.463	64.445	0.257
22.110	20.990	27.490	67.510	67.510	64.495	0.256
22.110	20.970	27.580	67.670	67.666	64.599	0.256
22.050	20.920	27.570	68.020	68.019	64.957	0.256
22.050	20.880	27.500	68.060	68.064	65.019	0.264
22.010	20.870	27.450	68.130	68.132	65.090	0.257

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
21.940	20.780	27.390	68.330	68.330	65.238	0.258
21.950	20.770	27.360	68.460	68.463	65.369	0.263
21.950	20.740	27.390	68.560	68.556	65.509	0.274
21.920	20.730	27.390	68.580	68.583	65.548	0.271
21.910	20.710	27.300	68.650	68.647	65.600	0.271
21.880	20.700	27.360	68.670	68.673	65.648	0.270
21.850	20.650	27.480	68.970	68.972	65.920	0.271
21.860	20.650	27.450	69.050	69.045	66.004	0.273
21.830	20.610	27.300	69.020	69.022	65.987	0.277
21.770	20.570	27.350	69.120	69.120	66.103	0.275
21.750	20.550	27.270	69.180	69.180	66.132	0.272
21.750	20.540	27.280	69.310	69.305	66.240	0.271
21.730	20.570	27.480	69.470	69.472	66.433	0.263
21.770	20.580	27.600	69.600	69.600	66.538	0.269
21.790	20.630	27.600	69.690	69.694	66.671	0.263
21.850	20.690	27.650	69.920	69.922	66.909	0.265
21.860	20.750	27.640	70.030	70.030	66.981	0.252
21.900	20.750	27.680	70.140	70.136	67.089	0.260
21.920	20.820	27.740	70.220	70.223	67.199	0.251
21.930	20.820	27.600	70.240	70.235	67.221	0.255
21.950	20.800	27.460	70.230	70.234	67.199	0.261
22.000	20.840	27.300	70.200	70.204	67.089	0.256
22.020	20.860	27.350	70.160	70.164	67.085	0.261
22.030	20.870	27.460	70.280	70.278	67.121	0.254
22.020	20.850	27.600	70.350	70.350	67.256	0.262

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
22.040	20.880	27.660	70.430	70.431	67.377	0.263
22.050	20.890	27.680	70.460	70.460	67.413	0.261
22.050	20.880	27.820	70.560	70.557	67.491	0.262
22.030	20.900	27.730	70.510	70.508	67.458	0.257
22.040	20.890	27.710	70.530	70.529	67.442	0.258
22.090	20.940	27.770	70.530	70.529	67.492	0.263
22.100	20.960	27.840	70.570	70.570	67.572	0.261
22.120	20.960	27.780	70.580	70.579	67.571	0.265
22.110	20.950	27.700	70.530	70.534	67.488	0.261
22.100	20.950	27.630	70.480	70.482	67.434	0.259
22.090	20.930	27.570	70.450	70.451	67.419	0.264
22.090	20.930	27.470	70.360	70.358	67.326	0.264
22.100	20.940	27.510	70.360	70.355	67.333	0.264
22.130	20.970	27.580	70.280	70.283	67.317	0.268
22.110	20.950	27.460	70.240	70.243	67.229	0.265
22.110	20.960	27.430	70.200	70.198	67.181	0.264
22.120	20.940	27.450	70.230	70.234	67.180	0.267
22.130	20.940	27.450	70.210	70.212	67.179	0.272
22.090	20.930	27.320	70.240	70.242	67.127	0.258
22.080	20.890	27.330	70.220	70.217	67.186	0.271
22.060	20.890	27.280	70.260	70.259	67.206	0.265
22.040	20.870	27.300	70.310	70.313	67.217	0.260
22.020	20.870	27.350	70.320	70.324	67.255	0.258
22.040	20.860	27.410	70.420	70.422	67.367	0.266
22.060	20.880	27.420	70.410	70.410	67.365	0.267

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
22.040	20.870	27.450	70.410	70.412	67.372	0.266
22.030	20.870	27.570	70.550	70.551	67.487	0.262
22.050	20.870	27.630	70.570	70.565	67.552	0.271
22.050	20.900	27.620	70.510	70.506	67.505	0.265
22.030	20.850	27.470	70.480	70.476	67.460	0.269
22.010	20.850	27.390	70.420	70.421	67.361	0.262
22.000	20.840	27.390	70.500	70.495	67.407	0.261
21.990	20.800	27.450	70.640	70.643	67.534	0.263
21.990	20.820	27.610	70.680	70.681	67.606	0.263
22.010	20.820	27.580	70.710	70.711	67.625	0.267
22.020	20.860	27.660	70.760	70.758	67.732	0.265
22.040	20.860	27.700	70.840	70.839	67.748	0.264
22.050	20.870	27.720	70.740	70.740	67.763	0.272
22.050	20.870	27.650	70.770	70.766	67.728	0.267
22.040	20.880	27.670	70.830	70.828	67.731	0.259
22.070	20.870	27.660	70.780	70.783	67.725	0.271
22.070	20.890	27.700	70.780	70.783	67.749	0.269
22.060	20.880	27.600	70.700	70.696	67.669	0.269
22.040	20.880	27.610	70.620	70.620	67.603	0.265
22.030	20.860	27.540	70.550	70.553	67.492	0.265
22.040	20.860	27.470	70.400	70.400	67.362	0.267
22.030	20.840	27.380	70.350	70.348	67.301	0.269
21.990	20.800	27.370	70.460	70.457	67.326	0.261
21.980	20.800	27.350	70.380	70.384	67.259	0.261
21.980	20.790	27.430	70.390	70.387	67.321	0.269

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
21.950	20.760	27.390	70.380	70.382	67.285	0.264
21.950	20.740	27.420	70.320	70.324	67.287	0.276
21.940	20.760	27.410	70.310	70.311	67.351	0.274
21.960	20.760	27.420	70.420	70.417	67.348	0.271
21.960	20.790	27.470	70.480	70.476	67.380	0.260
21.960	20.770	27.450	70.580	70.575	67.471	0.264
21.980	20.790	27.390	70.550	70.547	67.491	0.268
21.980	20.770	27.220	70.380	70.384	67.319	0.273
21.960	20.760	27.330	70.410	70.409	67.324	0.270
21.940	20.730	27.340	70.490	70.493	67.386	0.270
21.950	20.740	27.280	70.400	70.397	67.325	0.273



ตารางที่ ก.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน ขนาด 23 กิโลวัตต์

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
22.675	21.873	27.101	28.472	60.483	57.436	0.182
22.492	21.724	27.178	28.515	61.126	58.069	0.173
22.572	21.769	27.023	28.401	61.723	58.616	0.178
22.396	21.587	27.245	28.573	62.354	59.311	0.183
22.404	21.500	27.005	28.401	63.000	59.835	0.197
22.141	21.274	27.194	28.573	63.610	60.533	0.194
22.136	21.137	27.192	28.577	64.100	61.024	0.224
22.135	21.077	27.108	28.570	64.788	61.715	0.237
22.192	21.139	27.239	28.637	65.199	62.142	0.238
22.274	21.197	27.225	28.675	65.622	62.524	0.240
22.233	21.138	27.305	28.762	66.045	63.020	0.250
22.225	21.129	27.278	28.748	66.536	63.441	0.244
22.164	21.048	27.280	28.738	66.949	63.891	0.252
22.145	21.022	27.538	28.942	67.374	64.377	0.258
22.083	20.938	27.616	29.065	67.842	64.822	0.261
21.978	20.834	27.467	28.918	68.165	65.124	0.259
21.924	20.750	27.325	28.810	68.563	65.466	0.261
21.869	20.666	27.386	28.881	68.807	65.775	0.274
21.772	20.592	27.290	28.844	69.065	66.016	0.267
21.742	20.553	27.370	28.919	69.371	66.361	0.272
21.807	20.662	27.604	29.082	69.853	66.808	0.259
21.932	20.795	27.757	29.178	70.172	67.176	0.262
21.971	20.820	27.452	28.985	70.249	67.188	0.259

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
22.025	20.855	27.518	29.061	70.294	67.198	0.261
22.038	20.894	27.712	29.195	70.479	67.417	0.258
22.081	20.924	27.741	29.237	70.521	67.480	0.262
22.102	20.967	27.788	29.209	70.583	67.557	0.259
22.091	20.928	27.567	29.122	70.409	67.417	0.268
22.122	20.950	27.515	29.003	70.263	67.256	0.269
22.128	20.984	27.519	29.037	70.252	67.226	0.261
22.067	20.903	27.338	28.840	70.222	67.157	0.262
22.031	20.847	27.464	28.950	70.409	67.326	0.265
22.032	20.845	27.511	28.997	70.475	67.387	0.265
22.035	20.890	27.537	29.110	70.523	67.514	0.262
21.992	20.826	27.439	28.982	70.510	67.429	0.261
22.012	20.843	27.631	29.135	70.743	67.661	0.262
22.062	20.871	27.652	29.148	70.770	67.700	0.268
22.065	20.894	27.775	29.297	70.812	67.739	0.263
22.037	20.849	27.540	29.100	70.626	67.571	0.268
21.998	20.811	27.326	28.851	70.360	67.272	0.265
21.953	20.752	27.416	28.982	70.448	67.382	0.270
21.951	20.753	27.446	28.941	70.403	67.336	0.269
21.972	20.789	27.522	29.092	70.543	67.499	0.268
21.950	20.754	27.354	28.923	70.407	67.323	0.267

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของเครื่องทำน้ำเย็นจากงานวิจัย Jerko Labus

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
8.66	5.04	27.00	30.84	80.01	75.00	0.57
9.94	5.99	27.00	31.06	79.97	74.77	0.60
11.26	7.01	27.02	31.18	79.99	74.68	0.63
14.12	8.97	27.02	31.75	79.98	74.19	0.70
15.41	9.99	27.03	31.93	79.97	74.05	0.72
16.59	10.95	27.02	32.11	79.98	73.89	0.73
8.36	6.02	29.99	32.65	80.00	76.59	0.54
9.66	7.04	29.99	32.79	80.00	76.44	0.58
10.95	8.02	30.00	32.95	80.00	76.33	0.63
13.88	10.03	30.00	33.52	80.01	75.82	0.72
15.16	11.01	30.01	33.67	80.00	75.70	0.76
16.37	12.07	29.99	33.80	80.00	75.58	0.76
6.82	6.01	32.98	34.48	80.02	77.80	0.29
8.09	6.99	33.00	34.66	79.99	77.59	0.36
9.27	7.98	33.00	34.70	79.90	77.59	0.44
12.20	10.06	33.01	35.09	80.00	77.35	0.63
6.29	6.04	35.00	36.08	80.00	78.17	0.11
7.39	6.98	35.00	36.17	80.01	78.10	0.17
9.65	8.99	35.00	36.31	80.00	77.95	0.26
10.80	9.89	34.99	36.49	79.94	77.82	0.34
9.15	5.00	27.00	31.38	84.99	79.09	0.56
12.03	7.02	27.00	31.82	84.99	78.84	0.64
13.23	8.00	26.98	31.91	84.98	78.81	0.67

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
14.44	9.01	27.04	32.24	84.99	78.62	0.67
17.04	11.01	27.05	32.45	85.02	78.27	0.70
8.00	5.04	30.00	33.38	85.01	80.38	0.51
9.22	6.04	30.00	33.50	84.99	80.29	0.53
11.97	7.98	30.00	34.05	85.01	79.65	0.59
13.10	8.99	30.00	34.10	84.98	79.62	0.61
14.39	10.01	30.00	34.22	85.03	79.67	0.65
17.00	12.00	29.98	34.59	84.97	79.23	0.69
6.47	5.03	33.00	35.04	85.01	81.88	0.36
7.68	6.01	33.00	35.18	85.01	81.70	0.40
10.51	7.99	33.01	35.85	85.01	81.06	0.50
11.83	8.98	33.00	36.07	85.00	80.76	0.53
13.10	10.02	33.00	36.24	85.01	80.57	0.55
15.62	12.05	33.00	36.56	85.00	80.22	0.59
5.52	5.01	35.00	36.36	85.01	82.62	0.17
6.83	5.99	34.99	36.59	85.01	82.43	0.26
9.50	8.01	35.00	37.03	85.00	81.94	0.39
10.77	9.02	35.00	37.23	85.00	81.73	0.43
12.12	10.02	35.00	37.43	85.00	81.53	0.49
14.60	12.03	35.00	37.80	85.00	81.16	0.53
9.96	5.01	27.02	32.04	90.04	83.39	0.59
11.17	6.04	26.99	32.20	90.04	83.23	0.60
13.89	7.93	27.05	32.61	90.04	82.92	0.66
15.28	8.99	27.00	32.88	89.99	82.68	0.68
16.51	9.96	26.95	32.98	90.04	82.67	0.70

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
8.73	5.00	30.00	33.92	90.01	84.81	0.57
10.08	6.02	30.00	34.13	90.00	84.60	0.60
11.41	7.01	30.01	34.31	90.01	84.46	0.63
14.40	9.00	30.02	34.95	90.01	83.88	0.70
15.67	10.01	30.01	35.09	90.02	83.72	0.71
16.83	10.93	30.00	35.19	90.02	83.66	0.73
8.92	6.02	33.00	36.18	90.00	85.65	0.53
10.32	7.01	33.00	36.39	90.00	85.50	0.58
11.71	8.01	32.99	36.66	90.00	85.22	0.61
14.14	10.04	32.99	37.03	90.00	84.82	0.63
15.45	11.05	33.00	37.21	89.99	84.65	0.65
16.62	12.05	33.00	37.25	90.00	84.61	0.67
7.77	6.05	35.00	37.43	89.99	86.36	0.38
9.07	7.00	35.00	37.66	90.01	86.11	0.42
10.42	8.02	35.00	37.86	89.99	85.91	0.47
13.04	10.04	35.00	38.32	89.98	85.39	0.52
14.32	10.99	35.00	38.52	90.00	85.20	0.55
15.66	12.10	34.99	38.72	89.99	85.03	0.57
11.94	6.01	27.01	33.20	95.07	87.06	0.59
13.37	6.98	27.05	33.32	95.06	86.94	0.62
14.74	8.03	27.03	33.55	95.05	86.75	0.64
17.38	10.02	27.05	33.99	95.02	86.51	0.68
9.22	5.00	30.00	34.83	95.05	88.33	0.50
10.66	5.99	30.01	35.10	95.03	88.16	0.54
13.78	7.99	30.00	35.48	95.04	88.21	0.67

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
14.69	9.01	30.00	35.68	95.07	87.71	0.61
16.05	9.98	30.03	35.92	95.03	87.43	0.63
7.81	5.00	33.00	36.71	95.00	89.53	0.41
9.41	6.00	33.00	37.01	95.01	89.38	0.48
10.80	7.00	33.00	37.25	95.00	89.14	0.51
13.49	9.00	33.01	37.72	95.01	88.63	0.56
14.72	10.00	33.00	37.91	95.02	88.42	0.57
16.12	11.00	33.00	38.14	95.04	88.26	0.60
7.42	5.01	35.00	38.04	95.00	90.61	0.44
8.74	6.02	35.00	38.23	95.01	90.40	0.47
10.04	7.01	35.00	38.43	95.00	90.20	0.50
12.63	9.00	35.01	38.73	94.99	89.99	0.58
13.81	10.03	35.00	39.17	95.01	89.35	0.53
15.08	11.04	35.00	39.35	95.00	89.14	0.55
11.22	5.03	27.01	33.68	100.01	91.19	0.56
12.50	6.01	27.01	33.92	99.99	90.92	0.57
13.84	6.96	26.99	34.03	100.03	90.84	0.59
16.46	8.96	27.03	34.41	99.99	90.58	0.63
17.19	9.57	26.95	34.57	99.93	90.39	0.63
10.20	5.00	30.00	35.43	100.05	93.01	0.59
12.70	6.99	30.00	35.85	100.07	92.51	0.60
14.10	7.96	29.99	36.13	100.12	92.25	0.62
15.75	9.03	30.04	36.47	100.07	92.01	0.66
8.71	5.01	32.99	37.40	100.03	93.81	0.47
10.11	6.00	33.00	37.74	100.05	93.44	0.49

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
11.64	7.03	33.00	38.00	100.06	93.27	0.54
14.23	8.99	33.00	38.41	100.09	92.90	0.58
15.63	9.99	33.00	38.55	100.01	92.85	0.62
8.10	5.00	35.00	38.77	100.01	94.60	0.46
10.96	7.04	35.00	39.28	100.00	94.19	0.54
12.18	7.99	35.00	39.47	100.02	93.97	0.55



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของเครื่องทำน้ำเย็นจากงานวิจัย Jerko Labus

$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
12.50	7.86	27.00	31.48	80.00	74.38	0.65
7.01	4.98	30.00	32.46	79.99	76.73	0.49
12.25	9.03	30.00	33.10	79.99	76.18	0.67
5.52	5.00	33.00	34.23	80.00	77.99	0.21
10.92	9.07	33.02	34.97	79.94	77.41	0.58
8.50	8.01	34.99	36.20	80.02	78.07	0.20
10.45	5.98	27.00	31.55	85.00	79.01	0.59
15.75	10.00	27.07	32.29	85.03	78.39	0.68
10.65	6.99	30.00	33.79	84.98	79.94	0.57
15.71	10.98	29.99	34.41	85.00	79.41	0.67
8.87	6.99	33.01	35.37	85.04	81.51	0.42
14.45	11.10	32.99	36.42	85.00	80.36	0.57
8.18	7.01	35.00	36.81	85.00	82.18	0.33
13.40	11.04	35.00	37.61	84.99	81.36	0.52
12.58	7.00	27.00	32.42	90.04	83.05	0.63
17.78	11.02	27.02	33.10	90.07	82.54	0.71
13.06	7.99	30.01	34.79	90.00	83.95	0.66
7.62	5.03	33.00	35.99	90.00	85.82	0.49
13.01	9.02	33.01	36.77	90.00	85.16	0.65
6.40	4.98	35.00	37.21	90.00	86.57	0.33
11.72	9.04	35.00	38.09	89.99	85.64	0.49
10.80	5.05	27.01	33.01	95.03	87.31	0.59
16.02	8.99	26.99	33.73	95.04	86.57	0.66



$T_{E,i}$ (°C)	$T_{E,o}$ (°C)	$T_{C,i}$ (°C)	$T_{C,o}$ (°C)	$T_{G,i}$ (°C)	$T_{G,o}$ (°C)	COP
12.08	7.01	30.01	35.42	95.05	87.81	0.55
17.27	11.01	30.03	36.10	95.07	87.27	0.64
12.08	8.00	33.00	37.48	95.01	88.87	0.53
17.21	11.92	32.99	38.31	95.04	88.11	0.60
11.23	7.99	35.00	38.59	95.00	90.04	0.52
16.35	12.03	35.00	39.49	94.99	88.99	0.57
15.40	8.03	27.06	34.26	99.94	90.71	0.63
11.25	6.00	30.00	35.51	100.06	92.86	0.58
16.67	9.83	29.93	36.58	100.11	91.98	0.67
12.94	8.01	33.00	38.17	100.04	93.15	0.57
9.62	6.03	35.00	39.05	100.01	94.43	0.51



ภาคผนวก ข  
ตัวอย่างการคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืนขนาด 23 กิโลวัตต์

สมการที่ (2.1) ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ COP (Coefficient of Performance)

$$\text{COP} = \frac{Q_E}{Q_G} = \frac{\rho_E \dot{V}_E C_{pE} (T_{E,i} - T_{E,o})}{\rho_G \dot{V}_G C_{pG} (T_{G,i} - T_{G,o})} \quad (2.1)$$

โดยที่	$Q_E$	=	ปริมาณความร้อนที่เครื่องระเหยสามารถถ่ายเทเพื่อทำความเย็น
	$Q_G$	=	ปริมาณความร้อนที่เครื่องผลิตได้รับจากแหล่งความร้อน
	$\rho$	=	ความหนาแน่นของน้ำ
	$\dot{V}$	=	อัตราการไหลของน้ำ
	$C_p$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ
	$T_i$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน
	$T_o$	=	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

คำนวณ  $Q_E$  ปริมาณความร้อนที่เครื่องระเหยสามารถถ่ายเทเพื่อทำความเย็น

กำหนดให้	$\rho$	=	1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\dot{V}$	=	อัตราการไหลของน้ำเย็น 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
	$C_p$	=	4.18 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส
	$T_{E,i}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น 9.17 องศาเซลเซียส
	$T_{E,o}$	=	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 5 องศาเซลเซียส

$$\text{ดังนั้น } Q_E = \frac{1,000 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{4 \text{ m}^3}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3,600 \text{ s}} \times \frac{4.18 \text{ kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (9.17 - 5)^\circ\text{C}$$

$$Q_E = 19.367 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{ หรือ } 19.367 \text{ kW}$$

คำนวณ  $Q_G$  ปริมาณความร้อนที่เครื่องผลิตได้รับจากแหล่งความร้อน

กำหนดให้	$\rho$	=	1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	$\dot{V}$	=	อัตราการไหลของน้ำร้อน 5.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
	$C_p$	=	4.18 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส
	$T_{E,i}$	=	อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น 85 องศาเซลเซียส

$T_{E,o}$  = อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น 80 องศาเซลเซียส

$$\text{ดังนั้น } Q_E = \frac{1,000 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{5.8 \text{ m}^3}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3,600 \text{ s}} \times \frac{4.18 \text{ kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (85 - 80)^\circ\text{C}$$

$$Q_E = 33.672 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{ หรือ } 33.672 \text{ kW}$$

คำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G} = \frac{19.367}{33.672} = 0.575$$



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภัททิรา ล้อมเล็ก เกิดเมื่อวันอังคารที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ.2530 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี เมื่อปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ในปีการศึกษา 2553



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY