การออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับตู้ฟักไข่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

นายวิโรจน์ เอกวงศ์มั่นคง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

OPTIMUM DESIGN OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM FOR INDUSTRIAL INCUBATORS

Mr Wiroj Ekwongmunkong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับตู้ฟักไข่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม
โดย	นาย วิโรจน์ เอกวงศ์มั่นคง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…………………………………………… ประธานกรรมการ
(ศาสตราภิชาน ทวี เวชพฤติ)

………………………………………….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

…………………………………………… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

…………………………………………… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.วัฒนา ศรีวาจนะ)

วิโรจน์ เอกวงศ์มั่นคง : การออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับตู้ฟักไข่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม. (OPTIMUM DESIGN OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM FOR INDUSTRIAL INCUBATORS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา, 79 หน้า.

ตู้ฟักไข่เป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างสภาวะอากาศที่เหมาะต่อการฟัก ช่วยให้ลูกไก่ฟักได้ครั้งละมากๆ และมีคุณภาพเพื่อทันต่อความต้องการของผู้บริโภค แต่ผู้ผลิตในปัจจุบันต้องนำเข้าตู้ฟักจากต่างประเทศในราคาสูง และตู้ฟักไม่ได้ถูกออกแบบมาใช้กับเมืองไทยทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูง จากสภาพปัญหาดังกล่าว การออกแบบตู้ฟักไข่สำหรับใช้ในประเทศเองจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานและลดงบประมาณของการนำเข้า

จุดประสงค์ของงานวิจัยคือการออกแบบระบบปรับอากาศของตู้ฟักขนาดบรรจุ 103,680 ฟอง กว้าง 5.35 เมตร ยาว 5.35 เมตร สูง 2.48 เมตร เพื่อรักษาสภาวะอากาศให้เหมาะสมต่อการฟัก และเปรียบเทียบระบบที่ออกแบบขึ้นตามเกณฑ์การออกแบบ เพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมต่อการฟักที่สุด

ผลการออกแบบคือระบบปรับอากาศจะประกอบด้วย 2 ส่วนที่ทำงานร่วมกันคือระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักซึ่งประกอบด้วยคอยล์ร้อน สเปรย์น้ำและเครื่องเติมอากาศที่มีองค์ประกอบภายในประกอบด้วยแผ่นกรองอากาศ คอยล์เย็น ท่อนำความร้อน รันอะราวคอยล์ คอยล์ร้อน สเปรย์น้ำ โดยสามารถทำสภาวะอากาศภายในตู้ฟักได้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 36.5-38.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50-65% และรักษาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ได้อยู่ระดับที่รับได้ตามเกณฑ์การออกแบบ สามารถจัดการสภาวะภูมิอากาศภายใต้ภาระทำความร้อนสูงสุดได้ ดูแลรักษาง่าย ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานและมีค่าใช้ไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่นๆ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก............................
ปีการศึกษา 2554

5170465121 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEYWORDS: INCUBATOR / AIR CONDITIONING / CHICKEN EGG / DESIGN

WIROJ EKWONGMUNKONG: OPTIMUM DESIGN OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM FOR INDUSTRIAL INCUBATORS.
ADVISOR: ASST.PROF. TUL MANEWATTANA, Ph.D., 79 pp.

Incubator is a device that provides the suitable air condition for hatching and increases the amount and quality of hatched chickens in response to the market. However, Thai suppliers have to purchase imported incubators in high price and these incubators are not designed for Thailand's climate, which will increase the energy consumption. Therefore, designing incubators for domestic use will save the energy and reduce the cost of purchasing imported incubators

The objective of this research is to design air conditioning system of incubators with the capacity of 103,680 eggs at a time and the size of 5.35 x 5.35 x 2.48 meter (W x L x H) to maintain the suitable air condition for hatching and compare this designed system according to design criteria for the most suitable system

The result shows that the most suitable system contains two parts. The first part contains heating coil, water spray, and the second part is a dedicated outdoor air unit that includes air filter, cooling coil, heat pipe, run around coil heating coil and water spray. The system will be able to adjust the air condition in the incubator to maintain the range of 36.5-38.0 $^{\circ}C$, 50-65%RH and maintain the acceptable Carbon dioxide level according to design criteria. It can manage the air condition in the incubator's peak load with easy care, the lowest life cycle and electric consumption cost.

Department : Mechanical Engineering Student's Signature ....
Field of Study : Mechanical Engineering Advisor's Signature ....
Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี โดยรับความช่วยเหลือจากคณาจารย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ทางวิชาการ คำปรึกษา ข้อคิดในการดำเนินการใช้ชีวิตและกำลังใจ รวมถึงคำแนะนำของศาสตราภิชาน ทวี เวชพฤติ รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน และดร.วัฒนา ศรีวาจนะที่ทำให้ผู้ทำวิจัยทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงและนำมาซึ่งความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์นี้

ตลอดระยะการศึกษานี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆในภาควิชาที่ให้กำลังใจ ทำให้ผู้ทำวิจัยสามารถผ่านอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนายเชาวนพันธุ์ เหล็กขำ เพื่อนสนิทที่ร่วมงานกันมาตลอด ขอขอบคุณเพื่อนๆ นายภากร นนทิวัฒน์วนิช นายสมพงษ์ เจริญบูลย์วิวัฒน์ พี่ปริญเอก ร่มไตรรัตน์ พี่กฤษณ์กร ประไพพิทยาคุณ และพี่กรกช เพชรดี รวมถึงเพื่อนที่เรียนปริญญาโทมาด้วยกันทุกคนที่ทำให้ชีวิตการเรียนในปริญญาโทเป็นความทรงจำที่ดี

ขอกราบขอบพระคุณนายประสงค์ และนางสมใจ เอกวงศ์มั่นคง บิดา-มารดา และครอบครัวที่อบอุ่นที่คอยเป็นกำลังใจ แรงบันดาลใจในการเรียน แรงสนับสนุนในด้านต่างๆมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

สารบัญตาราง ญ

สารบัญภาพ ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 วิธีดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

บทที่ 3 การออกแบบ 8

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นต่อการออกแบบ 8

3.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับไข่ 8

3.1.2 ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการออกแบบ 10

3.2 เกณฑ์การออกแบบ 10

3.3 การนิยามระบบที่ใช้ในการศึกษา 13

3.4 การคำนวณปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำ 13

3.5 การออกแบบระบบปรับอากาศ 14

3.5.1 หลักการและเหตุผลในการออกแบบ 14

หน้า

3.5.2 การออกแบบระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่ 16
3.5.2.1 การกำหนดเส้นทางการไหลของอากาศ..16
3.5.2.2 เงื่อนไขการออกแบบ..17
3.5.2.3 การสร้างรูปแบบการจัดเรียงอุปกรณ์ภายใน 17
3.5.2.4 การวิเคราะห์ทางไซโครเมตริกภายใต้เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^{\circ}C$ 50%RH.........18
3.5.2.4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ 19
3.5.2.5 การศึกษาอิทธิพลของสภาวะลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศที่มีต่ออุณหภูมิของลมจ่ายและปริมาณการระบายอากาศ..20
3.5.2.6 การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ปรับอากาศ 21
3.5.2.7 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน..21
3.5.3 การออกแบบระบบปรับอากาศส่วนเครื่องเติมอากาศ 22
3.5.3.1 การสร้างกลวิธีในการจัดการสภาพภูมิอากาศ..22
3.5.3.2 การสร้างรูปแบบการจัดเรียงอุปกรณ์ของเครื่องเติมอากาศ 23
3.5.3.3 การวิเคราะห์ทางไซโครเมตริกภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิอากาศ 25
3.5.3.4 การนำเทคโนโลยีประหยัดพลังงานมาใช้..29
3.5.3.5 การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ปรับอากาศ 31
3.5.3.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน..32
3.6 การวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ 32
3.7 การเปรียบเทียบรูปแบบของระบบปรับอากาศตามเกณฑ์การออกแบบ..33
บทที่ 4 ผลการออกแบบและวิเคราะห์..34
4.1 ปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำ 34
4.2 สภาวะอากาศภายในของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบต่างๆ..35

หน้า

4.2.1 อุณหภูมิลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2 35
4.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2 35
4.2.3 ปริมาณการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1และ2 36
4.3 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายใน 38
4.3.1 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิลมจ่าย 38
4.3.2 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิลมกลับและลมจ่าย 38
4.3.3 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่าย 39
4.4 อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่อปริมาณการระบายอากาศและสภาวะอากาศภายในตู้ฟักไข่ 41
4.5 การทำงานของระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่ 43
4.6 พลังงานที่ใช้และขนาดของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่ 44
4.7 พลังงานที่ใช้และขนาดของเครื่องเติมอากาศแบบต่างๆ 44
4.8 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ 49
4.9 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการออกแบบตามเกณฑ์การออกแบบ 50
บทที่ 5 สรุปผลการออกแบบและข้อเสนอแนะ 52
รายการอ้างอิง 54
ภาคผนวก 56
ภาคผนวก ก 57
ภาคผนวก ข 61
ภาคผนวก ค 72
ภาคผนวก ง 78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 79

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ขนาดและพลังงานที่ใช้ของอุปกรณ์ระบบปรับอากาศที่ใช้ในส่วนตู้ฟักไข่..................44

4.2 ขนาดของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ 46

4.3 พลังงานที่ใช้ของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1, 1ก และ 1ข 47

4.4 พลังงานที่ใช้ของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 และ 2ก 48

4.5 รายการของราคาอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ 50

4.6 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ 50

4.7 ผลการเปรียบเทียบการออกแบบตามเกณฑ์การออกแบบ.......................................51

ข.1 ตัวอย่างการคำนวณการสภาวะลมจ่ายภายในตู้ฟักไข่เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^{\circ}C$ และ 50%RH ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1................................70

ข.2 การเปรียบเทียบปริมาณการระบายอากาศที่นำเข้าตู้ฟักไข่กับปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำภายใต้เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^{\circ}C$ และ 50%RH ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1...71

ค.1 รายการส่วนประกอบของคอยล์เย็นและร้อนของเครื่องเติมอากาศ 72

ค.2 รายการส่วนประกอบของรันอะราวคอยล์ 73

ค.3 รายการส่วนประกอบของสเปรย์น้ำที่ใช้ในระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศ 74

ค.4 รายการส่วนประกอบของท่อนำความร้อน 75

ค.5 รายการส่วนประกอบของแผ่นกรองขั้นต้น 75

ค.6 รายการส่วนประกอบของแผ่นกรองขั้นกลาง...76

ค.7 รายการส่วนประกอบของคอยล์ร้อนของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่..................77

ง.1 ปริมาณภาระทำความร้อนและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่ทั้ง 18 วัน 78

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระความร้อนของไข่กับระยะเวลาในตู้ฟักไข่..........................9
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่กับระยะเวลาใน ตู้ฟักไข่...9
3.3 สภาวะอากาศของลพบุรีทุกราย 3 ชั่วโมงตลอดปี พ.ศ. 2552 บนแผนภูมิไซโคร เมตริก...10
3.4 ตู้ฟักไข่และเส้นทางการไหลของอากาศ 16
3.5 ตู้ฟักไข่และการจัดเรียงของอุปกรณ์ภายในรูปแบบที่ 1 17
3.6 ตู้ฟักไข่และการจัดเรียงของอุปกรณ์ภายในรูปแบบที่ 2 18
3.7 ขอบเขตอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 23.0-29.5 $^{\circ}C$ และ 50-60% บนแผนภูมิ ไซโครเมตริก...23
3.8 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1...24
3.9 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2...24
3.10 การแบ่งโซนภูมิอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริกที่รองรับการทำงานของเครื่อง เติมอากาศแบบที่ 1...28
3.11 การแบ่งโซนภูมิอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริกที่รองรับการทำงานของเครื่อง เติมอากาศแบบที่ 2...29
3.12 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก 30
3.13 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ข...30
3.14 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2ก 30
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำกับระยะเวลาที่ใช้ใน การฟัก...35
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่ แบบที่ 1 และ 2 กับระยะการฟัก 36
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างของความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของระบบปรับอากาศ ภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2 กับระยะการฟัก...37

ภาพที่		หน้า
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2 กับระยะการฟัก	37
4.5	อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟัก	39
4.6	อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิลมกลับและลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟัก	40
4.7	อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความชื้นลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟัก	40
4.8	อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่อปริมาณการระบายอากาศ	42
4.9	อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่ออุณหภูมิลมจ่าย	42
4.10	อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่าย	43
ก.1	กระบวนการทำความเย็นและให้ความร้อนใหม่ของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1	57
ก.2	กระบวนการทำความร้อนของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1	57
ก.3	กระบวนการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1	58
ก.4	กระบวนการทำความเย็นและลดความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1	58
ก.5	กระบวนการทำความร้อนแล้วทำความเย็นและเพิ่มความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1	59
ก.6	กระบวนการทำความเย็นและให้ความร้อนใหม่ของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก และ 1ข	59
ก.7	กระบวนการทำความเย็นและดูดความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 และ 2ก	60
ข.1	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 1 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	61
ข.2	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 2 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	61

ภาพที่		หน้า
ข.3	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 3 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	62
ข.4	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 4 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	62
ข.5	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 5 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	63
ข.6	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 6 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	63
ข.7	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 7 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	64
ข.8	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 8 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	64
ข.9	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 9 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	65
ข.10	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่10ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	65
ข.11	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่11ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	66
ข.12	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่12ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	66
ข.13	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่13ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	67
ข.14	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่14ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	67
ข.15	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่15ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	68
ข.16	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่16ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	68
ข.17	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่17ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	69
ข.18	การรักษาสภาวะอากาศในวันที่18ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1	69

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A/C	ระบบปรับอากาศ
C	ค่าใช้จ่าย
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ
DSA	ลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศ
EA	อากาศที่ระบายออก
h	เอนทาลปี
i	อัตราดอกเบี้ยเงินกู้
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล
MA	อากาศผสม
n	จำนวนปี
OA	อากาศภายนอก
P	ค่าใช้จ่ายเทียบเท่าปัจจุบัน
q	ปริมาณความร้อน
Q	อัตราการไหลของลมเชิงปริมาตร
R	อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดท่อลมจ่ายส่วนด้วยท่อลมกลับ
RA	ลมกลับ
RH	ความชื้นสัมพัทธ์
SA	ลมจ่าย
SHR	อัตราส่วนความร้อนสัมผัส
T	อุณหภูมิ
W	อัตราส่วนความชื้น

ตัวอักษรกรีก

ε	ประสิทธิผล
ρ	ความหนาแน่น

ตัวอักษรห้อย

a	อากาศ
ci	อากาศขาเข้าคอยล์เย็น
cirr	อากาศหมุนเวียนในตู้ฟักไข่
co	อากาศขาเข้าคอยล์เย็น
cap	ขนาด
consume	พลังงานที่ใช้
e	พลังงานไฟฟ้า
ea	อากาศที่ระบายออก
hi	อากาศขาเข้าคอยล์ร้อน
ho	อากาศขาออกคอยล์ร้อน
HPex	อากาศขาออกจากท่อนำความร้อน
i	ขาเข้า
m	บำรุงรักษา
ma	อากาศผสม
n	จำนวนปี
o	ขาออก
O	การดำเนินงาน
oa	อากาศภายนอก
ra	ลมกลับ
sa	ลมจ่าย
si	อากาศขาเข้าสเปรย์น้ำ
so	อากาศขาเข้าสเปรย์น้ำ
tot	สุทธิ
w	น้ำ
wAmb	อากาศกระเปาะเปียกภายนอก
wInc	อากาศกระเปาะเปียกในตู้ฟักไข่

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ไก่เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของไทยเนื่องจากเป็นแหล่งอาหารหลักของคนไทยและสร้างมูลค่าการส่งออกมหาศาลในแต่ละปี เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในแข่งขันทางเศรษฐกิจ ผู้ผลิตจึงต้องพิถีพิถันตั้งแต่การฟักให้มีคุณภาพเพื่อให้ได้ลูกไก่ที่แข็งแรง การฟักตามธรรมชาติ ลูกไก่ที่เกิดมามักไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากไข่ไม่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการฟัก การควบคุมสภาพอากาศในการฟักจึงเป็นปัจจัยที่สิ่งสำคัญยิ่งต่อคุณภาพของไก่ที่จะเกิดขึ้น

ตู้ฟักไข่จึงถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสภาวะที่เหมาะต่อการฟักอย่างแม่นยำ ส่งผลให้ลูกไก่ที่เกิดมามีคุณภาพและฟักได้ครั้งละมากๆ แต่ปัจจุบันตู้ฟักไข่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศในราคาสูงประกอบกับถูกออกแบบให้ใช้งานในเขตหนาว เมื่อนำมาใช้ในเมืองไทยจึงควบคุมสภาพอากาศในตู้ได้ไม่ดีเท่าที่ควรและสิ้นเปลืองพลังงาน จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจในการออกแบบตู้ฟักไข่สำหรับใช้ในประเทศเอง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานและลดงบประมาณของการนำเข้า

เนื่องจากจังหวัดลพบุรีเป็นจังหวัดที่มีการเลี้ยงไก่มากที่สุดจังหวัดหนึ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อออกแบบระบบปรับอากาศในตู้ฟักไข่ไก่ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานในจังหวัดลพบุรี

ระบบปรับอากาศในตู้ฟักไข่เป็นการควบคุมสภาวะอากาศอันได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณอากาศหมุนเวียน ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ให้ไข่ได้รับสภาวะที่เหมาะสมต่อการฟัก การเปลี่ยนแปลงตัวแปรใดเพียงตัวแปรหนึ่งในตู้ฟักไข่ล้วนส่งผลต่อสภาวะในตู้ฟักไข่ทำให้เกิดการแปรปรวนของสภาวะอากาศเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้ฟักไข่สูงขึ้นจากไข่ ทำให้ต้องนำอากาศภายนอกเข้ามาเจือจาง ผลกระทบที่ตามมาคืออากาศในตู้ฟักไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อการควบคุมสภาวะอากาศในตู้ฟักไข่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิทยานิพนธ์นี้จึงมีการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการคงสภาวะในตู้ฟักไข่อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.ออกแบบระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่ไก่ที่สามารถสร้างสภาวะอากาศที่เหมาะสมต่อการฟักได้

2.ออกแบบระบบปรับอากาศที่สามารถใช้งานได้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในจังหวัดลพบุรี

3.ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการคงสภาวะอากาศภายในตู้ฟักไข่ในทางทฤษฎี

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.จำนวนไข่ไก่ที่ใช้ในการฟักคือ 103,680 ฟอง

2.ตู้ฟักไข่นี้มีระยะเวลาในการฟักทั้งสิ้น 18 วัน

3.สถานที่ที่ใช้ออกแบบตั้งอยู่ในจังหวัดลพบุรี

4.ตู้ฟักไข่นี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานเท่านั้น

1.4 วิธีดำเนินงานของวิทยานิพนธ์

1.รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับไข่ไก่และสภาวะอากาศของจังหวัดลพบุรี

2.ระบุเกณฑ์การออกแบบเพื่อใช้เป็นหลักในการพิจารณาการออกแบบ

3.นิยามระบบที่ใช้ในการศึกษา

4.ออกแบบระบบปรับอากาศที่จะใช้เป็นแบบในการศึกษา

5.วิเคราะห์รายละเอียดของรูปแบบที่ได้ออกแบบและศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการคงสภาวะอากาศในตู้ฟักไข่โดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริกเป็นเครื่องมือ

6.คำนวณพลังงานและขนาดของอุปกรณ์ที่ออกแบบ

7.เปรียบเทียบระบบปรับอากาศที่ได้ออกแบบตามเกณฑ์การออกแบบเพื่อพิจารณาระบบปรับอากาศที่ดีที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเข้าใจองค์ความรู้และกระบวนการออกแบบระบบปรับอากาศภายใต้สภาวะที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

2. เพื่อเข้าใจความสัมพันธ์ของสภาวะอากาศภายนอกที่มีต่อการควบคุมสภาวะอากาศภายในตู้ฟักไข่ให้คงที่

3. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ใช้งานตู้ฟักไข่ในปัจจุบัน ให้มีความรู้และความเข้าใจในการควบคุมตู้ฟักไข่ให้คงสภาวะอากาศได้อย่างเหมาะสม

4. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับอุตสาหกรรมด้านปศุสัตว์ ในการตัดสินใจเลือกวิธีการออกแบบและสร้างตู้ฟักไข่ไก่ที่เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศไทย

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับตู้ฟักไข่

พงศ์สวัสดิ์ สวัสดิภาพ (2546) พัฒนาเครื่องฟักไข่โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริก โดยทดลองกับตู้ฟักไข่ขนาดบรรจุ 36 ฟอง ทำด้วยไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร กว้าง 0.4 เมตร ยาว 0.36 เมตร และสูง 0.37 เมตร สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกซึ่งติดตั้งอยู่ด้านบนของตู้พร้อมด้วยพัดลมและควบคุมความชื้นด้วยถาดน้ำ โดยหลักการระเหยของน้ำในการให้ความชื้น การทำงานจะใช้พัดลมกระจายความร้อนเข้าสู่เครื่องฟักไข่ที่ความเร็วเฉลี่ย 0.13 เมตรต่อวินาทีและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 37.7 – 38.0 $^\circ C$ ในช่วง 18 วันแรกและลดอุณหภูมิลง 1 $^\circ C$ ใน 3 วันหลัง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องฟักอยู่ในช่วง 36.5-38.0 $^\circ C$ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในอยู่ในช่วง 60-75 % และเปอร์เซ็นต์การฟักออกเป็นตัวเท่ากับ 72 % ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของตู้ฟักไข่ไฟฟ้ากับตู้ฟักไข่โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกพบว่าตู้ฟักไข่โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้ 44 บาทและระยะเวลาคืนทุน 1.06 ปี ต่อ 13 รุ่น/ปี

พร เรศานนท์ (2494) ศึกษาหาประสิทธิภาพของเครื่องฟักไข่แบบ “เกษตรสุวรรณ” ขนาดบรรจุ 70 ฟอง ขนาดกว้าง 0.45 เมตร ยาว 0.61 เมตร สูง 0.40 เมตร เพื่อหาประสิทธิภาพการฟักออกเป็นตัวของลูกไก่และค่าใช้จ่ายในการฟักไข่ โดยใช้เครื่องฟักแบบ“เกษตรสุวรรณ”จำนวน 4 เครื่องนี้นำมาทดลองเครื่องละ 2 ครั้ง ใช้ลวดความร้อนนิโครมให้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและพยายามรักษาอุณหภูมิในระดับ 100 – 101 $^\circ F$ ตลอดการฟัก จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการฟักเป็นตัวเฉลี่ยของเครื่องฟักไข่ 45.395 $\pm$ 3.37% ของไข่ทั้งหมด , 64.545 $\pm$ 2.29 % ของไข่มีเชื้อ และ 81.272 $\pm$ 4.01 % ของไข่อาทิตย์ที่ 3 ส่วนค่าใช้จ่ายในการฟักเฉลี่ยเครื่องละ 82.78 $\pm$ 0.37 บาท

ชาญวิทย์ อุดมศักดิกุล (2544) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีหลักการทำงานคือใช้น้ำร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไหลหมุนเวียนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วใช้พัดลมดึงความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่เครื่องฟักไข่ และให้ความชื้นในเครื่องฟักไข่โดยวิธีการระเหยตามธรรมชาติ วิธีการดำเนินงานได้ออกแบบเครื่องฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบขนาดบรรจุ 720 ฟอง ขนาด 0.80 เมตร x 1.00

เมตร x 1.60 เมตร ตัวเครื่องสร้างโดยไม้อัดหนา 0.01 เมตร ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 0.40 เมตร x 0.50 เมตรและพัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตรไว้ด้านล่างและด้านบนของเครื่องฟักไข่ตามลำดับ บนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีถาดให้ความชื้นขนาด 0.40 เมตร x 0.30 เมตรอยู่ด้านบน ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ สำหรับการทำงานจะใช้พัดลมพัดอากาศกระจายความร้อนภายในเครื่องผ่านไข่ด้วยความเร็ว 0.07 เมตรต่อวินาที อัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่อง 0.2 กิโลกรัมต่อวินาที ตั้งอุณหภูมิที่เครื่องเท่ากับ 38.0 $^{\circ}C$ ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิของเครื่องฟักไข่อยู่ในช่วง 37-39 $^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60-80% ที่เปอร์เซ็นต์การฟักเท่ากับ 70%

วีระวัฒน์ พีระวณิชกุล (2544) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในทำนายอุณหภูมิและความชื้นในตู้ฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำตู้ฟักไข่แบบจำลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองจากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ได้ไปศึกษาความเหมาะสมของการใช้ฉนวนภายในตู้ฟักไข่ สำหรับตู้ฟักไข่นี้ทำจากไม้อัดขนาด 0.8 เมตร x 1 เมตร x 1.6 เมตร ภายในติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและพัดลมซึ่งกระจายความร้อนที่ได้สู่เครื่องด้วยอัตราการไหล 0.2 กิโลกรัมต่อวินาที จากการทดลองแบบจำลองดังกล่าวพบว่าสามารถทำนายอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิอากาศ และความชื้นภายในตู้ฟักไข่ใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยมีความถูกต้องอยู่ในช่วง $\pm$2.1%, $\pm$1.8% และ $\pm$3.5% ตามลำดับ และเมื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้ในการศึกษาฉนวนภายในตู้ฟักไข่พบว่า เมื่อใช้ฉนวนที่ทำจากโฟมหนา 1 นิ้วติดตั้งภายในตู้ฟักไข่จะลดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังตู้ฟักไข่ ทำให้ถังเก็บน้ำร้อนสามารถจ่ายความร้อนให้แก่ตู้ฟักไข่ได้นานขึ้น 5 ชั่วโมงเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวน

สันต์ สลัดยะนันท์ (2546) ศึกษาการออกแบบตู้ฟักไข่ โดยใช้น้ำมันหลังการประกอบอาหารเป็นแหล่งพลังงาน ออกแบบสร้างตู้ฟักไข่ขนาดบรรจุ 144 ฟอง ขนาด 0.5 เมตร x 0.5 เมตร x 1.2 เมตร ผนังของตู้ฟักหนา 0.02 เมตร ด้านล่างของตู้ฟักไข่ติดตั้งถาดใส่น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นแก่ไข่ หลักการคือนำความร้อนที่ได้จากตะเกียงน้ำมันพืชเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 2 ท่อ จากนั้นจึงใช้พัดลมกระจายความร้อนสู่ตู้ฟักไข่ให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 37.5-38.0 $^{\circ}C$ ในการฟักจะไข่ทั้งหมด 60 ฟองโดยแบ่งเป็นครั้งละ 20 ฟอง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของตู้ฟักอยู่ในช่วง 35-42 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60-75% และมีเปอร์เซ็นต์การฟักอยู่ที่ 63% ของไข่มีเชื้อ

สำหรับงานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะให้ใช้สเปรย์น้ำในระหว่างการฟักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเนื่องจากความชื้นที่เกิดจากถาดน้ำในบางช่วงของการฟักมีค่าน้อยเกินไป อีกทั้งยังเสนอให้มีการเพิ่มการหมุนเวียนของอากาศเพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิในเครื่องฟักไข่ลง

อัศนัย ปทุมมิน (2550) พัฒนาและศึกษาสมรรถนะของเครื่องฟักไข่ที่ใช้ระบบน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ออกแบบเครื่องฟักไข่ขนาดบรรจุ 100 ฟอง ขนาด 0.66 เมตร x 0.44 เมตร x 1.33 เมตร ตัวตู้ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 0.001 เมตร ผนังด้านในของเครื่องบุด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 0.01 เมตร โดยนำน้ำร้อนที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปเก็บในถังเก็บน้ำร้อนและใช้หลอดไฟให้ความร้อนกับน้ำร้อน จากนั้นจะนำความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนมาใช้กับตัวถ่ายเทความร้อนของเครื่องฟักไข่ แล้วใช้พัดลมกระจายความร้อนจากตัวถ่ายเทความร้อนของเครื่องฟักไข่เพื่อควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 36-38.0 $^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 40-70% ผลการทดลองพบว่าเครื่องฟักไข่สามารถนำน้ำร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้และทำอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ แม้ว่าอุณหภูมิและความชื้นแวดล้อมภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม และการหาประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องพบว่าสามารถให้อุณหภูมิภายในเครื่องเฉลี่ย 37.6 $^{\circ}C$ มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่ 38.2 $^{\circ}C$ อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดที่ 37.2 $^{\circ}C$ อุณหภูมิภายในแผงรับแสงอาทิตย์เฉลี่ย 44.1 $^{\circ}C$ อุณหภูมิภายในเก็บน้ำร้อนเฉลี่ย 46.7 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 53.8% ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ย 55.2% ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 52.2% และผลการฟักของไข่ 100 ฟอง มีไข่ไม่มีเชื้อ 9 ฟอง สามารถฟักออกมาเป็นตัวจำนวน 71 ฟอง คิดเป็นร้อยละ 78% ของจำนวนไข่มีเชื้อ

ทวีศักดิ์ เข็มพิลาและพุทธบวร ลาแอ้น (2547) ศึกษาและพัฒนาตู้ฟักไข่นกกระทาที่มีรูปแบบการกระจายลมที่แตกต่างกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายของลมที่แตกต่างกันภายในตู้ฟักไข่ที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การฟักออกเป็นตัว และตู้ฟักไข่นี้มีขนาดบรรจุ 480 ฟองและขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 0.5 เมตร สูง 0.75 เมตร สำหรับรูปแบบการกระจายลมที่ศึกษามี 3 รูปแบบด้วยกันคือ ตู้ฟักไข่ที่มีกระแสลมหมุนวนภายในตู้ ตู้ฟักไข่ที่มีกระแสลมเคลื่อนที่ผ่านไข่ในแนวระดับ และตู้ฟักไข่ที่มีกระแสลมในแนวระดับผสมอากาศภายนอก 50 เปอร์เซ็นต์ และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 36-37 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% และความเร็วลมคงที่ที่ระดับ

0.64-0.65 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า รูปแบบการกระจายลมที่แตกต่างกัน มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การฟักออกของไข่นกกระทาไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Bukola (2008) ศึกษาการสร้างและออกแบบตู้ฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดสอบและประเมินสมรรถนะของตู้ฟักไข่ โดยตู้ฟักไข่มีขนาดบรรจุ 100 ฟอง จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการฟักอยู่ในช่วง 37-39% และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 58.0-71.5% เปอร์เซ็นต์การฟักเป็นตัวเท่ากับ 78.8%ของไข่มีเชื้อ

ผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในการออกแบบระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่ที่ผ่านมานั้น ระบบออกแบบมากให้ใช้กับตู้ฟักไข่ที่มีขนาดบรรจุเท่ากับ 36-144 ฟอง ปรับอากาศภายนอกโดยใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนเช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขดลวดนิโครม และเพิ่มความชื้นแก่อากาศภายนอกโดยใช้ถาดน้ำโดยวิธีระเหยตามธรรมชาติ สำหรับสภาวะอากาศที่เหมาะสมต่อการฟักไข่ไก่จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 36.5-38.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60-75% โดยให้ผลการฟักอยู่ในระดับที่ 60-70%

นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัยเกี่ยวข้องคือ การเพิ่มปริมาณการหมุนเวียนอากาศภายในตู้ฟักไข่เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการฟัก การใช้สเปรย์น้ำในการเพิ่มความชื้นของกับอากาศภายนอกก่อนเข้าสู่ตู้ฟักไข่เพื่อรักษาความชื้นให้เหมาะสม และการใช้ฉนวนกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ตู้ฟักไข่

บทที่ 3
การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีและขั้นตอนการออกแบบระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่ ตั้งแต่การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบ เกณฑ์การออกแบบ การนิยามระบบที่ใช้ในการศึกษา การสร้างรูปแบบระบบปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษา และวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบต่างๆตามเกณฑ์การออกแบบ ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นต่อการออกแบบ

3.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับไข่

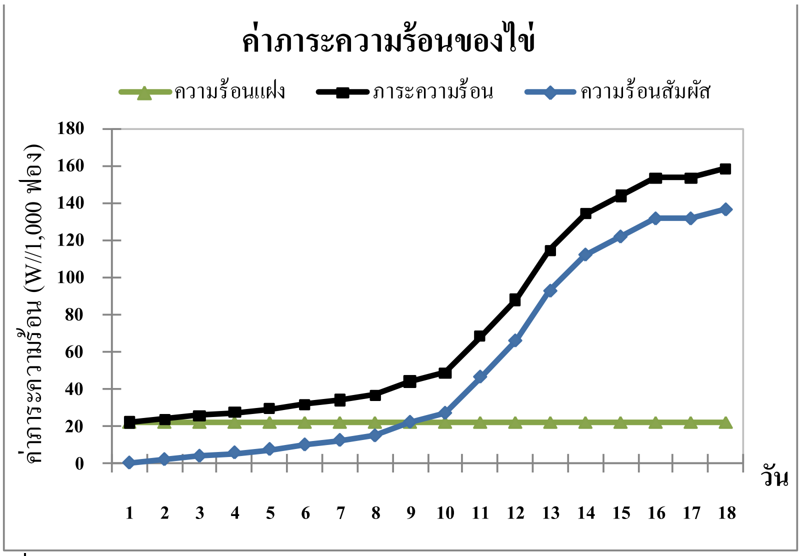
3.1.1.1 ระยะเวลาการฟักไข่ไก่

ระยะเวลาที่ใช้ในการฟักไข่จนกระทั่งได้ลูกไก่นั้นใช้เวลาทั้งสิ้น 21 วัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ในระยะแรกไข่จะนำไปอบในตู้ฟักไข่ (Incubator) จนถึงวันที่ 18 ต่อจากนั้นจึงย้ายไข่ที่อบในตู้ฟักไข่ไปยังตู้เกิด (Hatchery) ในวันที่ 19-21 ซึ่งการย้ายมายังตู้เกิดหลังจาก 18 วันแรกนั้นมีข้อดีหลายอย่างเช่น สะดวกแก่การความสะอาดภายหลังการฟักและลูกไก่ที่เกิดมาสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระหลังจากการฟัก สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาและออกแบบระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่เท่านั้นหรือกล่าวคือในระยะ 18 วันแรกเท่านั้น

3.1.1.2 ปริมาณภาระความร้อนที่เกิดจากไข่ไก่

ในขณะระหว่างการอบไข่นี้ ไข่จะผลิตภาระความร้อนขึ้น โดยกระบวนการเผาผลาญพลังงาน ซึ่งภาระความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการฟักนี้จะมีผลต่อสภาวะอากาศที่เกิดภายในตู้ฟักไข่ จากการศึกษาของ Romijn, C. และ W. Lokhorst (1960) พบว่าภาระความร้อนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง โดยความร้อนสัมผัสที่เกิดจากไข่นี้จะมีปริมาณน้อยในช่วงแรกของการฟักและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงหลังของการฟัก ส่วนความร้อนแฝงที่เกิดจากไข่นี้จะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดระยะการฟัก จากลักษณะเฉพาะนี้เองทำให้เส้นอัตราส่วนความร้อนสัมผัส (SHR) เปลี่ยนแปลงไปในทุกๆวันของการฟัก ส่งผลให้การออกแบบระบบที่สามารถควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีความซับซ้อน โดยค่าภาระความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของการฟักสามารถแสดงไว้ดังภาพที่ 3.1 และปริมาณภาระทำความร้อนนี้

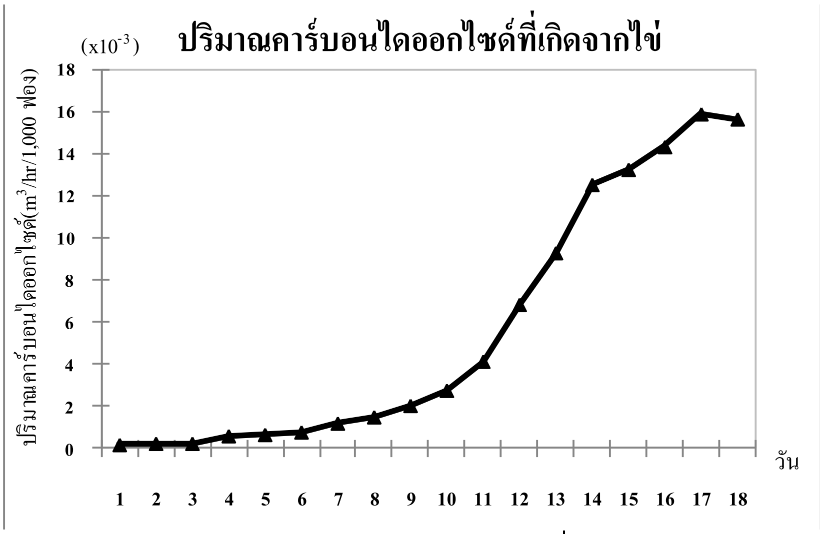
สามารถนำมาคำนวณภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นในตู้ฟักไข่ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบต่อไป



ภาพที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระความร้อนของไข่กับระยะเวลาในตู้ฟักไข่

3.1.1.3 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่ไก่

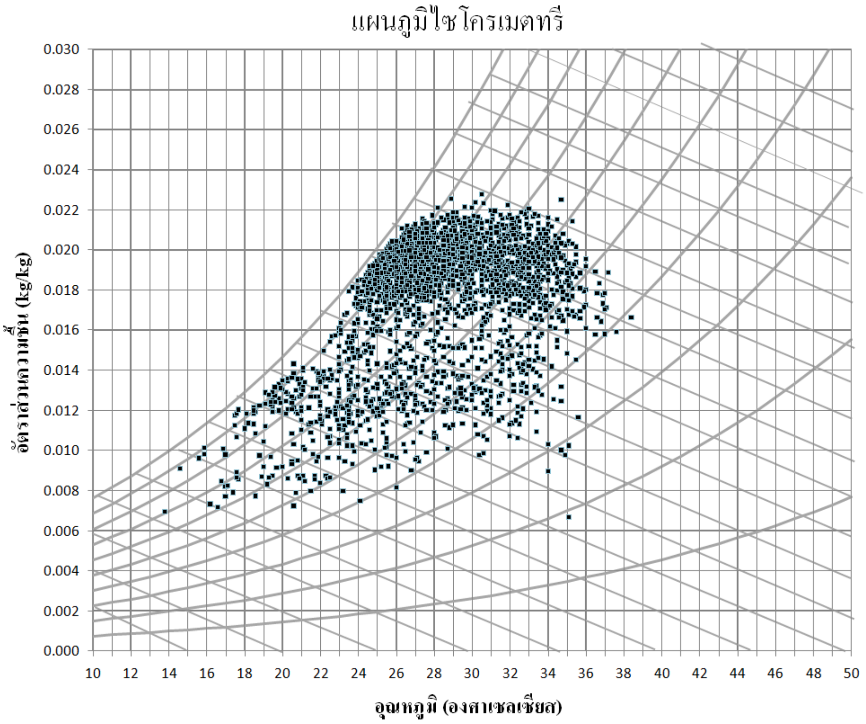
ในการฟักไข่ต้องการออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการเผาผลาญสร้างพลังงานแล้วคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสู่สิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของ Freeman, B. M. and Vince, M. A. (1974) พบว่าไข่จะคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาน้อยในช่วงแรก และจะเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายของการฟัก ซึ่งมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับภาระความร้อนที่เกิดจากไข่ ดังแสดงได้ในภาพที่ 3.2 และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์นี้สามารถนำมาคำนวณความต้องการปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำของตู้ฟักไข่ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบต่อไป



ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่กับระยะเวลาในตู้ฟักไข่

3.1.2 ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการออกแบบ

สำหรับสถานที่ตั้งที่ใช้ในการศึกษานี้คือจังหวัดลพบุรีซึ่งมีฟาร์มเลี้ยงไก่มากที่สุดจังหวัดหนึ่งในประเทศไทย ตั้งอยู่ละติจูด 14.48 องศา ลองติจูด 100.37 องศา อ้างอิงข้อมูลทั้งสถานที่ตั้งและสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 สภาวะอากาศของลพบุรีทุกราย 3 ชั่วโมงตลอดปี พ.ศ. 2552 บนแผนภูมิไซโครเมตริก

3.2 เกณฑ์การออกแบบ

เกณฑ์การออกแบบระบบปรับอากาศเป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการเปรียบเทียบรูปแบบระบบปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษาซึ่งมีดังนี้

3.2.1 ทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ (Performance requirement) ระบบปรับอากาศต้องสามารถปรับสภาวะอากาศภายในตู้ให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการฟักซึ่งมีดังนี้

3.2.1.1 อุณหภูมิ

French, N. A.(1997) กล่าวถึงอุณหภูมิของการฟักว่าเป็นปัจจัยที่ต้องมีการควบคุมอย่างแม่นยำเพราะถ้าอุณหภูมิที่ไข่ได้รับเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อยจะมีผลกระทบต่อคุณภาพลูกไก่ และอุณหภูมิที่ตั้งจากตู้ฟักไข่ควรอยู่ในช่วง 36.5-38.0 $^\circ C$ โดยอ้างอิงจาก Freeman, B. M. and Vince, M. A. (1974) แต่ทว่าอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณภาพของไก่โดยตรงนั้นคืออุณหภูมิที่ตัว

อ่อนในไข่นั้นได้รับ ในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิของตัวอ่อนในไข่วัดยากจึงใช้วัดอุณหภูมิที่เปลือกไข่แทน จากการศึกษาของ Lourens, A.(2005) พบว่าอุณหภูมิเปลือกไข่ที่ระดับ 37.7 $^{\circ}C$ ให้ผลการฟักที่ดีที่สุด สรุปในวิทยานิพนธ์นี้จะออกแบบให้อุณหภูมิของตู้ฟักไข่อยู่ในช่วงระหว่าง 36.5-38.0 $^{\circ}C$ แต่ในการใช้งานจริงควรปรับอุณหภูมิเปลือกไข่อยู่ที่ 37.7 $^{\circ}C$

3.2.1.2 **ความชื้นสัมพัทธ์**

ในระหว่างการฟักไข่จะสูญเสียความชื้นตลอดเวลาผ่านรูเล็กๆที่ผิวไข่ ซึ่งอัตราการสูญเสียความชุ่มชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของรูที่ที่เปลือกไข่และความชื้นที่อยู่รอบไข่ มีงานวิจัยหลายฉบับให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในการฟักที่แตกต่างกันเช่น Owen, J. (1991) แนะนำให้อยู่ในช่วง 40-70% และ Freeman, B. M. and Vince, M. A. (1974) แนะนำให้อยู่ในช่วง 40-60% และ Mack O. North. (1984) ให้อยู่ในช่วง 50-60% สรุปในวิทยานิพนธ์นี้จะออกแบบให้ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 50-65%

3.2.1.3 **การระบายอากาศ**

ในภาวะที่คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมากเกินไปจะทำให้อากาศเป็นพิษต่อตัวอ่อนในไข่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศเพื่อนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาแลกเปลี่ยน โดยปกติแล้วอากาศบริสุทธิ์จะมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ระดับ 298 ppm ขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ไข่รับได้อยู่ที่ระดับ 10,000 ppm โดยอ้างอิงจาก Freeman, B. M. and Vince, M. A. (1974) แต่เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในตู้ฟักไข่จึงยึดระดับความเข้นข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้ฟักไข่ในงานวิจัยนี้ตามมาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่คนรับได้คือ 5,000 ppm โดยอ้างอิงจาก Owen, J. (1991)

3.2.2 **ความต้องการด้านขนาด** (capacity requirement) ระบบปรับอากาศต้องสามารถจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของภาระทำความเย็นได้ และขนาดอุปกรณ์ต้องทำความเย็นได้พอดีไม่มากเกินไป โดยเฉพาะช่วงที่โหลดสูงสุด (Peak loads) และช่วงโหลดบางส่วน (Part loads)

3.2.3 **ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน** (life cycle cost) จะวิเคราะห์โดยใช้ต้นทุน (First cost) และค่าใช้จ่ายในระหว่างการดำเนินการ (Operating cost) มาพิจารณาหาเกณฑ์การ

ออกแบบนี้ ซึ่งค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานนี้เป็นส่วนสำคัญต่อการพิจารณาถึงความเป็นไปได้สำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

3.2.4 **ความเชื่อมั่นของระบบ** (Reliability) ถ้าในระหว่างการฟักระบบปรับอากาศเสียอาจทำให้ไข่ทั้งหมดในการฟักนั้นเสียหาย ดังนั้นระบบปรับอากาศที่ออกแบบต้องมีโอกาสที่จะเสียน้อยหรือสามารถรองรับการรักษาสภาวะภายใต้ภาวะการเสียของระบบได้ เกณฑ์การพิจารณาของความเชื่อมั่นของระบบมีดังนี้

- ในกรณีที่ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศเสียพร้อมกัน ความเชื่อมั่นของระบบพิจารณาจากจำนวนอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบเป็นเกณฑ์ ซึ่งระบบที่มีจำนวนอุปกรณ์มากย่อมมีความน่าจะเป็นที่เสียได้มากกว่าระบบที่มีอุปกรณ์น้อย
- ในกรณีระบบที่ออกแบบนั้นเสียส่วนใดส่วนหนึ่ง ความเชื่อมั่นของระบบพิจารณาจากความสามารถที่ส่วนอื่นสามารถทำงานทดแทนได้เพื่อคงสภาวะไม่ให้ไข่เสียหายทั้งหมด

3.2.5 **การดูแลรักษา** (Maintainability) หลักในการออกแบบจะต้องวางอุปกรณ์ให้มีช่องว่างระหว่างอุปกรณ์ควรมีขนาดพอเหมาะในระบบให้ง่ายต่อการบำรุงรักษาและเลือกส่วนประกอบย่อยของอุปกรณ์ให้เหมาะสมเพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาด เกณฑ์การพิจารณาของการดูแลรักษาซึ่งมีดังนี้

- มีการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ให้ขนาดใกล้เคียงกันและมีช่องว่างในการจัดเรียง
- มีจำนวนครีบของคอลย์เย็นและร้อนน้อยเพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาด เพราะเมื่อใช้งานไป ฝุ่นจะมาเกาะกับร่องของครีบทำให้การทำความสะอาดนั้นยาก
- มีการติดตั้งแผ่นกรองอากาศตามความเหมาะสมเพื่อลดปัญหาเรื่องฝุ่นจากอากาศภายนอก

3.2.6 **ความยืดหยุ่นของระบบ** (Flexibility) ระบบปรับอากาศต้องออกแบบให้ใช้งานพร้อมต่อการขยายกำลังการผลิตของโรงงานหรือการเปลี่ยนแปลงของภาระทำความร้อนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต สำหรับเกณฑ์การพิจารณาของความยืดหยุ่นของระบบมีดังนี้

- ต้นทุนในการติดตั้งระบบ โดยต้นทุนนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบ ถ้าในระบบมีอุปกรณ์มาก ต้นทุนในการติดตั้งย่อมมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ความไปได้ในการเพิ่มอัตราการผลิตนั้นทำได้ยากขึ้น

- ในการออกแบบนี้มีการสร้างระบบปรับอากาศรองรับการเปลี่ยนแปลงของภาระทำความร้อนที่เกิดขึ้นได้โดยใช้กลไกการจัดการภูมิอากาศ ดังจะกล่าวต่อไป

3.2.7 **ความยั่งยืนของระบบ** (Sustainability) ระบบปรับอากาศที่ออกแบบต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยรักษาชุมชนให้น่าอยู่ โดยการลดใช้พลังงานเพื่อช่วยลดปัญหาภาวะเรือนกระจกได้ เกณฑ์การพิจารณาของความยั่งยืนของระบบมีดังนี้

- มีการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานมาช่วยในการลดการใช้พลังงานอาทิเช่น ท่อนำความร้อน รันอะราวคอยล์

- นำความร้อนของลมร้อนที่ออกจากตู้ฟักไข่มาใช้ใหม่เพื่อให้พลังงานในการทำความร้อนให้กับลมจ่ายน้อยลง

3.3 การนิยามระบบที่ใช้ในการศึกษา

- ตู้ฟักไข่ ขนาดบรรจุ 103,680 ฟอง กว้าง 5.35 เมตร ยาว 5.35 เมตร สูง 2.48 เมตร

- ตู้ฟักไข่บุด้วยฉนวนกันความร้อนรอบตู้ฟักและตั้งสมมติฐานว่าฉนวนสามารถป้องกันความร้อนภายนอกเข้าสู่ตู้ฟักไข่ได้ทั้งหมด ฉะนั้นภาระความร้อนในตู้ฟักไข่จะพิจารณาเฉพาะภาระความร้อนที่เกิดจากไข่เท่านั้น

- ระบบที่ปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกออกแบบให้อยู่ในห้องปิดมิดชิดขนาด กว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 3.2 เมตร และบุด้วยฉนวนกันความร้อนรอบห้อง

- ภายในตู้ฟักไข่จะมีรถบรรจุไข่ที่ใช้เคลื่อนย้ายไข่เข้าและออกตู้ ตู้ฟักไข่ที่ใช้เป็นชนิดซิงเกอร์สเตต (Single stage) โดยเป็นการตั้งชื่อตามวัฐจักรการเข้าออกเข้าของไข่ กล่าวคือเมื่อไข่ถูกอบจนครบ 18 วัน ไข่ที่อยู่ในตู้ฟักไข่จะย้ายไปสู่ตู้เกิดทั้งหมดและนำไข่ชุดถัดไปเข้าสู่ตู้ฟักไข่เพื่อฟักต่อไป อีกทั้งตู้ฟักไข่ชนิดนี้ยังดูแลรักษาง่ายเพราะในเวลาระหว่างการนำไข่ชุดถัดไปเข้าสู่ตู้ฟักไข่นั้น สามารถทำความสะอาดอุปกรณ์และสิ่งสกปรกภายในได้

- กำหนดเวลาการใช้งานของตู้ฟักไข่นี้คือ ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

3.4 การคำนวณปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำ

ในงานวิจัยนี้กำหนดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยอมรับได้ในการฟักอยู่ที่ 5,000 ppm ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1.3 โดยปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำคำนวณได้จากอัตราการไหลสูงสุดที่คงระดับคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 5,000 ppm สำหรับตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ

จะกำหนดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกและที่เริ่มต้นเท่ากับ 293 ppm และสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใดๆกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไข่ผลิตขึ้นโดยอ้างอิงจากไพโรจน์ รัตนางกูร (2550) เป็นดังนี้

$$C(t) = C_v + (C_0 - C_v)\cdot e^{\frac{-Q_V t}{V}} + \frac{G\cdot 10^6}{Q_v}\cdot\left(1 - e^{\frac{-Q_V t}{V}}\right) \quad (3.1)$$

โดย	C(t)	=	ระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใดๆ(ppm)
	C_V	=	ระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก (ppm)
	C_0	=	ระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น (ppm)
	Q_V	=	อัตราการไหลของอากาศเข้าตู้ฟักไข่ (ลิตรต่อนาที)
	V	=	ปริมาตรรวมของตู้ฟักไข่ (ลิตร)
	G	=	คาร์บอนไดออกไซด์ที่ไข่ผลิตขึ้น (ลิตรต่อนาที)
	t	=	เวลา (นาที)

เนื่องจากในระหว่างการฟักต้องป้องกันไม่ให้มีสิ่งปนเปื้อนจากภายนอกเข้าสู่ตัวตู้ ดังนั้นจึงออกแบบให้ความดันตกคร่อมในตู้ฟักไข่มีค่าเป็นบวก ผลที่ตามมาคือเกิดการรั่วไหลของอากาศจากในออกสู่นอกตู้ดังนั้นปริมาณการระบายอากาศต่ำสุดที่ได้ควรมีการเผื่อเพื่อรองรับการรั่วไหลของอากาศด้วย ซึ่งในการออกแบบนี้จะเผื่อที่ 0.5% ของปริมาณของอากาศที่หมุนเวียนภายในตู้ฟักไข่ สำหรับการปริมาณการระบายอากาศที่เผื่อขึ้นคำนวณได้จาก

$$Q_{ven} = Q_V + Q_{cirr}\left(\frac{0.5}{100}\right) \quad (3.2)$$

โดย	Q_{ven}	=	อัตราการไหลของอากาศเข้าตู้ฟักไข่โดยเผื่อที่ 0.5% (ลิตรต่อนาที)
	Q_{cirr}	=	อัตราการไหลของอากาศหมุนเวียน (ลิตรต่อนาที)

3.5 การออกแบบระบบปรับอากาศ

3.5.1 หลักการและเหตุผลในการออกแบบ

การเติมอากาศจากภายนอกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องมีการควบคุมปริมาณให้เหมาะสม ซึ่งต้องควบคุมปริมาณให้มากกว่าปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำเพื่อให้คาร์บอนไดออกไซด์เกินเกณฑ์การออกแบบและต้องไม่มากเกินไปจนทำให้สภาวะอากาศของการฟักแปรปรวน จากแนวคิดนี้เมื่อพิจารณาตามมุมมองของการเติมอากาศแล้วการออกแบบระบบปรับอากาศจะแบ่ง

ได้ 2 แบบคือ ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ไม่ได้รับการปรับอากาศและระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ได้รับการปรับอากาศ

3.5.1.1 ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ไม่ได้รับการปรับอากาศ

ระบบนี้เป็นแนวคิดดั้งเดิมที่มีการใช้งานในประเทศไทย โดยจะใช้นำอากาศภายนอกซึ่งเย็นและแห้งกว่าในตู้ฟักไข่มาผสมกับอากาศหมุนเวียนในตู้ฟักไข่เพื่อรักษาสภาวะอากาศภายในตู้ให้เหมาะสม การนำอากาศภายนอกเข้าสู่ตู้ในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถจัดภาระความร้อนสัมผัสและแฝงได้เกือบทั้งหมด ระบบปรับอากาศจึงทำงานเพียงการปรับอากาศให้จัดการภาระทำความร้อนที่เหลือได้ ดังนั้นในระบบนี้ปริมาณอากาศภายนอกที่เข้าสู่ตู้ฟักไข่จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญมากในการสร้างสภาวะผสมของอากาศให้คงที่มากที่สุด เพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในตู้ฟักไข่

จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าปริมาณอากาศภายนอกที่เข้าสู่ตู้ฟักไข่ในตู้ฟักขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากตู้ฟักไข่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องออกแบบให้ปริมาณหมุนเวียนอากาศสูงเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดจากรถบรรจุไข่และความหนาแน่นของไข่ภายในตู้ฟักไข่ ขณะที่ตู้ฟักไข่ขนาดเล็กใช้รถบรรจุไข่น้อยทำให้ออกแบบให้ปริมาณหมุนเวียนอากาศมีค่าต่ำได้ ระดับความแตกต่างนี้ทำให้ตู้ฟักไข่ขนาดใหญ่มีความต้องการปริมาณภายนอกมาผสมที่มากกว่าตู้ฟักไข่ขนาดเล็กอย่างมาก

นอกจากนี้ปริมาณอากาศภายนอกที่เข้าสู่ตู้ฟักไข่ยังขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศในขณะนั้น ถ้าอากาศภายนอกร้อนและชื้น ปริมาณอากาศภายนอกจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการขจัดภาระทำความร้อนที่เกิดจากไข่ เทียบกับอากาศภายนอกที่เย็นและแห้ง

ปัญหาที่สำคัญของการออกแบบระบบนี้คือการควบคุมปริมาณการระบายอากาศ จากการศึกษาพบว่าปริมาณการระบายอากาศ ณ สภาวะโหลดต่ำสุดและสูงสุดของตู้ฟักไข่ขนาดบรรจุ 103,680 ฟองนั้นอยู่ที่ระดับ 150-10,000 CMH ระดับความแตกต่างของปริมาณการระบายนี้ทำให้การควบคุมปริมาณการระบายอากาศนั้นทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นสรุปว่าระบบนี้มีเหมาะสมกับการใช้งานกับตู้ฟักไข่ขนาดเล็กเนื่องจากระดับความแตกต่างของปริมาณการระบายอากาศน้อย

3.5.1.2 ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ได้รับการปรับอากาศ

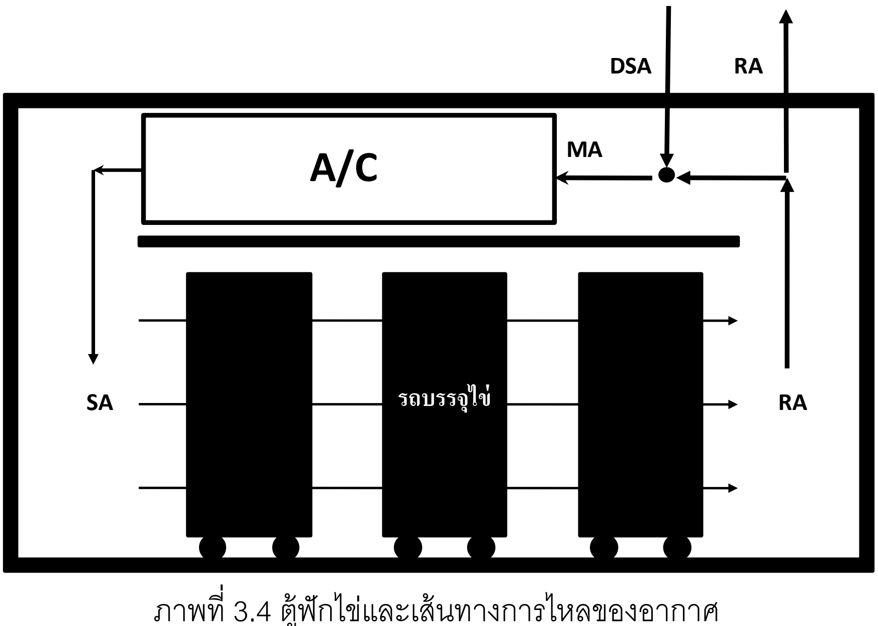
เป็นระบบที่ออกแบบให้มีเครื่องเติมอากาศปรับสภาวะอากาศภายนอกก่อนเข้าสู่ตู้ฟักไข่เพื่อให้สภาวะอากาศก่อนเข้าตู้ฟักไข่นี้คงที่ การปรับอากาศก่อนนี้ส่งผลให้ความแตกต่างของปริมาณการระบายอากาศที่ใช้ในการสร้างสภาวะผสมของอากาศลดลง การควบคุมปริมาณระบายอากาศจึงทำได้ง่ายขึ้น ดังนั้นระบบนี้จึงเป็นระบบที่เหมาะต่อการใช้งานในตู้ฟักไข่ขนาดใหญ่ดีกว่า

จากหลักการและเหตุผลที่กล่าวมานี้ทำให้การออกแบบในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้แบบระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ได้รับการปรับอากาศ และแบ่งระบบนี้ออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่และส่วนเครื่องเติมอากาศ ซึ่งส่วนเครื่องเติมอากาศถูกออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนก่อนจ่ายเข้าสู่ตู้ฟักไข่นั่นเอง

3.5.2 การออกแบบระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่

3.5.2.1 การกำหนดเส้นทางการไหลของอากาศ

เส้นทางการไหลของอากาศภายในตู้ฟักไข่เริ่มจากเครื่องเติมอากาศจ่ายลม (DSA) มาผสมกับลมกลับ (RA) จนได้อากาศผสม (MA) จากนั้นจึงปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่ซึ่งแสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยม A/C ดังภาพที่ 3.4 ก่อนจ่ายลม (SA) หมุนเวียนผ่านรถบรรจุไข่ และรับภาระความร้อน สิ่งปนเปื้อน คาร์บอนไดออกไซด์จากไข่ จากนั้นจึงเอาอากาศบางส่วนทิ้งไปและอีกส่วนนำกลับมาใช้ใหม่วนเป็นวัฐจักรต่อไป



ภาพที่ 3.4 ตู้ฟักไข่และเส้นทางการไหลของอากาศ

3.5.2.2 **เงื่อนไขการออกแบบ**

กำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบดังนี้

- เนื่องจากเครื่องเติมอากาศนี้ต้องจัดการภาระทำความร้อนที่เกิดจากไข่ได้ ดังนั้น การออกแบบจึงกำหนดสภาวะของลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศ (DSA) ที่อุณหภูมิ 26.7 $^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์ 50%

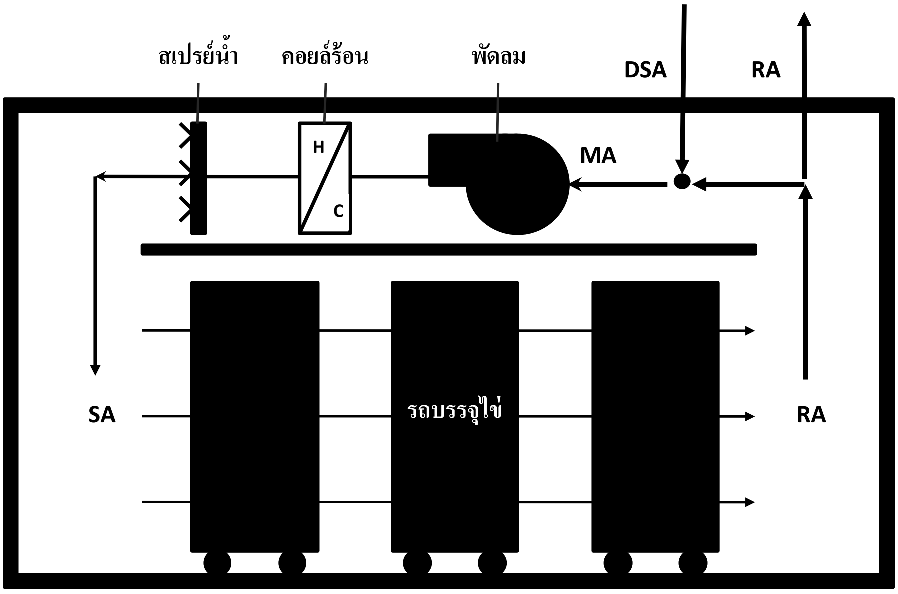
- เพื่อให้สภาวะอากาศที่ไข่ทุกฟองที่ได้รับอยู่อุณหภูมิและความชื้นอยู่ช่วงที่เหมาะสมจึงกำหนดสภาวะลมกลับ (RA) ที่อุณหภูมิ 38.0 $^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์ 60%

3.5.2.3 **การสร้างรูปแบบการจัดเรียงอุปกรณ์ภายใน**

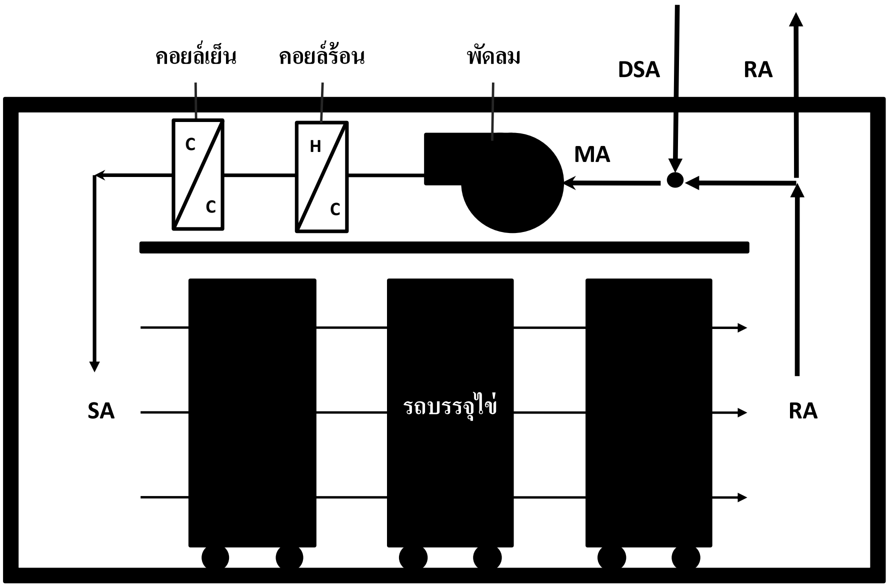
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการจัดเรียงอุปกรณ์ปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบต่างๆ เพื่อใช้ในการศึกษาซึ่งรูปแบบมีดังนี้

รูปแบบที่ 1 จะประกอบด้วยพัดลมใช้หมุนเวียนอากาศภายในตู้ฟักไข่ คอยล์ร้อนใช้ทำความร้อนให้กับอากาศผสมในกรณีที่เครื่องเติมอากาศขจัดความร้อนภายในเครื่องน้อยเกินไป และสเปรย์น้ำใช้ทำความเย็นและเพิ่มความชื้นในกรณีที่เครื่องเติมอากาศขจัดความร้อนและความชื้นมากเกินไป ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.5

รูปแบบที่ 2 ส่วนประกอบจะคล้ายกับรูปแบบที่ 1 แตกต่างตรงการแทนที่สเปรย์น้ำด้วยคอยล์เย็นในการทำความเย็นให้อากาศ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 ตู้ฟักไข่และการจัดเรียงของอุปกรณ์ภายในรูปแบบที่ 1



ภาพที่ 3.6 ตู้ฟักไข่และการจัดเรียงของอุปกรณ์ภายในรูปแบบที่ 2

3.5.2.4 การวิเคราะห์ทางไซโครเมตริกภายใต้เงื่อนไข DSA **ที่** 26.7 $^{\circ}C$ **และ** 50%RH

เนื่องจากรูปแบบการจัดเรียงอุปกรณ์ที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อการควบคุมสภาวะอากาศที่ต่างกันด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงนำรูปแบบทั้ง 2 ดังกล่าวในหัวข้อที่แล้วมาศึกษาสภาวะอากาศที่เกิดในตู้ฟักไข่ว่ามีความสามารถในการสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการฟักได้หรือไม่ และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อรักษาสภาวะอากาศ โดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริกมาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^{\circ}C$ และ 50%RH และแบ่งการศึกษาได้ 6 แบบดังนี้

- ศึกษาอุณหภูมิลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2
- ศึกษาความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2
- ศึกษาปริมาณการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2
- ศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศหมุนเวียนในตู้ฟักไข่ที่มีต่ออุณหภูมิของลมจ่ายในตู้ฟักไข่
- ศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศหมุนเวียนในตู้ฟักไข่ที่มีต่อความแตกต่างของอุณหภูมิของลมจ่ายและลมกลับในตู้ฟักไข่

- ศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศหมุนเวียนในตู้ฟักไข่ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายในตู้ฟักไข่

3.5.2.4.1 **ขั้นตอนการวิเคราะห์**

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆของสภาวะลมจ่ายที่เกิดภายในตู้ฟักไข่นั้น มีขั้นตอนดังนี้

1.สมมติค่าของอัตราส่วน $\frac{Q_{ven}}{Q_{cirr}}$

2. นำสภาวะอากาศของลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศและลมกลับตามเงื่อนไขการออกแบบมาคำนวณหาสภาวะลมผสมตามสมการ 3.3 และ 3.4 ดังนี้

$$W_{ma} = \frac{(Q_{cirr} - Q_{ven})W_{ra} + Q_{ven}W_{dsa}}{Q_{cirr}} \tag{3.3}$$

$$h_{ma} = \frac{(Q_{cirr} - Q_{ven})h_{ra} + Q_{ven}h_{dsa}}{Q_{cirr}} \tag{3.4}$$

3.กำหนดกระบวนการปรับอากาศโดยถ้าเส้นอัตราส่วนความร้อนสัมผัสมีค่ามากกว่าความชันของเส้นระหว่างสภาวะลมกลับและจุดผสมแล้วใช้คอยล์เย็นหรือสเปรย์น้ำในการปรับอากาศ แต่ถ้าอัตราส่วนความร้อนสัมผัสมีค่าน้อยกว่าความชันของเส้นระหว่างสภาวะลมกลับและจุดผสมแล้วใช้คอยล์ร้อนในการปรับอากาศ โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณทางทฤษฎีของกระบวนการปรับอากาศแต่ละแบบดังนี้

3.1 กำหนดเงื่อนไขการคำนวณกระบวนการปรับอากาศด้วยคอยล์ร้อนคือ $W_{sa} = W_{ma}$

3.2 กำหนดเงื่อนไขการคำนวณกระบวนการปรับอากาศด้วยคอยล์เย็นคือ $W_{sa} = W_{ma}$ โดยอยู่บนสมมติฐานว่าผิวคอยล์เย็นไม่เปียก

3.3 กำหนดเงื่อนไขการคำนวณกระบวนการปรับอากาศด้วยสเปรย์น้ำคือ $h_{sa} = h_{ma}$

4.คำนวณหาจุดสภาวะลมจ่ายที่อยู่บนเส้นอัตราส่วนความร้อน (Load ratio line) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.5 ดังนี้

$$SHR = \frac{C_{pa}(T_{ra} - T_{sa})}{h_{ra} - h_{sa}} \tag{3.5}$$

โดย C_{pa} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (เท่ากับ 1.006 kJ/kg-K)

5.คำนวณหาค่าปริมาณอากาศหมุนเวียนโดยใช้สมการที่ 3.6 ดังนี้

$$q_{tot} = \rho Q_{cirr} (h_{ra} - h_{sa}) \quad (3.6)$$

โดย ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

q_{tot} = ความร้อนสุทธิ (kW)

6.คำนวณหาค่าปริมาณการระบายอากาศ (Q_{ven}) จากการแทนค่าปริมาณอากาศหมุนเวียน (Q_{cirr}) ที่ได้ในอัตราส่วนในข้อ 1

7.ตรวจสอบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายอยู่ในช่วง 36.5-38.0 $^\circ C$ และ 50-65% หรือไม่ ถ้าไม่อยู่ให้ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 จนได้ค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด

8.นำข้อมูลที่ได้มาแสดงผลการวิเคราะห์ต่อไป

3.5.2.5 การศึกษาอิทธิพลของสภาวะลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศที่มีต่ออุณหภูมิของลมจ่ายและปริมาณการระบายอากาศ

ในความเป็นจริงมีความเป็นไปได้ที่เครื่องเติมอากาศไม่สามารถปรับสภาวะลมจ่ายให้ได้สภาวะที่ต้องการและจ่ายปริมาณลมได้ไม่สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงในขณะนั้น ซึ่งอาจเกิดปัญหาที่ตามมาคืออุณหภูมิของอากาศในตู้ฟักไข่อาจเกิดความแปรปรวน ดังนั้นในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาวะลมจ่ายที่มีต่อการปริมาณการระบายอากาศ โดยเปลี่ยนจุดสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศเป็น 4 จุดคือ 23.0 $^\circ C$, 50%RH และ 23.0 $^\circ C$, 60%RH และ 29.5 $^\circ C$, 50%RH และ 29.5 $^\circ C$, 60%RH แล้วสังเกตความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการระบายอากาศ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายที่เกิดขึ้น และแบ่งกรณีการศึกษาได้ดังนี้

1.ศึกษาอิทธิพลของสภาวะลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศที่ 23.0 $^\circ C$, 50%RH และ 23.0 $^\circ C$, 60%RH และ 29.5 $^\circ C$, 50%RH และ 29.5 $^\circ C$, 60%RH ที่มีต่ออุณหภูมิของลมจ่าย

2.ศึกษาอิทธิพลของสภาวะลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศที่ 23.0 $^\circ C$, 50%RH และ 23.0 $^\circ C$, 60%RH และ 29.5 $^\circ C$, 50%RH และ 29.5 $^\circ C$, 60%RH ที่มีต่อปริมาณการระบายอากาศ

จากการศึกษาในหัวข้อนี้จะนำไปสู่การสร้างกลวิธีในการจัดการสภาวะภูมิอากาศ ซึ่งช่วยในการกำหนดรูปแบบอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศได้อย่างเหมาะสมต่อไป

3.5.2.6 **การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ปรับอากาศ**

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการคำนวณขนาดของอุปกรณ์แต่ละอย่างที่ใช้ในการปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่ โดยจะหาในสภาวะที่อยู่ในช่วงโหลดสูงสุดจากการจำลองการทำงานตลอดทั้งปี

- การคำนวณหาขนาดคอยล์ร้อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ทำความร้อนของลมจากหลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{cap} = \dot{m}(h_{ho} - h_{hi}) \quad (3.7)$$

โดย q_{cap} = ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของคอยล์ร้อน (kW)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์ร้อน (kg/s)

h_{ho} = เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากคอยล์ร้อน (kJ/kg)

h_{hi} = เอนทาลปีของอากาศผสมที่เข้าสู่คอยล์ร้อน (kJ/kg)

- การคำนวณหาขนาดคอยล์ร้อน ที่ทำความร้อนให้กับน้ำก่อนเข้าสเปรย์ จากหลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{cap} = \dot{m}_{cirr}(W_{so} - W_{si})C_{pw}(T_{wInc} - T_{wAmb}) \quad (3.8)$$

โดย q_{cap} = ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของคอยล์ร้อน (kW)

$\dot{m}_{cirr}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่หมุนเวียนในตู้ฟักไข่ (kg/s)

W_{so} = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากสเปรย์ (kg water/kg dry air)

W_{si} = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่เข้าสู่สเปรย์ (kg water/kg dry air)

C_{pw} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (เท่ากับ 4.186 kJ/kg-K)

T_{wInc} = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศในตู้ฟักไข่ ($^{\circ}C$)

T_{wAmb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอก ($^{\circ}C$)

และสามารถคำนวณหามวลของน้ำที่ระเหยในตู้ฟักไข่ได้ดังสมการที่ 3.9

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{cirr}(W_{so} - W_{si}) \quad (3.9)$$

โดย $\dot{m}_w$ = มวลของน้ำที่ระเหยในตู้ฟักไข่ (kg/s)

3.5.2.7 **การวิเคราะห์การใช้พลังงาน**

พลังงานระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานที่ใช้กับคอยล์ร้อนและสเปรย์น้ำ ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ได้ดังนี้

- พลังงานที่ใช้ในคอยล์ร้อน เป็นพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศผสมร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิที่ลมจ่ายต้องการ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_{consume} = \dot{m}\ (h_{ho} - h_{hi}) \times Time \qquad (3.10)$$

โดย $q_{consume}$ = พลังงานที่ใช้ในการทำความร้อน (kWh)

$Time$ = เวลาในการทำงานของคอยล์ร้อน (hr)

- พลังงานที่ใช้ในสเปรย์น้ำ เป็นพลังงานที่ใช้ในการทำให้น้ำที่ผ่านการกรองซึ่งสมมติให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอกมาทำให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายในตู้ฟักไข่ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_{consume} = \dot{m}_{cirr} (W_{so} - W_{si})\ C_{pw} (T_{wInc} - T_{wAmb}) \times Time \qquad (3.11)$$

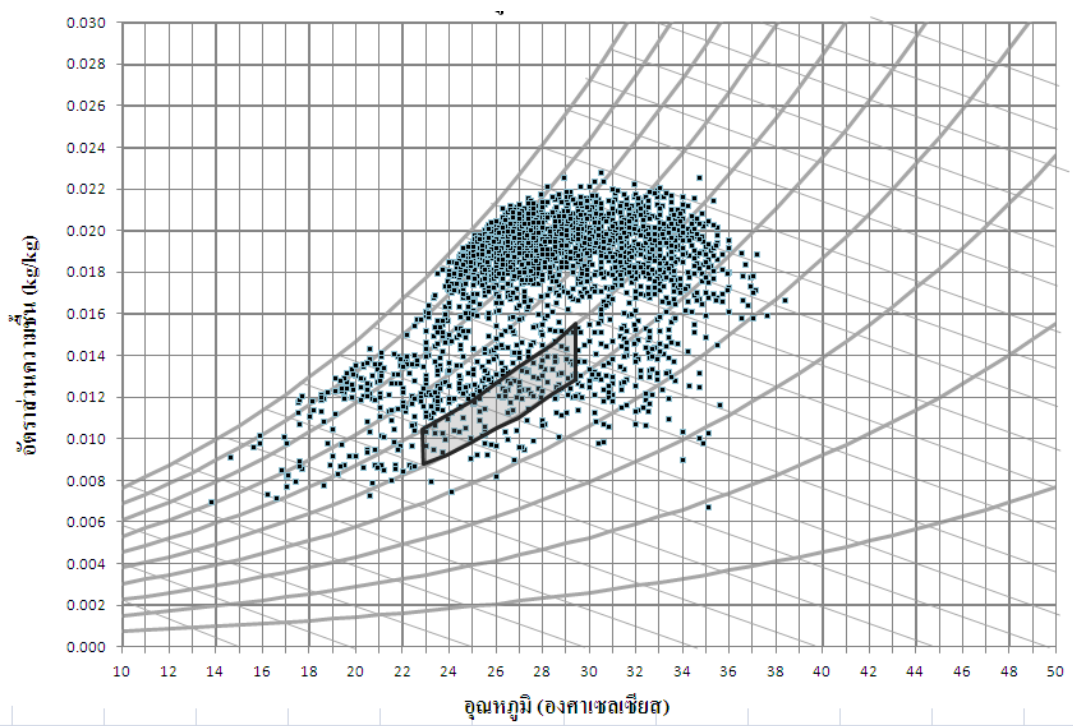
สำหรับข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอกที่ใช้ในการคำนวณพลังงานของสเปรย์น้ำจะใช้ข้อมูลภูมิอากาศจังหวัดลพบุรีในทุกราย 3 ชั่วโมงดังกล่าวในหัวข้อ 3.1.2 มาพิจารณาเพื่อให้ได้พลังงานที่ใช้จริงๆตามสภาวะภูมิอากาศขณะนั้น โดยกำหนดให้วันที่เริ่มฟักคือวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2552 เป็นระยะเวลาเริ่มต้นในการคำนวณ

3.5.3 การออกแบบระบบปรับอากาศส่วนเครื่องเติมอากาศ

3.5.3.1 การสร้างกลวิธีในการจัดการสภาพภูมิอากาศ

จากการศึกษาในหัวข้อ 3.5.2.5 พบว่าถ้าสภาวะลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศเปลี่ยนแปลงจะต้องปรับปริมาณการระบายอากาศให้มากน้อยตามความเหมาะสมกับอากาศขณะนั้น จึงจะทำให้อากาศผสมยังคงสภาวะที่ทำงานได้สอดคล้องกับสมรรถนะของอุปกรณ์ปรับอากาศในตู้ ดังนั้นเพื่อการประหยัดพลังงานของเครื่องเติมอากาศจึงนำแนวคิดนี้มาใช้ประโยชน์โดยดึงอากาศภายนอกที่ยังไม่ได้ปรับอากาศนำเข้าสู่เครื่องเติมอากาศมาใช้งาน

แต่การดึงอากาศเข้าสู่เครื่องนั้นปริมาณอากาศการระบายอากาศจะแปรเปลี่ยนไปตามวันของการฟักและสภาวะของลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศ ปัญหาด้านการควบคุมจึงเกิดขึ้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงใช้ตัวตรวจรู้ (Sensor) ที่วัดทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มาใช้ในการกำหนดขอบเขตของสภาวะอากาศที่เข้าสู่เครื่องเติมอากาศ ช่วยให้มีการกำหนดปริมาณอากาศทำได้ง่ายขึ้นและสามารถออกแบบการสั่งงานเครื่องให้ทำงานได้อัตโนมัติ จึงกำหนดขอบเขตอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 23.0-29.5 $^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50-60% ซึ่งสามารถแสดงขอบเขตดังกล่าวบนแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังกรอบในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ขอบเขตอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 23.0-29.5 $^{\circ}C$ และ 50-60% บนแผนภูมิไซโครเมตริก

ส่วนอากาศที่อยู่นอกเหนือจากขอบเขตดังกล่าวจะต้องออกแบบเครื่องเติมอากาศที่สามารถจัดการกับอากาศให้มีสภาวะลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศอยู่ในขอบเขต 23.0-29.5 $^{\circ}C$ และ 50-60%RH เพื่อความสะดวกในการควบคุม ซึ่งการรายละเอียดการออกแบบเครื่องเติมอากาศจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.5.3.2 การสร้างรูปแบบการจัดเรียงอุปกรณ์ของเครื่องเติมอากาศ

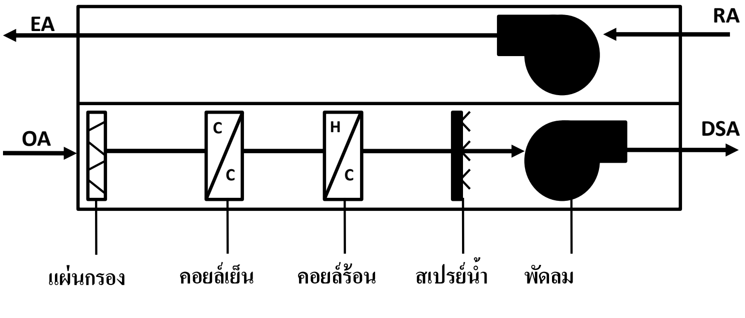
เครื่องเติมอากาศที่ออกแบบมีรูปแบบดังนี้

รูปแบบที่ 1 ทางด้านลมจ่ายจะประกอบไปด้วยแผ่นกรองอากาศ คอยล์เย็น คอยล์ร้อน สเปรย์น้ำและพัดลมหอยโข่ง ซึ่งอากาศภายนอกจะเข้าทางแผ่นกรองและออกจากพัดลมเพื่อจ่ายลมไปผสมกับอากาศในตู้ฟักไข่ และทางด้านลมกลับจะประกอบด้วยพัดลมระบายอากาศซึ่งใช้ในการดูดอากาศที่ถูกระบายจากตู้ฟักไข่ส่งไปปล่อยภายนอก โดยแผ่นกรองในรูปแบบที่ 1 นี้ติดตั้งเพื่อขจัดฝุ่นที่มากับอากาศภายนอกก่อนจ่ายเข้าสู่คอยล์เย็น คอยล์ร้อนและสเปรย์น้ำช่วยทำให้อุปกรณ์ปรับอากาศเหล่านี้สามารถทำงานได้ดีตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งรูปแบบที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 3.8

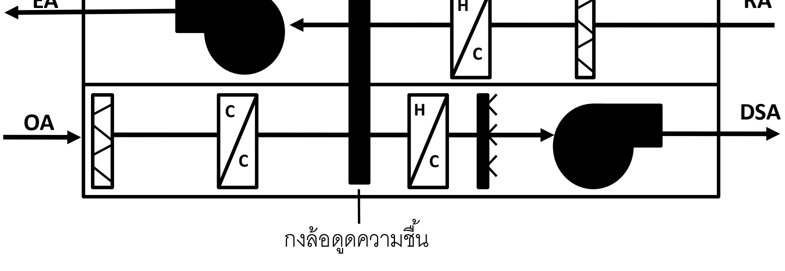
รูปแบบที่ 2 ทางด้านลมจ่ายจะประกอบไปด้วยแผ่นกรองอากาศ คอยล์เย็น กงล้อดูดความชื้น คอยล์ร้อน สเปรย์น้ำและพัดลมหอยโข่ง ซึ่งอากาศภายนอกจะเข้าทางแผ่นกรองและออกจากพัดลมเพื่อจ่ายลมไปผสมกับอากาศในตู้ฟักไข่ และทางด้านลมกลับจะประกอบด้วยแผ่นกรอง คอยล์ร้อน กงล้อดูดความชื้นขากลับ และพัดลมระบายอากาศเพื่อดูดออกอากาศระบายออกจากตู้ฟักไข่ ซึ่งรูปแบบที่ 2 แสดงได้ดังภาพที่ 3.9

กงล้อดูดความชื้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดความชื้นให้กับอากาศลมจ่าย โดยมีสารดูดความชื้นที่บรรจุในกงล้อ และคอยล์ร้อนจะเพิ่มอุณหภูมิของลมกลับและนำลมที่ได้มาใช้ไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ในการทำงานกงล้อดูดความชื้นจะหมุนเพื่อรับความชื้นจากอากาศทางด้านลมจ่ายไปปล่อยให้กับอากาศทางด้านลมกลับ แต่สิ่งที่ตามมาคือสิ่งเจือปนเช่น ฝุ่นทางด้านลมกลับอาจปนเปื้อนกับอากาศทางด้านลมจ่ายทำให้เกิดปัญหาในการลดสมรรถนะการทำงานอุปกรณ์ปรับอากาศในส่วนอื่นได้

ด้วยเหตุนี้เองแผ่นกรองในด้านลมกลับจึงถูกนำมาใช้กรองฝุ่นที่เกิดจากไข่ของอากาศระบายก่อนจ่ายเข้าสู่คอยล์ร้อนและกงล้อดูดความชื้น ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของฝุ่น นอกจากนี้แผ่นกรองยังสามารถปกป้องคอยล์ร้อนของกงล้อดูดความชื้นจากฝุ่นได้อีกด้วย ทำให้คอยล์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งาน ฉะนั้นแผ่นกรองอากาศจึงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องมีในการจัดเรียงแบบนี้



ภาพที่ 3.8 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1



ภาพที่ 3.9 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2

3.5.3.3 **การวิเคราะห์ทางไซโครเมตริกภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิอากาศ**

ในการใช้งานจริงอุปกรณ์แต่ละชิ้นในเครื่องเติมอากาศทั้ง 2 รูปแบบในหัวข้อที่ผ่านมาล้วนมีหน้าที่ในการสร้างกระบวนการปรับอากาศที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ดังนั้นการแบ่งโซนภูมิอากาศจึงเป็นเครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อระบุกระบวนการปรับอากาศให้สอดคล้องกับสภาพอากาศที่เกิดขึ้น และปรับอากาศให้ลมจ่ายอยู่ในขอบเขตอุณหภูมิที่ 23.0-29.5 $^{\circ}C$ และ 50-60%RH ซึ่งขอบเขตของโซนภูมิอากาศในแต่ละรูปแบบมีดังนี้

3.5.3.3.1 **เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1**

เมื่อพิจารณาตามหมายเลขของโซนบนแผนภูมิไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 3.10 จะพบว่า

- หมายเลข 1 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงที่อยู่เหนือเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60%

- หมายเลข 2 สามารถได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 โซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 60% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 100% ส่วนที่ 2 โซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 60% และเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 23.0 $^{\circ}C$

- หมายเลข 3 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 29.5 $^{\circ}C$ และเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 23.0 $^{\circ}C$ และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 60%

- หมายเลข 4 สามารถได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% ส่วนที่ 2 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% และเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 29.5 $^{\circ}C$

- หมายเลข 5 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60%
- หมายเลข 6 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

และเมื่อพิจารณาสภาวะอากาศที่อยู่ในแต่ละโซนแล้วสามารถระบุกระบวนการปรับอากาศที่ใช้แยกเป็นกรณีได้ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 1 จะต้องความเย็นและลดความชื้นด้วยคอยล์เย็นเพื่อให้อากาศวิ่งมาตกในโซนที่ 2 แล้วทำให้ร้อนใหม่ด้วยคอยล์ร้อนจนอากาศตกในโซน3

กรณีที่ 2 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 2 จะทำความร้อนด้วยคอยล์ร้อนเพื่อให้อากาศวิ่งไปตามเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่จนไปตกในโซน 3

กรณีที่ 3 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 3 อากาศบริเวณนี้สามารถจ่ายเข้าสู่ตู้ฟักไข่ได้โดยไม่ต้องมีการปรับอากาศ

กรณีที่ 4 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 4 จะใช้สเปรย์น้ำฉีดละอองน้ำที่ถูกกรองสิ่งปนเปื้อน เพื่อให้สภาวะอากาศวิ่งไปตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จนอากาศตกอยู่ในโซน 3 โดยน้ำต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียกในขณะนั้น

กรณีที่ 5 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 5 จะทำความเย็นและลดความชื้นด้วยคอยล์เย็นจนวิ่งตกในโซนที่ 3

กรณีที่ 6 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 6 จะทำความร้อนด้วยคอยล์ร้อนเพื่อให้อากาศวิ่งมาตกในโซนที่ 4 แล้วจึงใช้สเปรย์น้ำปรับอากาศเพื่อให้อากาศวิ่งไปตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จนอากาศตกในโซน 3

สำหรับแผนภาพกระบวนการปรับอากาศบนไซโครเมตริกของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1 แสดงได้ดังภาคผนวก ก

3.5.3.3.2 **เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2**

เมื่อพิจารณาตามหมายเลขของโซนบนแผนภูมิไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 3.11 จะพบว่า

- หมายเลข 1 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงที่อยู่เหนือเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิที่ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60%

- หมายเลข 2 สามารถได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 โซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิที่ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 60% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 100% ส่วนที่ 2 โซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 60% และเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 23.0 $^{\circ}C$

- หมายเลข 3 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 29.5 $^{\circ}C$ และเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 23.0 $^{\circ}C$ และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 60%

- หมายเลข 4 สามารถได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 โซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% ส่วนที่ 2 โซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 50% และเส้นอุณหภูมิคงที่ที่ 29.5 $^{\circ}C$

- หมายเลข 5 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงระหว่างเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และเส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 29.5 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 60%

- หมายเลข 6 คือโซนที่มีขอบเขตของอากาศอยู่ในช่วงใต้เส้นเอนทาลปีคงที่ของสภาวะอุณหภูมิ 23.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

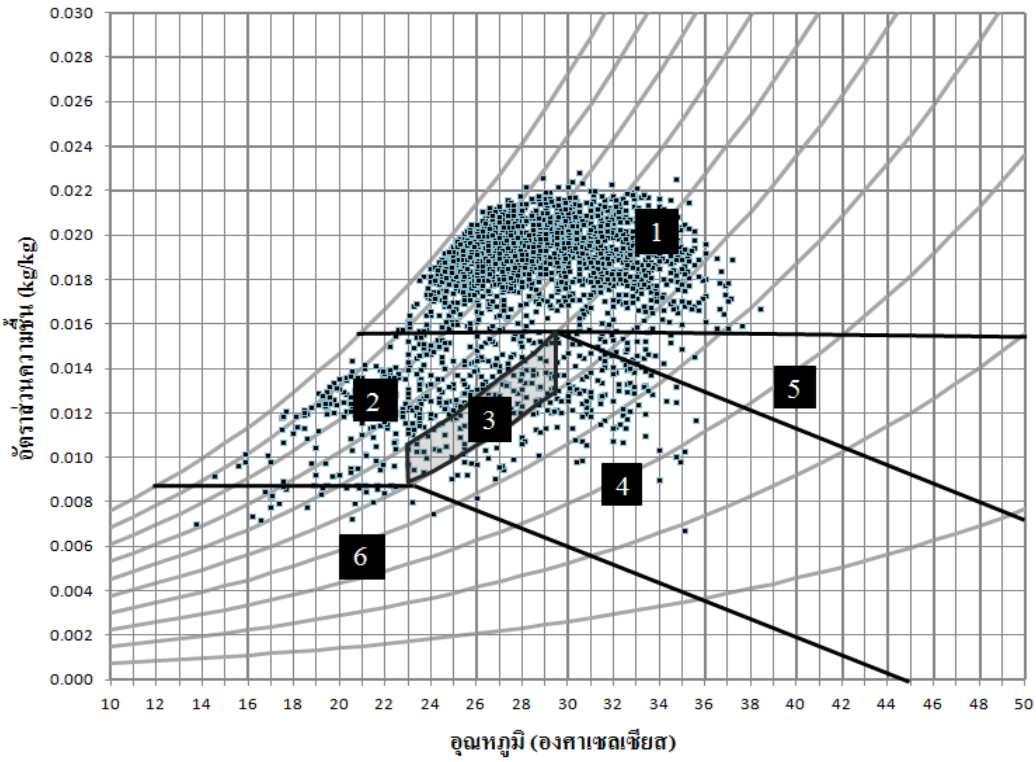
และเมื่อพิจารณาสภาวะอากาศที่อยู่ในแต่ละโซนแล้วสามารถระบุกระบวนการปรับอากาศที่ใช้แยกเป็นกรณีได้ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่ออากาศภายนอกอยู่ในโซน 1 จะทำความเย็นและลดความชื้นด้วยคอยล์เย็นเพื่อให้อากาศวิ่งมาตกในโซนที่ 2 แล้วจึงดูดความชื้นด้วยกงล้อดูดความชื้นจนอากาศตกในโซน 3

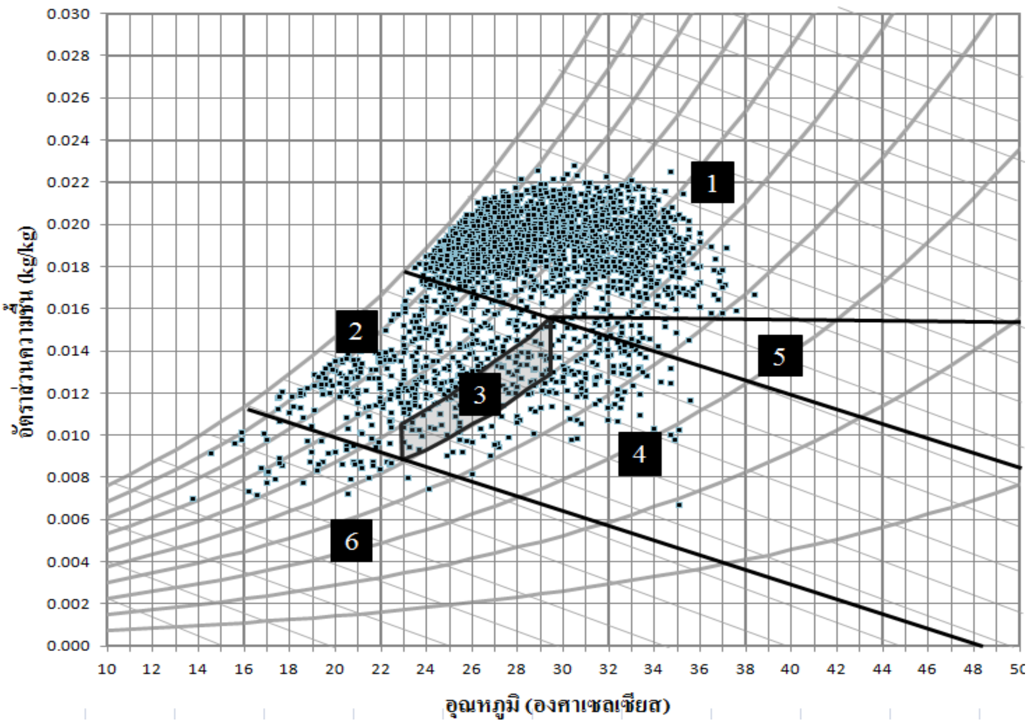
กรณีที่ 2 เมื่ออากาศภายนอกอยู่ในโซน 2 จะทำดูดความชื้นด้วยกงล้อดูดความชื้นจนอากาศตกในโซน 3

และในกรณีที่ 3, 4, 5, 6 มีการใช้งานของอุปกรณ์ในเครื่องเหมือนกับในแบบที่ 1

สำหรับแผนภาพกระบวนการปรับอากาศบนไซโครเมตริกของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 แสดงได้ดังภาคผนวก ก



ภาพที่ 3.10 การแบ่งโซนภูมิอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริกที่รองรับการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1



ภาพที่ 3.11 การแบ่งโซนภูมิอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริกที่รองรับการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2

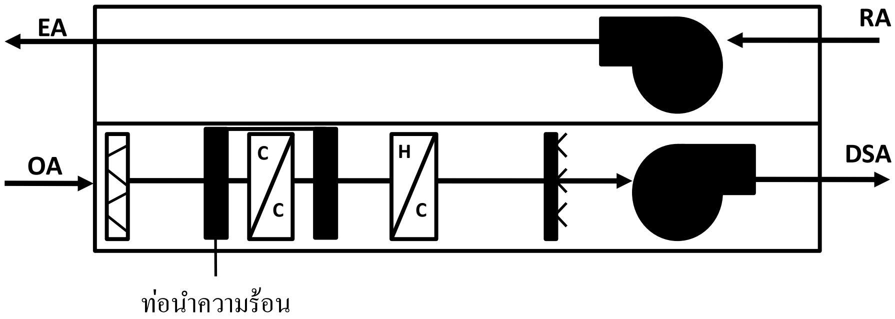
3.5.3.4 การนำเทคโนโลยีประหยัดพลังงานมาใช้

เนื่องจากตู้ฟักไข่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงและตลอดปีจึงมีแนวโน้มการใช้พลังงานสูง ดังนั้นในหัวข้อนี้จะนำเทคโนโลยีประหยัดพลังงานมาใช้กับเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1 ได้ดังนี้

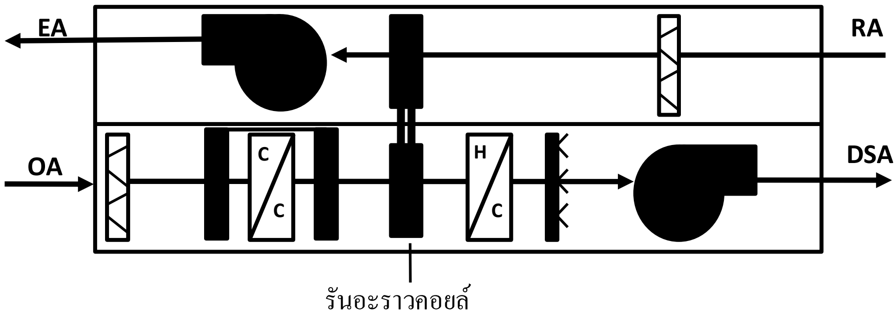
เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก จะติดตั้งท่อนำความร้อนเพิ่มเข้าไปจากเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1 แสดงได้ดังภาพที่ 3.12 ท่อนำความร้อนนี้จะนำไปประกอบที่คอยล์เย็น โดยท่อนำความร้อนชุดที่อยู่หน้าคอยล์จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็นให้ลดลงและชุดที่อยู่หลังคอยล์เย็นทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิอากาศหลังคอยล์ให้สูงขึ้น ทำให้ประหยัดพลังงานของคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนที่มีอยู่เดิมในแบบที่ 1 ได้

เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ข จะติดตั้งรันอะราวคอยล์เพิ่มเข้าไปจากเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก แสดงได้ดังภาพที่ 3.13 โดยรันอะราวคอยล์ชุดที่อยู่ด้านลมจ่ายจะทำหน้าที่รับความร้อนสัมผัสจากลมกลับเพื่อทำความร้อนให้กับอากาศใหม่ ซึ่งช่วยลดพลังงานที่คอยล์ร้อนต้องใช้ แต่ข้อควรระวังของการนำอุปกรณ์นี้มาใช้คือต้องกรองอากาศลมกลับก่อนที่จะมา

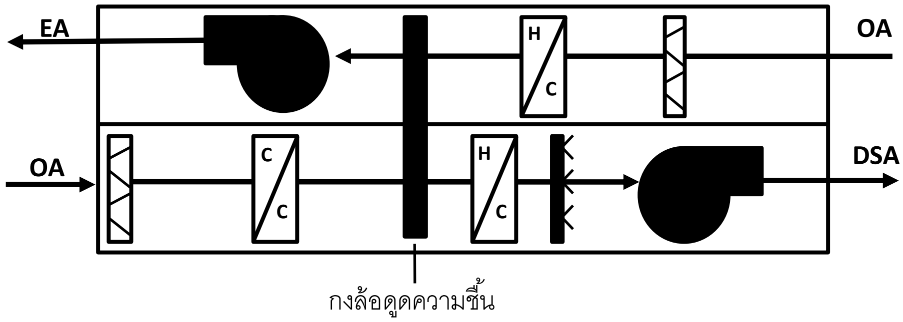
แลกเปลี่ยนความร้อนกับชุดคอยล์ที่อยู่ด้านลมกลับ เพราะลมกลับนี้จะเต็มไปด้วยฝุ่นที่เกิดจากไข่ถ้าฝุ่นเหล่านี้ไปติดกับคอยล์จะทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงอย่างมาก



ภาพที่ 3.12 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก



ภาพที่ 3.13 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ข



ภาพที่ 3.14 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2ก

สำหรับปัญหาการปนเปื้อนของฝุ่นกับลมจ่ายบริเวณกงล้อดูดความชื้นในเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 นั้นอาจแก้ไขโดยการเปลี่ยนอากาศที่จะนำมาเข้าคอยล์ร้อนเป็นอากาศบริสุทธิ์ภายนอกแทน ดังนั้นการจัดเรียงแบบนี้ใหม่ตั้งชื่อใหม่เป็นเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2ก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.14

3.5.3.5 การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ปรับอากาศ

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการคำนวณขนาดของอุปกรณ์แต่ละอย่างที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศ โดยจะหาในสภาวะที่อยู่ในช่วงโหลดสูงสุดของจากจำลองการทำงานตลอดทั้งปี

- การคำนวณหาขนาดคอยล์เย็น ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ทำความเย็นให้กับลม จากหลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{cap} = \dot{m}(h_{ci} - h_{co}) \qquad (3.12)$$

โดย	q_{cap}	=	ความสามารถในการทำความร้อนสุทธิของคอยล์เย็น (kW)
	$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น (kg/s)
	h_{co}	=	เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น (kJ/kg)
	h_{ci}	=	เอนทาลปีของอากาศที่เข้าสู่คอยล์เย็น (kJ/kg)

- การคำนวณหาขนาดท่อนำความร้อน จากหลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{cap} = \varepsilon_{eff}\,\dot{m}(T_{co} - T_{oa}) \qquad (3.13)$$

โดย	q_{cap}	=	ความสามารถในการทำประหยัดพลังงานของท่อนำความร้อน (kW)
	ε_{eff}	=	ประสิทธิผลของท่อนำความร้อน (เท่ากับ 43.4%)
	$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านท่อนำความร้อน (kg/s)
	T_{co}	=	อุณหภูมิขาออกของคอยล์เย็น ($^{\circ}C$)
	T_{oa}	=	อุณหภูมิของอากาศภายนอก ($^{\circ}C$)

- การคำนวณหาขนาดรันอะราวคอยล์ จากหลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{cap} = \varepsilon_{eff}\,\dot{m}(T_{ra} - T_{HP\,ex}) \qquad (3.14)$$

โดย	Q_{cap}	=	ความสามารถในการทำประหยัดพลังงานของรันอะราวคอยล์ (kW)
	ε_{eff}	=	ประสิทธิผลของรันอะราวคอยล์ (เท่ากับ 29%)
	$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านรันอะราวคอยล์ (kg/s)
	T_{ra}	=	อุณหภูมิของลมกลับจากตู้ฟักไข่ ($^{\circ}C$)
	$T_{HP\,ex}$	=	อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากท่อนำความร้อน ($^{\circ}C$)

- การคำนวณหาขนาดคอยล์ร้อนที่ใช้ในกงล้อดูดความชื้น จากหลักการสมดุลพลังงานสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{cap} = R\ \dot{m}(T_{ho} - T_{hi}) \quad (3.15)$$

โดย q_{cap} = ความสามารถในการทำความร้อนของคอยล์ร้อน (kW)

R = อัตราส่วนพื้นที่ของด้านลมจ่ายและด้านลมกลับ (เท่ากับ 0.2)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์ร้อน (kg/s)

T_{ho} = อุณหภูมิของอากาศที่ออกคอยล์ร้อน ($^\circ C$)

T_{hi} = อุณหภูมิของอากาศที่เข้าคอยล์ร้อน ($^\circ C$)

ส่วนรายละเอียดของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานเช่น ท่อนำความร้อน รันอะราวคอยล์ จะใช้โปรแกรม SPC ในการระบุ และกงล้อดูดความชื้นจะใช้โปรแกรม Novel Aire มาใช้ในการระบุรายละเอียด

3.5.3.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ในการคำนวณการใช้พลังงานจะนำข้อมูลภูมิอากาศจังหวัดลพบุรีในทุกราย 3 ชั่วโมงดังกล่าวในหัวข้อ 3.1.2 มาพิจารณาในแต่ละจุดว่าตกอยู่ในโซนใดและต้องใช้กระบวนการปรับอากาศแบบใด เพื่อให้ได้พลังงานที่ใช้จริงๆตามสภาวะภูมิอากาศขณะนั้น โดยกำหนดให้วันที่เริ่มฟักคือวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2552 เป็นระยะเวลาเริ่มต้นในการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในแต่ละอุปกรณ์

3.6 การวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ

ในการวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานนี้มีตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

1.ราคาเครื่องเติมอากาศ

2.ค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

3.ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

3.6.1 การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี

$$C_e = q_{consume} \times \text{ ราคาค่าไฟฟ้าต่อยูนิต} \quad (3.16)$$

โดย C_e = ค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (บาท)

3.6.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุงรายปี

คิดโดยกำหนดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเป็น 5% ของราคาเครื่องเติมอากาศ

$$C_m = \text{ราคาเครื่องเติมอากาศ} \times 0.05 \quad (3.17)$$

โดย C_m = ค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุงรายปี (บาท)

3.6.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินงานรายปี

$$C_O = C_m + C_e \quad (3.18)$$

โดย C_O = ค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินงานรายปี (บาท)

3.6.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินงานเทียบเท่าปัจจุบัน

$$P_O = C_O \times \left\lfloor \frac{i\,(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\rfloor \quad (3.19)$$

โดย P_O = ค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินงานเทียบเท่าปัจจุบัน (บาท)

i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้รายปี (%)

n = จำนวนปี

3.6.5 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

$$\text{ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน} = P_O + \text{ราคาเครื่องเติมอากาศ} \quad (3.20)$$

3.7 การเปรียบเทียบรูปแบบของระบบปรับอากาศตามเกณฑ์การออกแบบ

นำผลการออกแบบที่ได้มาเปรียบเทียบตามเกณฑ์การออกแบบเพื่อเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยให้แต่ละเกณฑ์การออกแบบจะมีการกำหนดน้ำหนักของคะแนนเพื่อเน้นน้ำหนักในการพิจารณาในแต่ละเกณฑ์และจะให้เกรดตามความเหมาะสม ส่วนการให้เกรดนั้นจะแบ่งเป็น 8 ระดับเรียงลำดับจากดีที่สุดไปถึงแย่ที่สุด คือ 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0 และการคำนวณคะแนนได้จากสมการดังนี้

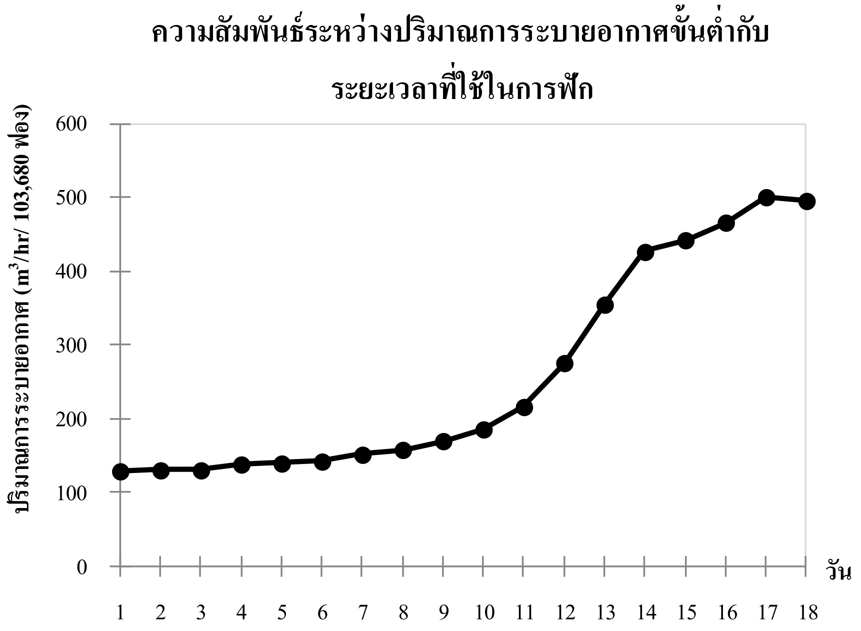
$$\text{คะแนน} = \text{เกรด} \times \text{น้ำหนัก} \quad (3.21)$$

บทที่ 4
ผลการออกแบบและวิเคราะห์

จากการออกแบบโดยการสร้างรูปแบบของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศ จากนั้นจึงนำข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิไซโครเมตริก แล้วนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟ เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการรักษาสภาวะในตู้ฟักไข่และศึกษารูปแบบของการปรับอากาศที่เหมาะสมซึ่งตัดสินตามเกณฑ์การออกแบบ สำหรับผลการออกแบบและวิเคราะห์มีดังนี้

4.1 ปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่ในแต่ละวัน เพื่อคำนวณหาปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำ ซึ่งหาได้จากการคำนวณปริมาณระบายอากาศที่ทำให้ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้ฟักไข่ไม่เกิน 5,000 ppm และมีการเผื่อการรั่วไหลของที่ 0.5% ของปริมาณอากาศหมุนเวียนในตู้ฟักไข่ แล้วนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการฟัก พบว่าปริมาณระบายอากาศขั้นต่ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไข่ผลิตขึ้นในแต่ละวัน โดยวันที่ 1-9 ปริมาณการระบายอากาศจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่หลังจากนั้นปริมาณการระบายอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 10-18 ของการฟัก แสดงแนวโน้มของปริมาณการระบายอากาศที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นเกณฑ์และเผื่อการรั่วไหลได้ดังกราฟภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการฟัก

4.2 สภาวะอากาศภายในของระบบปรับอากาศตู้ฟักไข่แบบต่าง ๆ

จากการนำข้อมูลภาระทำความร้อนที่เกิดจากไข่แล้วมาพิจารณาร่วมกับรูปแบบต่างๆเพื่อศึกษาสภาวะอากาศภายใน โดยวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริกภายใต้เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^\circ C$ และ 50%RH จากนั้นจึงนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณการระบายอากาศกับระยะเวลาที่ใช้ในการฟัก จากการศึกษาสามารถแยกได้เป็นกรณีดังนี้

4.2.1 อุณหภูมิลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2

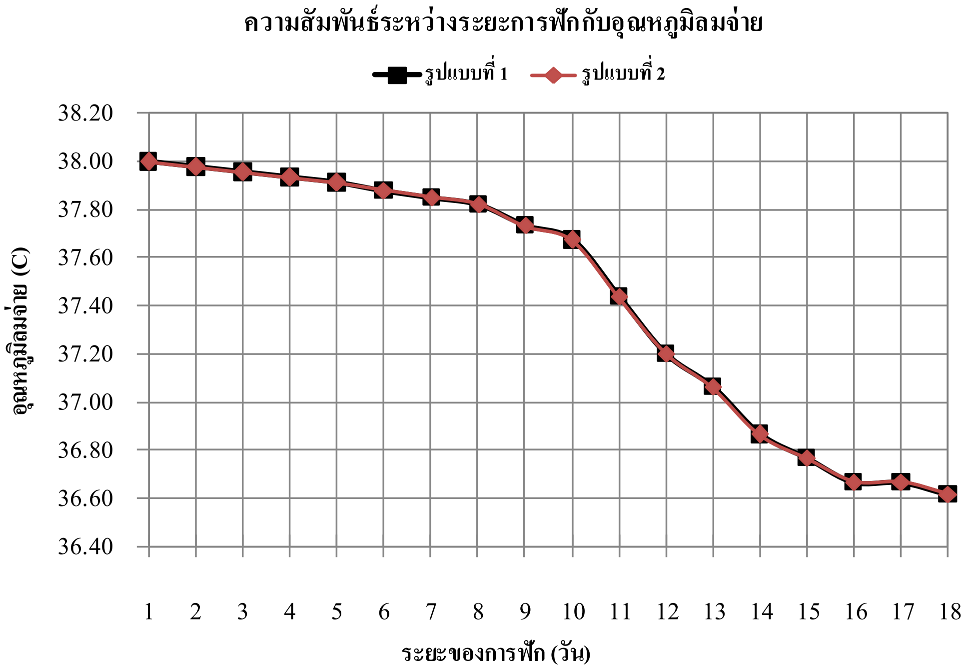
จากการศึกษาพบว่าระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 1 และ 2 สามารถรักษาอุณหภูมิลมจ่ายอยู่ในเกณฑ์การออกแบบของอุณหภูมิที่กำหนดได้ในช่วง 36.5-38.0 $^\circ C$ และอุณหภูมิลมจ่ายมีแนวโน้มที่ลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการฟักเพื่อรักษาอุณหภูมิของลมกลับหรือตู้ฟักไข่ให้มีค่าเท่ากับ 38.0 $^\circ C$ แสดงแนวโน้มของอุณหภูมิลมจ่ายของรูปแบบที่ 1 และ 2 ได้ดังกราฟภาพที่ 4.2

4.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1 และ 2

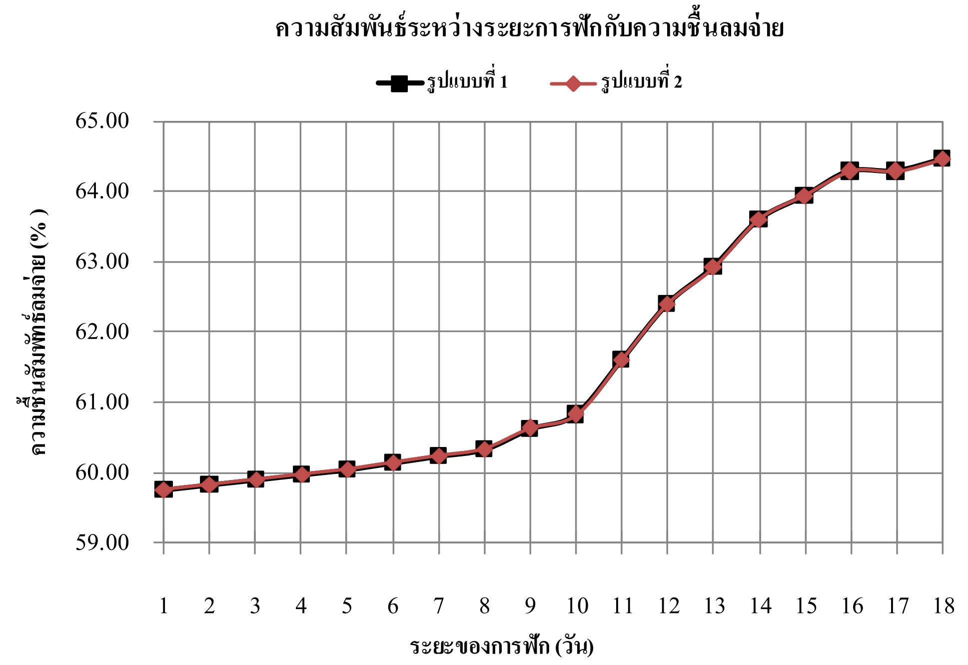
จากการศึกษาพบว่าระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 1 และ 2 สามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายอยู่ในเกณฑ์การออกแบบของความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดได้ในช่วง 50-65% และอุณหภูมิลมจ่ายมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการฟัก แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของรูปแบบที่ 1 และ 2 กับระยะการฟักได้ดังกราฟภาพที่ 4.3

4.2.3 ปริมาณการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่1และ2

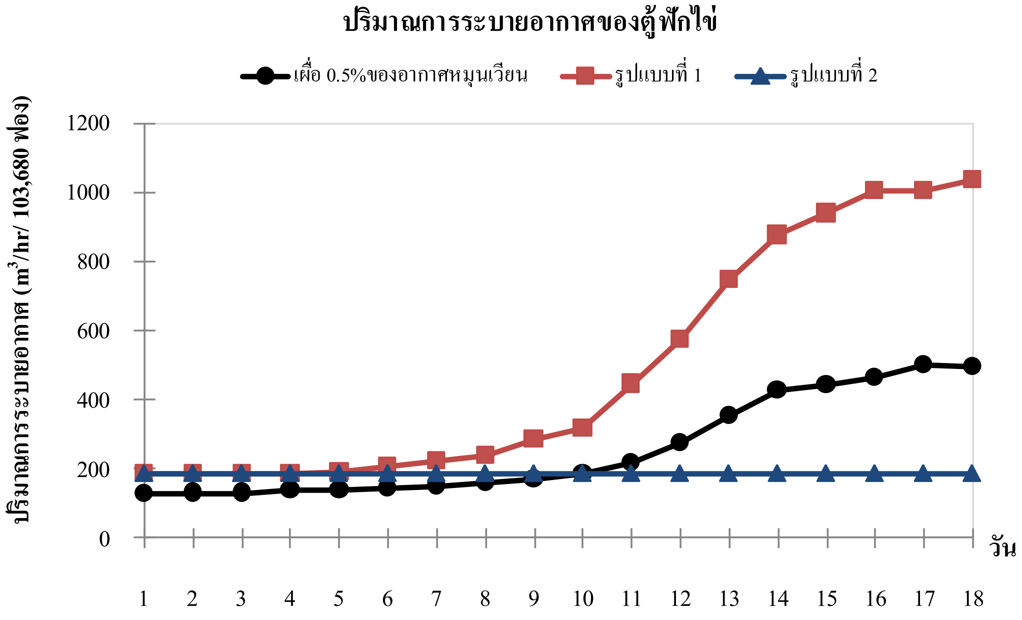
จากการศึกษาพบว่าระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 1 ใช้ปริมาณการระบายอากาศมากกว่าปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำ แต่ในขณะที่ระบบปรับอากาศ ภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 2 ใช้ปริมาณการระบายอากาศน้อยกว่าปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำในช่วงวันที่ 10-18 ดังนั้นรูปแบบที่ 2 จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ เพราะปริมาณการระบายอากาศที่น้อยกว่าปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำจะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เกินเกณฑ์การออกแบบที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5,000 ppm แสดงการเปรียบเทียบของปริมาณการระบายอากาศของรูปแบบที่ 1 และ 2 กับปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำได้ดังกราฟภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2 กับระยะการฟัก



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างของความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2 กับระยะการฟัก



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2 กับระยะการฟัก

4.3 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อสภาวะอากาศภายใน

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการรักษาสภาวะอากาศในตู้ฟักไข่ภายใต้เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^\circ C$ และ 50%RH ในวันที่ 18 ของการฟัก พบว่าปริมาณหมุนเวียนอากาศเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการรักษาอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งผลการศึกษามีดังนี้

4.3.1 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิลมจ่าย

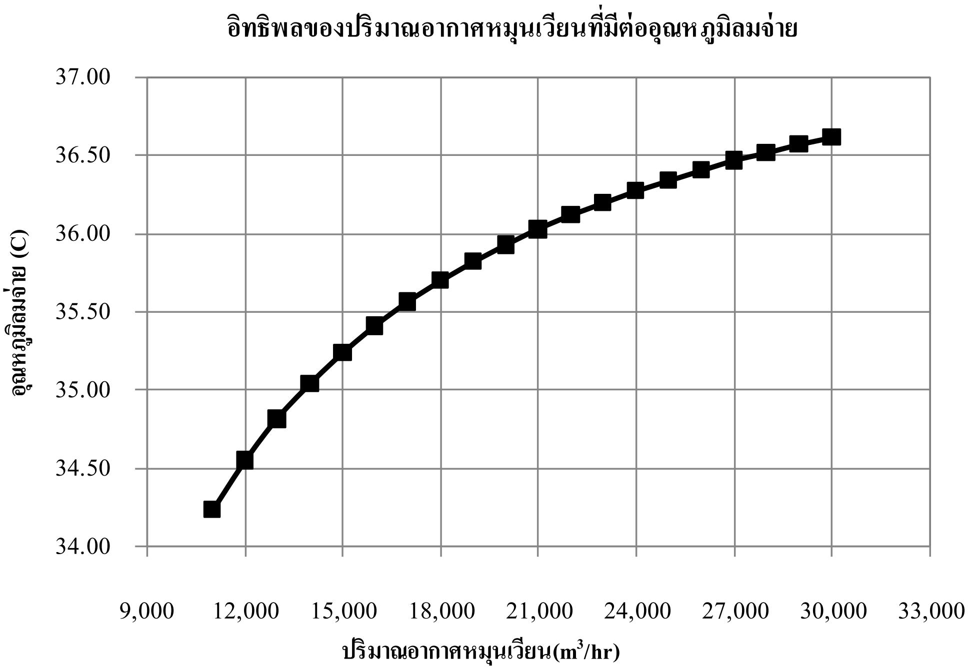
ปริมาณอากาศมีผลต่ออุณหภูมิลมจ่ายซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณหมุนเวียนอากาศกับอุณหภูมิลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟักได้ดังกราฟภาพที่ 4.5 โดยเมื่อปรับปริมาณหมุนเวียนอากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิลมจ่ายควรปรับให้สูงขึ้นด้วยเพื่อคงอุณหภูมิลมกลับหรือตู้ฟักไข่มีค่าเท่ากับ 38.0 $^\circ C$ ในทางตรงกันข้ามการปรับปริมาณหมุนเวียนอากาศลดลงอุณหภูมิของลมจ่ายควรปรับให้ลดลงด้วย แต่เนื่องจากอุณหภูมิในตู้ฟักไข่ออกแบบให้อยู่ในช่วง 36.5-38.0 $^\circ C$ ดังนั้นปริมาณหมุนเวียนอากาศของวันที่ 18 ของการฟักนี้ควรปรับให้อยู่ในระดับที่มากกว่า 28,000 m^3/hr เพื่อให้อุณหภูมิลมจ่ายมีค่าเกิน 36.5 $^\circ C$ โดยสรุปปริมาณหมุนเวียนอากาศควรปรับให้เหมาะเพื่อให้อุณหภูมิลมจ่ายยังอยู่ในช่วงที่ทำให้อุณหภูมิอากาศในตู้ฟักไข่เป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบ

4.3.2 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิลมกลับและลมจ่าย

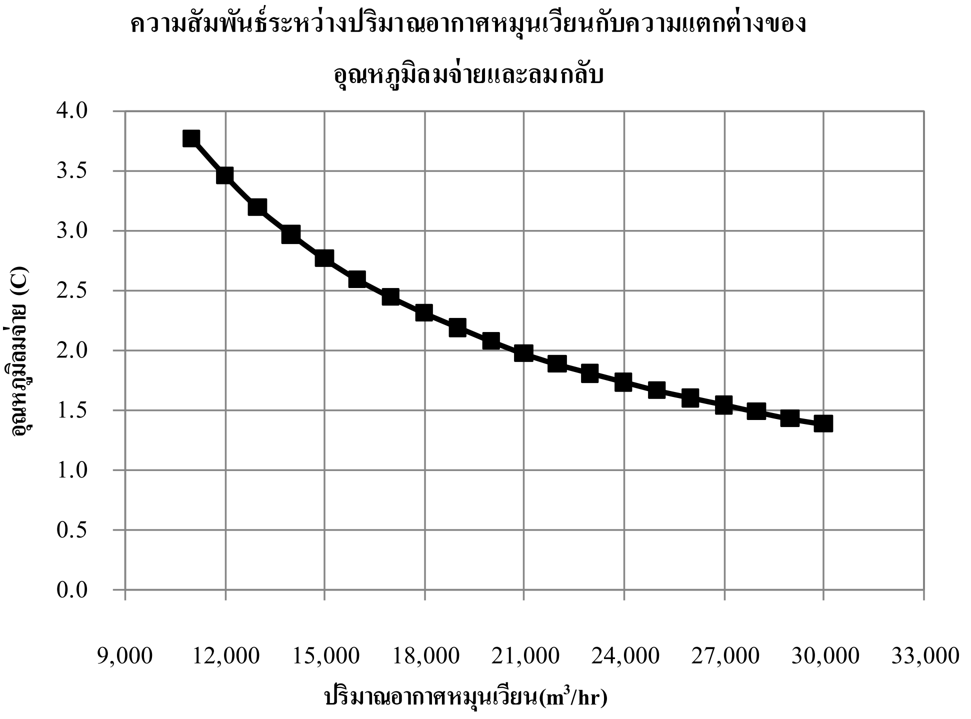
ปริมาณหมุนเวียนอากาศมีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิลมกลับและลมจ่าย โดยเมื่อปรับปริมาณหมุนเวียนอากาศเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิลมกลับและลมจ่ายมีค่าน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณหมุนเวียนอากาศที่สูงช่วยให้ช่วงเวลาที่อากาศจะรับภาระทำความร้อนสัมผัสจากไข่นั้นน้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิลมจ่าย ณ จุดที่จ่ายเพิ่มอุณหภูมิขึ้นน้อยตามภาระทำความร้อนสัมผัสที่ได้รับมาน้อย ในทางตรงกันข้ามการปรับปริมาณหมุนเวียนอากาศลดลง ความแตกต่างของอุณหภูมิลมกลับและลมจ่ายมีค่าน้อยลง ตามเหตุที่ได้กล่าวมา โดยสรุปปริมาณหมุนเวียนอากาศควรปรับให้เหมาะสมจะช่วยลดความแปรปรวนของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้ฟักไข่ได้เพื่อคงสภาวะอากาศให้ดีที่สุด แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณหมุนเวียนอากาศกับความแตกต่างอุณหภูมิลมกลับและลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟักได้ดังกราฟภาพที่ 4.6

4.3.3 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่าย

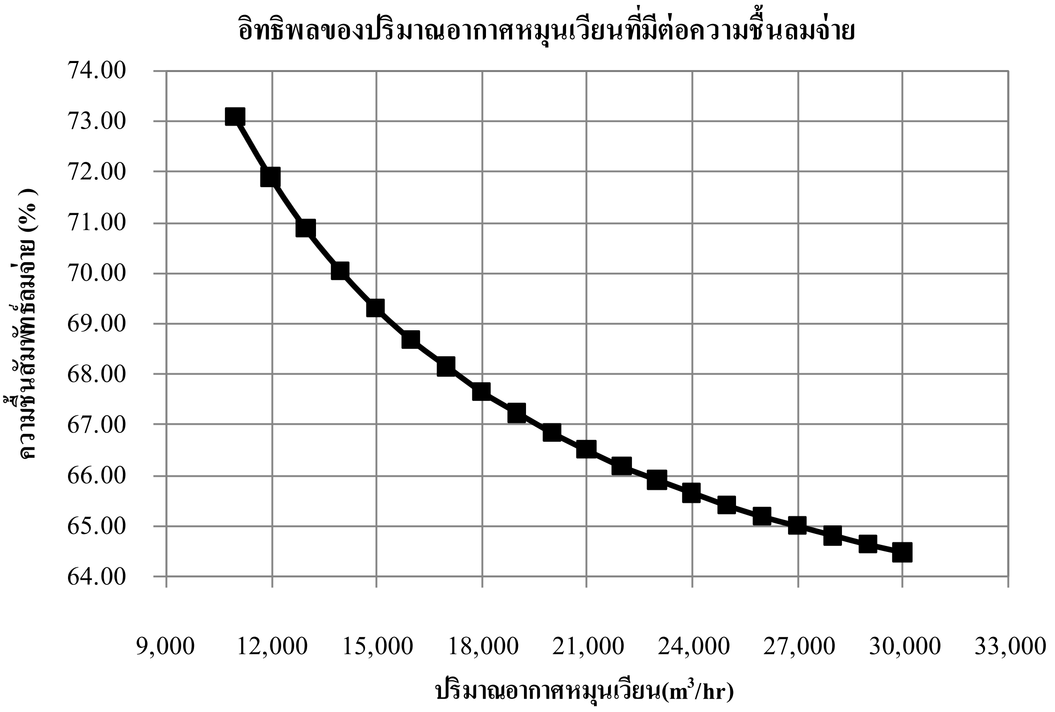
ปริมาณอากาศมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายซึ่งสามารถ แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณหมุนเวียนอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟักได้ดังกราฟภาพที่ 4.7 เมื่อปรับปริมาณหมุนเวียนอากาศเพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายควรปรับให้มีค่าต่ำลงด้วยเพื่อคงความชื้นสัมพัทธ์ลมกลับหรือตู้ฟักไข่มีค่าเท่ากับ 60% ในทางตรงกันข้ามการปรับปริมาณหมุนเวียนอากาศลดลง อุณหภูมิของลมจ่ายควรปรับให้เพิ่มขึ้นด้วย แต่เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในตู้ฟักไข่ออกแบบให้อยู่ในช่วง 50-65% ดังนั้นปริมาณหมุนเวียนอากาศของวันที่ 18 ของการฟักนี้ควรปรับให้อยู่ในระดับที่มากกว่า 28,000 m^3/hr เพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายมีค่าต่ำกว่า 65% โดยสรุปปริมาณหมุนเวียนอากาศควรปรับให้เหมาะเพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายยังอยู่ในช่วงที่ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในตู้ฟักไข่เป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบ



ภาพที่ 4.5 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟัก



ภาพที่ 4.6 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิลมกลับและลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟัก



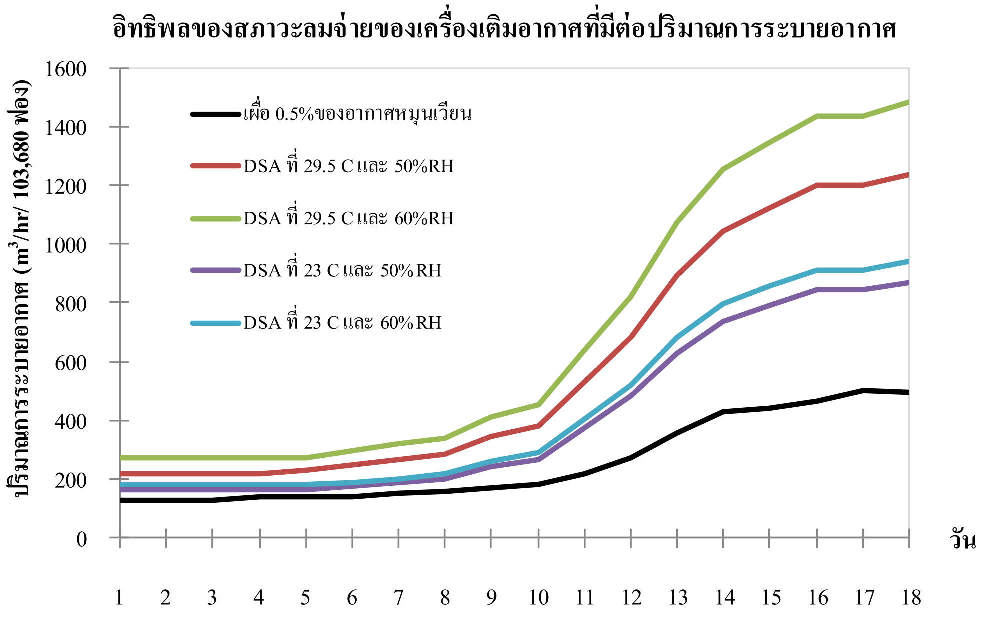
ภาพที่ 4.7 อิทธิพลของปริมาณหมุนเวียนอากาศที่มีผลต่อความชื้นลมจ่ายในวันที่ 18 ของการฟัก

4.4 อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่อปริมาณการระบายอากาศและสภาวะอากาศภายในตู้ฟักไข่

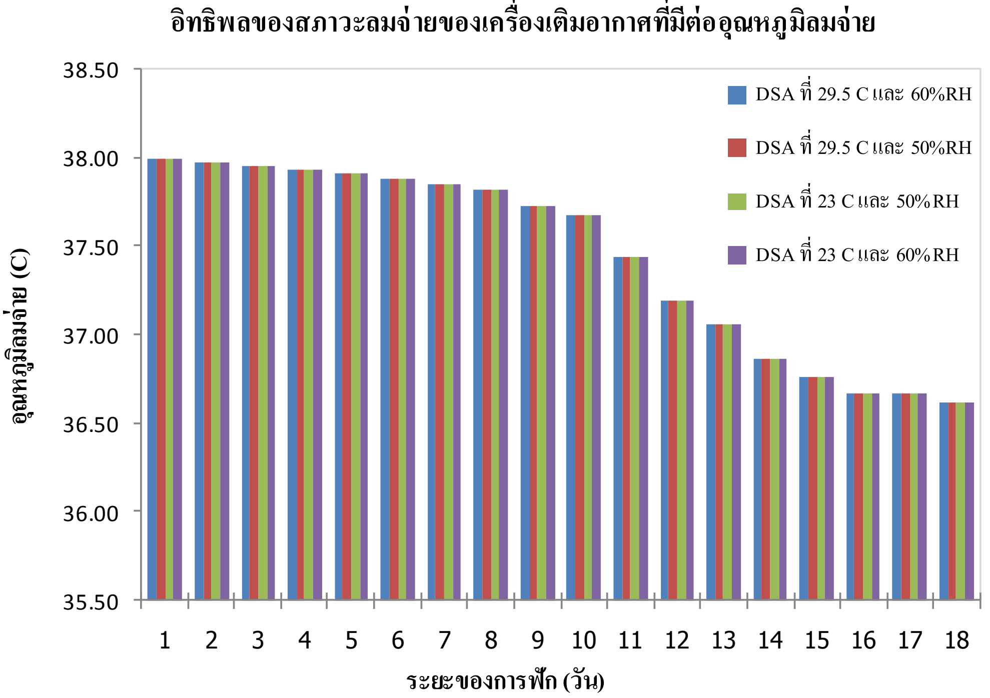
จากการนำระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 1 มาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่อปริมาณการระบายอากาศและสภาวะอากาศในตู้ฟักไข่ โดยเปลี่ยนจุดสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศเป็น 4 จุดคือ 23.0 $^{\circ}C$, 50%RH และ 23.0 $^{\circ}C$, 60%RH และ 29.5 $^{\circ}C$, 50%RH และ 29.5 $^{\circ}C$, 60%RH แล้วสังเกตความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการระบายอากาศ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายที่เกิดขึ้น จากนั้นนำผลการศึกษาที่ได้มาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปลี่ยนจุดสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศแล้วจะทำให้ปริมาณการระบายอากาศเปลี่ยนแปลงไป โดยความต้องการปริมาณการระบายอากาศเข้าสู่ ตู้ฟักไข่สามารถเรียงลำดับจากมากสุดจนถึงน้อยสุดได้คือที่สภาวะ 29.5 $^{\circ}C$, 60%RH และ 29.5 $^{\circ}C$, 50%RH และ 23.0 $^{\circ}C$, 60%RH และ23.0 $^{\circ}C$, 50%RH ตามลำดับ และสังเกตได้ว่าปริมาณระบายอากาศที่ต้องการทั้งสี่สภาวะนี้มีค่าเกินปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำซึ่งทำให้ผ่านเกณฑ์การออกแบบด้านการระบายอากาศ สรุปปริมาณการระบายอากาศควรปรับให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมกับสภาวะที่ลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศเพื่อให้ได้จุดผสมที่อุปกรณ์ปรับภายในตู้ฟักไข่สามารถทำงานได้ตามสมรรถนะ สามารถแสดงอิทธิพลของสภาวะลมจ่ายที่มีต่อปริมาณการระบายอากาศได้ดังภาพที่ 4.8

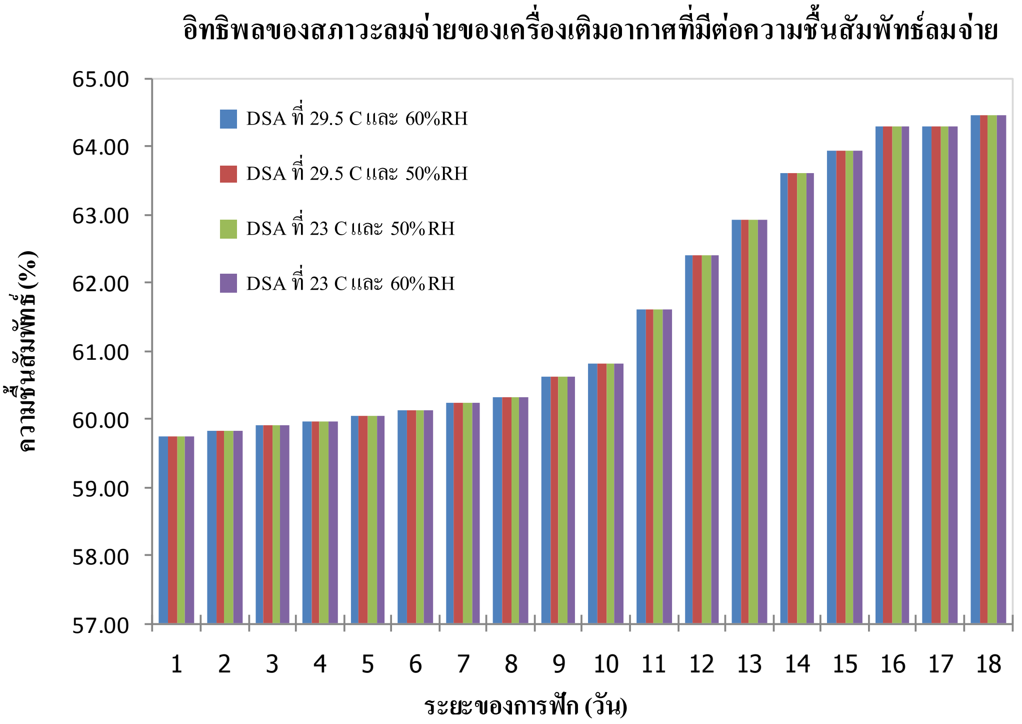
แต่เมื่อเปลี่ยนจุดสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศแล้วอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเกิดสถานการณ์แบบนี้ได้จากการนำปริมาณระบายอากาศเข้าสู่ตู้ฟักไข่ได้พอดีกับความความต้องการขณะนั้น แต่ถ้าใช้ปริมาณการระบายอากาศเกินหรือขาดความพอดีจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายเปลี่ยนไปได้ สำหรับภาพที่ 4.9 และ 4.10 แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายภายใต้สภาวะลมจ่ายของเครื่องเติมอากาศที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.8 อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่อปริมาณการระบายอากาศ



ภาพที่ 4.9 อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่ออุณหภูมิลมจ่าย



ภาพที่ 4.10 อิทธิพลของสภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่าย

4.5 การทำงานของระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่

ระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่ที่ออกแบบมานั้นจะใช้ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 มาใช้ สำหรับขั้นตอนการใช้งานไข่ที่ออกแบบนั้นจะแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ขั้นตอนได้ดังนี้

1.ขั้นตอนเริ่มเดินเครื่อง เมื่อจะเริ่มใช้งานตู้ฟักไข่จำเป็นต้องปรับอากาศภายนอกให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 38.0 $^{\circ}C$ และความชื้นเท่ากับ 60% ก่อนโดยใช้คอยล์ร้อนในการทำความร้อนให้กับอากาศหมุนเวียนจนมีอุณหภูมิที่กำหนด และใช้สเปรย์น้ำในการให้ความชื้นกับอากาศจนได้ความชื้นที่กำหนด

2.ขั้นตอนอบไข่ เมื่อขั้นตอนแรกผ่านไปแล้วจึงจะนำไข่เข้าสู่ตู้ฟักไข่แล้วจะปรับอากาศโดยนำอากาศที่ผ่านเครื่องเติมอากาศเข้าสู่ตู้ฟักไข่และควบคุมการปรับอากาศตามการแบ่งโซนภูมิอากาศ อากาศที่ได้ถูกปรับนี้จะจ่ายเข้าสู่ตู้ฟักไข่และอุปกรณ์ปรับอากาศปรับอากาศเพื่อคงสภาวะอากาศให้คงที่มากที่สุด กล่าวคือถ้าอากาศระบายที่นำเข้าตู้ฟักไข่ร้อนมากเกินไป ระบบปรับอากาศส่วนในตู้ฟักไข่จะทำความเย็นโดยใช้สเปรย์น้ำในการปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิลงและถ้าอากาศระบายที่นำเข้าตู้ฟักไข่เย็นมากเกินไป ระบบปรับอากาศส่วนในตู้ฟักไข่จะทำความร้อนโดยใช้คอยล์ร้อนในการปรับอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการฟัก ซึ่งผลการคำนวณการรักษาสภาวะในตู้ฟักไข่ทั้ง 18 วันและตัวอย่างการคำนวณการสภาวะลมจ่าย

ภายในตู้ฟักไข่เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^{\circ}C$ และ 50%RH ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 แสดงได้ในภาคผนวก ข และตารางที่ ข.1 ตามลำดับ

4.6 พลังงานที่ใช้และขนาดของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่

จากการนำอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 1 มาใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ตลอดปี พ.ศ. 2552 และขนาดอุปกรณ์ที่ใช้ แล้วนำสรุปเป็นตารางการคำนวณ ผลการศึกษาพบว่า คอยล์ร้อนมีการใช้พลังงานในการทำความร้อนให้กับอากาศหมุนเวียนเท่ากับ 869 kWh และมีขนาดอุปกรณ์เท่ากับ 0.71 kW ส่วนคอยล์ร้อนที่ทำความร้อนให้กับน้ำของสเปรย์น้ำมีการใช้พลังงานเท่ากับ 310 kWh และมีขนาดของอุปกรณ์เท่ากับ 0.27 kW และมีอัตราการพ่นละอองน้ำในการปรับอากาศเท่ากับ 14.4 kg/hr ซึ่งตารางการคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และแสดงรายการส่วนประกอบของอุปกรณ์ได้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.1 ขนาดและพลังงานที่ใช้ของอุปกรณ์ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่

ระบบปรับอากาศที่ใช้ในส่วนตู้ฟัก		แบบ 1	
อุปกรณ์	กระบวนการปรับอากาศ	พลังงานที่ใช้ (kWh/yr)	ขนาดของอุปกรณ์ (kW)
คอยล์ร้อน	ทำความร้อนให้กับอากาศ	859	0.71
คอยล์ร้อน	ทำความร้อนให้กับน้ำ	310	0.273
	พลังงานรวม	1,169	

4.7 พลังงานที่ใช้และขนาดของเครื่องเติมอากาศแบบต่างๆ

จากการนำอุปกรณ์แต่ละชิ้นในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1, 1ก, 1ข และ 2, 2ข มาใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ตลอดปี พ.ศ. 2552 และขนาดอุปกรณ์ที่ใช้ แล้วนำสรุปเป็นตารางการคำนวณ ซึ่งตารางการคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4 และแสดงรายการส่วนประกอบของอุปกรณ์ได้ในภาคผนวก ค ส่วนผลการศึกษามีดังนี้

1.เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 จะใช้กรองอากาศขั้นกลางในการกรองอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็น และใช้คอยล์เย็นขนาด 14.4 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 36,666 kWh, คอยล์ร้อนขนาด 7.1 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 12,439 kWh และสเปรย์มีอัตราการพ่นละอองน้ำเท่ากับ 5.8 kg/hr สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 เท่ากับ 49,106 kWh

2.เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ก อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดจะมีขนาดเท่ากับรูปแบบที่ 1 เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นของการใช้งานเวลาที่ไม่ใช้ท่อนำความร้อน โดยท่อนำความร้อนสามารถประหยัดพลังงานให้กับคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นได้อุปกรณ์ละ 6,000 kWh ช่วยให้คอยล์เย็นใช้พลังงานตลอดปีลดลงเหลือ 30,666 kWh, คอยล์ร้อนมีใช้พลังงานตลอดปีลดลงเหลือ 6,439 kWh สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ก ลดลงเหลือ 37,106 kWh เมื่อติดตั้งท่อนำความร้อนเพิ่มจากรูปแบบที่ 1

3.เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ข อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดจะมีขนาดเท่ากับรูปแบบที่ 1 แต่มีกรองอากาศขั้นต้นติดตั้งในฝั่งลมกลับเพื่อกรองอากาศของลมกลับก่อนเข้ารันอะราวคอยล์ และระบบนี้รันอะราวคอยล์สามารถประหยัดพลังงานของคอยล์ร้อนได้เพิ่มจากรูปแบบที่ 1ก อีก 5,138 kWh ช่วยให้คอยล์ร้อนมีใช้พลังงานตลอดปีลดลงเหลือ 1,301 kWh สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ข ลดลงหลือ 31,968 kWh เมื่อติดตั้งรันอะราวคอลย์เพิ่มจากรูปแบบที่ 1ก

4.เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 จะใช้คอยล์เย็นขนาด 12.7 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 30,665 kWh, คอยล์ร้อนขนาด 5 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 319 kWh, คอยล์ร้อยของกงล้อดูดความชื้นขนาด 2.2 kW มีการใช้พลังงานเท่ากับ 8,682 kWh และสเปรย์มีอัตราการพ่นละอองน้ำเท่ากับ 5.8 kg/hr สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 เท่ากับ 39,666 kWh

5.เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2ก คอยล์เย็น คอลย์ร้อนและสเปรย์น้ำจะมีขนาดเท่ากับรูปแบบที่ 2 แต่ขนาดคอยล์ร้อนของกงล้อดูดความชื้นมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 3.5 kW และมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 10,218 kWh สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2ก เท่ากับ 41,202 kWh

ตารางที่ 4.2 ขนาดของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ

รูปแบบเครื่องเติมอากาศ		แบบ 1, 1ก, 1ข			แบบ 2				แบบ 2ก
โซน	กระบวนการปรับอากาศ	คอยล์เย็น (kW)	คอยล์ร้อน (kW)	สเปรย์น้ำ (kg/hr)	คอยล์เย็น (kW)	คอยล์ร้อน (kW)	คอยล์ร้อนของกงล้อดูดความชื้น (kW)	สเปรย์น้ำ (kg/hr)	คอยล์ร้อนของกงล้อดูดความชื้น (kW)
1	ทำความเย็นและทำความร้อนใหม่	14.4	3.5	-	12.7	-	2.2	-	3.1
2	ทำความร้อน	-	4.0	-	-	-	2.2	-	3.5
3	ไม่มีการปรับอากาศ	-	-	-	-	-	-	-	-
4	ทำความเย็นและเพิ่มความชื้น	-	-	3.9	-	-	-	3.9	-
5	ทำความเย็นและลดความชื้น	2.7	-	-	2.7	-	-	-	-
6	ทำความร้อนกับทำความเย็นและเพิ่มความชื้น	-	7.1	5.8	-	5.0	-	5.8	-
ขนาดที่มากที่สุด		14.4	7.1	5.8	12.7	5.0	2.2	5.8	3.5

ตารางที่ 4.3 พลังงานที่ใช้ของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1, 1ก และ 1ข

รูปแบบเครื่องเติมอากาศ			แบบ 1		แบบ 1ก		แบบ 1ข	
โซน	กระบวนการปรับอากาศ	เปอร์เซ็นต์	คอยล์เย็น (kWh/yr)	คอยล์ร้อน (kWh/yr)	คอยล์เย็น (kWh/yr)	คอยล์ร้อน (kWh/yr)	คอยล์เย็น (kWh/yr)	คอยล์ร้อน (kWh/yr)
1	ทำความเย็นและทำความร้อนใหม่	77.6	36,535	11,460	30,535	5,460	30,535	321
2	ทำความร้อน	11.2	-	564	-	564	-	564
3	ไม่มีการปรับอากาศ	3.9	-	-	-	-	-	-
4	ทำความเย็นและเพิ่มความชื้น	5.1	-	-	-	-	-	-
5	ทำความเย็นและลดความชื้น	1.2	132	-	132	-	132	-
6	ทำความร้อนกับทำความเย็นและเพิ่มความชื้น	1.1	-	416	-	416	-	416
ผลรวม		100	36,666	12,439	30,667	6,439	30,667	1,301
พลังงานรวมทั้งสิ้น			49,106		37,106		31,968	
ประหยัด			-	-	6,000	6,000	-	5,138

ตารางที่ 4.4 พลังงานที่ใช้ของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 และ 2ก

รูปแบบเครื่องเติมอากาศ			แบบ 2			แบบ 2ก		
โซน	กระบวนการปรับอากาศ	เปอร์เซ็นต์	คอยล์เย็น (kWh/yr)	คอยล์ร้อน (kWh/yr)	คอยล์ร้อนของกงล้อดูดความชื้น (kWh/yr)	คอยล์เย็น (kWh/yr)	คอยล์ร้อน (kWh/yr)	คอยล์ร้อนของกงล้อดูดความชื้น (kWh/yr)
1	ทำความเย็นและดูดความชื้น	76.4	30,607	-	7,585	30,607	-	8,782
2	ดูดความชื้น	12.1	-	-	1,098	-	-	1,436
3	ไม่มีการปรับอากาศ	3.9	-	-	-	-	-	-
4	ทำความเย็นและเพิ่มความชื้น	5.7	-	-	-	-	-	-
5	ทำความเย็นและลดความชื้น	0.5	58	-	-	58	-	-
6	ทำความร้อนกับทำความเย็นและเพิ่มความชื้น	1.4	-	319	-	-	319	-
ผลรวม		100	30,665	319	8,682	30,665	319	10,218
พลังงานรวมทั้งสิ้น			39,666			41,202		

4.8 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ

ผลการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานนี้ไม่รวมราคาของพัดลมด้านลมจ่าย พัดลมด้านลมกลับ เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลม แผ่นกรองด้านลมจ่าย แผ่นกรองด้านลมกลับ ท่อลม หัวจ่ายลม ปั้มน้ำ ท่อน้ำร้อนและเย็นที่ใช้ในคอยล์ โดยถือว่าเครื่องเติมอากาศทุกแบบใช้ขนาดเท่ากันหมด ทำให้ไม่ผลต่อการเปรียบเทียบ
- ราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.5
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในวิทยานิพนธ์นี้คิดจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและค่าบำรุงรักษาเท่านั้น
- เวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานคือ 8,760 ชั่วโมง หรือ 1 ปี
- ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศมีการใช้พลังงานคงที่ในแต่ละปี
- ค่าบำรุงรักษารายปี คิดเป็น 5 % ของราคาเครื่องเติมอากาศในแต่ละแบบ
- ราคาค่าไฟฟ้าต่อยูนิต = 1.75 บาท
- อายุการใช้งาน (n) ของคอยล์เย็น คอยล์ร้อน สเปรย์น้ำ ท่อนำความร้อน รันอะราวคอยล์ และกงล้อดูดความชื้น = 20 ปี
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (i) = 7.75 % ต่อปี

เมื่อนำข้อมูลทั้งราคาอุปกรณ์ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายปี และค่าบำรุงรักษารายปีมาคำนวณหาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานตามสมการที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.6 แล้วนำไปแสดงผลของการคำนวณได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 รายการของราคาอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)				
		แบบที่ 1	แบบที่ 1ก	แบบที่ 1ข	แบบที่ 2	แบบที่ 2ก
1	คอยล์เย็น	15,670	15,670	15,670	12,420	12,420
2	คอยล์ร้อน	7,260	7,260	7,260	5,200	5,200
3	สเปรย์น้ำ	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000
4	กงล้อดูดความชื้น				126,460	127,140
5	ท่อนำความร้อน		62,143	62,143		
6	รันอะราวคอยล์			34,060		
รวม		44,930	107,073	141,133	166,080	166,760

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ

เครื่องเติมอากาศ	ราคา (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายพลังงาน (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน(บาท/ปี)	ค่าการดำเนินงานเทียบเท่าปัจจุบัน(บาท)	ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน(บาท)
แบบที่ 1	44,930	2,247	85,935	88,181	882,126	927,056
แบบที่ 1ก	107,073	5,354	64,936	70,289	703,141	810,214
แบบที่ 1ข	141,133	7,057	55,943	63,000	630,223	771,356
แบบที่ 2	166,080	8,304	69,415	77,719	777,466	943,546
แบบที่ 2ก	166,760	8,338	72,103	80,441	804,690	971,450

4.9 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการออกแบบกับเกณฑ์การออกแบบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการเปรียบรูปแบบที่ใช้ในการออกแบบโดยการให้เกรดในแต่ละเกณฑ์การออกแบบแล้วไปคำนวณตามความสัมพันธ์ของสมการ 3.21 แล้วนำคะแนนมารวมกัน รูปแบบใดได้คะแนนมากที่สุดนั่นคือรูปแบบที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้มากที่สุด ผลการเปรียบเทียบพบว่า ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 2 ไม่ผ่านเกณฑ์การทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ตรงส่วนของการระบายอากาศ ดังนั้นจึงใช้ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 เท่านั้นมาใช้ในการเปรียบเทียบ และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนในส่วนของเครื่องเติมอากาศพบว่าเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ข มีคะแนนในการเปรียบเทียบสูงสุด จึงเลือกใช้เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ข มาใช้ร่วมกับระบบภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 ซึ่งผลการเปรียบเทียบการออกแบบแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบการออกแบบตามเกณฑ์การออกแบบ

	เกณฑ์การออกแบบ	น้ำหนัก	ส่วนที่ใช้ในตู้ฟักแบบที่ 1 รวมกับเครื่องเติมอากาศรูปแบบต่างๆ									
			แบบที่ 1		แบบที่ 1ก		แบบที่ 1ข		แบบที่ 2		แบบที่ 2ก	
			เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน
1	ทำงานได้ตามวัตถุประสงค์	30										
	- อุณหภูมิ	10	4.0	40	4.0	40	4.0	40	4.0	40	4.0	40
	- ความชื้นสัมพัทธ์	10	4.0	40	4.0	40	4.0	40	4.0	40	4.0	40
	- การระบายอากาศ	10	4.0	40	4.0	40	4.0	40	4.0	40	4.0	40
2	ความต้องการด้านขนาด	30	4.0	120	4.0	120	4.0	120	4.0	120	4.0	120
3	ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	20	3.0	60	3.5	70	4.0	80	2.5	50	2.0	40
4	ความเชื่อมั่นของระบบ	10	4.0	40	4.0	40	4.0	40	3.5	35	3.5	35
5	การดูแลรักษา	10	4.0	40	3.5	35	3.0	30	2.0	20	3.0	30
6	ความยืดหยุ่นของระบบ	10	4.0	40	3.5	35	3.5	35	3.5	35	3.5	35
7	ความยั่งยืนของระบบ	10	2.0	20	3.5	35	4.0	40	2.5	25	3.5	35
รวม		120		440		455		465		405		415

บทที่ 5
สรุปผลการออกแบบและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการออกแบบ

งานวิจัยนี้กำหนดตู้ฟักไข่มีขนาดบรรจุ 103,680 ฟอง กว้าง 5.35 เมตร ยาว 5.35 เมตร สูง 2.48 เมตร ตั้งอยู่ในจังหวัดลพบุรี ระบบปรับอากาศสำหรับตู้ฟักไข่นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศ โดยระบบปรับอากาศที่ใช้จะเลือกระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่จะเลือกใช้แบบที่ 1 และระบบปรับอากาศส่วนส่วนเครื่องเติมอากาศจะใช้แบบที่ 1ข มาใช้ในการออกแบบ ซึ่งสามารถตัดสินได้ตามเกณฑ์การออกแบบดังนี้

1.ระบบปรับอากาศระบบนี้สามารถทำสภาวะอากาศภายในตู้ฟักไข่ได้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 36.5-38.0 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50-65%RH และรักษาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ได้อยู่ระดับที่รับได้ตามเกณฑ์การออกแบบ

2.ระบบปรับอากาศที่ออกแบบระบบนี้มีขนาดที่สามารถรักษาสภาวะอากาศภายใต้ภาวะทำความร้อนสูงสุดได้ โดยออกแบบขนาดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนได้ดังนี้

2.1 ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่

- คอยล์ร้อนขนาด 0.7 kW ทำความร้อนให้กับอากาศ
- สเปรย์น้ำ ขนาดอัตราการพ่นละอองน้ำสูงสุด 14.4 kg/hr ทำความเย็นให้กับอากาศ

2.2 ระบบปรับอากาศเครื่องเติมอากาศ

- คอยล์เย็นขนาด 14.4 kW ทำความเย็นให้กับอากาศ
- คอยล์ร้อนขนาด 7.1 kW ทำความร้อนให้กับอากาศ
- สเปรย์น้ำขนาดอัตราการพ่นละอองน้ำสูงสุด 5.8 kg/hr ทำความเย็นให้กับอากาศ

3.ระบบปรับอากาศระบบนี้มีต้นทุนอายุการใช้งานต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่นและมีค่าใช้ไฟฟ้าต่ำสุด

4.ระบบปรับอากาศนี้มีสามารถรองรับการเสียของระบบได้เนื่องจากออกแบบให้สามารถทำงานแทนส่วนอื่นได้เพื่อคงสภาวะไม่ให้ไข่เสียหายทั้งหมด

5.ระบบปรับอากาศนี้สามารถดูแลรักษาได้ง่าย เพราะมีการติดตั้งแผ่นกรองอากาศขั้นกลางในการกรองฝุ่นก่อนเข้าคอยล์ และออกแบบให้ระบบใช้คอยล์ที่ไม่มีครีบ

6.ระบบปรับอากาศระบบนี้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของภาระทำความเย็นที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตได้เนื่องมีการใช้เครื่องเติมอากาศในการจัดการสภาวะภายนอกก่อน แต่อาจมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูงเพราะมีทั้งท่อนำความร้อน และรันอะราวคอยล์ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม

7.ระบบปรับอากาศระบบนี้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีการเทคโนโลยีการประหยัดพลังงานมาใช้เช่น ท่อนำความร้อน และรันอะราวคอยล์ เพื่อลดการใช้พลังงานที่เกิดขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.สามารถลดต้นทุนของเครื่องเติมอากาศในแบบที่ 1ข ได้อีก โดยการไม่ติดตั้งสเปรย์น้ำเนื่องจากจำนวนชั่วโมงการทำงานของโซน 4, 5, 6 เท่ากับ 8.3% ของจำนวนชั่วโมงการทำงานทั้งหมด ดังนั้นในการใช้จริงจะใช้คอยล์ร้อนและคอยล์เย็นในการปรับอากาศเท่านั้นแล้วจะปล่อยเข้าสู่ตู้ฟักไข่โดยปรับปริมาณการระบายอากาศให้มากขึ้นตามความเหมาะสม

2.ในการใช้งานจริงระบบปรับอากาศนี้สามารถควรปรับสภาวะอากาศของลมจ่ายในตู้ฟักไข่เพื่อให้อุณหภูมิที่เปลือกไข่อยู่ที่สภาวะ 37.7 $^\circ C$ เพื่อให้อยู่สภาวะที่ดีที่สุดในการฟักเพื่อให้ได้ลูกไก่ที่มีคุณภาพ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชาญวิทย์ อุดมศักดิกุล. การพัฒนาเครื่องฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2554.

ทวีศักดิ์ เข็มพิลาและพุทธบวร ลาแอ้น. การศึกษาและพัฒนาตู้ฟักไข่นกกระทาสำหรับเกษตรกรรายย่อย. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2547.

พงศ์สวัสดิ์ สวัสดิภาพ. การพัฒนาเครื่องฟักไข่โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

พร เรศานนท์. การหาประสิทธิภาพของเครื่องฟักไข่แบบเกษตรสุวรรณขนาด 70 ฟอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2494.

ไพโรจน์ รัตนางกูร. การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้คาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วีระวัฒน์ พีระวณิชกุล. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในตู้ฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

สันต์ สลัดยะนันท์. การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับตู้ฟักไข่ใช้เชื้อเพลิงที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.

อัศนัย ปทุมมิน. การพัฒนาเครื่องฟักไข่โดยใช้ระบบน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2550.

ภาษาอังกฤษ

Bukola, O. B. Design and performance evaluation of a solar poultry egg incubator. Thammasat Int. J. Sc. Tech. 13 (2008): 47-55.

Freeman, B. M. and Vince, M. A. Development of the Avian Embryo. New York: Wiley, 1974.

French, N. A., Modeling incubation temperature: the effects of incubator design, embryonic development, and egg size. Poultry. Sci. 76 (1997): 124-133.

Lourens, A., Brand H. V., Meijerhof R., Kemp B. Effects of eggshell temperature during incubation on embryo development hatchability and post-hatch development. Poultry. Sci. (2005): 914-920.

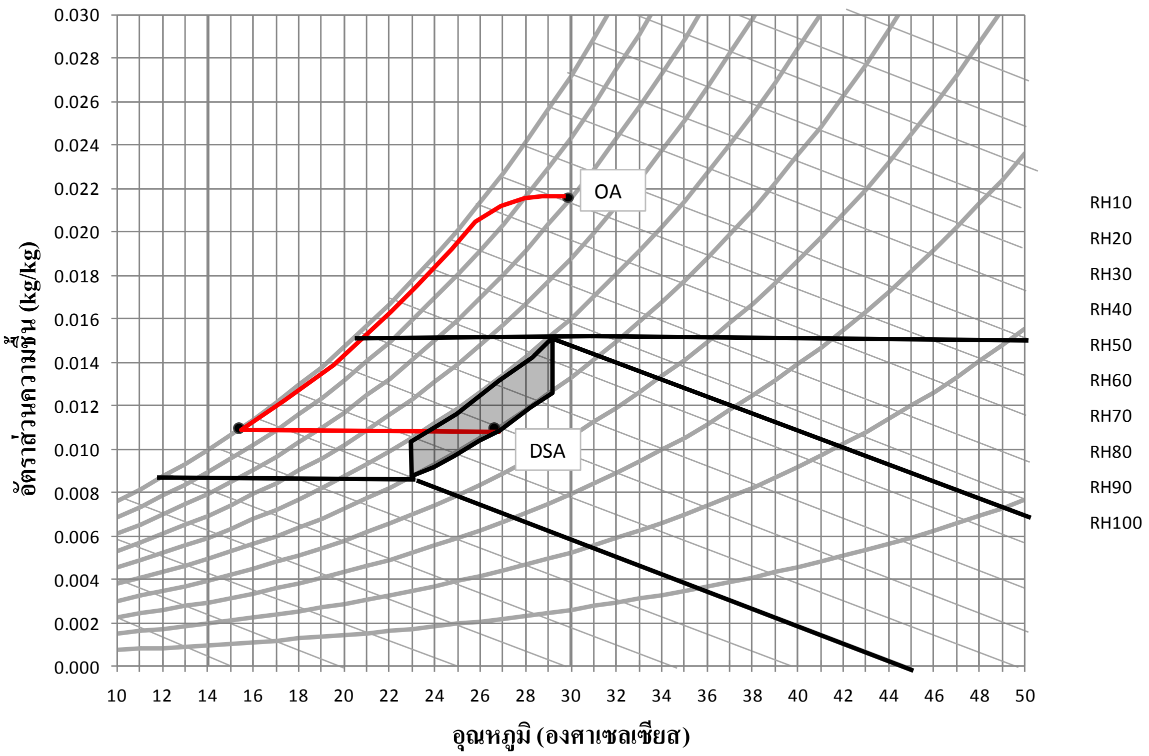
Mack O. North. Commercial chicken production manual. Third Edition. AVI Pub. Co., 1984.

Owen, J. Avian Incubation S. G. Tullett (ed.), Principles and problems of incubator design, pp.205-226. London UK : Butterworth-Heinemann, 1991.

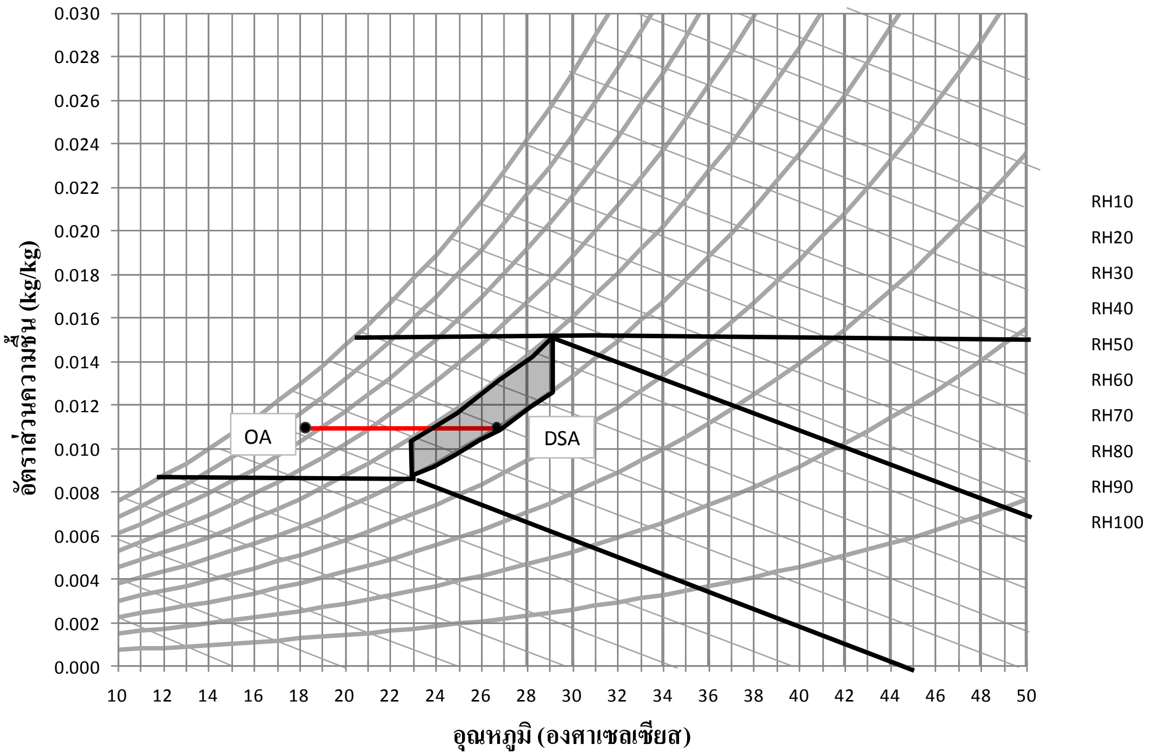
Romijn, C., and W. Lokhorst. Foetal heat production in the fowl. J. Physiol. 150 (1960): 239-249.

ภาคผนวก

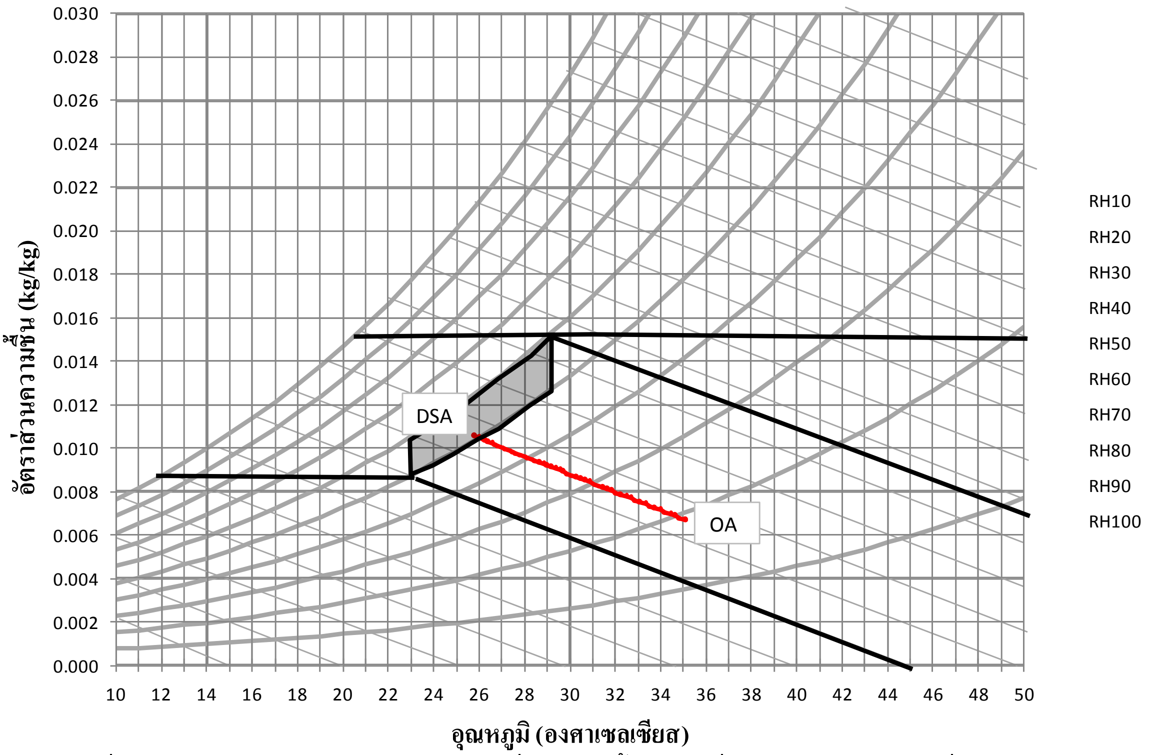
ภาคผนวก ก



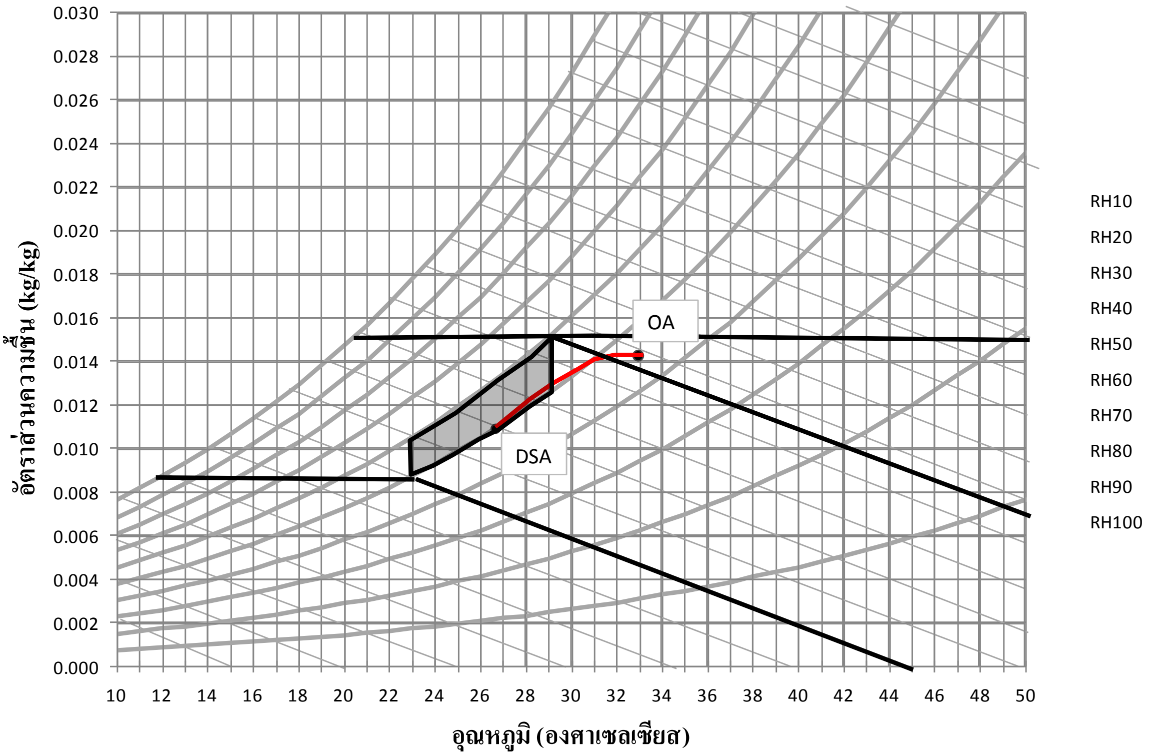
ภาพที่ ก.1 กระบวนการทำความเย็นและให้ความร้อนใหม่ของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1



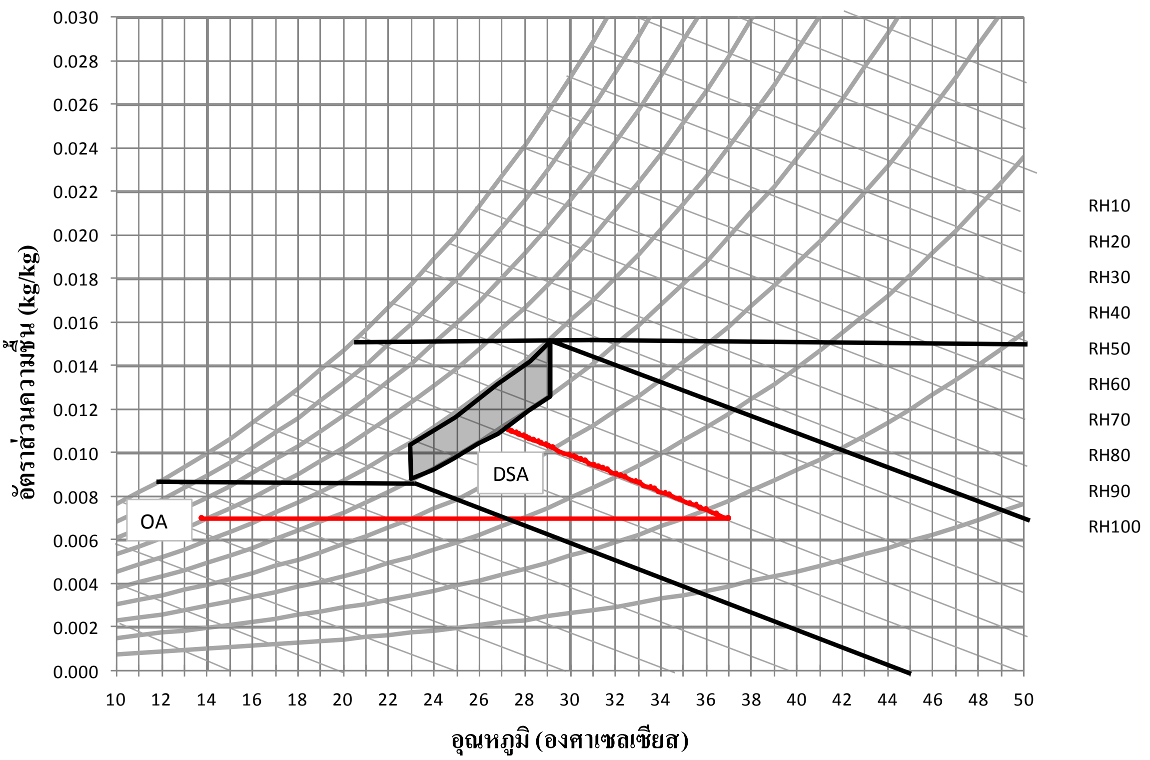
ภาพที่ ก.2 กระบวนการทำความร้อนของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1



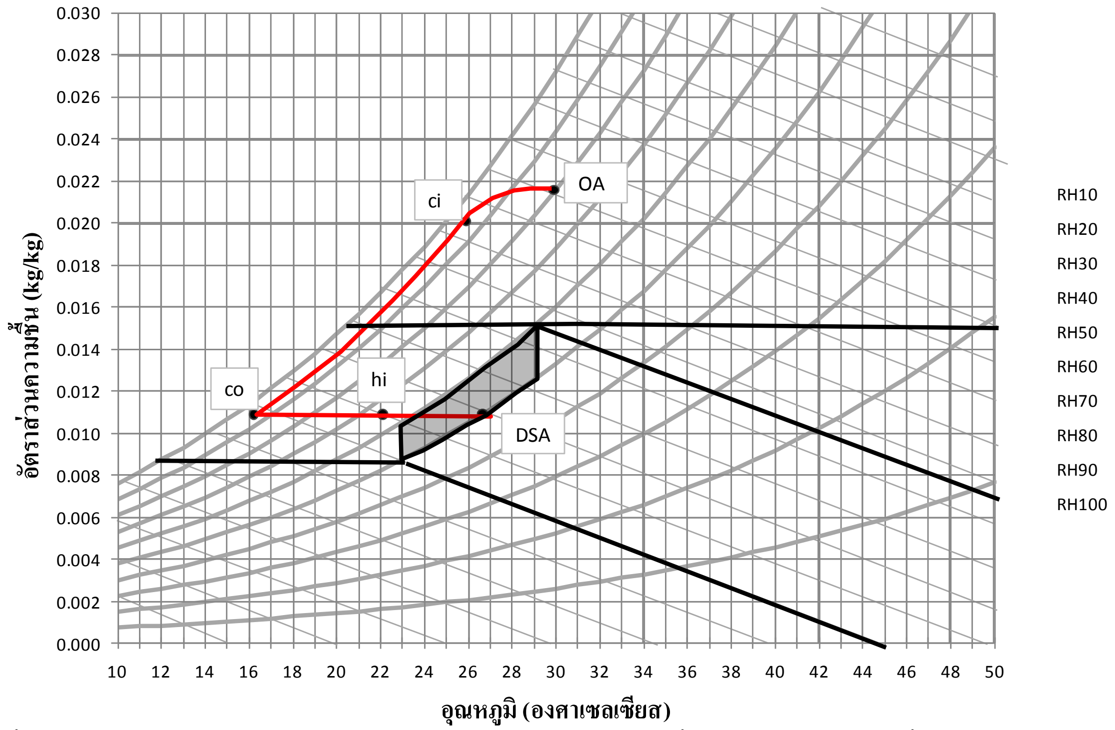
ภาพที่ ก.3 กระบวนการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1



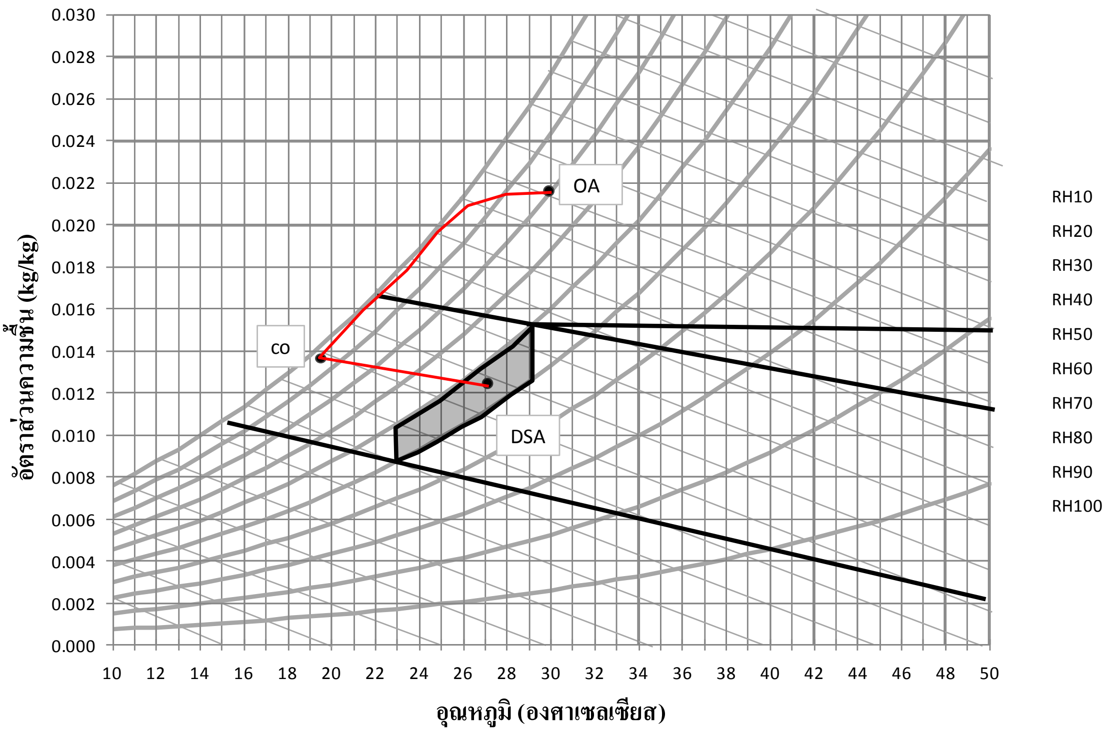
ภาพที่ ก.4 กระบวนการทำความเย็นและลดความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1



ภาพที่ ก.5 กระบวนการทำความร้อนแล้วทำความเย็นและเพิ่มความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1

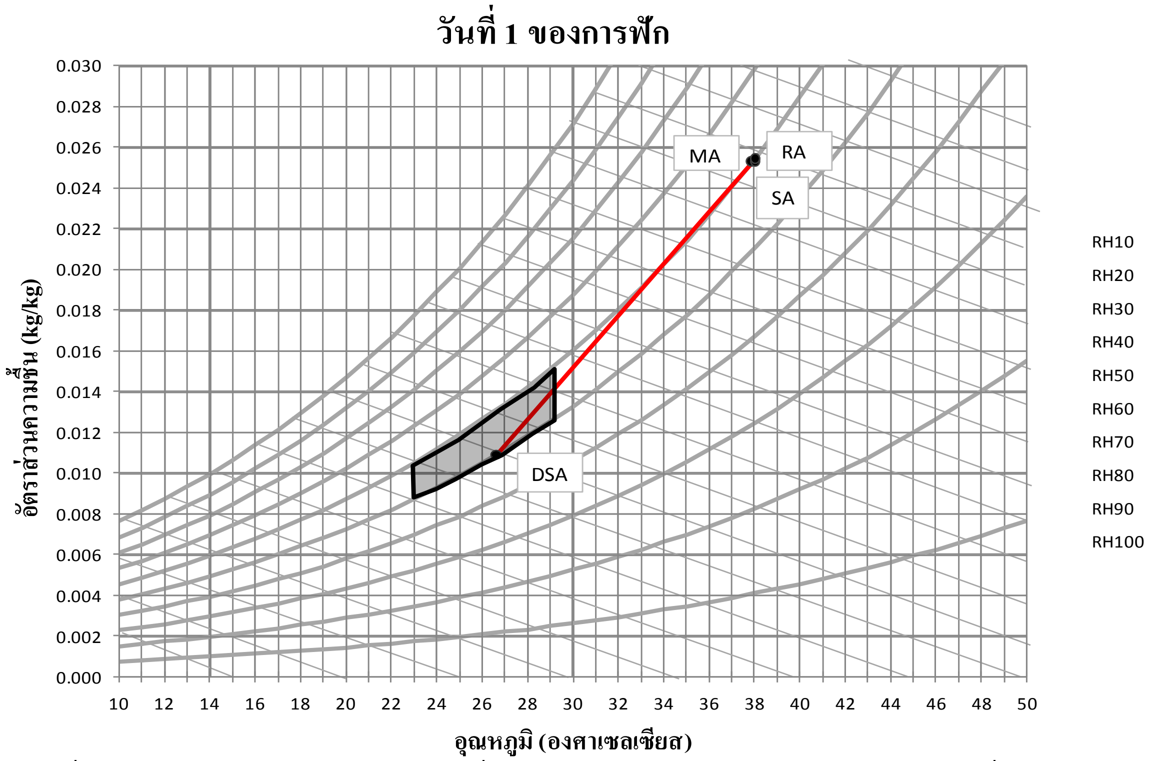


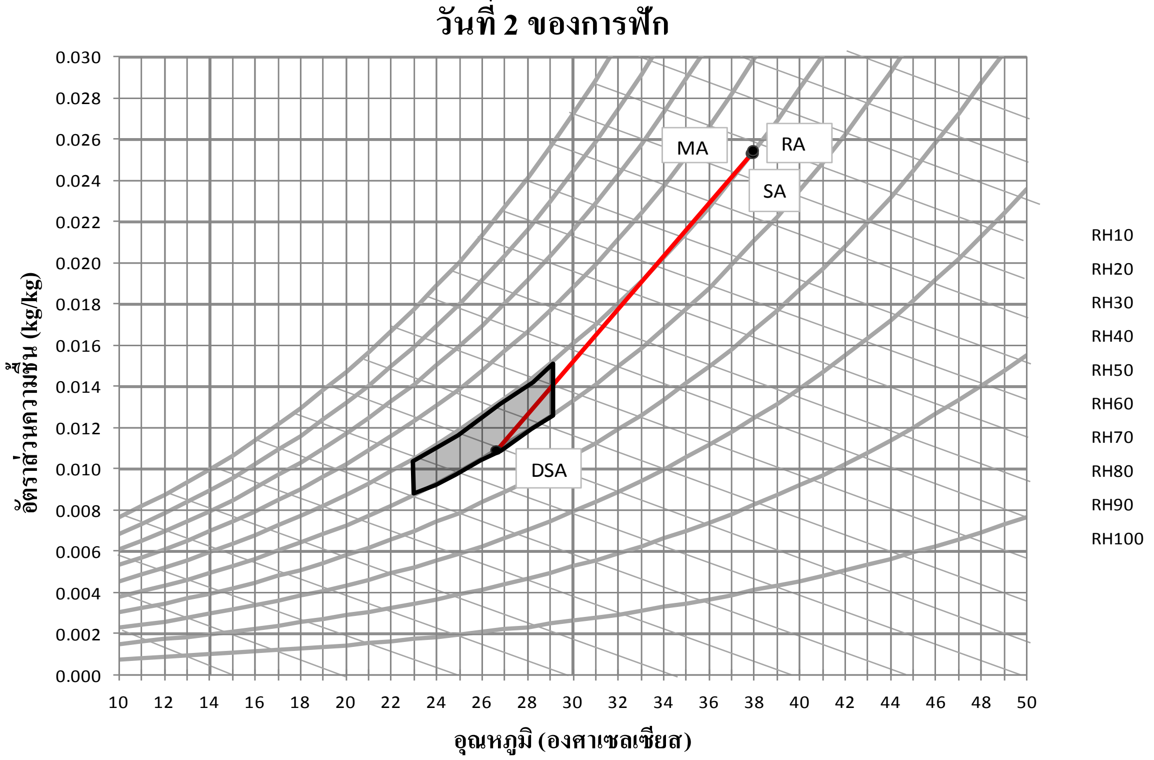
ภาพที่ ก.6 กระบวนการทำความเย็นและให้ความร้อนใหม่ของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก และ 1ข



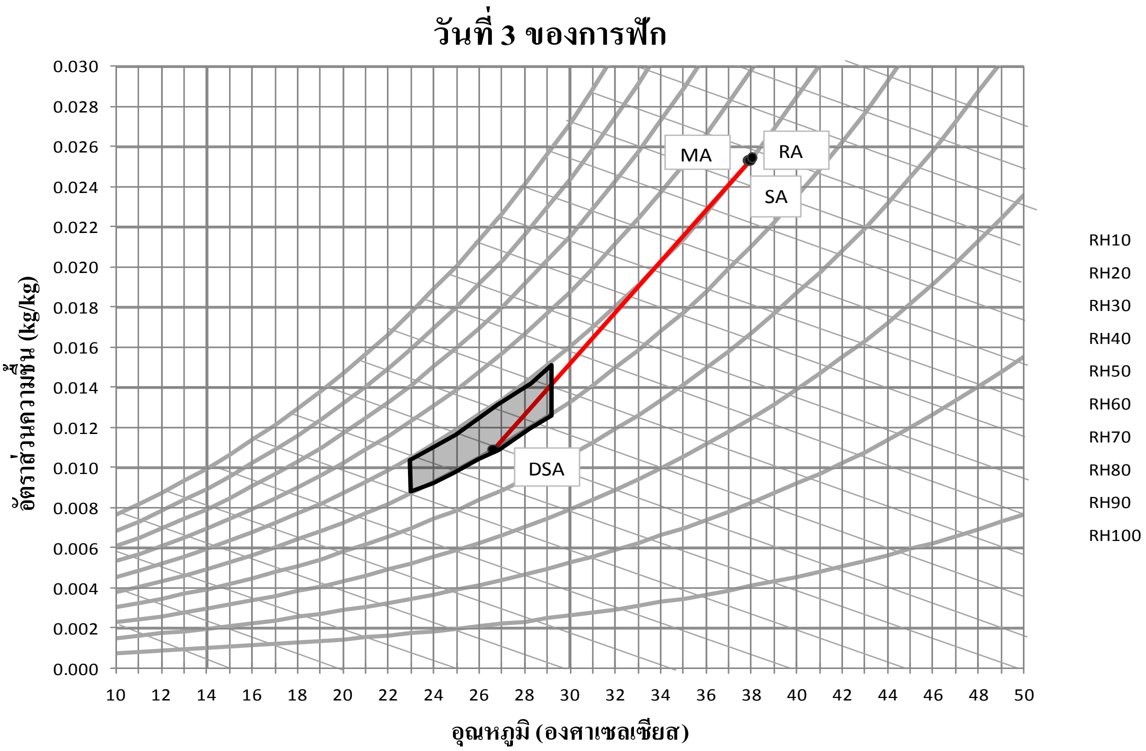
ภาพที่ ก.7 กระบวนการทำความเย็นและดูดความชื้นของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 และ 2ก

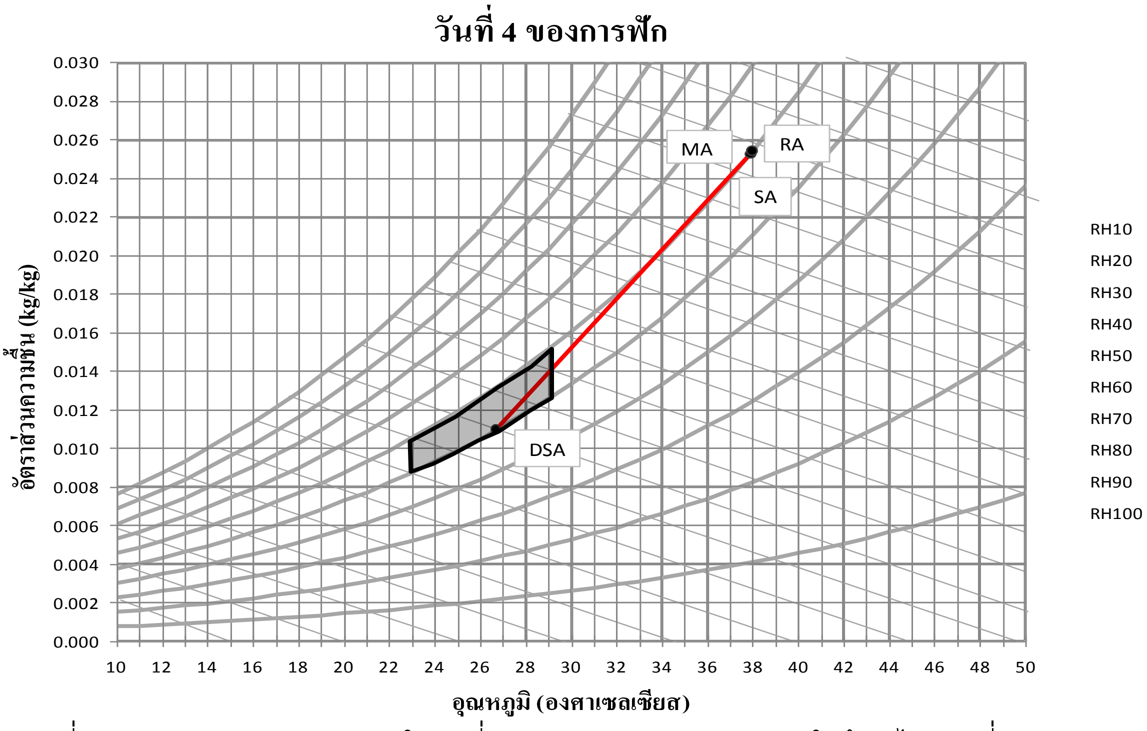
ภาคผนวก ข



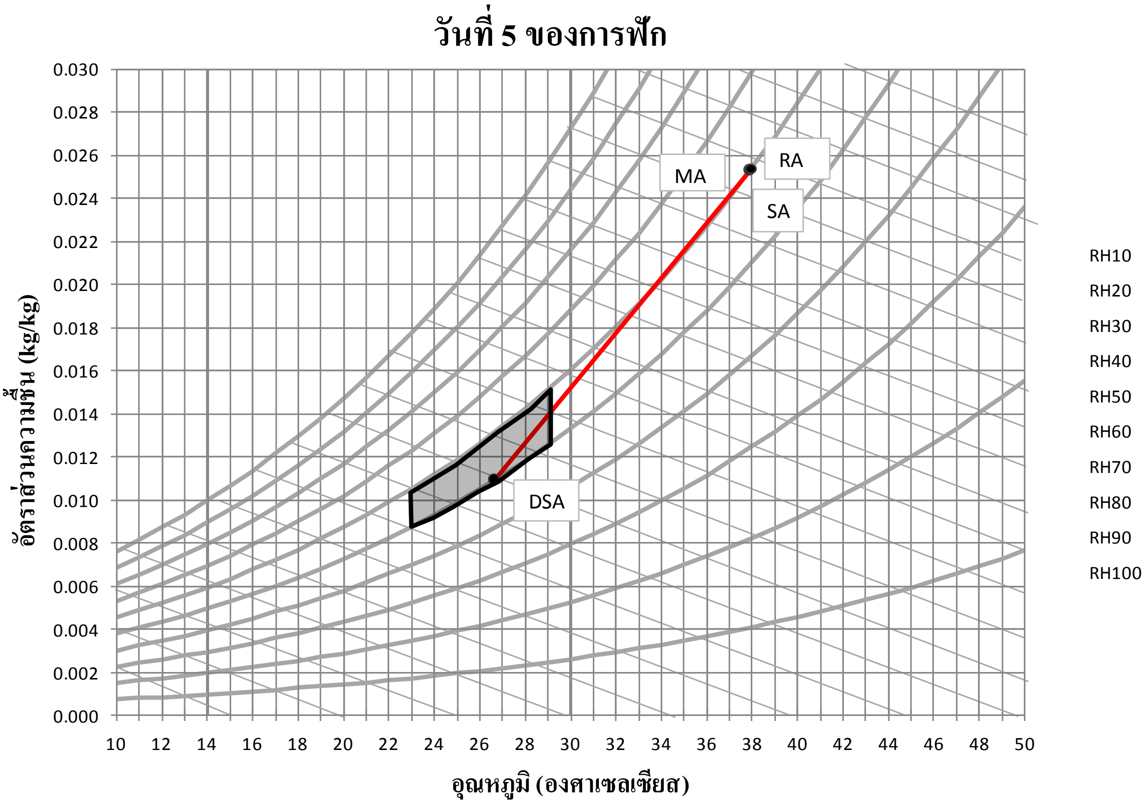


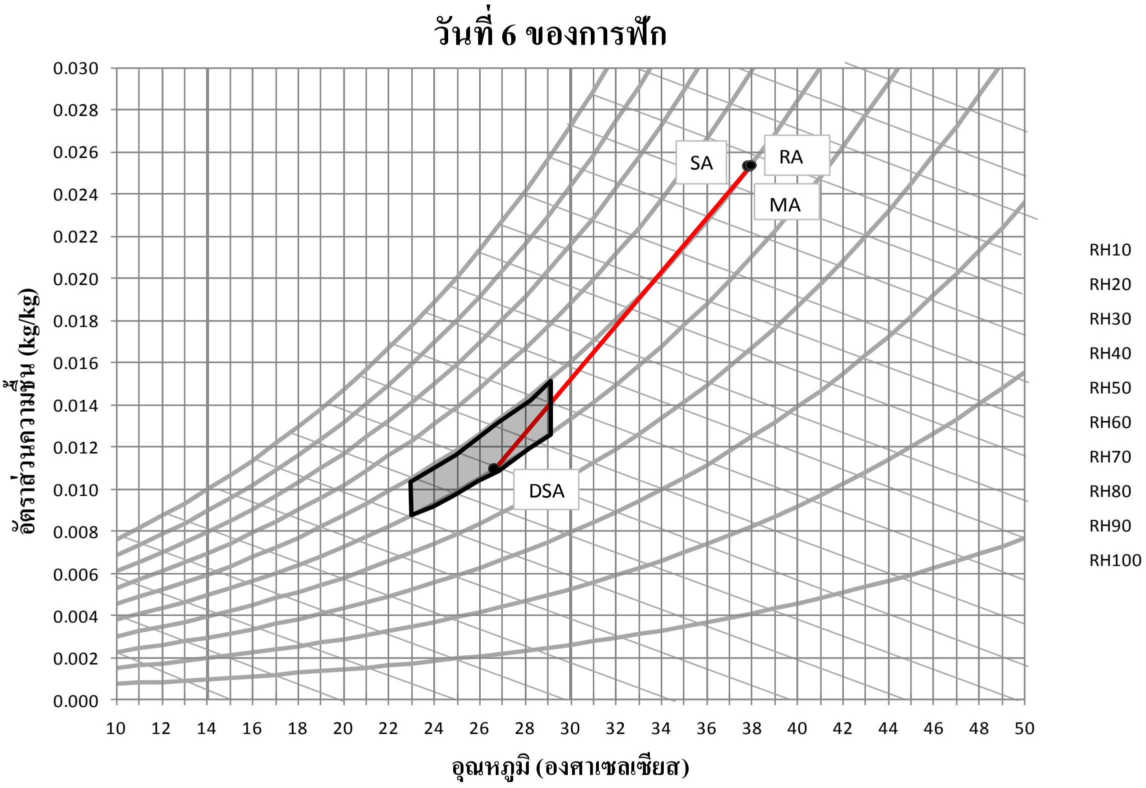
ภาพที่ ข.2 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 2 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



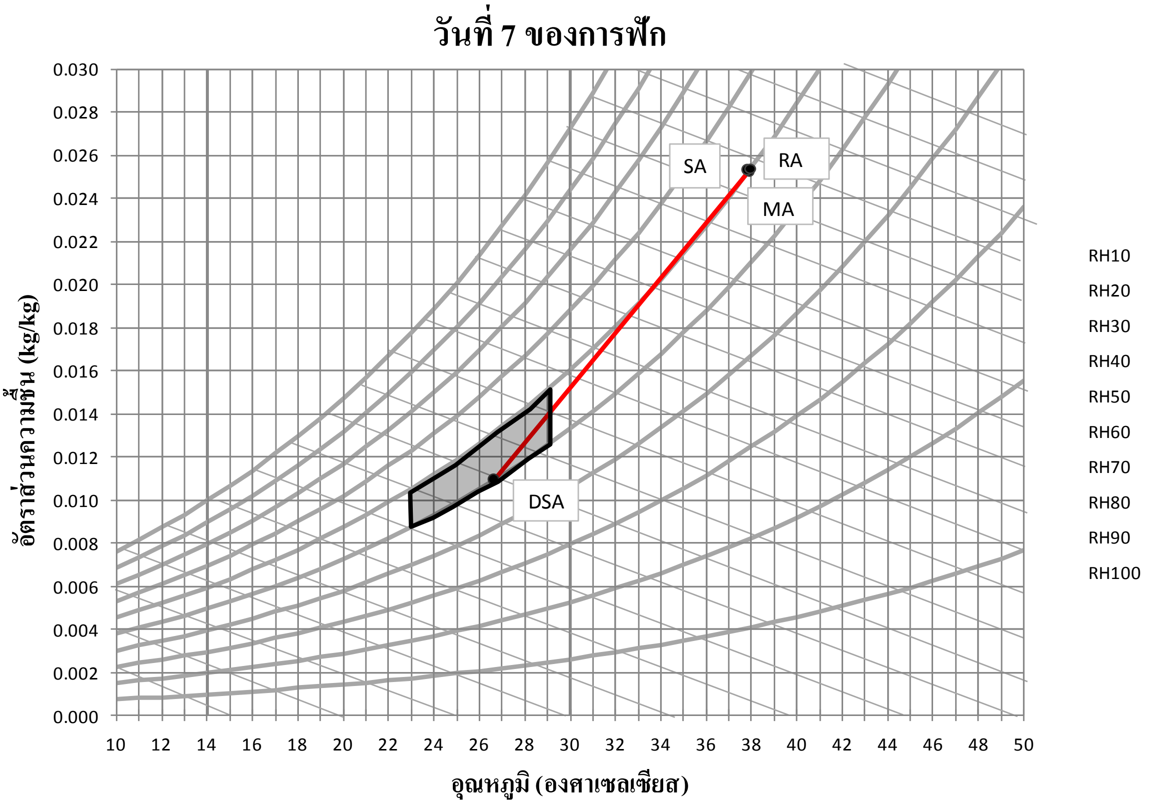


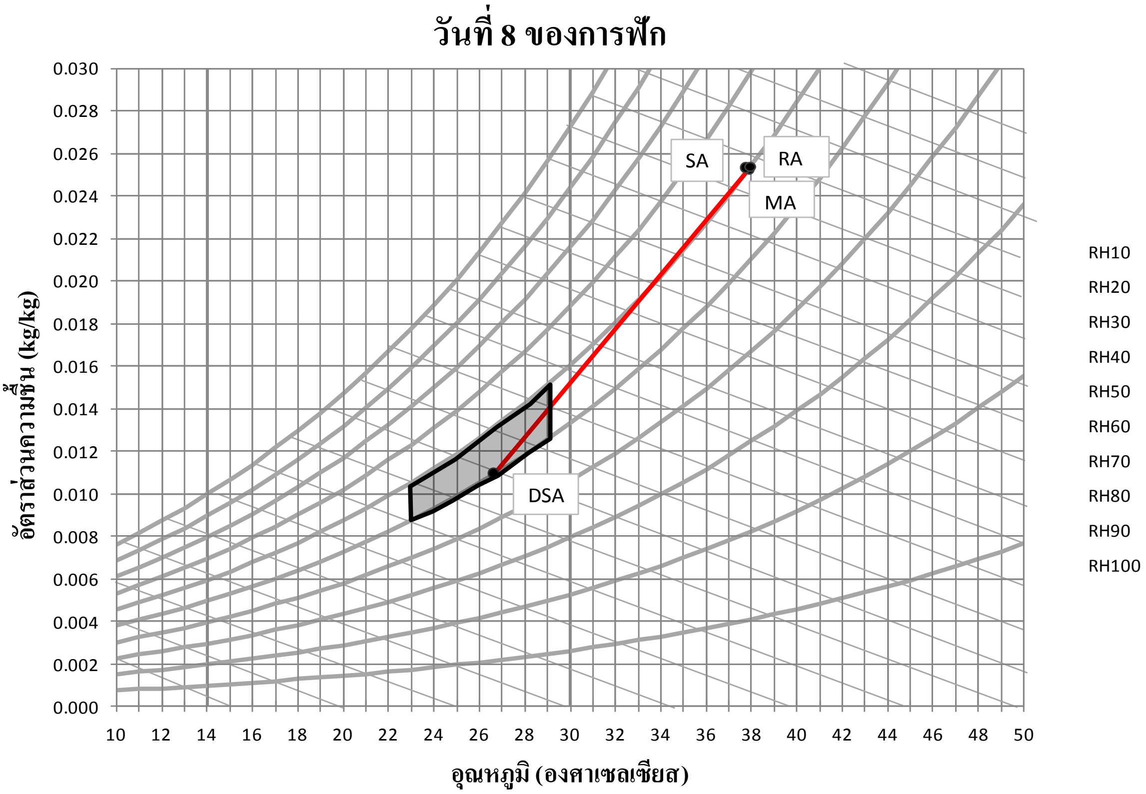
ภาพที่ ข.4 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 4 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



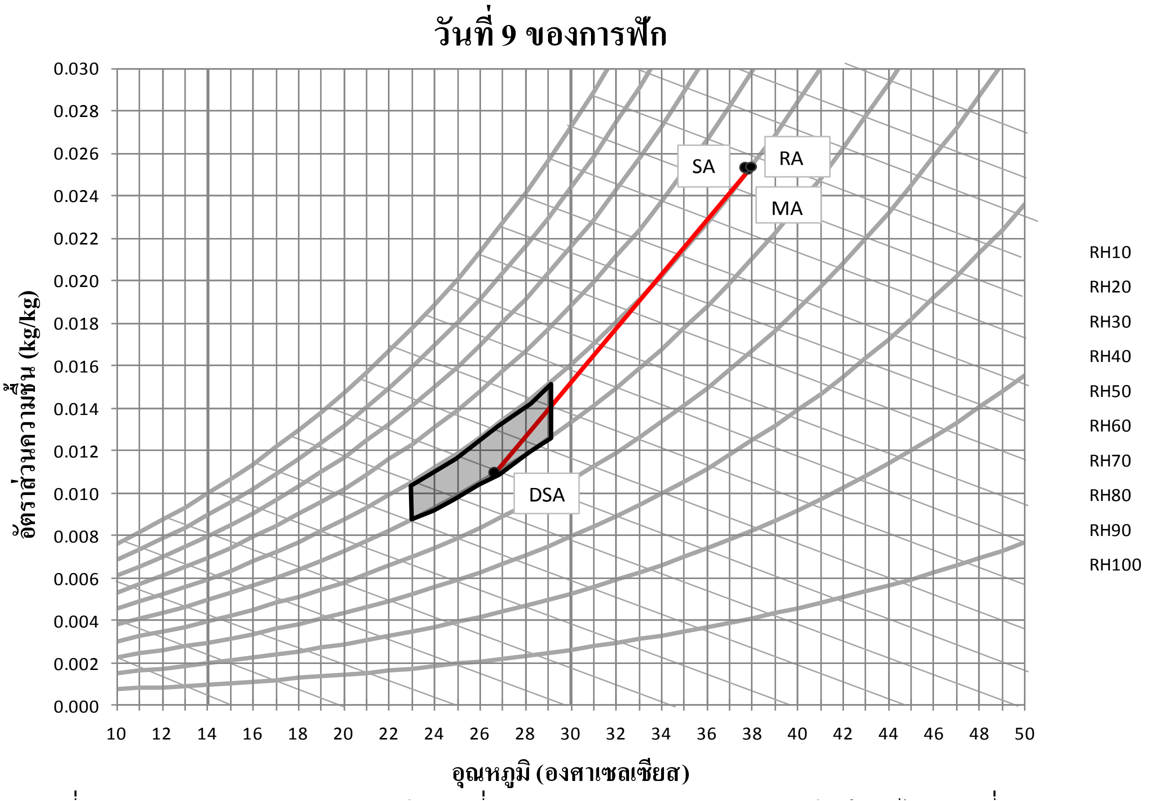


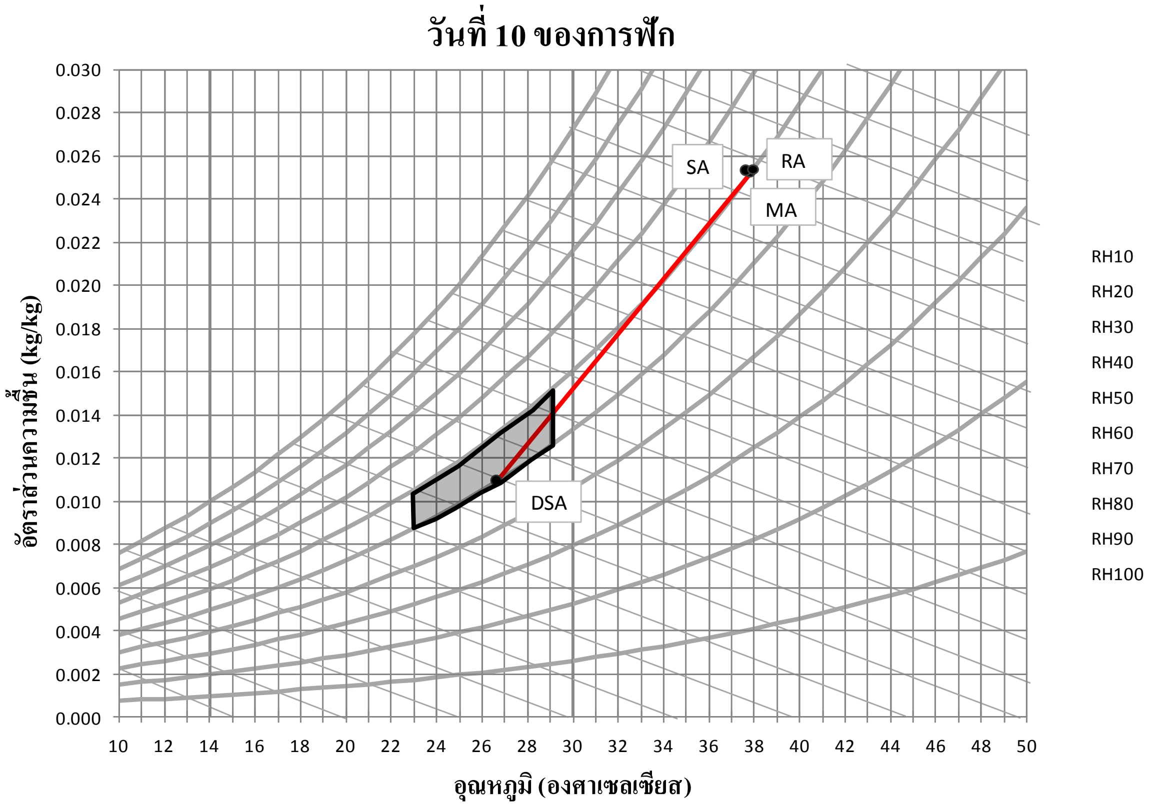
ภาพที่ ข.6 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 6 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



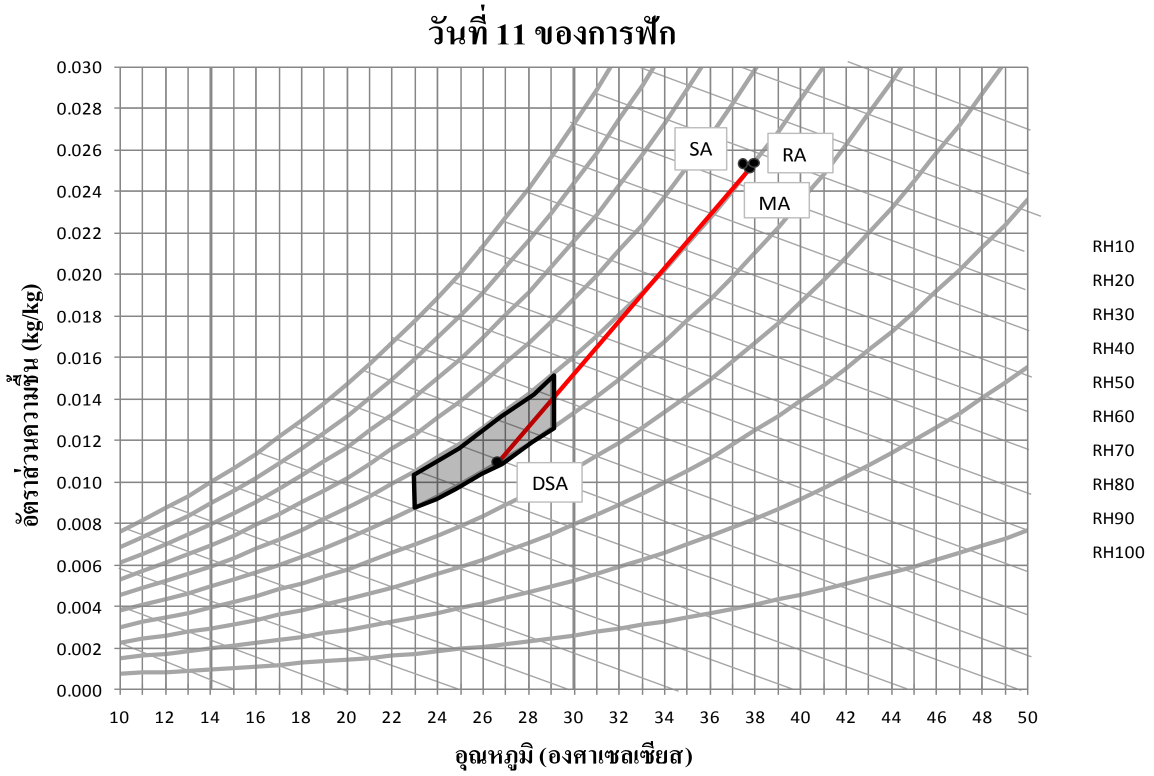


ภาพที่ ข.8 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 8 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1

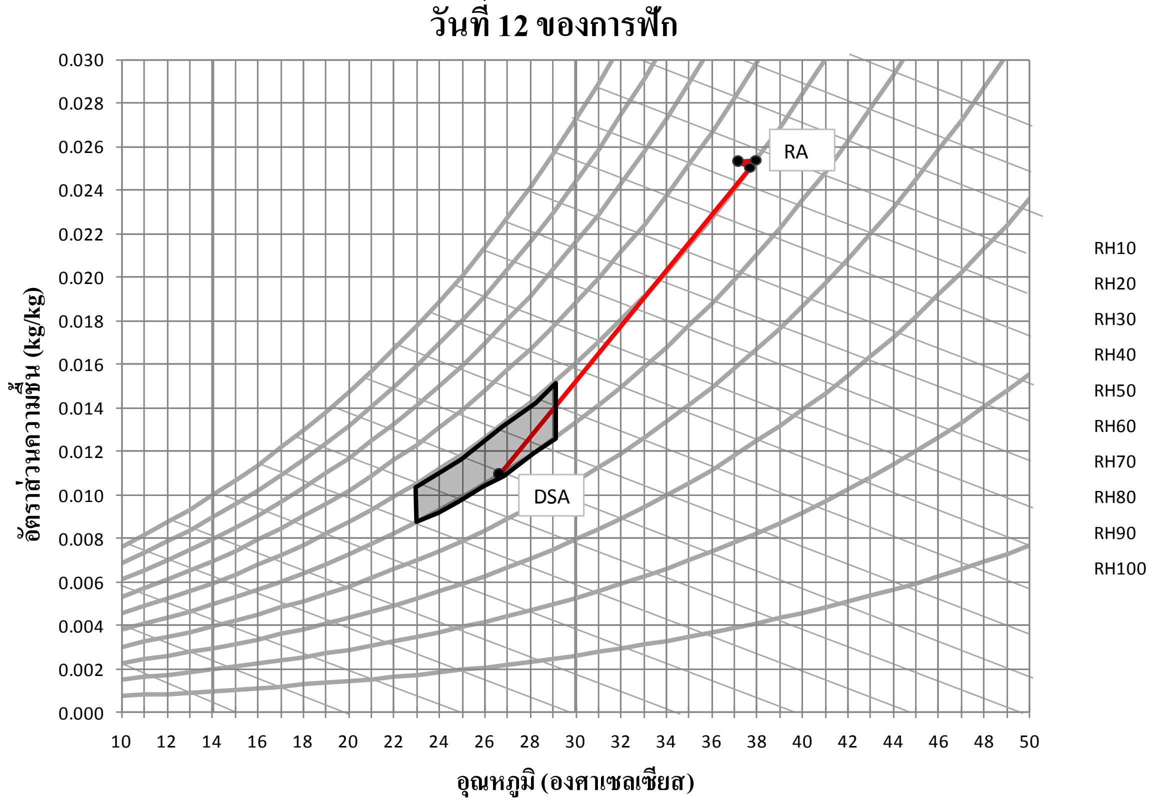




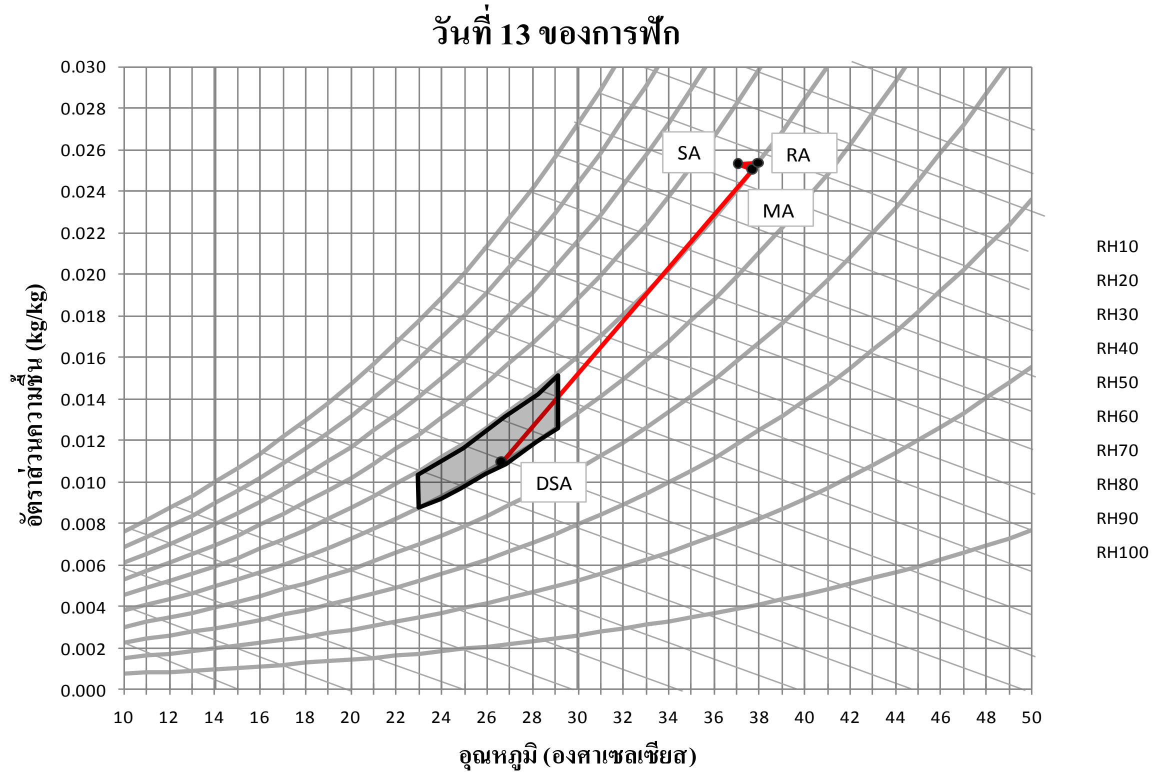
ภาพที่ ข.10 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 10 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



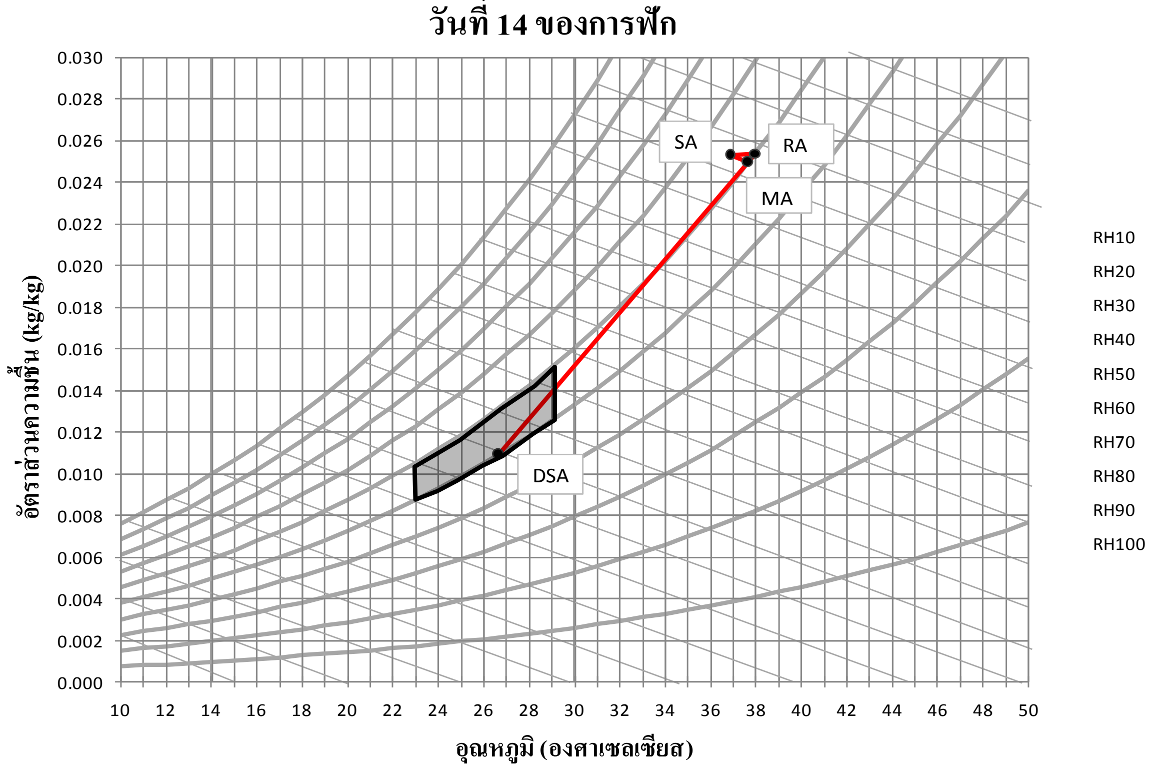
ภาพที่ ข.11 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 11 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



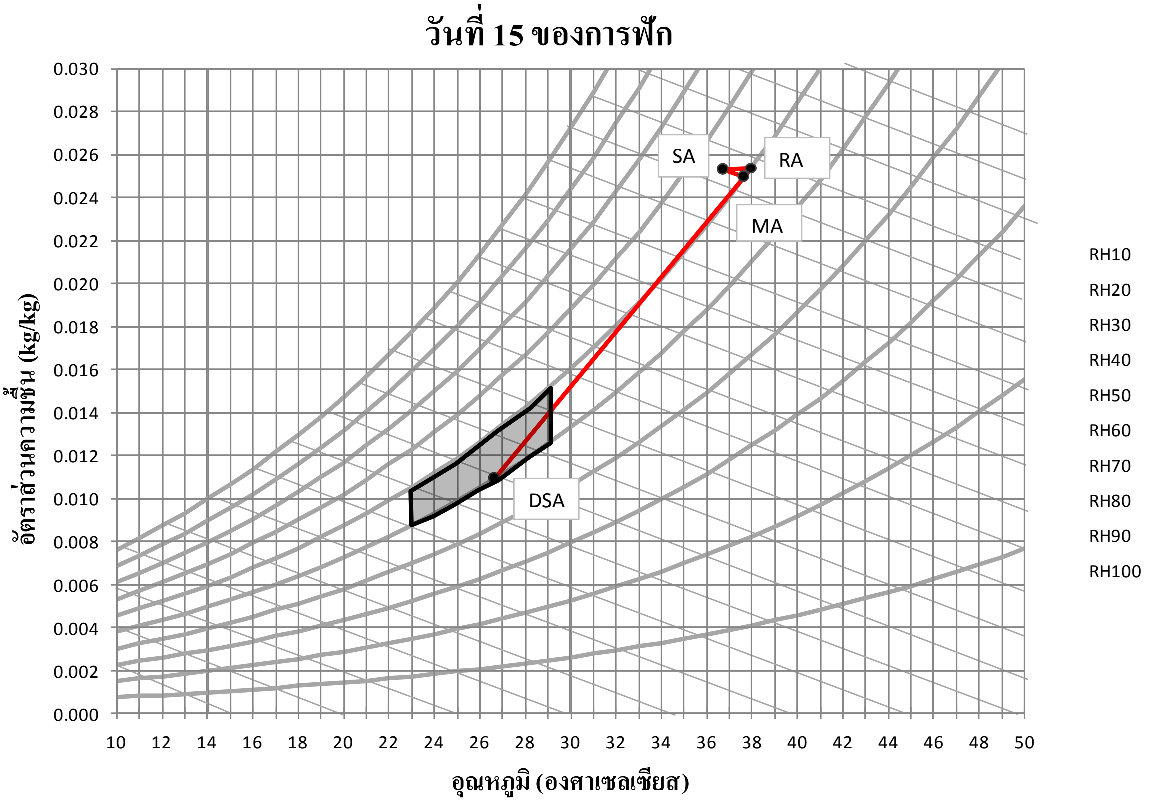
ภาพที่ ข.12 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 12 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



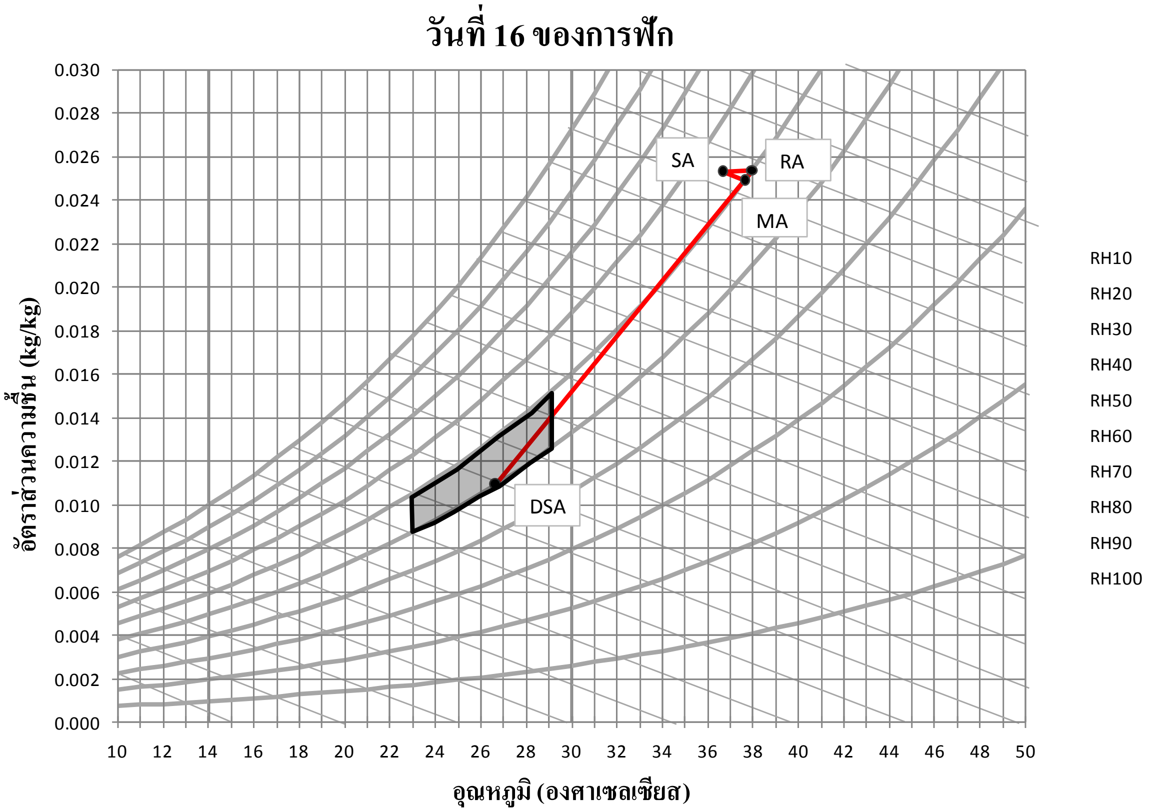
ภาพที่ ข.13 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 13 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



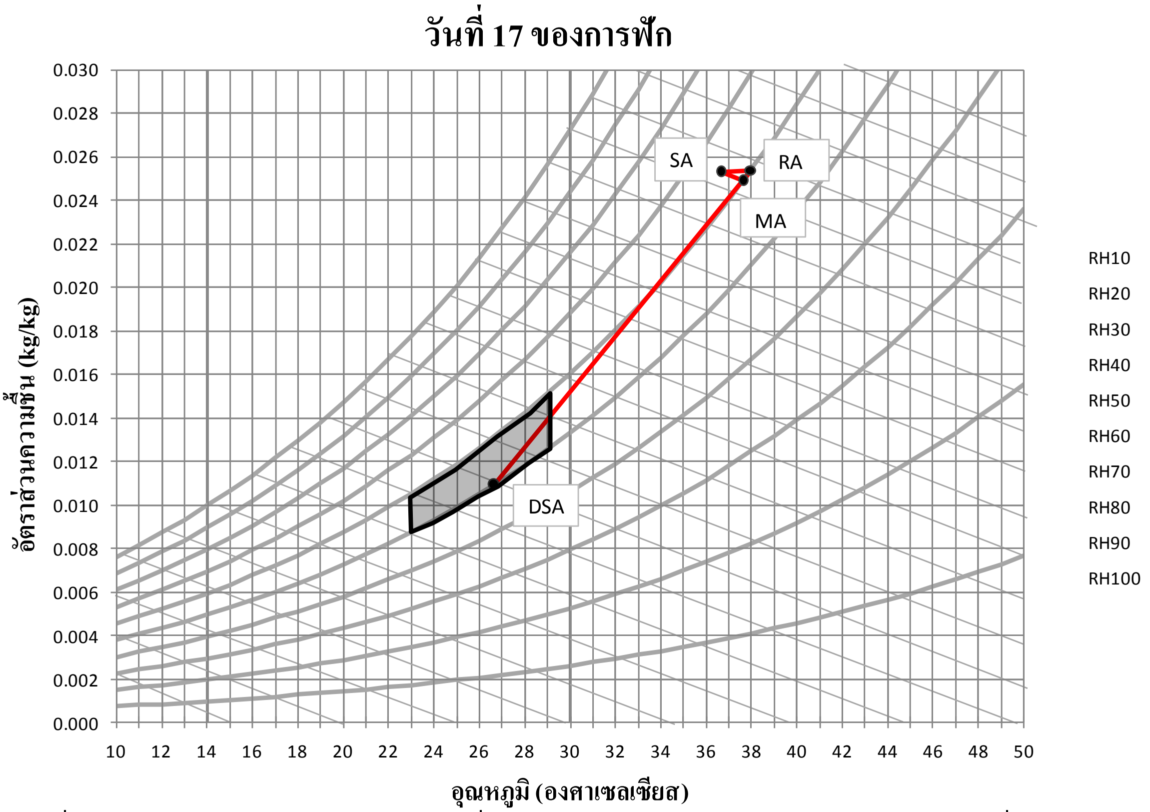
ภาพที่ ข.14 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 14 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



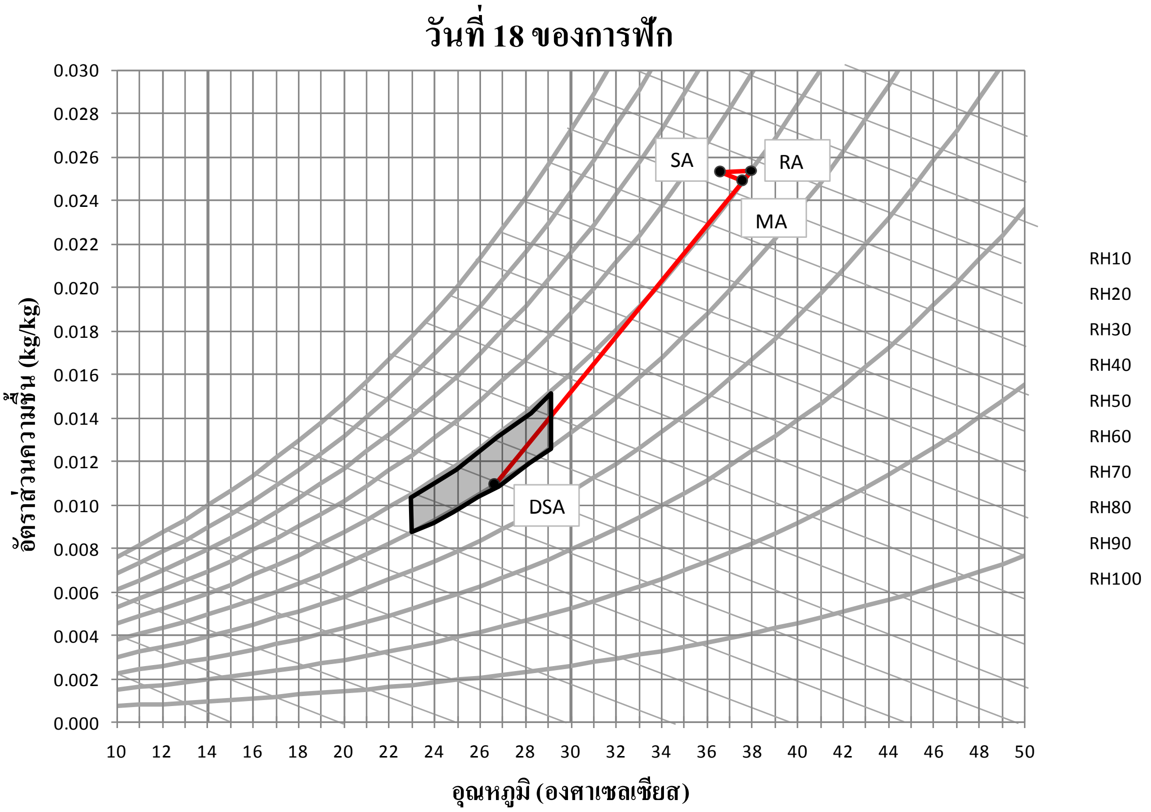
ภาพที่ ข.15 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 15 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



ภาพที่ ข.16 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 16 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



ภาพที่ ข.17การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 17 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1



ภาพที่ ข.18 การรักษาสภาวะอากาศในวันที่ 18 ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างการคำนวณการสภาวะลมจ่ายภายในตู้ฟักไข่เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^{\circ}C$ และ 50%RH ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1

วัน	ปริมาณอากาศ	ปริมาณการระบาย	ลมจ่าย				อากาศผสม				กระบวนการปรับอากาศ
			T	RH	w	h	T	%RH	w	h	
	m^3/hr	m^3/hr	C	%	kg/kg	KJ/Kg	C	%	kg/kg	KJ/Kg	
1	25,000	188	38.0	59.8	0.02531	103.27	37.9	60.0	0.02531	103.19	ทำความร้อน
2	25,000	188	38.0	59.8	0.02531	103.25	37.9	60.0	0.02531	103.19	ทำความร้อน
3	25,000	188	38.0	59.9	0.02531	103.23	37.9	60.0	0.02531	103.19	ทำความร้อน
4	25,000	188	37.9	60.0	0.02531	103.20	37.9	60.0	0.02531	103.19	ทำความร้อน
5	25,000	191	37.9	60.0	0.02531	103.18	37.9	60.0	0.02531	103.18	สเปรย์น้ำ
6	25,000	207	37.9	60.1	0.02531	103.15	37.9	60.0	0.02530	103.15	สเปรย์น้ำ
7	25,000	223	37.9	60.2	0.02531	103.12	37.9	60.0	0.02529	103.12	สเปรย์น้ำ
8	25,000	239	37.8	60.3	0.02531	103.09	37.9	60.0	0.02528	103.09	สเปรย์น้ำ
9	25,000	287	37.7	60.6	0.02531	102.99	37.9	60.0	0.02526	102.99	สเปรย์น้ำ
10	25,000	319	37.7	60.8	0.02531	102.93	37.9	60.0	0.02524	102.93	สเปรย์น้ำ
11	25,000	446	37.4	61.6	0.02531	102.68	37.8	60.1	0.02516	102.68	สเปรย์น้ำ
12	25,000	574	37.2	62.4	0.02531	102.43	37.7	60.1	0.02509	102.43	สเปรย์น้ำ
13	30,000	749	37.1	62.9	0.02533	102.33	37.7	60.1	0.02506	102.33	สเปรย์น้ำ
14	30,000	877	36.9	63.6	0.02533	102.13	37.7	60.1	0.02500	102.13	สเปรย์น้ำ
15	30,000	940	36.8	63.9	0.02533	102.02	37.7	60.1	0.02497	102.02	สเปรย์น้ำ
16	30,000	1004	36.7	64.3	0.02533	101.92	37.6	60.1	0.02494	101.92	สเปรย์น้ำ
17	30,000	1004	36.7	64.3	0.02533	101.92	37.6	60.1	0.02494	101.92	สเปรย์น้ำ
18	30,000	1036	36.6	64.5	0.02533	101.87	37.6	60.1	0.02492	101.87	สเปรย์น้ำ

ตารางที่ ข.2 การเปรียบเทียบปริมาณการระบายอากาศที่นำเข้าตู้ฟักไข่กับปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำภายใต้เงื่อนไข DSA ที่ 26.7 $^{\circ}C$ และ 50%RH ของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1

วัน	ปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำที่ใช้ CO2 เป็นเกณฑ์	ปริมาณการระบายอากาศที่เผื่อ 0.5%	ปริมาณการระบายอากาศ
	(m^3/hr/103680egg)	(m^3/hr/103680egg)	m^3/hr
1	4	129	188
2	5	130	188
3	5	130	188
4	13	138	188
5	15	140	191
6	17	142	207
7	26	151	223
8	33	158	239
9	45	170	287
10	61	186	319
11	91	216	446
12	151	276	574
13	205	355	749
14	276	426	877
15	292	442	940
16	316	466	1004
17	351	501	1004
18	346	496	1036

ภาคผนวก ค
รายการส่วนประกอบของอุปกรณ์ในการปรับอากาศ

ตารางที่ ค.1 รายการส่วนประกอบของคอยล์เย็นและร้อนของเครื่องเติมอากาศ

รายการส่วนประกอบของคอยล์ยี่ห้อ SPC			
คอยล์เย็น		คอยล์ร้อน	
FLUID SIDE DATA			
Fluid On Temperature (°C)	6	Fluid On Temperature(°C)	82
Fluid Off Temperature (°C)	12	Fluid Off Temperature(°C)	71
Fluid Flow Rate (l/s)	0.53	Fluid Flow Rate (l/s)	0.18
Glycol (EGS) (%)	0	Glycol (EGS) (%)	0
Max Fluid Pressure Drop (kPa)	50	Max Fluid Pressure Drop (kPa)	20
Actual Fluid Pressure Drop (kPa)	23.3	Actual Fluid Pressure Drop (kPa)	1.1
PHYSICAL COIL DATA			
Fin Material and Type	Aluminium 0.25 louvre	Fin Material and Type	Aluminium 0.25 louvre
Coil Type	Water	Coil Type	Water
Tube Diameter	12mm	Tube Diameter	12mm
Tubes High	8	Tubes High	8
Finned Height (mm)	308	Finned Height (mm)	308
Finned Length (mm)	610	Finned Length (mm)	610
Fin Density (FPI) (Fixed)	0	Fin Density (FPI) (Fixed)	0
Circuit Type (Optimise)	H	Circuit Type (Optimise)	H
Number Sections	1	Number Sections	1
Surface Margin	1	Surface Margin	1
Number Rows	3	Number Rows	1
Moisture Carryover	Unlikely	Moisture Carryover	-
Number Sets of Connections	1	Number Sets of Connections	1
Inlet Connection Size (Calculate)	1 inch	Inlet Connection Size (Calculate)	15mm
Outlet Connection Size (Calculate)	1 inch	Outlet Connection Size (Calculate)	15mm
Duty Margin	1.1	Duty Margin	1.01
Coil Code	12WH8.2-12Tx1000		

ตารางที่ ค.2 รายการส่วนประกอบของรันอะราวคอยล์

รายการส่วนประกอบของรันอะราวคอยล์ยี่ห้อ SPC			
Effectiveness (%)	37		
Duty (kW)	2		
FLUID SIDE DATA:			
Fluid T1 (°C)	27.6		
Fluid T2 (°C)	30.4		
Flow Rate (l/s)	0.2		
Glycol (%)	0		
EXTRACT COIL		SUPPLY COIL	
Fin Type	Aluminium 0.25 louvre	Fin Type	Aluminium 0.25 louvre
Tube Diameter (mm)	12	Tube Diameter (mm)	12
Tubes High (mm)	8	Tubes High (mm)	8
Finned Height (mm)	308	Finned Height (mm)	308
Finned Length (mm)	610	Finned Length (mm)	610
No Of Sections	1	No Of Sections	1
No Of Rows	6	No Of Rows	6
Pressure Drop (Pa)	21.4	Pressure Drop (Pa)	21
FPI	4	FPI	4
Circuit Type	H	Circuit Type	H
Coil Code	12WH4.6-8Tx610	Coil Code	12WH4.6-8Tx610
FLUID PRESSURE DROP			
Extract (kPa)	5.2	Supply (kPa)	5.2

ตารางที่ ค.3 รายการส่วนประกอบของสเปรย์น้ำที่ใช้ในระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศ

รายการส่วนประกอบของสเปรย์น้ำยี่ห้อ microfog **รุ่น** H310	
Power supply	AC 220 V, 50 Hz Single-phase
Power consumption	310VA
Atomizing mass	5.5(L/H)
Humidifying element	10
Water quality	
Dimension	30*45*25 cm
PVC Pipe	2½ inc * 2
Weight (Kg)	7.5
Cooling method	Water cooled
Operating water temperature range (°C)	0 < 50
Water supply pressure	3-5 bar
Transducer element life (h)*	5000
Adjustable mist volume	option
Control input terminal	option
Adjustable wind volume	option
Other	Automatic water supply, water level sensor, Drain piping, Overflow piping
Model	TH10

ตารางที่ ค.4 รายการส่วนประกอบของท่อนำความร้อน

รายการส่วนประกอบของท่อนำความร้อนยี่ห้อ SPC	
Air Flow Rate (m3/s)	0.29
Coil Height (mm)	308
Coil Width (mm)	610
Air Velocity (m/s)	0.63
Barometric Pressure (kPa)	101.33
Fin Material	Aluminium
Fin Type	Louvre
Rows	2
FPI	8
Effectiveness (%)	43.4
Pressure Drop (Pa)	10

ตารางที่ ค.5 รายการส่วนประกอบของแผ่นกรองขั้นต้น

รายการส่วนประกอบของแผ่นกรองขั้นต้นยี่ห้อ amair	
Nomianl sizes (W x H x D)	305 x 610 x25 (mm x mm x mm)
Gross media area (Sq.m)	0.35
Rated airflow capacity (CMH)	1020
Face air velocity (m/s)	1.52
Rated initial resistance (Pa)	50
Rated average efficiency (%)	25-30
Pleats per lineal foot	14

ตารางที่ ค.6 รายการส่วนประกอบของแผ่นกรองขั้นกลาง

รายการส่วนประกอบของแผ่นกรองขั้นกลางยี่ห้อ dripak 2000	
Nomianl sizes (W x H x D)	305 x 610 x 525 (mm x mm x mm)
Gross media area (Sq.m)	1.98
Rated airflow capacity (CMH)	1275
Face air velocity (m/s)	1.91
Rated initial resistance (Pa)	250
Rated average efficiency (%)	37 (MERV 14)
Pocket per filter	3

ตารางที่ ค.7 รายการส่วนประกอบของคอยล์ร้อนของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่

รายการส่วนประกอบของคอยล์ร้อนยี่ห้อ SPC	
FLUID SIDE DATA	
Fluid On Temperature(°C)	82
Fluid Off Temperature(°C)	71
Fluid Flow Rate (l/s)	0.18
Glycol (EGS) (%)	0
Max Fluid Pressure Drop (kPa)	20
Actual Fluid Pressure Drop (kPa)	1.1
PHYSICAL COIL DATA	
Fin Material and Type	Aluminium 0.25 louvre
Coil Type	Water
Tube Diameter	12mm
Tubes High	8
Finned Height (mm)	308
Finned Length (mm)	610
Fin Density (FPI) (Fixed)	0
Circuit Type (Optimise)	H
Number Sections	1
Surface Margin	1
Number Rows	1
Moisture Carryover	-
Number Sets of Connections	1
Inlet Connection Size (Calculate)	15mm
Outlet Connection Size (Calculate)	15mm
Duty Margin	1.01

ภาคผนวก ง
ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับไข่

ตารางที่ ง.1 ปริมาณภาระทำความร้อนและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่ทั้ง 18 วัน

วัน	ความร้อนแฝง (W/1000egg)	ความร้อนสัมผัส (W/1000egg)	ภาระความร้อน (W/1000egg)	SHR	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (m^3/hr/1,000 ฟอง)
1	22.0	0.0	22.0	0.00	1.80E-04
2	22.0	1.8	23.8	0.08	2.40E-04
3	22.0	3.7	25.6	0.14	2.40E-04
4	22.0	5.5	27.5	0.20	6.00E-04
5	22.0	7.3	29.3	0.25	6.60E-04
6	22.0	9.8	31.7	0.31	7.80E-04
7	22.0	12.2	34.2	0.36	1.20E-03
8	22.0	14.7	36.6	0.40	1.50E-03
9	22.0	22.0	44.0	0.50	2.04E-03
10	22.0	26.9	48.8	0.55	2.76E-03
11	22.0	46.4	68.4	0.68	4.14E-03
12	22.0	65.9	87.9	0.75	6.84E-03
13	22.0	92.8	114.8	0.81	9.30E-03
14	22.0	112.3	134.3	0.84	1.25E-02
15	22.0	122.1	144.1	0.85	1.33E-02
16	22.0	131.9	153.8	0.86	1.43E-02
17	22.0	131.9	153.8	0.86	1.59E-02
18	22.0	136.7	158.7	0.86	1.57E-02

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิโรจน์ เอกวงศ์มั่นคง เกิดเมื่อวันอังคารที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551