

การออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสม สำหรับตู้ฟักไข่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม Optimum Design of an Air Conditioning System for Industrial Incubators



วิโรจน์ เอกวงค์มั่งคั่ง¹และตุลย์ มณีวัฒนา²

1 นิสิตปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทร 0-2218-6640 Email: tul.m@chula.ac.th2

Wiroj Ekwongmunkong¹ and Tul Manewattana²

1 Graduate in Student Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

2 Lecturer in Student Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Phyathai Rd, Patumwan, Bangkok, 10330

Tel 0-2218-6640 Email :tul.m@chula.ac.th2

1. บทนำ

ไก่เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของไทยเนื่องจากเป็นแหล่งอาหารหลักของคนไทยและสร้างมูลค่าการส่งออกมหาศาลในแต่ละปี เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในแข่งขันทางเศรษฐกิจ ผู้ผลิตจึงต้องพัฒนาตั้งแต่การฟักให้มีคุณภาพเพื่อให้ได้ลูกไก่ที่แข็งแรง การฟักตามธรรมชาติ ลูกไก่ที่เกิดมามากไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากไข่ไม่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการฟัก การควบคุมสภาพอากาศในการฟักจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งต่อคุณภาพของไก่ที่จะเกิดขึ้น

ตู้ฟักไข่เป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างสภาวะอากาศที่เหมาะสมต่อการฟัก ช่วยให้ลูกไก่ฟักได้ครั้งละมากๆ และมีคุณภาพเพื่อทันต่อความต้องการของผู้บริโภค แต่ผู้ผลิตในปัจจุบันต้องนำเข้าตู้ฟักไข่จากต่างประเทศในราคาสูง และตู้ฟักไข่ไม่ได้ถูกออกแบบมาใช้กับเมืองไทยทำให้มีค่าใช้จ่าย

ด้านพลังงานสูง จากสภาพปัญหาดังกล่าวการออกแบบตู้ฟักไข่สำหรับใช้ในประเทศเองจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานและลดงบประมาณของการนำเข้า

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

1.1 ลักษณะเฉพาะของตู้ฟักไข่ในอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันตู้ฟักไข่ไก่ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมมีขนาดบรรจุตั้งแต่ 17,000-120,000 ฟอง ซึ่งมีขนาดใหญ่มาก อีกทั้งตู้ฟักต้องสามารถควบคุมสภาวะอากาศให้อุณหภูมิที่เปลือกไข่ไก่อยู่ที่ 37.7°C ทั่วถึงทั้งตู้ฟักไข่เพื่อให้ได้สภาวะ

ที่เหมาะสมต่อการพักมากที่สุด ดังนั้นการควบคุมระบบ
ปรับอากาศของตู้ฟักไข่นี้ต้องมีความแม่นยำสูงเพราะถ้า
อุณหภูมิที่ไข่ได้รับเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อยจะมีผลกระทบ
ต่อคุณภาพลูกไก่ที่เกิดขึ้น

2. การออกแบบ

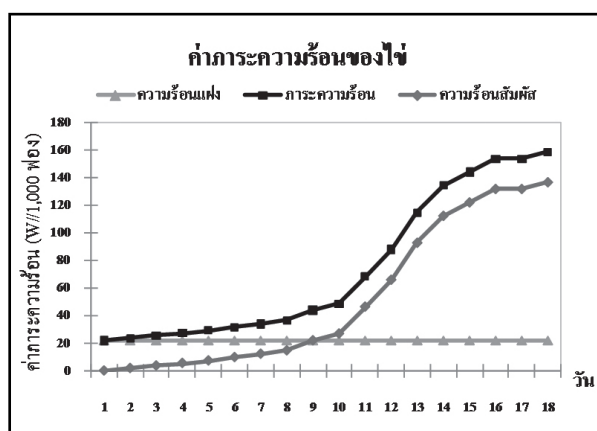
2.1 ข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบ

2.1.1 ระยะเวลาการฟักไข่

ระยะเวลาที่ใช้ในการฟักจนกระทั่งได้ลูกไก่นั้นใช้เวลา
ทั้งสิ้น 21 วัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือระยะแรก
ไข่จะถูกอบในตู้ฟักไข่ (Incubator) จนถึงวันที่ 18 จากนั้น
ไข่ที่อบจะถูกย้ายไปยังตู้เกิด (Hatchery) ในวันที่ 19-21
สำหรับบทความนี้จะศึกษาและออกแบบระบบปรับอากาศ
ของตู้ฟักไข่เท่านั้นหรือภายใน 18 วันแรกเท่านั้น

2.1.2 ปริมาณภาระความร้อนที่เกิดจากไข่

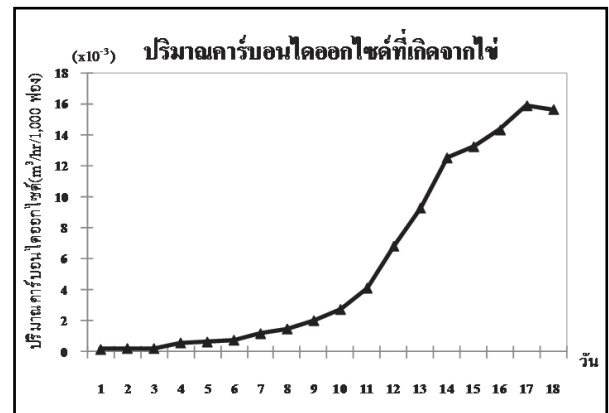
ในขณะระหว่างการอบไข่นี้ ไข่จะผลิตภาระความร้อน
ขึ้น โดยกระบวนการเผาผลาญพลังงาน ซึ่งภาระความร้อน
ที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการฟักนี้จะมีผลต่อสภาวะอากาศ
ที่เกิดภายในตู้ฟักไข่ จากการศึกษาของ Romijn, C. และ
W. Lokhorst (1960) พบว่าภาระความร้อนจะแบ่งออกเป็น
2 ส่วนคือ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ดังแสดงใน
รูปที่ 1 ซึ่งภาระความร้อนนี้สามารถนำมาคำนวณภาระ
ทำความเย็นที่เกิดขึ้นในตู้ฟักไข่ต่อไป



รูปที่ 1 ภาระความร้อนของไข่กับระยะเวลาในตู้ฟัก

2.1.3 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่

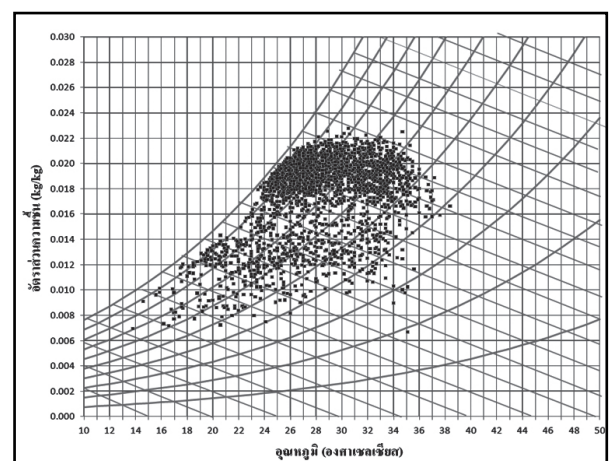
รูปที่ 2 แสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออก
จากไข่ในแต่ละวันของการฟัก และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์
นี้สามารถนำมาคำนวณปริมาณระบายอากาศที่น้อยที่สุดที่
เข้ามาเจือจางได้



รูปที่ 2 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไข่กับระยะ
เวลาในตู้ฟัก

2.1.4 ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการออกแบบ

สำหรับสถานที่ตั้งที่ใช้ในการศึกษานี้คือจังหวัดลพบุรี
ซึ่งมีพารามิเตอร์ภูมิอากาศที่สุดจังหวัดหนึ่งในประเทศไทยตั้งอยู่
ละติจูด 14.48 องศา ลองจิจูด 100.37 องศา อ้างอิงข้อมูลทั้ง
สถานที่ตั้งและสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศ
ไทยปีพ.ศ. 2552 แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สภาวะอากาศของลพบุรีทุกราย 3 ชั่วโมง
ตลอดปีพ.ศ. 2552 บนแผนภูมิไซโครเมตริก

2.2 เกณฑ์การออกแบบ

2.2.1 สามารถสร้างสภาวะอากาศที่เหมาะสมต่อการพัก (Performance requirement)

ระบบปรับอากาศในตู้พักเป็นการควบคุมสภาวะอากาศอันได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ สภาวะที่เหมาะสมต่อการพักมีดังนี้

2.2.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้งอุณหภูมิที่ตั้งจากตู้พักควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 36.5-38.0°C โดยอ้างอิงจาก Freeman, B. M. and Vince, M. A. (1974) เพื่อสามารถปรับอุณหภูมิระหว่างการพักได้เหมาะสมในแต่ละวันของการพัก

2.2.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการพักไข่จะสูญเสียความชื้นตลอดเวลาผ่านรูเล็กๆที่ผิวไข่ซึ่งอัตราการสูญเสียความชุ่มชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนและความชื้นที่อยู่รอบไข่สำหรับความชื้นที่เหมาะสมนี้ควรอยู่ในช่วงระหว่าง 50-65%

2.2.1.3 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการพักไข่จะคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในภาวะที่คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมากเกินไปจะทำให้อากาศเป็นพิษต่อไข่ดังนั้นจึงต้องระบายอากาศเพื่อนำอากาศเข้ามาแลกเปลี่ยน โดยปกติแล้วอากาศบริสุทธิ์จะมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ระดับ 298 ppm ขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ไข่รับได้อยู่ที่ระดับ 10,000 ppm โดยอ้างอิงจาก Freeman, B. M. and Vince, M. A. (1974) แต่เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในตู้พักไข่จึงยึดระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้พักไข่ในงานวิจัยนี้ตามมาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่คนรับได้คือ 5,000 ppm โดยอ้างอิงจาก Owen, J. (1991)

2.2.2 ความต้องการด้านขนาด (capacity requirement) ระบบปรับอากาศต้องสามารถจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของภาระทำความเย็นได้และขนาดอุปกรณ์ต้องทำความเย็นได้พอดีไม่มากเกินไป โดยเฉพาะช่วงที่โหลดสูงสุด (Peak loads) และช่วงโหลดบางส่วน (Part loads)

2.2.3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (Energy consumption cost) ระบบที่ออกแบบต้องเป็นระบบที่สิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด

2.3. การออกแบบระบบปรับอากาศ

2.3.1 หลักการและเหตุผลในการออกแบบ

การเติมอากาศจากภายนอกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องมีการควบคุมปริมาณให้เหมาะสม เพื่อไม่ทำให้สภาวะอากาศในตู้พักไข่พักแปรปรวน จากแนวคิดนี้การออกแบบจะแบ่งได้ 2 แบบคือ ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ไม่ได้รับการปรับอากาศและระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ได้รับการปรับอากาศ

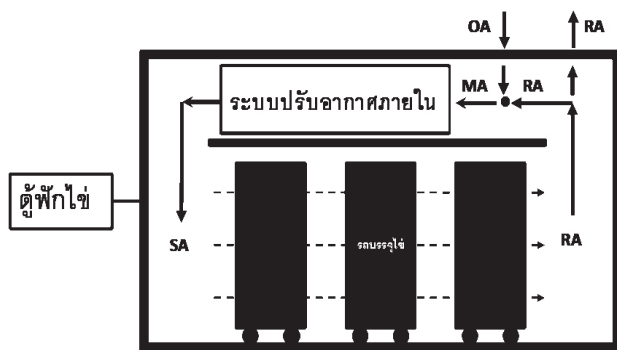
2.3.1.1 ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ไม่ได้รับการปรับอากาศ

ระบบนี้เป็นแนวคิดดั้งเดิมที่มีการใช้งานในประเทศไทย แสดงได้ดังรูปที่ 4 โดยนำอากาศภายนอกซึ่งเย็นและแห้งกว่าในตู้พักไข่มาผสมกับอากาศหมุนเวียนในตู้พักไข่เพื่อรักษาสภาวะอากาศภายในตู้การนำอากาศภายนอกเข้าสู่ตู้ในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถจัดการความร้อนสัมผัสและแฝงได้เกือบทั้งหมด ระบบปรับอากาศจึงภายในจึงทำงานเพียงการปรับอากาศให้จัดการภาระทำความร้อนที่เหลือเท่านั้น ดังนั้นในระบบนี้ปริมาณอากาศภายนอกที่เข้าสู่ตู้พักไข่จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญมากในการรักษาสภาวะอากาศให้เหมาะสมต่อการพัก

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปริมาณอากาศภายนอกที่เข้าสู่ตู้พักไข่ในตู้พักขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (ขนาดตั้งแต่ 12,000 ฟองขึ้นไป) มีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากตู้พักไข่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องออกแบบให้ปริมาณหมุนเวียนอากาศสูงเพื่อรักษาอุณหภูมิแตกต่างที่ผ่านรถบรรจุไข่ให้น้อยที่สุด ขณะที่ตู้พักไข่ขนาดเล็กมีปริมาณไข่น้อยทำให้ออกแบบให้ปริมาณหมุนเวียนอากาศมีค่าต่ำได้ ระดับความแตกต่างนี้ทำให้ตู้พักไข่ขนาดใหญ่มีความต้องการปริมาณภายนอกมาเพื่อใช้ในการผสมที่มากกว่าตู้พักไข่ขนาดเล็กอย่างมาก

นอกจากนี้ปริมาณอากาศภายนอกที่เข้าสู่ตู้ฟักไข่ยังขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศในขณะนั้น ถ้าอากาศภายนอกร้อนและชื้นมากปริมาณอากาศภายนอกจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการจัดการทำความร้อนที่เกิดจากไข่ เทียบกับอากาศภายนอกที่เย็นและแห้ง

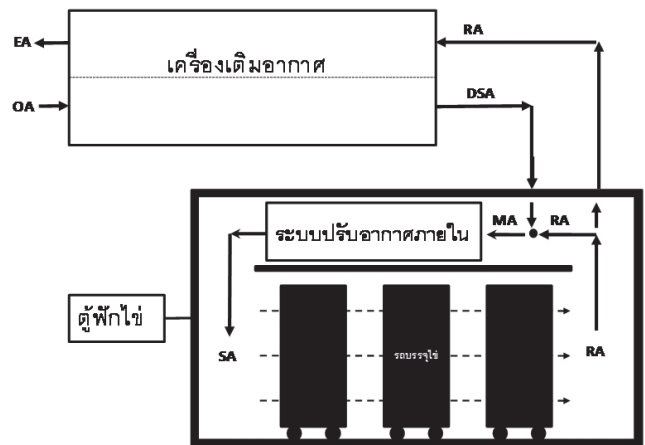
เมื่อนำตัวแปรดังกล่าวนี้มาคำนวณพบว่าปริมาณการระบายอากาศ ณ สภาวะไหลต่ำสุดและสูงสุดของตู้ฟักไข่ ขนาดบรรจุ 103,680 ฟองนั้นอยู่ที่ระดับ 150-10,000 CMH ระดับความแตกต่างของปริมาณการระบายนี้ทำให้การควบคุมปริมาณการระบายอากาศนั้นทำได้ยุ่งยาก ทั้งในด้านการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมหรือระบบท่อลม ดังนั้นระบบนี้ไม่เหมาะต่อการใช้ในตู้ฟักไข่ขนาดใหญ่เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณการระบายอากาศมาก



รูปที่ 4 ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ไม่ได้รับการปรับอากาศ

2.3.1.2 ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ได้รับการปรับอากาศ

เป็นระบบที่ออกแบบให้มีเครื่องเติมอากาศปรับสภาวะอากาศภายนอกก่อนเข้าสู่ตู้ฟักไข่แสดงได้ดังรูปที่ 5 เพื่อให้สภาวะอากาศก่อนเข้าตู้ฟักไข่นี้คงที่ การปรับอากาศก่อนหน้านี้ส่งผลให้ความแตกต่างของปริมาณการระบายอากาศที่ใช้ในการสร้างสภาวะผสมของอากาศลดลง การควบคุมปริมาณระบายอากาศจึงทำได้ง่ายขึ้น ดังนั้นระบบนี้จึงเป็นระบบที่เหมาะสมการใช้งานในตู้ฟักไข่ขนาดใหญ่ดีกว่าสรุปว่าการออกแบบนี้จะใช้ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ได้รับการปรับอากาศ



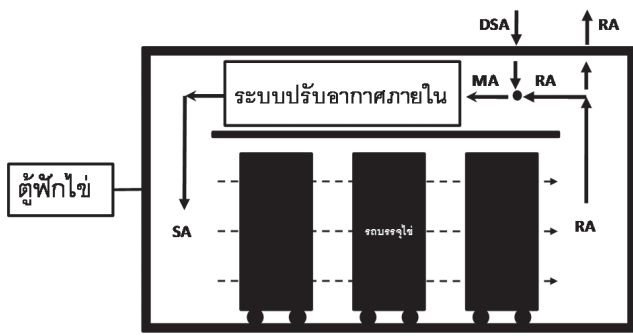
รูปที่ 5 ระบบปรับอากาศซึ่งเติมอากาศที่ได้รับการปรับอากาศ

2.3.2 การออกแบบระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศ

การออกแบบระบบปรับอากาศนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศ ซึ่งส่วนเครื่องเติมอากาศถูกออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนก่อนจ่ายเข้าสู่ตู้ฟักไข่นั้นเอง รายละเอียดในแต่ละส่วนจะถูกอธิบายไว้ดังนี้

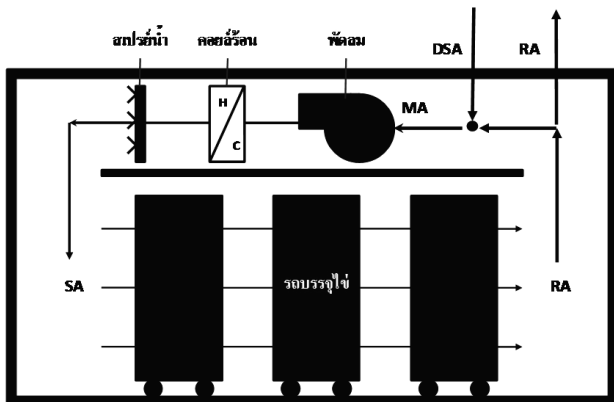
2.3.2.1 การออกแบบระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่

ในการออกแบบนี้ กำหนดเงื่อนไขการออกแบบที่สภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศ (DSA) ไว้ที่อุณหภูมิ 26.7°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% ลมนี้จะนำมาผสมกับลมกลับ (RA) ซึ่งกำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 38°C และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ได้อากาศผสม (MA) จากนั้นจึงปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศภายใน ก่อนจ่ายลม (SA) หมุนเวียนผ่านรถบรรจุไข่เพื่อรับภาระความร้อน สิ่งปนเปื้อนคาร์บอนไดออกไซด์จากไข่ จากนั้นจึงเอาอากาศบางส่วนทิ้งไปและอีกส่วนนำกลับมาใช้ใหม่จนเป็นวัฏจักรต่อไป ซึ่งการไหลเวียนอากาศภายในตู้ฟักไข่แสดงได้ดังรูปที่ 6

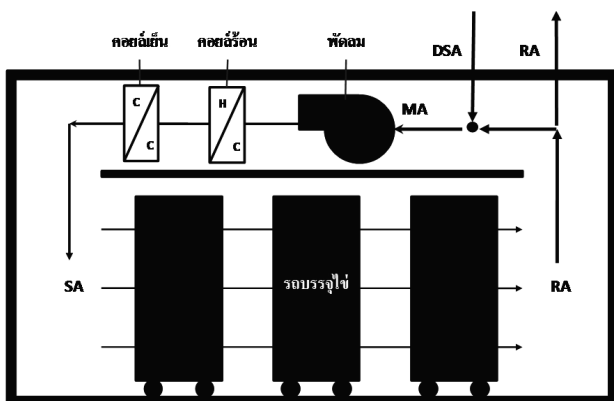


รูปที่ 6 การไหลเวียนอากาศภายในตู้พักไข่

รูปแบบที่ 1 จะประกอบด้วยพัดลมใช้หมุนเวียนอากาศภายในตู้พักไข่ คอยล์ร้อนใช้ทำความร้อนให้กับอากาศผสมในกรณีที่เครื่องเติมอากาศขจัดความร้อนภายในเครื่องน้อยเกินไป และสเปรย์น้ำใช้ทำความเย็นและเพิ่มความชื้นในกรณีที่เครื่องเติมอากาศขจัดความร้อนและความชื้นมากเกินไปซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตู้พักไข่และการจัดเรียงของอุปกรณ์ภายในรูปแบบที่ 1

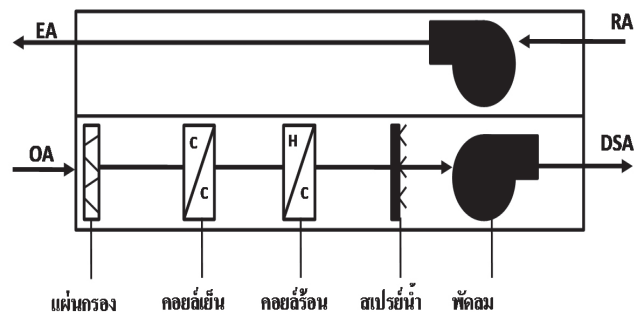


รูปที่ 8 ตู้พักไข่และการจัดเรียงของอุปกรณ์ภายในรูปแบบที่ 2

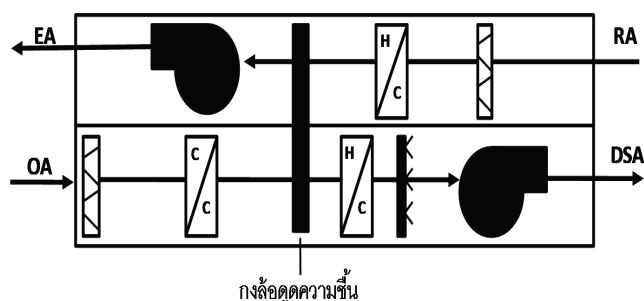
รูปแบบที่ 2 ส่วนประกอบจะคล้ายกับรูปแบบที่ 1 แตกต่างตรงการแทนที่สเปรย์น้ำด้วยคอยล์เย็นในการทำความเย็นให้อากาศ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 8

2.3.3.2 การออกแบบเครื่องเติมอากาศ

เครื่องเติมอากาศจะออกแบบขึ้นเพื่อปรับสภาวะอากาศภายนอกให้ได้สภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศ (DSA) ซึ่งกำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 26.7°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% เพื่อให้ได้สภาวะดังกล่าวนี้การวิเคราะห์หากระบวนการปรับอากาศที่เหมาะสมต่อสภาวะอากาศภายนอก ณ เวลาใดๆ เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการออกแบบ ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะนำข้อมูลสภาวะอากาศภายนอกมาแบ่งโซนอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก แล้วพิจารณาในแต่ละโซนว่าจะเลือกกระบวนการปรับอากาศแบบใดมาใช้ปรับอากาศเพื่อให้ได้สภาวะลมจ่ายที่กำหนด แล้วจึงเลือกอุปกรณ์ปรับอากาศให้กับเครื่องเติมอากาศ ซึ่งผลวิเคราะห์กระบวนการปรับอากาศทำให้ได้รูปแบบเครื่องเติมอากาศเป็น 2 รูปแบบดังนี้



รูปที่ 9 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1



รูปที่ 10 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2

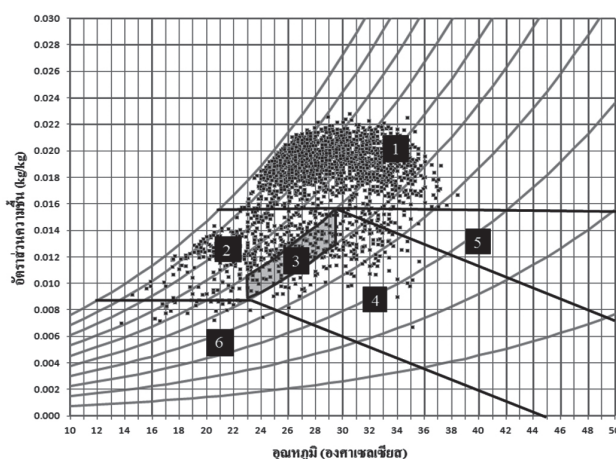
2.3.3.2.1 เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9 โดยทางด้านลมจ่ายจะประกอบไปด้วยแผ่นกรองอากาศ คอยล์เย็น คอยล์ร้อน สเปรย์น้ำและพัดลมหอยโข่ง ซึ่งอากาศภายนอกจะเข้าทางแผ่นกรองและออกจากพัดลมเพื่อจ่ายลมไปผสมกับอากาศในตู้ฟักไข่ และทางด้านลมกลับจะประกอบด้วยพัดลมระบายอากาศซึ่งใช้ในการดูดอากาศที่ถูกระบายจากตู้ฟักไข่ส่งไปปล่อยภายนอกโดยแผ่นกรองในรูปแบบที่ 1 นี้ติดตั้งเพื่อขจัดฝุ่นที่มากับอากาศภายนอกก่อนจ่ายเข้าสู่คอยล์เย็น คอยล์ร้อนและสเปรย์น้ำ ช่วยทำให้อุปกรณ์ปรับอากาศเหล่านี้สามารถทำงานได้ดีตลอดอายุการใช้งาน และเมื่อพิจารณาตามการแบ่งโซนภูมิอากาศในรูปที่ 11 จะพบว่า

กรณีที่ 1 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 1 จะทำความเย็นและลดความชื้นด้วยคอยล์เย็นเพื่อให้อากาศวิ่งมาตกในโซนที่ 2 แล้วทำความร้อนใหม่ (Reheat) ด้วยคอยล์ร้อนจนอากาศตกในโซน 3

กรณีที่ 2 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 2 จะทำความร้อนด้วยคอยล์ร้อนเพื่อให้อากาศวิ่งไปตามเส้นอัตราส่วนความชื้นคงที่จนไปตกในโซน 3

กรณีที่ 3 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 3 อากาศบริเวณนี้มีสภาพใกล้เคียงกับสภาวะลมจ่ายที่ต้องการจึงไม่ต้องปรับอากาศสามารถนำไปใช้งานได้ทันที

กรณีที่ 4 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 4 จะใช้สเปรย์น้ำฉีดละอองน้ำที่ถูกกรองสิ่งปนเปื้อนออกไปส่งผลให้สภาวะอากาศวิ่งไปตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จนอากาศ



รูปที่ 11 การแบ่งโซนภูมิอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริกที่รองรับการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1

ตกอยู่ในโซน 3 โดยน้ำต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียกในขณะนั้น

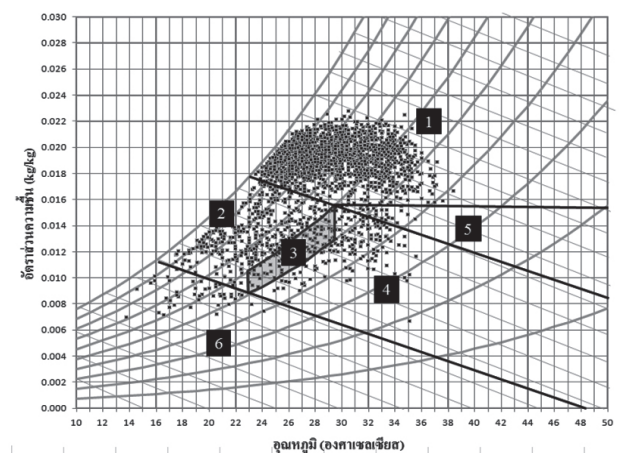
กรณีที่ 5 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 5 จะทำความเย็นและลดความชื้นด้วยคอยล์เย็นจนวิ่งตกในโซนที่ 3

กรณีที่ 6 เมื่ออากาศอยู่ในโซน 6 จะอุ่นอากาศโดยใช้คอยล์ร้อนเพื่อให้อากาศวิ่งมาตกในโซนที่ 4 แล้วจึงใช้สเปรย์น้ำปรับอากาศเพื่อให้อากาศวิ่งไปตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จนตกในโซน 3

2.3.3.2.2 เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 10 โดยทางด้านลมจ่ายจะประกอบไปด้วยแผ่นกรองอากาศ คอยล์เย็น กังล้อดูดความชื้น คอยล์ร้อน สเปรย์น้ำและพัดลมหอยโข่ง ซึ่งอากาศภายนอกจะเข้าทางแผ่นกรองและออกจากพัดลมเพื่อจ่ายลมไปผสมกับอากาศในตู้ฟักไข่ และทางด้านลมกลับจะประกอบด้วยแผ่นกรอง คอยล์ร้อน กังล้อดูดความชื้นขากลับ และพัดลมระบายอากาศเพื่อดูดอากาศระบายออกจากตู้ฟักไข่ และเมื่อพิจารณาตามการแบ่งโซนภูมิอากาศในรูปที่ 12 จะพบว่า

กรณีที่ 1 เมื่ออากาศภายนอกอยู่ในโซน 1 จะทำความเย็นและลดความชื้นด้วยคอยล์เย็นเพื่อให้อากาศวิ่งมาตกในโซนที่ 2 แล้วจึงดูดความชื้นด้วยกังล้อดูดความชื้นจนอากาศตกในโซน 3

กรณีที่ 2 เมื่ออากาศภายนอกอยู่ในโซน 2 จะทำดูดความชื้นด้วยกังล้อดูดความชื้นจนอากาศตกในโซน 3 และในกรณีที่ 3, 4, 5, 6 มีการใช้งานของอุปกรณ์ในเครื่องเหมือนกับในแบบที่ 1

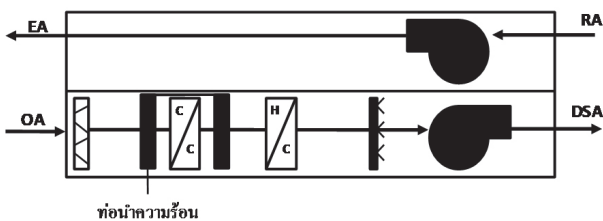


รูปที่ 12 การแบ่งโซนภูมิอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริกที่รองรับการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2

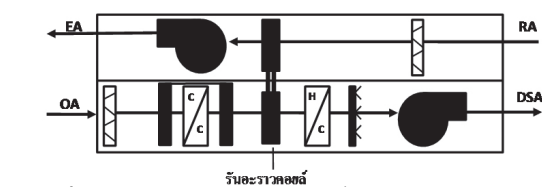
2.3.4 การนำเทคโนโลยีการประหยัดพลังงานมาใช้

เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก จะติดตั้งท่อนำความร้อนเพิ่มเข้าไปจากเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 13 ท่อนำความร้อนนี้จะนำไปประกอบที่คอยล์เย็น โดยท่อนำความร้อนชุดที่อยู่หน้าคอยล์จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็นให้ลดลงและชุดที่อยู่หลังคอยล์เย็นทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิอากาศหลังคอยล์ให้สูงขึ้นทำให้ประหยัดพลังงานของคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนที่มีอยู่เดิมในแบบที่ 1 ได้

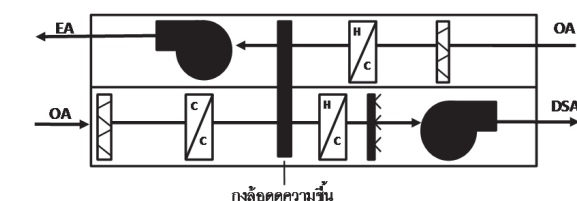
เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ข จะติดตั้งรั่นอะราวคอยล์เพิ่มเข้าไปจากเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก แสดงได้ดังรูปที่ 14 โดยรั่นอะราวคอยล์ชุดที่อยู่ด้านลมจ่ายจะทำหน้าที่รับความร้อนสัมผัสจากลมกลับเพื่อทำความร้อนใหม่ (Reheat) ให้ลมจ่าย ซึ่งช่วยลดพลังงานที่คอยล์ร้อนต้องใช้ แต่ข้อควรระวังของการนำอุปกรณ์นี้มาใช้คือต้องกรองอากาศลมกลับก่อนที่จะมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับชุดคอยล์ที่อยู่ด้านลมกลับ เพราะลมกลับนี้จะเต็มไปด้วยฝุ่นที่เกิดจากไข่ ถ้าฝุ่นเหล่านี้ไปติดกับคอยล์จะทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงและทำให้ทำความสะอาดได้ยาก



รูปที่ 13 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ก



รูปที่ 14 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 1ข



รูปที่ 15 การจัดเรียงอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2ก

เนื่องจากในเครื่องเติมอากาศแบบที่ 2 มีการนำลมกลับมาใช้กังล้อดูดความชื้นใหม่ ซึ่งลมกลับนี้แม้ว่าจะมีการกรองอากาศแล้วก็อาจจะมีความชื้นจากไข่ที่ปะปนมาได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการปนเปื้อนของฝุ่นกับลมจ่ายที่มาจาก การหมุนของกังล้อดูดความชื้นเวลานำอากาศจากลมกลับ มาใช้ใหม่ซึ่งแก้ไขโดยการนำอากาศบริสุทธิ์ภายนอกมาเข้า คอยล์ร้อนแทน ดังนั้นการจัดเรียงแบบนี้ใหม่ตั้งชื่อใหม่เป็น เครื่องเติมอากาศแบบที่ 2ก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 15

2.3.5 การคำนวณการใช้พลังงานในแต่ละแบบของเครื่องเติมอากาศ

การคำนวณการใช้พลังงานจะนำข้อมูลภูมิอากาศ จังหวัดลพบุรีในตาราง 3 ชั่วโมงในหัวข้อ 1.4 มาพิจารณาในแต่ละจุดว่าตกอยู่ในโซนใดและต้องใช้กระบวนการปรับอากาศแบบใด เพื่อหาพลังงานที่ใช้จริง ๆ ตามสภาวะภูมิอากาศขณะนั้น โดยกำหนดให้วันที่เริ่มพักคือวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2552 เป็นระยะเวลาเริ่มต้นในการคำนวณ

3. ผลการออกแบบ

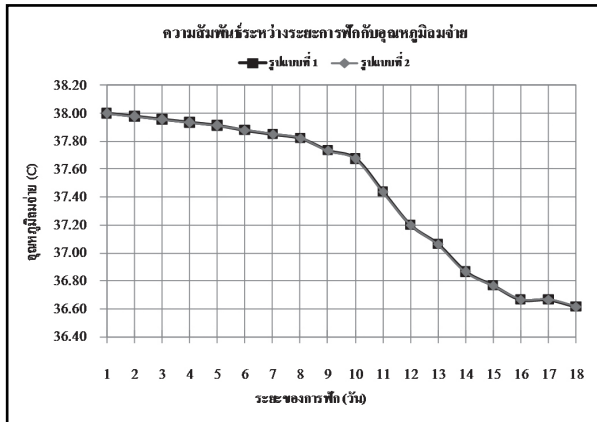
3.1 สภาวะอากาศภายในของระบบปรับอากาศตู้พักไข่แบบต่างๆ

จากการนำข้อมูลมาทำความร้อนที่เกิดจากไข่แล้ว มาพิจารณาร่วมกับรูปแบบต่างๆ เพื่อศึกษาสภาวะอากาศภายใน และวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริกภายใต้เงื่อนไข DSA ที่ 26.7°C และ 50%RH ที่ปริมาณหมุนเวียนอากาศที่ 25,000 CMH ในวันที่ 1-12 และ 30,000 CMH ในวันที่ 13-18 จากนั้นจึงนำมาเขียนเป็นกราฟของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณการระบายอากาศกับระยะเวลาที่ใช้ในการพัก ผลการศึกษามีดังนี้

3.1.1 อุณหภูมิลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้พักไข่แบบที่ 1 และ 2

จากการศึกษาพบว่าระบบปรับอากาศภายในตู้พักไข่รูปแบบที่ 1 และ 2 สามารถรักษาอุณหภูมิลมจ่ายอยู่ในเกณฑ์การออกแบบคือ $36.5-38.0^{\circ}\text{C}$ ได้และอุณหภูมิลมจ่าย

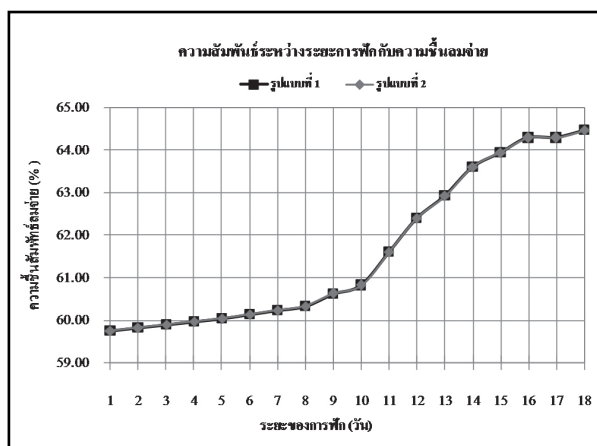
มีแนวโน้มที่ลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการพักเพื่อรักษาอุณหภูมิของลมกลับให้มีค่าเท่ากับ 38.0°C แสดงแนวโน้มของอุณหภูมิลมจ่ายของรูปแบบที่ 1 และ 2 ได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 อุณหภูมิลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2

3.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2

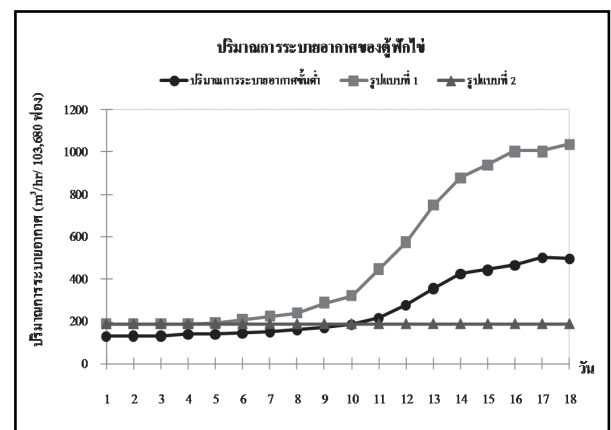
จากการศึกษาพบว่าระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 1 และ 2 สามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายอยู่ในเกณฑ์การออกแบบคือ 50-65% และความชื้นสัมพัทธ์นี้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการพักแสดงถึงความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของรูปแบบที่ 1 และ 2 กับระยะการพักได้ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่ายของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2

3.1.3 ปริมาณการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2

จากการศึกษาพบว่าระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 1 ใช้ปริมาณการระบายอากาศมากกว่าปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำ แต่ในขณะที่ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่รูปแบบที่ 2 ใช้ปริมาณการระบายอากาศน้อยกว่าปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำในช่วงวันที่ 10-18 ดังนั้นรูปแบบที่ 2 จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ เพราะจะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เกินเกณฑ์การออกแบบที่กำหนดไว้คือ 5,000 ppm แสดงการเปรียบเทียบของปริมาณการระบายอากาศของรูปแบบที่ 1 และ 2 กับปริมาณการระบายอากาศขั้นต่ำได้ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ปริมาณการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 และ 2

3.2 การทำงานของระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่

ระบบปรับอากาศของตู้ฟักไข่ที่ออกแบบมานั้นจะใช้ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่แบบที่ 1 มาใช้ สำหรับขั้นตอนการใช้งานไข่ที่ออกแบบนั้นจะแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ขั้นตอนได้ดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนเริ่มเดินเครื่อง เมื่อเริ่มใช้งานตู้ฟักไข่จำเป็นต้องปรับอากาศภายนอกให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 38.0°C และความชื้นเท่ากับ 60% ก่อนโดยใช้คอยล์ร้อนในการทำความร้อนให้กับอากาศหมุนเวียนจนมีอุณหภูมิที่กำหนด

และใช้สเปรย์น้ำในการให้ความชื้นกับอากาศจนได้ความชื้นที่กำหนด

3.2.2 ขั้นตอนอบไข่ นำไข่เข้าสู่ตู้แล้วนำอากาศที่ปรับอากาศโดยเครื่องเติมอากาศจ่ายเข้าสู่ตู้พักไข่และควบคุมการปรับอากาศตามการแบ่งโซนภูมิอากาศ อากาศที่ได้ถูกปรับนี้จะจ่ายเข้าสู่ตู้พักไข่และอุปกรณ์ปรับอากาศปรับอากาศเพื่อคงสภาวะอากาศให้คงที่มากที่สุด กล่าวคือถ้าอากาศระบายที่นำเข้าสู่ตู้พักไข่ร้อนมากเกินไป ระบบปรับอากาศส่วนในตู้พักไข่จะทำความเย็นโดยใช้สเปรย์น้ำในการปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิลง และถ้าอากาศระบายที่นำเข้าสู่ตู้พักไข่เย็นมากเกินไป ระบบปรับอากาศส่วนในตู้พักไข่จะทำความร้อนโดยใช้คอยล์ร้อนในการปรับอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการพัก

3.3 พลังงานที่ใช้และขนาดของระบบปรับอากาศภายในตู้พักไข่

จากการนำอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบปรับอากาศภายในตู้พักไข่รูปแบบที่ 1 มาใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ตลอดปี พ.ศ. 2552 และขนาดอุปกรณ์ที่ใช้ ผลการศึกษาพบว่า คอยล์ร้อนมีการใช้พลังงานในการทำความร้อนให้กับอากาศหมุนเวียนเท่ากับ 869 kWh และมีขนาดอุปกรณ์เท่ากับ 0.7 kW ส่วนคอยล์ร้อนที่ทำความร้อนให้กับน้ำของสเปรย์น้ำมีการใช้พลังงานเท่ากับ 310 kWh และมีขนาดของอุปกรณ์เท่ากับ 0.27 kW และมีอัตราการฟั่นละอองน้ำในการปรับอากาศเท่ากับ 14.4 kg/hr

3.4 พลังงานที่ใช้และขนาดของเครื่องเติมอากาศในแต่ละแบบ

3.4.1 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 จะใช้กรองอากาศชั้นกลางในการกรองอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็น และใช้คอยล์เย็นขนาด 14.4 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 36,666 kWh, คอยล์ร้อนขนาด 7.1 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 12,439 kWh และสเปรย์มีอัตราการฟั่นละอองน้ำ

เท่ากับ 5.8 kg/hr สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 เท่ากับ 49,106 kWh

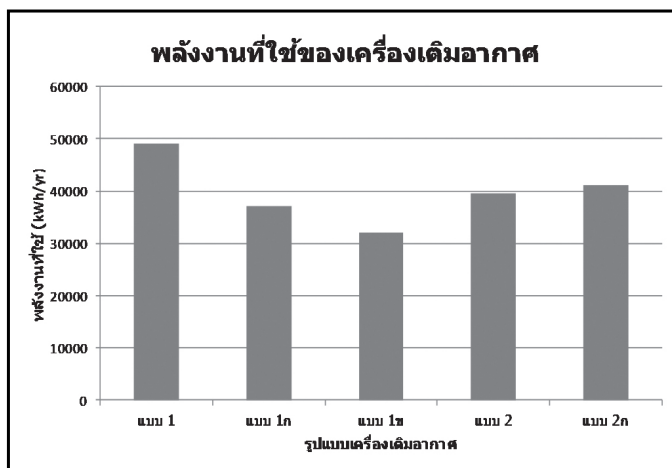
3.4.2 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ก อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดจะมีขนาดเท่ากับรูปแบบที่ 1 เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นของการทำงานเวลาที่ไมใช้ท่อนำความร้อน โดยท่อนำความร้อนสามารถประหยัดพลังงานให้กับคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นได้อุปกรณ์ละ 6,000 kWh ช่วยให้อุปกรณ์ใช้พลังงานตลอดปีลดลงเหลือ 30,666 kWh, คอยล์ร้อนมีใช้พลังงานตลอดปีลดลงเหลือ 6,439 kWh สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ก ลดลงเหลือ 37,106 kWh เมื่อติดตั้งท่อนำความร้อนเพิ่มจากรูปแบบที่ 1

3.4.3 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ข อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดจะมีขนาดเท่ากับรูปแบบที่ 1 แต่มีกรองอากาศชั้นต้นติดตั้งในฝั่งลมกลับเพื่อกรองอากาศของลมกลับก่อนเข้ารีนอะราวคอยล์ และระบบนี้รีนอะราวคอยล์สามารถประหยัดพลังงานของคอยล์ร้อนได้เพิ่มจากรูปแบบที่ 1ก อีก 5,138 kWh ช่วยให้อุปกรณ์มีใช้พลังงานตลอดปีลดลงเหลือ 1,301 kWh สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1ข ลดลงเหลือ 31,968 kWh เมื่อติดตั้งรีนอะราวคอยล์เพิ่มจากรูปแบบที่ 1ก

3.4.4 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 จะใช้คอยล์เย็นขนาด 12.7 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 30,665 kWh, คอยล์ร้อนขนาด 5 kW มีใช้พลังงานตลอดปีเท่ากับ 319 kWh, คอยล์ร้อนของกองลัดดูความชื้นขนาด 2.2 kW มีการใช้พลังงานเท่ากับ 8,682 kWh และสเปรย์มีอัตราการฟั่นละอองน้ำเท่ากับ 5.8 kg/hr สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 เท่ากับ 39,666 kWh

3.4.5 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2ก คอยล์เย็นคอยล์ร้อนและสเปรย์น้ำจะมีขนาดเท่ากับรูปแบบที่ 2 แต่ขนาดคอยล์ร้อนของกองลัดดูความชื้นมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 3.5 kW และมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 10,218 kWh สรุปพลังงานรวมที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2ก เท่ากับ 41,202 kWh

โดยรูปที่ 19 แสดงพลังงานที่ใช้ของอุปกรณ์ในเครื่อง
 เติมอากาศแบบต่างๆตลอดทั้งปีพ.ศ. 2552 และตารางที่ 1
 แสดงขนาดของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ



รูปที่ 19 พลังงานที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศแบบต่างๆ ตลอด
 ปี พ.ศ. 2552

ตารางที่ 1 ขนาดของอุปกรณ์ภายในเครื่องเติมอากาศแต่ละแบบ

รูปแบบเครื่องเติมอากาศ		แบบ 1, 1ก, 1ข			แบบ 2				แบบ 2ก
โซน	กระบวนการปรับอากาศ	คอยล์เย็น	คอยล์ร้อน	สเปรย์น้ำ	คอยล์เย็น	คอยล์ร้อน	คอยล์ร้อนของ กังล้อดูดความชื้น	สเปรย์น้ำ	คอยล์ร้อนของกังล้อ ดูดความชื้น
		(kW)	(kW)	(kg/hr)	(kW)	(kW)	(kW)	(kg/hr)	(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

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้กำหนดตู้ฟักไข่มีขนาดบรรจุ 103,680 ฟอง กว้าง 5.35 เมตร ยาว 5.35 เมตร สูง 2.48 เมตร ตั้งอยู่ในจังหวัดลพบุรี ระบบปรับอากาศสำหรับตู้ฟักไข่นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือภายในตู้ฟักไข่และเครื่องเติมอากาศ โดยระบบปรับอากาศที่จะเลือกระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่จะเลือกใช้แบบที่ 1 และระบบปรับอากาศส่วนส่วนเครื่องเติมอากาศจะใช้แบบที่ 1x มาใช้ในการออกแบบ ซึ่งสามารถตัดสินใจได้ตามเกณฑ์การออกแบบดังนี้

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

2. ระบบปรับอากาศที่ออกแบบระบบนี้มีขนาดที่สามารถรักษาสภาวะอากาศภายในตู้ฟักไข่ได้ภาวะทำความร้อนสูงสุดและบางส่วนได้ โดยออกแบบขนาดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนได้ดังนี้

2.1 ระบบปรับอากาศภายในตู้ฟักไข่

- คอยล์ร้อนขนาด 0.7 kW
ทำความร้อนให้กับอากาศ
- สเปรย์น้ำ ขนาดอัตราการพ่นละอองน้ำ
สูงสุด 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. ระบบปรับอากาศระบบนี้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่นๆ

5. เอกสารอ้างอิง

วิโรจน์ เอกวงค์มั่นคง. การออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับตู้ฟักไข่ไก่ในอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

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.

6. รายการสัญลักษณ์

<i>DSA</i>	=	สภาวะลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศ (Dedicated supply air)
<i>EA</i>	=	สภาวะอากาศที่ระบายออก (Exhausted air)
<i>MA</i>	=	สภาวะอากาศผสม (Mixing air)
<i>OA</i>	=	สภาวะอากาศภายนอก (Outdoor air)
<i>RA</i>	=	สภาวะลมกลับ (Return air)
<i>SA</i>	=	สภาวะลมจ่าย (Supply air)