การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15 – 17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรของระบบระบายอากาศโรงงานอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

A Study and Parameter Analysis of the Food-can Industrial Ventilation System

การัณย์ หอมชาติ[1] ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง[2] ธีรชุณห์ เมืองนาโพธิ์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาระบบระบายอากาศโรงงานอุตสาหกรรม และวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อระบบระบายอากาศโรงงานผลิตอาหารกระป๋อง ขนาด 22 m x 30 m x 6 m ตัวแปรประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น และ ปริมาณลมผลัด โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการสมดุลมวลและพลังงาน ผลจากการศึกษาพบว่าภาระความร้อนเฉลี่ยเกิดขึ้นเท่ากับ 50 kW อัตราการเกิดไอน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.0513 kg/s อุณหภูมิและความชื้นอากาศทางเข้าเฉลี่ยเท่ากับ 30°C และ 50% RH ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศจาก 5 ถึง 45 m^3/s พบว่าอุณหภูมิภายในโรงงานลดลงจาก 38.2°C เป็น 30.9°C และอัตราส่วนความชื้นลดลงจาก 0.021 kg/kg dry air เป็น 0.0143 kg/kg dry air เมื่อพิจารณาที่อัตราการไหลของอากาศจริงในโรงงานเท่ากับ 13 m^3/s ซึ่งให้ผลที่ได้จากการวัดจริงในโรงงานพบว่าอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 33.8°C และความชื้นเท่ากับ 54% RH เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองที่ใช้อัตราการไหลของอากาศเท่ากัน พบว่าผลการวัดอากาศจริงในโรงงานมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ 2.42% และอัตราส่วนความชื้นจากการวัดสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ 7.69% ผลจากการวัดค่าของอากาศจริงนั้นพบว่าอุณหภูมิและความชื้นยังมีค่าสูงอยู่ ซึ่งผลจากแบบจำลองพบว่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับโรงงานนี้ควรมีค่าเท่ากับ 20 m^3/s ซึ่งจะได้ค่าอุณหภูมิเท่ากับ 32.1°C และความชื้นเท่ากับ 50% RH

Abstract

The aim of this research is to study the industrial ventilation system and the important parameters which are strongly effect to the ventilation system of the canned food industry. The size of our modeling factory is 22 m in width ,30 m in length, and 6 m in height. Selecting parameters are temperature humidity and air-change load. The conservation of mass and energy are use throughout our research. The simulation method is based on the factory average input heat load of 50 kW, and the average steam production rate of 0.0513 kg/s, with 30°C inlet air temperature and 50%RH. The results of the mathematic simulations when varying the inlet air flow-rate from 5 m^3/s to 45 m^3/s are found to be the decrease in air temperature from 38.2°C to 30.9°C,and the reduction in the humidity ratio from 0.021 kg/kg dry air to 0.0143 kg/kg dry air. Our measurement results of the actual factory inlet air flow-rate of 13 m^3/s yield the average temperature of 33.8°C with 54% in the average relative humidity. The actual measurement is found to be 2.42% higher in temperature, and 7.69% higher in the humidity ratio when comparing with that of the mathematic simulations at the same input data. From the analysis, we have found that our normal practicing result gives higher in temperature and higher in the humidity ratio. The simulation result suggests better air flow-rate of 20 m^3/s with the average temperature of 32.1°C ,and 50%RH.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกระป๋องบางแห่งพบว่ามีปัญหา ด้านความร้อน ความชื้น กลิ่นและการแพร่กระจายของฝุ่นละออง ส่งผลทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและทำลายสภาวะแวดล้อมในขณะทำงานทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานลดลง และรวมทั้งมีผลกระทบด้านสุขภาพคนงานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาอีกด้วย สำหรับโรงงานที่มีปัญหาลักษณะดังกล่าวจะต้องมีการแก้ปัญหาด้านการออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อปรับปรุงและติดตั้งภาย

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

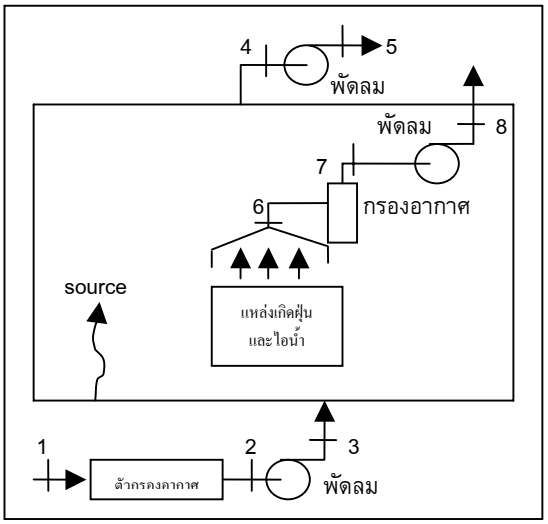
ในโรงงาน [1,2] ประกอบด้วย ระบบจ่ายอากาศและระบบระบายแก๊สเสีย โดยระบบจ่ายอากาศ [3,4,5] ต้องจ่ายอากาศบริสุทธิ์ อุณหภูมิต่ำ ความชื้นต่ำ ปราศจากฝุ่นละอองเข้าสู่บริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานส่วนระบบระบายแก๊สเสียต้องระบายอากาศที่มีสิ่งปนเปื้อนต่างๆออกไปจากพื้นที่ปฏิบัติงานให้หมดหรือลดความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนภายในอาคารลงหรือควบคุมให้สิ่งปนเปื้อนระบายออกมาในโรงงานปริมาณที่ที่ต่ำลง จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยฯจึงได้ทำการศึกษาปัญหาและตัวแปรต่างๆของระบบระบายอากาศเดิมที่ใช้ในโรงงาน โดยใช้โรงงานจริงทำเป็นกรณีศึกษา คือโรงงานผลิตผลไม้กระป๋องแห่งหนึ่งในปัจจุบันพบว่ามีการควบคุมความร้อนไม่เหมาะสมอากาศภายในโรงงานมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 42 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า 70% RH ภาระความร้อนและความชื้นเกิดจากหม้อต้มวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ความร้อนจากแดดบนหลังคา และ คนงานจำนวนมาก ซึ่งระบบระบายอากาศแบบเดิมนั้นมีพัดลมที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ภายในโรงงานและลูกหมุนระบายอากาศที่หลังคาเท่านั้น และไม่มีการควบคุมไอน้ำที่หม้อต้มวัตถุดิบด้วยวิธีที่เหมาะสมจึงก่อให้เกิดภาระความร้อนและความชื้นขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องควบคุมการระบายอากาศในโรงงานให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพคนงาน ส่วนการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นเพื่อทำการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อระบบระบายอากาศภายในโรงงาน เพื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายอากาศเดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. ทฤษฎีและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ระบบระบายอากาศที่ทำการวิจัยนี้เป็นระบบระบายอากาศทางกลดังแสดงในรูปที่ 1

ข้อสมมติฐานของระบบระบายอากาศ

1. พลังงานจลน์และพลังงานศักย์มีค่าน้อยมาก
2. อากาศในปริมาตรควบคุมเป็นเนื้อเดียวกันหรือผสมกันได้ดี (Well-Mixed Air)
3. สภาวะอากาศภายในอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state condition)



รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองอุปกรณ์ในระบบระบายอากาศ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาด้วยวิธีการสมดุลมวลและพลังงานซึ่งได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

จากกฎการอนุรักษ์มวลของปริมาณฝุ่นภายในโรงงานแสดง สมการได้ดังนี้ [2]

$$C_{ss} = (1-\eta_{ai})C_i \frac{Q_3}{Q_4} + \frac{\dot{m}_p}{Q_4} \quad (1)$$

$$C_t = C_{ss} - (C_{ss} - (1-\eta_{ai})C_i)\exp\left[-\frac{Q_4 t}{V_{Room}}\right] \quad (2)$$

เมื่อ

$\dot{m}_p$ คือ อัตราเชิงมวลของการเกิดฝุ่นในโรงงาน (g/s)

C_{ss} คือ ความเข้มข้นของฝุ่นที่สภาวะคงตัว (g/m^3)

C_t คือ ความเข้มข้นของฝุ่นที่เวลาใดๆ (g/m^3)

t คือ เวลาที่สภาวะเปลี่ยน ไป (sec)

V_{Room}คือ ปริมาตรภายในโรงงาน (m^3)

η_{ai} คือ ประสิทธิภาพกรองอากาศ

จากกฎการอนุรักษ์มวลของไอน้ำในอากาศภายในโรงงานได้สมการดังนี้ [2]

$$\omega_{ss} = \frac{\dot{m}_w}{\rho Q_4} + \frac{Q_3}{Q_4}\omega_3 \quad (3)$$

$$\omega_t = \omega_{ss} - (\omega_{ss} - \omega_i)\exp\left[-\frac{Q_4 t}{V_{Room}}\right] \quad (4)$$

เมื่อ

$\dot{m}_w$ คือ อัตราเชิงมวลของการเกิดไอน้ำในโรงงาน (kg/s)

ω_{ss} คือ อัตราความชื้นที่สภาวะคงตัว (kg/kg dry air)

ω_t คือ อัตราความชื้นที่เวลาใดๆ (kg/kg dry air)

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานได้สมการอุณหภูมิอากาศในโรงงานดังนี้ [2]

$$T_{ss} = \left[\frac{Q_3}{Q_4}\right] T_1 + \frac{q + W_{net}}{\rho c_p Q_4} \quad (5)$$

$$T_t = T_{ss} - (T_{ss} - T_1)\exp\left[-\frac{kQ_4 t}{V_{Room}}\right] \quad (6)$$

เมื่อ

$\dot{q}$ คือ อัตราความร้อนที่เกิดขึ้นในโรงงาน (kW)

$\dot{W}_{net}$ คือ กำลังงานสุทธิของพัดลม (kW)

T_{ss} คือ อุณหภูมิอากาศที่สภาวะคงตัว (K)

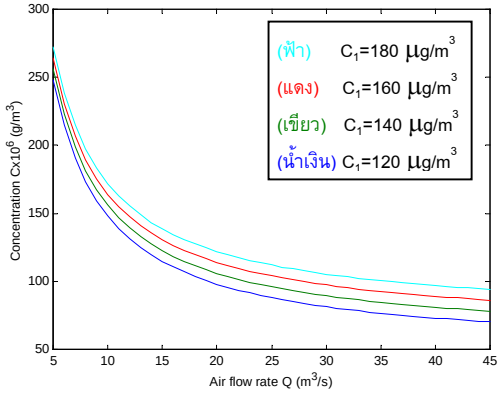
T_t คือ อุณหภูมิอากาศที่เวลาใดๆ (K)

Q คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)

k คือ ค่าคงที่ของอากาศ C_p/C_v = 1.4

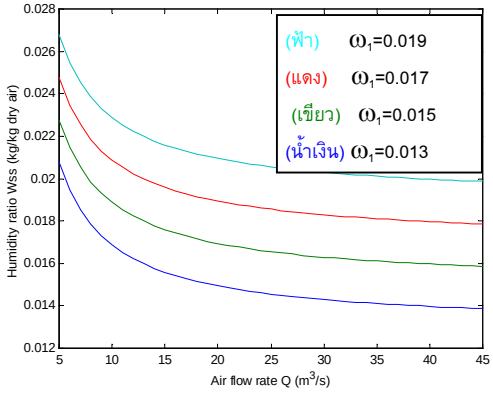
3. ผลการวิจัย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ผลการวิจัยดังนี้ เมื่อปริมาตรภายในของอาคารเท่ากับ 3960 m^3 อัตราการไหลของอากาศเข้าและออกเท่ากับ 13 m^3 ปริมาณฝุ่นทางเข้าเท่ากับ 165 $\mu g/m^3$ อัตราการเกิดฝุ่นในโรงงานมีค่าน้อยมาก(กระบวนการผลิตจะมีน้ำเป็นส่วนใหญ่) ได้ความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศภายในโรงงานมีค่าเท่ากับ 66 $\mu g/m^3$ ที่อัตราการเกิดไอน้ำเชิงมวลมีค่าเท่ากับ 0.0513kg/s และอัตราส่วนความชื้นของอากาศทางเข้าเท่ากับ 0.0135 (kg/kg dry air) ได้อัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโรงงานเท่ากับ 0.0165 (kg/kg dry air) และภาระการเกิดความร้อนในโรงงานเท่ากับ 50 kW กับอุณหภูมิอากาศทางเข้าเท่ากับ 303 K ได้ผลของอุณหภูมิอากาศภายในโรงงานเท่ากับ 306 K แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลอากาศเข้าและออกให้สูงขึ้นเท่ากับ 20 m^3/sส่งผลให้ อุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโรงงานมีค่าลดลงเท่ากับ 302.1 K และ 0.0153 (kg/kg dry air) แต่อัตราการลดค่าลงของอุณหภูมิและความชื้นเมื่อเทียบกับช่วงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอากาศทางเข้านั้นจะต่ำลงเมื่ออัตราการไหลอากาศมีค่าสูงกว่า 20 m^3/s และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรบางตัวเพื่อให้ได้ผลในการวิเคราะห์ที่ละเอียดมากขึ้นซึ่งผลแสดงตามรูปที่ 2 ถึง 10 ดังนี้



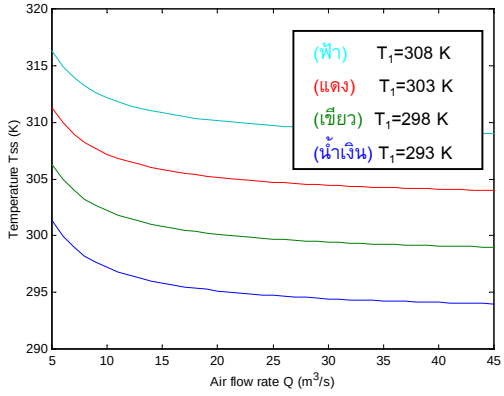
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นในโรงงาน(C) กับอัตราการไหลอากาศ (Q)

เมื่อภาระการเกิดฝุ่น $\dot{m}_p$ = 0.001 g/s และประสิทธิภาพกรองอากาศ η_{a1} = 0.6 ที่ความเข้มข้นฝุ่นทางเข้า C_1=180, 160, 140 , 120 ($\mu g/m^3$) จากรูปที่ 2 ที่ความเข้มข้นของฝุ่นทางเข้าแต่ละค่า จะให้ค่าเข้มข้นฝุ่นภายในอากาศแตกต่างกัน กราฟแต่ละเส้นจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลอากาศสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อต้องการลดความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศต้องเพิ่มอัตราการไหลอากาศให้สูงขึ้น



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น(ω) กับอัตราการไหลอากาศ (Q)

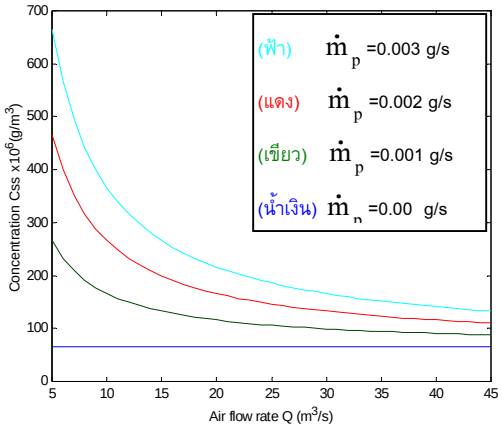
เมื่ออัตราการเกิดไอน้ำ $\dot{m}_w$ =0.0513 kg/s อัตราส่วนความชื้นอากาศทางเข้า ω_1= 0.013, 0.015, 0.017 , 0.019 (kg/kg dry air) จากรูปที่ 3 เมื่อวิเคราะห์จากเส้นกราฟทำให้ทราบว่าอัตราการไหลอากาศที่สูงขึ้นและอัตราส่วนความชื้นอากาศทางเข้าที่ต่ำกว่าจะทำให้ความชื้นอากาศภายในลดต่ำลง



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ (T) กับอัตราการไหลอากาศ (Q)

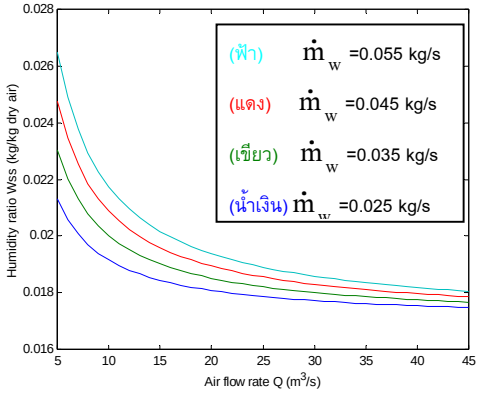
เมื่อภาระการเกิดความร้อน $\dot{q}$ = 50 kW อุณหภูมิอากาศทางเข้า T_1= 293, 298, 303, 308 (K) จากรูปที่ 4 เมื่อวิเคราะห์

กราฟพบว่าที่อุณหภูมิอากาศทางเข้าต่ำกว่าและอัตราการไหลของอากาศที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงงานลดลงได้



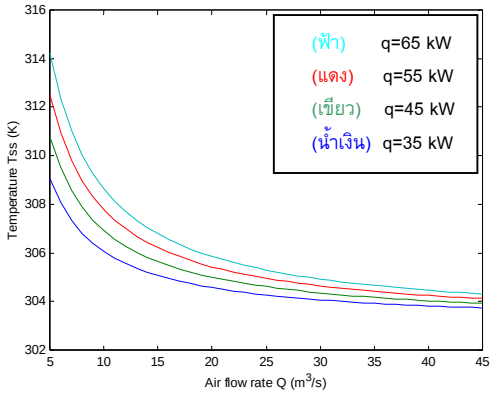
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นในโรงงาน(C) กับอัตราการไหลอากาศ (Q)

เมื่อความหนาแน่นฝุ่นอากาศทางเข้าคงที่ C_1=165(μg/m^3) และประสิทธิภาพกรองอากาศ η_{a1} = 0.6 ภาระการเกิดฝุ่น $\dot{m}_p$ = 0.00, 0.001, 0.002, 0.003 (g/s) จากรูปที่ 5 เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะพบว่าเมื่อมีการควบคุมอัตราการเกิดฝุ่นเชิงมวลที่ต่ำกว่า (กราฟเส้นสีเขียว) และเพิ่มอัตราการไหลอากาศที่สูงขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นต่ำลงได้



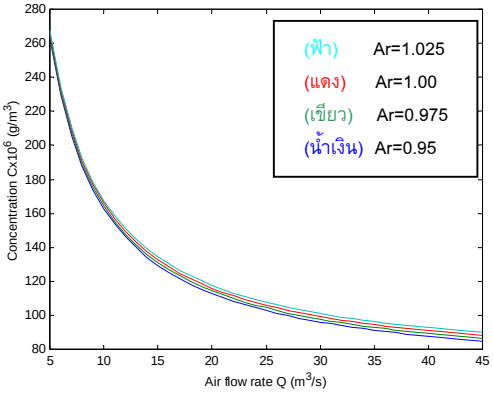
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น(ω) กับอัตราการไหลอากาศ (Q)

เมื่ออัตราส่วนความชื้นอากาศทางเข้าคงที่ ω_1 = 0.017 (kg/kg dry air) ภาระการเกิดไอน้ำ $\dot{m}_w$ = 0.025, 0.035, 0.045, 0.055 kg/s จากรูปที่ 6 กราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการควบคุมปริมาณการเกิดไอน้ำเชิงมวลให้ลดลง จากกราฟสีฟ้ามาเป็นกราฟสีน้ำเงินและเพิ่มอัตราการไหลอากาศให้สูงขึ้น จะทำให้อัตราส่วนความชื้นอากาศภายในโรงงานลดลงได้มาก



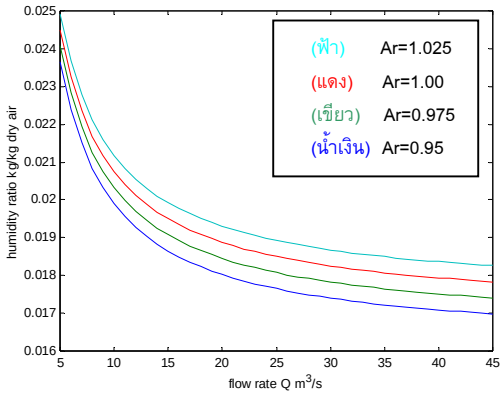
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ (T) กับอัตราการไหลอากาศ (Q)

เมื่ออุณหภูมิอากาศทางเข้าคงที่ T_1= 303 K และภาระการเกิดความร้อน $\dot{q}$ = 35, 45, 55, 65 kW จากรูปที่ 7 จากกราฟจะพบว่าเมื่อเราลดภาระ ความร้อนจาก 65 kW ให้ลงมาเป็น 35 kW จะทำให้อุณหภูมิลดลงได้ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลอากาศให้สูงขึ้นทำให้อุณหภูมิลดลงมาได้อีกระดับหนึ่ง



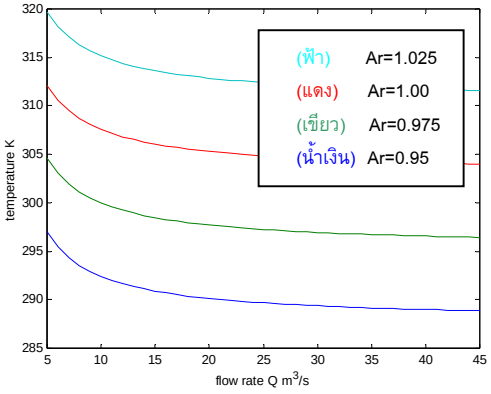
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นฝุ่นในโรงงาน(C) กับอัตราการไหลอากาศทางเข้า (Q)

เมื่อภาระการเกิดฝุ่นคงที่ $\dot{m}_p$ = 0.001g/s ประสิทธิภาพกรองอากาศ η_{a1} = 0.6 และ ความหนาแน่นฝุ่นอากาศทางเข้า C_1= 165 (μg/m^3) ที่ค่าอัตราส่วนอากาศทางเข้าต่ออากาศทางออก Ar = 0.95, 0.975, 1.00 และ 1.025 จากรูปที่ 8เมื่อวิเคราะห์กราฟจะพบว่าเราสามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศได้โดยให้ปริมาณอากาศทางออกสูงกว่าอากาศทางเข้า(ดูกราฟเส้นสีน้ำเงิน) และเพิ่มอัตราการไหลอากาศให้สูงขึ้นค่าดังกล่าวก็จะลดลงได้อีก



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น(ω)กับอัตราการไหลอากาศทางเข้า (Q)

เมื่อภาระการเกิดความชื้นคงที่ $\dot{m}_w$ =0.0513 kg/s และค่าอัตราส่วนความชื้นอากาศทางเข้า ω_1=0.017 kg/kg dry air ที่ค่าอัตราส่วนอากาศทางเข้าต่ออากาศทางออก Ar = 0.95, 0.975, 1.00 และ 1.025 จากรูปที่ 9 จากการวิเคราะห์กราฟจะเห็นได้ว่า เราสามารถลดอัตราส่วนความชื้นอากาศภายในโรงงานได้โดยให้ปริมาณอากาศทางออกสูงกว่าอากาศทางเข้า (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) และเพิ่มอัตราการไหลอากาศให้สูงขึ้นก็จะลดค่าความชื้นลดลงได้อีก



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ (T) กับอัตราการไหลอากาศทางเข้า (Q)

เมื่อภาระการเกิดความร้อน q = 50 kW และอุณหภูมิอากาศทางเข้า T_1= 303 K ที่ค่าอัตราส่วนอากาศทางเข้าต่ออากาศทางออก Ar = 0.95, (0.975, 1.00 และ 1.025 จากรูปที่ 10 จากการวิเคราะห์กราฟเมื่ออัตราส่วนอากาศทางเข้าต่ำกว่าอากาศทางออกจะส่งผลให้ อุณหภูมิอากาศลดลงได้ (เมื่อเทียบกับ Ar = 1) และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลอากาศให้สูงขึ้นก็สามารถลดอุณหภูมิลงได้อีก

4. สรุปผล

ผลจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบระบายอากาศโรงงานอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ได้ผลการวิจัยดังนี้ ที่ภาระการทำงานจริงของโรงงาน และอัตราการไหลอากาศเข้าและออกมีค่าเท่ากับ 13 m^3/s ผลที่ได้ ภาระฝุ่นในโรงงานมีน้อยมาก และปริมาณฝุ่นในอากาศภายนอกที่บริเวณที่ตั้งโรงงาน มีค่าสูงสุดประมาณ 165 $\mu g/m^3$ และเมื่อประสิทธิภาพกรองอากาศ ไม่ต่ำกว่า 60% จะได้ความเข้มข้นฝุ่นของอากาศในโรงงานจะมีค่าคงที่เท่ากับ 66 $\mu g/m^3$ เมื่ออัตราการเกิดไอน้ำเชิงมวลเท่ากับ 0.0513 kg/kg dry air และ อัตราส่วนความชื้นอากาศทางเข้าเท่ากับ 0.0135 kg/kg dry air ได้ผลอัตราส่วนความชื้นอากาศเท่ากับ 0.0165 kg/kg dry air เมื่อภาระความร้อนที่เกิดขึ้นเท่ากับ 50 kWและอุณหภูมิอากาศทางเข้าเท่ากับ 303 K ได้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 306 K ส่วนผลที่ได้จากการวัดมีดังนี้คือ อัตราส่วนความชื้นอากาศภายในโรงงานเท่ากับ 0.0182 kg/kg dry air (54%RH) อุณหภูมิสัมบูรณ์เท่ากับ 306.8 K ซึ่งผลจากการวัดจริงมีค่าสูงกว่าผลจากการคำนวณคือ อุณหภูมิจากการวัดสูงกว่าการคำนวณ 2.42% และอัตราส่วนความชื้นอากาศจากการวัดสูงกว่าการคำนวณ 7.69 % เมื่อวิเคราะห์ผลจากกราฟทั้งหมดพบว่า เมื่อต้องการลดความเข้มข้นฝุ่นในอากาศทำได้โดยลดความเข้มข้นฝุ่นอากาศทางเข้า ลดอัตราการเกิดฝุ่นในโรงงานและให้ปริมาณอากาศทางออกมากกว่าอากาศทางเข้า และเมื่อต้องการให้ความชื้นอากาศลดลงทำได้โดยการลดอัตราการเกิดไอน้ำในกระบวนการผลิตลง ลดความชื้นอากาศทางเข้าและให้ปริมาณอากาศเข้าน้อยกว่าอากาศทางออก (Ar < 1) อุณหภูมิอากาศก็เช่นเดียวกันสามารถลดให้ต่ำลงได้โดยการลดภาระความร้อนที่เกิดขึ้นในโรงงานเช่น ติดตั้งฉนวนกันความร้อนในอุปกรณ์ความร้อนและติดฝ้าเพดานที่หลังคาเพื่อป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ รวมทั้งลดอุณหภูมิอากาศทางเข้าและปริมาณอากาศทางเข้าน้อยกว่าอากาศทางออก (Ar < 1) ก็จะสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงงานลงได้

5. ข้อเสนอแนะ

สำหรับในการทำวิจัยต่อจากงานวิจัยนี้ควรที่จะทำการวิเคราะห์อากาศเป็นจุดๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลการกระจายความร้อนและความชื้นที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและสิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ ในบริเวณที่อากาศภายนอกมีปริมาณฝุ่นหนาแน่นมากกรองอากาศที่ใช้จำเป็นต้องมีความละเอียดมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องควรพิจารณาความดันตกคร่อมที่กรองอากาศทางเข้าประกอบด้วยว่าจะมีผลกระทบต่อปริมาณอากาศที่ไหลเข้าและอุณหภูมิอากาศด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารอ้างอิง

1. V. V. Baturin. **Fundamental of Industrial Ventilation.** 3nd ed. Oxford : Pergamon Press, c1972.
2. Heinsohn Robert Jenning. **Industrial Ventilation : Engneering Principles.** New York : John Wiley & Son, c1991.
3. “Ventilation of the Industrial Environment.“ **ASHRAE Application Handbook**. 1995 : 24.1-24.19.
4. Faye C. McQuiston and Jerald D. Parker. **Heating Ventilating and Air Conditioning : Analysis and Design**. 4th ed. New York : Wiley & Son, c1994.
5. C. P. Arora. **Refrigeration and Air Conditioning**. New Delhi : McGraw Hill, c1981.
6. Haward D. Goodfellow. **Advanced Design of Ventilation System for Contaminant Control.** Amsterdam : Scince Elsevier, c1985.
7. Henry J. McDermott. **Handbook of Ventilation for Contaminant Control**. : Including OSHA Requirements Ann Arbor Science, c1977.
8. G. Gordon and I. Peisakhov. **Dust Collection and Gas Cleaning**. Translation from the Russian by I. Savin. Moscow : Mir ,c1972.
9. J. P. Holman. **Heat Transfer**. 6th ed. : McGraw Hill, c1986.