

การศึกษาเชิงทดลองพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอด Experimental study the parameter that affects solidification process of tube ice

นายสรวิทย์ ปุคะภาค^{1*} และ นายฉัตรชัย เบญจปิยะพร¹

¹ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

* ผู้ติดต่อ: E-mail: sorawin_p@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์: 080 5610111

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอด โดยมุ่งเน้นไปที่ชุดผลิตน้ำแข็งหลอด เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอดเพื่อนำไปสู่การออกแบบที่เหมาะสมต่อการใช้งานด้านการทำความเย็นเป็นหลัก โดยอาศัยการทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณการผลิตน้ำแข็งหลอด พารามิเตอร์ต่างๆคือ อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศรอบนอก อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรอบนอก ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล่าง อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor อุณหภูมิเฉลี่ยขาออก Condensor และอุณหภูมิน้ำป้อนเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากทฤษฎี และจากการทดลองจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล่าง อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor และอุณหภูมิเฉลี่ยขาออก Condensor จะส่งผลกระทบต่อค่าความหนาของน้ำแข็งน้อยมาก ส่วนอุณหภูมิน้ำป้อน อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศรอบนอก อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรอบนอกและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็งจะมีผลต่อค่าความหนาของน้ำแข็ง ซึ่งเห็นได้ว่ามีแนวโน้มและสอดคล้องไปกับทิศทางเดียวกันกับผลทางทฤษฎี โดยค่าความผิดพลาดระหว่างความหนาของน้ำแข็งกับเวลาในการผลิตค่าทางทฤษฎีและค่าที่วัดได้จะมีค่าประมาณ 3.8 % ส่วนการใช้กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละฤดูกาล ฤดูฝนใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 125 กิโลวัตต์ ฤดูหนาวใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าฤดูฝน 10% ส่วนฤดูร้อนใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยกว่าฤดูฝน 10%

คำหลัก: น้ำแข็งหลอด การแข็งตัว การทำความเย็น

Abstract

This study was aimed to investigate experimental study of solidification process of tube ice. The study focused on tube ice machinery set to analyze the parameters affecting tube ice solidification for optimal designation in terms of practical refrigeration. The experiment was conducted to investigate the parameters affecting the amount of tube ice. Significant studied parameters were average ambient air temperature, average ambient refrigerative machinery room temperature, average outer relative humidity, average relative humidity of refrigerative machinery room, average temperature of lower tub water, average temperature of condensor inlet, average temperature of condensor outlet and inlet water temperature. Comparing of experimental results and theoretical results indicated that average temperature

of lower tub water, average temperature of condensor inlet and average temperature of condensor outlet insignificantly affected thickness of tube ice. However, Inlet water temperature, average ambient air temperature, average ambient refrigerative machinery room temperature, average outer relative humidity and average relative humidity of refrigerative machinery room significantly affected thickness of tube ice and corresponded to theoretical results. Fractional error between thickness of tube ice and production duration was approximately 3.8 percent. The compressor power consumption of any seasons by rainy uses power average 125 KW, In winter use power average more than rainy 10 percent and summer uses power average less than rainy 10 percent.

Keywords: Tubular-Ice, Solidification, refrigeration

1. บทนำ

ในปัจจุบันสภาวะภูมิอากาศโลกมีความแปรปรวนส่งผลให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้น ทำให้ภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบเช่นเดียวกัน จากสภาวะการณดังกล่าวประชากรในประเทศไทยจึงมีความต้องการอุปโภคบริโภคน้ำแข็งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมน้ำแข็งมีการแข่งขันเพิ่มมากขึ้นตามมาด้วย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำแข็งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปในอุตสาหกรรมต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น แช่แข็งอาหารทะเล เครื่องดื่ม การรักษาทางการแพทย์ และใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นอุตสาหกรรมน้ำแข็งจึงเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ

นอกจากความสำคัญในระดับอุตสาหกรรมแล้ว ความต้องการน้ำแข็งของภาคธุรกิจการค้าในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้มีการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมน้ำแข็งอยู่ใกล้กับแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัย และธุรกิจร้านค้าต่างๆ จากการศึกษาในเบื้องต้น กระบวนการผลิตน้ำแข็งในแต่ละครั้งมีการใช้เวลานาน ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็ง และมีค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมากเช่นกัน เพื่อให้อุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็งนี้มีกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านการลดการใช้พลังงานและต้นทุนการผลิตให้สามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมน้ำแข็งต่อไปได้

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาไปที่ชุดผลิตน้ำแข็งหลอด เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผล

ต่อการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอดเพื่อนำไปสู่การออกแบบที่เหมาะสมต่อการใช้งานด้านการทำความเย็นเป็นหลัก โดยอาศัยการทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณการผลิตน้ำแข็งหลอด พารามิเตอร์ต่างๆคือ ปริมาณน้ำแข็งที่ผลิตได้อุณหภูมิบรรยากาศรอบนอก อุณหภูมิบรรยากาศห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง ความชื้นสัมพัทธ์รอบนอก ความชื้นสัมพัทธ์ห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง อุณหภูมิน้ำป้อน อัตราการไหลน้ำป้อน ขนาดความหนาของน้ำแข็ง ความดันด้านดูด ความดันด้านอัด สารทำความเย็น เป็นต้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบขึ้น โดยคาดว่าโครงการนี้จะได้แบบจำลองที่ถูกต้องและมีความแม่นยำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในโอกาสต่อไป

2. การทดลอง



รูปที่ 1 ชุดผลิตน้ำแข็งหลอด



รูปที่ 2 ชุดท่อผลิตน้ำแข็งหลอด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับการทำแข็งดังรูปที่ 1 ซึ่งภายในชุดผลิตน้ำแข็งหลอดจะบรรจุแอมโมเนีย จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอเพื่อทำความเย็นทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งหลอดต่อไป โดยที่ขนาดของชุดผลิตน้ำแข็งหลอดนี้จะแตกต่างกันไปตามปริมาณแอมโมเนียที่ต้องการในแต่ละรอบการผลิต ซึ่งตัวถังของชุดผลิตน้ำแข็งหลอดจะสร้างจากสเตนเลส โดยทั่วไปส่วนประกอบที่อยู่ภายในชุดผลิตน้ำแข็งหลอดประกอบด้วย ชุดปรับอัตราการไหลของน้ำ ชุดท่อผลิตน้ำแข็งหลอด ชุดมีดตัดน้ำแข็ง และเกลียวล้อเสียง ถึงเก็บสะสมไอน้ำเย็น และชุดวาล์วต่างๆ

ขั้นตอนการทดลองและเก็บข้อมูล

1. เลือกหลอดทำน้ำแข็งที่จะทำการวัดจำนวน 5 หลอด โดยที่แต่ละหลอดจะตั้งอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องทำน้ำแข็งหลอด

2. เริ่มทำการวัดเมื่อมีการปล่อยน้ำเข้าสู่ท่อทำน้ำแข็งเป็นค่าแรก และอ่านค่าความดันขาเข้าและออกที่เครื่องอัดไอเพื่อใช้ในการหาค่าอุณหภูมิอิ่มตัวของแอมโมเนียในการผลิตนั้นๆ

3. จากนั้นเริ่มทำการเก็บข้อดังตารางที่ 1 ทุกๆ 5 นาที โดยเริ่มจาก หลอดที่ 1 ในนาทีที่ 5 หลอดที่ 2 ในนาทีที่ 10 หลอดที่ 3 ในนาทีที่ 15 ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนครบทั้ง 5 หลอดในนาทีที่ 30 โดยค่าสุดท้ายในนาทีที่ 34 จะเป็นการวัดค่าของน้ำแข็งที่ออกจากเครื่องมาแล้ว ถือเป็นข้อมูล 1 ชุด (ดังรูปที่ 2)

4. ในรอบการผลิตถัดๆไปจะเริ่มจากหลอดที่ 2,3,4 และ 5 ตามลำดับ สลับหมุนเวียนกันไปเรื่อยๆ ซึ่งจะได้ข้อมูลมาทั้งหมดจำนวน 5 ชุด

5. นำค่าความหนาที่ได้มาทั้งหมดหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีต่อไป

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ทำการเก็บข้อมูล

พารามิเตอร์ที่ทำการเก็บข้อมูล	หน่วย
ปริมาณน้ำแข็งที่ผลิตได้	(kg)
อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศรอบนอก	(°C)
อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง	(°C)
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรอบนอก	(%)
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง	(%)
อุณหภูมิน้ำป้อน	(°C)
อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล้าง	(°C)
อุณหภูมิน้ำ defrost	(°C)
กำลังไฟฟ้าเครื่องผลิตน้ำแข็ง (Compressor)	kW
อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor	(°C)
อุณหภูมิเฉลี่ยขาออก Condensor	(°C)
ขนาดความหนาของน้ำแข็ง	(mm)

3. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การหาความหนาของน้ำแข็งเมื่อเวลาต่างๆจากการคำนวณทางทฤษฎีสำหรับท่อผิวเรียบ

ในการวิเคราะห์ในส่วนนี้นั้นจะใช้ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในขณะที่มีการเดือดบนพื้นผิวเรียบของ Stephan และ Abdelsalam (1980) ดังสมการ

$$\frac{\alpha_{nb}d}{k_L} = 0.0546 \left[\left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{1/2} \left(\frac{qd}{k_L T_{sat}} \right) \right]^{0.67} \cdot \left(\frac{\Delta h_f d^2}{a_L^2} \right)^{0.248} \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_L} \right)^{-4.33} \quad (1)$$

และ

$$d = 0.0146 \beta \left[\frac{2\sigma}{g(\rho_L - \rho_V)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

และความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำแข็งกับเวลา ในสมการ

$$\frac{(T_\infty - T_f)_t}{\rho L} = \frac{1}{k_1} \left\{ \frac{[r(t)]^2}{2} \ln \left[\frac{r_1}{r(t)} \right] + \frac{[r(t)]^2}{4} - \frac{r_1^2}{4} \right\} + \frac{1}{2k_2} \left\{ [r(t)]^2 - r_1^2 \right\} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + \int_{r_1}^{r(t)} \frac{r(t)}{\alpha_{nb} r_2} dr(t) \quad (3)$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนขณะเดือดสำหรับท่อ
ผิวเรียบ

$$\alpha_{nb} = C_s \cdot \Delta T^{2.0303} \quad (4)$$

ค่าการระเหย

$$q = \alpha_{nb} \Delta T \quad (5)$$

โดยที่ α_{nb} = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนขณะ
เริ่มเดือด $W/(m^2 \cdot K)$

d = Bubble departure diameter m

k_L = สภาพนำความร้อนของของเหลว

$W/(m \cdot K)$

ρ_v = ความหนาแน่นของไอ kg/m^3

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลว kg/m^3

q = ฟลักซ์ความร้อน W/m^2

T_{sat} = อุณหภูมิอิ่มตัว K

Δh_v = ความร้อนแฝงของการกลาย
เป็นไอ $J/mole$

a_L = การแพร่กระจายทางความร้อนของ
ของเหลว m^2/s

σ = แรงตึงผิว N/m

T_f = อุณหภูมิของฟิล์ม K

L = ความร้อนแฝง J/kg

t = เวลา $Second$

k_1 = สภาพนำความร้อนของน้ำแข็ง

$W/(m \cdot K)$

k_2 = สภาพนำความร้อนของท่อ $W/(m \cdot K)$

$r(t)$ = รัศมีรูกลวงของน้ำแข็งที่เวลาใดๆ m

r_1 = รัศมีภายในของท่อ m

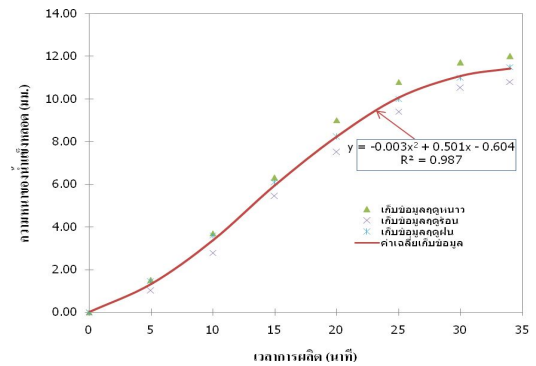
r_2 = รัศมีภายนอกของท่อ m

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองในสภาวะต่างๆ และจาก
การเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำโดยวิธี
Neumann's ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง และ
การเปรียบเทียบได้ดังนี้คือ

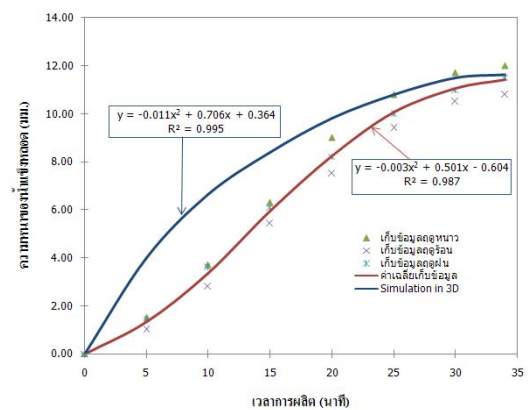
4.1 การหาความหนาของน้ำแข็ง ณ เวลาต่าง ๆ

4.1.1 ผลการทดลอง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำแข็ง
กับเวลาในการผลิต

จากรูปที่ 3 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของ
น้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนา
เพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วง
ท้ายๆของการผลิต ซึ่งทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อชั้นของ
น้ำแข็งเกิดขึ้นภายในท่อทำน้ำแข็ง ตัวของน้ำแข็งจะมี
สภาพการนำความร้อนที่ต่ำซึ่งเท่ากับว่าเป็นตัว
ต้านทานในการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำที่เป็น
ของเหลวกับแอมโมเนียซึ่งเป็นสารทำความเย็นซึ่งอยู่
ภายนอกของท่อ ดังนั้นเมื่อน้ำแข็งมีความหนาขึ้น
เรื่อยๆก็จะยิ่งถ่ายเทความร้อนได้ยากขึ้น ซึ่งอัตรา
ความร้อนที่ไหลผ่านระหว่างน้ำที่เป็นของเหลวกับ
แอมโมเนียจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นผลให้ในช่วง
ท้ายๆรอบการผลิตน้ำแข็งจะโตช้าลงนั่นเอง

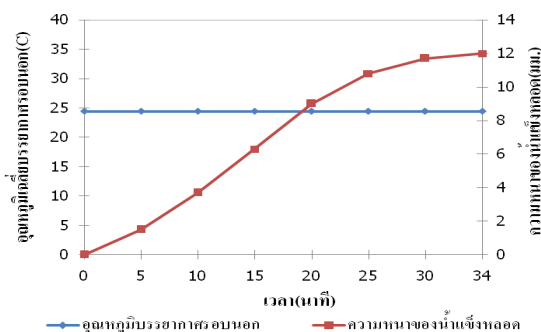


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำแข็งกับ
เวลาในการผลิตจากการคำนวณ

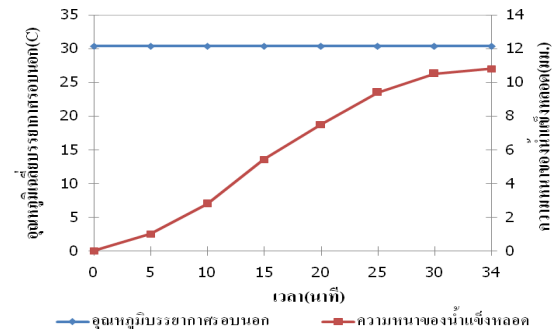
จากรูปที่ 4 จะเห็นผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีจะมีความสอดคล้องกันกับการเก็บข้อมูลจริง ซึ่งค่าที่ได้จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความผิดพลาดระหว่างค่าทางทฤษฎีและค่าที่วัดได้จะมีค่าประมาณ 3.8 % ส่วนค่าที่ได้แตกต่างกันนั้น เนื่องจากการกำหนดค่าคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแอมโมเนียให้มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการทำงานจริงของระบบในการทำน้ำแข็งนั้นระบบจะไม่ได้คงที่เช่นเดียวกับสมมติฐานที่ตั้งขึ้น อีกทั้งการใช้ค่าความดันในฝั่งดูดเข้าเครื่องอัดไอในการประมาณค่าคุณสมบัติของแอมโมเนียในถังทำน้ำแข็ง ซึ่งเมื่อพิจารณาในช่วงเริ่มของการผลิตนั้นค่าเริ่มต้นต่างๆ ของน้ำไม่ได้เป็นไปดังค่าเริ่มต้นที่นำมาใช้ในทางทฤษฎีทำให้มีความผิดพลาดในการผลิต แต่เนื่องจากผลที่ได้ยังมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันดังนั้นจะสามารถนำผลที่ได้จากทางทฤษฎีไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจริงได้

4.2 การหาอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ

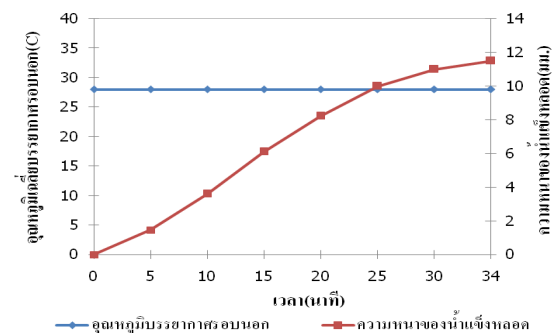
4.2.1 ผลการทดลอง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิบรรยากาศรอบนอก (ฤดูหนาว)

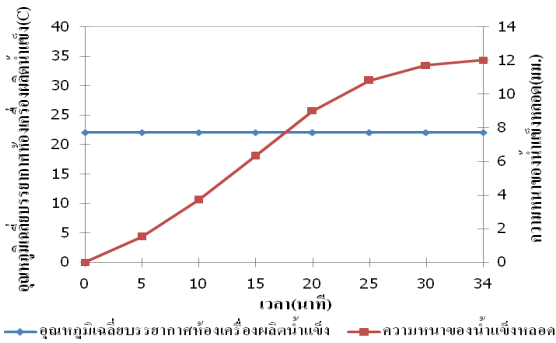


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิบรรยากาศรอบนอก (ฤดูร้อน)

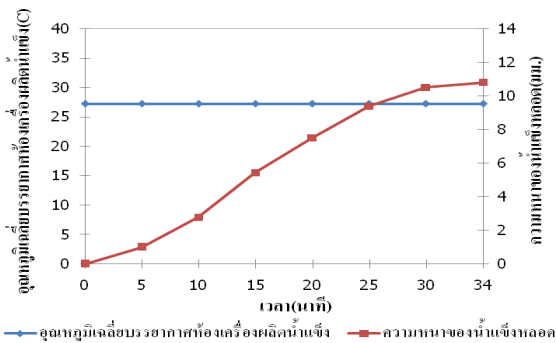


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิบรรยากาศรอบนอก (ฤดูฝน)

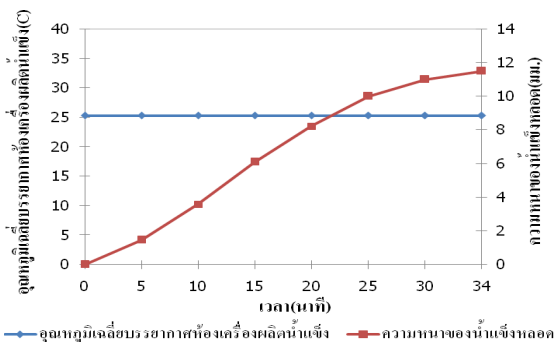
จากรูปที่ 5-7 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วงท้ายๆของการผลิต ส่วนอุณหภูมิบรรยากาศรอบนอกจะเห็นได้เวลาที่เวลาต่างๆจะมีค่าในช่วง 25°C-30°C ซึ่งก็หมายถึงอุณหภูมิบรรยากาศรอบนอกส่งผลกระทบกับค่าความหนาของน้ำแข็ง



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความ
หนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิบรรยากาศ
ห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง (ฤดูหนาว)



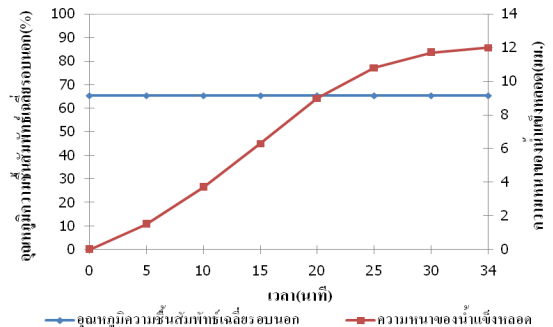
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความ
หนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิบรรยากาศ
ห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง (ฤดูร้อน)



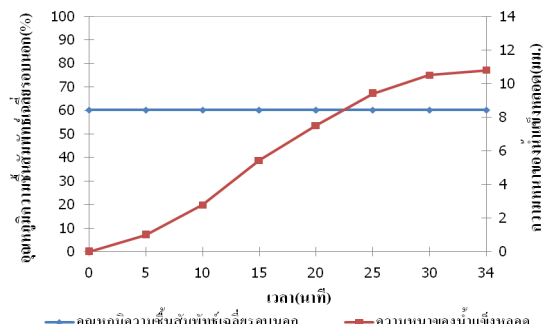
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ
บรรยากาศห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง (ฤดูฝน)

จากรูปที่ 8-10 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของ
น้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนา
เพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วง
ท้ายๆของการผลิต ส่วนอุณหภูมิบรรยากาศห้อง

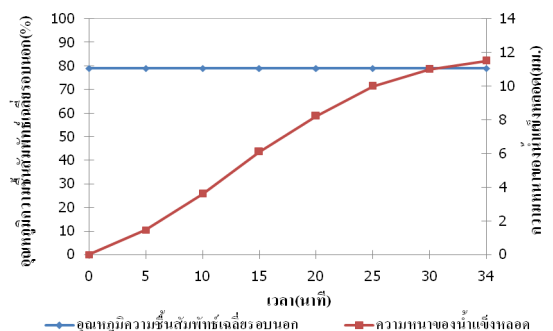
เครื่องผลิตน้ำแข็งจะเห็นได้ว่าที่เวลาต่างๆจะมีค่า
ในช่วง 22 °C-27 °C ซึ่งก็หมายถึงอุณหภูมิบรรยากาศ
ห้องเครื่องผลิตน้ำแข็งส่งผลกระทบทับกับความหนา
ของน้ำแข็ง



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์
เฉลี่ยรอบนอก (ฤดูหนาว)

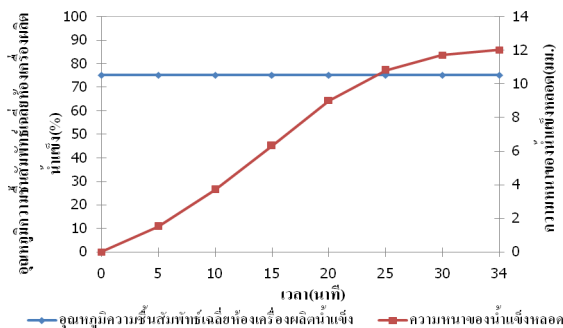


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์
เฉลี่ยรอบนอก (ฤดูร้อน)

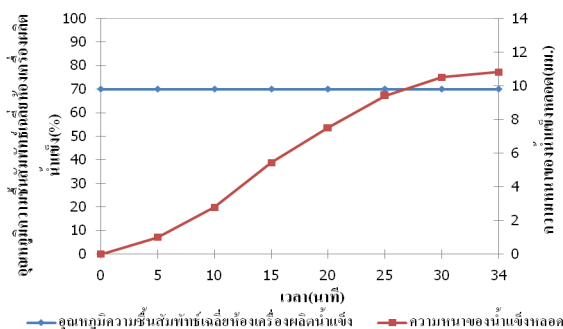


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์
เฉลี่ยรอบนอก (ฤดูฝน)

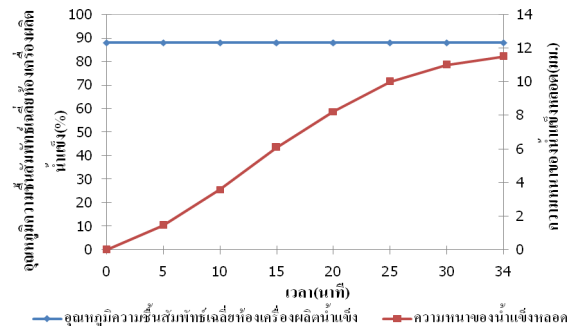
จากรูปที่ 11-13 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วงท้ายๆของการผลิต ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรอบนอกจะเห็นได้ว่าที่เวลาต่างๆจะมีค่าต่างกัน ซึ่งก็หมายถึงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรอบนอกส่งผลกระทบกับค่าความหนาของน้ำแข็ง



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง (ฤดูหนาว)

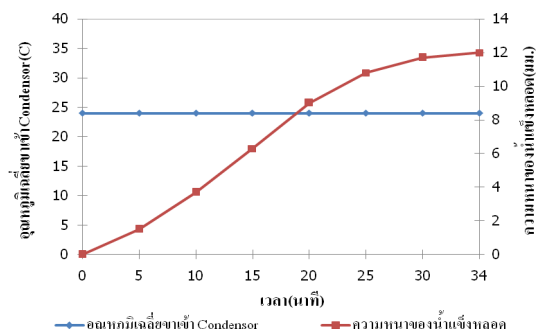


รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง (ฤดูร้อน)

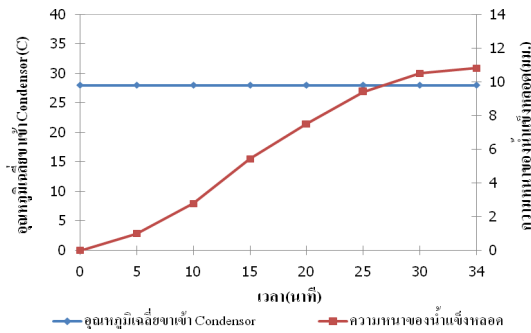


รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง (ฤดูฝน)

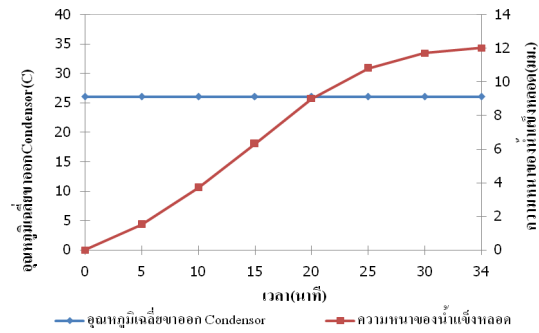
จากรูปที่ 14-16 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วงท้ายๆของการผลิต ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็งจะเห็นได้ว่าที่เวลาต่างๆจะมีค่าต่างกัน ซึ่งก็หมายถึงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็งส่งผลกระทบกับค่าความหนาของน้ำแข็ง



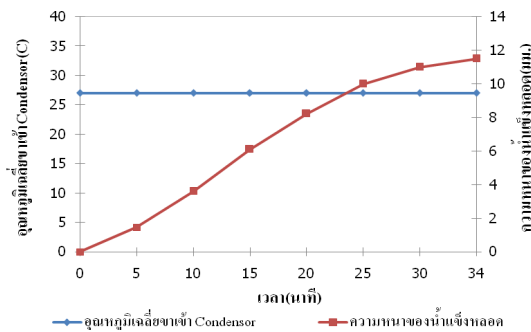
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor (ฤดูหนาว)



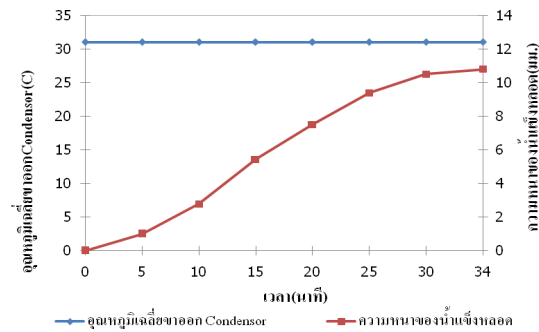
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับ
อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor (ฤดูร้อน)



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ
เฉลี่ยขาออก Condensor (ฤดูหนาว)

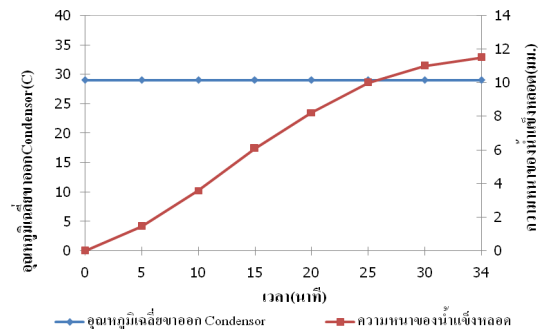


รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับ
อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor (ฤดูฝน)



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับ
อุณหภูมิเฉลี่ยขาออก Condensor (ฤดูร้อน)

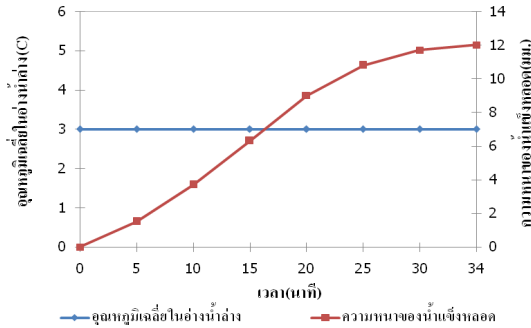
จากรูปที่ 17-19 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วงท้ายๆของการผลิต ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor จะเห็นได้ว่าที่เวลาต่างๆจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งก็หมายถึงอุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า Condensor ส่งผลกระทบกับค่าความหนาของน้ำแข็งน้อยมาก



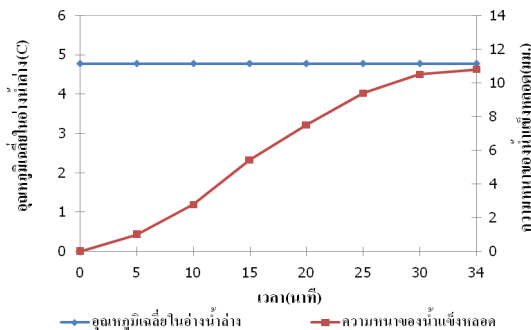
รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับ
อุณหภูมิเฉลี่ยขาออก Condensor (ฤดูฝน)

จากรูปที่ 20-22 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วงท้ายๆของการผลิต ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยขาออก

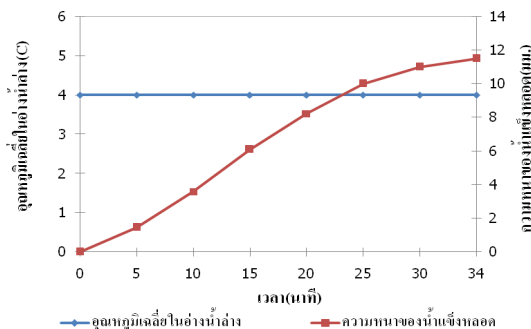
Condensor จะเห็นได้ว่าที่เวลาต่างๆ จะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งก็หมายถึงอุณหภูมิเฉลี่ยขาออก Condensor ส่งผลกระทบกับค่าความหนาของน้ำแข็งน้อยมาก



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล้าง (ฤดูหนาว)

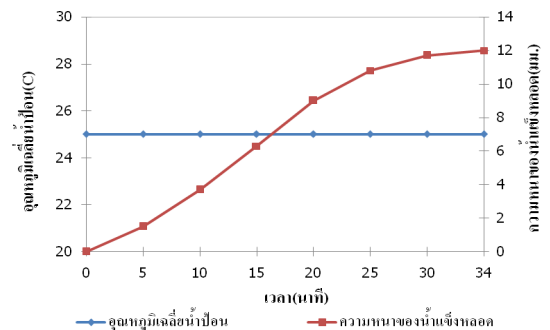


รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล้าง (ฤดูร้อน)

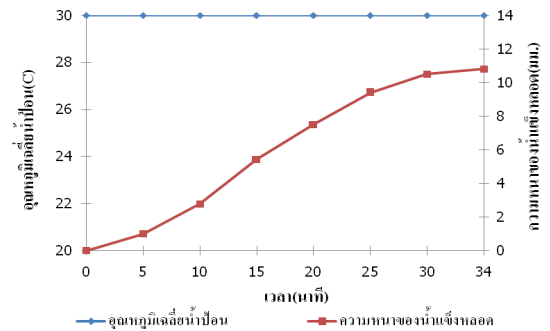


รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล้าง (ฤดูฝน)

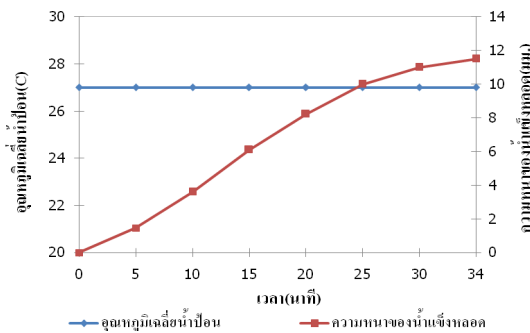
จากรูปที่ 23-25 นั้นจะเห็นว่าค่าความหนาของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วงท้ายๆของการผลิต ส่วนอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล้างจะเห็นได้ว่าที่เวลาต่างๆ จะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งก็หมายถึงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล้าง ส่งผลกระทบกับค่าความหนาของน้ำแข็งน้อยมาก



รูปที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำป้อน (ฤดูหนาว)

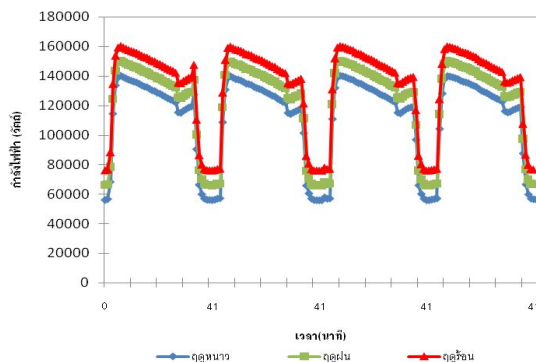


รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับความหนาของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำป้อน (ฤดูร้อน)



รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตกับ
ความหนาแน่นของน้ำแข็งเปรียบเทียบกับ
อุณหภูมิน้ำป้อน (ฤดูฝน)

จากรูปที่ 28 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิน้ำป้อนต่ำ และความหนาแน่นของน้ำแข็งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิน้ำป้อนสูง ซึ่งก็หมายถึงอุณหภูมิน้ำป้อนส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของน้ำแข็ง



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผลิตแต่ละ
ฤดูเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 29 จะเห็นได้ว่าการใช้กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละฤดูกาล ฤดูฝนใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 125 กิโลวัตต์ ฤดูหนาวใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าฤดูฝน 10% ส่วนฤดูร้อนใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยกว่าฤดูฝน 10%

5. สรุป

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอดซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในอ่างน้ำล่าง อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า

Condensor อุณหภูมิเฉลี่ยขาออก Condensor ส่งผลกระทบกับค่าความหนาแน่นของน้ำแข็งน้อยมาก ส่วนอุณหภูมิน้ำป้อน อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศรอบนอก อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรอบนอก และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง จะมีผลต่อค่าความหนาแน่นของน้ำแข็ง ซึ่งเห็นได้ว่ามีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกันกับผลทางทฤษฎี โดยค่าความผิดพลาดระหว่างความหนาแน่นของน้ำแข็งกับเวลาในการผลิตค่าทางทฤษฎีและค่าที่วัดได้จะมีค่าประมาณ 3.8 % ส่วนการใช้กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละฤดูกาล ฤดูฝนใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 125 กิโลวัตต์ ฤดูหนาวใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าฤดูฝน 10% ส่วนฤดูร้อนใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยกว่าฤดูฝน 10%

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ หน่วยงานขอนแก่นมิตรภาพ สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ทำการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม

- [1] จิตติน แดงเที่ยง.การศึกษาภาระความเย็นและอัตราการผลิตน้ำแข็งจากการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดด้วยวิธีการพ่นแห้งผิวด้วยลูกปทราย.การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, ชลบุรี, 2548.
- [2] ภูวนาท กาบคำ, " การศึกษาภาระความเย็นและอัตราการผลิตน้ำแข็งจากการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดด้วยวิธีการพ่นแห้งผิวลูกปทราย",การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1,

ชลบุรี ประเทศไทย, ระหว่างวันที่ 11-13
พฤษภาคม 2548.

- [3] วิระศักดิ์ คงแก้ว, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, จิรพล
กลิ่นบุญ, "การศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการ
ทำแข็งของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส 1 มิติ",
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, อุบลราชธานี, 2553.

7.2 หนังสือ

- [4] อินทรชิต หอวิจิตร, "อุณหพลศาสตร์ 1", พิมพ์
ครั้งที่ 2, ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2540.
- [5] Carslaw and Jaeger, "Conduction of heat in
solids" 2nded, Oxford University Press, 1959.
- [6] Janusz T and Cieslinski, "Nucleation pool
boiling on porous metallic coatings",
Experimental Thermal and Fluid
science, 25(2002):557-564.
- [7] Yunus A. Cengel-Michael A Boles,
"Thermodynamics", Mc Graw Hill, 2006

7.3 เว็บไซต์

- [8] Bergles E, "High-flux process through
enhanced heat transfer",
web.mit.edu/html/www/papers/BERGLES.pdf
- [9] Mertz R. et al., "Pool boiling of butane from
enhanced tubes", www-ew.ike.uni-stuttgart.de/papers/bru97.pdf
- [10] Mertz R. et al., "Pool boiling from enhanced
tubular heat transfer surfaces",
wwwew.ike.uni-stuttgart.de/papers/kyon98.pdf