# การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการปรับมุมใบพัดหอผึ่งน้ำเย็น

# Energy Conservation Technique in Ice Making Machine by Modifying a Blade of Cooling Tower

สันติกร ภูมิประเสริฐ (Santikorn Poomprasert)* ณัฐดนย์ พรรณุเจริญวงษ์ (Nattadon Pannucharoenwong)**
ฉัตรชัย เบญจปิยะพร (Chatchai Benjapiyaporn)***

## บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาระบบการทำความเย็นในโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอด ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างสูง โดยเน้นไปที่การศึกษาการใช้พลังงานในระบบหอผึ่งน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำเป็นหลัก การศึกษาในครั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของหล่อเย็น ตัวแปรที่ควบคุมได้ ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอด กลไกการอนุรักษ์พลังงานในหอผึ่งน้ำเย็น หอผึ่งน้ำเย็นที่ศึกษาเป็นประเภท Induced Draft, Double-Flow Cross Flow กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหอผึ่งน้ำเย็น คือ มอเตอร์พัดลมระบายความร้อน ใบพัดทำจากวัสดุที่เป็นอลูมิเนียมและมีมุมใบพัดที่ 20° การศึกษาได้ทำการปรับมุมใบพัดเพื่อให้เกิดผลประหยัดที่มอเตอร์พัดลมระบายความร้อน อีกทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งพบว่ามุมใบพัดที่เหมาะสมคือมุมที่ 22° เพราะการใช้กำลังไฟฟ้าลดลงจาก 114.410 กิโลวัตต์ เป็น 104.199 กิโลวัตต์ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดการใช้กำลังไฟฟ้า 8.92%

## ABSTRACT

The aim of this study is to identify energy conservation measures in the ice making factory, which normally consume large amount of energy. In this work , the energy use in a cooling tower is under taken. The parameters included and uncontrollable variables are identified. The cooling tower in this study is an induced draft , double flow cross flow cooling tower. In this study , the efficiency of a cooling tower was improved by adjusting the operation conditions of a cooling tower such as blade angle. From the study, it was found that the optimized blade angle is 22°. The power consumption of a cooling tower was reduces from 114.410 kW to 104.199 kW which equivalent to 8.92% . Furthermore it will also improve the energy efficiency of ice – making machine

**คำสำคัญ:** หอผึ่งน้ำเย็น พลังงาน ใบพัด

**Key Words:** Cooling Tower, Energy, Blade

** มหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

*** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น*

**** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

## บทนำ

ระบบทำความเย็นเป็นระบบที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง โดยแบ่งภาระการใช้พลังงานออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือภาระงานที่ชุดคอมเพรสเซอร์เป็นหลัก รองลงมาก็เป็นชุดระบบหล่อเย็น ในที่นี้จะทำการศึกษาที่ชุดระบบหล่อเย็นของระบบทำความเย็น สำหรับระบบทำความเย็นของโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอด โดยมีการหล่อเย็นชุดคอนเดนเซอร์ โดยใช้หอผึ่งน้ำเย็น แบบ Induced Draft, Double-Flow Cross Flow ในการระบายความร้อนของน้ำที่ผ่านชุดคอนเดนเซอร์แล้วนำน้ำที่ร้อนนี้มาระบายความร้อนที่ หอผึ่งน้ำเย็น เพื่อลดอุณหภูมิลง โดยปกติอุณหภูมิที่ออกจาก หอผึ่งน้ำเย็น จะมีอุณหภูมิ 32 °C และเข้า หอผึ่งน้ำเย็น มีอุณหภูมิ 37 °C โดยการระบายความร้อนของน้ำนั้นดำเนินการโดยสเปรย์น้ำเป็นละอองฝอยลงด้านล่างหอผึ่งน้ำเย็น แล้วใช้พัดลมดูดอากาศให้ไหลสวนทางกับน้ำทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดลง จะเห็นได้ว่าที่ชุด หอผึ่งน้ำเย็น มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์พัดลม โดยพัดลมโดยทั่วไปจะทำจากวัสดุที่เป็นอลูมิเนียมและมีการปรับมุมใบพัดไว้ที่ 30° ในการศึกษาในครั้งนี้จะทำการปรับมุมใบพัดเพื่อลดกำลังไฟฟ้าของระบบทำน้ำแข็งหลอด ทำให้เกิดการประหยัดที่มอเตอร์พัดลม หอผึ่งน้ำเย็น และที่ชุดคอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็น

การศึกษาในครั้งนี้เน้นไปที่การศึกษาเชิงทดลองเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี เพื่อหาข้อสรุปในการประหยัดพลังงานที่เกิดจากการปรับปรุงมุมใบพัด ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานผลิตน้ำแข็งแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น

## อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

หอผึ่งน้ำเย็น ที่ใช้ในการทดสอบเป็นหอผึ่งน้ำเย็นแบบ Induced Draft, Double-Flow Cross Flow โดยนำน้ำที่ผ่านการระบายความร้อนนี้ไปหล่อเย็นให้กับชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องผลิตน้ำแข็งขนาด 50 ตัน ดังรูปที่ 1 โดยระบบผลิตน้ำแข็งประกอบไปด้วย คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ถังรีซีพเวอร์ หอผึ่งน้ำเย็น และการตรวจวัดระบบผลิตน้ำแข็งซึ่งประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

1) หอผึ่งน้ำเย็น แบบ Induced Draft, Double-Flow Cross Flow เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำ โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- หอผึ่งน้ำเย็น ขนาด 975,000 kCal/hr
- Water flow 195 $m^3$/hr
- Air flow 100,000 $m^3$/hr
- Hot water temperature 37 °C
- Cold water temperature 32 °C
- Inlet wet bulb temperature 27 °C
- Fan horsepower 7.5 Hps

**รูปที่ 1** หอผึ่งน้ำเย็น แบบ Induced Draft, Double-Flow Cross Flow

2) คอมเพรสเซอร์เครื่องผลิตน้ำแข็ง แบบลูกสูบ โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- น้ำยาทำความเย็น ชนิดแอมโมเนีย(R717)
- Suction pressers 3 barg.
- Discharge pressers 17 barg.
- Motor compressor horsepower 150 Hps

3) มอเตอร์ปั๊มน้ำหล่อเย็นมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

- Water flow 195 $m^3$/hr
- ความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊ม 1450 รอบ/นาที
- Motor horsepower 5 Hps

4) อุปกรณ์ตรวจวัดประกอบไปด้วยดังนี้

- เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแบบบันทึกค่าต่อเนื่อง

- เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟส, 1 เฟส แบบบันทึกค่าต่อเนื่อง

- เครื่องวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบบันทึกค่าต่อเนื่อง

- เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศความเร็วลมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก กำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟส, 1 เฟส แบบบันทึกค่าชั่วขณะ

## วิธีการวิเคราะห์

**ตัวบ่งชี้คุณลักษณะและสมรรถนะหอผึ่งน้ำเย็น**

ในการถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศและน้ำบนแผงขยายฟิล์ม ผลต่างระหว่างเอนทัลปีของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิของน้ำกับเอนทัลปีของอากาศที่จุดเดียวกัน เป็นที่ทราบกันดีว่ากลไกการถ่ายโอนความร้อนในหอผึ่งน้ำเย็นจะเกิดขึ้นภายในแผงขยายฟิล์ม แผงขยายฟิล์มจะมีสัมประสิทธิ์ของการถ่ายโอนซึ่งจะวัดค่าได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนที่ผิวร่วม ดังนั้นจึงกำหนดใช้ค่าโดยใช้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตร (volumetric heat transfer coefficient,Ka)แทนพิจารณาแผงขยายฟิล์มที่มีพื้นที่หน้าตัด A อากาศและน้ำไหลในทิศทางสวนกัน อากาศไหลเข้า ด้านล่างด้วยอัตราการไหล G, kg/s น้ำร้อนไหลเข้าทางด้านบนด้วยอัตราการไหล L ,kg/s และน้ำมีความจุความร้อนจำเพาะคงตัว $C_W$ , kJ/kg. $^oC$ ภายใต้สมดุลของพลังงานในปริมาตรเชิงอนุพันธ์ (dV)นั้นเขียนได้ว่า

$$\frac{Ka.dV}{L} = \frac{dh_W}{(h_S - h_a)} \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{KaV}{L} = \int_{h_{W,out}}^{h_{W,in_1}} \frac{dh_W}{(h_S - h_a)} \quad \text{..... (2)}$$

ส่วนประสิทธิภาพการทำงานของหอผึ่งน้ำเย็นประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญคือ ระยะของช่วง, ระยะประชิด, อุณหภูมิกระเปาะเปียก, และอัตราการไหลของน้ำ โดยประสิทธิภาพการทำงานของหอผึ่งน้ำเย็นหาได้จากสมการดังข้างล่างนี้

Efficiency($\eta_{CT}$) = Range x 100/(Range+Approach)

.....(3)

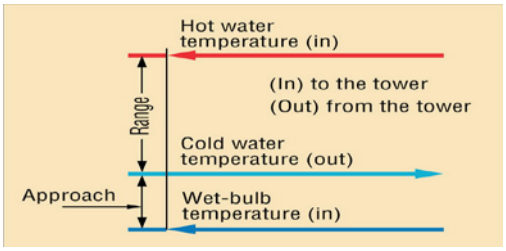
Range = Ti-To ..... (4)

Approach = To-Twb ..... (5)

Ti คือ Hot water temperature ($^\circ$C)

To คือ Cold water temperature ($^\circ$C)

Twb คือ Wet-bulb water temperature ($^\circ$C)



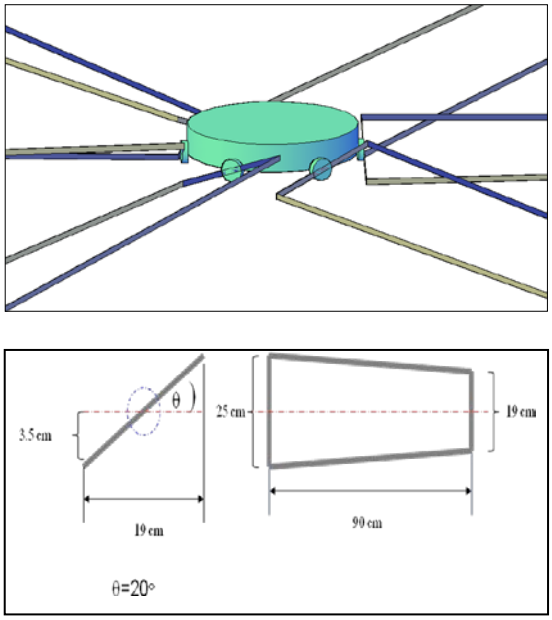

**รูปที่ 2** แสดงอุณหภูมิเข้าออกหอผึ่งน้ำเย็น

**การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตร (KaV/L)**

สำหรับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตร ( Ka.V / L) สามารถคำนวณได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้ การหาปริพันธ์ตามวิธีของเมอร์เคิล (Merkel method) วิธีของทีเชบายเชฟฟ์ (Techebycheff method) และวิธีการหาปริพันธ์ทีละช่วง (Stepwise integration method) โดยวิธีของเมอร์เคิล (Merkel method) เป็นวิธีการที่อาศัยเทคนิคของการหาพื้นที่ใต้กราฟ $1 / (h_S - h_a)$ และ $h_w$ โดยใช้กฎผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเล็กๆในช่วงตั้งแต่ $h_w$ ที่อุณหภูมิน้ำเย็นทางออก (CWT) จนถึง $h_w$ ที่อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า (HWT )

**การปรับมุมใบพัด**

การปรับมุมใบพัดได้ทำการปรับ 5 มุม ดังแสดงในรูปที่ 4 ความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลมให้คงที่ทุกมุมใบพัดที่ปรับโดยมีความเร็วรอบอยู่ที่ 1450 รอบ/นาที




**รูปที่ 3** ภาพตัดขวางและภาพมุมสูงของมุมใบพัด Cooling tower ก่อนดำเนินการศึกษา

**รูปที่ 4** การดำเนินการปรับมุมใบพัด

**ขั้นตอนการทดสอบ**

ก่อนดำเนินการทดสอบจะต้องตรวจเช็คเครื่องมือตรวจวัดให้พร้อมใช้งานเสมอ พร้อมทั้งตั้งเวลาเครื่องมือตรวจวัดให้ตรงกันด้วย โดยขั้นตอนการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1) ติดตั้งพร้อมบันทึกค่าเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่องที่เมนเบรคเกอร์ มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ และมอเตอร์พัดลมหอผึ่งน้ำเย็น

2) ติดตั้งพร้อมบันทึกค่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบต่อเนื่องที่ท่อน้ำไหลเข้า-ออกหอผึ่งน้ำเย็น

3) ติดตั้งพร้อมบันทึกค่าเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแบบต่อเนื่อง

4) ตรวจวัดอัตราการไหล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศผ่านเข้า-ออกหอผึ่งน้ำเย็นแบบชั่วขณะพร้อมบันทึกค่า

5) ขณะติดตั้งและบันทึกค่าจากเครื่องมือตรวจวัดชนิดต่างๆทั้งแบบต่อเนื่องและแบบชั่วขณะนั้นใบพัดของพัดลมหอผึ่งน้ำเย็นยังเป็นชนิดเดิมคือทำจากวัสดุอลูมิเนียมและมุมใบพัดอยู่ที่ 20 °

6) ดำเนินตามข้อที่ 1-5 แต่ปรับเปลี่ยนมุมใบพัดหอผึ่งน้ำเย็นเป็น 16, 18, 22, 24 ตามลำดับ

## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบพบว่าการดำเนินการต้องใช้เวลาในการทดสอบค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากต้นแบบที่ทำการทดสอบนั้นเป็นโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอดซึ่งต้องเปิดใช้งานอยู่ตลอดเวลาดังนั้นในการทดสอบแต่ละครั้งต้องประสานงานกับผู้ประกอบการให้ชัดเจนเพื่อหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการทดสอบแต่ละกรณี ซึ่งจะใช้เวลาในการทดสอบแต่ละครั้งประมาณ 2 วัน ต่อ 1 กรณี ซึ่งทำให้โรงงานต้องสูญรายได้กว่า 50,000 บาท/วัน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้พบว่า ยิ่งมุมใบพัดยิ่งมากปริมาณการใช้พลังงานรวมของระบบยิ่งดี และปริมาณอากาศที่ไหลผ่านหอผึ่งน้ำเย็นก็เพิ่มขึ้นด้วยทำให้การระบายความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำดีขึ้น

**ตารางที่ 1** แสดงการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งหลอดที่ใช้ใบพัดชนิดอลูมิเนียม

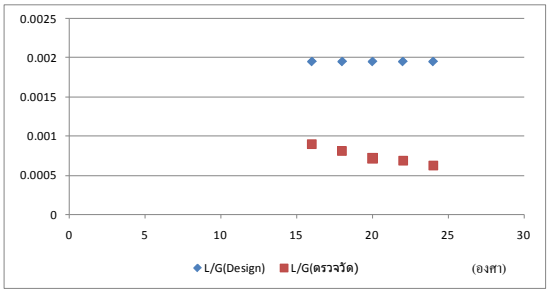
| มุมใบพัด | กำลังมอเตอร์พัดลม (kW) | กำลังไฟฟ้ามอเตอร์คอมเพรสเซอร์ (kW) | กำลังไฟฟ้ารวม (kW) |
|---|---|---|---|
| 16 | 4.23 | 118.712 | 122.942 |
| 18 | 4.82 | 114.356 | 119.176 |
| 20 | 5.5 | 108.91 | 114.41 |
| 22 | 6.18 | 98.019 | 104.199 |
| 24 | 6.77 | 87.128 | 93.898 |

**ตารางที่ 2** แสดงอัตราการไหลของอากาศและน้ำไหล ผ่านหอผึ่งน้ำเย็นของใบพัดชนิดอลูมิเนียม

| มุมใบพัด | อัตราการไหลอากาศ($m^3$/min) | อัตราการไหลน้ำ($m^3$/min) | L/G |
|---|---|---|---|
| 16 | 1,808.744 | 1.63 | 0.000901178 |
| 18 | 1,989.618 | 1.63 | 0.000819253 |
| 20 | 2,260.930 | 1.63 | 0.000720942 |
| 22 | 2,373.977 | 1.63 | 0.000686612 |
| 24 | 2,587.635 | 1.63 | 0.000629919 |

**ตารางที่ 3** แสดงอัตราส่วนของของไหลกับอากาศ

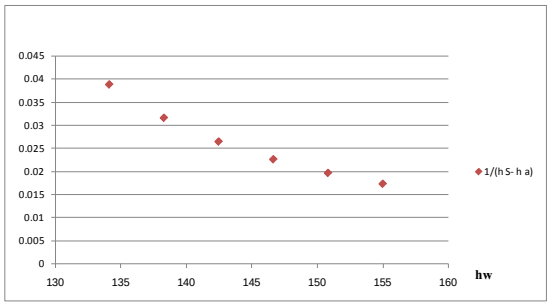
| มุมใบพัด | L/G(Design) | ใบพัดชนิดอะลูมิเนียม,L/G |
|---|---|---|
| 16 | 0.00195 | 0.000901178 |
| 18 | 0.00195 | 0.000819253 |
| 20 | 0.00195 | 0.000720942 |
| 22 | 0.00195 | 0.000686612 |
| 24 | 0.00195 | 0.000629919 |




**รูปที่ 5** แสดงอัตราส่วนของของไหลกับอากาศของใบพัดอะลูมิเนียม

**ตารางที่ 4** แสดงการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตร (KaV/L)

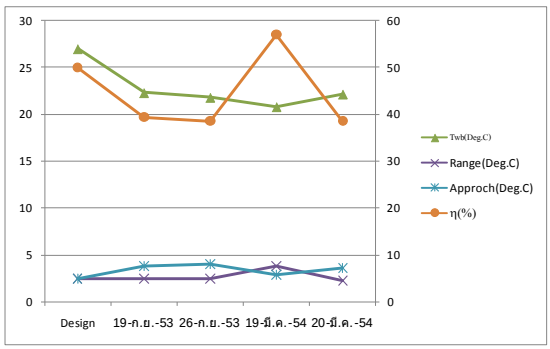
| $T_w$, °C | $h_w$ ,kJ/kg | Twb | ha1 | hw,out | L/G | $h_a$ ,kJ/kg | $h_s$ ,kJ/kg | $h_s - h_a$ | $1/(h_s - h_a)$ | $\int_{h_{w,out}}^{h_w} \frac{dh_w}{(h_s - h_a)}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 134.14 | 27 | 84.88 | 134.14 | 0.00195 | 84.88 | 110.62 | 25.740 | 0.03885 | 0 |
| 33 | 138.32 | 27 | 84.88 | 134.14 | 0.00195 | 84.89 | 116.52 | 31.630 | 0.03162 | 0.147 |
| 34 | 142.5 | 27 | 84.88 | 134.14 | 0.00195 | 84.9 | 122.67 | 37.770 | 0.02648 | 0.121 |
| 35 | 146.68 | 27 | 84.88 | 134.14 | 0.00195 | 84.9 | 129.07 | 44.170 | 0.02264 | 0.103 |
| 36 | 150.86 | 27 | 84.88 | 134.14 | 0.00195 | 84.91 | 135.72 | 50.810 | 0.01968 | 0.088 |
| 37 | 155.04 | 27 | 84.88 | 134.14 | 0.00195 | 84.92 | 142.62 | 57.700 | 0.01733 | 0.077 |
| SUM | | | | | | | | | | 0.536 |




**รูปที่ 6** แสดงพื้นที่ใต้กราฟที่คำนวณหา KaV/L โดยวิธีของเมอร์เคิล (Merkel method)

**ตารางที่ 5** แสดงการค่าตรวจวัดหาประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำเย็น

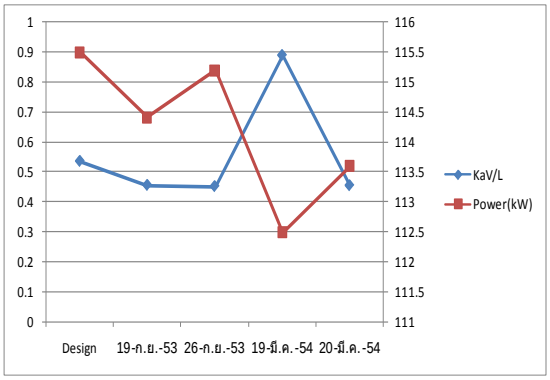
| สัญลักษ์ | Design | 19-ก.ย.-53 | 26-ก.ย.-53 | 19-มี.ค.-54 | 20-มี.ค.-54 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ti(Deg.C) | 37 | 35 | 35 | 34.3 | 34.05 |
| To(Deg.C) | 32 | 30 | 29.9 | 26.6 | 29.45 |
| Twb(Deg.C) | 27 | 22.3 | 21.8 | 20.8 | 22.15 |
| Range(Deg.C) | 5 | 5 | 5.1 | 7.7 | 4.6 |
| Approch(Deg.C) | 5 | 7.7 | 8.1 | 5.8 | 7.3 |
| η(%) | **50** | **39.37** | **38.64** | **57.04** | **38.66** |




**รูปที่ 7** แสดง Range Approach อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Twb) และประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำเย็น(η)

**ตารางที่ 6** แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตรและกำลังไฟฟ้ารวมของระบบ

| สัญลักษ์ | Design | 19-ก.ย.-53 | 26-ก.ย.-53 | 19-มี.ค.-54 | 20-มี.ค.-54 |
|---|---|---|---|---|---|
| KaV/L | 0.536 | 0.456 | 0.452 | 0.889 | 0.455 |
| Power(kW) | 115.5 | 114.41 | 115.2 | 112.5 | 113.6 |

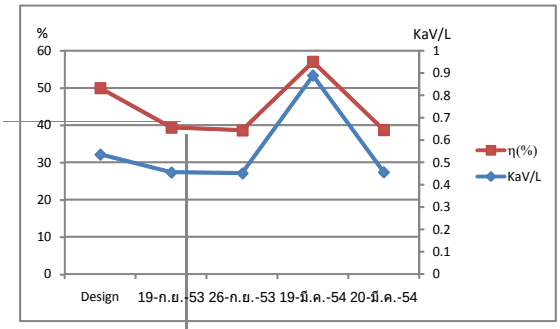



**รูปที่ 8** แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตรและกำลังไฟฟ้ารวมของระบบ

## สรุปผลการวิจัย

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตร (KaV/L) ยิ่งสูงยิ่งดีเพราะทำให้ประสิทธิภาพของคูลลิ่งทาวเวอร์สูงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 9

การปรับมุมใบพัดมาที่ 22° จะทำให้การใช้กำลังไฟฟ้าโดยรวมลดลง และกำลังไฟฟ้ามอเตอร์พัดลมสูงเกินพิกัด 11.00 % ซึ่งไม่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์มากนัก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดดีที่สุด เพราะใช้กำลังไฟฟ้ารวมเพียง 104.199 kW กำลังไฟฟ้าลดลง 8.92 % เทียบกับมุม 20°




**รูปที่ 9** แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนเชิงปริมาตรและประสิทธิภาพคูลลิ่งทาวเวอร์

## ข้อเสนอแนะ

ควรดำเนินการปรับมุมใบพัดเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าการปรับมุมใบพัดเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันก็ทำให้การระบายความร้อนได้ดีขึ้นกว่าเดิมและทำให้การใช้กำลังไฟฟ้าของระบบโดยรวมลดลง

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอนอบน้อมกราบขอบพระคุณ ด้วยสำนึกถึงบุญคุณบิดามารดาผู้ให้กำเนิดและเลี้ยงดูครูบาอาจารย์ทุกๆท่านผู้ให้การอบรมสั่งสอนวิชาความรู้ตั้งแต่อดีตจนมาถึงปัจจุบัน ขอขอบพระคุณสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงานมหาวิทยาลัยขอนแก่น หน่วยงานที่ข้าพเจ้าสังกัดในระหว่างศึกษา สำหรับความอนุเคราะห์ที่ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาในระดับปริญญาโท และที่ขาดไม่ได้ คือโรงน้ำแข็งมิตรภาพขอนแก่น ซึ่งให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดในการทดสอบ

## เอกสารอ้างอิง

Piyush Gupta. 2001. Impact of Cooling Tower Blade Modification on Energy Consumption. The magazine of the Indian society of heating.

Montri Pirunkaset and Santi Laksitanonta.2008.Study on the Effect of Blade Angle on the Performance of a Small Cooling Tower. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 42: 378 – 384.

มนตรี ชูลิขิต. 2553. การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็ง โรงแรมเจริญธานี จังหวัดขอนแก่น. [ม.ป.ท.: ม.ป.พ.].

บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด. 2546. ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2. กรุงเทพฯ: นำอักษรการพิมพ์.

อินทรชิต หอวิจิตร. 2536. เทอร์โมไดนามิกส์ 2. ขอนแก่น: หน่วยสารบรรณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.