Assoc. Prof. Dr.Anusorn Chinsuwan, Mechanical Engineering Department, Khon Kaen University, anuchi@kku.ac.th

การพัฒนาต้นแบบการประหยัดพลังงานโดยการนำความเย็นจากน้ำทิ้งจากเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดกลับมาใช้

รหัสโครงการ **P-12-02233**

A Development of a Prototype for Energy Conservation by Using Cold Recovery System of Drained Water form Tube Ice Makers

รศ.ดร. อนุสรณ์ ชินสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1 บทนำ

สาเหตุที่มาของปัญหา

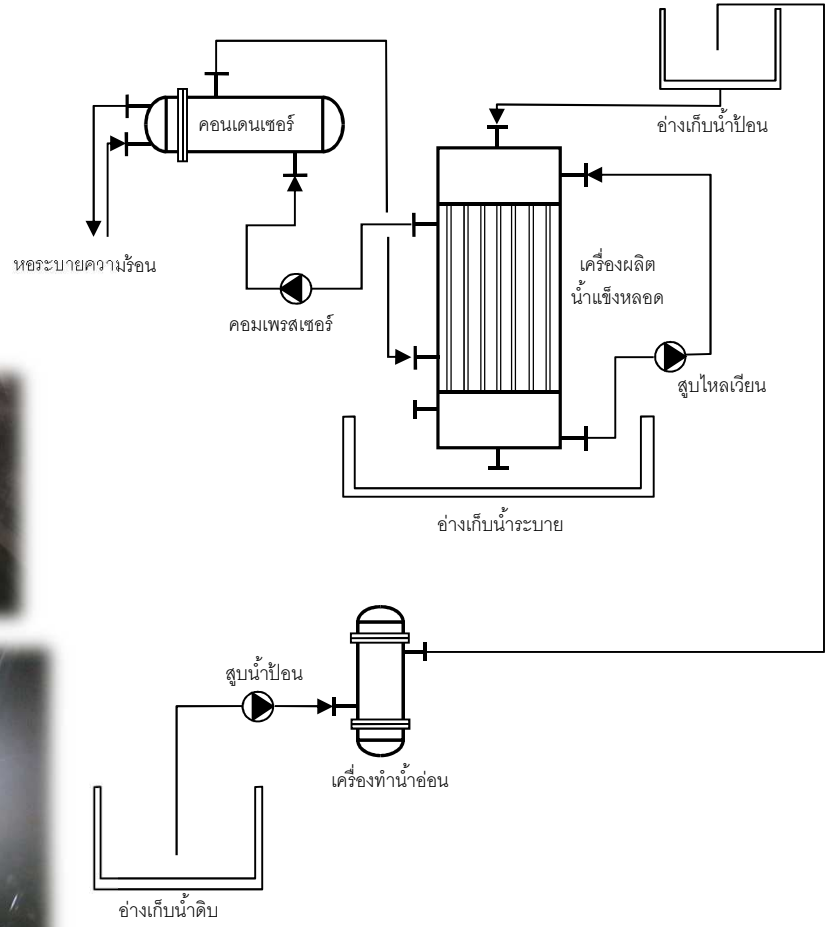
โรงงานผลิตน้ำแข็งที่จดทะเบียนทั้งหมด624 แห่ง

มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับผลิตน้ำแข็งไม่น้อยกว่า1000 ล้านหน่วย

3,000 ล้านบาทต่อปี

1 บทนำ

สาเหตุที่มาของปัญหา



1 บทนำ

สาเหตุที่มาของปัญหา

1 บทนำ

สาเหตุที่มาของปัญหา

ขนาดเครื่อง (ตันต่อวัน)	ปริมาณน้ำทิ้งต่อรอบการผลิต (ลิตร)	อุณหภูมิน้ำทิ้ง (°C)	พลังงานที่สูญเสีย (kWh/ปี)	หมายเหตุ
30	160-490	-3 - -1	69,768-213,666	คำนวณบนสมมติให้แต่ละรอบใช้เวลาผลิต 45 นาที น้ำระบายทิ้งมีอุณหภูมิ -2°C และน้ำป้อนมีอุณหภูมิ 30 °C
40	250-310	-3 - -1	109,013-135,176	
50	340-400	-3 - -1	148,258-174,421	
60	460-320	-3 - -1	139,537-200,584	

300,000 บาทต่อปี

1 บทนำ

สาเหตุที่มาของปัญหา

น้ำระบายที่ 0°C

มีความข้นของสารละลายสูง

ล้างพื้น ล้างรถ ชำระล้างทั่วไป

สูญเสียพลังงาน

ใช้พลังงานในการผลิตสูง

นำกลับไปใช้ในการผลิต

น้ำแข็งเป็นฝ้า

จุดเยือกแข็งต่ำ

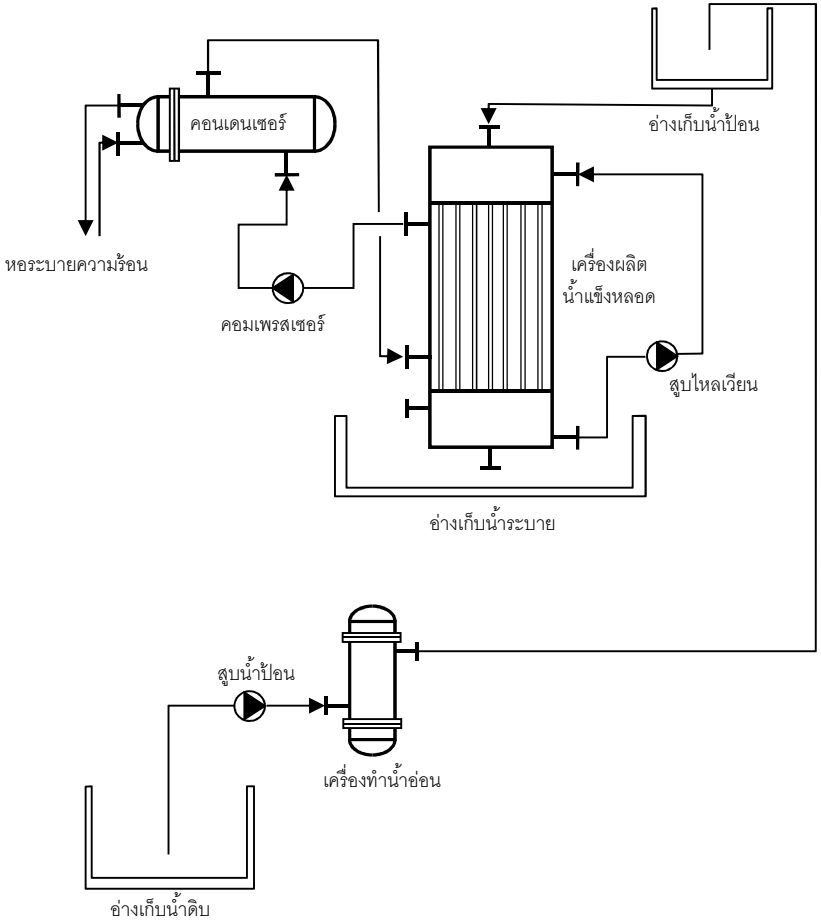
1 บทนำ

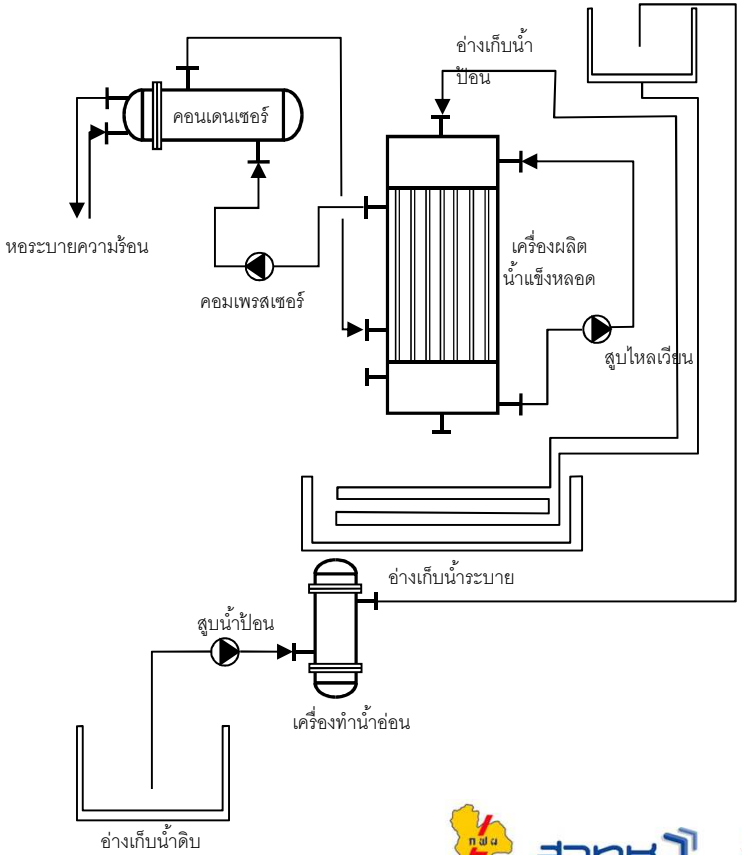
สาเหตุที่มาของปัญหา

ทิ้ง

1 บทนำ

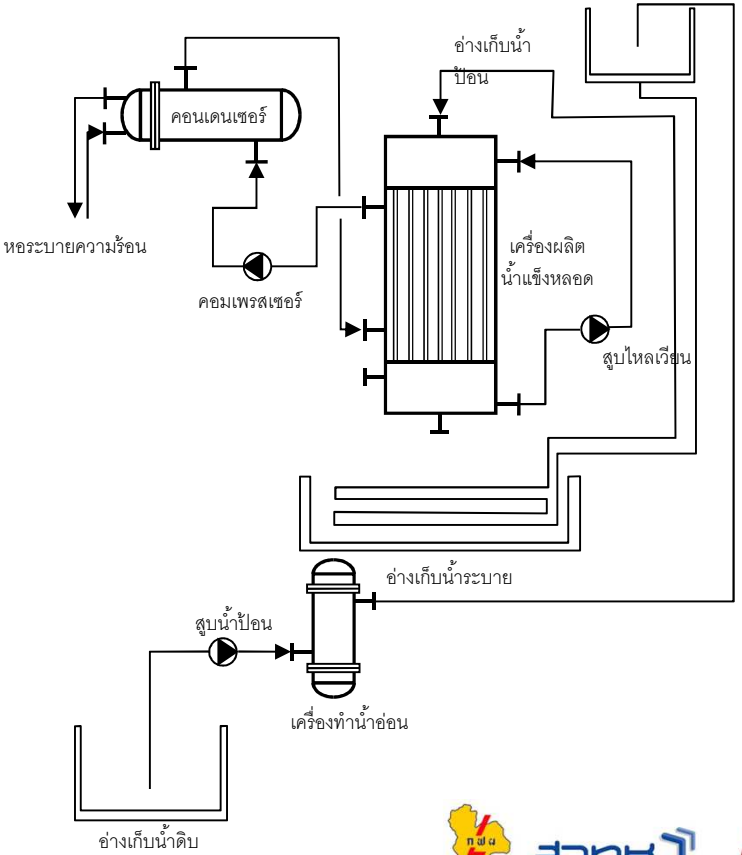
งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง





1 บทนำ

งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง



1 บทนำ

ปัญหา/สาเหตุ

<u>งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง</u>

ระบบการดึงพลังงานกลับมาใช้

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านนอกท่อต่ำมาก

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านในท่อต่ำมาก

ประสิทธิภาพต่ำมาก

น้ำระบายรอบการผลิตหลังผสมกับน้ำก่อนหน้า

ระบบจัดการน้ำระบาย

ระบบการทำงานร่วมกับเครื่องผลิต

1 บทนำ

แนวทางในการแก้ปัญหา

ระบบการดึงพลังงานกลับมาใช้

- มีระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม
- มีระบบการไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม
- มีขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม

ระบบจัดการน้ำระบาย

มีระบบการจัดการน้ำระบายที่เหมาะสมเพื่อสามารถดึงเอาความเย็นจากน้ำระบายได้มากที่สุด

ระบบการทำงานร่วมกับเครื่องผลิต

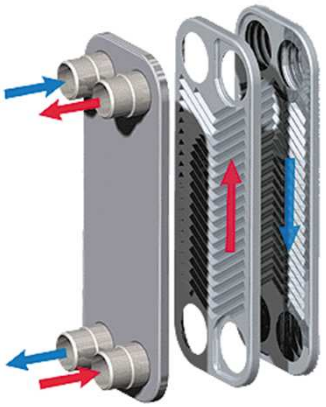
มีระบบการทำงานที่สอดคล้องกับเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป

1 บทนำ

แนวทางในการแก้ปัญหา

ระบบการดึงพลังงานกลับมาใช้

- *มีระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง*
  - มีระบบการไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม
  - มีขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม



น้ำระบายในแต่ละรอบจะถูกดึงเอาความเย็นออกจนหมด

เพื่อทำน้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ

1 บทนำ

แนวทางในการแก้ปัญหา

ระบบจัดการน้ำระบาย

น้ำระบายในแต่ละรอบไม่ผสมกัน

สามารถดึงเอาความเย็นจากน้ำระบายได้มากที่สุด

ปรับแต่งปริมาณน้ำระบายให้เหมาะสม

ลดปริมาณการสูญเสียพลังงานให้น้อยที่สุด

1 บทนำ

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ

- เป็นระบบที่มีขนาดของอุปกรณ์ที่เหมาะสม
- เป็นระบบที่มีเส้นทางการไหลและอุปกรณ์กักเก็บที่เหมาะสม

เพื่อหาระบบที่สามารถทำงานได้สัมพันธ์กับเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดขนาด 35 ตันต่อวัน

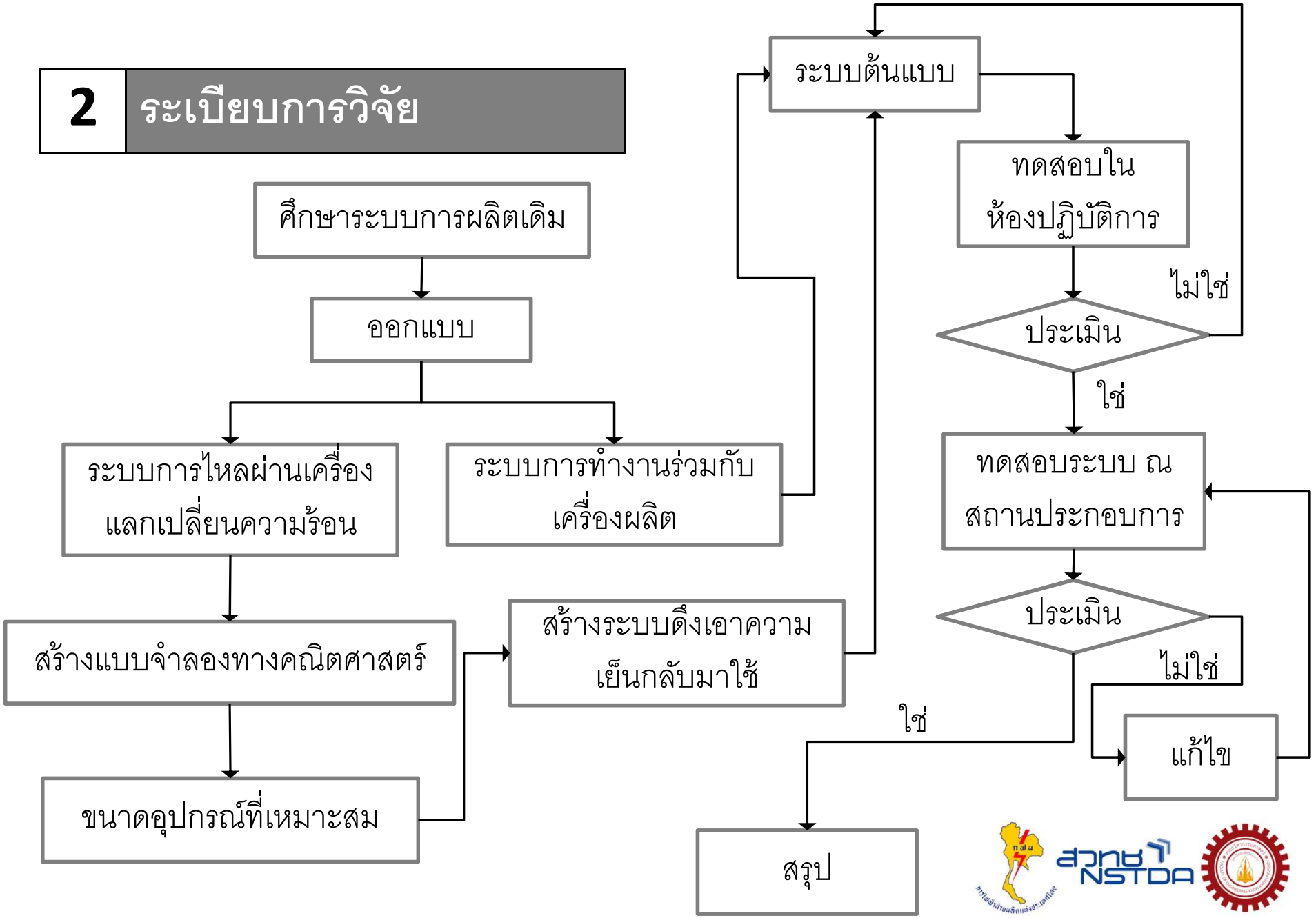
- เป็นระบบที่สามารถทำงานได้อย่างสอดคล้องกับเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดโดยทั่วไป
- อุปกรณ์ของระบบสามารถทำงานโดยไม่มีปัญหา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

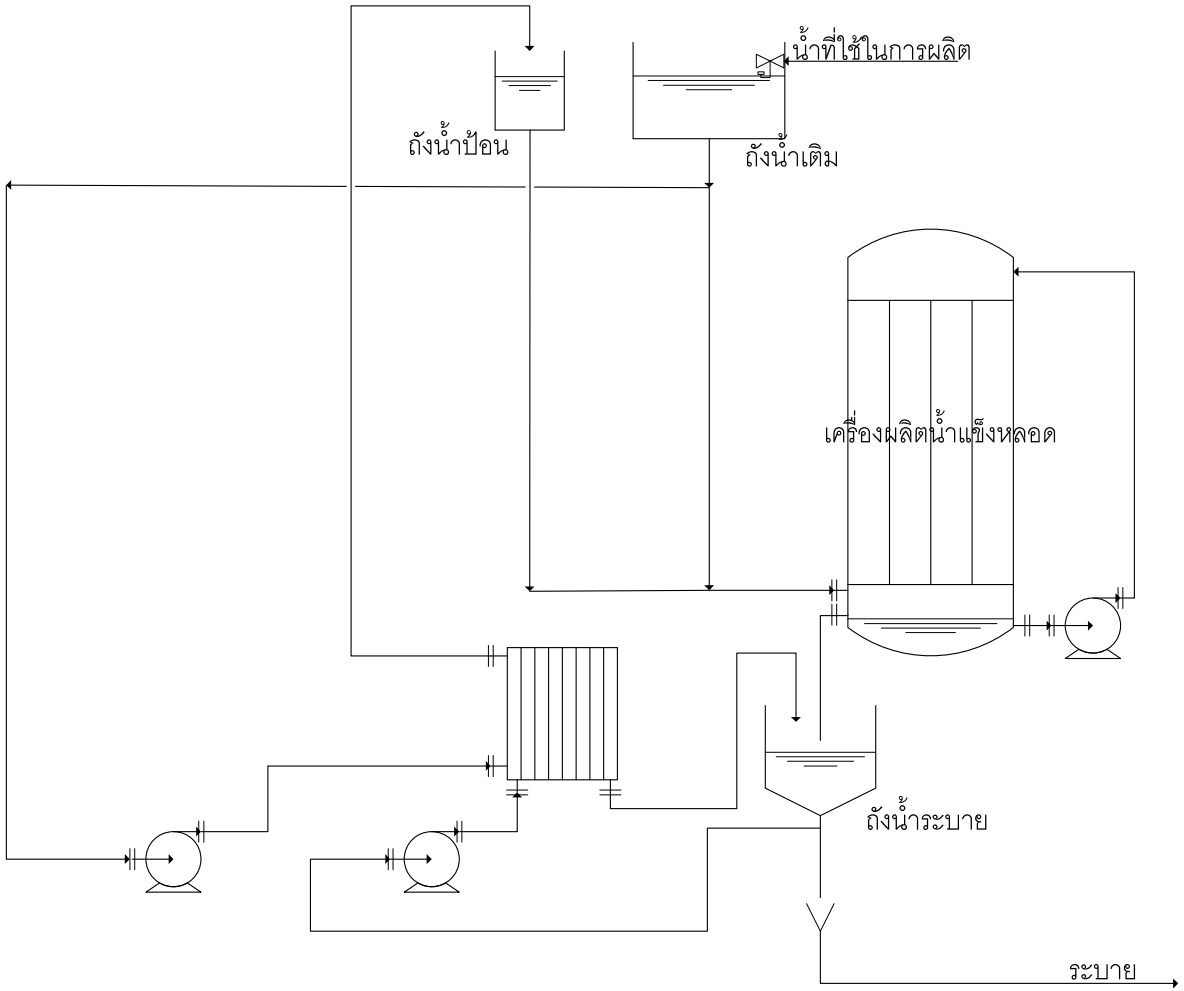
ระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 1 ปี

สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบในเชิงพาณิชย์ได้

2 ระเบียบการวิจัย



3 Flow diagram

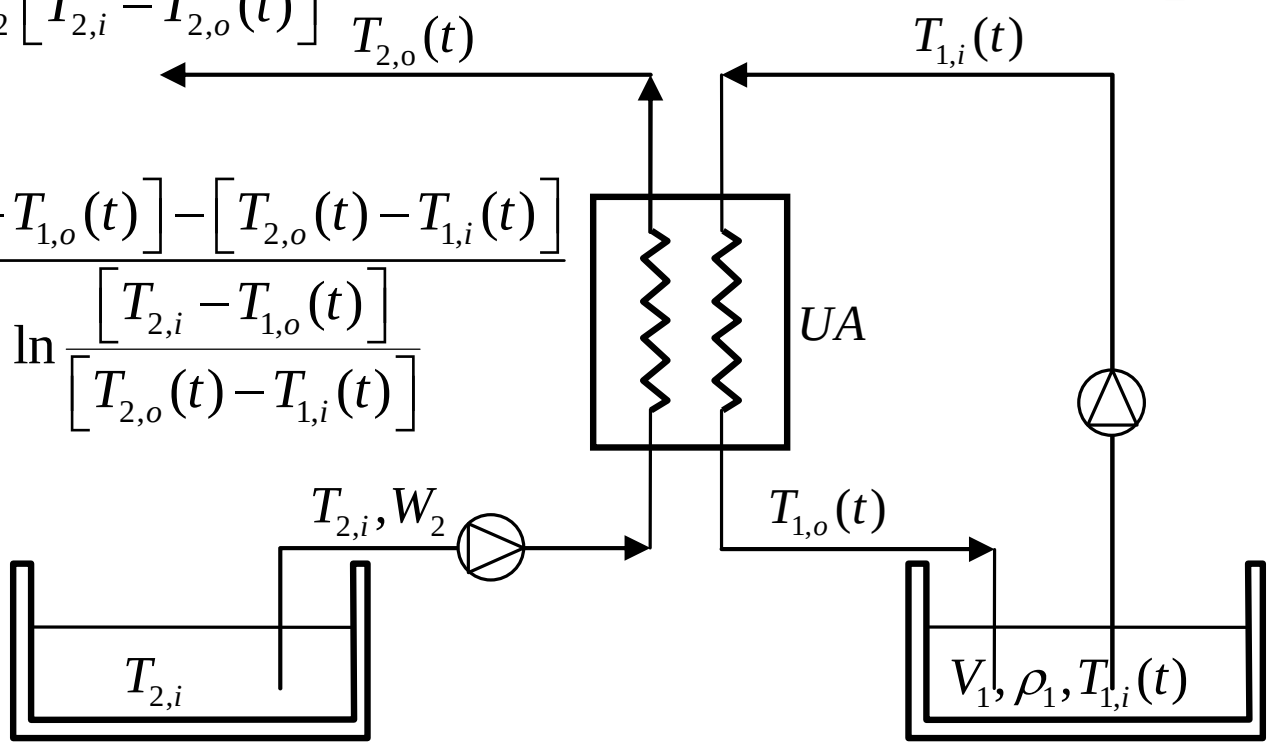


3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$q(t) = W_2\left[T_{2,i} - T_{2,o}(t)\right]$$

$$q(t) = W_1\left[T_{1,o}(t) - T_{1,i}(t)\right]$$

$$q(t) = UA\frac{\left[T_{2,i} - T_{1,o}(t)\right] - \left[T_{2,o}(t) - T_{1,i}(t)\right]}{\ln\dfrac{\left[T_{2,i} - T_{1,o}(t)\right]}{\left[T_{2,o}(t) - T_{1,i}(t)\right]}}$$



$$q(t) = \rho_1 V_1 c_p \frac{\partial T_1(t)}{\partial t}$$

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$D = UA\left(\frac{1}{W_2} - \frac{1}{W_1}\right)$$

$$\ln\frac{T_{2,i} - T_{1,i}(t) - \frac{W_2}{W_1}\left[T_{2,i} - T_{2,o}(t)\right]}{T_{2,o}(t) - T_{1,i}(t)} = UA\left(\frac{1}{W_2} - \frac{1}{W_1}\right)$$

$$q(t) = W_2\left[T_{2,i} - T_{2,o}(t)\right]$$

$$q(t) = W_1\left[T_{1,o}(t) - T_{1,i}(t)\right]$$

$$q(t) = UA\frac{\left[T_{2,i} - T_{1,o}(t)\right] - \left[T_{2,o}(t) - T_{1,i}(t)\right]}{\ln\frac{\left[T_{2,i} - T_{1,o}(t)\right]}{\left[T_{2,o}(t) - T_{1,i}(t)\right]}}$$

$$q(t) = \rho_1 V_1 c_p \frac{\partial T_1(t)}{\partial t}$$

$$T_{2,o}(t) = \frac{T_{2,i}\left(1 - \frac{W_2}{W_1}\right) + T_{1,i}(t)\left(e^D - 1\right)}{e^D - \frac{W_2}{W_1}}$$

$$q(t) = W_2\left(T_{2,i} - T_{1,i}(t)\right)\frac{\left(e^D - 1\right)}{\left(e^D - \frac{W_2}{W_1}\right)}$$

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Number of Transfer Unit; $NTU = \frac{UA}{W_{\min}}$

$$w_r = \frac{\left(\dot{m}c_p\right)_{\min}}{\left(\dot{m}c_p\right)_{\max}} = \frac{W_{\min}}{W_{\max}}$$

$$T_{2,o}(t) = \frac{T_{2,i}\left(1-\frac{W_2}{W_1}\right)+T_{1,i}(t)\left(e^D-1\right)}{e^D-\frac{W_2}{W_1}}$$

$$q(t) = W_2\left(T_{2,i}-T_{1,i}(t)\right)\frac{\left(e^D-1\right)}{\left(e^D-\frac{W_2}{W_1}\right)}$$

$$q(t) = \rho_1 V_1 c_p \frac{\partial T_1(t)}{\partial t}$$

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$W_1 = W_2 = W$$

$$q(t) = W\left[T_{2,i} - T_{1,i}(t)\right]\frac{NTU}{1+NTU}$$

$$\frac{\partial T_1(t)}{\partial t} = \frac{W\left[T_{2,i} - T_{1,i}(t)\right]}{\rho_1 V_1 c_p}\frac{NTU}{1+NTU}$$

$$W_1 > W_2$$

$$D = NTU\left(1 - w_r\right)$$

$$q(t) = W_2\left[T_{2,i} - T_{1,i}(t)\right]\left[\frac{e^{NTU(1-w_r)} - 1}{e^{NTU(1-w_r)} - w_r}\right]$$

$$\frac{\partial T_1(t)}{\partial t} = \frac{W_2\left[T_{2,i} - T_{1,i}(t)\right]}{\rho_1 V_1 c_p}\left[\frac{e^{NTU(1-w_r)} - 1}{e^{NTU(1-w_r)} - w_r}\right]$$

$$W_1 < W_2 \qquad D = NTU\left(w_r - 1\right)$$

$$q(t) = W_1\left[T_{2,i} - T_{1,i}(t)\right]\left[\frac{e^{NTU(w_r-1)} - 1}{w_r e^{NTU(w_r-1)} - 1}\right]$$

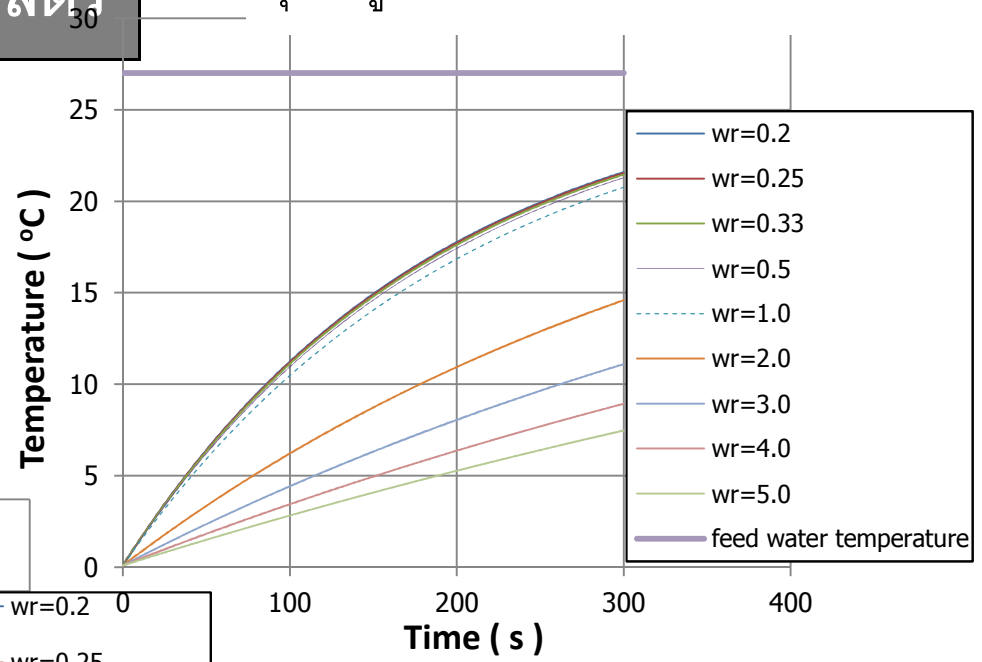
$$\frac{\partial T_1(t)}{\partial t} = W_1\frac{\left[T_{2,i} - T_{1,i}(t)\right]}{\rho_1 V_1 c_p}\left[\frac{e^{NTU(w_r-1)} - 1}{w_r e^{NTU(w_r-1)} - 1}\right]$$

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

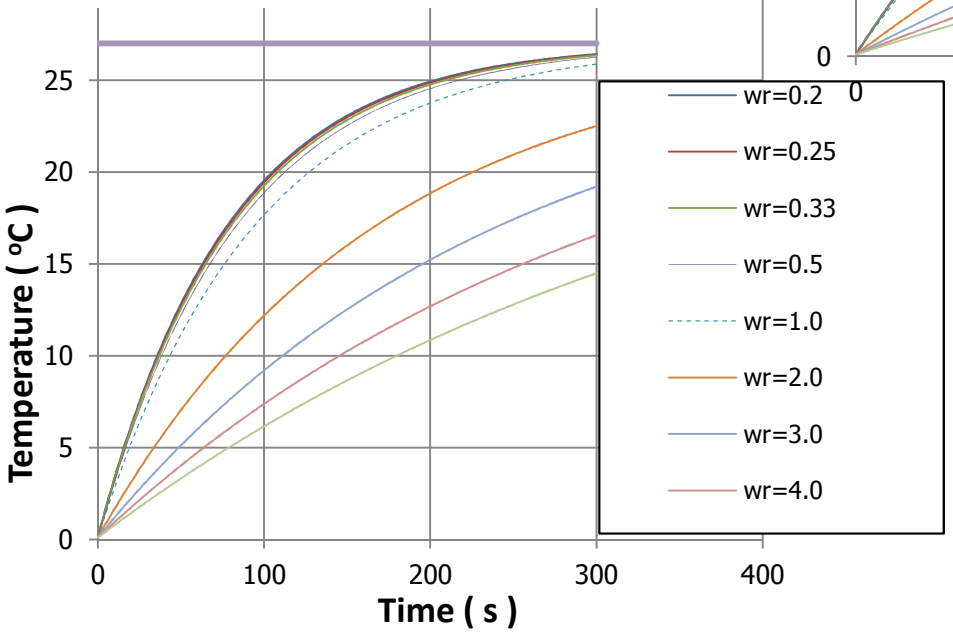
ตัวแปร		ค่า	หน่วย
น้ำระบาย	อุณหภูมิ	0.1	^{o}C
	ปริมาณ	105	$litre$
น้ำป้อน	อุณหภูมิ	27	^{o}C
	ปริมาณ	915	$litre$
การผลิตแต่ละรอบ	น้ำหนัก	810	kg
	ระยะเวลา	45	min
ระยะเวลาในการปล่อยน้ำแข็งออกจากเครื่อง		7	min

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

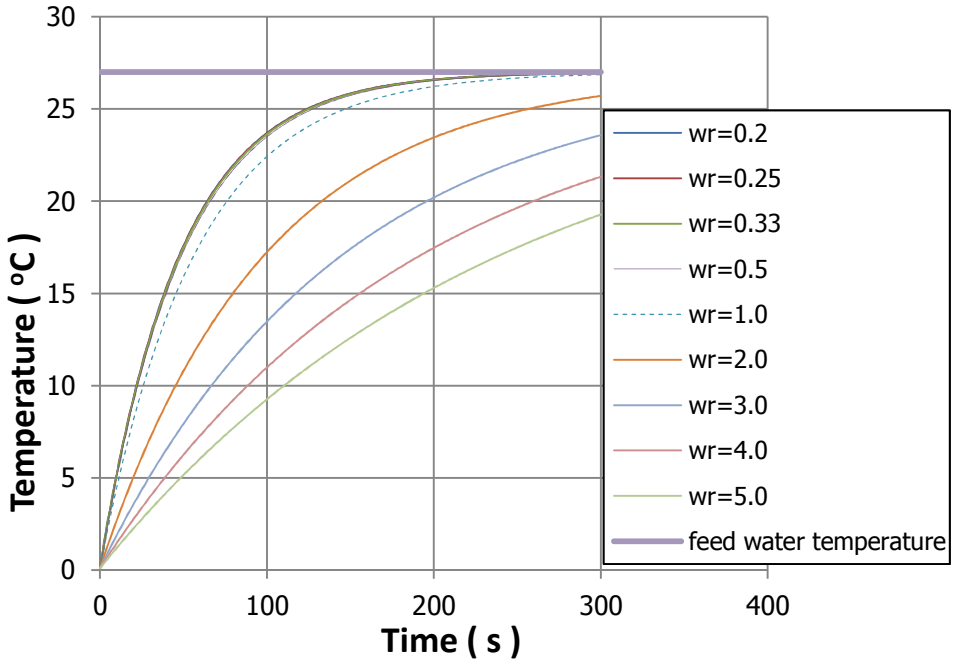
อุณหภูมิน้ำในถังน้ำระบายที่ NTU = 0.3



อุณหภูมิน้ำในถังน้ำระบายที่ NTU = 1.0



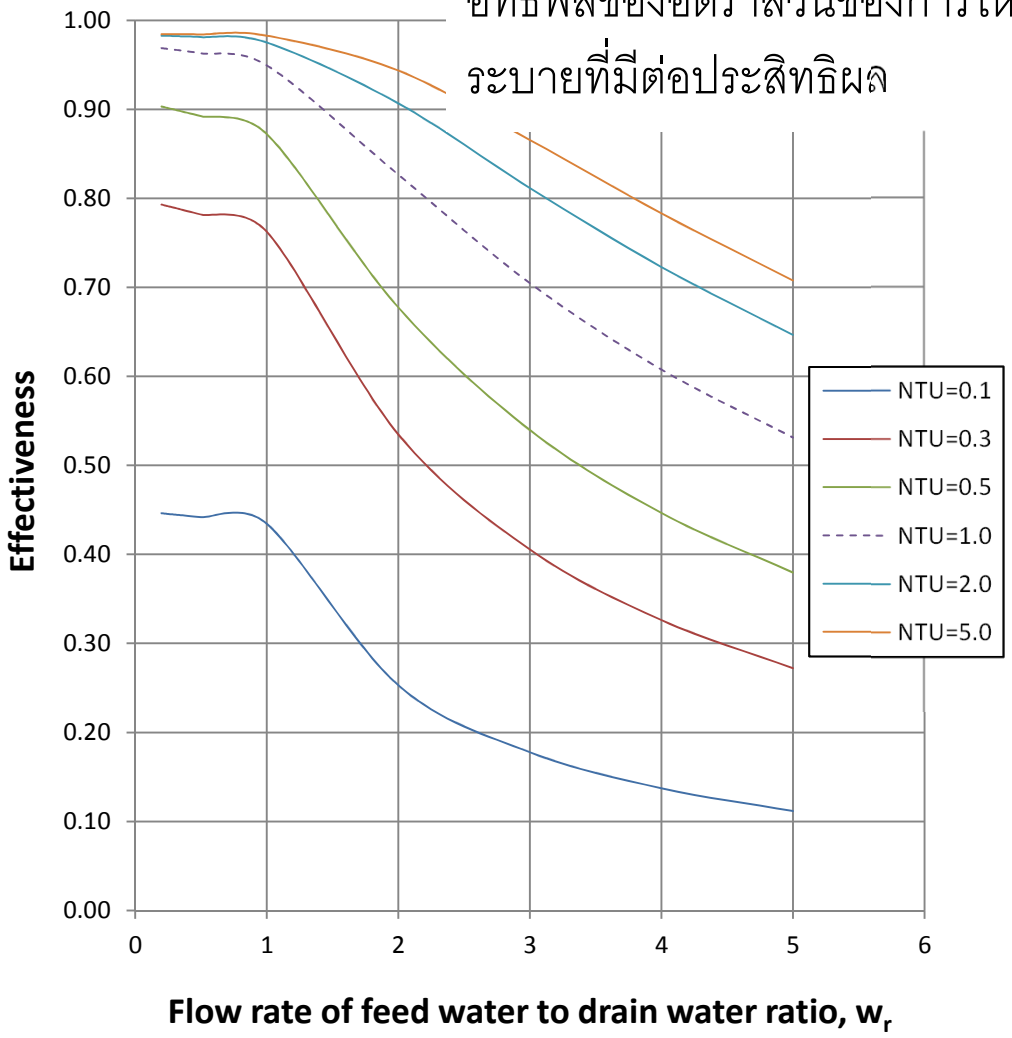
3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



อุณหภูมิน้ำในถังน้ำระบายที่ NTU = 5.0

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

อิทธิพลของอัตราส่วนของการไหลของน้ำป้อนต่อน้ำระบายที่มีต่อประสิทธิผล

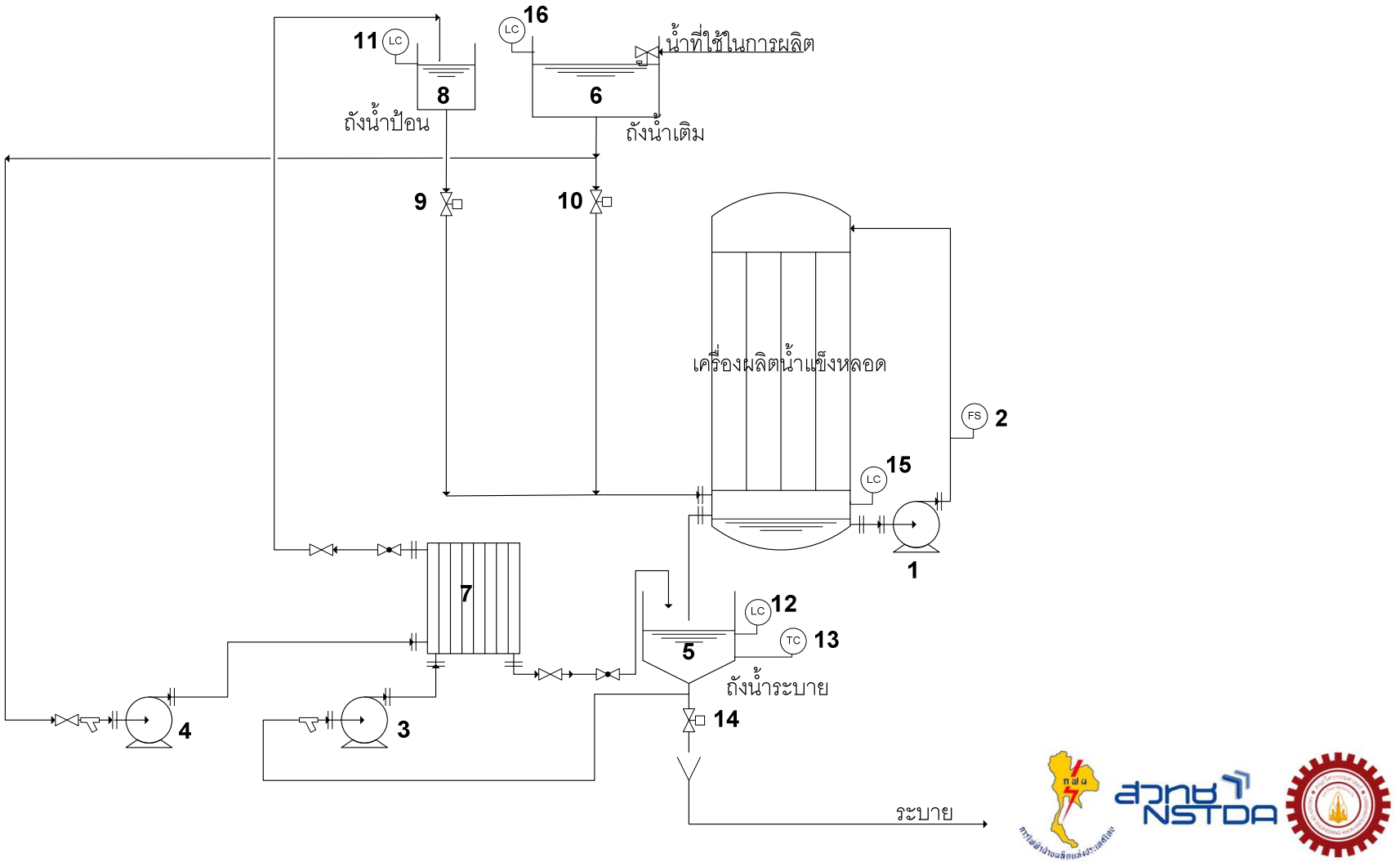


$$NTU = 1$$

$$w_r = 1$$

$$\varepsilon = 0.95 - 0.97$$

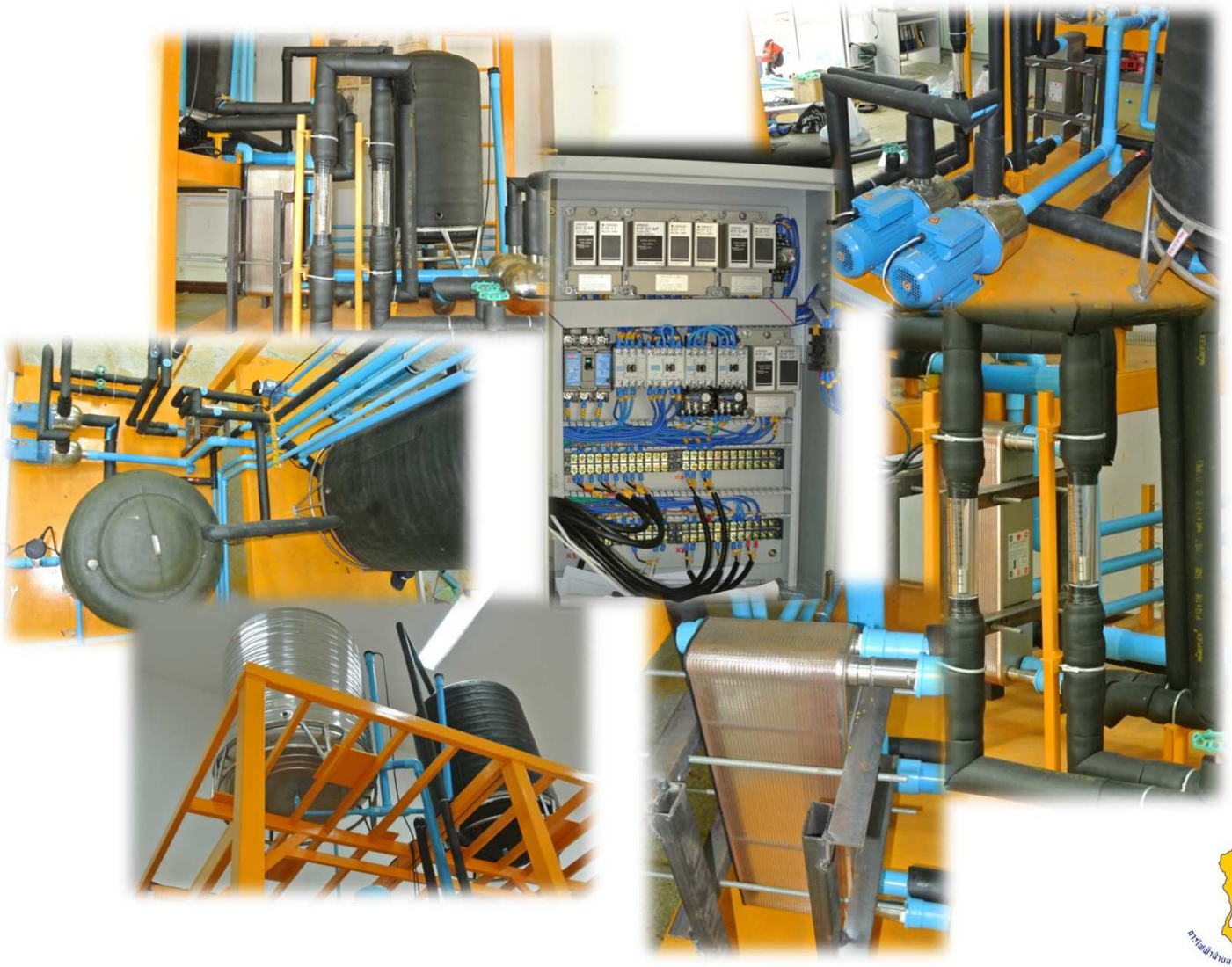
4 Piping and Instruments Diagram



5 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

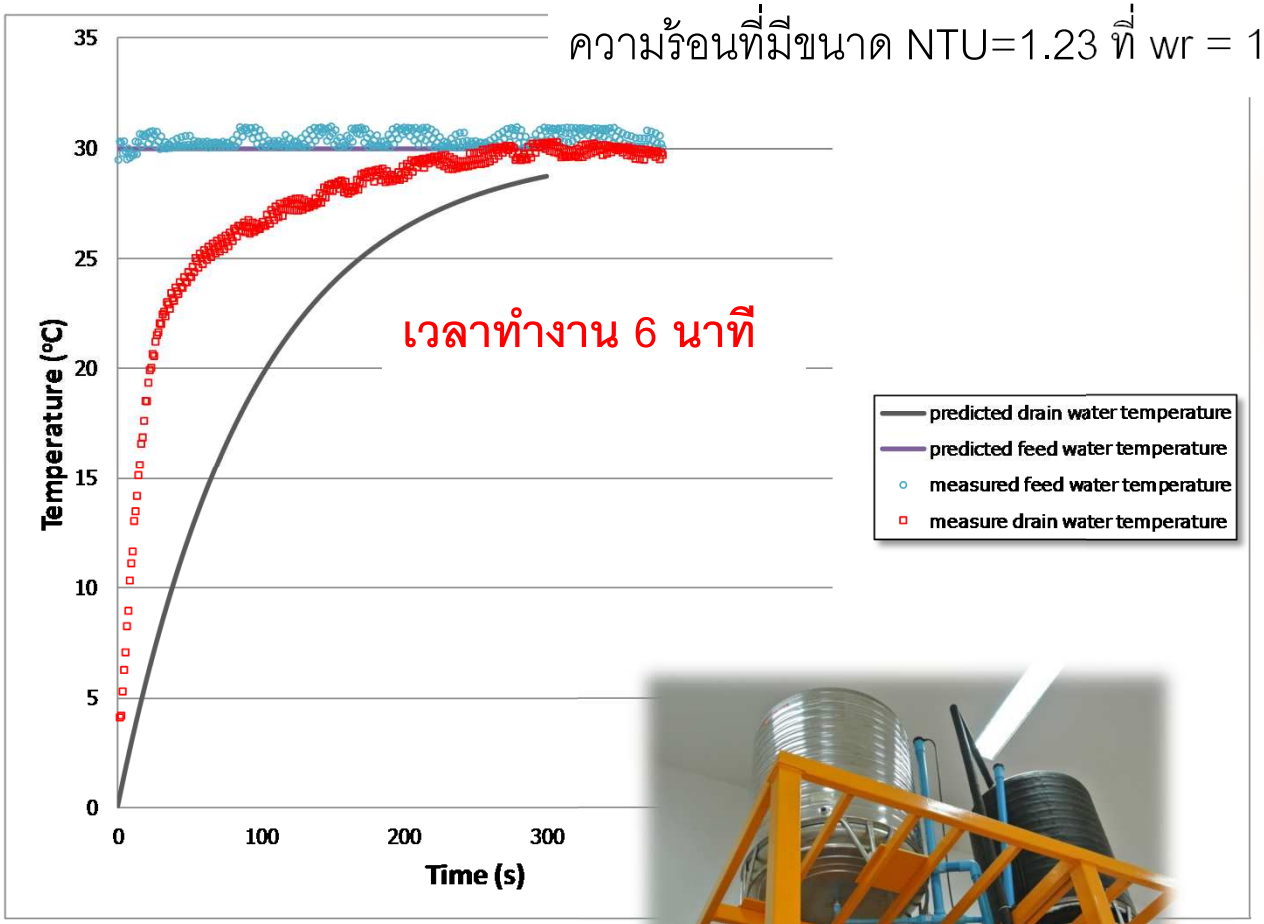
5 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

5 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ



5 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำระบายที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาด NTU=1.23 ที่ wr = 1.0



การทำงานของระบบเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

6 การนำไปใช้งาน

6 การนำไปใช้งาน

6 การนำไปใช้งาน

ความสามารถในการผลิต 800 กิโลกรัมต่อรอบ

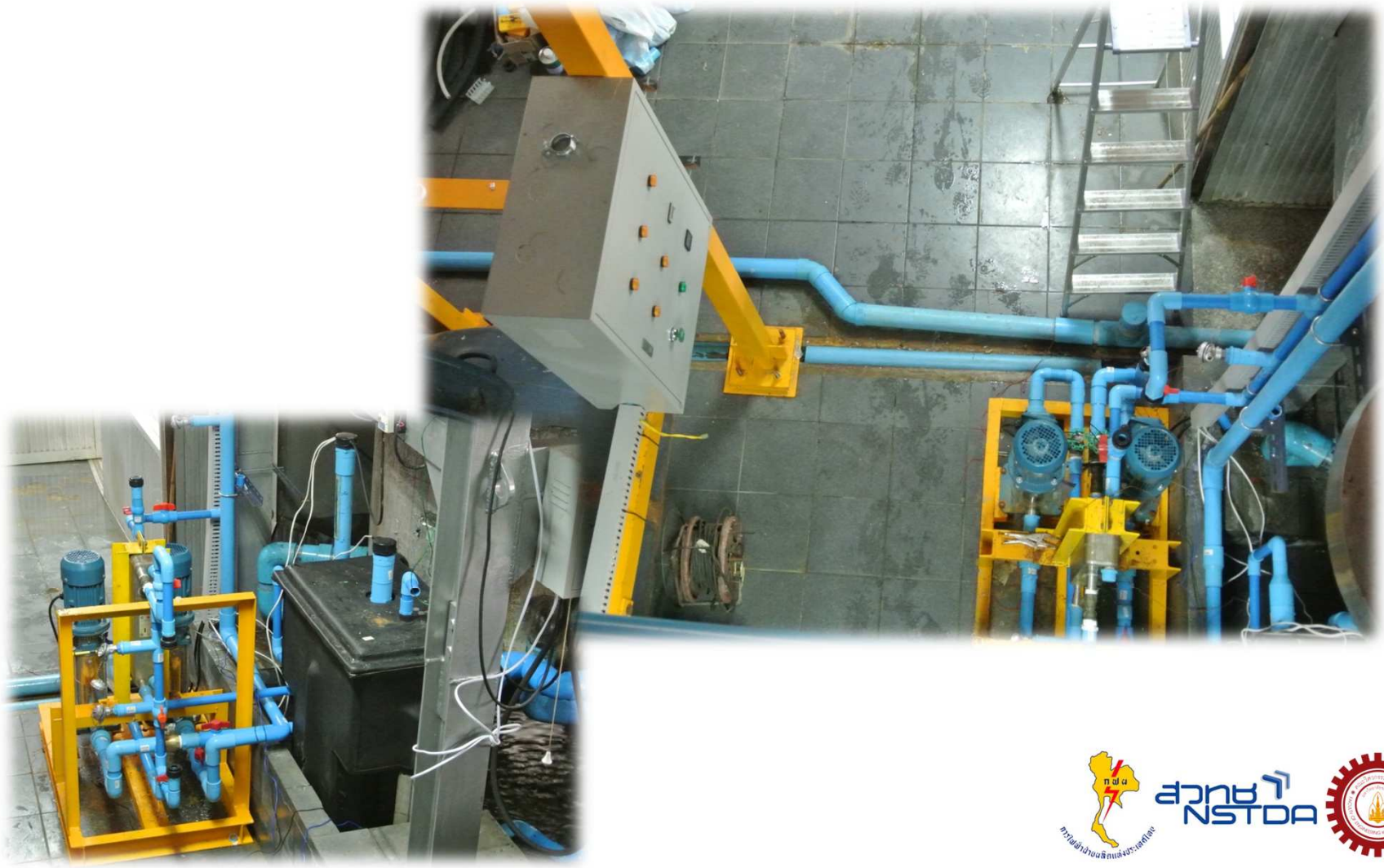
รายละเอียดของเครื่องผลิตที่ใช้ทดสอบ

เดิมมีน้ำระบายอยู่ตลอดเวลาในขณะเดินเครื่อง

ปรับแต่ง → **รอบเวลาในการผลิตลดลง**

น้ำระบาย 130 ลิตรต่อรอบ ที่ประมาณ 1°C

6 การนำไปใช้งาน



6 การนำไปใช้งาน

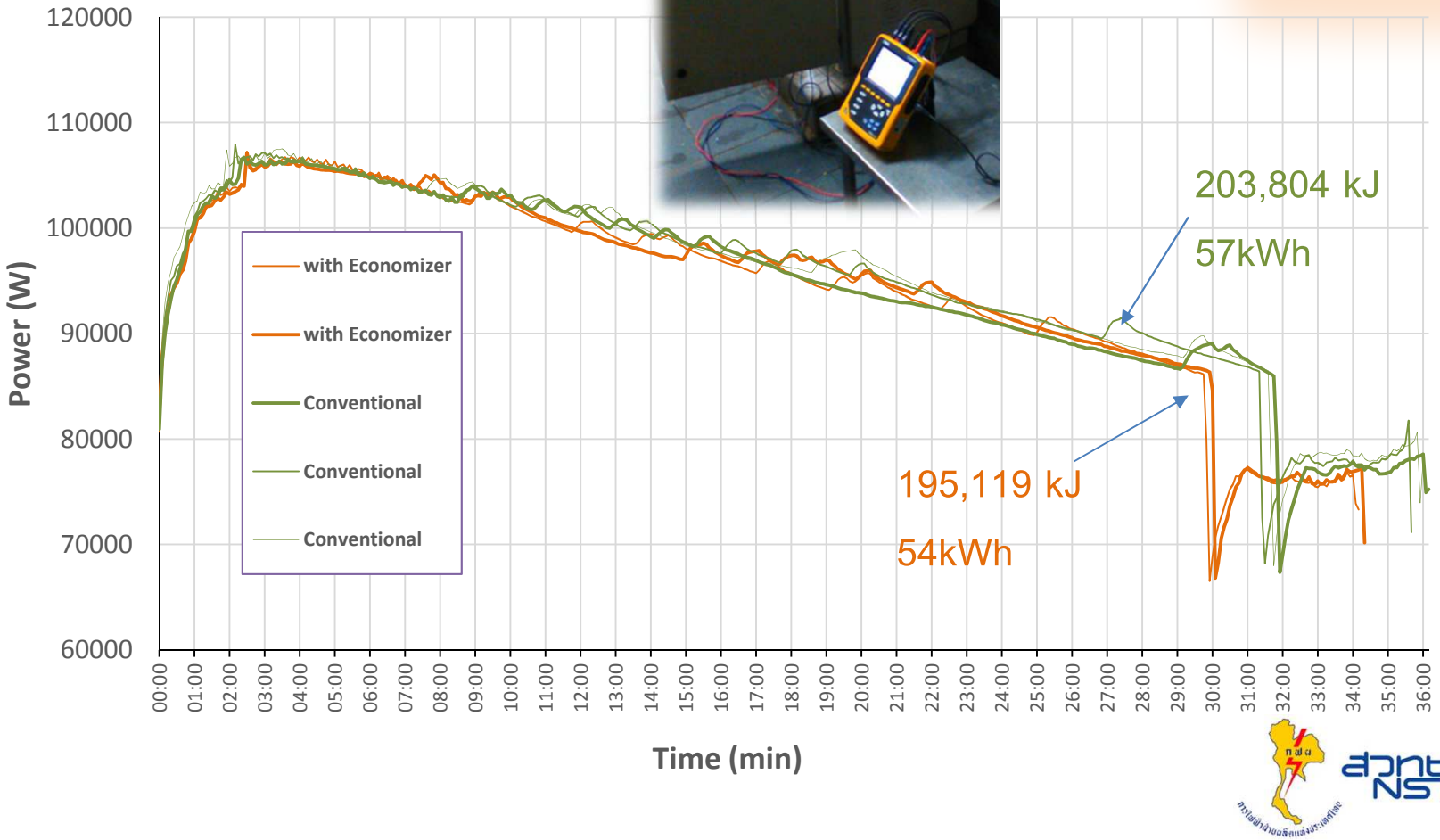
6 การนำไปใช้งาน

ตัวแปร	ระบบการผลิตเดิม	ระบบที่มีการติดตั้งระบบที่พัฒนาขึ้น
จำนวนรอบที่บันทึก	108	107
ระยะเวลาผลิตเฉลี่ยในแต่ละรอบผลิต (min)	36.21	34.88
ค่าสูงสุด (min)	41	38
ค่าต่ำสุด (min)	34	31
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (min)	1.22	1.26
ระยะเวลาผลิตเฉลี่ยในแต่ละรอบผลิตที่สั้นลง (min)	1.33	
อัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น	**3.7%**	
จำนวนรอบการผลิตที่สามารถทำได้ในแต่ละวัน	40	41
ปริมาณน้ำแข็งที่สามารถผลิตได้แต่ละรอบ (kg)	800	800
ปริมาณน้ำแข็งที่สามารถผลิตได้เพิ่มในแต่ละวัน (kg)	800	
คิดเป็นเงิน (บาท)	***800***	
หมายเหตุ น้ำแข็งหลอดขายส่งราคา 1 บาทต่อกิโลกรัม		

6 การนำไปใช้งาน

มูลค่าพลังงานที่ประหยัดได้

12,960 B/month



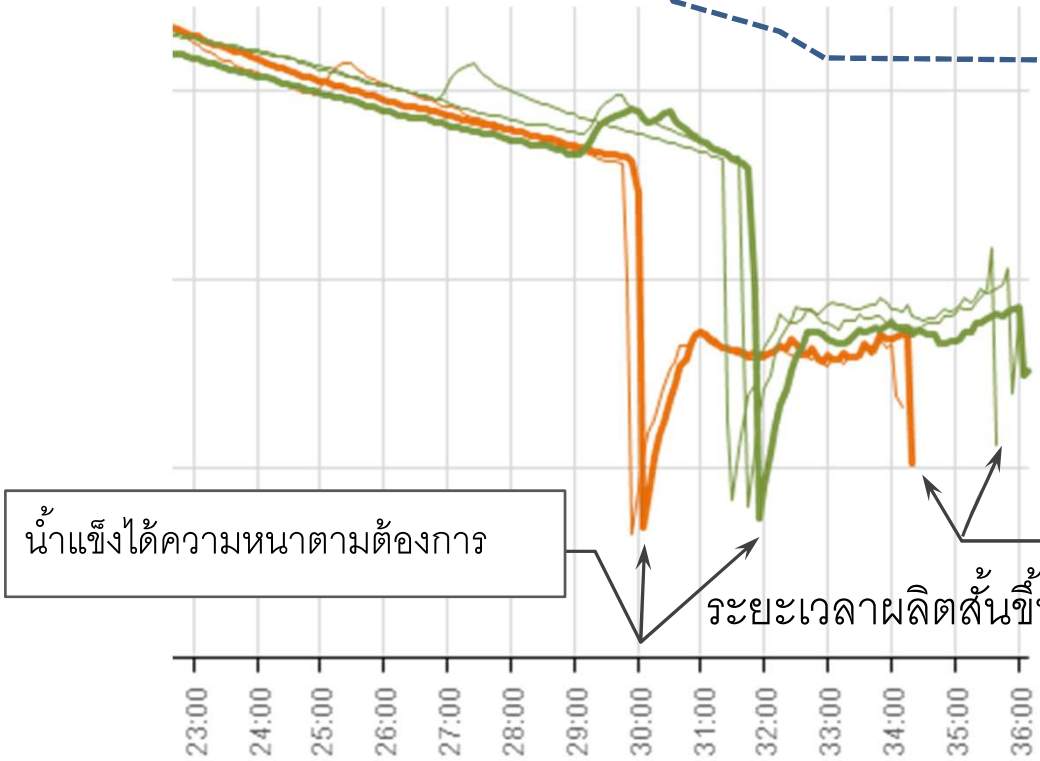
6 การนำไปใช้งาน

ผลของระยะเวลาการผลิต

จำนวนรอบที่ทดสอบ:

ระบบที่มีการติดตั้งระบบที่พัฒนาขึ้น 108 รอบผลิต

ระบบเดิม 107 รอบผลิต



มูลค่า

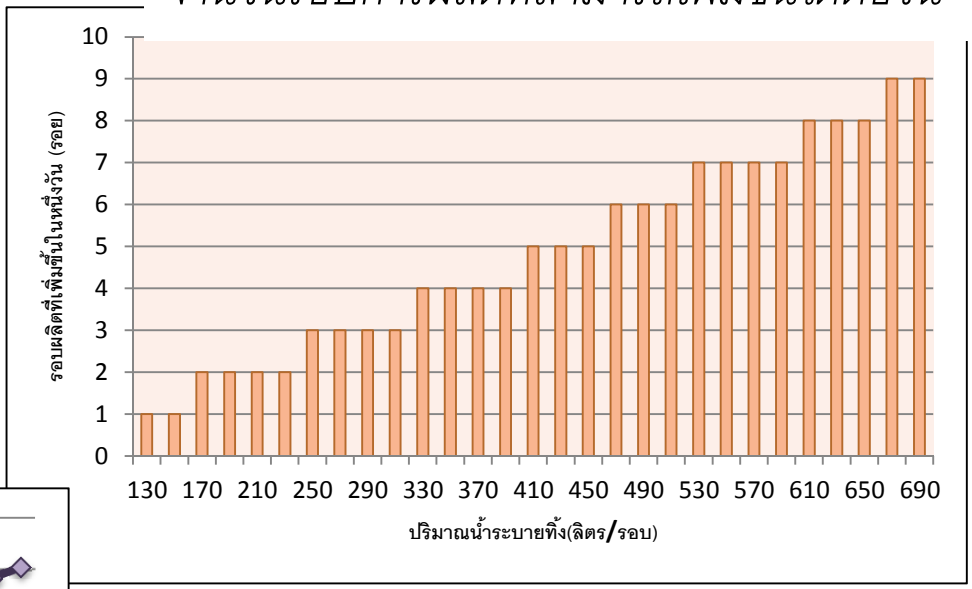
เพิ่มกำลังผลิต 1 รอบต่อวัน

= 800 kg/day

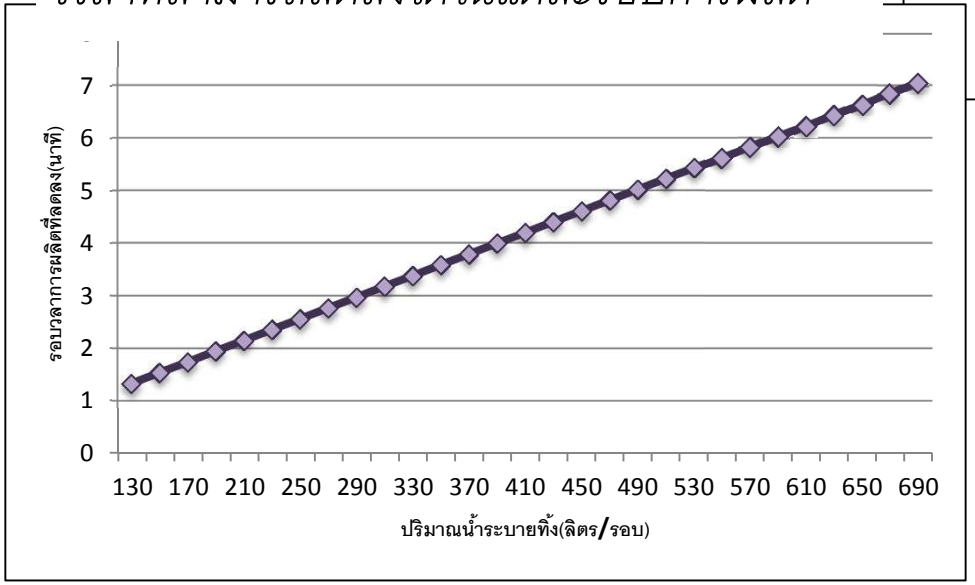
1 B/kg

6 การนำไปใช้งาน

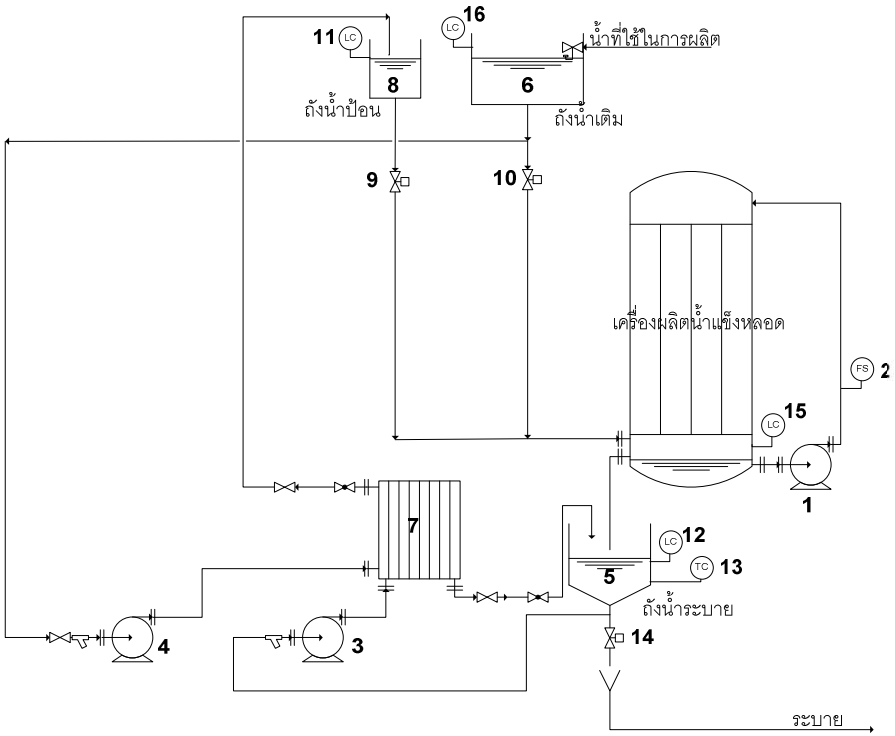
จำนวนรอบการผลิตที่สามารถเพิ่มขึ้นได้ต่อวัน



เวลาที่สามารถลดลงได้ในแต่ละรอบการผลิต



6 การนำไปใช้งาน



7 สรุป

ระบบที่ได้

- อุปกรณ์มีขนาดเหมาะสม
- สามารถประหยัดพลังงานได้เดือนละ 12,960 บาทต่อเดือน
- มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ประมาณ 12 เดือน
- สามารถทำให้อัตราการผลิตน้ำแข็งหลอดเพิ่มขึ้น 800 กิโลกรัมต่อวันต่อเครื่องผลิต ซึ่งคิดเป็นเงิน 800 บาทต่อวันต่อเครื่องผลิต
- เป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูงสามารถนำไปใช้เป็นระบบต้นแบบเชิงพาณิชย์ได้

8 ทรัพย์สินทางปัญญา

เลขที่อนุสิทธิบัตร 10573 อสป/200 - ข

อนุสิทธิบัตร

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542
ับดีกรมทรัพย์สินทางปัญญาออกอนุสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถือสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี)
รากฏในอนุสิทธิบัตรนี้

เลขที่คำขอ 1503000797
ันขอรับอนุสิทธิบัตร 17 มีนาคม 2558
ประดิษฐ์ รองศาสตราจารย์อนุสรณ์ ชินสุวรรณ
ที่แสดงถึงการประดิษฐ์ ระบบการนำความเย็นจากน้ำล้นของเครื่องผลิตน้ำแร็งกลับมาใช้ในการผลิตน้ำแร็ง

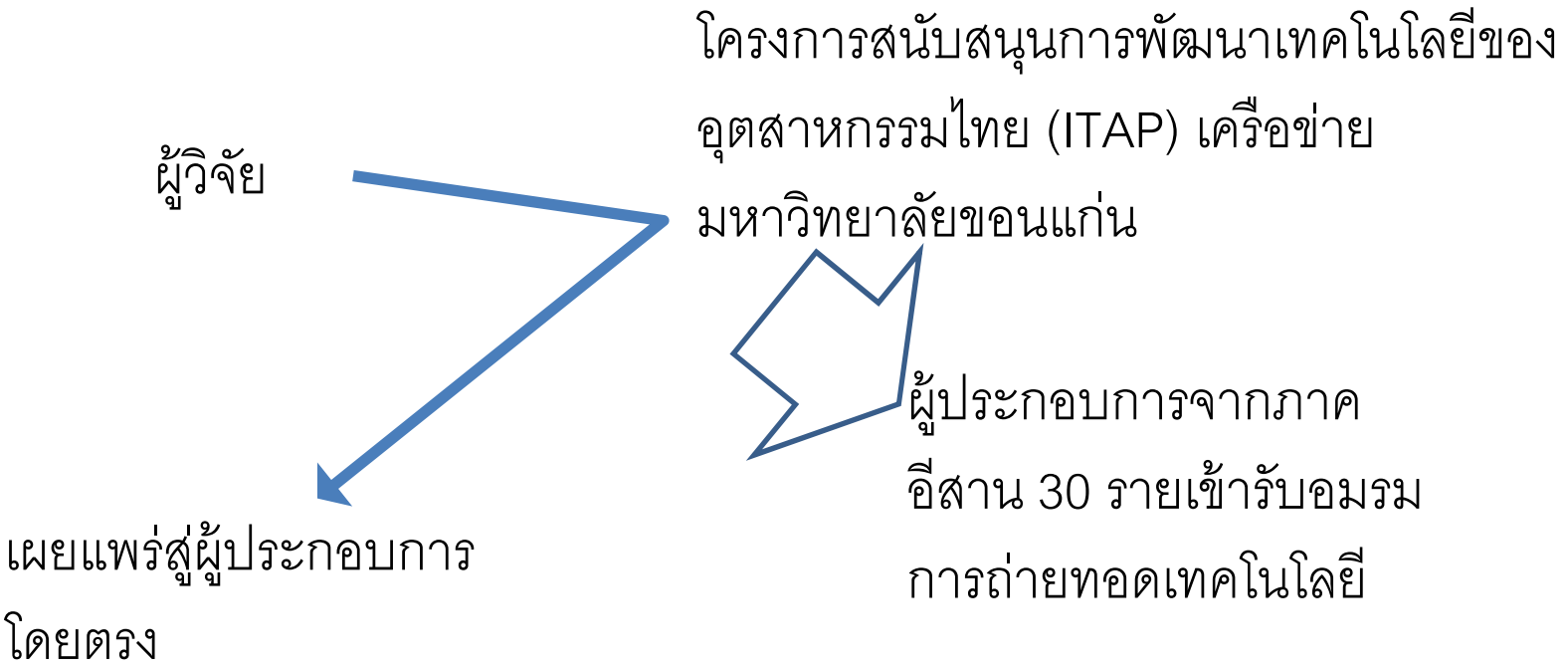
ให้ผู้ทร มีสิทธิและหน้าที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ
ออกให้ ณ วันที่ 13 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2558
หมดอายุ ณ วันที่ 16 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2564

(ลงชื่อ).....
(นายสุภัทม สงวนดีกุล)
รองอธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา ปฏิบัติราชการแทน
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา
ผู้ออกอนุสิทธิบัตร

พนักงานเจ้าหน้าที่

หมายเหตุ
1. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีเริ่มแต่ปีที่ 5 ของอายุสิทธิบัตร มิฉะนั้น อนุสิทธิบัตรจะสิ้นอายุ
2. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรจะขอชำระค่าธรรมเนียมรายปีล่วงหน้าโดยชำระทั้งหมดในคราวเดียวก็ได้
3. ภายใน 90 วันก่อนวันสิ้นอายุอนุสิทธิบัตร ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรมีสิทธิขอต่ออายุอนุสิทธิบัตรได้ 2 คราว มีกำหนดคราวละ 2 ปี โดยยื่นคำขอต่ออายุ ต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
4. การอนุญาตให้ใช้สิทธิตามอนุสิทธิบัตรและการโอนอนุสิทธิบัตรต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ 022441

9 การเผยแพร่เทคโนโลยี



9 การเผยแพร่เทคโนโลยี

9 การเผยแพร่เทคโนโลยี

10 การขยายผล

โครงการ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

โครงการส่งเสริมการลงทุนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้านการอนุรักษ์พลังงาน
ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก

ปรับเปลี่ยน
เครื่องจักร/อุปกรณ์

สนับสนุนเงินลงทุน
สูงสุด 30%

โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP)

iTAP สนับสนุนการเงินอย่างไร

- สนับสนุนค่าตอบแทนผู้เชี่ยวชาญ 100% เพื่อวินิจฉัยปัญหาทางเทคนิคและแนวทางพัฒนาธุรกิจ
- สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการสูงสุด 50% ของงบประมาณโครงการ แต่ไม่เกิน 400,000 บาท ต่อโครงการ
- สนับสนุนแต่ละบริษัทได้ถึง 2 โครงการต่อปี วงเงินไม่เกิน 800,000 บาท

a member of NSTDA

สวทช NSTDA

ขอบพระคุณ

ผู้ให้การสนับสนุน