การตรวจวัดและการพิสูจน์ผลประหยัด

Measurement and Verification : M&V

มาตรการติดตั้งระบบโอโซนที่หอผึ่งเย็น ของระบบทำน้ำเย็น (Ozone for Cooling Tower)

ปัญหา

1. ตะกรัน
2. ตะไคร่น้ำ
3. การกัดกร่อน
4. การติดเชื้อโรค
5. การทิ้งน้ำ

ปัญหา

ตะกรัน

- ลดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของ Condenser และ หอผึ่งน้ำ

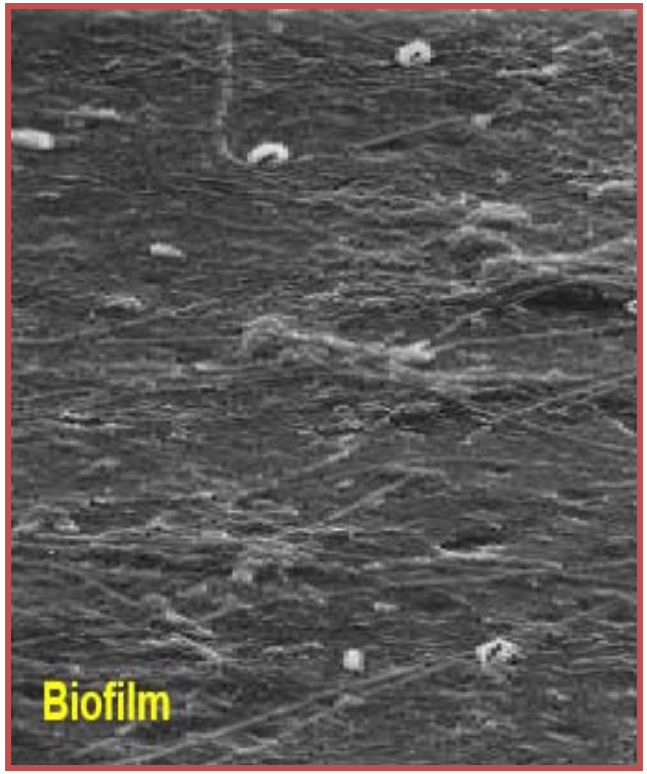
- เพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด Condenser และ หอผึ่งน้ำ

สาเหตุ

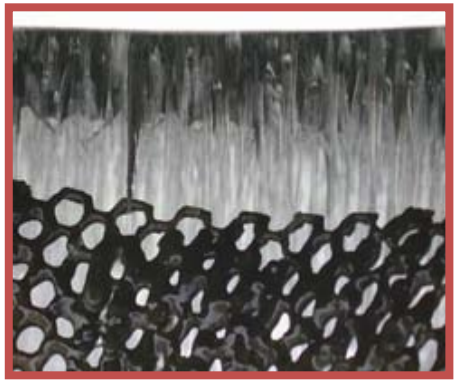
สาเหตุการเกิดตะกรัน

การเจริญเติบโตของ Bacteria

Bacteria ก่อให้เกิด Biofilm ซึ่งเป็นพื้นผิวในการยึดเกาะของตะกรันที่ผิวท่อและส่วนต่างๆ



ปัญหา



ตะไคร่น้ำ

- ลดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของหอผึ่งน้ำ
- เกิดการอุดตันของท่อและ Strainer
- เพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดและการซ่อมบำรุงหอผึ่งน้ำ

ปัญหา

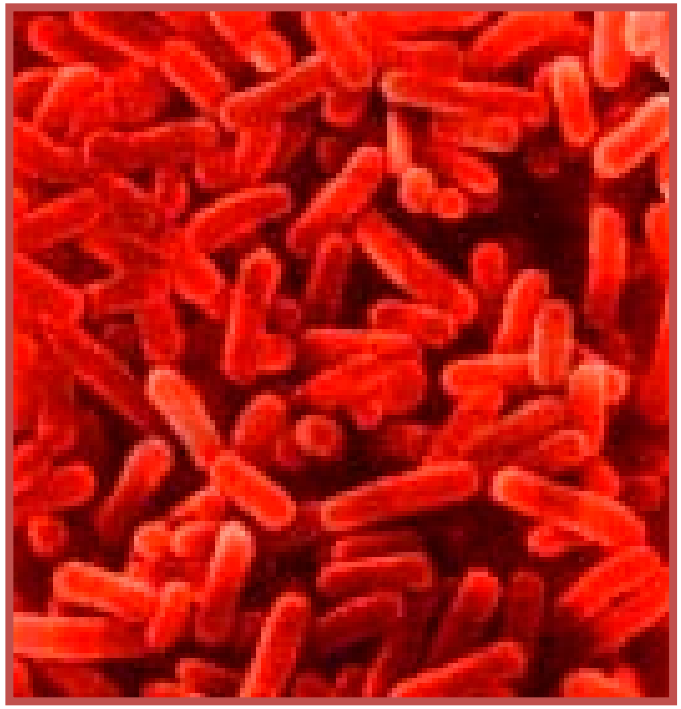
การกัดกร่อน

- สร้างความเสียหายกับอุปกรณ์
- ก่อให้เกิดการอุดตันของท่อ

ปัญหา

การติดเชื้อโรค

- Legionnaire เป็นโรคระบบทางเดินหายใจเฉียบพลัน โดยสัมผัสกับละอองน้ำและน้ำของหอผึ่งน้ำ



Legionellosis

(Bacteria Legionella Pneumophila)

ปัญหา

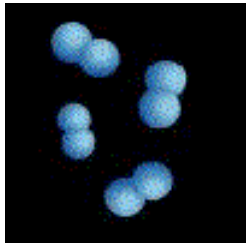
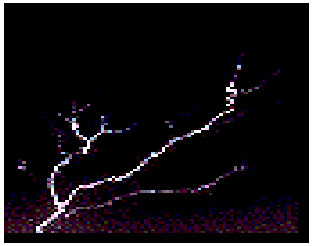
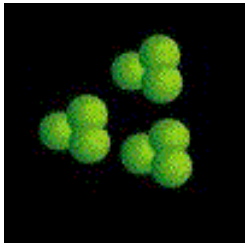
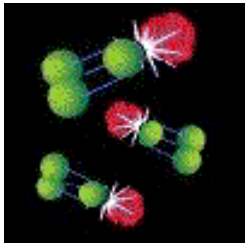
ใช้น้ำมากและต้องบำบัดน้ำทิ้ง

(Bleed-off / Blowdown)

น้ำในหอผึ่งเย็นจะค่อย ๆมีความเข้มข้นของสารเคมีเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการระเหยของน้ำที่ถูกลมพัดออกไป จึงจำเป็นต้องใช้น้ำใหม่เติมเข้ามาเพิ่มอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก น้ำที่ทิ้งออกไปจากหอผึ่งเย็นจะมีสารเคมีปนเปื้อนสูงและต้องถูกนำไปบำบัดก่อนทิ้งออกสู่ภายนอกอีก

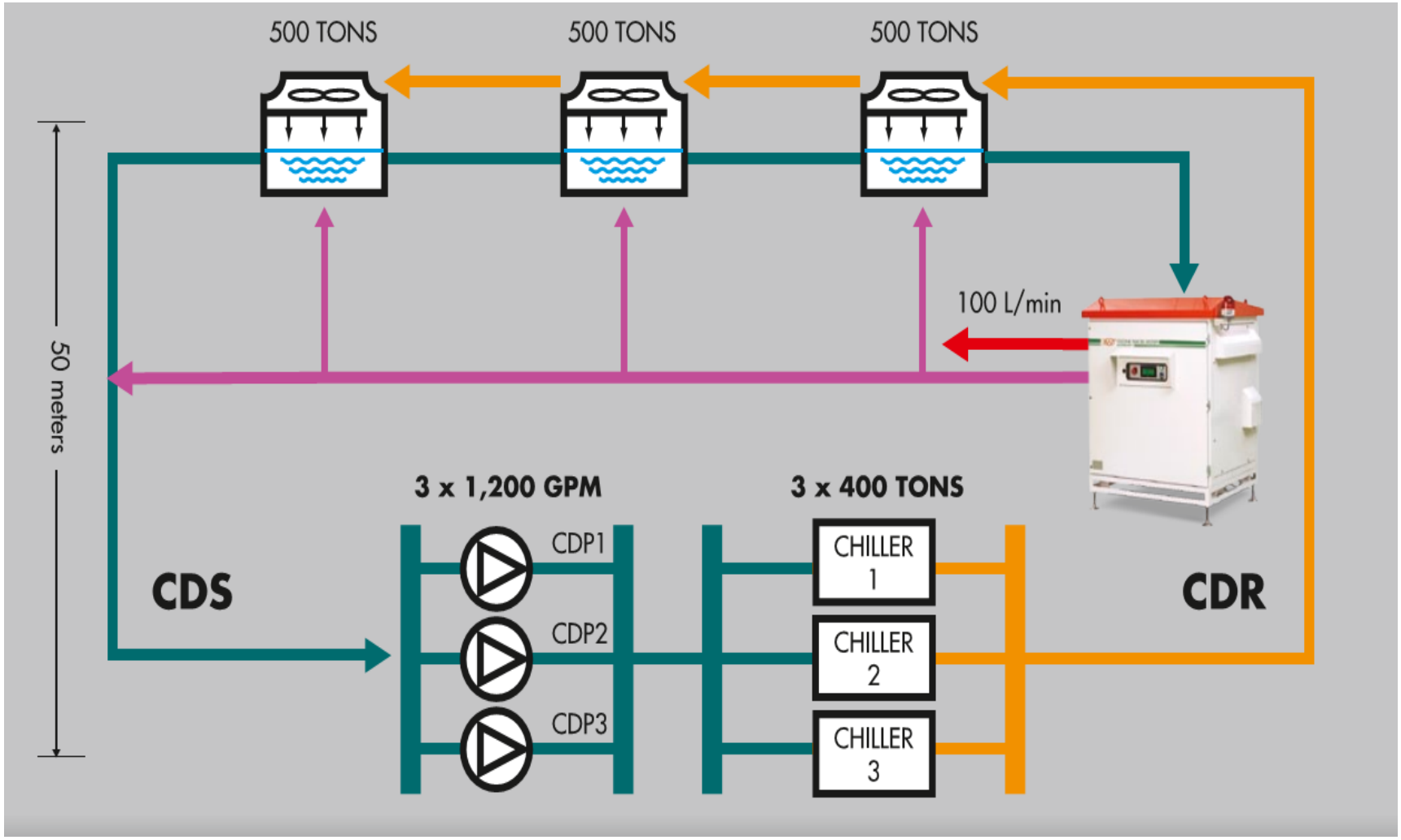
โอโซนคืออะไร

โอโซน (O_3) คือก๊าซที่ไม่เสถียรเกิดจากรวมอะตอมของออกซิเจน 3 อะตอม โอโซนจะถูกกำเนิดเมื่อก๊าซออกซิเจน (O_2) ที่แยกออกเป็นสองอะตอมและไปรวมกับอะตอมออกซิเจน เมื่ออะตอมออกซิเจน 3 อะตอมรวมกันเราจึงเรียกว่าโอโซน

Oxygen (O_2) + Energy = Ozone (O_3) ➡ Oxidation ➡ Oxygen (O_2)

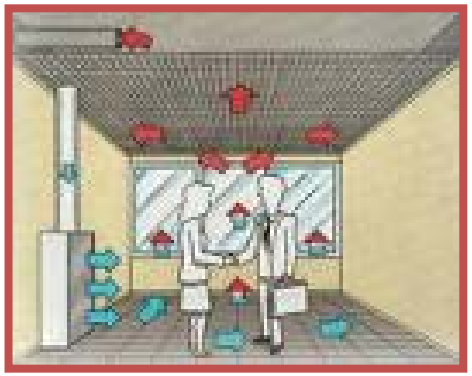
ลักษณะการติดตั้งระบบโอโซน

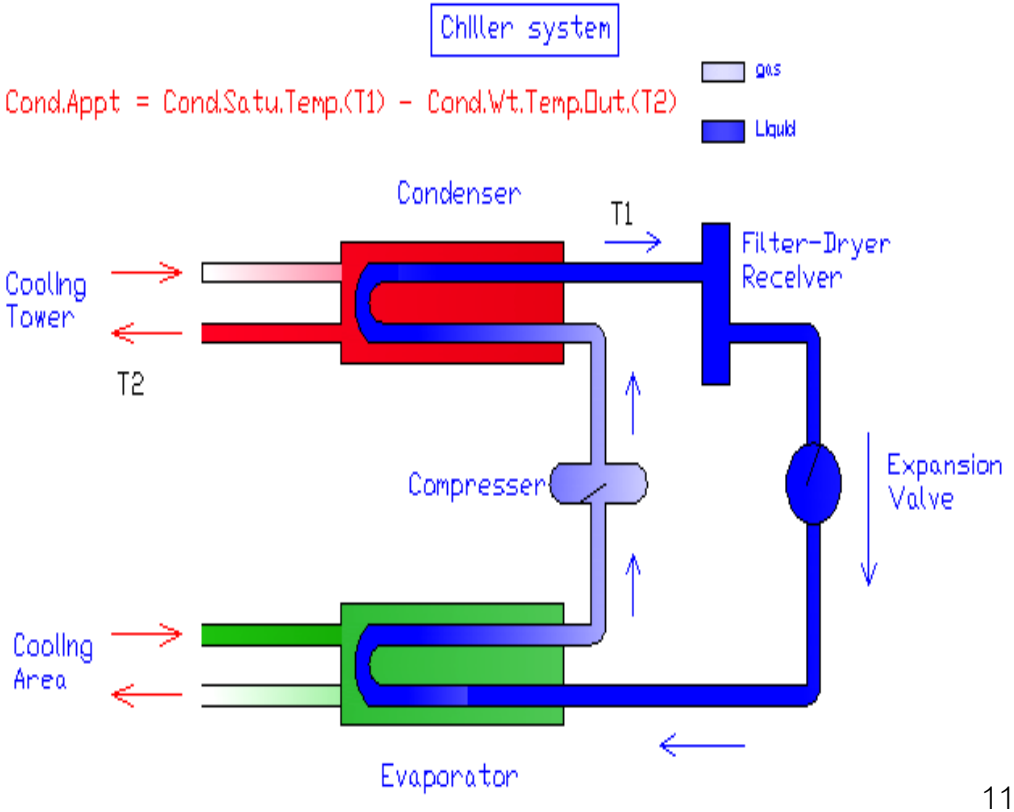


Animation

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

เราสามารถประหยัดพลังงานจากการควบคุมการถ่ายเทความร้อนของชิลเลอร์ โดยการรักษาอุณหภูมิแอพโพรชคอนเดนเซอร์ (Condenser Approach Temperature) ให้ต่ำอยู่ตลอดเวลา ตามคุณลักษณะเฉพาะของชิลเลอร์แต่ละรุ่น



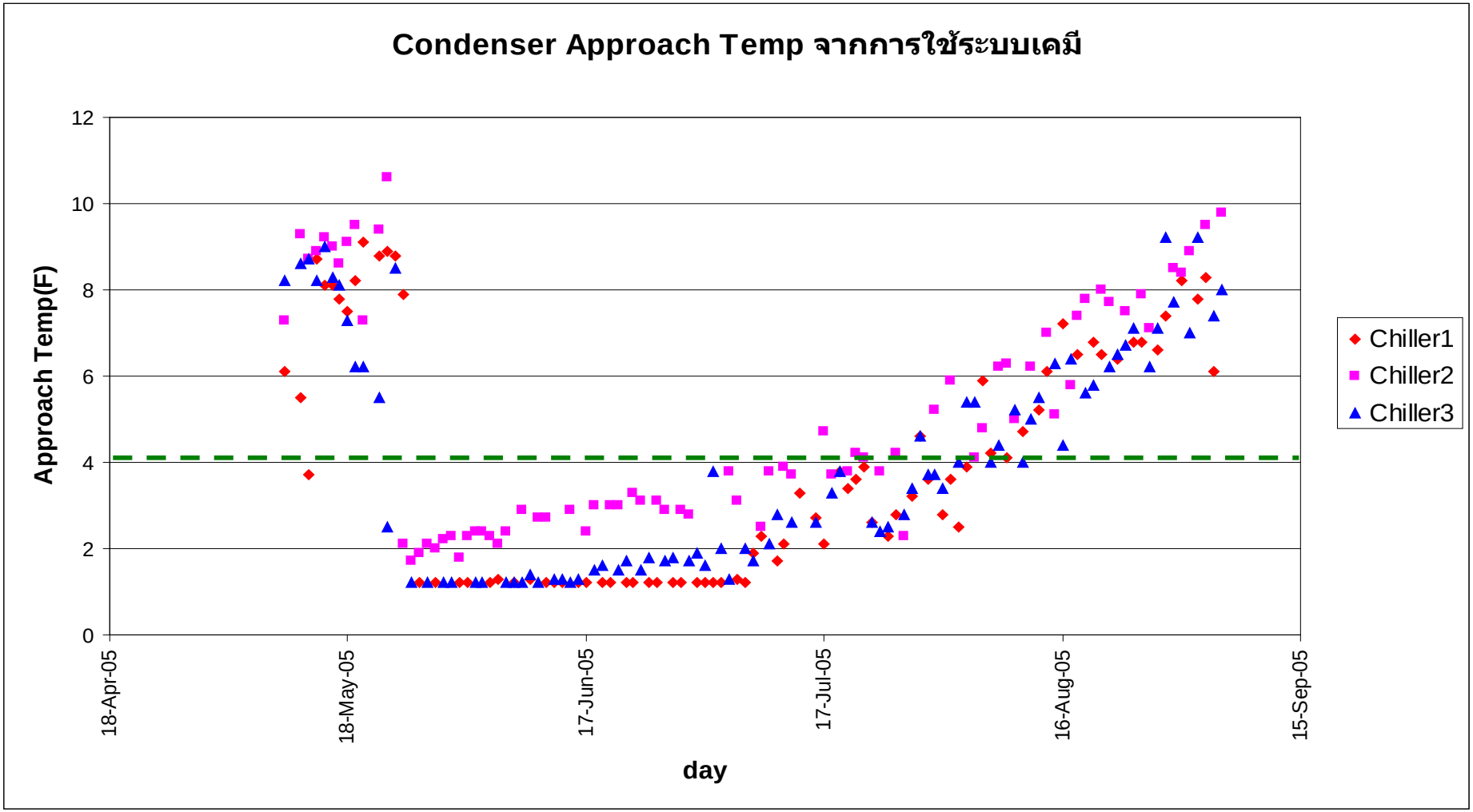


ความสัมพันธ์ ระหว่าง ค่า Condenser Approach Temperature กับประสิทธิภาพของ Chiller

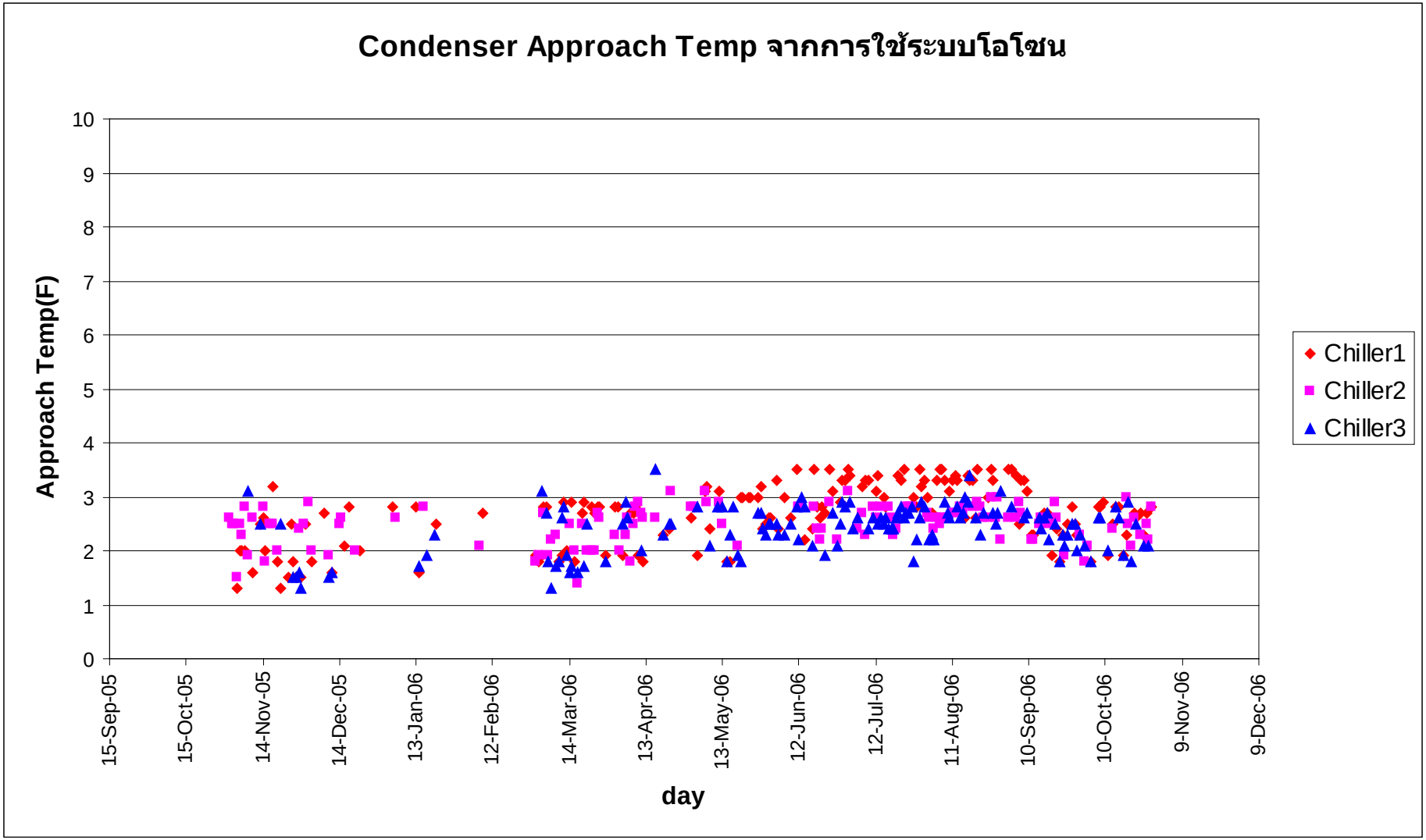
ทุก 1 องศาฟาเรนไฮต์ ที่เพิ่มขึ้นของค่า Condenser Approach Temperature จะทำให้ค่า kW/Ton ของ Chiller เพิ่มขึ้น 1.5% หรือ ประสิทธิภาพ Chiller ลดลง = 1.5%

เพื่อการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีที่สุดควรรักษา ค่า Condenser Approach Temperature ให้อยู่ระหว่าง 0-2 °F

เทคโนโลยีระบบโอโซน



เทคโนโลยีระบบโอโซน



กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งระบบโอโซนที่หอผึ่งเย็นของระบบทำน้ำเย็น

โรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 600 ตันความเย็น ใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำในคูลลิ่งทาวเวอร์ ซึ่งอาคารมีความต้องการยกเลิกการใช้สารเคมี และใช้ระบบโอโซนเข้ามาติดตั้งแทนระบบบำบัดที่มีอยู่เดิม

แนวทางตรวจวัดและพิสูจน์ผล

IPMVP option : A

- ตรวจวัดปริมาณพลังงานเฉพาะส่วนที่มีการปรับปรุง

- มาตรการแยกออกจากส่วนอื่นของสถานประกอบการ

- มีสภาวะแวดล้อมหรือสภาวะการทำงานที่ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากเป็นโรงงาน<u>ประเภทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์</u>

- ทำการตรวจวัดเฉพาะจุดเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

วิธีการตรวจวัด

ลำดับ	รายละเอียด	ความถี่และระยะเวลาการบันทึกข้อมูล
1	ติดตั้งเครื่องวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าที่แผงวงจรควบคุมไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น โดยข้อมูลที่ตรวจวัด ได้แก่ กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	บันทึกข้อมูลทุก 10 นาที เป็นระยะเวลา 4 วัน
2	ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก ที่ท่อส่งน้ำเย็นหลังจากออกจากเครื่องทำน้ำเย็น โดยข้อมูลที่ตรวจวัด ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเย็น	บันทึกข้อมูลทุก 10 นาที เป็นระยะเวลา 4 วัน
3	ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ ที่ท่อน้ำเย็นไป-กลับ และท่อน้ำหล่อเย็นไป-กลับ โดยข้อมูลที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น	บันทึกข้อมูลทุก 10 นาที เป็นระยะเวลา 4 วัน

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

เครื่องมือตรวจวัด

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

เครื่องวัดอัตราการไหล

เครื่องวัดอุณหภูมิ

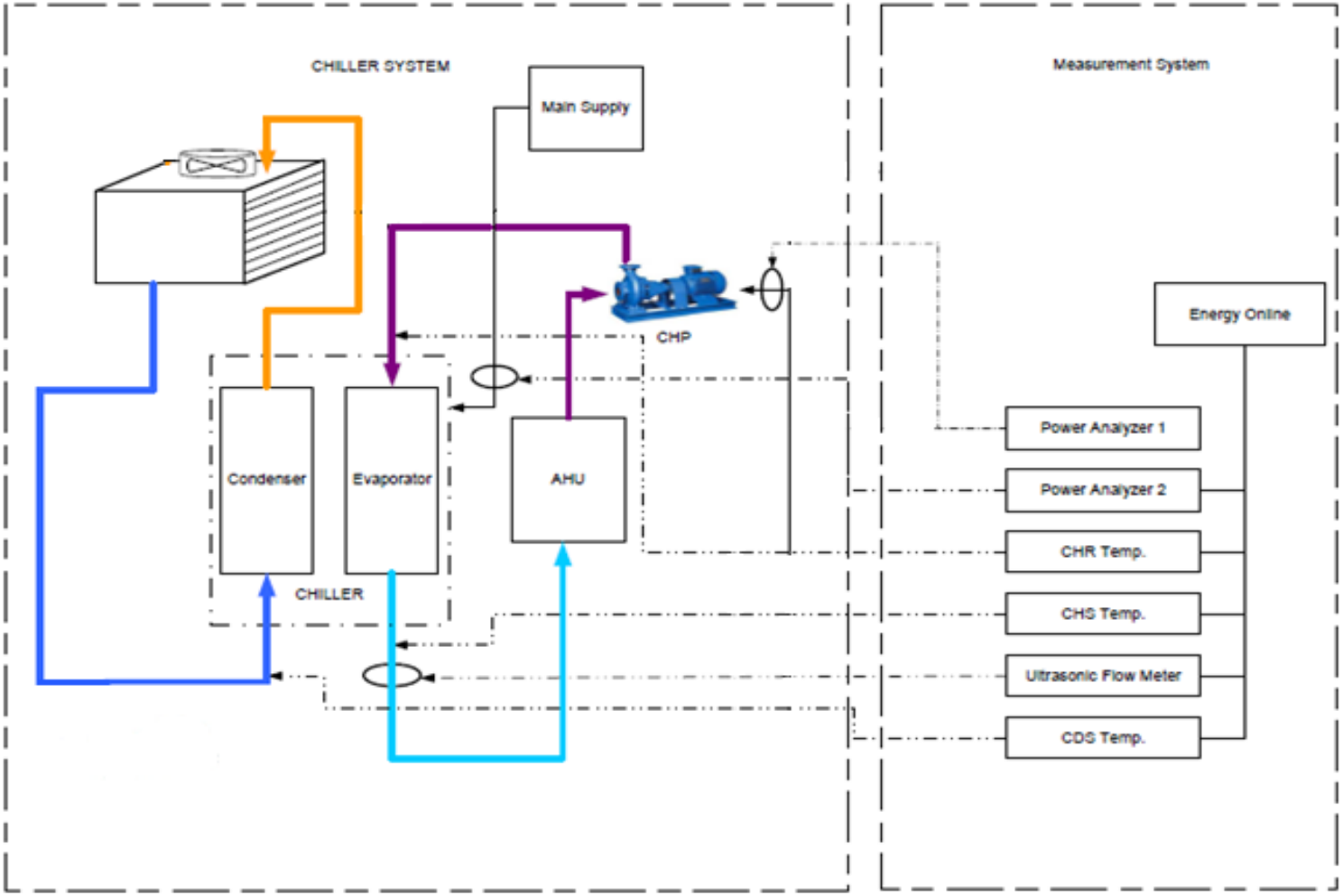
กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

สภาวะที่ต้องควบคุม

ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	การควบคุมและค่าควบคุมที่กำหนด
1	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น	ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับปรุงไม่ต่ำกว่าก่อนการปรับปรุงหรือแตกต่างกันไม่เกิน ±10%
2	อุณหภูมิควบคุมของน้ำเย็นที่ผลิต	ตั้งค่าอุณหภูมิควบคุมของน้ำเย็นที่ผลิตหลังการปรับปรุงไม่สูงกว่าก่อนการปรับปรุง

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผังการตรวจวัด



กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

การคำนวนปริมาณการใช้พลังงาน

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย
1	Condenser approach temp	CA	^{o}F
2	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	P	kW
3	อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเย็น	m_w	LPM
4	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาเข้า	T_{in}	^{o}C
5	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาออก	T_{out}	^{o}C
6	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำคอนเดนเซอร์ขาเข้า	$TCDS_{in}$	^{o}C
7	ค่าแก้ไขพลังไฟฟ้า	CE	-
8	ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น	CR	-
9	ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น	$TR= (m_w \times (T_{in} - T_{out}) / 50.4$	TR
10	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$P_{std} = P \times CE$	kW
11	ความสามารถในการทำความเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$TR_{std} = TR \times CR$	TR
12	กิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$SEC = P_{std} / TR_{std}$	kW/TR
13	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 ปี	H	h/y
14	ระดับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง	$E = ChP \times TR_{std} \times H$	kWh/y

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

การคำนวนปริมาณการใช้พลังงาน

ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและพลังไฟฟ้า
สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำเย็นด้านออก (องศาเซลเซียส)	ค่าแก้ไข		
		ขนาดทำความเย็น	พลังไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น
	5	0.98	1.14	1.16
	6	0.95	1.14	1.19
	7	0.93	1.12	1.20
25	7.2	0.93	1.12	1.20
	8	0.90	1.11	1.22
	9	0.88	1.10	1.24
	10	0.87	1.09	1.25
	5	1.39	1.05	0.76
	6	1.01	1.04	1.04
	7	0.98	1.03	1.05
30	7.2	0.97	1.03	1.06
	8	0.95	1.02	1.08
	9	0.93	1.01	1.09
	10	0.90	1.00	1.11
	5	1.25	1.02	0.82
	6	1.03	1.01	0.98
	7	1.00	1.00	1.00
32.2	7.2	1.00	1.00	1.00
	8	0.98	0.99	1.02
	9	0.95	0.98	1.03
	10	0.93	0.97	1.05
	5	1.11	0.99	0.88
	6	1.06	0.97	0.92
	7	1.03	0.96	0.93
35	7.2	1.03	0.96	0.93
	8	1.01	0.95	0.94
	9	0.98	0.94	0.96
	10	0.95	0.93	0.98
	5	1.16	1.04	0.90
	6	1.12	0.92	0.81
	7	1.10	0.93	0.84
40	7.2	1.10	0.92	0.84
	8	1.08	0.89	0.83
	9	1.04	0.88	0.85
	10	1.01	0.88	0.87
	5	1.23	0.88	0.71
	6	1.20	0.86	0.72
	7	1.16	0.85	0.73
45	7.2	1.16	0.85	0.74
	8	1.14	0.84	0.74
	9	1.10	0.83	0.76
	10	1.08	0.82	0.77

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

การวิเคราะห์ผลประหยัด

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ที่มาของข้อมูล
1	ค่าความสามารถในการทำความเย็นกรณีฐาน	kW/TR	TR^*_{pre} หรือ TR^*_{post}
2	ค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นจาก Approach temperature	%	$\%CA = 1.5 \times ((CA_{pre}-CA_{post})/2)$
3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐาน	kWh/year	$E_{base} = SEC_{pre} \times TR^*_{base} \times (1-\%CA) \times H$
4	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ “หลัง” ปรับปรุง	kWh/year	$E_{post} = SEC_{post} \times TR^*_{base} \times H$
5	พลังงานที่ประหยัดได้	kWh/year	$Saving = E_{base} - E_{post}$

หมายเหตุ

TR^*_{base} = ค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง TR^*_{pre} และ TR^*_{post}

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

รูปการตรวจวัดพลังงาน

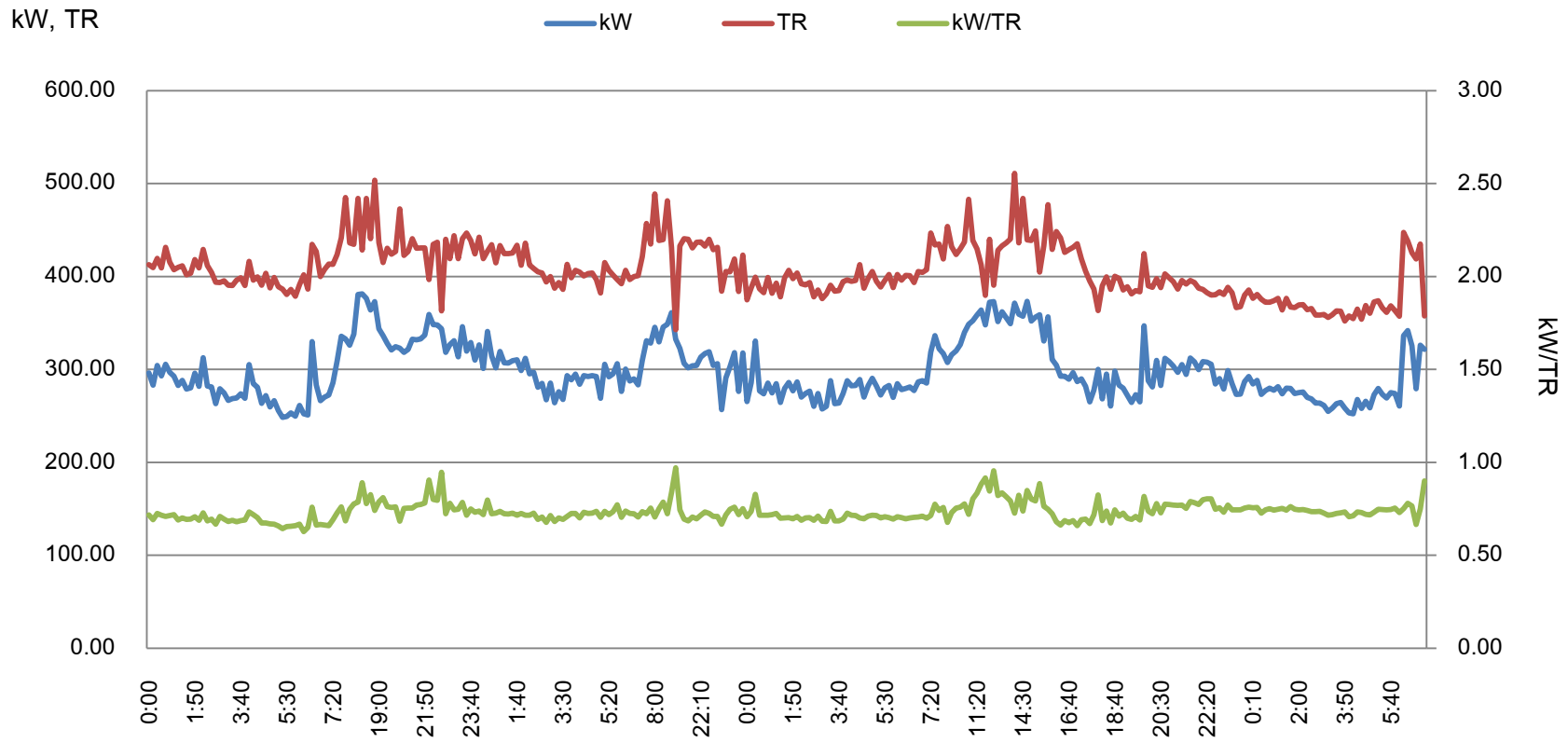
กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	ก่อนปรับปรุง	หน่วย
1	Condenser approach temp	CA	5.7	^{o}F
2	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	P	298.34	kW
3	อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเย็น	m_w	3,740.45	LPM
4	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาเข้า	T_{in}	13.41	^{o}C
5	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาออก	T_{out}	7.94	^{o}C
6	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำคอนเดนเซอร์ขาเข้า	$TCDS_{in}$	26.47	^{o}C
7	ค่าแก้ไขพลังไฟฟ้า	CE	0.92	-
8	ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น	CR	1.09	-
9	ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น	$TR= (m_w \times (T_{in} - T_{out}) / 50.4$	406.44	TR
10	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$P_{std} = P \times CE$	274.47	kW
11	ความสามารถในการทำความเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$TR_{std} = TR \times CR$	443.02	TR
12	กิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$SEC = P_{std} / TR_{std}$	0.62	kW/TR
13	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 ปี	H	8,760.00	h/y
14	ระดับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง	$E = SEC \times TR_{std} \times H$	2,404,395.03	kWh/y

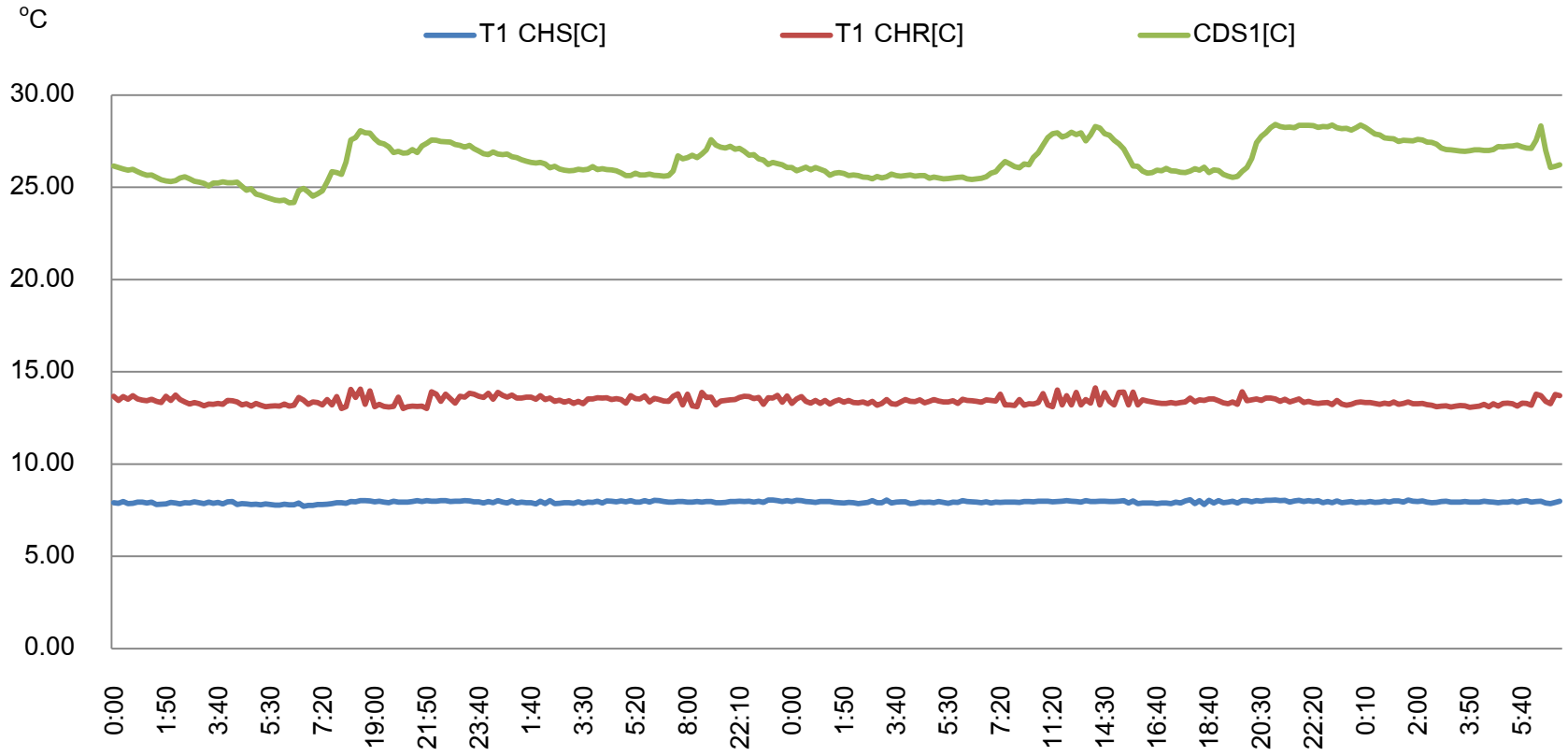
กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด ก่อนปรับปรุง



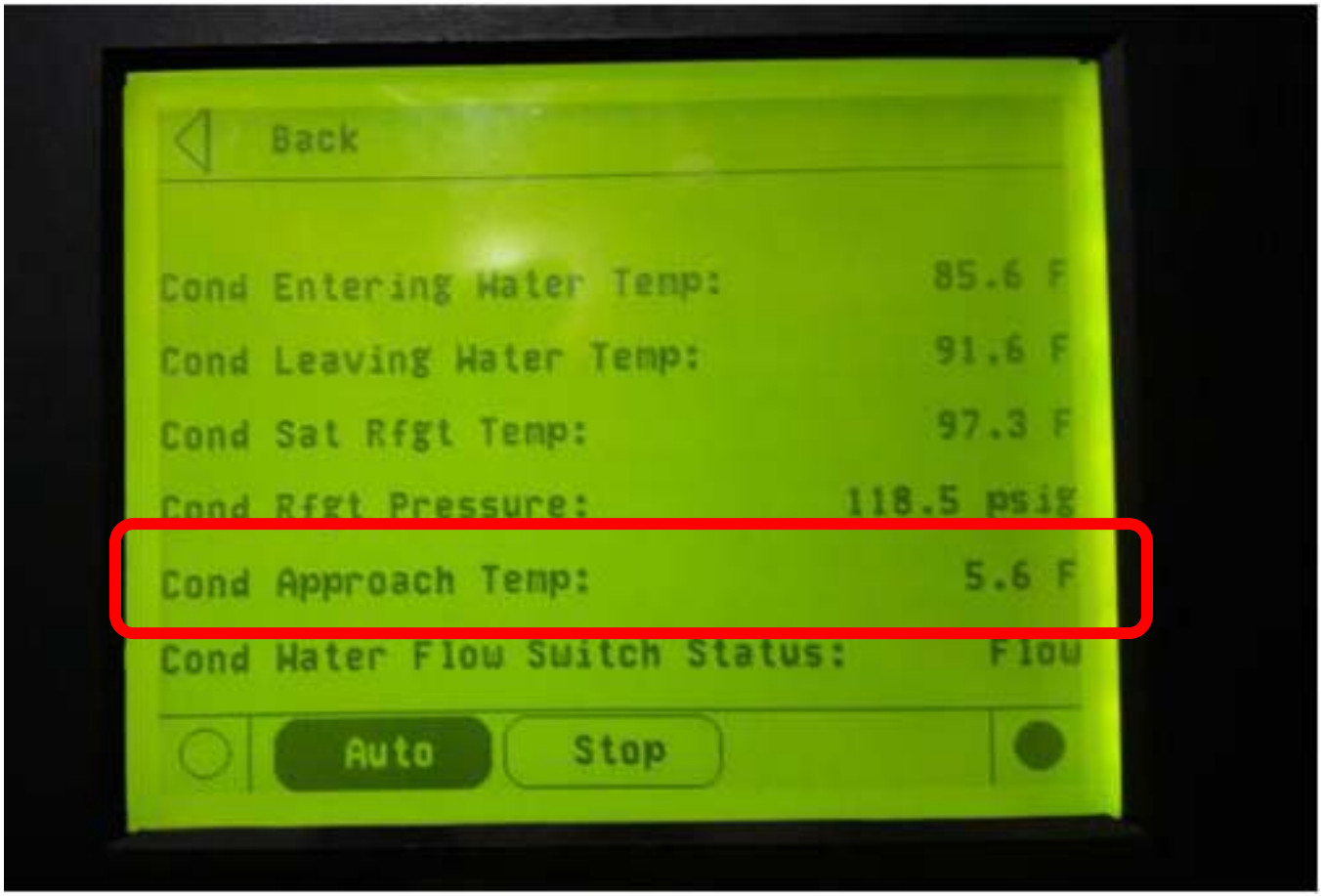
กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด ก่อนปรับปรุง



กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด ก่อนปรับปรุง



กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

สภาวะควบคุม	ภาระการทำความเย็น (TR)	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิต (°F)
ก่อนปรับปรุงเฉลี่ย	406.44	7.94
ค่าขอบบน (+10%)	447.08	8.73
ค่าขอบล่าง (-10%)	365.79	7.15

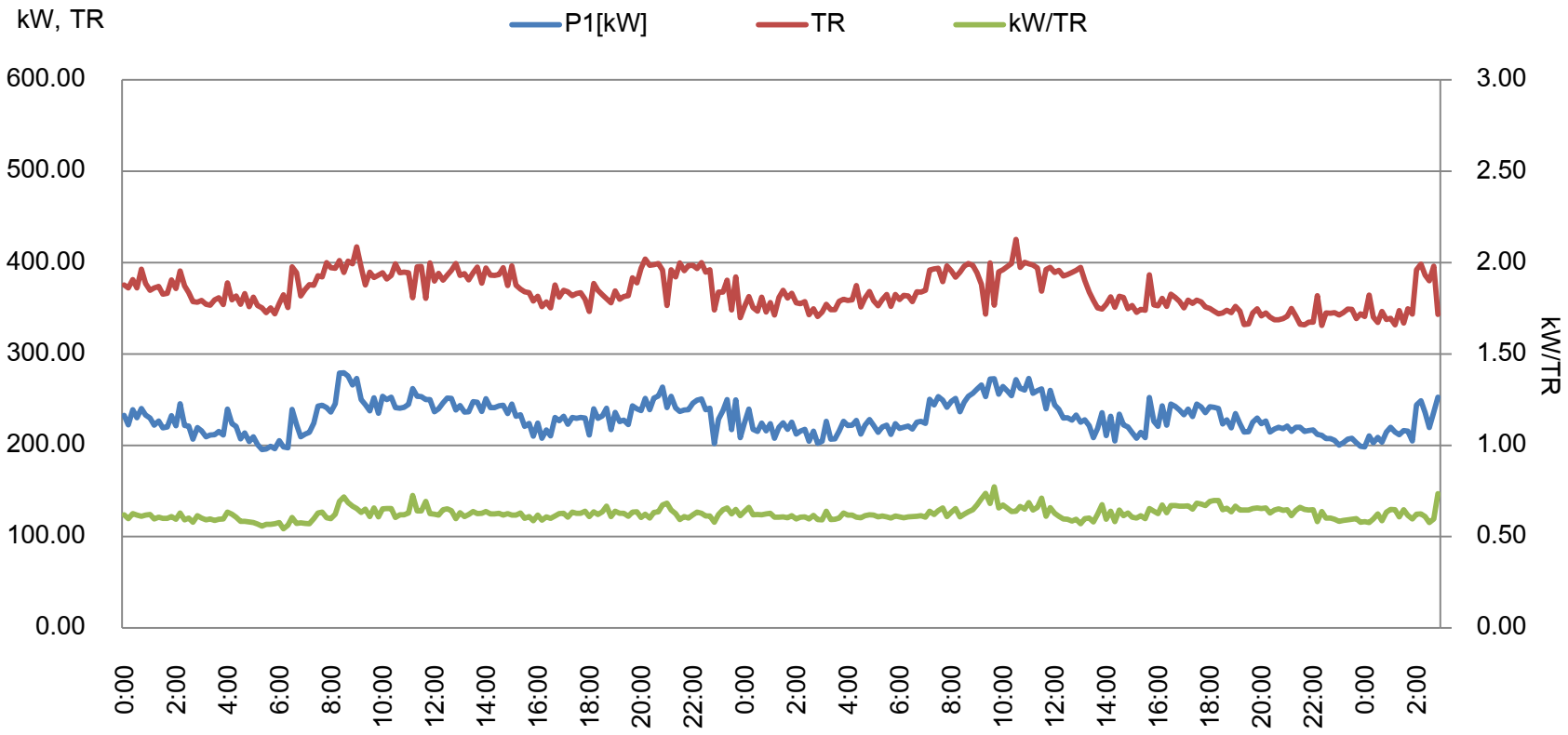
กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด หลังปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์/สูตร	หลังปรับปรุง	หน่วย
1	Condenser approach temp	CA	1.90	^{o}F
2	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	P	230.10	kW
3	อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเย็น	m_w	3,666.57	LPM
4	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาเข้า	T_{in}	13.04	^{o}C
5	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเย็นขาออก	T_{out}	7.97	^{o}C
6	อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำคอนเดนเซอร์ขาเข้า	$TCDS_{in}$	29.07	^{o}C
7	ค่าแก้ไขพลังไฟฟ้า	CE	0.97	-
8	ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น	CR	1.06	-
9	ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น	$TR= (m_w \times (T_{in} - T_{out}) / 50.4$	368.65	TR
10	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$P_{std} = P \times CE$	223.20	kW
11	ความสามารถในการทำความเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$TR_{std} = TR \times CR$	390.77	TR
12	กิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นก่อนปรับปรุงที่สภาวะมาตรฐาน	$SEC = P_{std} / TR_{std}$	0.57	kW/TR
13	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 ปี	H	8,760.00	h/y
14	ระดับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง	$E = SEC \times TR_{std} \times H$	1,955,205.72	kWh/y

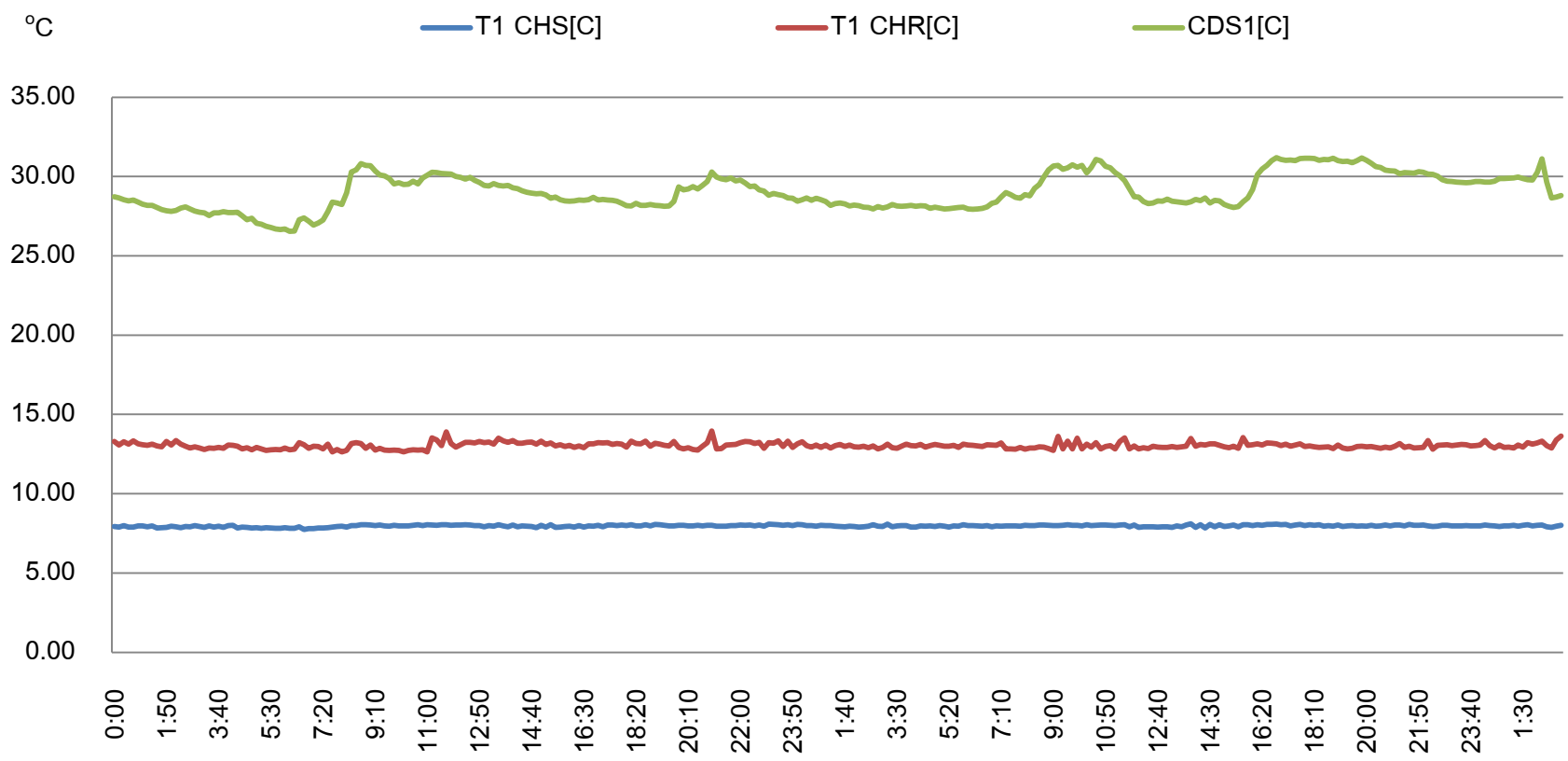
กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด หลังปรับปรุง



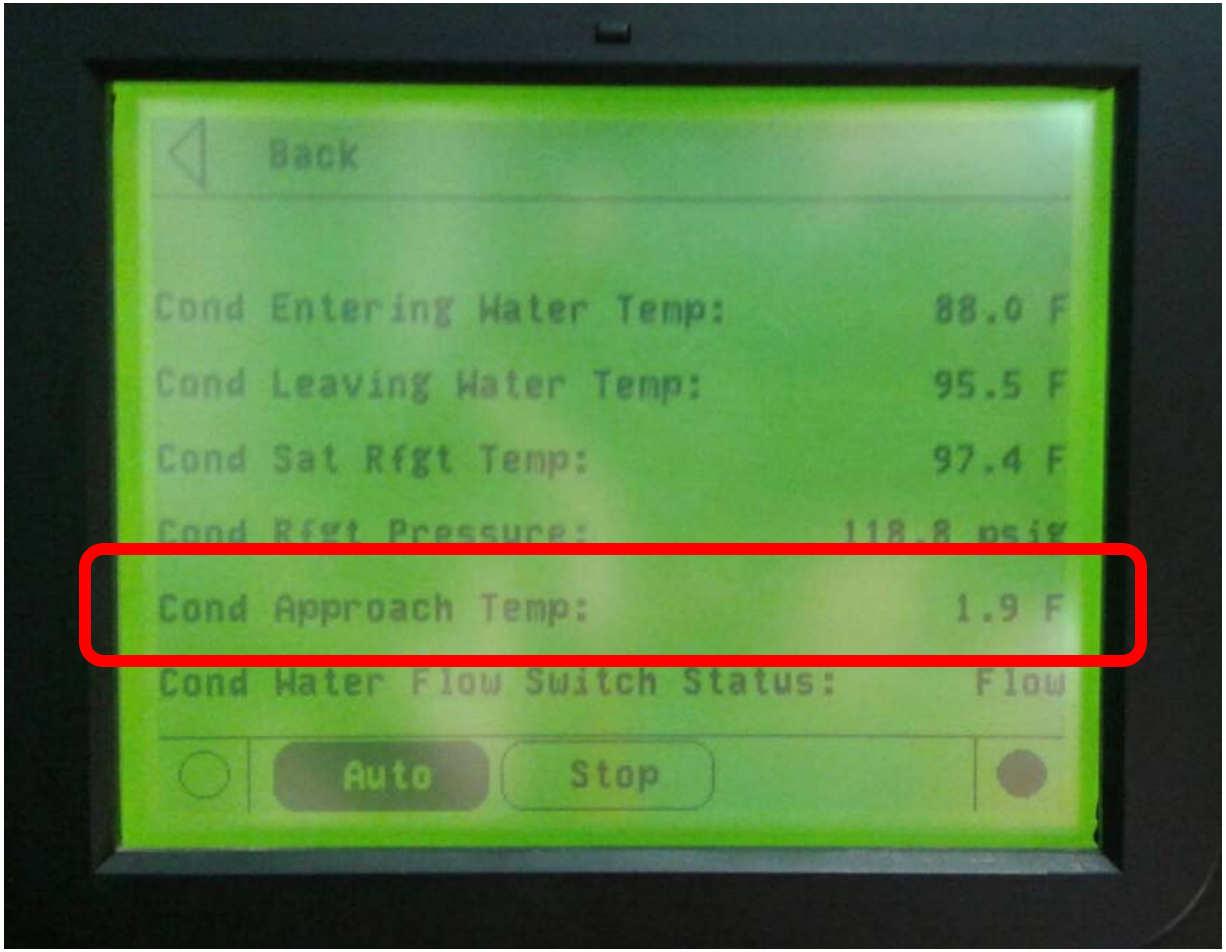
กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด หลังปรับปรุง



กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

ผลการตรวจวัด หลังปรับปรุง



กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

สภาวะควบคุม	ภาระการทำความเย็น (TR)	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิต (°F)
ก่อนปรับปรุงเฉลี่ย	**406.44**	**7.94**
ค่าขอบบน (+10%)	447.08	8.73
หลังปรับปรุงเฉลี่ย	**368.65**	**7.97**
ค่าขอบล่าง (-10%)	365.79	7.15

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

การวิเคราะห์ผลประหยัด

ลำดับ	ตัวแปร	ที่มาของข้อมูล	ค่าตรวจวัด	หน่วย
1	ค่าความสามารถในการทำความเย็นกรณีฐาน	$TR^*_{base} = TR^*_{pre}$ หรือ TR^*_{post}	390.77	kW/TR
2	ค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นจาก Approach temperature	$\%CA = 1.5 \times ((CA_{pre}-CA_{post})/2)$	2.78	%
3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีฐาน	$E_{base} = SEC_{pre} \times TR^*_{base} \times (1-\%CA) \times H$	2,061,972.09	kWh/year
4	พลังงานเครื่องโอโซน	$P_{oz} = 3.32\ kW \times H$	29,083.20	kWh/year
5	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ “หลัง” ปรับปรุง	$E_{post} = (SEC_{post} \times TR^*_{base} \times H) + (Poz \times H)$	1,984,288.92	kWh/year
6	**พลังงานที่ประหยัดได้**	**$Saving = E_{base} - E_{post}$**	77,683.17	**kWh/year**
7	**ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ประหยัด**	**Cost Saving = Saving x Unit rate (Unit rate = 3.57THB/kWh)**	**277,328.90**	**THB/year**

กรณีศึกษา 2 มาตรการติดตั้งเครื่องโอโซนบำบัดน้ำคอนเดนเซอร์

การวิเคราะห์ผลประหยัดต่อปี

หัวข้อ	เคมี	โอโซน
ค่าใช้จ่ายต่อปีในการใช้สารเคมี (บาท)	120,000.00	0.00
ค่าใช้จ่ายต่อปีจากน้ำเติมเข้าสู่ระบบ (บาท)	477,716.07	382,172.86
ค่าใช้จ่ายต่อปีในการล้าง Tube Condenser (บาท)	30,000.00	0.00
ค่าไฟฟ้าต่อปีที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากตะกรันใน Tube Condenser (บาท)	277,328.90	0.00
ค่าใช้จ่ายต่อปีในการ Operate ระบบ (บาท)	0.00	114,668.00
รวมค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)	**905,044.97**	**496,840.86**
รวมผลการประหยัดต่อปี (บาท)	**408,204.11**	
เงินลงทุน (บาท)	**1,200,000.00**	
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	**2.94**	

หมายเหตุ: ราคาค่าน้ำ 17 บาท/ลบ.ม. ราคาค่าไฟ 3.57 บาท/kWh