ประสบการณ์ปรับปรุงระบบจ่ายน้ำเย็น จากแบบ Primary-Secondary Variable Flow เป็น Primary Variable Flow เพื่อประหยัดค่าไฟ

ประพุธ พงษ์เลาหพันธุ์

กรรมการสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย

ผู้จัดการฝ่ายออกแบบระบบสุขาภิบาล บริษัท มิตร เทคนิคัล คอนซัลแท้นท์ จำกัด

วุฒิวิศวกรเครื่องกล วก.943, สามัญวิศวกรสิ่งแวดล้อม สส.449,

Member ASHRAE, LEED Accredited Professional

ระบบจ่ายน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพ และแนะนำโดย ASHRAE Handbook 2016 HVAC Systems and Equipment นั้นมีสองวิธี คือ Primary variable flow และ Primary/secondary variable flow ส่วนวิธีอื่น คือ Constant-volume primary นั้น เป็นวิธีที่มีค่าดำเนินการที่แพงกว่ามากและไม่เป็นที่นิยมแล้วในปัจจุบัน

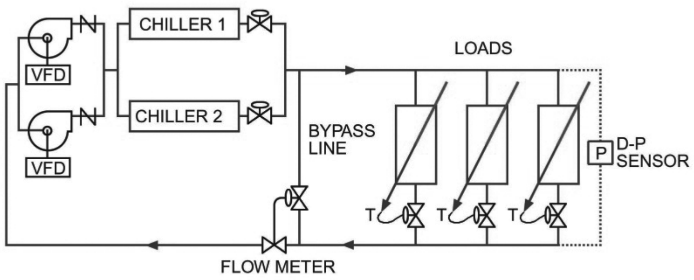


Fig. 1 Primary Variable-Flow System

รูปที่ 1 รูปแบบ Primary Variable Flow (PVF)

1. รูปแบบระบบ Primary Variable Flow ที่ทาง ASHRAE แนะนำนั้น จะต้องมีวาล์วควบคุมการไหลของน้ำเย็นที่ Chiller และ มี Flow Meter เพื่อวัดค่าอัตราการไหลที่น้ำเย็นไหลกลับไปที่ Chiller จึงจะทำให้ระบบสมบูรณ์แบบ โดยระบบนี้เป็นที่นิยมเนื่องจาก VFD มีราคาถูกลงมาก มีความคุ้มทุนในการลงทุนติดตั้ง และ Chiller รุ่นใหม่มีระบบตรวจวัดที่รวดเร็วแม่นยำกว่าเดิมมาก

สำหรับปัญหาในการใช้งานระบบ PVF ที่ทางผู้เขียนได้พบเห็นมาบ้าง คือ บางอาคารจะมีการควบคุมสภาวะ ให้สมบูรณ์แบบได้ยาก เช่น การตั้งอุณหภูมิ Thermostat หนาวเกินไป หรือ อุปกรณ์ 2-Way Valve เสียหาย ทำให้อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ทางฝั่ง Load ต้องการมากเกินกว่าความเป็นจริง ทำให้ Pump เร่งสูบน้ำ ผ่าน Chiller จนถึงค่าหนึ่ง วาล์วควบคุมการไหลก็จะทำการหรี่น้ำเย็นไม่ให้ผ่าน

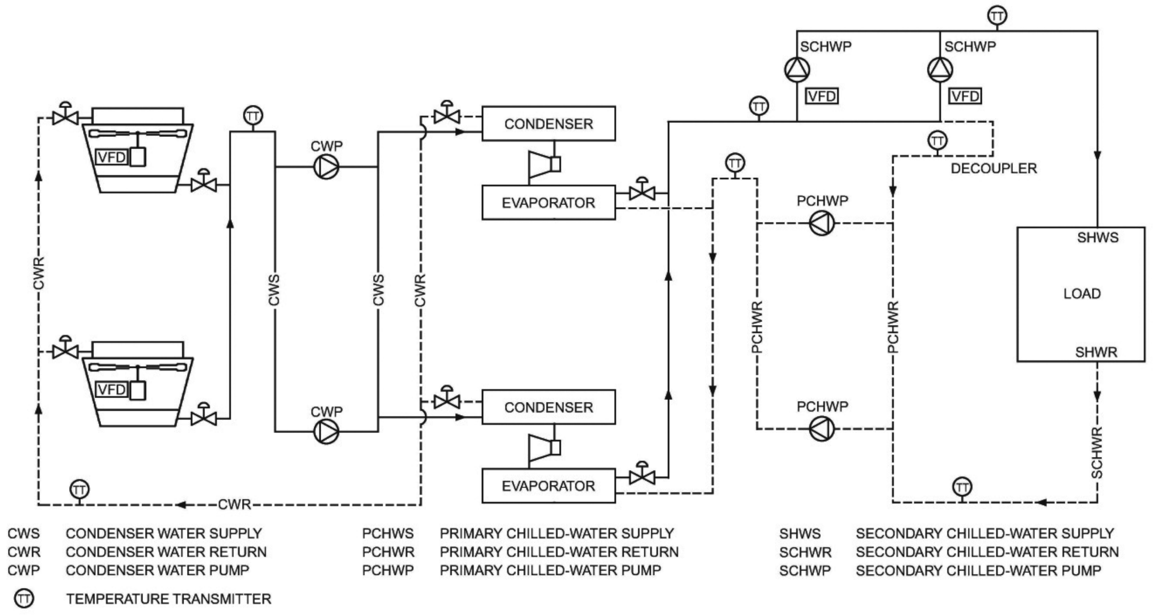


Fig. 3 Primary/Secondary Pumping Chilled-Water System
(Courtesy RDK Engineers)

รูปที่ 2 รูปแบบ Primary/Secondary Variable Flow

Chiller เกินกว่าพิกัด ทำให้อัตราการไหลของน้ำเย็นทางฝั่ง Load ยังไม่เพียงพอ และ สั่งการให้ Pump เร่งสูบน้ำเพิ่มขึ้นอีกจนกระทั่ง แรงดันตกคร่อมในระบบสูงขึ้นมาก ซึ่งในระหว่างที่เกิดปัญหานี้ ทางอาคารมักจะไม่ยอมเปิด Chiller เพิ่ม เพราะจะสิ้นเปลืองค่าไฟไปกับความรั่วไหลของระบบมาก

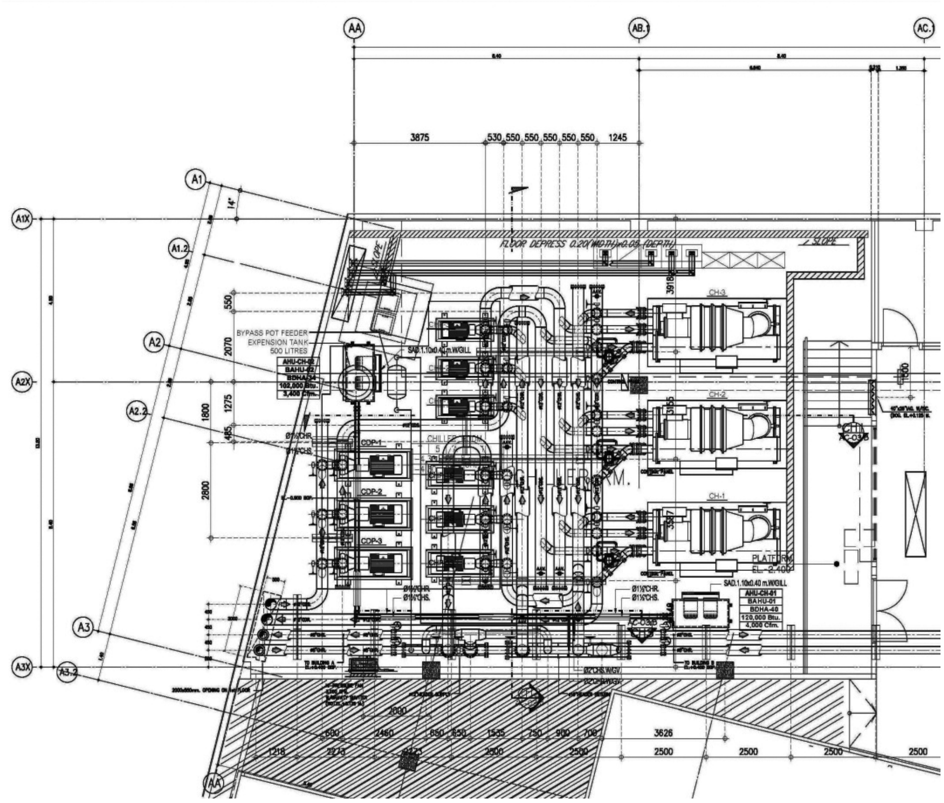
ทางแก้ไขของปัญหาข้างต้น นอกจากการปรับ Thermostat ให้เหมาะสม และ ซ่อมบำรุงอุปกรณ์ แล้ว การปรับค่าของ วาล์วควบคุมให้สามารถจ่ายน้ำเย็นได้มากกว่าพิกัดเล็กน้อย หรือ การถอดวาล์วควบคุมแล้วใช้การปรับค่าด้วย VFD ในการควบคุมน้ำเย็นไม่ให้เกินพิกัดมากไป ก็จะเป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานได้

2. ระบบ Primary/Secondary Variable Flow ที่ทาง ASHRAE แนะนำนั้น จะต้องมีวาล์วควบคุมการไหลของน้ำเย็นที่ Chiller และ ต้องมีท่อ Decoupler เพื่อให้น้ำเย็นไหลไป-มาระหว่าง Primary Chilled-Water Pump และ Secondary Chilled-Water Pump ได้ กรณีที่ด้าน Primary สูบน้ำเย็นมากกว่า หรือ กรณีที่ด้าน Secondary สูบน้ำเย็นมากกว่า โดยระบบนี้ จะมีความเหมาะสมมาก ถ้าเป็นการจ่ายน้ำเย็นให้กลุ่มอาคารที่มีแรงดันในการสูบส่งไม่เท่ากัน มีการแบ่งขนาด Pump ไปตามแต่ละอาคาร ซึ่งจะต้องเป็นกรณีที่อาคารขนาดเล็กอยู่ไกลด้วย เพราะถ้าเป็นกรณีที่อาคารใหญ่อยู่ไกลจะไม่ได้ประโยชน์จากการหรี่แรงดัน Pump มากนัก

การควบคุมการใช้งานระบบนี้ ผู้ดูแลจะต้องมีอุปกรณ์ตรวจวัดที่แม่นยำ เพื่อปรับอัตราการไหลที่ SCHWP ให้ใกล้เคียง PCHWP มากที่สุด หรือ เปิด Chiller ให้ใกล้เคียงกับ Load มากที่สุด เพื่อลดอาการ Low Delta T Syndrome อันเกิดจากการที่น้ำผสมกันเช่นเดียวกับระบบ PVF ที่อาจเจอปัญหาความไม่สมบูรณ์แบบของระบบ ที่ Thermostat และ 2-Way Valve ทำให้อัตราการไหลที่ SCHWP มากกว่า PCHWP มากๆ เกิดการ By-Pass ของ Secondary Chilled-Water Return (อุณหภูมิ 55 F) มาผสมกับ Primary Chilled-Water Supply (อุณหภูมิ 45 F) จนกระทั่ง Secondary Chilled-Water Supply มีอุณหภูมิสูง (ประมาณ 46-48 F) ซึ่งสูงกว่าที่อุณหภูมิที่กำหนดของ AHU (อุณหภูมิ 45 F) ส่งผลให้ AHU ไม่สามารถทำความเย็นได้ตามพิกัด ต้องการน้ำเย็นเพิ่มมากขึ้นอีก และส่งสัญญาณไปให้ SCHWP เร่งการสูบน้ำเย็นขึ้นอีก

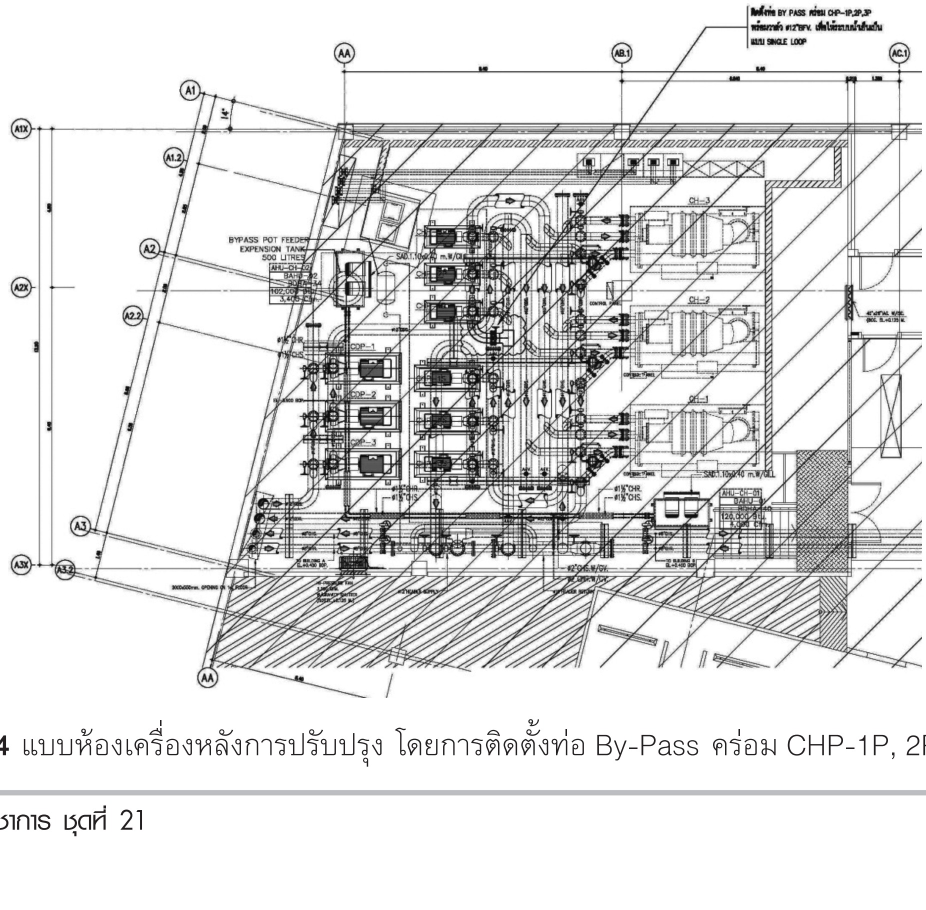
ทางแก้ไขปัญหาเบื้องต้น โดยที่ไม่ต้องการเปิด Chiller เพิ่มอีกชุด ให้ความเย็นรั่วไหลนั้น สามารถทำได้โดยการหรี่วาล์วที่ท่อ Decoupler เพื่อลดการ By-Pass และ ยอมให้น้ำเย็นไหลผ่าน Chiller เพิ่มขึ้นมากกว่าพิกัดเล็กน้อย วิธีนี้จะทำให้คุณภาพของน้ำเย็นที่จ่ายไปยัง Load ดีขึ้น กล่าวคือ มีอุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 46 F) ต่ำกว่าการผสมกันของน้ำ Return+ Supply (อุณหภูมิ 47 F) เพราะ Chiller มีการแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้นจากอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำเย็นที่อุณหภูมิต่ำแต่มีอัตราไหลน้อยนั้น มีผลดีมากกว่า น้ำเย็นที่อุณหภูมิสูงแต่มีอัตราการไหลมาก แม้ว่าปริมาณความเย็นจะเท่าเดิม แต่ประสิทธิภาพของ Heat Exchanger ที่ AHU จะดีกว่ามากถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า หลายอาคารไม่ได้มีการติดตั้งวาล์วที่ท่อ Decoupler ไว้ ดังนั้นจึงปรับได้แค่การหรี่ VFD ที่ SCHWP ให้ใกล้เคียง PCHWP เท่านั้น

3. การเปลี่ยนระบบ Primary/Secondary Variable Flow เป็น ระบบ Primary Variable Flow ในอาคารเดิมที่ผู้เขียนได้มีโอกาสไปปรับปรุง พบว่าใช้ระบบ PSVF แต่อาคารไม่มีการแบ่งการใช้งานเป็นส่วนๆ และ ไม่ได้มีการแบ่ง SCHWP ออกเป็นส่วน ๆ ตามแรงดันที่ต้องการด้วย ยังคงใช้ SCHWP จำนวน



รูปที่ 3 แบบห้องเครื่องก่อนการปรับปรุง

เท่ากับ Chiller และ PCHWP เมื่อพิจารณา Specification ของ SCHWP ก็พบว่ามีแรงดันสูงมาก และจากการใช้งานจริงมีการหรี่ VFD ค่อนข้างมาก ดังนั้น จึงเป็นแนวคิดในการปรับระบบ PSVF เป็นระบบ PVF เพื่อยกเลิกการใช้งาน PCHWP และประหยัดค่าไฟ



รูปที่ 4 แบบห้องเครื่องหลังการปรับปรุง โดยการติดตั้งท่อ By-Pass คร่อม CHP-1P, 2P, 3P

ตามแบบในรูปที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่า การแก้ไขมีเนื้องานติดตั้งที่น้อยมาก กล่าวคือ เป็นการต่อท่อคร่อม Primary Chilled-Water Pump โดยเชื่อมท่อ Primary Chilled-Water Return ระหว่าง ด้านดูดและด้านส่ง พร้อมติดตั้งวาล์ว เผื่อการสลับกลับมาใช้งานในระบบเดิม เมื่อการต่อท่อแล้วเสร็จ จะ Operate ระบบจ่ายน้ำเย็น ด้วยการ เปิดวาล์วที่ท่อ By-Pass ปิดวาล์วที่ท่อ Decoupler และ ปิด Primary Chilled-Water Pump ไปเลย แล้วปรับ VFD เพื่อให้ Secondary Chilled-Water Pump ทำหน้าที่จ่ายน้ำเย็นเพียงวงจรเดียว

ก่อนการดำเนินการจะต้องพิจารณาอุปกรณ์ และระบบท่อน้ำเย็น ดังนี้

1. อัตราการไหลของ SCHWP สอดคล้องกับขนาด Chiller หรือไม่

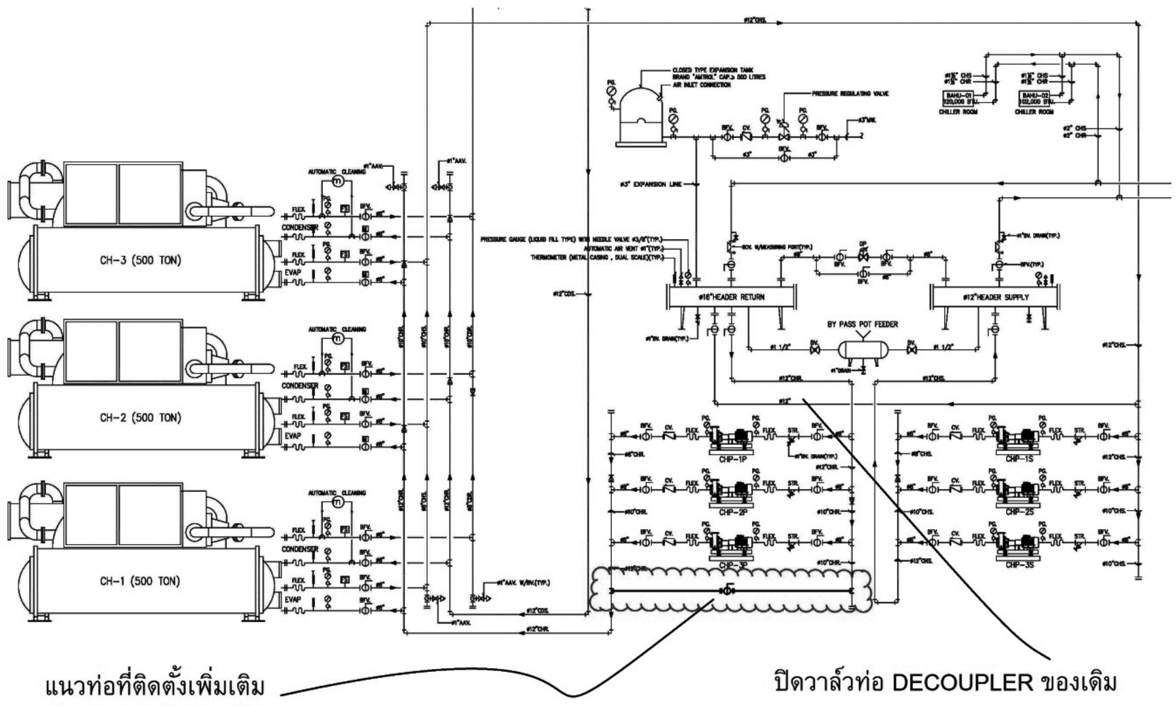
2. แรงดันของ SCHWP มีขนาดเท่ากัน หรือไม่

3. แรงดันของ SCHWP เพียงพอต่อการจ่ายน้ำเย็นเป็นระบบ PVF หรือไม่

4. พื้นที่ติดตั้ง ในแนวระดับ และความสูงเพียงพอหรือไม่

5. กรณีที่เปลี่ยนการใช้งานแล้ว เกิดปัญหาสามารถกลับคืนสู่ระบบเดิมได้ หรือไม่

6. คุ้มค่าต่อการลงทุน หรือไม่



รูปที่ 5 Chilled-Water Pumping Systems แสดงการติดตั้ง ท่อ By-Pass

WATER COOLED CHILLER SCHEDULE

WATER COOLED CHILLER SCHEDULE												
UNIT CODE	QTY	SERVICE AREA	CAPACITY COOLONG TONS	IKW	MAX. ALLOWED EFFICIENCY IKW/TON	CHILLER DATA @				POWER SUPPLY V / Ph /Hz	REMARK
						FLOW RATE @GPM	ENT. WATER @TEMP °F	LVG. WATER @TEMP °F	FOULING FACTOR (hr-ft²°F/Btu)		
CH-01 TO 03	3	CHILLER PLANT	500	310	0.62	1,200	54	42	0.00010/0.00025	380/3/50	

COOLING TOWER SCHEDULE

COOLING TOWER SCHEDULE											
UNIT CODE	QTY	SERVICE AREA	COOLING TONS	WATER FLOW RATE GPM	COOLING DATA				POWER SUPPLY V / Ph /Hz	SAFTY FACTOR NOT LESS THAN	REMARK
					ENT. WATER TEMP °F	LVG. WATER TEMP °F	AMBIENT WET BULB	FAN MOTOR APPROX. HP			
CT-01 TO 03	3	COOLING PLANT	500	1500	100	90	85	2x7.5	380/3/50	1.2	

CHILLED & CONDENSER WATER PUMP UNITS SCHEDULE

CHILLED WATER PUMP UNITS SCHEDULE											
UNIT CODE	QTY	SERVICE AREA	PUMP DATA					APPROX. @MOTOR(HP)	STARTER TYPE	POWER SUPPLY V / Ph / Hz	REMARK
			FLOW RATE @ [GPM]	TDH. @ [FT.WG.]	MIN.PUMP. @ EFF.(%)	MIN.MOTOR. @ EFF.(%)	MAX. RPM. @				
CHP-1P TO 3P	3	CHILLER PLANT	1,200	40	65%	80%	1,450	25	Y-Δ	380/3/50	
CHP-1S TO 3S	3	CHILLER PLANT	1,200	160	65%	80%	1,450	96	Y-Δ	380/3/50	
CDP-1P TO 3P	3	CHILLER PLANT	1,500	160	65%	80%	1,450	120	Y-Δ	380/3/50	

ตารางที่ 1 ตารางอุปกรณ์เดิม

จากการพิจารณาในข้อควรระวังข้างต้นแล้ว ระบบอาคารเดิมมีความเป็นไปได้ในทุกข้อ ได้แก่

1. มีอัตราการไหลของ SCHWP เท่ากับที่ Chiller ต้องการ คือ 500 gpm จำนวน 2 ชุด

2. มีแรงดันของ SCHWP เท่ากันทุกชุด คือ 160 Ft ไม่เกิดปัญหาแย่งกันดูดน้ำเย็น

3. มีแรงดันของ SCHWP เพียงพอต่อการปรับเปลี่ยน เนื่องจากก่อนปรับปรุง SCHWP มีรอบการทำงานอยู่ที่ 37 Hz และ มีพิกัดแรงดันที่ 50 Hz อยู่ที่ 160 Ft เพียงพอต่อการจ่ายน้ำเย็นเป็นระบบ PVF ถ้ามีการยกเลิกการใช้งาน PCHWP ไป SCHWP จะต้องดูดน้ำเย็นผ่าน Chiller ได้

4. พื้นที่ติดตั้งภายในห้องเครื่องมีระยะเพียงพอ

5. การปรับปรุงสามารถกลับคืนระบบเดิมได้ เพราะเป็นการเพิ่มท่อ By-Pass และ วาล์ว ซึ่งสามารถเลือกเปิดและปิดได้ ทำให้เลือกได้ว่า จะใช้งานระบบจ่ายน้ำเย็นเป็นแบบ PSVF หรือ PVF ก่อนการพิจารณาปรับเปลี่ยนอย่างถาวรในลำดับถัดไป

6. มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยสามารถประเมินความคุ้มค่าต่อการลงทุนได้ตามตารางที่ 2 โดยยังไม่รวมผลประหยัดจากการลดการซ่อมบำรุง PCHWP ไปด้วย ซึ่งจะทำให้ได้ผลที่ดีมากขึ้น

ประมาณการค่าไฟก่อนปรับปรุง

รายการ	อุปกรณ์	MOTOR	MOTOR SPEED	POWER	TOTAL POWER
		(HP)	(Hz)	(HP)	(HP)
1	CHP-1P,2P	25	50	25	50
2	CHP-1S,2S	96	37	39	78
3	TOTAL				128
4	OPERATING HOURS PER YEAR				5840
5	ELECTRIC RATE (APPROX. ON-PEAK, OFF PEAK)				4
6	ENERGY COST PER YEAR (BAHT)				2,985,478

ประมาณการค่าไฟหลังปรับปรุง

รายการ	อุปกรณ์	MOTOR	MOTOR SPEED	POWER	TOTAL POWER
		(HP)	(Hz)	(HP)	(HP)
1	CHP-1P,2P	25	0	0	0
2	CHP-1S,2S	96	40	49	98
3	TOTAL				98
4	OPERATING HOURS PER YEAR				5840
5	ELECTRIC RATE (APPROX. ON-PEAK, OFF PEAK)				4
6	ENERGY COST PER YEAR (BAHT)				2,296,381
	SAVING PER YEAR (BAHT)				689,097

ตารางที่ 2 ตารางประมาณการค่าไฟ ก่อนปรับปรุง หลังปรับปรุง และ ผลประหยัด

สรุป

การจ่ายน้ำเย็นทั้ง ระบบ Primary Variable flow และ ระบบ Primary/Secondary Variable Flow ต่างก็มีข้อดี-ข้อเสีย แตกต่างกันไป มีความเหมาะสมกับอาคารแต่ละชนิด แต่ละประเภท แต่ละขนาด ไม่เหมือนกัน การเลือกระบบการจ่ายน้ำเย็นแบบใดนั้น จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ให้รอบด้าน รวมถึงเตรียมทางเลือกเผื่อไว้ในการ Operate ระบบจ่ายน้ำเย็น ให้สอดคล้องกับการซ่อมบำรุงของฝ่ายอาคารที่จะต้องรับดูแลระบบจ่ายน้ำเย็นต่อไปในระยะยาว โดยให้มีความคุ้มค่า ใช้งานได้ดี ประหยัดค่าไฟ ซ่อมบำรุงน้อย

การปรับปรุง-เปลี่ยนแปลงระบบจ่ายน้ำเย็น จะต้องศึกษาความเป็นไปได้อย่างรอบด้าน เช่น ไม่สร้างปัญหาต่อการใช้งานเดิม มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน สามารถดำเนินการปรับเปลี่ยนกลับคืนได้ไม่ยากเกินไป ถ้าเกิดปัญหาที่คาดไม่ถึงก่อนการปรับเปลี่ยนอย่างถาวร ดังนั้น วิศวกรระบบปรับอากาศจึงควรมีความเข้าใจในระบบอย่างถ่องแท้ทั้งในแง่ทฤษฎี ความสามารถของอุปกรณ์ ความคุ้มค่าของการลงทุน พฤติกรรมของอาคารและช่างซ่อมบำรุง เพื่อที่จะได้ดำเนินการได้อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

1. Chapter 3, “Central Cooling and Heating Plants”. ASHRAE Handbook 2016, HVAC Systems and Equipment
2. ผศ.ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา. “ระบบสูบจ่ายน้ำเย็นแบบอัตราการไหลแปรผันผ่านเครื่องทำน้ำเย็น”., “Variable Primary Flow Chilled Water Pumping System”. หนังสือบทความวิชาการ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.