# ระบบน้ำเย็นแบบปรับเปลี่ยนการไหล (Variable-Flow Chilled Water Systems)

**ผศ.ดร.พลกฤต กฤชไมตรี**

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## บทนำ

ระบบน้ำเย็นแบบปรับเปลี่ยนการไหลเมื่อนำไปใช้กับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่มีเครื่องทำน้ำเย็นหลายเครื่องและมีหลายคอยล์เย็นจะสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีภาระทำความเย็นต่ำ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพด้านพลังงานของระบบขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบและการควบคุมการไหลเวียนของน้ำเย็น ปัจจุบันมีรูปแบบการออกแบบระบบน้ำเย็นแบบการไหลแปรเปลี่ยนหลายรูปแบบ ในบทความนี้จะกล่าวถึงข้อพิจารณาที่สำคัญของระบบน้ำเย็นแบบปรับเปลี่ยนการไหลในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ที่สนใจนำไปใช้ประกอบการพิจารณาออกแบบระบบอย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป

## ผลกระทบจากการปรับอัตราการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็น

โดยทั่วไป เครื่องทำน้ำเย็นควรใช้งานโดยมีอัตราการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ ในขณะที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานอยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพแล้วเกิดการลดอัตราการไหลของน้ำเย็นลงจะส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำที่ทางออกเครื่องทำน้ำเย็นลดลง หากลดอัตราการไหลลงอย่างช้า ๆ ระบบควบคุมของเครื่องทำน้ำเย็นจะมีเวลาเพียงพอในการตอบสนองและยังคงมีเสถียรภาพ แต่หากลดอัตราการไหลลงอย่างรวดเร็ว

จะทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ทางออกลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อระบบควบคุมตอบสนองช้าเกินไปเครื่องทำน้ำเย็นอาจจะหยุดทำงานเพื่อความปลอดภัยขณะอุณหภูมิต่ำ จากนั้นเครื่องทำความเย็นจะหยุดทำงานชั่วระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะกลับมาทำงานใหม่อีกครั้ง ในปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็นบางรายได้ออกแบบระบบควบคุมที่ทันสมัยซึ่งคำนึงถึงอัตราการลดลงของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ทางออกไว้ด้วย การควบคุมนี้จะป้องกันไม่ให้เครื่องทำน้ำเย็นหยุดทำงานโดยไม่ได้ตั้งใจ

ในอดีตผู้ออกแบบจะเลือกระบบที่มีอัตราการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ เนื่องจากการหยุดทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นบ่อยครั้งโดยไม่จำเป็นจะทำให้สูญเสียสมรรถนะในการปรับอากาศและอาจทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีอายุการใช้งานลดลง อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันผู้ผลิตหลายรายได้พัฒนาเครื่องทำน้ำเย็นที่รองรับระบบที่มีอัตราการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ระบบปรับเปลี่ยนการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นกลายเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบอย่างรวดเร็ว

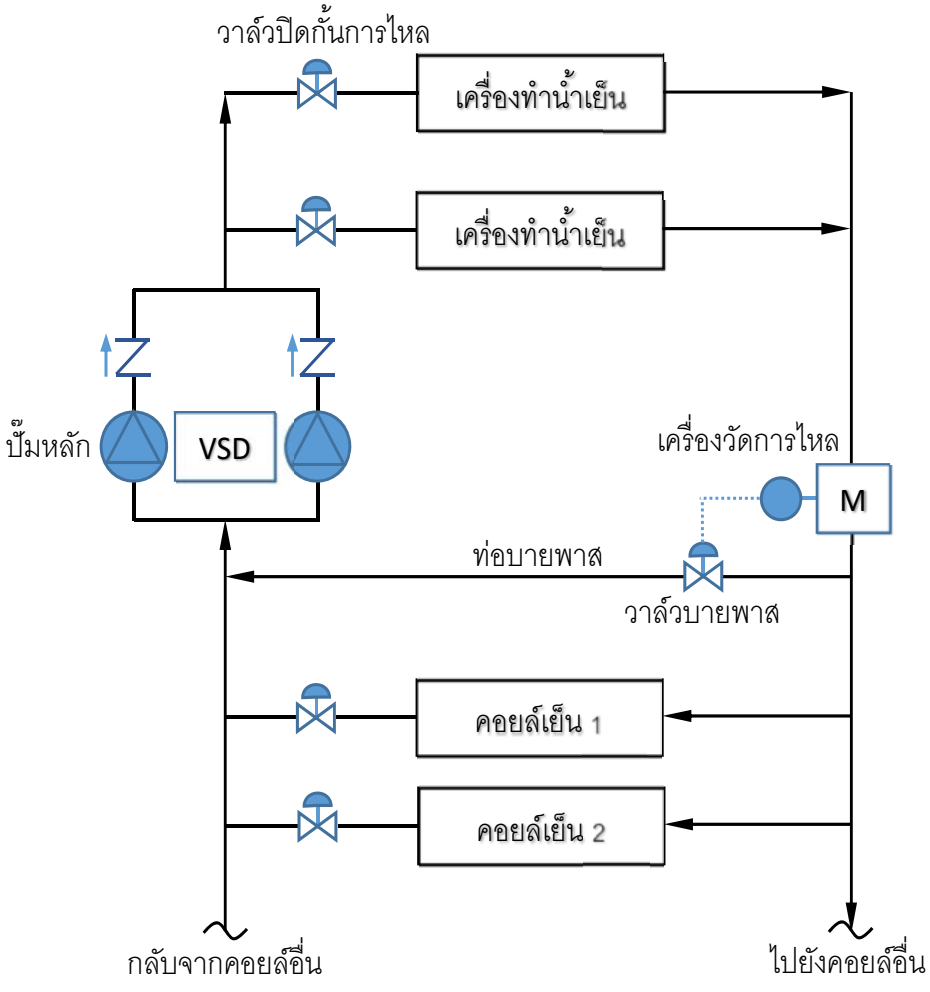
## ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักเท่านั้น (Primary-Only Variable Flow System)

ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักเท่านั้นมีข้อดีกว่าระบบที่มีวงจรหลักและวงจรรองที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ในระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มไหลเวียนน้ำเย็นผ่านเครื่องทำน้ำเย็นและระบบท่อน้ำเย็นกระจายไปยังคอยล์เย็น โดยใช้วาล์วสองทางในการควบคุมภาระทำความเย็นที่คอยล์ ท่อบายพาสที่มีวาล์วควบคุมจะเปลี่ยนทางน้ำเย็นจากท่อส่งไปยังท่อกลับเพื่อรักษาอัตราการไหลต่ำสุดผ่านเครื่องทำน้ำเย็น (ดูรูปที่ 1) แต่ระบบนี้อาจมีข้อบกพร่องดังต่อไปนี้

- ถ้าวาล์วบายพาสรักษาอัตราการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นให้คงที่ จะไม่เกิดการประหยัดพลังงานของปั๊มน้ำเย็นขณะที่ภาระทำความเย็นเปลี่ยนแปลง (ยกเว้นการปิดปั๊มเมื่อเครื่องทำน้ำเย็นหยุดทำงาน)
- วาล์วบายพาส (เมื่ออยู่ใกล้กับปั๊ม) อาจต้องรองรับความดันแตกต่างและความเร็วของการไหลที่สูงมากขณะทำงานที่ภาระความเย็นต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว ยกเว้นกรณีที่ปั๊มหลักใช้มอเตอร์ชนิดเปลี่ยนอัตราเร็วรอบในการควบคุมอัตราการไหล เนื่องจากปั๊มหลักจะลดอัตราเร็วรอบเพื่อลดอัตราการไหลลงซึ่งส่งผลให้ความดันตกคร่อมท่อบายพาสลดลงด้วย
- การปรับอัตราเร็วรอบปั๊มหลักสามารถประหยัดพลังงานในการส่งน้ำเย็นลงได้อย่างมาก (กำลังที่ปั๊มใช้แปรผันตามอัตราเร็วรอบยกกำลังสาม) ในกรณีนี้ควรเลือกขนาดของวาล์วบายพาสเพื่อใช้งานที่สภาวะอัตราการไหลต่ำและน้อยกว่าค่าความดันตกคร่อมวาล์วบายพาสของปั๊มบนเงื่อนไขการไหลเต็มที่

การประยุกต์ใช้ระบบวาล์วบายพาสร่วมกับวาล์วควบคุมชนิดเป็นอิสระต่อความดัน (pressure independent control valve) จะส่งผลที่ดีในการควบคุมระบบจ่ายน้ำเย็นที่คอยล์เย็น ซึ่งวาล์วควบคุมประเภทนี้ใช้ได้ดีมากกับระบบที่ใช้ปั๊มแบบอัตราเร็วรอบคงที่เนื่องจากมีอำนาจควบคุม (control authority) ที่ดีเยี่ยมในช่วงกว้างของความดันใช้งาน

ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักเท่านั้นเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับระบบที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นหลายตัวและหลายคอยล์เย็น เมื่อวาล์วสองทางที่คอยล์เย็นปรับเปลี่ยนไปสู่การปิดและภาระทำความเย็น (หรืออัตราการไหล) ในระดับต่ำมากพอเครื่องทำน้ำเย็นอย่างน้อยหนึ่งตัวจะหยุดทำงาน สิ่งสำคัญคือต้องปิด




**รูปที่ 1** ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักเท่านั้น

การไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นที่หยุดทำงานโดยทำการปิดวาล์วและปิดปั๊มเฉพาะเครื่องทำความเย็นนั้น

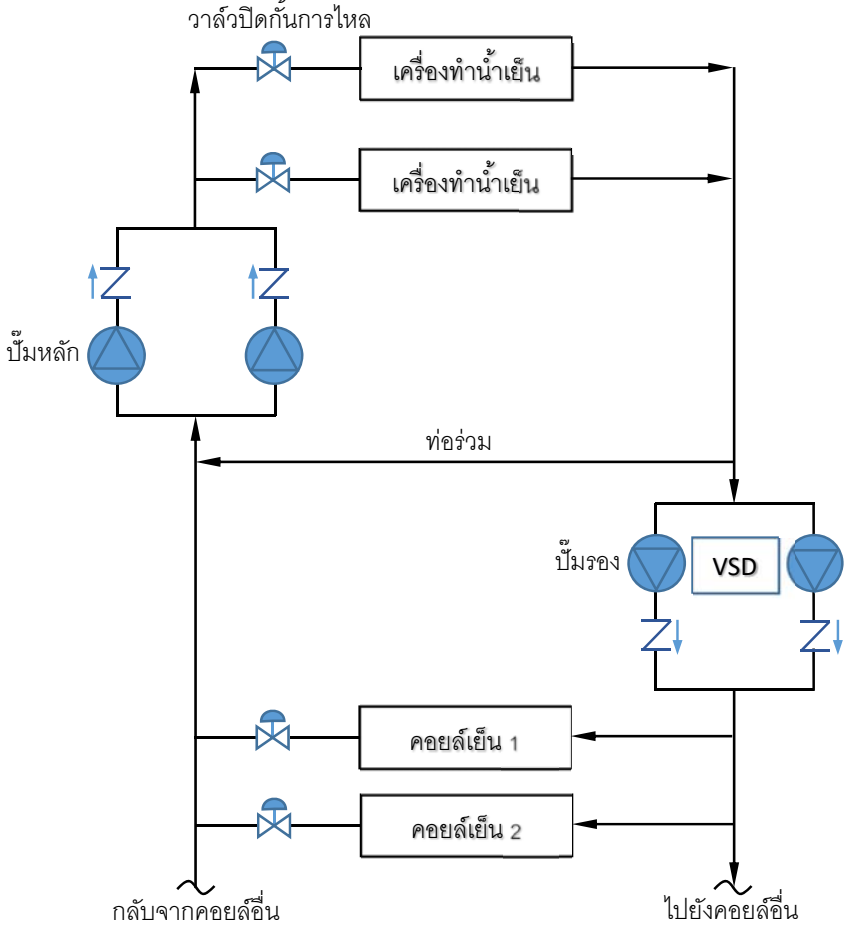
การควบคุมวาล์วบายพาสระหว่างท่อส่งและท่อกลับสำหรับที่มีอัตราการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นคงที่จะมีผลเช่นเดียวกับการใช้วาล์วสามทางที่คอยล์ทั้งหมดและไม่มีการประหยัดพลังงานของปั๊มน้ำเย็น อย่างไรก็ตาม การประหยัดพลังงานของปั๊มอาจทำได้ถ้าวาล์วบายพาสถูกควบคุมเพียงเพื่อรักษาอัตราการไหลต่ำสุดที่แนะนำโดยผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งโดยปกติมีค่าต่ำกว่าอัตราการไหลออกแบบ 25% ถึง 50% วิธีการที่พบมากที่สุดในปัจจุบัน คือการใช้มอเตอร์แบบเปลี่ยนอัตราเร็วรอบกับปั๊มน้ำเย็นซึ่งควบคุมอัตราเร็วรอบโดยตัวควบคุมความดันแตกต่างจากระยะไกลหรือตำแหน่งการเปิดวาล์วควบคุมของคอยล์เย็นที่เปิดใช้มากที่สุด การควบคุมลักษณะนี้วาล์วบายพาสจะถูกควบคุมเพื่อรักษาอัตราการไหลต่ำสุดผ่านเครื่องทำน้ำเย็นโดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลในด้านเครื่องทำน้ำเย็นของท่อบายพาส นอกเหนือจากการประหยัดพลังงานของปั๊มแล้ว มอเตอร์แบบเปลี่ยนอัตราเร็วรอบยังปรับปรุงการควบคุมที่วาล์วสองทางที่คอยล์เย็นและที่สำคัญคือช่วยลดค่าความดันแตกต่างตกคร่อมวาล์วบายพาส โดยจะต้องมีการปรับแต่งทั้งสองวงจรควบคุม (อัตราเร็วรอบปั๊มและตำแหน่งวาล์วบายพาส) อย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการแกว่งของสัญญาณควบคุม (hunting)

ค่าเป้าหมายในการควบคุมของวาล์วบายพาส (set point) เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทำงาน สำหรับระบบที่มีเครื่องทำน้ำเย็นขนาดเท่ากันสองเครื่องจะมีเพียงสอง set points (หนึ่งสำหรับการทำงานเครื่องเดียวและหนึ่งสำหรับการทำงานทั้งสองเครื่อง) สำหรับระบบที่มีเครื่องทำน้ำเย็นขนาดไม่เท่ากันตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป จำเป็นต้องสร้างตารางสำหรับการจัดทำแผนการควบคุมอัตราการไหลต่ำสุดซึ่งขึ้นกับค่าผลรวมของอัตราการไหลต่ำสุดของเครื่องทำน้ำเย็นที่กำลังทำงานอยู่ในขณะนั้นทุกเครื่อง และต้องพิจารณาลำดับขั้นตอนการทำงานของปั๊มน้ำเย็นให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบควบคุมบายพาสวาล์วด้วย

การเลือกของเครื่องวัดอัตราการไหล (flow meter) จะต้องมีความแม่นยำที่ปลายด้านต่ำของช่วงการไหลที่วัดได้เพราะเป็นการควบคุมภายใต้เงื่อนไขค่าอัตราการไหลต่ำที่ท่อบายพาส เนื่องจากเครื่องวัดนี้มีหน้าที่ปกป้องเครื่องทำความเย็นดังนั้นจึงควรใช้เครื่องวัดที่มีคุณภาพสูงหรือสามารถทำการสอบเทียบ (calibrate) ได้ง่าย

## ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักและวงจรรอง (Primary/Secondary Variable Flow System)

ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักและวงจรรองเป็นมาตรฐานการออกแบบสำหรับระบบทำ




**รูปที่ 2** ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักและวงจรรอง

น้ำเย็นขนาดใหญ่ที่มีเครื่องทำน้ำเย็นหลายเครื่องและมีคอยล์เย็นเป็นจำนวนมาก จุดเด่นของระบบนี้คือ วงจรท่อสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น (วงจรหลัก) เป็นอิสระทางไฮดรอลิกจากวงจรท่อสำหรับระบบจ่ายน้ำเย็น (วงจรรอง) กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงการไหลและความดันไม่ส่งผลกระทบต่อกัน ส่วนสำคัญในการออกแบบระบบนี้คือระบบท่อสองวงจรที่เป็นอิสระต่อกันนั้นใช้ "ท่อร่วม" (common pipe) ในการผันปริมาณน้ำเย็นเพื่อรักษาสภาวะการทำงานในวงจรทั้งสอง

เมื่อวงจรหลักและวงจรรองทำงานที่อัตราการไหลเดียวกันจะไม่มีการไหลในท่อร่วม การไหลในท่อร่วมจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลในแต่ละวงจรไม่เท่ากัน โดยทิศทางในการไหลขึ้นอยู่กับว่าวงจรใดมีอัตราการไหลมากกว่า โดยทั่วไป จำนวนและอัตราการไหลของปั๊มหลักจะตรงกับเครื่องทำความเย็น ปั๊มหลักจะมีอัตราการไหลคงที่และมีเฮดต่ำมีเป้าหมายเพื่อให้อัตราการไหลคงที่ผ่านเครื่องทำความเย็น ปั๊มรองทำหน้าที่รับน้ำเย็นจากตำแหน่งท่อร่วมและส่งไปยังคอยล์เย็น แล้วหมุนเวียนกลับไปที่ท่อร่วม ปั๊มรองใช้มอเตอร์แบบเปลี่ยนอัตราเร็วรอบได้ซึ่งควบคุมอัตราเร็วรอบโดยตัวควบคุมความดันแตกต่างจากระยะไกลหรือตำแหน่งการเปิดวาล์วควบคุมของคอยล์เย็นที่เปิดใช้มากที่สุด

โดยปกติอัตราการไหลของวงจรหลักจะเท่ากับหรือสูงกว่าวงจรรอง เมื่ออัตราการไหลของวงจรหลักสูงกว่าวงจรรองจะมีน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำบางส่วนไหลผ่านท่อร่วมไปทางด้านน้ำกลับ น้ำเย็นบายพาสนี้จะผสมกับน้ำเย็นที่ไหลเวียนกลับทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็นต่ำลง เมื่ออัตราการไหลของวงจรรองสูงกว่าวงจรหลังจะมีน้ำเย็นที่ไหลเวียนกลับบางส่วนไหลผ่านท่อร่วมไปทางด้านส่งและผสมกับน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำที่ไหลมาจากเครื่องทำน้ำเย็นทำให้น้ำเย็นที่จ่ายไปยังคอยล์เย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งบางครั้งอาจส่งผลกระทบรุนแรง น้ำเย็นส่งที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นนี้ทำให้วาล์วควบคุมที่แต่ละคอยล์เย็นเปิดมากยิ่งขึ้น สร้างความต้องการปริมาณการไหลในวงจรรองที่เพิ่มมากขึ้น การแก้ไขปัญหานี้มีสองทางเลือก: 1) ควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ลำดับขั้นตอนการปิด-เปิด) โดยการไหลเพื่อให้การไหลเวียนของวงจรหลักเท่ากับหรือมากกว่าการไหลเวียนของวงจรรองเสมอ หรือ 2) ติดตั้งวาล์วกันกลับ (check valve) ในท่อบายพาสเพื่อป้องกันน้ำไหลเวียนกลับไหลผ่านวงจรรอง สถานการณ์เช่นนี้ปั๊มหลักและปั๊มรองจะเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มขึ้น การปิดกั้นการไหลของวาล์วกันกลับในท่อร่วมจะยุติความเป็นอิสระทางไฮดรอลิกของวงจรหลักและวงจรรอง ในกรณีเช่นนี้ จำเป็นต้องติดตั้งวาล์วปิดกั้นการไหลที่เครื่องทำน้ำเย็น โดยวาล์วดังกล่าวต้องอยู่ในตำแหน่งปิดเพื่อป้องกันการไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นขณะหยุดทำงาน

หากอุณหภูมิน้ำเย็นกลับของวงจรรองต่ำกว่าอุณหภูมิออกแบบ (เช่น ต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส) เครื่องทำน้ำเย็นจะไม่สามารถทำความเย็นได้อย่างเต็มที่ อาการเช่นนี้เรียกว่า "low delta-T syndrome" ซึ่งส่งผลให้ต้องใช้พลังงานที่ปั๊ม เครื่องทำความเย็นและหอระบายความร้อนมากยิ่งขึ้น และยังลดกำลังขนาดการทำความเย็นของระบบทำน้ำเย็นลงอีกด้วย สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการควบคุมภาระทำความเย็นและวาล์วควบคุมของคอยล์เย็น

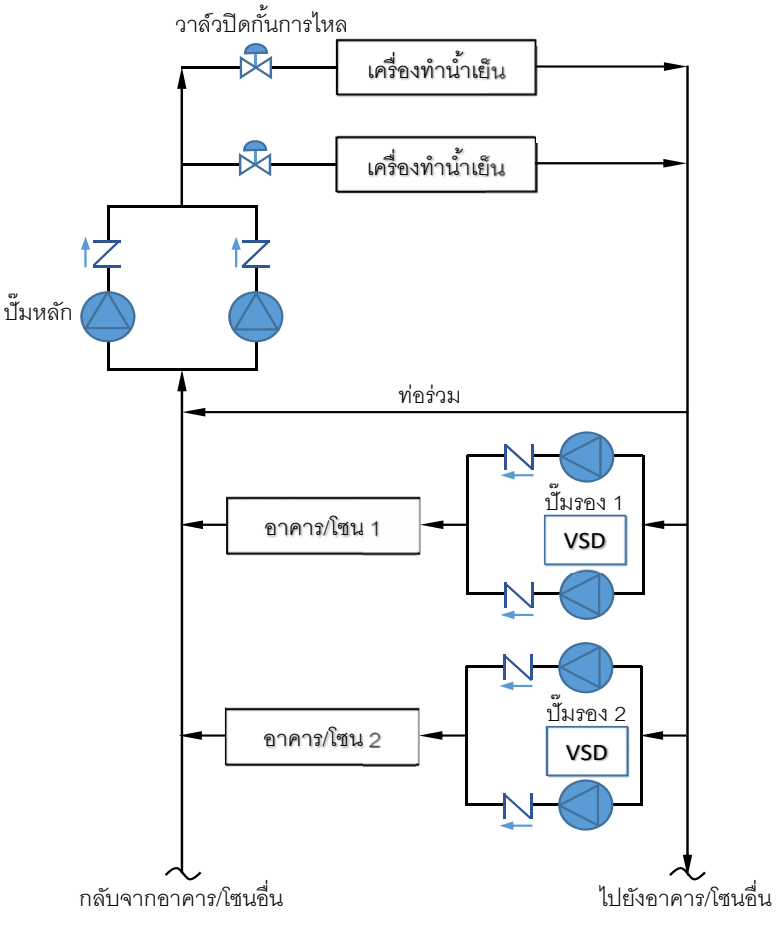
การควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นโดยการไหลจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดอัตราการไหลอย่างน้อยหนึ่งตัว โดยอาจติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลแบบสองทิศทางเพียงตัวเดียวในท่อร่วมและเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกควบคุมการปิดหรือเปิดเพื่อให้การไหลใน

ท่อร่วมมีทิศทางจากท่อส่งไปยังท่อกลับ ปัญหาของการควบคุมในลักษณะนี้ คือ ยากที่จะรู้ว่าเมื่อไรเครื่องทำน้ำเย็นจะหยุดทำงานอีกครั้ง การควบคุมที่ดีกว่า คือ การติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลทั้งวงจรหลักและวงจรรอง ในลักษณะเช่นนี้ เครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มหลักเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็นนั้นจะหยุดทำงานเมื่อปริมาณน้ำเย็นไหลเวียนในวงจรหลักมากกว่าในวงจรรองเกินกว่าปริมาณการไหลของเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่จะสั่งให้หยุดทำงาน และในทุกกรณีที่มีน้ำไหลเวียนในวงจรรองสูงกว่าวงจรหลักตัวควบคุมจะสั่งให้เครื่องทำน้ำเย็นกลับมาทำงานอีกครั้ง

ประเด็นที่ต้องพิจารณาในระบบนี้ คือ การกำหนดขนาดของท่อร่วม ในระบบที่มีเครื่องทำน้ำเย็นหลายเครื่อง ในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นมีขนาดเท่ากัน ควรกำหนดขนาดของท่อร่วมให้สามารถรองรับอัตราการไหลสูงสุดไม่เกิน 115% ของอัตราการไหลของเครื่องทำน้ำเย็นหนึ่งเครื่อง ในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นมีขนาดไม่เท่ากัน ควรกำหนดขนาดของท่อรวมให้สามารถรองรับอัตราการไหลสูงสูงไม่เกิน 115% ของอัตราการไหลของเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ที่สุดที่ถูกกำหนดให้หยุดทำงานเมื่อภาระทำความเย็นต่ำ

## ระบบกระจายปั๊มน้ำ (Distributed pumping system)

ระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักและวงจรรองที่กล่าวมาข้างต้นมีปั๊มรองตั้งอยู่ใกล้กับท่อร่วม (ภายในห้องเครื่องทำน้ำเย็น) และจ่ายน้ำไปยังคอยล์เย็นในวงจรรองทั้งหมด ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับระบบที่มีวงจรรองขนาดใหญ่มากเนื่องจากปั๊มรองต้องสร้างความดันสูงเพียงพอที่จะส่งน้ำเย็นไปไหลเวียน



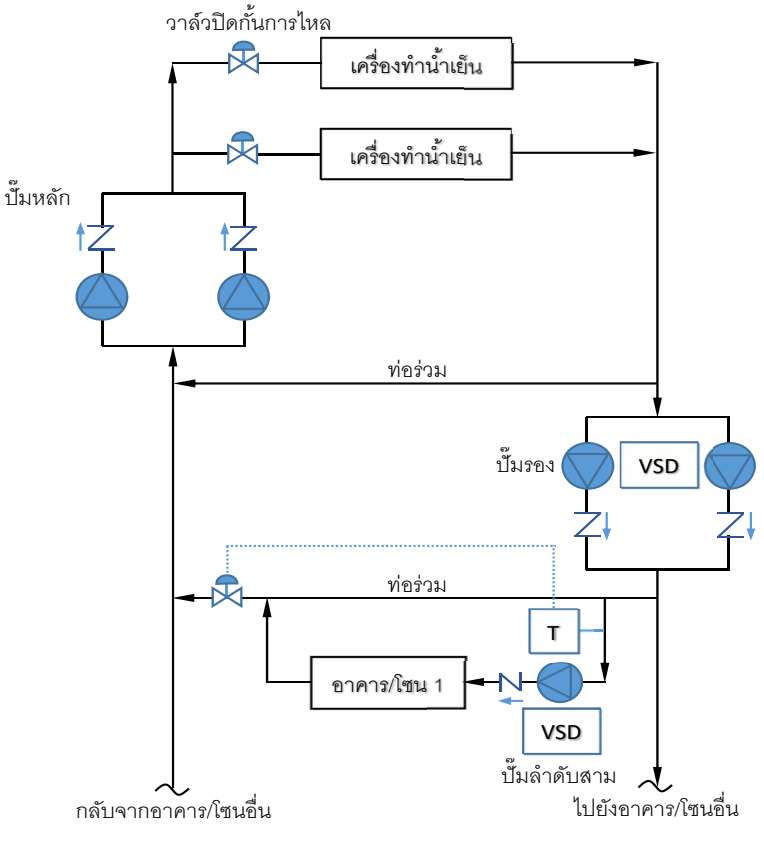

**รูปที่ 3** ระบบกระจายปั๊มน้ำ

ผ่านคอยล์เย็นที่ไกลที่สุด (หรือคอยล์ที่มีความดันสูญเสียในวงจรสูงสุด) ส่งผลให้คอยล์เย็นที่อยู่ใกล้ปั๊มรองมากที่สุดทำงานที่ความแตกต่างความดันสูง ความดันที่สูงเกินไปนี้ไม่เพียงแค่สูญเสียพลังงานแต่ยังทำให้ความสามารถของวาล์วควบคุมในการปรับอัตราการไหลของน้ำเย็นลดลงอีกด้วย ระบบกระจายปั๊มน้ำเป็นทางเลือกที่เหมาะสำหรับการออกแบบระบบที่มีความดันสูญเสียสูง

ระบบกระจายปั๊มน้ำ ย้ายปั๊มรองจากภายในห้องเครื่องทำน้ำเย็นไปตั้งอยู่ในบริเวณที่ใกล้กับภาระทำความเย็น (คอยล์เย็น) ในอาคารขนาดใหญ่อาคารเดียวปั๊มเหล่านี้อาจจะอยู่ทั้งบริเวณคอยล์เย็นหรือท่อสาขาที่จ่ายน้ำเย็นให้กลุ่มของคอยล์เย็นที่มีขนาดเล็ก ในระบบที่มีขนาดใหญ่ที่จ่ายน้ำเย็นหลายอาคารปั๊มรองจะตั้งอยู่ในแต่ละอาคาร ในทั้งสองกรณี จะเลือกขนาดของปั๊มรองแต่ละปั๊มเพื่อสร้างความดันที่จำเป็นสำหรับรับน้ำเย็นจากท่อร่วมที่ห้องเครื่องทำน้ำเย็นและจ่ายไปยังคอยล์เย็นที่อยู่ไกลที่สุด (หรือมีความดันสูญเสียในวงจรสูงสุด) ในวงจรที่ปั๊มรองนั้นบริการและส่งกลับไปยังท่อร่วม การออกแบบลักษณะเช่นนี้สามารถประหยัดพลังงานที่ปั๊มใช้และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากขนาดของปั๊มรองแต่ละเครื่องกำหนดจากขนาดภาระทำความเย็นของบริเวณที่ให้บริการเท่านั้น แต่มีข้อเสียในกรณีที่อาคารมีความหลากหลาย (diversity) ในการใช้งานมาก เนื่องจากไม่ได้ประโยชน์จากการลดปริมาณการไหลรวมของปั๊มรองเช่นเดียวกับในกรณีที่ใช้ปั๊มรองในห้องเครื่องทำน้ำเย็น

## ระบบปั๊มน้ำลำดับสาม (Tertiary pumping system)

ระบบนี้พัฒนามาจากระบบปรับเปลี่ยนการไหลที่ใช้วงจรหลักและวงจรรอง โดยยังคงมีปั๊มหลักและ

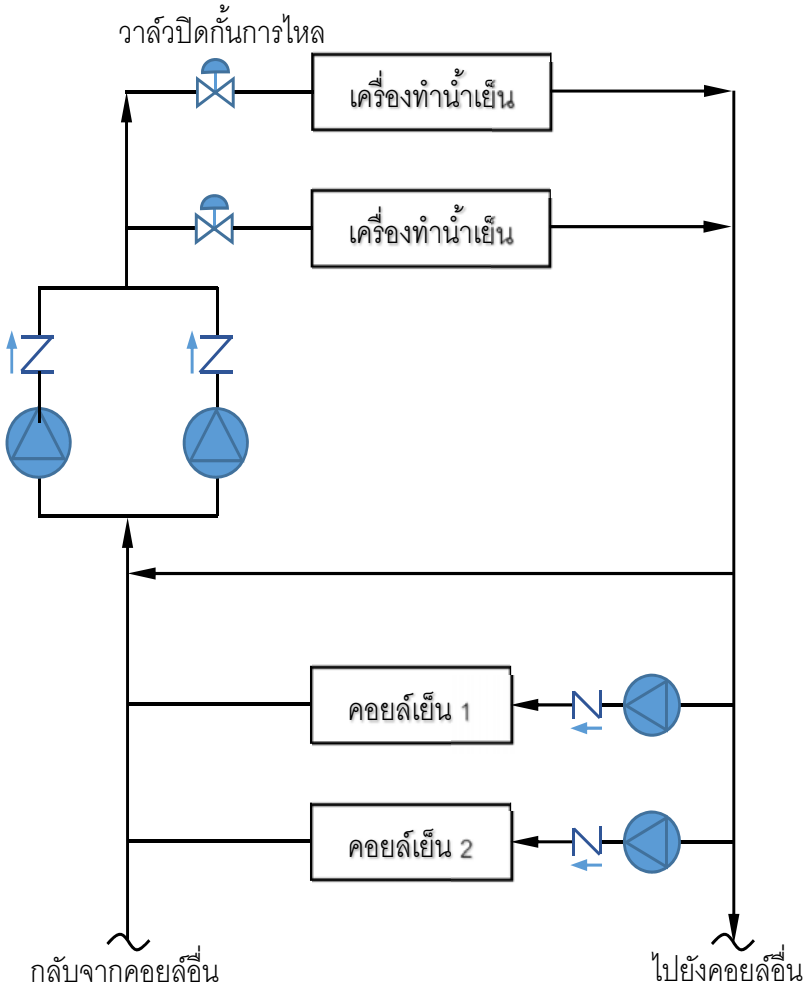



**รูปที่ 4** ระบบปั๊มน้ำลำดับสาม

ปั๊มรองอยู่ที่ห้องเครื่องทำน้ำเย็นและติดตั้งปั๊มน้ำลำดับสามภายในอาคารหรือบริเวณที่มีภาระทำความเย็น โดยการนำหลักการของท่อร่วมมาใช้ในการเชื่อมต่อวงจรเพื่อให้วงจรของปั๊มลำดับสามเป็นอิสระทางไฮดรอลิกจากวงจรของปั๊มรอง และติดตั้งวาล์วสองทางเพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำจ่ายเข้าวงจรลำดับสามเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำไหลเวียนกลับจากวงจรลำดับสามจะไม่ไหลผ่านท่อร่วมไปผสมกับน้ำส่งจากวงจรรองมากจนกระทั่งทำให้อุณหภูมิของน้ำที่จ่ายเข้าวงจรลำดับสามมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าน้ำในวงจรรองเกินกว่าค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าเป้าหมายไว้ (ปกติจะตั้งค่าให้อุณหภูมิสูงขึ้นไม่เกิน 1 องศาฟาเรนไฮต์) ลักษณะการควบคุมอุณหภูมิน้ำส่งในวงจรลำดับสามนี้ยังสามารถนำไปใช้กับระบบจ่ายน้ำเย็นอัตราการไหลต่ำ-อุณหภูมิต่ำ (low flow - low temp) ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

## ระบบปั๊มน้ำปลายทาง (Decentralized pumping system)

ระบบนี้จะติดตั้งปั๊มรองที่ปรับอัตราเร็วรอบได้ไว้ที่คอยล์เย็น (ปลายทาง) และไม่จำเป็นต้องใช้วาล์วสองทางในการควบคุมอัตราการไหล ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งการติดตั้งและการใช้พลังงานกว่าปั๊มรองแบบเดิมมาก อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ใช้ได้ดีกับคอยล์ขนาดใหญ่หรือใช้กับกลุ่มคอยล์ขนาดเล็กที่ใช้งาน




**รูปที่ 4** ระบบปั๊มน้ำปลายทาง

พร้อมกัน (ในกรณีของกลุ่มคอยล์ขนาดเล็กจำเป็นต้องมีวาล์วสองทางที่คอยล์) ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีปั๊มหอยโข่งที่สามารถสร้างความดันสูงที่อัตราการไหลต่ำมากสำหรับคอยล์ขนาดเล็กที่อยู่ปลายทาง ทางเลือกที่น่าสนใจ คือ การวิจัยและพัฒนาปั๊มน้ำที่มีสมรรถนะเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้กับคอยล์ขนาดเล็กในระบบปั๊มน้ำปลายทาง

## บทสรุป

ข้อพิจารณาและลักษณะการทำงานของระบบน้ำเย็นแบบปรับเปลี่ยนการไหลที่นำเสนอในบทความนี้ เป็นความเข้าใจเบื้องต้นซึ่งผู้เขียนได้แปลและเรียบเรียงจากเอกสารคู่มือการออกแบบระบบทำน้ำเย็น ประกอบกับงานวิจัยและพัฒนาปั๊มน้ำสำหรับระบบปั๊มน้ำปลายทางของผู้เขียนเอง โดยรูปแบบของระบบน้ำเย็นที่กล่าวถึงในบทความนี้แต่ละรูปแบบมีทั้งข้อดีและข้อด้อย ทั้งนี้ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้านการลงทุนและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบ รวมถึงความแน่นอนในการควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำเย็นอีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

Cool Tools 2009, Energy Design Resources, Chilled Water Plant Design Guide.

Trane 2011, Applications Engineering Manual, Chiller System Design and Control.

P.Krimaitree and P.Muangngen 2012, Control of Scroll Pump for Decentralized Chilled Water System.