

**ผลของดีกรีร้อนยวดยิ่งที่มีต่อประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ชนิดซีโอโทรปิก**  
**Effect of Degree of Superheat on Zeotropic Organic Rankine Cycle Efficiency**ธรณิศวรรค์ ดิทยา<sup>1\*</sup>, ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์<sup>2</sup>, จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล<sup>3</sup><sup>1</sup>สาขาวิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่<sup>3</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก

E-mail: thoranisdee@gmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของดีกรีร้อนยวดยิ่งในเครื่องระเหยของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพของวัฏจักร สารทำงานที่ใช้เป็นสาร R245fa/R152a ซึ่งเป็นสารซีโอโทรปิก โดยผสมที่สัดส่วนต่างๆและเปรียบเทียบผลกับวัฏจักรที่ใช้ R245fa อย่างเดียว น้ำร้อนอุณหภูมิ 120°C จะเป็นแหล่งความร้อนของวัฏจักร โดยอุณหภูมิเครื่องระเหยของวัฏจักร 100°C และดีกรีร้อนยวดยิ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5-10°C

จากการศึกษาพบว่าอัตราการไหลของสารทำงานในระบบมีค่าลดลง เมื่อสารทำงานอยู่ในสภาวะไอร้อนยวดยิ่ง โดยจะส่งผลให้ขนาดของระบบ ORC มีขนาดเล็กลงด้วย

สำหรับสารเดี่ยว R245fa สภาวะดีกรีร้อนยวดยิ่งก่อนเข้ากังหัน ให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรไม่แตกต่างจากกรณีสภาวะไออิ่มตัว แต่สำหรับสารซีโอโทรปิกพบว่า เมื่อดีกรีร้อนยวดยิ่งเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของวัฏจักรจะเพิ่มขึ้นด้วยทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มดีกรีร้อนยวดยิ่งของสารผสมจะชวาลดค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้ ในขณะที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนและสารทำงานในเครื่องระเหย

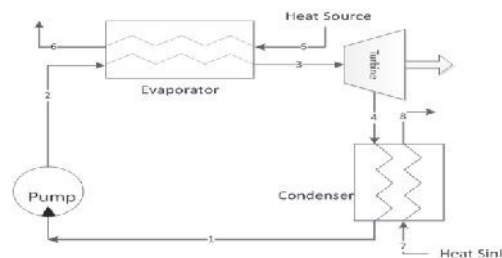
และพบว่าเมื่อสัดส่วน R152a เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่สัดส่วนของ R152a ไม่ควรเกิน 30% เนื่องจากเป็นสารที่ติดไฟง่ายและค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) ค่อนข้างสูง

**คำสำคัญ:** วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์, สารทำงานซีโอโทรปิก, ดีกรีร้อนยวดยิ่ง**1. บทนำ**

การผลิตไฟฟ้าโดยใช้วัฏจักรไอน้ำยังเป็นวิธีหลักวิธีหนึ่งในปัจจุบัน โดยแหล่งความร้อนส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางอากาศ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH<sub>4</sub>) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) และการเกิดสภาวะโลกร้อน การทำลายชั้นโอโซนและฝนกรด ในระหว่างปี ค.ศ.2008-2011 [1] พบว่าการใช้พลังงานด้านไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด ซึ่งก๊าซดังกล่าวเป็นสาเหตุหลักของปรากฏการณ์เรือนกระจก

จากเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย ภายในปี ค.ศ.2021 [2] มีการส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนโดยมีสัดส่วนเป็น 25% ของการใช้พลังงานทั้งหมด รัฐบาลส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์, พลังน้ำและชีวมวลค่อนข้างสูง อีกทั้งยังมุ่งเน้นผลิตไฟฟ้าระดับหมู่บ้านให้แก่ราษฎรที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยสนับสนุนการก่อสร้างโครงการไฟฟ้าระดับชุมชน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือชุมชนเจ้าของพื้นที่มีส่วนร่วมเป็นเจ้าของโครงการ สามารถบริหารงานและบำรุงรักษาเองได้ในอนาคต

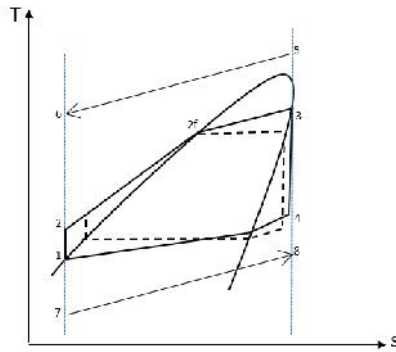
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle) ดังรูปที่ 1 เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก เนื่องจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีระบบโครงสร้างเหมือนวัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) โดยมีลักษณะโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและบำรุงรักษาง่าย มีการใช้สารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำเป็นสารทำงาน ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นไออิ่มตัวหรือไอร้อนยวดยิ่งเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิไม่สูงมากทำให้สามารถใช้แหล่งความร้อนได้หลายชนิด เช่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากชีวมวล รวมถึงความร้อนทิ้งจากอุตสาหกรรมอีกด้วย [3-5]

**รูปที่ 1** วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ประสิทธิภาพโดยรวมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยทั่วไปนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแหล่งความร้อนและอุณหภูมิแหล่งระบายความร้อน สมรรถนะของอุปกรณ์ในวัฏจักรและสมบัติของสารทำงาน ซึ่งวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะใช้สารทำงานที่เป็นสารเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่ แต่ปัญหาที่พบคือ กระบวนการการระเหยและการควบแน่นที่เกิดขึ้นในวัฏจักรจะดำเนินตามอุณหภูมิคงที่ ทำให้เส้นอุณหภูมิที่แลกเปลี่ยนกันระหว่างแหล่งความร้อน

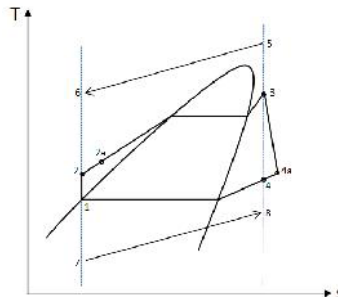
และเครื่องทำระเหย หรือแหล่งระบายความร้อนและเครื่องควบแน่นนั้น มีค่าแตกต่างกันก่อให้เกิดค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้ที่เครื่องทำระเหย และเครื่องควบแน่นขณะที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูง ทำให้ศักยภาพในการผลิตงานมีค่าลดลง

วิธีการหนึ่งซึ่งจะช่วยลดค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้คือการใช้สารทำงานผสมแบบซีโอโทรปิกโดยสารอินทรีย์ผสม ในช่วงที่มีการเปลี่ยนเฟส จะมีอุณหภูมิไม่คงที่โดยมีการเลื่อนตัวของอุณหภูมิ ทำให้ค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสารทำงานผสมและอุณหภูมิของแหล่งความร้อนและแหล่งระบายความร้อนที่แลกเปลี่ยนกันในเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นใกล้เคียงกันมากขึ้น ลดการเกิดค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้ในอุปกรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพรวมของวัฏจักรเพิ่มขึ้น เทียบกับการใช้สารเดี่ยวดังรูปที่ 2 Chys et al., 2012 [6] ได้ศึกษาผลการใช้สารผสมเฮกเซน/เพนเทนเปรียบเทียบกับสารเดี่ยวเพนเทนในวัฏจักรเพิ่มขั้น ORC พบว่าผลของการใช้สารผสม จะช่วยลดค่าย้อนกลับไม่ได้ขณะที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันในเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่น ทำให้ได้งานสุทธิเพิ่มขึ้นเทียบกับการใช้สารเดี่ยว

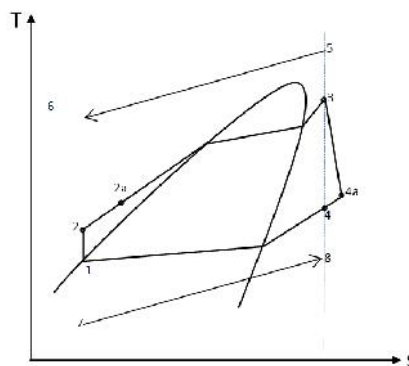


รูปที่ 2 แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปีที่สภาวะต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างของไหลที่เป็นสารเดี่ยว (เส้นประ) และของไหลที่เป็นสารผสม (เส้นทึบ)

การเพิ่มประสิทธิภาพวัฏจักรอีกวิธีหนึ่งคือการเพิ่มอุณหภูมิของสารทำงานที่ได้รับความร้อนภายในเครื่องระเหย ทำให้สารทำงานเปลี่ยนสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิสูงมากขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มความดันภายในเครื่องระเหยส่งผลให้งานสุทธิเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3 Magoet al.(2008) [7] ทำการศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ระหว่างสภาวะสารทำงานก่อนเข้าเทอร์เป็นไออิ่มตัวและไอร้อนยวดยิ่งโดยใช้สารทำงานแบบสารเดี่ยวที่เป็นของไหลแห้งพบว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสารทำงานก่อนเข้าเทอร์ไบน์ จนอุณหภูมิกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบค่อนข้างคงที่ หรือค่อยๆต่ำลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทางเข้าเทอร์ไบน์



รูปที่ 3 แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปี ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ เมื่อสารทำงานที่เป็นสารเดี่ยวอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง



รูปที่ 4 แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปี ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ เมื่อสารทำงานที่เป็นสารผสมซีโอโทรปิกอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง



ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของดีกรีร้อนยวดยิ่งในเครื่องระเหยของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพของวัฏจักร สารทำงานที่ใช้เป็นสาร R245fa/R152a ซึ่งเป็นสารซีโอโทริปิก โดยผสมที่สัดส่วนต่างๆและเปรียบเทียบกับวัฏจักรที่ใช้ R245fa อย่างเดียว น้ำร้อนอุณหภูมิ 120°C จะเป็นแหล่งความร้อนของวัฏจักร โดยอุณหภูมิเครื่องระเหยของวัฏจักร 100°C และดีกรีร้อนยวดยิ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5-10°C

## 2. ทฤษฎี

2.1 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีระบบโครงสร้างเหมือนวัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) แต่มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ใช้สารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำเป็นของไหลทำงาน ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นไออิ่มตัวหรือไอร้อนยวดยิ่งเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำเช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานจากชีวมวล วัฏจักรพื้นฐานประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ตัว คือ ป้อน เครื่องระเหย (Evaporator) เทอร์ไบน์ (Turbine) และเครื่องควบแน่น (Condenser) ดังรูปที่ 1 และแบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ จะพิจารณาจากสมการเทอร์โมไดนามิกส์ดังต่อไปนี้

ป้อน:

$$\dot{W}_p = \frac{\dot{m}_R v_1 (P_2 - P_1)}{\eta_P} \tag{1}$$

$$\dot{W}_p = \dot{m}_R (h_{2a} - h_1). \tag{2}$$

เครื่องระเหย:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_R (h_3 - h_{2a}). \tag{3}$$

เทอร์ไบน์:

$$\dot{W}_T = \dot{m}_R (h_3 - h_4) \eta_T. \tag{4}$$

เครื่องควบแน่น:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_R (h_{4a} - h_1). \tag{5}$$

ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1:

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_p}{\dot{Q}_E}. \tag{6}$$

ค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้:

เครื่องระเหย:

$$I = \dot{m}_w [(h_5 - h_{6a}) - T_0 (s_5 - s_{6a})] - \dot{m}_R [(h_3 - h_{2a}) - T_0 (s_3 - s_{2a})]. \tag{7}$$

เครื่องควบแน่น:

$$I = \dot{m}_R [(h_{4a} - h_1) - T_0 (s_{4a} - s_1)] - \dot{m}_w [(h_8 - h_7) - T_0 (s_8 - s_7)]. \tag{8}$$

ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2:

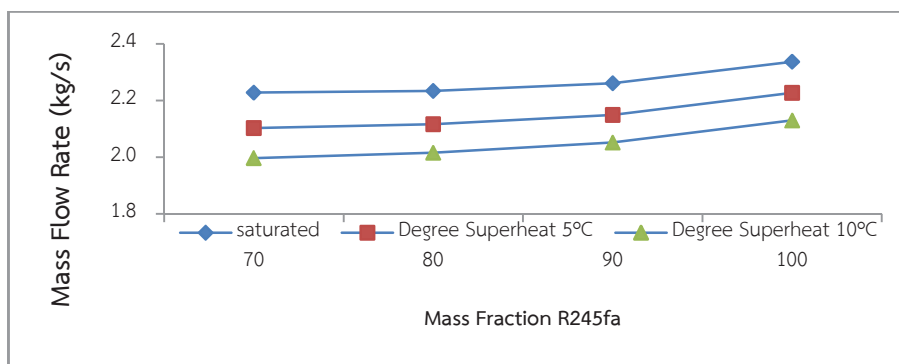
$$\eta_{II} = \frac{m_{iR}[(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)]}{m_w[(h_5 - h_{6a}) - T_0(s_5 - s_{6a})]} \quad (9)$$

เงื่อนไขของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และขอบเขตสำหรับการประมวลผล มีดังนี้

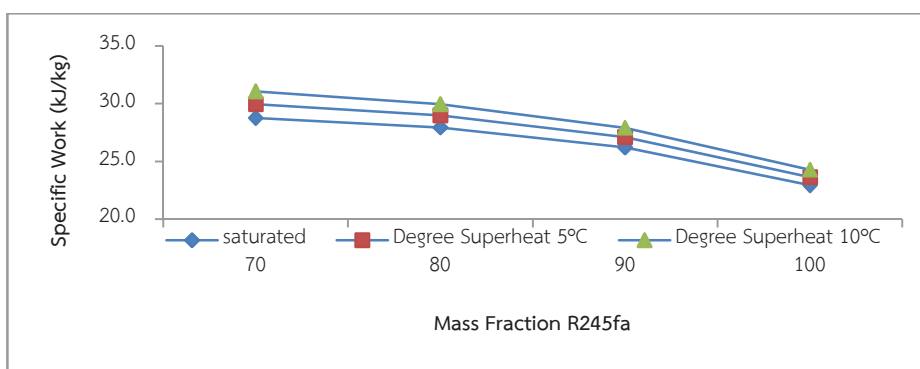
1. อุณหภูมิเครื่องระเหย 100°C
2. อุณหภูมิเครื่องควบแน่นเท่ากับ 40°C
3. อุณหภูมิแหล่งน้ำร้อนเท่ากับ 120°C อัตราการไหล 5 kg/s
4. ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเทอร์ไบน์เท่ากับ 0.8
5. ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของปั๊มเท่ากับ 0.85
6. สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม REFPROP [8].
7. อุณหภูมิพินช์ ( $\Delta TPP$ ) ระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นคือ 5°C and 3°C ตามลำดับ
8. อัตราส่วนผสมของ R245fa/R152a คือ 90/10, 80/20 และ 70/30 โดยมวล

### 3. ผลการศึกษา

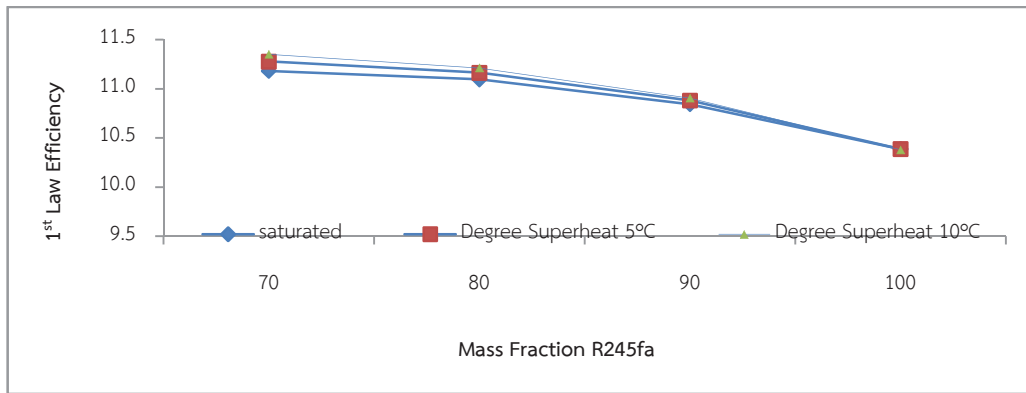
จากรูปที่ 5, 6 และ 7 เมื่อทำการประมวลผล พบว่าอัตราการไหลของสารทำงานในระบบระหว่าง R245fa และ R245fa/R152a ที่สัดส่วนต่างๆ โดยเปรียบเทียบที่สถานะของไหลอิ่มตัว, สถานะดื่กร้อนยวดยิ่ง 5-10°C ก่อนเข้ากังหัน พบว่าอัตราการไหลของสารทำงานในระบบมีค่าลดลง เมื่อสารทำงานอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง และดื่กร้อนยวดยิ่งเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสารทำงานที่สถานะดื่กร้อนยวดยิ่ง 5-10°C เข้าใกล้อุณหภูมิแหล่งความร้อนมากขึ้นโดยเมื่ออัตราการไหลของสารทำงานมีปริมาณลดลงจะส่งผลให้ขนาดของระบบ ORC มีขนาดเล็กลงด้วย และเมื่อเทียบเป็นงานจำเพาะหรืองานต่อ กิโลกรัม จะพบว่าสารผสมจะไดงานจำเพาะจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มากกว่าสารเดี่ยว โดยเมื่อดื่กร้อนยวดยิ่งเพิ่มจาก 5°C เป็น 10°C ความร้อนจำเพาะจะสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 ของสารผสมสูงกว่าสารเดี่ยวด้วยเช่นกัน สำหรับสารเดี่ยว R245fa สถานะดื่กร้อนยวดยิ่งก่อนเข้ากังหัน ให้ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 ของวัฏจักรไม่แตกต่างจากกรณีสถานะไออิ่มตัว



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารทำงานและสารทำงานสัดส่วนต่างๆ ที่สถานะของไหลอิ่มตัว, สถานะดื่กร้อนยวดยิ่ง 5-10°C ก่อนเข้ากังหัน



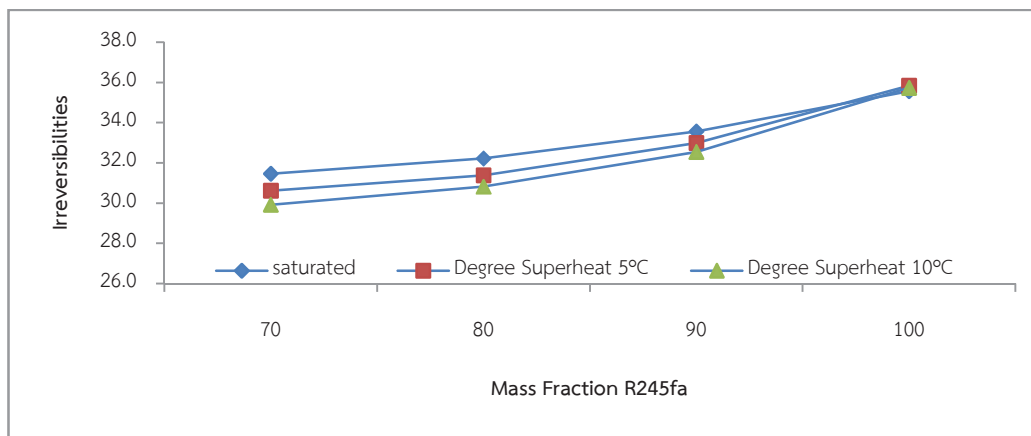
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างงานจำเพาะและสารทำงานสัดส่วนต่างๆ ที่สถานะของไหลอิ่มตัว, สถานะดื่กร้อนยวดยิ่ง 5-10°C ก่อนเข้ากังหัน



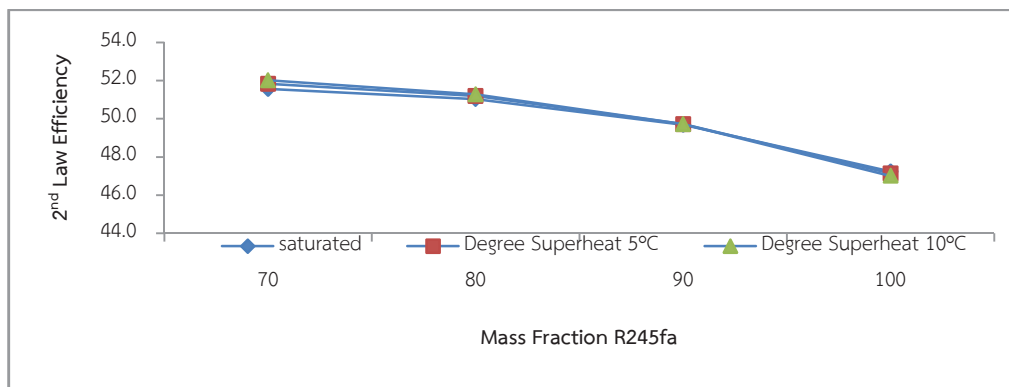
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวัฏจักรตามกฎข้อที่ 1 และสารทำงานสัดส่วนต่างๆ ที่สภาวะของไหลอิ่มตัว, สภาวะดีกรีร้อนยวดยิ่ง 5-10°C ก่อนเข้ากังหัน

จากรูปที่ 8 และ 9 ประสิทธิภาพของวัฏจักรตามกฎข้อที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง R245fa และ R245fa/R152a ที่สัดส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อมีการผสม R152a เพิ่มมากขึ้น ค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้ในวัฏจักรจะลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารเดี่ยว เนื่องจากเมื่อสารทำงานอยู่ในสภาวะไอร้อนยวดยิ่ง และดีกรีร้อนยวดยิ่งเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพก็จะสูงกว่าสภาวะไออิ่มตัว เนื่องจากสารผสมมีการเคลื่อนตัวของอนุภาค ทำให้ค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสารทำงานผสมและอุณหภูมิของแหล่งความร้อนและแหล่งระบายความร้อนที่แลกเปลี่ยนกันในเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นใกล้เคียงกันมากขึ้นอย่างไรก็ตามสัดส่วนสารผสม R152a ไม่ควรเกิน 30% เนื่องจากเป็นสารที่ติดไฟง่ายและค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) ค่อนข้างสูง

สำหรับสารเดี่ยว R245fa สภาวะดีกรีร้อนยวดยิ่งก่อนเข้ากังหัน ให้ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2 ของวัฏจักรไม่แตกต่างกันมากนักจากกรณีสภาวะไออิ่มตัว



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้ของวัฏจักร และสารทำงานสัดส่วนต่างๆ ที่สภาวะของไหลอิ่มตัว, สภาวะดีกรีร้อนยวดยิ่ง 5-10°C ก่อนเข้ากังหัน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวัฏจักรตามกฎข้อที่ 2 และสารทำงานสัดส่วนต่างๆ ที่สถานะของไหลอิ่มตัว, สถานะดื่กร้อนยวดยิ่ง 5-10°C ก่อนเข้ากังหัน

#### 4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษา พบว่าการเพิ่มดื่กร้อนยวดยิ่งในเครื่องระเหยของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพของวัฏจักร โดยเฉพาะสารทำงานที่ใช้เป็นสารผสม เช่น R245fa/R152a การผสมที่สัดส่วนต่างๆ และเปรียบเทียบผลกับวัฏจักรที่ใช้ R245fa พบว่าอัตราการไหลของสารทำงานในระบบมีค่าลดลง เมื่อสารทำงานอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง จะส่งผลให้ขนาดของระบบ ORC มีขนาดเล็กลงด้วย

สำหรับสารผสม เมื่อดื่กร้อนยวดยิ่งเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิสารทำงาน จะเข้าไปใกล้อุณหภูมิแหล่งความร้อนมากขึ้น และประสิทธิภาพของวัฏจักรจะเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มดื่กร้อนยวดยิ่งของสารผสมจะช่วยลดค่าสภาพย้อนกลับไม่ได้ ในขณะที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนและสารทำงานในเครื่องระเหย และเมื่อสัดส่วน R152a เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของวัฏจักรเพิ่มขึ้นด้วย แต่สัดส่วนของ R152a ไม่ควรเกิน 30% เนื่องจากเป็นสารที่ติดไฟง่ายและค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) ค่อนข้างสูง

สำหรับสารเดี่ยว R245fa ที่สถานะดื่กร้อนยวดยิ่งก่อนเข้ากังหัน ประสิทธิภาพของวัฏจักรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากกรณีสถานะไออิ่มตัว

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านพลังงานสะอาดและการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติที่ยั่งยืน ภายใต้โครงการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

#### 6. บรรณานุกรม

- [1] กระทรวงพลังงาน (2554) “แผนพัฒนาพลังงานทดแทน (2554-2573).” [http://www.eppo.go.th/encon/ee-20yrs/EEDP\\_Thai.pdf](http://www.eppo.go.th/encon/ee-20yrs/EEDP_Thai.pdf) [2557,7 กรกฎาคม].
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554) “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (2555-2565).” <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf> [2557, 15 มิถุนายน].
- [3] Thawongamyingsakul C., Kiatsiroat T. Potential of a solar organic Rankine cycle with evacuated-tube solar collectors as heat source for power generation in Thailand. Energy Science and Technology, 4(2), 2012, pp. 25-35.
- [4] Hung T. C. Waste Heat Recovery of Organic Rankine Cycle Using Dry Fluids. Energy Conversion and Management, 42, 2001, pp. 539-553.
- [5] Drescher U., Bruggemann D. Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in Biomass Power and Heat Plants. Applied Thermal Engineering, 27, 2007, pp. 223-228.
- [6] Chys M., van de Broek M., Vanslambrouck B., De Paepe M. (2012) “Potential of zeotropic mixtures as working fluids in organic Rankine cycles”, Energy, 44 : 623-632.
- [7] Mago P.J., Chamra L.M., Srinivasan K., Somayaji C. (2008) “An examination of regenerative organic Rankine cycles using dry fluids”, Applied Thermal Engineering, 28 : 998-1007.
- [8] National Institute of Standard and Technology (NIST). REFPROP Version 9, Thermodynamic Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures Software. 2013.