การวิเคราะห์เลือกสารทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับประเทศไทย

Analysis of Selection Working Fluid of Organic Rankine Cycle for Thailand

เยียย่าง วากายย่าง และ นัฐพร ไชยญาติ*

Yiayang Wakaiyang and Nattaporn Chaiyat*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 ถ.เชียงใหม่-พร้าว ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

*Email: benz178tii@hotmail.com, + 66(0)882523088

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเลือกสารทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อทดแทนสารทำงาน R-254FA สำหรับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW_e ที่เกิดการรั่วซึม และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย รวมทั้งมีราคาค่อนข้างสูงประมาณกิโลกรัมละ 1,000 บาท หากนำเข้าจากต่างประเทศ โดยงานวิจัยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเลือกสารทำงานที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า สารทำงานที่มีจำหน่ายในประเทศไทยมีจำนวนประมาณ 22 ชนิด แต่มีเพียง 4 ชนิด ที่สามารถนำมาใช้กับแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง ร่วมกับของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-141B R-123 R-142B และ R-600A ซึ่งผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ พบว่า สารทำงานที่เหมาะสมในการทดแทน R-245FA ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-141B เพราะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สูงสุดประมาณ 8.03% เมื่อเทียบกับ R-123 R-142B และ R-600A

Abstract

This research studies selection working fluid of Organic Rankine cycle (ORC) for replacing R-245FA in the 20 kW_e ORC system. The main reasons are leakage, cost (1,000 baht/kg) and import problems. Mathematical model is used to choose the optimal working fluid in the 20 kW_e ORC system. From the study results, the total working fluids in Thailand are 22 kinds, but only 4 types could be used with high temperature heat source. Thus, R-141B R-123 R-142B and R-600A (Isobutane) are analyzed with mathematical model of the 20 kW_e ORC cycle. The results showed that R-141B could be shown the highest thermal performance of the ORC system at around 8.03% compared with R-123, R-142B and R-600A.

คำสำคัญ: สารทำงาน วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Keywords: Working fluid, Organic Rankine Cycle, Mathematical model

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานของประเทศไทยด้านพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง โดยส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาอาศัยเชื้อเพลิงฟอซซิลเป็นหลัก ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปและทำให้สภาวะโลกร้อน จากปัญหานี้ในการพัฒนาพลังงานในรูปแบบต่างๆ จึงมีความสนใจหันมาใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แหล่งพลังงานทดแทนในประเทศไทยมีหลากหลายประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ เชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงานชีวมวล พลังงานจากขยะ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย โดยเฉพาะแหล่งพลังงานความร้อนของประเทศไทยเป็นแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการพัฒนาการใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำจึงเหมาะสมสำหรับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้กับแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ Chaiyat [1] ศึกษาประเมินความเป็นไปได้การผลิตกระแสไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้พลังงานทางเลือก คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และขยะ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่ำที่สุด สอดคล้องกับ Liu et al. [2] ที่นำพลังงานทดแทนจากความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มาป้อนให้แก่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้สารทำงาน R-245FA และWang et al. [3] ศึกษาการใช้สารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยทำการจำลองสารทำงานทั้งหมด 25 ชนิด ผลการศึกษาพบว่า สารทำงานแต่ละชนิดมีสภาวะการทำงานที่เหมาะสมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแหล่งความร้อน และได้นำเสนอช่วงอุณหภูมิของแหล่งความร้อนที่ 106^{o}C และสารทำงานที่เหมาะสมต่อการทำงานในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว คือ R-601

นอกจากนั้น Wang et.al [4] ศึกษาการเลือกสารทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยกังหันชนิดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw) ที่ใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ ผลการศึกษาพบว่า สาร R-11, R-141B, R-113 และ R-123 มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงความร้อนสูงกว่าสารอื่นๆ แต่สาร R-245FA และ R-245CA เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และสอดคล้องกับ Habibzadehi and Rashidi [5] ศึกษาประสิทธิภาพของสารทำงานในการทำงานที่แตกต่างกันในวัฏจักรแรงคินอินทรีย์ ที่ใช้ความร้อนเหลือทิ้งจาก (Gas turbine modular helium reactor, GT-MHR) ที่สภาวะการทำงานของไหลแห้ง เปียก และไอเซนทรอปิก ผลการศึกษาพบว่า สารทำงานที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงสุด คือ R-141B ซึ่งเป็นของไหลไอเซนทรอปิก รองลงมา คือ R-123 ในของไหลแห้ง และ R-717 ในของไหลเปียกตามลำดับ

จากงานวิจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า มีการศึกษาแนวทางการเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ตามสภาวะการทำงาน เช่น อุณหภูมิของแหล่งความร้อน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามสารทำงานส่วนมากที่เหมาะสมจากผลการศึกษา เป็นสารทำงานที่ไม่มีขายในประเทศไทย ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งในปัจจุบันต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้มีการติดตั้งและใช้งานมาประมาณ 2 ปี ได้ประสบปัญหาการรั่วซึมของสารทำงานในระบบ ดังนั้นจึงทำให้ต้องนำเข้าสารทำงาน R-245FA จากประเทศจีน ในราคากิโลกรัมละ 1,000 บาท จำนวน 55kg หรือคิดเป็นเงินประมาณ 55,000 บาท รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการนำเข้าและขนส่งประมาณ 4 เดือน ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนและใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหา คือ ใช้สารทำงานที่สามารถหาได้ในประเทศไทย มาใช้ในการเติมในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20kW$_e$ ซึ่งเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

2. วัตถุประสงค์

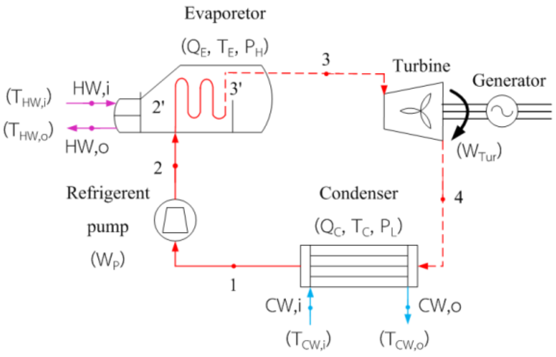
- เพื่อศึกษาศักยภาพของสารทำความเย็นที่มีจำหน่ายในประเทศไทย
- เพื่อศึกษาวิเคราะห์สารทำความเย็นที่สามารถมาทดแทนสารทำงาน R-245FA ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก. วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นวัฏจักรที่ใช้ของไหลเป็นสารทำงาน โดยมีหลักการทำงานเหมือนวัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle) ที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน แต่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำเป็นสารทำงาน ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอได้ง่ายกว่าสารทำงาน (น้ำ) ในวัฏจักรแรงคิน โดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประกอบไปด้วย 4 อุปกรณ์หลัก คือ ปั๊มสารทำงาน (Refrigerant pump) เครื่องระเหย

(Evaporator) กังหัน (Turbine) และเครื่องควบแน่น (Condenser) ดังแสดงกระบวนการทำงานในรูปที่ 1



รูปที่1 แผนภาพอุปกรณ์ทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

จากรูปที่ 1 แสดงแผนภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีหลักการทำงานดังนี้ คือ สารทำงานในสถานะของเหลว (จุดที่ 1) ถูกส่งมารับความร้อนที่เครื่องระเหย (จุดที่ 2) โดยปั๊มสารทำงาน จากนั้นสารทำงานจะรับความร้อนจากน้ำร้อนภายใต้ความดันคงที่ ($P_2 = P_{2'}$) จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 2') กลายเป็นไออิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 3') และเป็นไอร้อนยวดยิ่งที่สภาวะไอร้อนยวดยิ่ง (จุดที่ 3) เข้าสู่กังหัน ขยายตัวและขับเพลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิของไอของสารทำงานที่ทางออกของกังหันจะลดลง (จุดที่ 4) จะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่นภายใต้ความดันคงที่ ($P_4 = P_1$) กลายเป็นของเหลวอิ่มตัว (จุดที่ 1) [1] ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีการระบายความร้อนด้วยน้ำที่เครื่องควบแน่น โดยใช้หอผึ่งระบายความร้อน (Cooling tower) ทั้งนี้สมการทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ต่างๆ ในรูปที่ 1 มีดังต่อไปนี้

ปั๊มสารทำงาน

$$W_P = \dot{m}_{ref} v_1 (P_H - P_L) / \eta_{s,P} \quad (1)$$

เครื่องระเหย

$$Q_E = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_2) \quad (2)$$

เครื่องควบแน่น

$$Q_C = \dot{m}_{ref}(h_4 - h_1) \quad (3)$$

กังหัน

$$W_{Tur} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_4)\eta_{s,Tur} \quad (4)$$

$$x_g = (s_4 - s_f) / s_{fg} \quad (5)$$

$$\dot{V}_3 = \dot{m}_{ref} / \rho_3 \quad (6)$$

ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

$$\eta_{ORC} = (W_{Tur} - W_P) / Q_E \quad (7)$$

ข. สารทำงาน (Working fluid)

การเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ควรคำนึงถึงคุณสมบัติของสารทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) สูง
- จุดเดือด (Boiling temperature) ต่ำ
- อุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature) ค่อนข้างสูง
- ความดันในการกลายเป็นไอ (Vapor pressure) สูงกว่าความดันบรรยากาศ
- ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ในสถานะแก๊สค่อนข้างต่ำ
- มีความปลอดภัย ไม่เป็นพิษ และไวไฟ
- เป็นมิตรต่อกับสิ่งแวดล้อม
- หาซื้อได้ง่าย

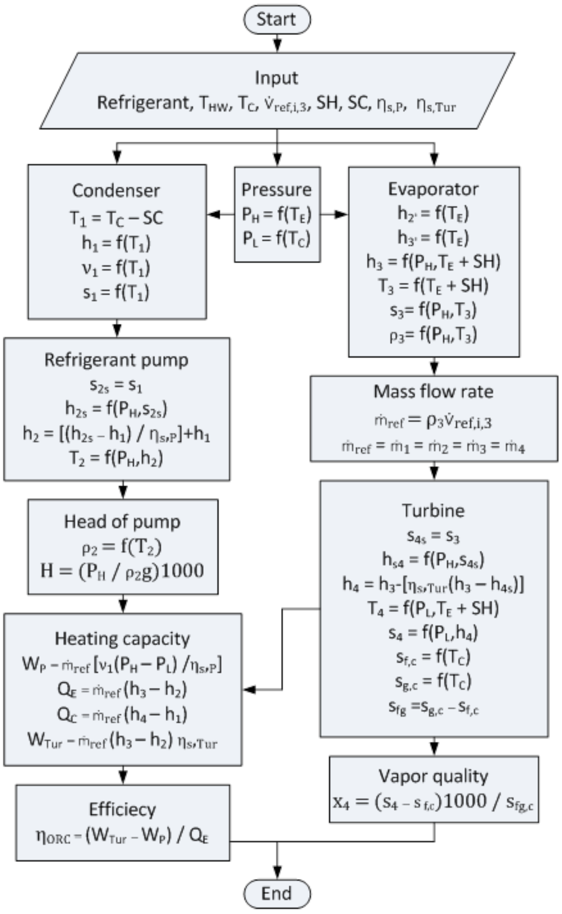
4. วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินศึกษาของงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสารทำความเย็นที่มีอยู่ขายในประเทศไทย
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารทำความเย็น เพื่อคัดเลือกสารทำความเย็นที่สามารถเป็นสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
3. นำสารทำความเย็นมาวิเคราะห์ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีเงื่อนไขการคำนวณอ้างอิงจากผลการทดสอบของ Chaiyat and Kiatsiriroat [7] ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิน้ำร้อนป้อนเข้าระบบที่เครื่องระเหย ($T_{HW,i}$) = 116°C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เครื่องระเหย ($\Delta T_{HW,E}$) = 10 °C
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นไหลเข้าที่เครื่องควบแน่น ($T_{C,i}$) = 28 °C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น ($\Delta T_{CW,C}$) = 7 °C
- ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เครื่องระเหยและน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นกับสารทำงานในระบบ ($\Delta T_{ref\text{-}HW/CW}$) = 3 °C
- ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของปั๊มสารทำงานและกังหัน ($\eta_{s,P}$) =85% และ ($\eta_{s,Tur}$)= 75%
- ประสิทธิภาพความสามารถผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($\eta_{Generator}$)= 90%

4. วิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของปริมาณความร้อนที่ต้องป้อนแก่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ดังแสดงขั้นตอนการคำนวณในรูปที่ 2
5. สรุปและวิเคราะห์ผลของงานวิจัย



รูปที่2 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

5. ผลและการอภิปรายผล

ก. สารทำงานในประเทศไทย

จากผลการศึกษาข้อมูล พบว่า สารทำงานที่มีจำหน่ายในประเทศไทย[9] มีจำนวนทั้งหมดประมาณ 22 ชนิด ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 และยังจำแนกแยกออกเป็น 4 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

- กลุ่ม CFC (Chlorofluorocarbon) ที่มีส่วนประกอบของ คลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน คือ R-11 R-12และ R-502
- กลุ่ม HFC (Hydrofluorocarbon) ที่มีส่วนประกอบของ ไฮโดรเจน ฟลูออรีน และคาร์บอน คือ R-23 R-32 R-125 R-134A R-143A R-152A R-404A R-407C R507 และ R-410A
- กลุ่ม HCFC (Hydro chlorofluorocarbon) ที่มีส่วนประกอบของ ไฮโดรเจน คลอรีน และฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-22 R-123 R-141B R-142B R-406A R-408A และ R-409A
- กลุ่ม HC (Hydrocarbon) ที่มีส่วนประกอบของไฮโดรเจน และคาร์บอน คือ R-290 และ R-600A (Isobutane)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของสารทำงานชนิดต่างๆ [8,9]

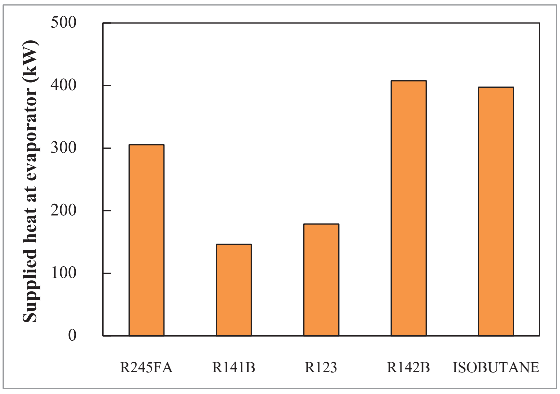
สารทำงาน	T_b (°C)	T_{crit} (°C)	Safety	GWP	ODP
R-11	23.7	198	A1	4,000	0.9
R-12	-29.8	112.04	A1	1,060	0.82
R-502	-43.3	82.2	A1	5,590	0.229
R-22	-40.81	96.145	A1	1,790	0.045
R-123	27.823	183.68	B1	77	0.010
R-141B	32.05	204.35	n.a	717	0.120
R-142B	-9.12	137.11	A2	2,220	0.060
R-406A	-32.9	116.5	A2	1,900	0.036
R-408A	-44.6	83.3	n.a	3,000	0.016
R-409A	-35	107	n.a	1,288	0.05
R-23	-82	26.3	n.a	11,700	0

สารทำงาน	T_b (^oC)	T_{crit} (^oC)	Safety	GWP	ODP
R-32	-51.651	78.105	A2	716	0
R-125	-48.090	66.023	A1	3,420	0
R-134A	-26.074	101.06	A1	1,370	0
R-143A	-47.241	72.707	A2	4,180	0
R-152A	-24.023	113.26	A2	133	0
R-404A	-46.5	72.1	n.a	3,260	0
R-407C	-43.8	86.2	A1	1,530	0
R507	-46.7	70.9	n.a	3,300	0
R-410A	-33	108	A1	973	0.03
R-290	-42.114	96.74	A3	~20	0
R-600A	-11.749	134.660	A3	~20	0

จากผลการทดสอบของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW_e ที่ใช้สารทำงาน R-245FA [7] พบว่าอุณหภูมิของไอสารทำงานเข้ากังหันมีค่าประมาณ 94 ^oC ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ควรเลือกสารทำงานที่มีอุณหภูมิจุดวิกฤตสูงกว่าอุณหภูมิไอสารทำงานเข้ากังหัน ซึ่งควรจะมีค่ามากกว่า 130 ^oC จากข้อมูลในตารางที่ 1 ผลที่ได้ พบว่า มีสารทำงานที่เหมาะสม 5ชนิด อันประกอบไปด้วย R-141BR-11 R-123 R-142B และ R-600A แต่อย่างไรก็ตาม R-11 ที่มีจุดเดือดสูง แต่เป็นสารพิษมีผลต่อสิ่งแดดล้อม และถูกยกเลิกใช้ไปแล้ว ดังนั้นจึงเหลือสาร 4 ชนิด ที่จะนำไปวิเคราะห์ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เพื่อหาสารทำงานทดแทน R-245FA ต่อไป

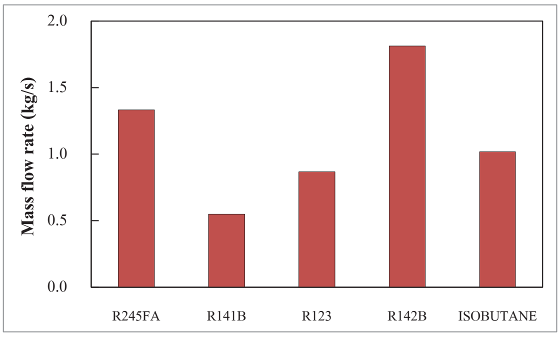
ข. ผลการวิเคราะห์สารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

จากรูปที่ 3 แสดงปริมาณความร้อนที่ต้องป้อนแก่ระบบที่เครื่องระเหย โดยก่อนการปรับปรุงที่ใช้สารทำงาน R-245FA ต้องการค่าปริมาณความร้อนที่ประมาณ 300 kWเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าขนาด 20 kW_e และเมื่อมีการเปลี่ยนสารทำงานเป็น R-141BR-123 R-142B และ R-600A พบว่า ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าระบบที่เครื่องระเหยเปลี่ยนแปลงเป็น 147kW180kW 400 kW และ 394kW ตามลำดับ สาเหตุเนื่องมาจากกังหันในระบบใช้เครื่องอัดไอกลับทางหมุน และสารทำงานตัวใหม่แต่ละชนิดมีความหนาแน่นของสารทำงานเมื่อกลายเป็นไอเข้ากังหันต่างกันออกไป จึงมีผลทำให้กำลังผลิตไม่เท่ากัน



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ป้อนเข้าระบบที่เครื่องระเหย

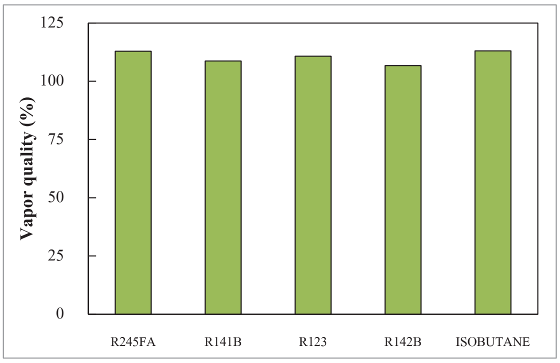
รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลมวลของสารทำงานในระบบ ผลที่ได้พบว่า ปริมาณการไหลมวลของสารทำงานที่เข้ากังหัน ซึ่งแต่ละสารมีค่าที่แตกต่างกันออกไป คือ R-141BR-123 และ R-600Aมีอัตราการไหลมวลน้อยกว่า R-245FA (อัตราการไหลปริมาตรของ R-245FA ที่ไหลเข้ากังหันมีค่าประมาณ 0.0176 m^3/s) อันเนื่องมาจากความหนาแน่นสารทำงานกลายเป็นไอที่เข้ากังหันน้อยกว่า จึงส่งผลให้ในการขยายตัวได้น้อยตามไปด้วย มีเพียง R-142B มีอัตราการไหลมวลสูงกว่า R-245FA



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราการไหลเชิงมวล

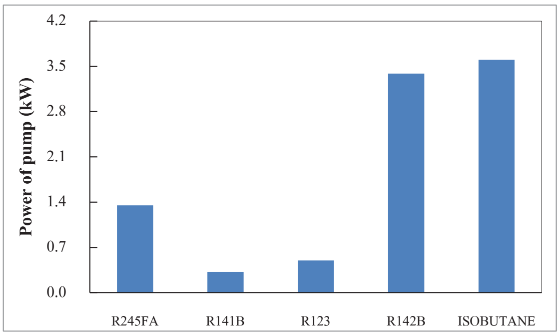
จากรูปที่ 5แสดงคุณภาพไอสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถคำนวณได้จากค่าเอนโทรปี

ของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัวที่อุณหภูมิสารทำงานควบแน่น (T_C) ซึ่งค่าคุณภาพไอสารมีปริมาณมากก็แสดงว่ามีปริมาณไอสารทำงานในสถานะไอมาก ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ต้องการคุณภาพไอสารทำงานที่ออกจากกังหันสูง เนื่องจากว่าค่าดังกล่าวต่ำจะมีผลเสียต่อกังหันทำให้เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย ผลที่ได้พบว่า ค่าคุณภาพไอสารทำงานแต่ละชนิดมีค่าสูงกว่า 90% แสดงว่าสารทุกชนิดสามารถใช้เป็นสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิผล



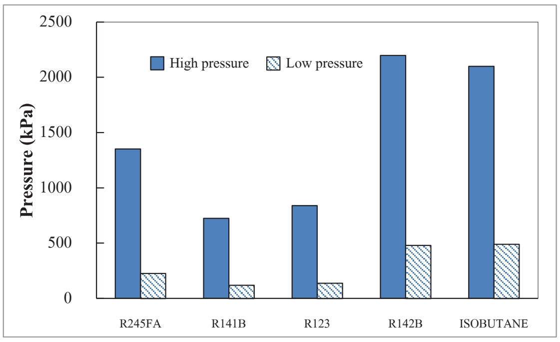
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบคุณภาพไอสารทำงาน

จากรูปที่ 6แสดงพลังงานที่ป้อนแก่ปั๊มสารทำงานเพื่อการขับเคลื่อนสารทำงานจากความดันต่ำไปยังความดันสูง ผลที่ได้พบว่า สารแต่ละชนิดจะใช้พลังงานที่แตกต่างกันไป คือ R-142B และ R-600A ใช้พลังงานแก่ปั๊มสูงกว่า R-245FA แต่ R-132 และ R-141B ใช้พลังงานแก่ปั๊มสารทำงานน้อยกว่า ตามลำดับ อันเป็นผลที่แปรผันตรงกับค่าผลต่างความดันสารทำงานด้านสูงและต่ำ



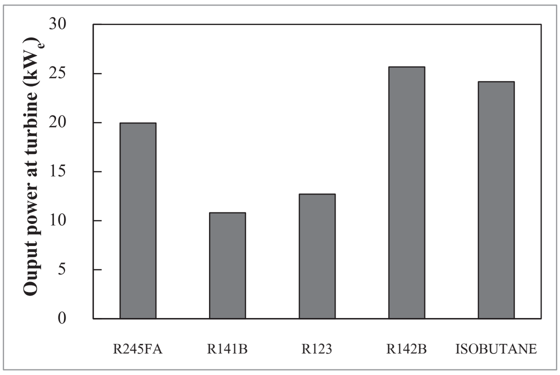
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าแก่ปั๊มสารทำงาน

จากรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบความดันด้านสูงและต่ำของสารทำงานในระบบ โดยความดันสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ อันประกอบไปด้วยความดันด้านสูงอ้างอิงจากความดันที่เครื่องระเหย และความดันด้านต่ำอ้างอิงจากความดันที่เครื่องควบแน่น ซึ่งผลต่างของความดันด้านสูงและต่ำมีค่ามาก ย่อมมีผลทำให้การใช้พลังงานที่ป้อนปั๊มสารทำงานสูงไปด้วย ผลที่ได้พบว่า R-142B และ R-600A มีความดันด้านสูงและต่ำของระบบสูงกว่า R-245FA แต่ R-123 และ R-141B มีความดันทั้งสองด้านของระบบต่ำกว่า



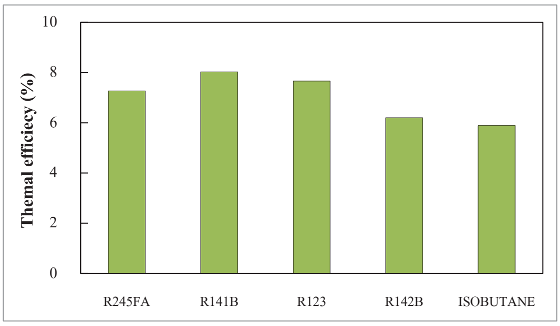
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบความดันสารทำงานในระบบ

จากรูปที่ 8 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ซึ่งก่อนการปรับปรุงที่ใช้สารทำงานในระบบเป็น R-245FA สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ที่ 20 kW_e เมื่อมีการเปลี่ยนสารทำงานใหม่มาทดแทนสารทำงานเดิน ผลที่ได้พบว่า ความสามารถกำลังผลิตไฟฟ้าคือ R-142B R-600AR-123 และ R-141B มีค่าประมาณ 25kW_e24kW_e12kW_e และ 11kW_e ตามลำดับ จากผลดังกล่าวพบว่า การเปลี่ยนสารทำงานใหม่จะทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์น้อยลง



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ

จากรูปที่ 9แสดงประสิทธิ์ภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นสัดส่วนพลังงานที่ได้ส่วนด้วยพลังงานที่ป้อนแก่ระบบ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิ์ภาพเชิงความร้อนของสารทำงานทั้ง 5 ชนิด ผลที่ได้พบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของสาร R-141B มีค่าสูงสุด รองลงมาเป็น R-123R-245FA R-142B และ R-600A ตามลำดับ



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิเคราะห์การเลือกสารทำงานที่ความเหมาะสมในการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับในประเทศไทยสามารถสรุปผลได้ ดังต่อไปนี้

1) สารทำงานเหมาะสมสำหรับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และมีจำหน่ายในประเทศไทยมีจำนวน 4 ชนิด คือR-141BR-123 R-142B และ R-600A
2) สารทำงานที่เหมาะสมในการทดแทน R-245FA ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-141B เพราะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สูงสุดประมาณ 8.03 %เมื่อเทียบกับ R-123 R-142B และ R-600A

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ "โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา" และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ แผนพัฒนาพลังงานทดแทน ภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างไทย-จีน 2558 ที่ให้ทุนสนับสนุนทำการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Chaiyat N (2015) Assessment Alternative Energy for Organic Rankine Cycle Power Plant in Thailand. School of Renewable Energy Maejo University, Chiang Mai, Thailand.

[2] Liu H, Zhou Q, Zhou H, Wang P (2015) Experiments and thermal modeling on hybrid energy supply system of gas engine heat pumps and organic Rankine cycle, **Energy and Buildings**, 87, 226-232.

[3] Ling X, Wang D, Peng H, Liu L, Tao L.L (2013) Efficiency and optimal performance evaluation of organic Rankine cycle for low, **Energy**, 50, 343-352.

[4] Wang E.H, Zhang H.G, Fan B.Y, Ouyang M.G, Zhao Y, MuQ.H (2011) Study of working fluid selection of organic Rankine cycle (ORC) for engine waste heat recovery, **Energy**, 36, 3406-3418.

[5] Habibzadehi A, Rashidi M.M (2016) Thermodynamic analysis of different working fluids used in organic Rankine cycle for recovering waste heat from GT-MHR **Journal of Engineering Science and Technology**,11, 121-135.

[6] Quolini S, Declaye S, Legrosl A, Guillaume L, Lemort V (2012)Working fluid selection and operating maps for Organic Rankine Cycle expansion machines **International Compressor Engineering Conference at Purdue**, July 1546, 16-19.

[7] Chaiyat N and Kiatsiriroat T (2015) Analysis of combined cooling heating and power generation from organic Rankine cycle and absorption system, **Energy** 91, 363-370.

[8] Jumel S.PH, Feidt M, Kheiri A, Le V.L (2012) Working fluid selection and performance comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for low temperature waste heat recon, **ECEEE 2012 Summer study on Energy efficiency in industry**, 559-569.

[9] บริษัท อ้าวหงษ์ ไทยโรเดน น้ำยาแอร์ (ประเทศไทย) จำกัดการผลิต และจำหน่ายน้ำยาแอร์ [ออนไลน์] ได้มาจาก: http://www.atrrefrigerant.com/TH/index.html

9. อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อ	ความหมาย
C	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ (kJ/kg·K)
h	เอนทัลปี (kJ/kg)
$\dot{m}$	อัตราการไหลมวล (kg/s)
Q	อัตราความร้อน (kJ/kg)
T	อุณหภูมิ (°C)
$\dot{V}$	อัตราการไหลปริมาตร (m^3/s)
s	เอนโทรปี (kJ/kg·K)
x	คุณภาพไอสารทำงาน (%)
W	งาน (kW)

ตัวกรีก	ความหมาย
η	ประสิทธิภาพ (%)
ν	ปริมาตรจำเพาะของไหล (m^3/kg)
ρ	ความหนาแน่น (kg/m^3)

ตัวห้อย	ความหมาย
b	Boiling
CW	Cooling water
C	Condenser
E	Evaporator
e	Eclectic
f	Fluid
g	Gas
H	High
HW	Hot water
i	Inlet
L	Low
o	Outlet
P	Pump
Tur	Turbine
ref	Refrigerant