

# การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำโดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle - ORC)

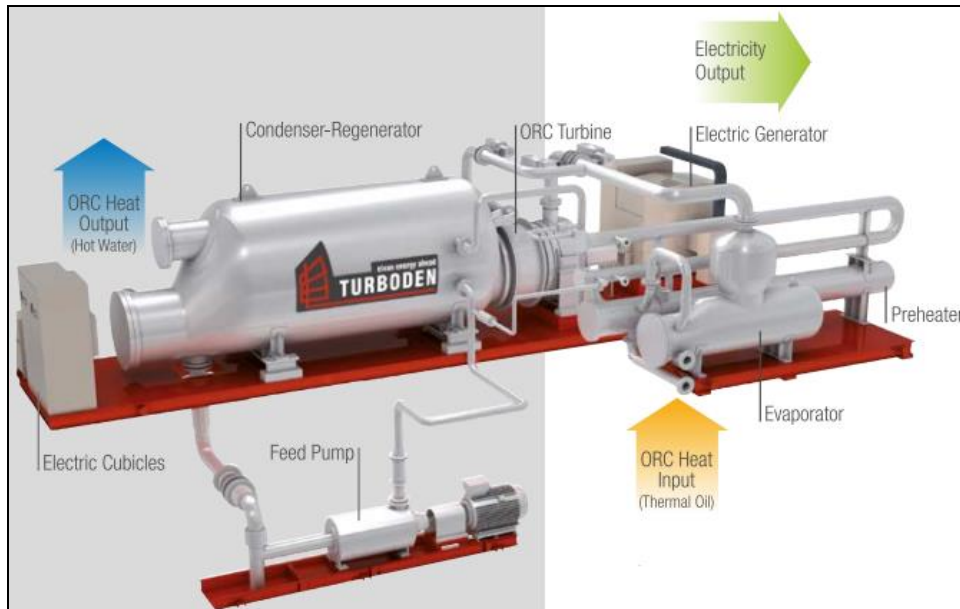
โดยนายวิรัตน์ ทรงงาม วิศวกรไฟฟ้าชำนาญการพิเศษ

สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทโดยส่วนใหญ่จะมีความต้องการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตเพื่อการแปรรูปสินค้า มีการใช้พลังงานความร้อนที่หลากหลายรูปแบบ ทั้งการต้ม การอบ การนึ่ง และรูปแบบอื่นๆ โดยมีแหล่งกำเนิดความร้อนมาจากเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และแข็ง เชื้อเพลิงก๊าซ เพื่อผลิตความร้อนในรูปของลมร้อน น้ำร้อน ไอน้ำ และอื่นๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการใช้งานของแต่ละอุตสาหกรรม โดยความร้อนเหล่านี้เมื่อถูกใช้ในกระบวนการผลิตแล้วก็จะมีความร้อนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการ ซึ่งจะมีอุณหภูมิที่ลดต่ำลงมาหรือ อาจมีสิ่งปนเปื้อนจากกระบวนการผลิต โดยที่ตัวกลางความร้อนทิ้งเหล่านี้ยังคงมีความร้อนแฝงเหลืออยู่และมีปริมาณที่มากพอที่จะสามารถเก็บกลับมาใช้งานใหม่ได้ มีทั้งการนำกลับมาใช้โดยตรงหรือผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น การนำลมร้อนไปอบ (Pre heat) ผลิตภัณฑ์เพื่ออุ่นหรือไล่ความชื้นก่อนเข้าเตาอบ การนำน้ำร้อน (Condensate) ไปอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ การนำไอเสียจากเครื่องยนต์หรือไอเสียจากหม้อไอน้ำไปผลิตลมร้อน (Recuperator) หรือผลิตไอน้ำความดันต่ำ (Waste heat boiler) เป็นต้น แต่ในบางอุตสาหกรรมอาจไม่มีความต้องการนำความร้อนทิ้งไปใช้ในรูปของความร้อนโดยตรง ซึ่งปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่สามารถนำความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าและนำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้ในกิจการของตนเองเป็นการช่วยลดภาระที่ต้องซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าลงได้ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้านี้คือการผลิตไฟฟ้าโดยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle - ORC)

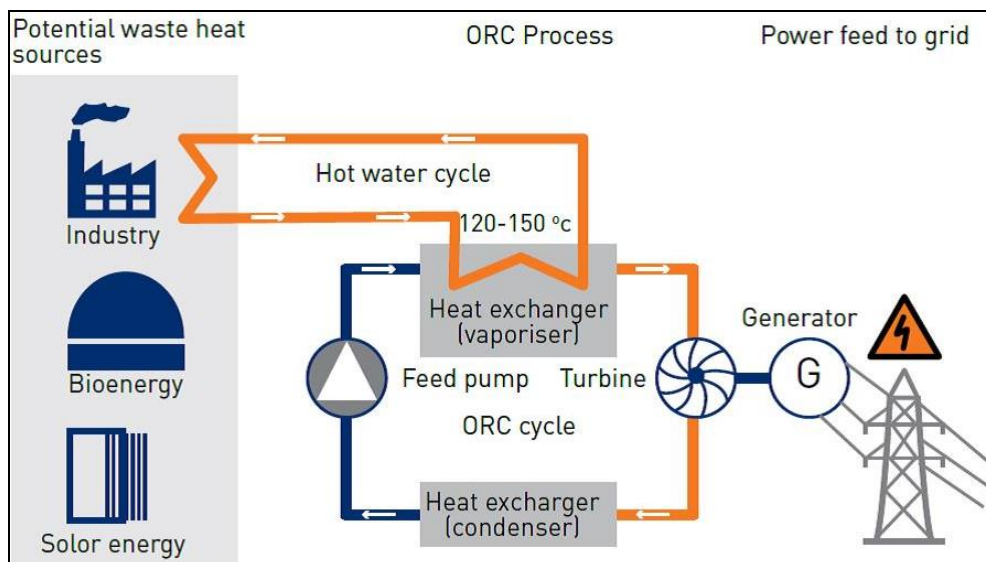
## หลักการทำงานของระบบ ORC

การผลิตไฟฟ้าโดยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (ORC) เป็นการนำประโยชน์จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ 120-150 องศาเซลเซียส (Waste heat, Solar, Biomass) มาให้ความร้อนแก่สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) หรือสารทำความเย็น เช่น R-245fa ( $CF_3CH_2CHF_2$ ) ที่มีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอที่จุดเดือดต่ำกว่าการใช้ น้ำเปลี่ยนสถานะไปเป็นไอน้ำและมีค่าความดันไอสูงมากกว่าไอน้ำ ระบบ ORC จึงสามารถทำงานโดยใช้แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตได้ และมีประสิทธิภาพของกังหันมากกว่า 90% อุปกรณ์หลักของการผลิตไฟฟ้าระบบ ORC ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (ORC)

กระบวนการทำงานของระบบ ORC เริ่มต้นจากแหล่งความร้อนหรือเชื้อเพลิง อาทิ น้ำร้อนจากพลังแสงอาทิตย์ (Solar collector) เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) หรือความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม สามารถนำมาส่งถ่ายความร้อนผ่านน้ำให้กลายเป็นน้ำร้อนเพื่อนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนในวัฏจักร Rankine Cycle ที่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (R-245fa) หรือสารทำความเย็นที่มีจุดเดือดต่ำ (ประมาณ 15 องศาเซลเซียส) ดังนั้น สารทำงานจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอร้อนยิ่งยวดที่แรงดันสูงไปขับเคลื่อนกังหัน (Turbine) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้เกิดการผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้น เป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานทางกลและพลังงานไฟฟ้าตามลำดับ วัฏจักรการทำงานของ ORC ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงวัฏจักรการทำงานของระบบ ORC เพื่อผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำ

### ข้อดีของเทคโนโลยี ORC

การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) มีข้อดีดังต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพของระบบรวมสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ในระบบผลิตความร้อนร่วม (Cogeneration plants)
- ประสิทธิภาพของกังหันสูงประมาณ 90%
- ความเครียดของเครื่องจักรต่ำเนื่องจากความเร็วการเคลื่อนที่ของสารทำงานในระบบต่ำ
- ความเร็วรอบของกังหันต่ำทำให้สามารถต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยตรงกับกังหัน โดยปราศจากเกียร์ตรอบ
- ไม่มีการกัดกร่อนของใบกังหัน เนื่องจากไม่มีความชื้นในหัวฉีดไอสารทำงาน
- มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เนื่องจากคุณสมบัติของสารทำงานที่ไม่เหมือนไอน้ำที่มักจะเป็นสนิมและเกิดการสึกกร่อนของวาล์วและใบกังหัน
- ไม่ต้องมีระบบรักษาความสะอาด เหมือนเช่น โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ เป็นต้น

### ประสิทธิภาพของระบบ ORC

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จะขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิและปริมาณของความร้อนเหลือทิ้งที่นำมาใช้ผลิตไฟฟ้าของสถานประกอบการ โดยทั่วไปเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จะมีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 15-25% โดยที่ประสิทธิภาพจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าเครื่องระเหย (Evaporator) และน้ำเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่น (Condenser)

### แหล่งข้อมูลระบบ ORC

ปัจจุบันมีผู้ผลิตหลายรายที่มีผลิตภัณฑ์ระบบ ORC จำหน่าย ซึ่งมีกำลังผลิตไฟฟ้าขนาดต่างๆ และใช้แหล่งความร้อนที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ หลายระดับ โดยสามารถที่จะเลือกนำมาประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับแหล่งความร้อนตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3

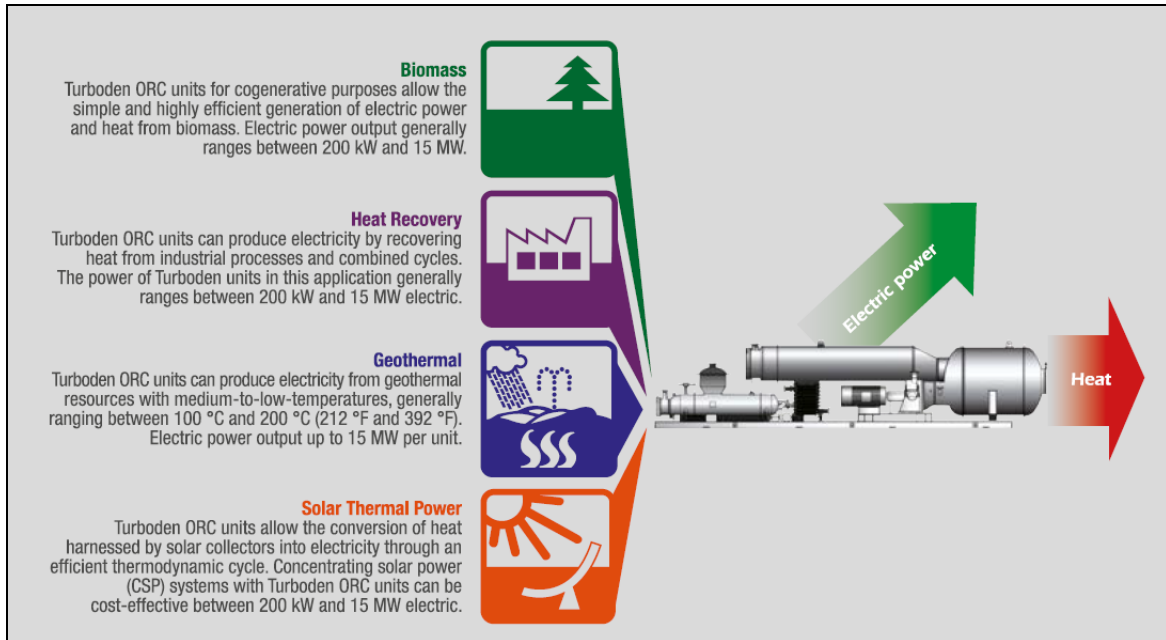
**Table 2**  
Non-exhaustive list of the main ORC manufacturers.  
Sources: Manufacturers websites; [24–32].

Manufacturer	Applications	Power range [kWe]	Heat source temperature [°C]	Technology
ORMAT, US	Geo., WHR, solar	200–70,000	150–300	Fluid : <i>n</i> -pentane and others, two-stage axial turbine, synchronous generator
Turboden, Italy	Biomass-CHP, WHR, Geo.	200–2000	100–300	Fluids : OMTS, Solkatherm, Two-stage axial turbines
Adoratec/Maxxtec, Germany	Biomass-CHP	315–1600	300	Fluid: OMTS
Opcon, Sweden	WHR	350–800	< 120	Fluid: Ammonia, Lysholm Turbine
GMK, Germany	WHR, Geo., Biomass-CHP	50–5000	120–350	3000 rpm Multi-stage axial turbines (KKK)
Bosch KWK, Germany	WHR	65–325	120–150	Fluid: R245fa
Turboden PureCycle, US	WHR, Geo.	280	91–149	Radial inflow turbine, Fluid: R245fa
GE CleanCycle	WHR	125	> 121	Single-state radial inflow turbine, 30,000 rpm, Fluid: R245fa
Cryostar, France	WHR, Geo.	n/a	100–400	Radial inflow turbine, Fluids: R245fa, R134a
Tri-o-gen, Netherlands	WHR	160	> 350	Radial turbo-expander, Fluid: Toluene
Electratherm, US	WHR, Solar	50	> 93	Twin screw expander, Fluid: R245fa

รูปที่ 3 แสดงข้อมูลระบบ ORC ของบริษัทผู้ผลิตต่างๆ

### แหล่งความร้อนที่เหมาะสมกับการใช้ระบบ ORC

การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC สามารถประยุกต์ใช้งานกับแหล่งความร้อนได้หลากหลาย อาทิ ชีวมวล ความร้อนทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ความร้อนใต้พิภพ ความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น สำหรับการใช้งานไปในโรงงานอุตสาหกรรมจะเหมาะสมกับโรงงานที่มีแหล่งความร้อนทิ้ง เช่น ความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์ ความร้อนจากไอเสียของเตาอุตสาหกรรม ความร้อนจากไอเสียของหม้อไอน้ำ และความร้อนที่เหลือทิ้งอื่นๆ จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม โดยแหล่งความร้อนต้องมีอุณหภูมิอย่างน้อย 120-150 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับสารทำงานในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ในการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 4 แสดงแหล่งความร้อนรูปแบบต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้กับระบบ ORC

### กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้ระบบ ORC

กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถนำระบบ ORC มาประยุกต์ใช้ได้ เช่น โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม โรงงานอุตสาหกรรมกระดาษ โรงงานเซรามิก โรงงานซีเมนต์ และอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีแหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ เป็นต้น ปัจจุบันเริ่มมีโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศได้มีการนำระบบ ORC มาผลิตพลังงานไฟฟ้าบ้างแล้ว แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนักเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับผู้ประกอบการไทย ซึ่งหากได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐคาดว่าจะมีการนำมาใช้งานกันมากขึ้น ทั้งนี้ หากมีการใช้งานมากขึ้นร้อยละ 30 ของจำนวนโรงงานควบคุมทั้งหมด (โรงงานที่มีการใช้พลังงานเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 20 เมกะจูลต่อปีขึ้นไป) จะก่อให้เกิดผลการประหยัดพลังงานประมาณ 110 ktoe/ปี โดยคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้มากถึงประมาณ 2,200 ล้านบาทต่อปี

ตัวอย่างโรงงานที่นำระบบ ORC มาประยุกต์ใช้งานภายใต้โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้แก่ โรงงาน บริษัท บี.วี.ซี. เจริญทรัพย์ จำกัด ซึ่งเป็นการใช้แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำจากน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์ใช้ร่วมกับความร้อนทิ้งอุณหภูมิปานกลางจากก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ก๊าซที่เริ่มต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส และ 400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 270 กิโลวัตต์ (Net Output) เป็นต้น

## ราคาและระยะเวลาการคืนทุน

ราคาของระบบ ORC ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปมีเงินลงทุนอยู่ที่ประมาณ 50,000-100,000 บาท/กิโลวัตต์ (Gross output) เนื่องจากแหล่งความร้อนตั้งต้นที่ใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานสามารถปรับเปลี่ยนได้หลายรูปแบบ ดังนั้นราคาของระบบ ORC อาจเปลี่ยนไปตามชนิดของแหล่งความร้อนตั้งต้น ทั้งนี้ผลการศึกษาจากโครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานบริษัท พี.วี.ซี. เจริญทรัพย์ จำกัด สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 42 โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 4.9 ปี ทั้งนี้ชั่วโมงการใช้งานจะส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาคืนทุน โดยควรมีระยะเวลาการใช้งานไม่ต่ำกว่า 8,000 ชั่วโมง/ปี

## เอกสารอ้างอิง

- (1) ต้นแบบโรงไฟฟ้าระบบ Organic Rankine Cycle (ORC), วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- (2) Smart Bioenergy: Technologies and concepts for a more flexible bioenergy
- (3) Executive Energy Program 2015, "การดำเนินการด้านธุรกิจพลังงานทดแทน"
- (4) <http://www.turboden.eu>
- (5) <http://torce.webiz.co.th>
- (6) ases.conference-services.net, "ECONOMICAL EVALUATION OF 1MWEL ORGANIC RANKINE CYCLE USING EUCALYPTUS WOOD FROM ENERGY FORESTS IN BRAZIL"
- (7) การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดโมดูลาร์ที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง , ธรณิศวร์ ดีทายาท และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- (8) โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานระยะที่ 3, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน