การวางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

พฤหัส บุญมาตา

รายงานการค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2560

การวางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

พฤหัส บุญมาตา

รายงานการค้นคว้าอิสระนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของกานศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ)
วันที่ 22 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล)
วันที่ 25 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)
วันที่ 26 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2560

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....
(อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่ 29 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2560

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ แม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 30 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2560

ชื่อเรื่อง การวางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ชื่อผู้เขียน นายพฤหัส บุญมาตา

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 4 ประเภท คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานขยะ และพลังงานแสงอาทิตย์ และจัดทำเป็นแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน จากการดำเนินงานวิจัยพบว่า พลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน) มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจำนวน 6 แหล่ง แหล่งน้ำพุร้อนเมืองแปงมีศักยภาพมากที่สุด คือ 146 kW_e ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 2.33 Baht/kWh ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของทั้ง 6 แหล่งรวม 291 kW_e ปริมาณการผลิต 2,448.88 MWh/y พลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า 3 ชนิด คือ ชีวมวลจากข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และพืชตระกูลถั่ว มีปริมาณชีวมวลรวม 115,798 Ton/y ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 5,433 kW_e ปริมาณการผลิต 22,817.21 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 4.30-4.32 Baht/kWh พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน มีศักยภาพในการนำผลิตไฟฟ้าจากขยะของทั้ง 7 อำเภอในจังหวัดแม่ฮ่องสอนรวม 48,383.47 Ton/y ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 1,822 kW_e ปริมาณการผลิต 15,304.27 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 2.25-2.35 Baht/kWh สำหรับกรณีของพลังงานแสงอาทิตย์ ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของจังหวัดแม่ฮ่องสอนอยู่ที่ 465.08 W/m^2 เมื่อนำมาผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 12 kW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 33.75 MWh/y มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 23.40 Baht/kWh และเมื่อนำข้อมูลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนข้างต้นมาจัดทำแผนยุทศาสตร์ด้านพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ แผนระยะสั้น (น้อยกว่า 2 ปี) ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (เมืองแปงและหนองแห้ง) พลังงานชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่ว พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากขยะที่เหลือในพื้นที่ 5 อำเภอ (เมือง แม่สะเรียง แม่ลาน้อย ปาย สบเมย) รวมศักยภาพการผลิต 4,028 kW_e ลดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานฟอสซิลลงได้ 19.24% แผนระยะกลาง (2-5 ปี) ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (ท่าปายและผาบ่อง) พลังงานชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากขยะที่เหลือในพื้นที่ 2 อำเภอ (ปางมะผ้า ขุนยวม) พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน

จากการนำขยะที่ใช้ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิงในพื้นที่ 2 อำเภอ (เมือง แม่สะเรียง) รวมแล้วแผนระยะกลางมีศักยภาพการผลิต 1,836 kW_e ลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าลงได้ 9.22% แผนระยะยาว (มากกว่า 5 ปี) ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (โป่งปะและแม่อุมลองหลวง) พลังงานชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากการนำขยะที่ใช้ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิงในพื้นที่ 5 อำเภอ (แม่ลาน้อย สบเมย ปาย ขุนยวม ปางมะผ้า) รวมแล้วแผนระยะยาวมีศักยภาพการผลิต 1,694 kW_e เพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าลงได้ 8.09% แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้ง 3 ระยะ รวมแล้วมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 7,558 kW_e สามารถลดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานฟอสซิลลงได้ 40,604.11 MWh/y หรือ 36.54%

Title	STRATEGY ENERGY PLANNING FROM THE ORGANIC RANKINE CYCLE RENEWABLE ENERGY POWER PLANT OF MAEHONGSON PROVINCE
Author	Mr.Paruehat Boonmata
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisor Committee Chairperson	Associate Professor Dr.Nattaporn Chaiyat

ABSTRACT

This research studies the strategy energy planning of potential generation of electricity by organic Rankine cycle (ORC) from renewable energy of geothermal energy, biomass, municipal waste and solar energy in Maehongson province. From study results, high potential geothermal energy resources were found in 6 hot springs, which total electricity potential and power generation were 291 kW_e and 2,448.88 MWh/y, respectively. Mong Pang hot spring showed the highest potential energy at 146 kW_e of electricity capacity. Levelzied electricity cost (LEC) of geothermal potential was 2.33 Baht/kWh. In case of biomass energy, 3 types of local biomass, rice, maize and bean were studied. The amount of biomass energy at around 115,798 Ton/y was found in Maehongson, which could be converted to power at 22,817.21 MWh/y from the ORC power plant of 5,433 kW_e. The biomass LEC ranged between 4.30-4.32 Baht/kWh. The ORC-municipal waste electricity generation potential of 7 districts was 1,822 kW_e, power was produced at 15,304.27 MWh/y from the 48,383.47 Ton/y of local waste. The LEC from waste to power was between of 2.25-2.35 Baht/kWh. In case of solar energy, the 12 kW_e ORC system was used to produce electricity from solar heat. The ORC-solar power plant generated power at 33.75 MWh/y and the LEC was 23.40 Baht/kWh. When the above results of electricity generation potential from renewable energy were used to analyze the strategy energy planning of Maehongson 3 plans were presented. First plan was a short term planning (lower than 2 y), with biomass from maize and bean, 2 hot spring resources

at Mong Pang and Nong Hang and municipal waste from 5 districts (Mueang, Mae Sariang, Mae La Noi, Pai and Sop Moei) were used to produce electricity from renewable energy at capacity of 4,028 kW_e and reduce electricity from fossil energy at 19.24%. For a middle plan (2-5 y), 50% biomass from rice in Maehongson province, Tar Pai and Pha Bong hot springs and waste fuel from 4 districts of Mueang, Mae Sariang, Pang Mapha and Khun Yuam were selected for the 1,836 kW_e ORC power plant to decrease the consumed rate of electricity at 9.22%. For the long term planning (5-10 y), 2 hot springs of Pongpa and Maeumlongrong, 50% biomass from rice and municipal waste from Mae La Noi, Pai, Sop Moei, Khun Yuam and Pang Mapha at electricity generation of 1,694 kW_e and decreasing electricity at 8.09%. The overall power production of the 3 phases strategy energy planning was 7,558 kW_e, whereby the electricity consumption rate from fossil fuel could be reduced 40,604.11 MWh/y or 36.54%.

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกด้าน รวมทั้งการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบการค้นคว้าอิสระจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล และ อาจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจโครงร่างการค้นคว้าอิสระ และกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ อีกทั้งยังเป็นอาจารย์ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เขียนในหลาย ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ คุณครูทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน แนะนำและตักเตือนผู้เขียนจนมีวันนี้

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณทุนการศึกษาจากกองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียมที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและการวิจัย

พฤหัส บุญมาตา

พฤษภาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
ABSTRACT	จ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฑ
อักษรย่อ และสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
ขอบเขตการศึกษา	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	4
งบประมาณ	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	6
ดุลยภาพพลังงาน	6
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	8
พลังงานความร้อนใต้พิภพ	11
พลังงานความร้อนชีวมวล	12
พลังงานขยะ	15
พลังงานแสงอาทิตย์	17
การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	19
การตรวจสอบเอกสาร	20
บทที่ 3 วิธีและขั้นตอนการดำเนินงาน	30
การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	31
พลังงานความร้อนใต้พิภพ	31
พลังงานชีวมวล	31
พลังงานขยะ	31

พลังงานแสงอาทิตย์ 32
การประเมินศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 32
การประเมินพลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน) 32
การประเมินพลังงานชีวมวล (ชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม) 32
การประเมินพลังงานขยะ (ขยะมูลฝอยในชุมชน) 33
การประเมินพลังงานแสงอาทิตย์ 36
การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 36
โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน 37
โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม 41
โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน 43
โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ 46
นำผลการประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 49
จัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 49
ผลการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 50
ข้อมูลพลังงานความร้อนใต้พิภพ 50
ข้อมูลพลังงานชีวมวล 51
ข้อมูลพลังงานขยะ 52
ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ 56
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล 58
ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 58
ผลการประเมินศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ 58
ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวล (ชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม) 59
ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงานขยะ (ขยะมูลมูลฝอยในชุมชน) 61
ผลการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ 65
ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 68
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน) 68

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานชีวมวลภาคเกษตรกรรม 71
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน 72
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานแสงอาทิตย์ 77
ผลการประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 78
แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 80
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 97
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 97
ข้อเสนอแนะ 98
บรรณานุกรม 99
ภาคผนวก 101
ประวัติผู้วิจัย 122

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	4
2	รายละเอียดค่าใช้จ่าย	5
3	สัดส่วนการเกิดชีวมวลต่อปริมาณผลผลิต	13
4	ค่าความร้อนและความชื้นของชีวมวล	14
5	องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน	16
6	แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลและคัดแยกองค์ประกอบขยะเพื่อหาค่าความร้อน	35
7	ข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน	50
8	ข้อมูลชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม	52
9	ปริมาณขยะในพื้นที่ๆ มีบริการจัดเก็บ	53
10	ปริมาณขยะนอกพื้นที่ๆ มีบริการจัดเก็บ	54
11	ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกบนระนาบเอียงของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เดือนมกราคมหาเดือนมิถุนายน	56
12	ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกบนระนาบเอียงของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เดือนกรกฎาคมหาเดือนธันวาคม	57
13	ศักยภาพแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน	58
14	แหล่งน้ำพุร้อนที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า	59
15	ศักยภาพชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	60
16	ศักยภาพชีวมวลจากข้าวที่ 50% และ 100% ของปริมาณทั้งหมด	61
17	ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลขยะของตลาดสด และโรงเรียน	62
18	ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลขยะของศาลากลางจังหวัด และชุมชน	62
19	ค่าความร้อนขยะมูลฝอยแต่ละประเภท	63
20	ศักยภาพพลังงานความร้อนขยะมูลฝอยของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	64
21	ศักยภาพพลังงานความร้อน กรณีนำขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง	65
22	ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	66
23	ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำพุร้อนจังหวัดแม่ฮ่องสอน	69

ตารางที่ หน้า

24 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 69

25 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 70

26 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 71

27 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 72

28 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 72

29 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 73

30 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยในชุมชน กรณีนำขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง 73

31 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (ขยะที่เหลือ) 74

32 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (นำกลับมาเป็นเชื้อเพลิง) 75

33 วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (ขยะที่เหลือ) 76

34 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (นำกลับมาเป็นเชื้อเพลิง) 77

35 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 77

36 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 78

37 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 78

38 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอนจากแหล่งพลังงานเดิม 79

39 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอนร่วมกับแหล่งพลังงานทดแทน 79

40 แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 81

41 แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม 83

ตารางที่		หน้า
42	แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน	85
43	แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ดุลยภาพพลังงาน	7
2	การแปลงหน่วย	8
3	แผนภาพของระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	9
4	แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปี แสดงกระบวนการต่าง ๆ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	9
5	ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	17
6	จากแผน 3 ด้าน รวมบูรณาการเป็นแผน 5 ด้านครบทุกมิติ	21
7	รายละเอียดของแผนและผลกระทบแต่ละด้าน	22
8	สัดส่วนการผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทน	23
9	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยจากแหล่งต่าง ๆ ของแผน PDP2015	24
10	สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง	25
11	วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดเล็ก	26
12	รายละเอียดการเก็บข้อมูลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และตัวแปรหลัก	27
13	เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (ORC)	28
14	อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานธรรมชาติ	29
15	อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ	29
16	แผนผังวิธีและขั้นตอนการวิจัย	30
17	ขั้นตอนการหาสัดส่วนน้ำหนักและค่าความร้อนของขยะ	34
18	เครื่องชั่งละเอียด (CDR-30) พิกัดกำลัง 30 kg	35
19	เทขยะลงในภาชนะและชั่งน้ำหนัก	36
20	แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน	37
21	แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน	39
22	แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม	41
23	แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม	42
24	แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน	44

ภาพที่		หน้า
25	แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน	45
26	แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์	47
27	แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์	48
28	ค่ารังสีอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนในเดือนสิงหาคม	66
29	ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	67
30	กราฟแสดงสัดส่วนสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอนจาก	80
31	การวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำพุร้อน	82
32	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำพุร้อนกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	82
33	กราฟแสดงการวางแผนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม	84
34	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลภาคเกษตรกรรมกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	84
35	กราฟแสดงการวางแผนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	86
36	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยในชุมชนกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	87
37	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	88
38	การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามแผนยุทธศาสตร์พลังงาน	96

อักษรย่อ และสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
B	ผลตอบแทนต่อปี	Baht/y
Cp	ความจุความร้อน	kJ/kg·K
EC	อัตรารับซื้อไฟฟ้าต่อหน่วย	Baht/kWh
h	เอนทัลปี	kJ/kg
Inv	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น	Baht
LEC	ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	Baht/kWh
M	ปริมาณ	kg
$\dot{m}$	อัตราการไหล	kg/s
n	อายุการใช้งานของระบบ	y
P	ความดัน	kPa
PB	ระยะเวลาคืนทุน	y
PEC	ค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี	Baht/y
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW
r	อัตราดอกเบี้ย	%
T	อุณหภูมิ	°C
t	เวลาการทำงานต่อปี	h/y
W	ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้า	kW_e
Z	มูลค่าการลงทุนโครงการ	Baht
ตัวกรีก	**ความหมาย**	**หน่วย**
η	ประสิทธิภาพ	%
ε	ประสิทธิผล	
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
ν	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
ตัวห้อย	**ความหมาย**	
B	หม้อต้ม	
BM	ชีวมวล	
C	เครื่องควบแน่น	

e	ไฟฟ้า
Fuel	เชื้อเพลิง
G	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
HS	น้ำพุร้อน
HW	น้ำร้อน
H	สูง
L	ต่ำ
MSW	ขยะมูลฝอยชุมชน
OM	การบำรุงรักษา
ORC	วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
P	ปั๊มสารทำงาน
ref	สารทำงาน
Tur	กังหัน
Wk	การทำงาน

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มา

พลังงาน ถือได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน และมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อโลกมีการพัฒนามากยิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบันพลังงานเปลี่ยนไปเป็นแหล่งพลังงานต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตมากยิ่งขึ้น เพื่อพัฒนาศักยภาพในการผลิต ต้นทุน ความคุ้มค่า ความเหมาะสมในการพัฒนา การใช้งานของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องศักยภาพและการใช้งาน และที่สำคัญ คือ ด้านความมั่นคงของพลังงานสิ้นเปลืองเริ่มมีปริมาณลดลง จึงมีความพยายามปลดตนเองออกจากการใช้พลังงานสิ้นเปลือง และเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในแต่ละประเทศ (สำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน, 2557) โดยเฉพาะประเทศมหาอำนาจ และกลุ่มประเทศยุโรป ได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์ในด้านพลังงานและมีการปรับปรุงให้เหมาะสม เพื่อให้เท่าทันกับสภาพการณ์ในปัจจุบันและในอนาคตอย่างต่อเนื่อง โดยในกลุ่มประเทศยุโรป ได้มีการปรับปรุงยุทธศาสตร์ด้านพลังงานครั้งล่าสุดในปี ค.ศ.2010 ซึ่งเป็นยุทธศาสตร์ที่จะใช้สำหรับปี ค.ศ.2011-2020 และมีเป้าหมายในระยะยาวจนถึงปี ค.ศ.2050 ส่วนหนึ่งก็เพื่อปลดเปลื้องพันธนาการของกลุ่มประเทศตนเองออกจากการใช้งานพลังงานสิ้นเปลือง และเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนจนถึง 100% (European commission, 2010) สำหรับประเทศไทยนั้น กระทรวงพลังงาน คือ หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบในการกำหนดยุทธศาสตร์ด้านพลังงานของประเทศ (กระทรวงพลังงาน, 2556) ซึ่งประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกัน แต่อาจจะมีในปริมาณค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ บางครั้งวิกฤตการณ์ของโลกอาจจะทำให้ประเทศไทยได้รับอิทธิพลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้เพราะประเทศไทยยังต้องมีการสั่งน้ำมันเข้าเป็นจำนวนมาก กระทรวงพลังงานจึงได้กำหนดแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงาน ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหาด้านพลังงานที่เกิดขึ้น เพื่อสร้างเสถียรภาพด้านพลังงานของประเทศ ให้มีพอเพียงต่อความต้องการ และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ โดยมีวิสัยทัศน์กระทรวงพลังงาน “มุ่งบริหารพลังงานอย่างยั่งยืน ให้ประเทศชาติและประชาชนชาวไทย มีพลังงานใช้อย่างพอเพียง”

ในส่วนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นจังหวัดชายแดนตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศ ซึ่งห่างจากกรุงเทพมหานครมากที่สุดในภาคเหนือด้วยระยะทางประมาณ 924 km โดยทั่วไปเป็นพื้นที่ภูเขา และที่ราบระหว่างหุบเขา มีความสูงตั้งแต่ 100-2000 m ด้วยลักษณะอากาศที่เด่นประการหนึ่งของจังหวัดแม่ฮ่องสอน คือ มีหมอกปกคลุมทั้งปี จนได้รับฉายาว่า “หมอกสามฤดู”

สาเหตุเนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศเป็นหุบเขาและภูเขา จึงมีหมอกควันปกคลุมในบริเวณหุบเขาในฤดูหนาว ในฤดูฝนจะมีหมอกเมฆปกคลุมโดยเฉพาะตามไหลเขา และในช่วงฤดูร้อนจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยฉับพลัน ผสมกับควันไฟป่าและควันไฟจากการเผาในฤดูแล้ง ส่งผลทำให้สภาพภูมิอากาศในช่วงฤดูร้อน มีปริมาณฝุ่นละอองในอากาศสะสมสูง ทำให้เกิดสภาพฟ้าหลัว ทัศนะวิสัยไม่ชัดเจน จังหวัดแม่ฮ่องสอน ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2556 พบว่า ค่าฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กว่า 10 μm ในอากาศมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน 120 $\mu g/m^3$ ส่งผลต่อสุขภาพของประชากรในจังหวัด ประกอบกับในช่วงฤดูร้อนจะเกิดปัญหาไฟฟ้าไม่เพียงพอ เนื่องด้วยจังหวัดแม่ฮ่องสอนรับกระแสไฟจากระบบผลิตภายในจังหวัดจำนวน 7 แหล่ง กำลังผลิตไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 18,100 kW และระบบจำหน่าย 22 kV จากสถานีไฟฟ้า 3 แห่งได้แก่ สถานีไฟฟ้าฮอด สถานีไฟฟ้าจอมทอง และสถานีไฟฟ้าแม่แตง จ.เชียงใหม่ นำมาจ่ายไฟในพื้นที่ 7 อำเภอ ซึ่งในปัจจุบันมีการจ่ายไฟในระบบ 115 kV จากสถานีไฟฟ้าแม่แตงผ่านอำเภอปาย ไปถึงอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จึงทำให้ระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่ก็ยังไม่เพียงพอและทั่วถึงกับการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่อำเภออื่น ๆ ที่เหลือของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งการใช้พลังงานของประชาชนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ไม่ว่าจะเป็น ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซหุงต้ม ส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากภายนอก จะมีไฟฟ้าเท่านั้นที่สามารถผลิตได้เองในจังหวัด เนื่องด้วยมีทรัพยากรธรรมชาติที่ค่อนข้างสมบูรณ์ โดยผลิตจาก โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (สำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน, 2557)

จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่าปัจจุบันจังหวัดแม่ฮ่องสอนยังต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากภายนอก เพราะปริมาณการผลิตในจังหวัดยังไม่เพียงพอ และเห็นว่าจังหวัดแม่ฮ่องสอนยังมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนในจังหวัดได้ จึงควรทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อประเมินศักยภาพในการเพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้าและนำไปใช้ในการวางแผนยุทธศาสตร์พลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยประเมินศักยภาพจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ หรือ Organic Rankine Cycle (ORC) เป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของวัฏจักรแรงคิน หรือ Rankine cycle ซึ่งเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้สารทำงานในระบบ คือ น้ำ โดยอาศัยคุณสมบัติการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอเมื่อได้รับพลังงานความร้อน และนำไอน้ำความดันสูงดังกล่าวไปใช้ขับกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จะใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ หรือมีจุดเดือดต่ำ (Boiling point) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำ ทำให้ระบบ ORC สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ โดยใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 100 °C) คือ ใช้สารที่มีจุดเดือดต่ำแต่มีความดันไอสูง ทำให้ใช้

ปริมาณเชื้อเพลิง หรือแหล่งความร้อนน้อยกว่าเทคโนโลยีเดิม (นัฐพร, 2558) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำ และมีระยะเวลาการคืนทุนน้อยตามไปด้วย ซึ่งพิจารณาแล้ว ORC เป็นเทคโนโลยีที่มีความน่าสนใจและมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับการประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
2. เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน
3. เพื่อจัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน อันประกอบไปด้วย พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานขยะ และพลังงานแสงอาทิตย์
2. ระบบผลิตไฟฟ้า คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
3. แผนยุทธศาสตร์พลังงานพิจารณาเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
2. ได้แนวทางการนำพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนมาผลิตไฟฟ้า
3. ได้แผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนด้านการผลิตไฟฟ้าในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลา (Month)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์												
2. ศึกษาแผนยุทธศาสตร์พลังงาน												
3. รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน												
4. ประเมินศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน												
5. เทียบเคียงกับโรงไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในปัจจุบัน เพื่อประเมินศักยภาพด้านพลังงานทดแทน ประเภทต่าง ๆ ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน												
6. นำผลการประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน												
7. จัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน 3 ระยะ (เรียงลำดับตามศักยภาพ) คือ ระยะสั้น (น้อยกว่า 2 y) ระยะกลาง (2-5 y) ระยะยาว (มากกว่า 5 y)												
8. จัดทำบทความการค้นคว้าอิสระ และเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์												

งบประมาณ

ตารางที่ 2 รายละเอียดค่าใช้จ่าย

หมวดรายจ่าย	จำนวน (Baht)
1. หมวดค่าใช้สอย	
- ค่าพาหนะ	10,000
- ค่าถ่ายเอกสารตลอดทั้งโครงการ	5,000
- ค่าพิมพ์	5,000
- ค่าจัดทำรายงานการค้นคว้าอิสระฉบับสมบูรณ์	5,000
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	10,000
2 .หมวดค่าวัสดุ	
- ค่าวัสดุสำนักงาน/เบ็ดเตล็ด	5,000
รวมทั้งสิ้น (สี่หมื่นบาทถ้วน)	40,000

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการค้นคว้าอิสระประกอบไปด้วย 7 ทฤษฎี คือ ดุลยภาพพลังงาน วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานความร้อนชีวมวล พลังงานขยะ พลังงานแสงอาทิตย์ การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ และการตรวจสอบเอกสาร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดุลยภาพพลังงาน

ดุลยภาพพลังงาน คือ เครื่องมือชี้วัดสถานการณ์พลังงานของพื้นที่ที่ทำการศึกษา เช่น จังหวัด และประเทศ เป็นต้น โดยองค์ประกอบหลักของตารางดุลยภาพพลังงานประกอบไปด้วย การจัดหาพลังงาน การแปรรูปพลังงาน และการใช้พลังงาน ของพลังงานเชิงพาณิชย์และพลังงานหมุนเวียน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) ดังแสดงในภาพที่ 1

ทั้งนี้นิยามศัพท์ของดุลยภาพพลังงานในตารางที่ 3 มีดังต่อไปนี้

1. การจัดหาพลังงาน ประกอบด้วย การผลิต การนำเข้าสุทธิ (ปริมาณการนำเข้า-ปริมาณการส่งออก) และส่วนเปลี่ยนแปลงของสต๊อก (+/- สต๊อก)

2. การแปรรูปพลังงาน (Secondary energy) คือ พลังงานที่เกิดจากการนำพลังงานขั้นต้นผ่านกระบวนการแปรรูปให้เปลี่ยนสภาพ เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซโรงไฟฟ้า และการแปรรูปอื่น ๆ

3. การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (Final energy consumption) คือ การนำพลังงานที่แปรรูปแล้วไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ เช่น การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย การขนส่ง เป็นต้น

4. พลังงานเชิงพาณิชย์ (Commercial energy) คือ พลังงานฟอสซิล มีปริมาณการใช้งานมากที่สุด ประกอบด้วย ถ่านหิน ปิโตรเลียม น้ำมันสำเร็จรูป และไฟฟ้า

5. พลังงานทดแทน (Renewable energy) คือ พลังงานที่มิใช่พลังงานฟอสซิล มีปริมาณการใช้งานน้อยกว่าพลังงานเชิงพาณิชย์ ประกอบด้วย

5.1 พลังงานหมุนเวียน ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ไฟฟ้าพลังน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง และพลังงานคลื่น

5.2 พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมประกอบด้วย ฟืน ถ่าน แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ใช้ในบ้านอยู่อาศัย และอุตสาหกรรมในครัวเรือน

5.3 เชื้อเพลิงชีวภาพประกอบด้วย เอทานอล (ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน)และไบโอดีเซล (ใช้ผสมในน้ำมันดีเซล)

5.4 พลังงานอื่น ๆ

ประเภท / การจัดหาและการใช้	พลังงานเชิงพาณิชย์				พลังงานทดแทน			
ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย	ค่าการแปลงหน่วย
พลังงานขั้นต้น	ถ่านหิน	ปิโตรเลียม	น้ำมันสำเร็จรูป	ไฟฟ้า	พลังงานหมุนเวียน	พลังงานหมุนเวียนตั้งเดิม	เชื้อเพลิงชีวภาพ	พลังงานอื่นๆ
การแปรรูปพลังงาน	-แอนทราไซต์ -บิทูมินัส -ถ่านโค้ก -ถ่านอัดเศษ -ลิกไนต์	-น้ำมันดิบ -คอนเดนเสท -ก๊าซที่ผลิตได้ -ก๊าซที่ส่งขาย -ก๊าซไซลีน ธรรมชาติ	-ก๊าซปิโตรเลียมเหลว -เบนซิน -น้ำมันเครื่องบิน -น้ำมันก๊าด -น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว -น้ำมันเตา -อื่นๆ		-แสงอาทิตย์ (ความร้อน) -แสงอาทิตย์ -ลม -น้ำ -ความร้อนใต้พิภพ -ชีวมวล -ขยะ -ก๊าซชีวภาพ	-ฟืน -ถ่าน -แกลบ -วัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตร	-เอทานอล -ไบโอดีเซล	-แบล็คลิเคอ และก๊าซเหลือใช้ จากกระบวนการผลิต
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย								

ภาพที่ 1 ดุลยภาพพลังงาน

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

ในตารางดุลยภาพพลังงาน มีการบ่งบอกตัวเลขด้านพลังงานที่มีหน่วย คือหน่วย ktoe (kilo ton oil equivalents) และค่าดังกล่าวประกอบด้วย 4 รูปแบบ คือ

1. ค่าปกติ (ค่าเป็นบวก) แสดงค่า ktoe ที่นับได้ชัดเจน
2. ค่าติดลบ (ค่าในวงเล็บ) แสดงค่า ktoe ที่นับได้ชัดเจนแต่มีค่าติดลบ
3. ค่าเป็นศูนย์ (เลขศูนย์) แสดงค่า ktoe ที่มีค่าน้อยมาก
4. ไม่มีค่า (ยัติภาค หรือ -) ไม่มีค่า

ค่าพลังงานประเภทต่างๆ ที่มีหน่วย ktoe มาจากการแปลงหน่วยทางกายภาพ โดยนำค่าการแปลงหน่วยไปคูณ ซึ่งตัวอย่างค่าการแปลงหน่วยดังกล่าวแสดงในภาพที่ 2

ประเภท / การจัดหาและการใช้	พลังงานเชิงพาณิชย์			
ค่าการแปลงหน่วย	0.62419	0.86000	0.63014	0.08521
	ถ่านหิน	ปิโตรเลียม	น้ำมันสำเร็จรูป	ไฟฟ้า
พลังงานขั้นต้น	-บิทูมินัส	-น้ำมันดิบ	-ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	
	4,116	51,104	2,764	909

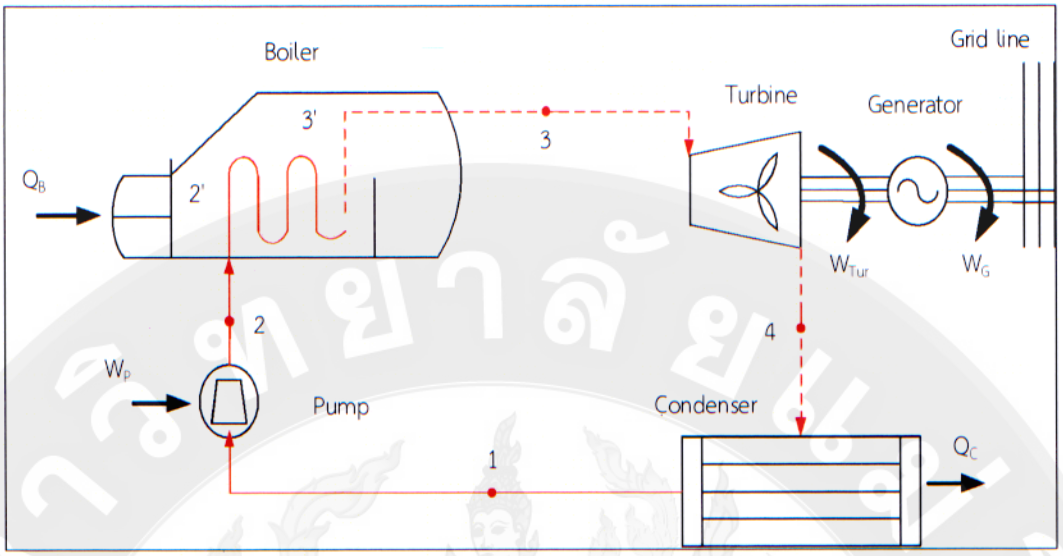
ภาพที่ 2 การแปลงหน่วย

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

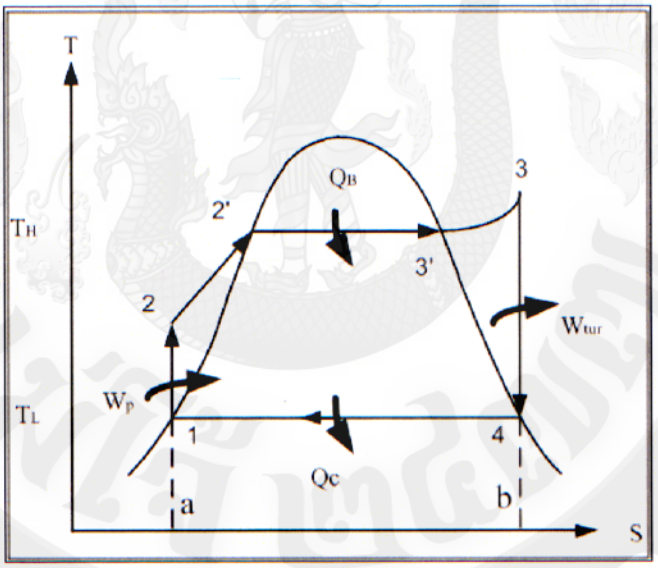
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของระบบแรงคิน (Rankine cycle) แต่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูงสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำหรือมีจุดเดือดต่ำ (Boiling point) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในระบบแรงคินทั่วไป ทำให้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 100 °C) (นัฐพร, 2559)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ดังแสดงในภาพที่ 3 มีหลักการทำงาน คือ ของไหลที่ผ่านกระบวนการควบแน่นจนสมบูรณ์ในเครื่องควบแน่น จะควบแน่นเป็นของเหลวอิ่มตัว (จุดที่ 1) และของไหลจะถูกอัดตัวโดยปั๊ม (Pump) ภายใต้กระบวนการไอเซนทรอปิก จนกระทั่งมีความดันสูงขึ้น (P_H) (จุดที่ 2) จะเท่ากับความดันภายในหม้อต้ม (Boiler) จากนั้นของเหลวจะถูกให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่ (P_2=$P_{2'}$) จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 2') กลายเป็นไออิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 3') และกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (จุดที่ 3) ในที่สุด ไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่กังหัน (Turbine) ขยายตัวแบบไอเซนทรอปิก และผลิตงานโดยการขับเพลาที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้ความดันและอุณหภูมิของไอสารทำงานลดลง (P_L) (จุดที่ 4) ที่ทางออกของกังหันซึ่งอยู่ในสถานะของผสม (ไอและของเหลว) จากนั้นจะไหลไปควบแน่นยังเครื่องควบแน่นภายใต้ความดันคงที่ (P_4=P_1) กลายเป็นของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 1) อีกครั้ง (นัฐพร, 2559)



ภาพที่ 3 แผนภาพของระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์



ภาพที่ 4 แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปี แสดงกระบวนการต่าง ๆ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
ที่มา : นัฐพร (2559)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 ดังต่อไปนี้

กระบวนการ 1-2 คือ กระบวนการอัดตัวของเหลวแบบไอเซนทรอปิกในปั๊ม

กระบวนการ 2-3 คือ กระบวนการให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่ในหม้อต้ม

กระบวนการ 3-4 คือ กระบวนการขยายตัวของก๊าซแบบไอเซนทรอปิกในกังหัน

กระบวนการ 4-1 คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนทิ้งออกจากก๊าซภายใต้ความดันคงที่ในเครื่อง

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประกอบไปด้วย 4 อุปกรณ์หลัก คือ ปั๊มสารทำงาน หม้อต้ม กังหัน และเครื่องควบแน่น ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สมการทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พิจารณาที่สภาวะคงตัว (Steady state steady flow, SSSF) ให้การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของงาน และความร้อนจึงตัดทิ้งได้ พลังงานแต่ละเทอมพิจารณาเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยมวล จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้ (นัฐพร, 2559)

$q - w = \Delta h$ สมการที่ 1

หม้อต้ม (กระบวนการ 2-3) ไม่มีงาน w = 0 จะได้ว่า

$q_B = h_3 - h_2$ สมการที่ 2

กังหัน (กระบวนการ 3-4) ไม่มีความร้อน q = 0 จะได้ว่า

$w_{Tur} = h_3 - h_4$ สมการที่ 3

เครื่องควบแน่น (กระบวนการ 4-1) ไม่มีงาน w = 0 และคิด q_C มีเครื่องหมายบวก จะได้ว่า

$q_C = h_4 - h_1$ สมการที่ 4

ปั๊ม (กระบวนการ 1-2) ไม่มีความร้อน q = 0 และคิด w_P มีเครื่องหมายบวก จะได้ว่า

$w_P = h_1 - h_2$ สมการที่ 5

พิจารณาปั๊มในสภาพของเหลว โดยสมมติให้ของของเหลวนั้นเป็นของไหลยุบตัวไม่ได้ (Incompressible fluid) กล่าวคือ ของไหลจะมีความหนาแน่นหรือปริมาตรจำเพาะเป็นค่าคงที่ตลอดกระบวนการ ซึ่งจะทำให้ของไหลมีพลังงานคงตัว (Δh) ดังนั้นในกรณีการอัดตัวแบบไอเซนทรอปิก จะได้ว่า

$h_1 - h_2 = \nu_1 (P_H - P_L)$ สมการที่ 6

ดังนั้น

$w_P = \nu_1 (P_H - P_L)$ สมการที่ 7

โดยที่ P_H ความดันสูง (kPa)

P_L ความดันต่ำ (kPa)

ν_1 ปริมาตรจำเพาะของของไหลในสภาพของเหลวอิ่มตัวที่จุดที่ 1 (m^3/kg)

งานสุทธิของวัฏจักร จะได้ว่า

$w_{net} = q_i - q_o = w_{Tur} - w_P$ สมการที่ 8

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญ ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักร ดังนี้

ความสารมารถในการให้ความร้อนสุทธิแก่หม้อต้ม

$Q_{HW} = \dot{m}_{HW}\, Cp_{bulk,HW} (T_{HW,i} - T_{HW,o})$ สมการที่ 9

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม จะได้ว่า

$Q_B = \varepsilon_{HX} Q_{HW}$ สมการที่ 10

$Q_B = \dot{m}_{ref} (h_3 - h_2)$ สมการที่ 11

โดยที่ ε_{HX} ประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness)

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น จะได้ว่า

$Q_C = \dot{m}_{ref} (h_4 - h_1)$ สมการที่ 12

พิจารณางานที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน จะได้ว่า

$W_P = \dot{m}_{ref} w_P$ สมการที่ 13

$W_P = [(\dot{m}_{ref} \nu_1)(P_H - P_L)] / \eta_{s,P}$ สมการที่ 14

พิจารณางานที่ได้จากกังหัน จะได้ว่า

$W_{Tur,th} = \dot{m}_{ref} (h_3 - h_4) \eta_{s,Tur}$ สมการที่ 15

$W_{Tur,e} = [\dot{m}_{ref} (h_3 - h_4)] \eta_G$ สมการที่ 16

ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จะได้ว่า

$\eta_{ORC} = [(W_{Tur,e} - W_P) / Q_B]$ สมการที่ 17

พลังงานความร้อนใต้พิภพ

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากน้ำพุร้อน พิจารณาจากอุณหภูมิน้ำร้อนผิวดินเป็นตัวแปรสำคัญ แหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิมากกว่า 85 °C จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ทั้งนี้การรายงานนิยมใช้สมการ Quartz (Maximum steam loss) ในการประเมินอุณหภูมิแหล่งกักเก็บพลังงานความร้อนใต้พิภพ (T_{GS}) เนื่องจากให้ค่าใกล้เคียงกับผลการสำรวจมากที่สุด (นัฐพร, 2558)

การคำนวณหาอุณหภูมิจากแหล่งกักเก็บ ใช้สมการในการคำนวณ คือ

Quartz (Maximum steam loss)

$$T_{GS} = \frac{1,522}{5.75 - \log(SiO_2)} - 273.15$$ สมการที่ 18

เมื่อ T_{GS} คือ อุณหภูมิแหล่งกักเก็บ (°C)

SiO_2 คือ ค่าความเข้มข้นของซิลิกาที่ละลายอยู่ในน้ำพุร้อน (ppm)

การคำนวณหาอัตราการไหลจากแหล่งกักเก็บ การขุดเจาะน้ำพุร้อนจะทำให้ได้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และอัตราการไหลที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 10 เท่า ในที่นี้คือ 10 เท่าของอัตราการไหลน้ำพุร้อน

ที่ผิวดิน และคิดที่ 75% ของอัตราการไหลสูงสุด โดยอ้างอิงจากบ่อน้ำพุร้อน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และบ่อน้ำพุร้อน อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

พลังงานความร้อนชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น

1. แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
2. ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
3. เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
4. กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
5. กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
6. ซังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
7. กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว
8. ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น

ชีวมวล สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโต พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้เป็นแป้งและน้ำตาล กักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราก็จะได้พลังงานออกมา เมื่อนำชีวมวลมาเผาไหม้ เกิดพลังงานความร้อน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย หากมีการใช้ประโยชน์ในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงซึ่งจะไม่เสียต้นทุนค่าขนส่งมากนัก นับเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้ การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก เนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม การพัฒนาโครงการเกี่ยวกับชีวมวลจะสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งและ การมีส่วนร่วมของชุมชนได้อีกด้วย (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559)

ซึ่งสัดส่วนการเกิดชีวมวลต่อปริมาณผลผลิตที่ใช้ประเมินปริมาณการเกิดชีวมวลแต่ละชนิดแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัดส่วนการเกิดชีวมวลต่อปริมาณผลผลิต

ชนิดพืช	ชนิดชีวมวล	สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (ตัน/ตันผลผลิต)
1. ข้าว	1. ฟางข้าว	0.49
	2. แกลบ	0.21
2. อ้อย	3. ใบและยอดอ้อย	0.17
	4. ชานอ้อย	0.28
3. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	5. ยอด ใบและลำต้นข้าวโพด	1.84
	6. ซังข้าวโพด	0.24
4. มันสำปะหลัง	7. เหง้ามันสำปะหลัง	0.2
	8. กากมันสำปะหลัง	0.06
	9. เปลือกมันสำปะหลัง	0.28
5. ปาล์มน้ำมัน	10. ลำต้นปาล์มน้ำมัน	1
	11. ใบและทางปาล์ม	1.41
	12. ทะลายปาล์มเปล่า	0.32
	13. เส้นใยปาล์ม	0.19
	14. กะลาปาล์ม	0.04
6. ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง	15. ยอด ใบและลำต้น	1.177
7. ยางพารา	16. ตอ รากและกิ่งก้านไม้ยางพารา	5 ตันต่อไร่
	17. ปลายไม้ยางพารา	12 ตันต่อไร่
	18. ปีกไม้ยางพารา	12 ตันต่อไร่
	19. ขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา	3 ตันต่อไร่
8. มะพร้าว	20. จั่นและทะลายมะพร้าว	0.29
	21. เปลือกและกาบมะพร้าว	0.33
	22. กะลามะพร้าว	0.25
9. มะม่วงหิมพานต์	23. เปลือกมะม่วงหิมพานต์	0.74

สำหรับค่าความร้อนและความชื้นของเชื้อเพลิงที่ใช้ประเมินศักยภาพแต่ละชนิด แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความร้อนและความชื้นของชีวมวล

ชนิดชีวมวล	ค่าความชื้น(%)	ค่าความร้อน(MJ/kg)
1. ฟางข้าว	10	12.33
2. แกลบ	12	13.52
3. ใบและยอดอ้อย	9.2	15.48
4. ชานอ้อย	50.73	7.37
5. ยอด ใบและลำต้นข้าวโพด	42	9.83
6. ซังข้าวโพด	40	9.62
7. เหง้ามันสำปะหลัง	40	5.49
8. กากมันสำปะหลัง	59.4	1.47
9. เปลือกมันสำปะหลัง	59.4	1.49
10. ลำต้นปาล์มน้ำมัน	48.40	7.54
11. ใบและทางปาล์ม	78	1.76
12. ทะลายปาล์มเปล่า	58.60	7.24
13. เส้นใยปาล์ม	38.50	11.40
14. กะลาปาล์ม	12	16.90
15. ถั่วเขียว ถั่วลิสง	10.93	16.23
16. ตอ รากและกิ่งก้านไม้ยางพารา	55	6.57
17. ปลายไม้ยางพารา	55	6.57
18. ปีกไม้ยางพารา	55	6.57
19. ขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา	55	6.57
20. จั่นและทะลายมะพร้าว	12	15.4
21. เปลือกและกาบมะพร้าว	12	16.23
22. กะลามะพร้าว	12	17.93
23. เปลือกมะม่วงหิมพานต์	6.6	5.49

โดยการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนของชีวมวล สามารถประเมินได้จากสมการดังต่อไปนี้

$Q_{BM} = M_{BM} \times LHV_{BM}$ สมการที่ 19

เมื่อ Q_{BM} คือ ปริมาณความร้อน (MJ)

M_{BM} คือ มวลของชีวมวล (kg)

LHV_{BM} คือ ค่าความร้อนต่ำของชีวมวล (MJ/kg)

พลังงานขยะ

ตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535 ได้ให้ความหมายของคำว่า“ขยะมูลฝอย” หรือ “มูลฝอย” ไว้ว่า หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร เถ้ามูลสัตว์หรือซากสัตว์รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น ในขณะที่ กรมควบคุมมลพิษได้อธิบายไว้ว่า ขยะหรือมูลฝอย (Solid waste) คือ เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัตถุถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ซากสัตว์หรือสิ่งอื่นใด ที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น และหมายความรวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษ หรืออันตรายจากชุมชนหรือครัวเรือน ยกเว้นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของโรงงานซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่ กำหนดไว้ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ขยะ หรือ มูลฝอย หรือมูลฝอยชุมชน เป็นคำที่มีความหมายเดียวกัน โดยหมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัตถุถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ซากสัตว์หรือสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น รวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษ หรืออันตรายจากชุมชนหรือครัวเรือน ยกเว้นมูลฝอย ที่มีลักษณะและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน (ปิยชาติ, 2557)

การคำนวณหาค่าความร้อนของขยะมูลฝอยใช้สูตรของ Dulong ในการคำนวณ คือ

Higher heating value (HHV) = 80.60C+339.10(H-O/8) +22.20S+5.56N สมการที่ 20

เมื่อ HHV คือ ค่าความร้อนสูง (kcal/kg)

C คือ คาร์บอน (%)

H คือ ไฮโดรเจน (%)

O คือ ออกซิเจน (%)

S คือ ซัลเฟอร์ (%)

N คือ ไนโตรเจน (%)

การหาค่าความร้อนต่ำของขยะใช้สูตรในการคำนวณ คือ

LHV = HHV – 211.19H สมการที่ 21

เมื่อ LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของขยะ (kJ/kg)

HHV คือ ค่าความร้อนสูงของขยะ (kJ/kg)

H คือ องค์ประกอบธาตุของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

ที่มา : นคร (2558)

ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยแต่ละชนิด แสดงรายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน

องค์ประกอบขยะมูลมูลฝอย	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง						
	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Ash (%)	Total (%)
เศษอาหาร ขยะอินทรีย์	48	6.4	32.6	2.6	0.4	10.0	100.0
กระดาษ	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0	100.0
กระดาษลัง กล่องกระดาษ	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0	100.0
พลาสติกประเภทต่างๆ	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0	100.0
ผ้า เศษผ้า	55.0	6.6	31.2	4.6	0.1	2.5	100.0
ยาง	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0	100.0
หนัง	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0	100.0
เศษหญ้า ใบไม้	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5	100.0
เศษไม้	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5	100.0
แก้ว	0.5	0.1	0.4	0.1	-	98.9	100.0
อลูมิเนียม	4.8	0.6	4.5	0.1	-	90.0	100.0
โลหะ	4.8	0.6	4.5	0.1	-	90.5	100.0
ขยะอันตราย	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0	100.0
อื่นๆ	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0	100.0

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

สำหรับการคำนวณหาปริมาณความร้อนของขยะมูลฝอยนั้น สามารถประเมินได้ด้วยวิธีการดังนี้

$$Q_{MSW} = M_{MSW} \times LHV_{MSW}$$ สมการที่ 22

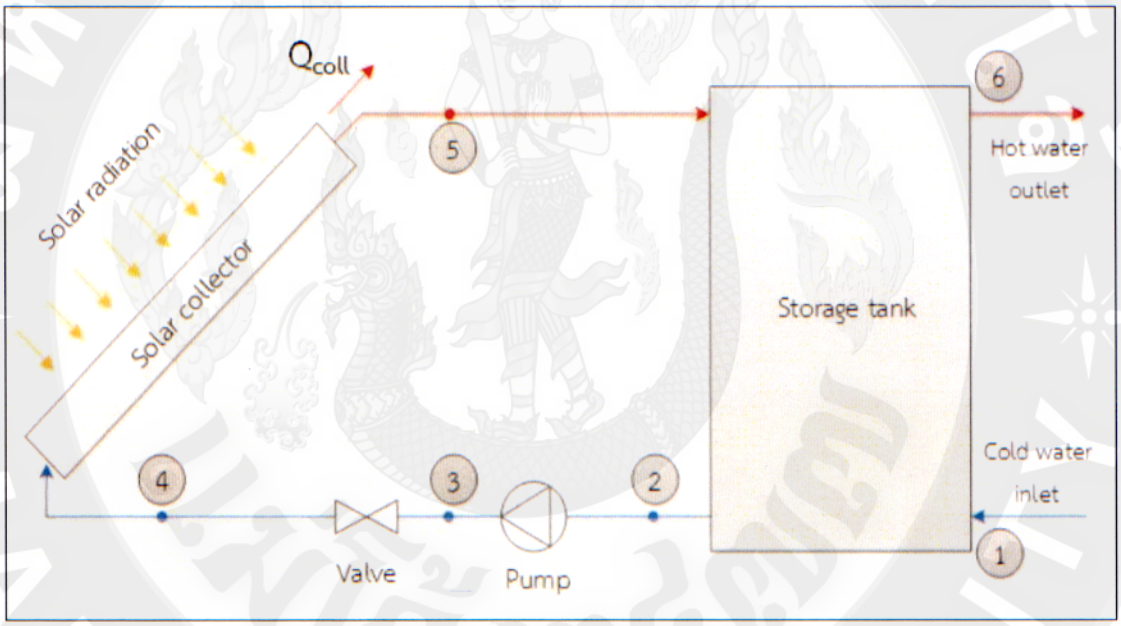
เมื่อ Q_{MSW} คือ ปริมาณความร้อน (MJ)

M_{MSW} คือ มวลของขยะที่เผาไหม้ได้ (kg)

LHV_{MSW} คือ ค่าความร้อนต่ำของขยะ (MJ/kg)

พลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มจากน้ำเย็นเข้าถังเก็บน้ำ จากจุดที่ 1 ออกมายังจุดที่ 2 น้ำที่ถูกปล่อยมาจะผ่านปั๊ม ไปยังจุดที่ 3 ไปที่วาล์ว โดยวาล์วจะเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลที่จะใช้ทดสอบ มายังจุดที่ 4 แล้วเข้าไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อไปรับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นกลายเป็นน้ำร้อน แล้วน้ำร้อนที่ได้จะออกมาทางจุดที่ 5 แล้วกลับเข้าถังเก็บน้ำเหมือนเดิม และการนำน้ำร้อนไปใช้ผ่านออกไปยังจากจุดที่ 6 ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับความเหมาะในการนำมาใช้งาน ทั้งนี้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบทั่วไป และมีการสูญเสียน้อย เหมาะที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมในการผลิตน้ำร้อน (นัฐพร, 2556)

เมื่อพิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สภาวะคงที่ (Steady state) ณ ที่ขณะใด ๆ ค่ารังสีที่ถูกดูดกลืน เท่ากับ ผลรวมของค่าอัตราความร้อนที่สูญเสียจากผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และค่าอัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 24

$$(\tau\alpha)_e I_T A_{coll} = U_L A_{coll}(T_p - T_a) + Q_{coll}$$ สมการที่ 23

โดยที่ $Q_{coll} = \dot{m}_W Cp(T_{f,o} - T_{f,i})$ สมการที่ 24

อัตราความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เขียนได้ดังสมการที่ 25

$$Q_{coll} = (\tau\alpha)_e I_T A_{coll} - U_L A_{coll}(T_p - T_a)$$ สมการที่ 25

ในทางปฏิบัติเนื่องจากมีอุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (T_p) วัดให้ถูกต้องได้ยาก จึงมีการปรับค่าจากสมการที่ 26 โดยได้มีการกำหนดค่า F_R ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat removal factor) เป็นอัตราส่วนความร้อนที่ได้จริงจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อพลังงานความร้อนที่ถูกดึงโดยของไหลในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของอุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($T_{f,i}$) สามารถแสดงในสมการที่ 27 (นัฐพร, 2556)

$$Q_{coll} = A_{coll}[F_R(\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L(T_{f,i} - T_a)]$$ สมการที่ 26

เมื่อ Q_{coll} คือ อัตราความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W)

$\dot{m}_W$ คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg·K)

$T_{f,o}$ คือ อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)

$T_{f,i}$ คือ อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)

$(\tau\alpha)_e$ คือ ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

I_T คือ รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง (W/m^2)

A_{coll} คือ พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

U_L คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($W/m^2 \cdot K$)

T_p คือ อุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)

T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)

การพิจารณาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ในการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ (Collector efficiency, η_{coll}) ดังแสดงในสมการที่ 28

$$\eta_{coll} = Q_{out} / Q_{in} = Q_{coll} / I_T A_{coll} = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L$$ สมการที่ 27

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาว่าการค้นคว้าอิสระที่ทำนี้มีความเหมาะสม และคุ้มค่าต่อการลงทุนด้านการเงินมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน (นัฐพร, 2558)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB) คือ ระยะเวลาผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$PB = Z / B$ สมการที่ 28

$B = EC\ W_{ORC,net}\ t_{Wk}$ สมการที่ 29

เมื่อ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (y)

Z คือ มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)

B คือ ผลมูลค่าตอบแทนต่อปี (Baht/y)

EC คือ อัตรารับซื้อไฟฟ้า (Electricity Cost, EC) (Baht/kWh)

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (kW_e)

t_{Wk} คือ เวลาการทำงานต่อปี (h/y)

สำหรับการใช้พลังงานทดแทนผลิตพลังงานไฟฟ้าสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ การใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี (Production Electricity Cost, PEC) ที่ขึ้นกับชนิดพลังงานทดแทน ดังนั้นในการคิดค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการ ต้องนำค่าใช้จ่ายในการผลิตไปพิจารณาด้วย ดังแสดงในสมการต่อไปนี้ (นัฐพร, 2559)

$B = (EC\ W_{ORC,net}\ t_{Wk}) - PEC$ สมการที่ 30

$B = EC\ W_{ORC,net} - (\dot{C}_{Fuel}\ M_{Fuel}\ t_{Wk}) - \dot{Z}_{OM}$ สมการที่ 31

เมื่อ $\dot{C}_{Fuel}$ คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)

M_{Fuel} คือ ปริมาณเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี (Unit/y)

$\dot{Z}_{OM}$ คือ อัตราค่าการบำรุงรักษาของระบบต่อปี (Baht/y)

อนึ่งการวิเคราะห์อัตรารับซื้อไฟฟ้าในบางครั้ง อาจใช้ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Levelized Electricity Cost, LEC) แทน ซึ่งสามารถประเมินได้จากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ค่าอัตราส่วนลด (Discount rate, r) ค่าดอกเบี้ยของธนาคาร ค่าเงินเฟ้อ และค่าเสียโอกาส เป็นต้น ซึ่งค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจะมีค่าไม่เท่ากันกับอัตรารับซื้อไฟฟ้าเสมอ เนื่องจากการประเมินค่าต้นทุนการ

ผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ไม่พิจารณาระยะเวลาการรับซื้อไฟฟ้าหรือระยะเวลาการคืนทุน ดังนั้นต้องใช้สมการต่อไปนี้ในการวิเคราะห์ค่าต้นทุกการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

$$LEC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PEC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{W_{ORC,net}{}^{t} Wk}{(1+r)^t}}$$ สมการที่ 32

เมื่อ LEC คือ ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)

Inv คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น (Baht)

n คือ อายุการใช้งานของระบบ (y)

r คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

การตรวจสอบเอกสาร

คณะทำงานของกลุ่มประเทศยุโรป ได้มีการประชุมในปี ค.ศ.2010 สรุปผลจากรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานทั้งทางด้านการสำรวจ การสัมภาษณ์ ของทุกกลุ่มเป้าหมายที่มีส่วนได้ส่วนเสีย และศึกษาข้อมูลทุติภูมิเพื่อสรุปผลออกมาเป็นแผนยุทธศาสตร์ ค.ศ.2020 เป็นยุทธศาสตร์ใหม่ด้านพลังงานของกลุ่มประเทศ โดยมีผลตั้งแต่ปี ค.ศ.2011-2020 (European commission, 2010) เนื้อหาหลัก ๆ ก็คือ

1) มีการกำหนดนโยบายทางด้านพลังงานที่เป็นที่ยอมรับ และให้การสนับสนุนอย่างชัดเจนสำหรับโครงการด้านพลังงาน

2) มีการบูรณาการในการทำงานอย่างเป็นรูปธรรม และมีการกำหนดวิธีการ กระบวนการอย่างชัดเจนเพื่อเป้าหมายระยะยาวถึงปี ค.ศ.2050

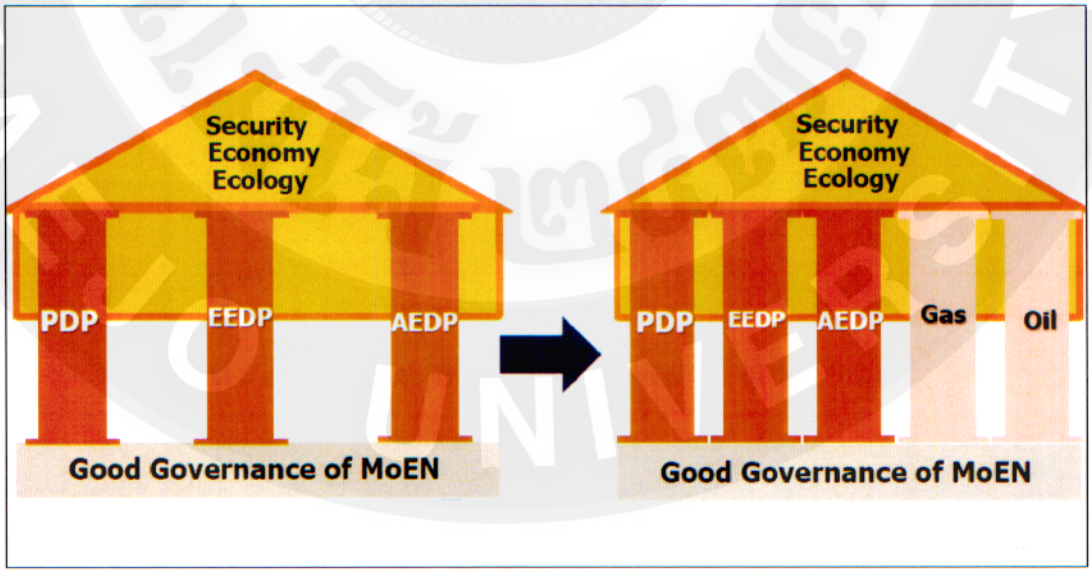
3) มีการกำหนดตัวเลขพื้นที่ที่มีศักยภาพด้านพลังงานในอนาคตไว้อย่างชัดเจน เพื่อสนับสนุนการพัฒนาโดยสอดคล้องกับเทคโนโลยีคาร์บอนต่ำ

ซึ่งจะเห็นได้ว่ากลุ่มประเทศพัฒนาแล้วก็ยังให้ความสำคัญด้านการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงาน ทั้งในด้านนโยบาย การยอมรับของประชาสังคม การบูรณาการในภาพรวม การกำหนดพื้นที่สำหรับการพัฒนา เพื่อการส่งเสริม สนับสนุนเทคโนโลยีและคำนึงถึงสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ

กระทรวงพลังงาน ได้ประกาศยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน (พ.ศ.2557-2561) เนื่องจากมีภารกิจหลักในการจัดหา พัฒนา บริหารจัดการเพื่อสร้างเสถียรภาพด้านพลังงานของประเทศให้มีเพียงพอต่อความต้องการ และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน โดยกำหนดยุทธศาสตร์ เป้าประสงค์ และกลยุทธ์หลัก ในการจัดหาพลังงาน ทั้งไฟฟ้า เชื้อเพลิง รวมถึงพลังงานทดแทน การสร้างความมั่นคง

และสร้างมูลค่าเพิ่มด้านพลังงาน การกระจายความเสี่ยงและผลิตพลังงานภายในประเทศให้มากขึ้น การกำกับดูแลกิจการพลังงานและราคาพลังงาน การควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของสถานบริการ การสะท้อนต้นทุนที่แท้จริงของพลังงาน โดยมีการพัฒนาพลังงานอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสนับสนุนการศึกษาวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมพลังงานทดแทน ส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์พลังงานและผลิตพลังงานทดแทนในชุมชน (กระทรวงพลังงาน, 2556)

กระทรวงพลังงานได้กำหนด "แผนบูรณาการพลังงานระยะยาว พ.ศ.2558-2579" (Thailand Integrated Energy Blueprint : TIEB) ในปี พ.ศ.2557 โดย ทวารัฐ สูตบุตร (2015) ได้บรรยายแผน TIEB ในงาน Renewable Energy Asia 2015 (กรุงเทพมหานคร) ซึ่งเดิมทีกระทรวงพลังงาน ได้จัดทำกรอบแผนพัฒนาพลังงานในระยะยาวทั้งด้าน อุปสงค์ (Demand) และ อุปทาน (Supply) เพื่อใช้เป็นทิศทางในการดำเนินนโยบายทางด้านพลังงานของประเทศ ประกอบด้วย 3 แผนหลัก ได้แก่ 1. แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan : PDP) 2. แผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Plan : EEP) 3. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP) แต่ละแผนมีกรอบระยะเวลาที่ต่างกันและไม่ได้มีการบูรณาการเข้าด้วยกัน รัฐบาลจึงมีแนวคิดว่าจะต้องบูรณาการแผนพลังงานระยะยาวขึ้น จึงได้มีการบรรจุแผนพลังงานใหม่เพิ่มขึ้นอีก 2 ฉบับเพื่อให้ครอบคลุม ครบทุกมิติทางด้านพลังงาน คือ 4. แผนบริหารจัดการก๊าซธรรมชาติ (Gas Plan) และ 5. แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง (Oil Plan) ดังแสดงในภาพที่ 6 และภาพที่ 7



ภาพที่ 6 จากแผน 3 ด้าน รวมบูรณาการเป็นแผน 5 ด้านครบทุกมิติ

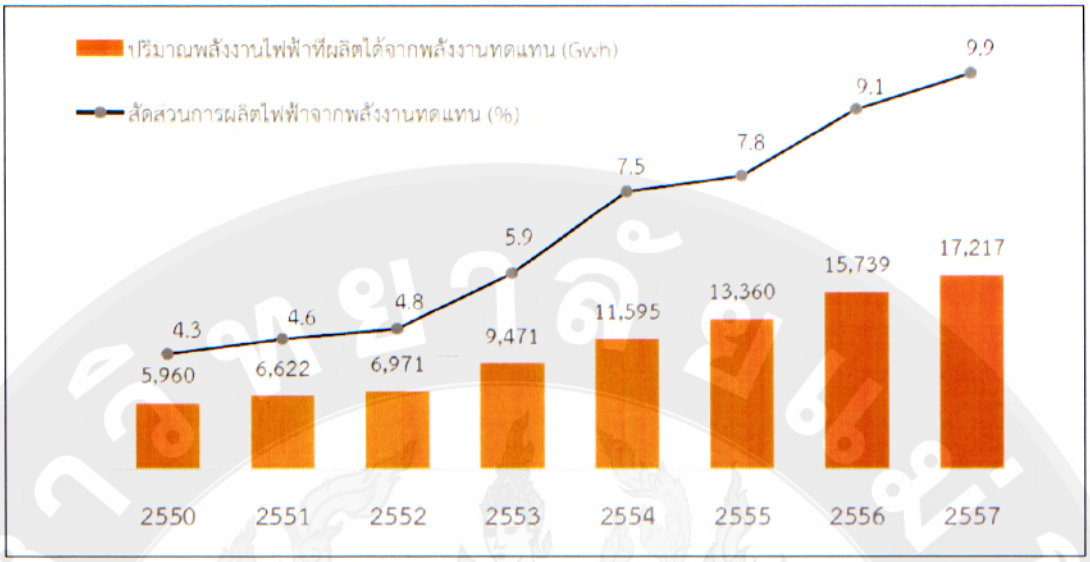
ที่มา : Sutabutr (2015)

ภาพที่ 7 รายละเอียดของแผนและผลกระทบแต่ละด้าน

ที่มา : Sutabutr (2015)

จึงเป็นที่มาของแผนบูรณาการพลังงานระยะยาวดังกล่าว ซึ่งกระบวนการในการจัดทำแผนบูรณาการพลังงานระยะยาวนั้น ได้มีการประมวลข้อมูลเดิมที่มีอยู่แล้ว และเปิดโอกาสให้ประชาชนได้แสดงความคิดเห็นโดยผ่านเวทีการสัมมนารับฟังความคิดเห็น "ทิศทางพลังงานไทย" ของกระทรวงพลังงานในแต่ละภูมิภาคของประเทศ เพื่อนำความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ไปประกอบจัดทำแผนบูรณาการพลังงานระยะยาวในปัจจุบัน พร้อมทั้งมีการตระเตรียมและวางแนวทางการดำเนินโครงการต่าง ๆ ในอนาคตเพื่อสนับสนุนและส่งเสริมให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ (Sutabutr, 2015)

ในส่วนของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) ซึ่งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ดำเนินการได้สะท้อนข้อมูลให้เห็นว่า สัดส่วนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปัจจุบันของประเทศไทยในปี พ.ศ.2550-2557 ยังไม่ถึง 10% ของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 สัดส่วนการผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทน

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

จึงมีแผนที่จะเพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยมีเป้าหมาย ณ ปี พ.ศ.2579 อยู่ที่ 15-20% ซึ่งจะสอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan : PDP) ที่ต้องการลดสัดส่วนการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติลงจากเดิมที่มีสัดส่วนสูงถึง 64% เป็น 30-40% ในปี พ.ศ.2579 พลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) ได้ดังแสดงในภาพที่ 9

Summary of PDP 2015

Estimated fuel mix (percentage)

	PDP 2015			PDP2010 Rev.3
Fuel type	September 2014	2026	2036	2030
Purchasing from neighbouring countries	7	10-15	15 – 20	10
Clean coal and lignite	20	20-25	20 – 25	19
Renewable Energy	8	10-20	15 – 20	8
Natural Gas	64	45-50	30 – 40	58
Nuclear	-	-	0 – 5	5
Diesel/ Fuel Oil	1	-	-	-
Total	100	100	100	100

12

ภาพที่ 9 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยจากแหล่งต่าง ๆ ของแผน PDP2015

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

ทั้งนี้การเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากเดิมที่มีเพียง 8% เป็น 15-20% นั้น เป็นสิ่งที่น่าสนใจและท้าทายมากและเมื่อศึกษาในรายละเอียดของแผน AEDP2015 ปรากฏว่า การนำความร้อนใต้พิภพมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้านั้น มิได้ระบุไว้ ดังแสดงในภาพที่ 10

ประเภทเชื้อเพลิง	สถานภาพ สิ้นปี 2557* (เมกะวัตต์)	เป้าหมายปี 2579 (เมกะวัตต์)
1. ขยะชุมชน	65.72	500.00
2. ขยะอุตสาหกรรม	-	50.00
3. ชีวมวล	2,451.82	5,570.00
4. ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย)	311.50	600.00
5. พลังน้ำขนาดเล็ก	142.01	376.00
6. ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)	-	680.00
7. พลังงานลม	224.47	3,002.00
8. พลังงานแสงอาทิตย์	1,298.51	6,000.00
9. พลังน้ำขนาดใหญ่	-	2,906.40**
รวมเมกะวัตต์ติดตั้ง (เมกะวัตต์)	**4,494.03**	**19,684.40**
รวมพลังงานไฟฟ้า (ล้านหน่วย)	17,217	65,588.07
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ (ล้านหน่วย)	174,467	326,119.00
สัดส่วนผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (%)	**9.87**	**20.11**

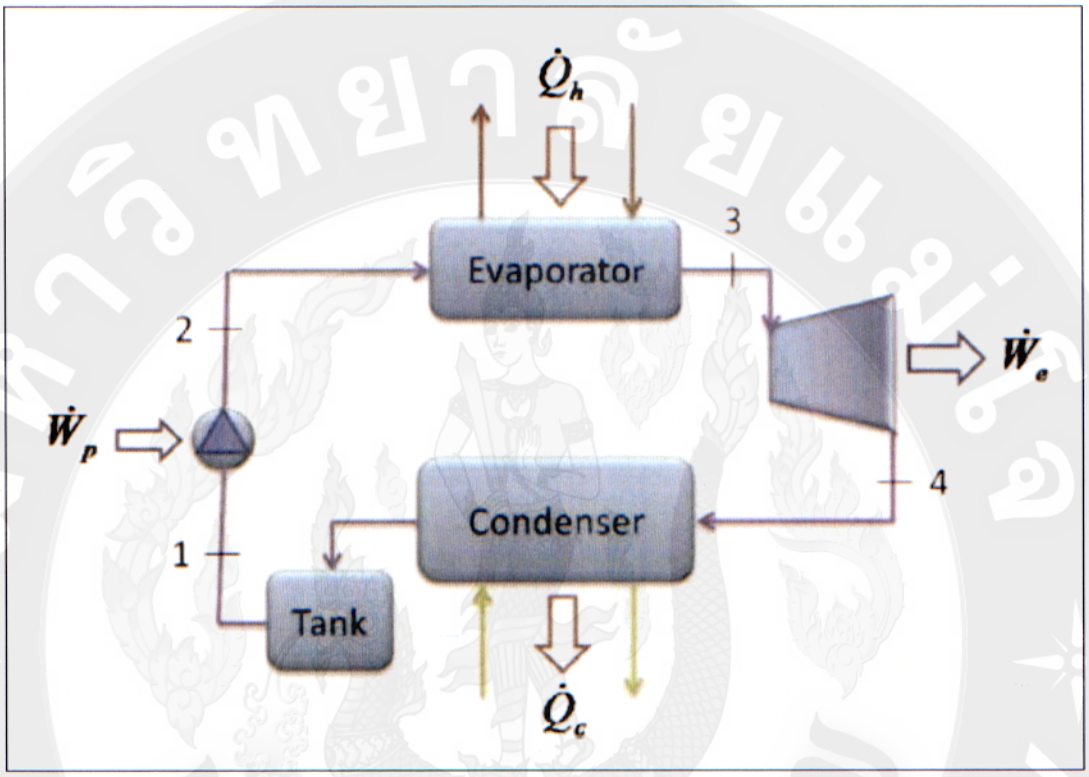
ภาพที่ 10 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ยังมิได้นำศักยภาพของพลังงานความร้อนใต้พิภพเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าอย่างจริงจัง แต่ถ้าสามารถนำศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ก็จะทำให้สัดส่วนในการผลิตฟ้าด้วยพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น

โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในครั้งนี้คือระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำความร้อนที่อุณหภูมิต่ำหรือจากแหล่งพลังงานที่ให้ค่าความร้อนต่ำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจากเดิมพื้นที่เป้าหมายไม่มีศักยภาพหรือมีน้อยมาก จะสามารถทำดึงศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นมาได้

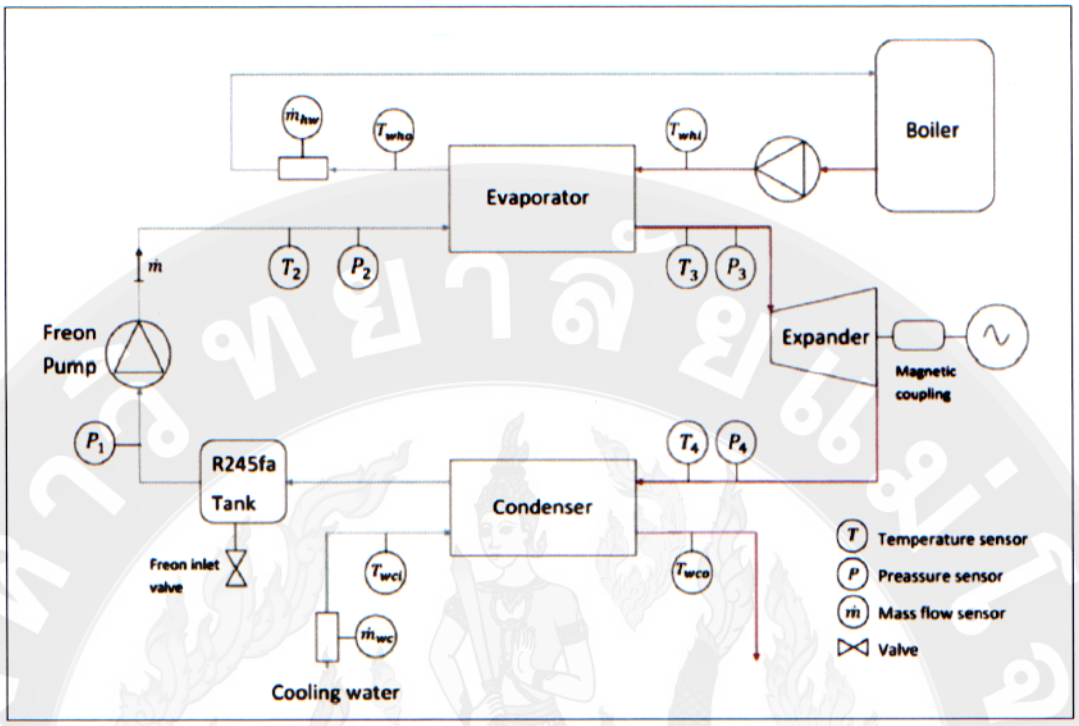
Galloni et al., (2015) ได้ศึกษาการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองโรงไฟฟ้าขนาดเล็กของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่ใช้สารทำงาน R-245fa เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ดีสำหรับการใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 100 °C หรือต่ำกว่า) ต้นแบบของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ในบทความนี้จุดมุ่งหมายของการทำงานคือการประเมินความเป็นไปได้ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดเล็ก คือการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โรงงานขนาดเล็กสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำซึ่งอุณหภูมิแหล่งความร้อนที่ได้รับแตกต่างกันอยู่ในช่วง 75-95 °C และอุณหภูมิแหล่งระบายความร้อนอยู่ช่วงระหว่าง 20 °C และ 33 °C สารทำงาน R-245fa สามารถอัดไอความดันสูงสุดแตกต่างกันตั้งแต่ 6-10 bar ในช่วงการดำเนินงานนี้ ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.2 kW โดย

ปริมาณความร้อนประมาณ 20 kJ/kg และประสิทธิภาพวัฏจักรเพิ่มขึ้นประมาณ 9% ดังแสดงในภาพที่ 11 และรายละเอียดการเก็บข้อมูลในการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 11 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดเล็ก

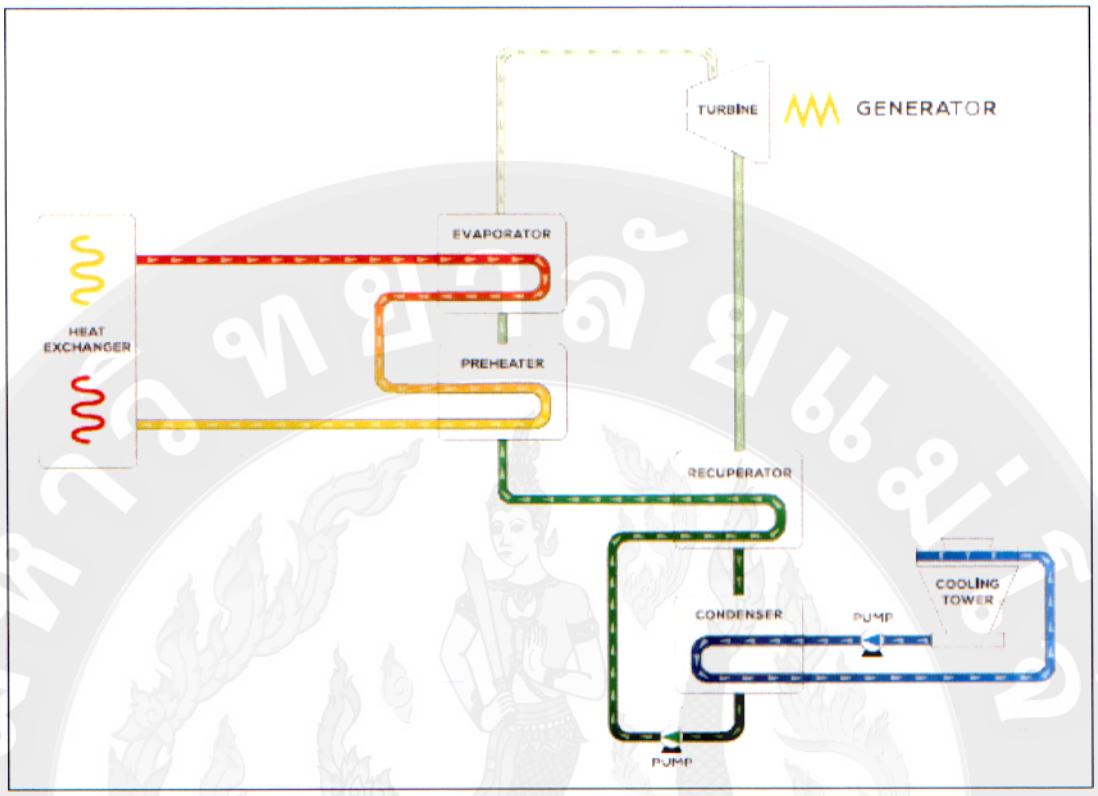
ที่มา : Galloni et al., (2015)



ภาพที่ 12 รายละเอียดการเก็บข้อมูลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และตัวแปรหลัก

ที่มา : Galloni et al., (2015)

เชบิก๊าซ ยูเอซี (2559) ได้แสดงบทความเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (ORC) โดยการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน พลังงานชีวมวล พลังงานจากความร้อนใต้โลก และการนำความร้อนกลับมาใช้ จากเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (ORC) ดังแสดงในภาพที่ 13 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ หรือ ORC ระบบสำหรับการผลิตพลังงาน มีการนำเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน รวมถึง พลังงานจากความร้อนใต้โลก พลังงานชีวมวล ความร้อน และโซล่าร์ เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่า และความยืดหยุ่นที่มีมากกว่า วัฏจักรแรงคินแบบเก่า และยังสามารถทำงานในข้อจำกัดที่หลากหลายได้ เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 13 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (ORC)

ที่มา : เซบิก๊าซ ยูเอซี (2559)

เมื่อพิจารณานโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน) ของรัฐบาลในรูปแบบ FiT (Feed-in Tariff) แล้วจะเห็นว่า โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถที่จะเข้าระบบการซื้อขายไฟฟ้าได้ ซึ่งข้อมูลของสำนักงานโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ในปี พ.ศ.2558 ระบุอัตรารับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT จากกลุ่มพลังงานธรรมชาติ และกลุ่มพลังงานชีวภาพ และสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ได้ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 14 และภาพที่ 15 ตามลำดับ

- กลุ่มพลังงานธรรมชาติ

อัตรารับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ที่ประกาศใช้ในปี 2558 : สำหรับโครงการ VSPP กลุ่มพลังงานธรรมชาติ			
กำลังผลิต (MW)	FiT (บาท/หน่วย)	ระยะเวลาสนับสนุน (ปี)	FiT Premium (บาท/หน่วย) สำหรับโครงการในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้* (ตลอดอายุโครงการ)
1) พลังงานน้ำ			
กำลังผลิตติดตั้ง ≤ 200 kW	4.90	20 ปี	0.50
2) พลังงานลม			
ทุกขนาด	6.06	20 ปี	0.50
3) พลังงานแสงอาทิตย์			
บนหลังคา กำลังผลิตติดตั้ง 0-10 kWp	6.85	25 ปี	0.50
บนหลังคา กำลังผลิตติดตั้ง >10-250 kWp	6.40	25 ปี	0.50
บนหลังคา กำลังผลิตติดตั้ง >250-1,000 kWp	6.01	25 ปี	0.50
บนพื้นดิน ทุกขนาด	5.66	25 ปี	0.50

หมายเหตุ *โครงการในพื้นที่จังหวัดยะลา ปัตตานี นราธิวาส และ 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อ.จะนะ อ.เทพา อ.สะบ้าย้อย และ อ.นาทวี

ภาพที่ 14 อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานธรรมชาติ

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2558).

- กลุ่มพลังงานชีวภาพ

อัตรารับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ที่ประกาศใช้ในปี 2558 : สำหรับโครงการ VSPP กลุ่มพลังงานชีวภาพ						
กำลังผลิต (MW)	FiT (บาท/หน่วย)			ระยะเวลาสนับสนุน (ปี)	FiT Premium (บาท/หน่วย)	
	FiT_F	$FiT_{V,2560}$	FiT[1]		สำหรับโครงการกลุ่มเชื้อเพลิงชีวภาพ (8 ปีแรก)	สำหรับโครงการในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้[2] (ตลอดอายุโครงการ)
1) ขยะ (การจัดการขยะแบบผสมผสาน)						
กำลังผลิตติดตั้ง ≤ 1 MW	3.13	3.21	6.34	20 ปี	0.70	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 1-3 MW	2.61	3.21	5.82	20 ปี	0.70	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 3 MW	2.39	2.69	5.08	20 ปี	0.70	0.50
2) ขยะ (หลุมฝังกลบขยะ)						
ทุกขนาด	5.60	-	5.60	10 ปี	-	0.50
3) ชีวมวล						
กำลังผลิตติดตั้ง ≤ 1 MW	3.13	2.21	5.34	20 ปี	0.50	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 1-3 MW	2.61	2.21	4.82	20 ปี	0.40	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 3 MW	2.39	1.85	4.24	20 ปี	0.30	0.50
4) ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย)						
ทุกขนาด	3.76	-	3.76	20 ปี	0.50	0.50
5) ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)						
ทุกขนาด	2.79	2.55	5.34	20 ปี	0.50	0.50

หมายเหตุ (1) อัตรา FiTV จะเพิ่มขึ้นตามเนื่องตามอัตราเงินเฟ้อขั้นพื้นฐาน (Core Inflation)

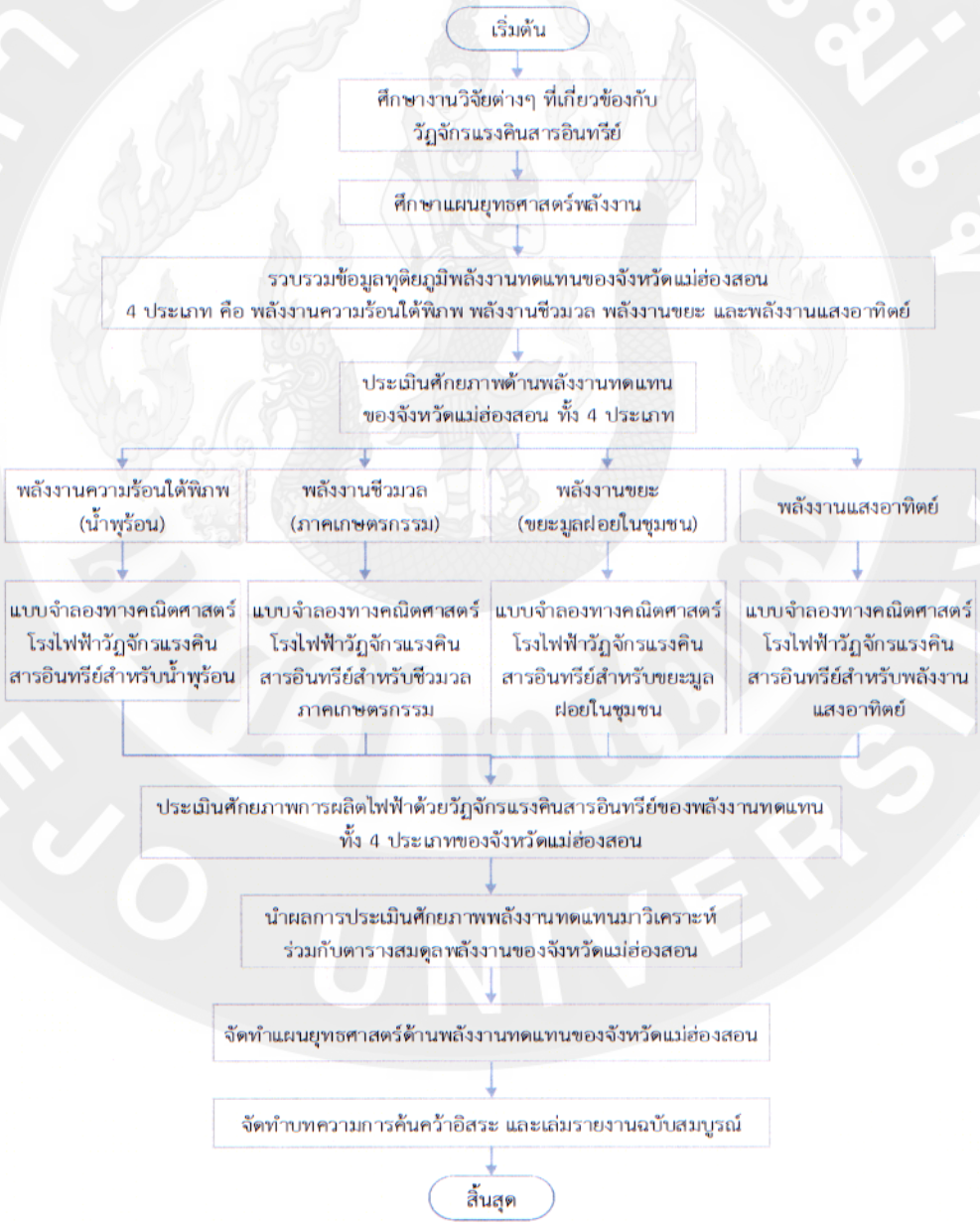
(2) โครงการในพื้นที่จังหวัดยะลา ปัตตานี นราธิวาส และ 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อ.จะนะ อ.เทพา อ.สะบ้าย้อย และ อ.นาทวี

ภาพที่ 15 อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2558).

บทที่ 3
วิธีและขั้นตอนการดำเนินงาน

วิธีและขั้นตอนการวิจัยมีการศึกษาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และแผนยุทธศาสตร์พลังงาน ประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อหาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในตารางสมดุลพลังงาน และได้แผนยุทธศาสตร์การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แผนผังวิธีและขั้นตอนการวิจัย

การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ดำเนินการค้นหาและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ตามขอบเขตการศึกษาซึ่งกำหนดไว้ 4 ประเภท คือ

พลังงานความร้อนใต้พิภพ

ค้นหาข้อมูลอุณหภูมิน้ำพุร้อนผิวดินและค่าทางเคมีของแหล่งน้ำพุร้อนทั่วประเทศไทย จากหนังสือการออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design) (นัฐพร, 2559) ปรากฏข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วยอุณหภูมิผิวดิน อัตราการไหลผิวดิน ปริมาณซิลิกา โซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม จากนั้นทำการคัดเลือกและรวบรวมข้อมูลค่าคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของแหล่งน้ำพุร้อนเฉพาะแหล่งที่มีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

พลังงานชีวมวล

ค้นหาข้อมูลชีวมวลภาคเกษตรกรรมในเวบไซต์ ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปรากฏข้อมูลการเพาะปลูกพืชในภาคเกษตรกรรมของประเทศไทย โดยแยกเป็นรายภาค รายจังหวัด รายอำเภอ ได้แก่ ปริมาณพื้นที่ที่เพาะปลูก ชนิดของพืชที่ปลูก ปริมาณผลผลิต ปริมาณชีวมวลทั้งหมด ปริมาณชีวมวลที่ใช้ไปแล้ว ปริมาณชีวมวลที่เหลือ ศักยภาพทางความร้อน ศักยภาพเทียบน้ำมันดิบ และกำลังการผลิต จากนั้นทำการคัดเลือกและรวบรวมข้อมูลเฉพาะในส่วนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่จะนำมาใช้งาน คือ ปริมาณพื้นเพาะปลูก ชนิดของพืชที่ปลูก ปริมาณผลผลิต ปริมาณชีวมวลทั้งหมด ปริมาณชีวมวลที่ใช้ไปแล้ว ปริมาณชีวมวลที่เหลือ และศักยภาพทางความร้อน

พลังงานขยะ

ดำเนินการขอข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยของจังหวัดแม่ฮ่องสอน จากสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งข้อมูลที่ได้รับประกอบด้วย ชื่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละ อปท. จำนวน อปท. ที่มีการให้บริการจัดเก็บขยะ จำนวน อปท. ที่ไม่มีการให้บริการจัดเก็บขยะ ปริมาณขยะที่เก็บขนไปกำจัด ปริมาณขยะที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ ปริมาณขยะที่กำจัดไม่ถูกต้อง และปริมาณขยะที่กำจัดถูกต้อง จากนั้นทำการคัดเลือกและรวบรวมข้อมูลที่จะนำมาใช้งาน คือ ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละ อปท. ปริมาณขยะที่เก็บขนไปกำจัด ปริมาณขยะที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ ปริมาณขยะที่กำจัดไม่ถูกต้อง และปริมาณขยะที่กำจัดถูกต้อง

พลังงานแสงอาทิตย์

ใช้โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ปี 2559 ของนัฐพร (นัฐพร, 2559) เพื่อทำการคำนวณรังสีแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยทำการกำหนดตำแหน่ง Latitude และ Longitude ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนลงในโปรแกรม เลือกเดือนที่ต้องการทราบค่ารังสีแสงอาทิตย์ กำหนด Reflectance of the foreground เป็น Concrete จากนั้นกดปุ่ม Calculate solar radiation โปรแกรมจะทำการประมวลผลและแสดงข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ใน 1 วัน ช่วงเวลาตั้งแต่ 6:00 น.-18:00 น. แสดงค่าทุกๆ 1 h จะได้ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ 13 ค่าซึ่งเป็นตัวแทนค่ารังสีแสงอาทิตย์ใน 1 Month จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล แล้วทำซ้ำให้ได้ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ครบทั้ง 12 Month แล้วทำการรวบรวมข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมดเพื่อนำไปใช้งาน

การประเมินศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

นำข้อมูลจากข้อที่ผ่านมา มาทำการประเมินศักยภาพโดยมีหัวข้อดังนี้

การประเมินพลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน)

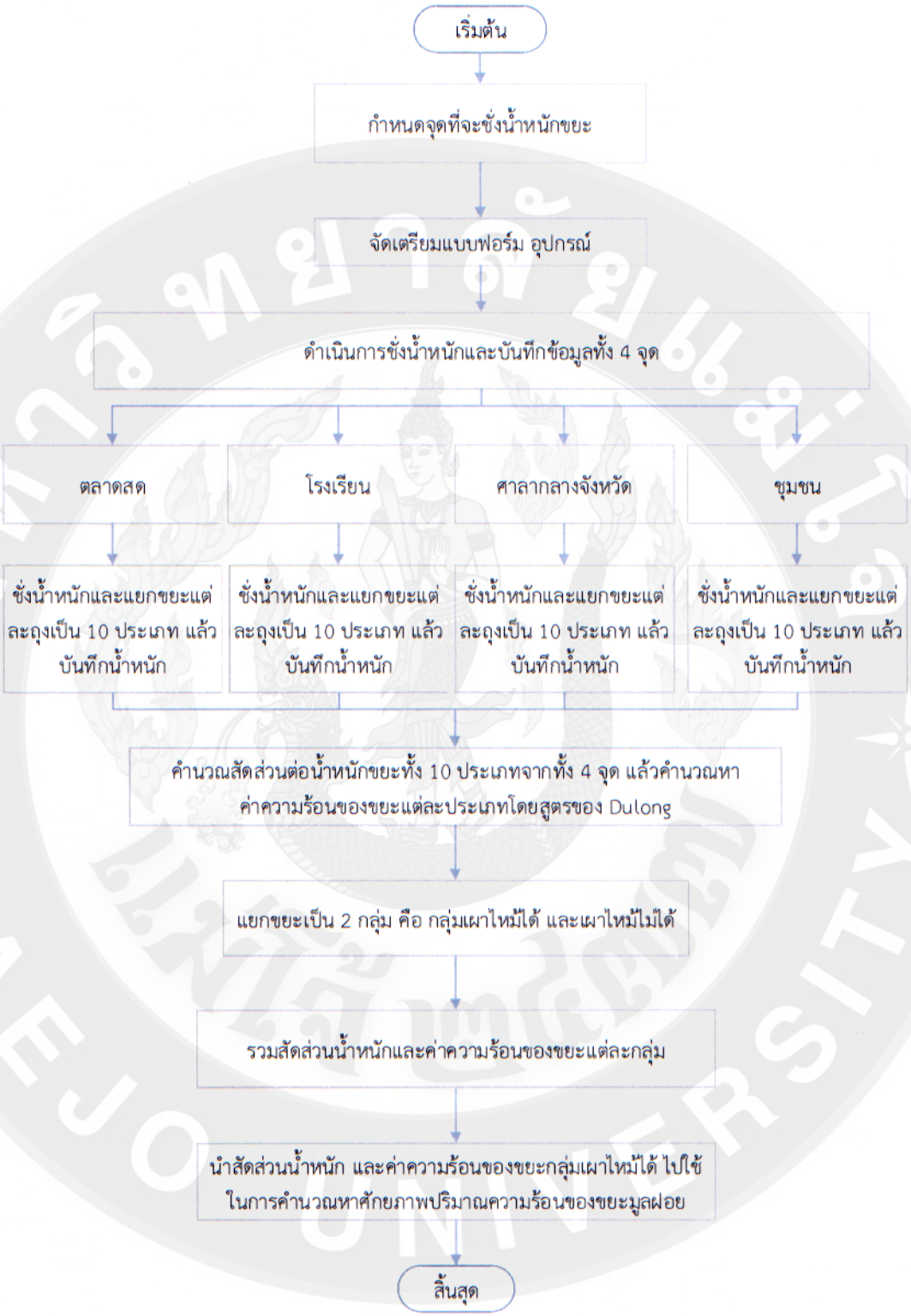
นำข้อมูลอุณหภูมิผิวดินและอัตราการไหลของแหล่งน้ำพุร้อน มาประเมินหาอุณหภูมิและอัตราการไหลจากแหล่งกักเก็บเพื่อนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งศักยภาพของบ่อน้ำพุร้อนที่ต้องการนำมาใช้ในการหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มี 2 ประการคือ 1. อุณหภูมิจากแหล่งกักเก็บ และ 2. อัตราการไหลจากแหล่งกักเก็บ ซึ่ง นัฐพร ได้กล่าวไว้ในหนังสือการออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design)

การประเมินพลังงานชีวมวล (ชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม)

นำข้อมูลปริมาณผลผลิต ปริมาณชีวมวลทั้งหมด ปริมาณชีวมวลที่ใช้ไปแล้ว ปริมาณชีวมวลที่เหลือ และศักยภาพทางความร้อน (ค่าความร้อนของชีวมวล) มาประเมินหาศักยภาพชีวมวลที่นำมาใช้ได้และที่คาดว่าจะใช้ได้ในอนาคตเพื่อนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า

การประเมินพลังงานขยะ (ขยะมูลฝอยในชุมชน)

นำข้อมูลปริมาณขยะในพื้นที่ให้บริการจัดเก็บขยะและนอกพื้นที่ให้บริการจัดเก็บขยะมาประเมินหาศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะ โดยการหาค่าความร้อนของขยะมูลฝอยนั้นหาได้จากการสำรวจและสุ่มเก็บข้อมูลขยะจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 4 จุด คือ ตลาดสด โรงเรียน ศาลากลางจังหวัด และชุมชน ทำการชั่งน้ำหนักขยะจุดละ 3 ถุงและทำการคัดแยกขยะแต่ละถุงเป็น 10 ประเภทย่อย ได้แก่ กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ เศษผักและเศษอาหาร ผ้า โฟม ขยะทั่วไป แก้ว โลหะ และขยะอันตราย จากนั้นทำการคำนวณสัดส่วนต่อน้ำหนักขยะทั้ง 10 ประเภทจากทั้ง 4 จุด แล้วคำนวณหาค่าความร้อนของขยะแต่ละประเภทโดยสูตรของ Dulong เสร็จแล้วแยกขยะออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มขยะที่เผาไหม้ได้ และกลุ่มที่เผาไหม้ไม่ได้ โดยกลุ่มที่เผาไหม้ได้แบ่งย่อยออกเป็น 7 ประเภทย่อย ประกอบด้วย กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ เศษผักและเศษอาหาร ผ้า โฟม และขยะทั่วไป สำหรับกลุ่มที่เผาไหม้ไม่ได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทย่อย ประกอบไปด้วย แก้ว โลหะ และขยะอันตราย รวมสัดส่วนน้ำหนักและค่าความร้อนของขยะแต่ละกลุ่ม แล้วนำสัดส่วนน้ำหนัก และค่าความร้อนของขยะกลุ่มเผาไหม้ได้ ไปใช้ในการคำนวณหาศักยภาพปริมาณความร้อนของขยะมูลฝอย แสดงขั้นตอนในภาพที่ 17 โดยรายระเอียดการคัดแยกขยะในการเก็บข้อมูลแสดงดังตารางที่ 6 และอุปกรณ์ในการชั่งน้ำหนักขยะ ดังแสดงในภาพที่ 18 และ 19 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการหาสัดส่วนน้ำหนักและค่าความร้อนของขยะ

ตารางที่ 6 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลและคัดแยกองค์ประกอบขยะเพื่อหาค่าความร้อน

สถานที่	ตลาดสด			โรงเรียน			ศาลากลางจังหวัด			ชุมชน			น้ำหนัก	ร้อยละ
ขยะถุงที่	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนัก kg.														
1.กระดาษ+ทิชชู่														
2. พลาสติก														
3. กิ่งไม้ ใบไม้														
4. เศษผัก เศษอาหาร														
5. ผ้า														
6. โฟม														
7. ขยะทั่วไป														
8. แก้ว														
9. โลหะ														
10. ขยะอันตราย														
รวม														

ภาพที่ 18 เครื่องชั่งละเอียด (CDR-30) พิกัดกำลัง 30 kg

ภาพที่ 19 เทขยะลงในภาชนะและชั่งน้ำหนัก

ซึ่งการประเมินได้จากการคำนวณหาค่าความร้อนของขยะมูลฝอยสามารถคำนวณได้จากสูตรของ Dulong (สมการที่ 20) ด้วยสัดส่วนของธาตุหลักในองค์ประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละประเภท ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

การประเมินพลังงานแสงอาทิตย์

นำข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ปี 2559 (นัฐพร, 2559) มาทำการประเมินหาศักยภาพการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ค่ารังสีแสงอาทิตย์ของเดือนที่มีค่าต่ำที่สุดของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มาประเมินเพื่อหาศักยภาพการผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) เพื่อที่จะนำน้ำร้อนที่ผลิตได้ไปป้อนให้โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

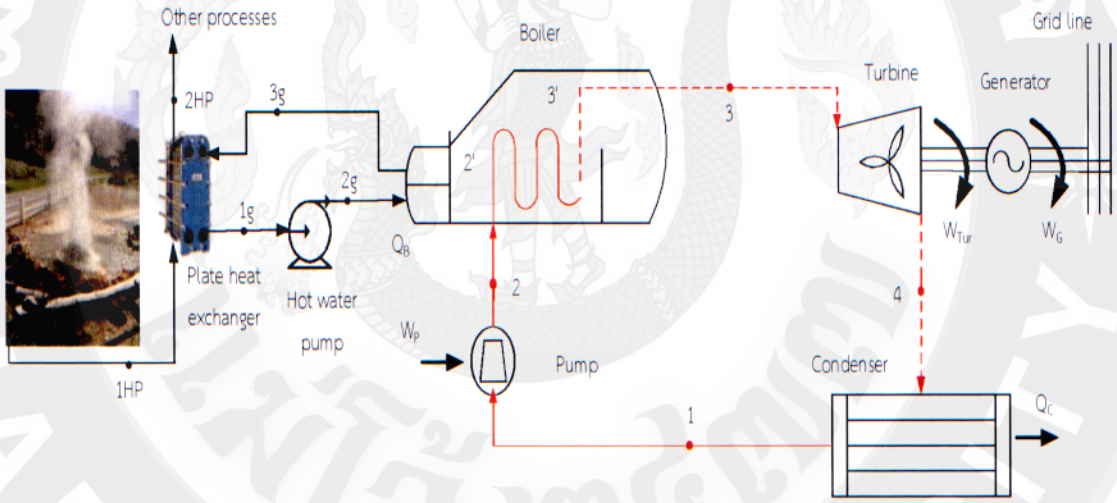
การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ดำเนินการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากโปรแกรม Refprop โดยใช้เงื่อนไขของโรงไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในปัจจุบัน แล้วนำข้อมูลจากการประเมินศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้ง 4 ด้านมาป้อนเข้าแบบจำลอง

ทางคณิตศาสตร์นี้เพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภท โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภทจะมีความแตกต่างกันตามศักยภาพของเชื้อเพลิง จากนั้นทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภท มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน

ขั้นตอนการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสำหรับน้ำพุร้อนได้แสดงแผนภาพการทำงานดังแสดงในภาพที่ 20 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการทำงานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน ซึ่งรายละเอียดการคำนวณแสดงภาพที่ 21 ต่อไปนี้

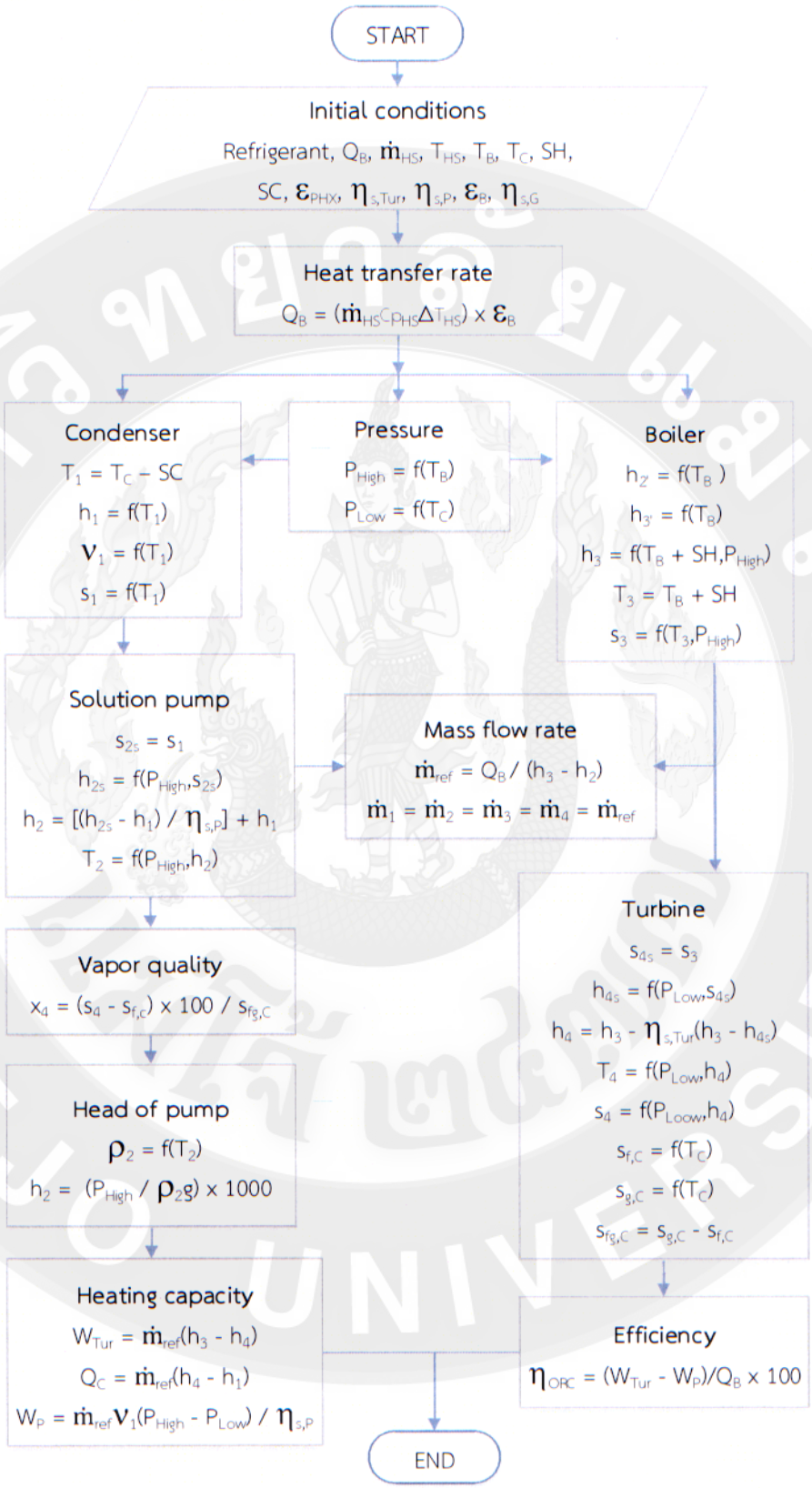


ภาพที่ 20 แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน

โดยเงื่อนไขในการทำงานดังนี้

1. สารทำงานในระบบ : R-245fa
2. อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) : $Q_B = \dot{m}_{HS}\, Cp_{HS}\, \Delta T_{HS} \varepsilon_B$
3. อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น (T_C) : 40 °C
4. ประสิทธิผล Plate heat exchanger (ε_{PHX}) : 80%
5. ประสิทธิผลของหม้อต้ม (ε_B) : 85%
6. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกปั๊ม ($\eta_{s,P}$) : 80%

7. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกกังหัน ($\eta_{s,Tur}$) : 85%
8. ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($\eta_{s,G}$) : 85%
9. Superheating (SH) : 10 °C
10. Subcooling (SC) : 0 °C
11. ระยะเวลาทำงาน (t_{Wk}) 350 d/y 24 h/d



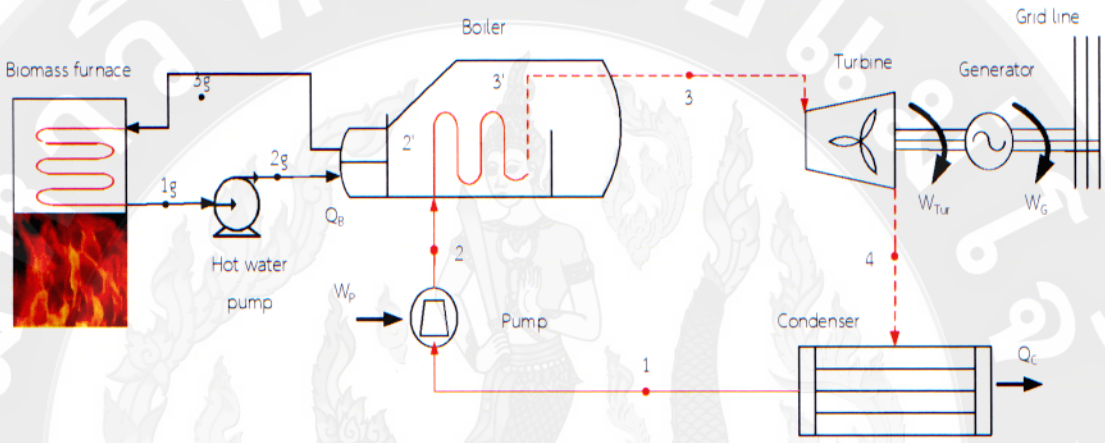
ภาพที่ 21 แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน

การประเมินค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อนเป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้า คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2559)
3. ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2560)
4. ค่าใช้จ่ายในการขุดเจาะน้ำพุร้อนความลึก 500 km คิดที่ 1,512,367 Baht (อดิศักดิ์และนัฐพร, 2559)
5. ค่าโรงเรือน ค่าระบบท่อและค่าหอระบายความร้อน คิดที่ 50% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
6. ระยะเวลาการทำงาน 24 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y
7. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
8. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
9. ค่าพลังงานไฟฟ้า 4.4217 Baht/kWh (กฟภ, 2560)
10. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
11. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าที่ดิน+ค่าใช้จ่ายในการขุดน้ำพุร้อน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม

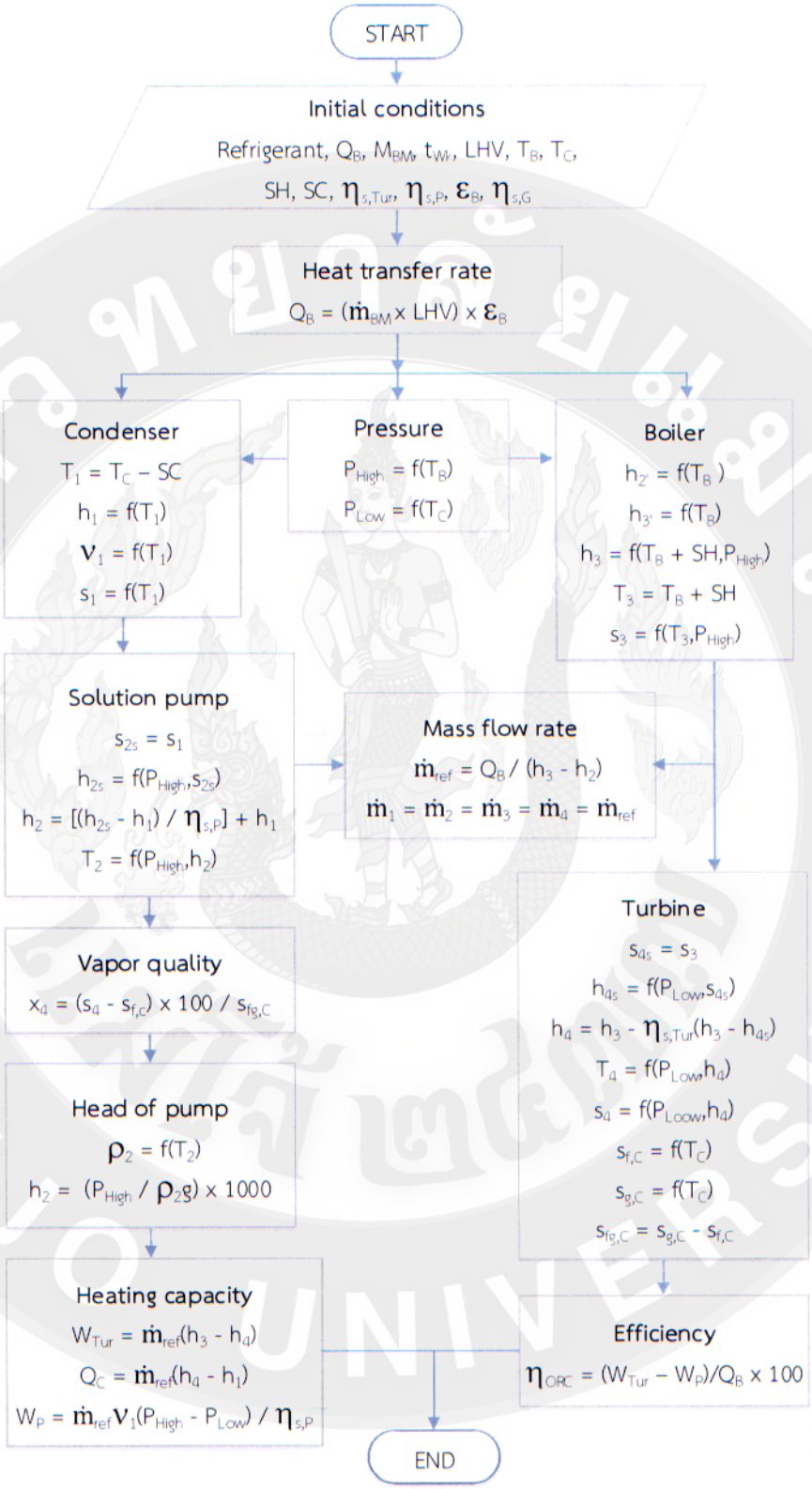
ขั้นตอนการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรมได้แสดงแผนภาพการทำงานดังแสดงในภาพที่ 22 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม ซึ่งรายละเอียดการคำนวณแสดงภาพที่ 23 ต่อไปนี้



ภาพที่ 22 แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม

โดยเงื่อนไขในการทำงานดังนี้

1. สารทำงานในระบบ : R-245fa
2. อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) : $Q_B = (M_{Bm}LHV_{Bm}\varepsilon_B)/t_{Wk}$
3. อุณหภูมิสารทำงานที่หม้อต้ม (T_B) : 80 °C
4. อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น (T_C) : 40 °C
5. ประสิทธิผลของหม้อต้ม (ε_B) : 85%
6. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกปั๊ม ($\eta_{s,P}$) : 80%
7. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกกังหัน ($\eta_{s,Tur}$) : 85%
8. ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($\eta_{s,G}$) : 85%
9. Superheating (SH) : 10 °C
10. Subcooling (SC) : 0 °C
11. ระยะเวลาทำงาน (t_{Wk}) 350 d/y 12 h/d



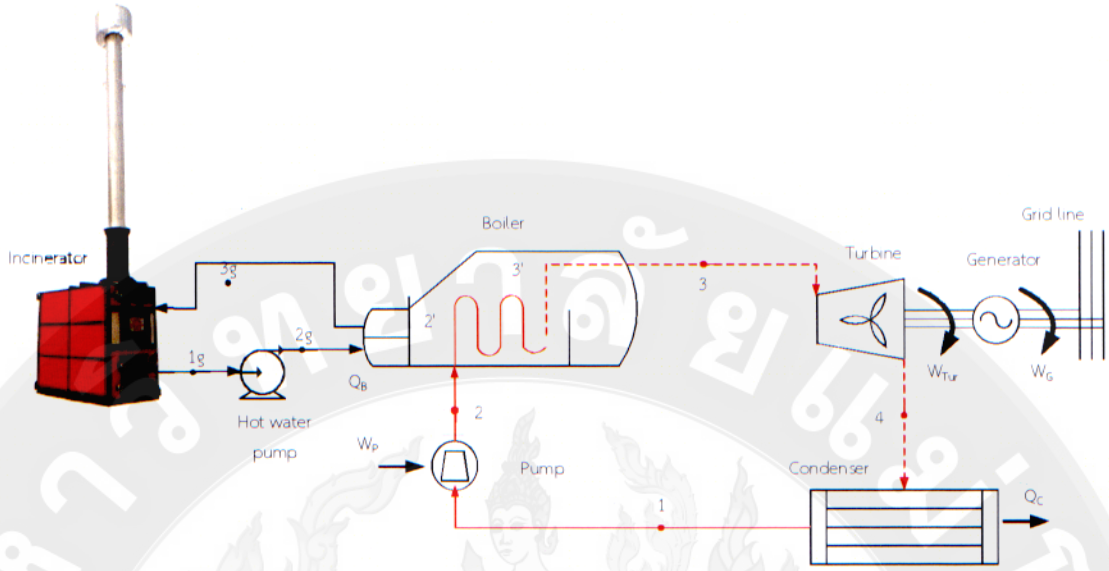
ภาพที่ 23 แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม

การประเมินค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรมเป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้า คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2559)
3. ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2559)
4. ราคาเตาเผาชีวมวล คิดที่ 5% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
5. ไม่คิดค่าใช้จ่ายของชีวมวลภาคเกษตรกรรมและการขนส่ง
6. ระยะเวลาการทำงาน 12 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y (คิดการทำงานเพียง 12 ชั่วโมงเพื่อรองรับความผันผวนของปริมาณการผลิตและช่วงเวลาในการเพาะปลูก)
7. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
8. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราระหว่างประเทศ 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
9. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
10. อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ
11. ค่าโรงเรือน ค่าระบบท่อและค่าหอระบายความร้อน คิดที่ 50% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
12. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ราคาเตาเผาชีวมวล + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน

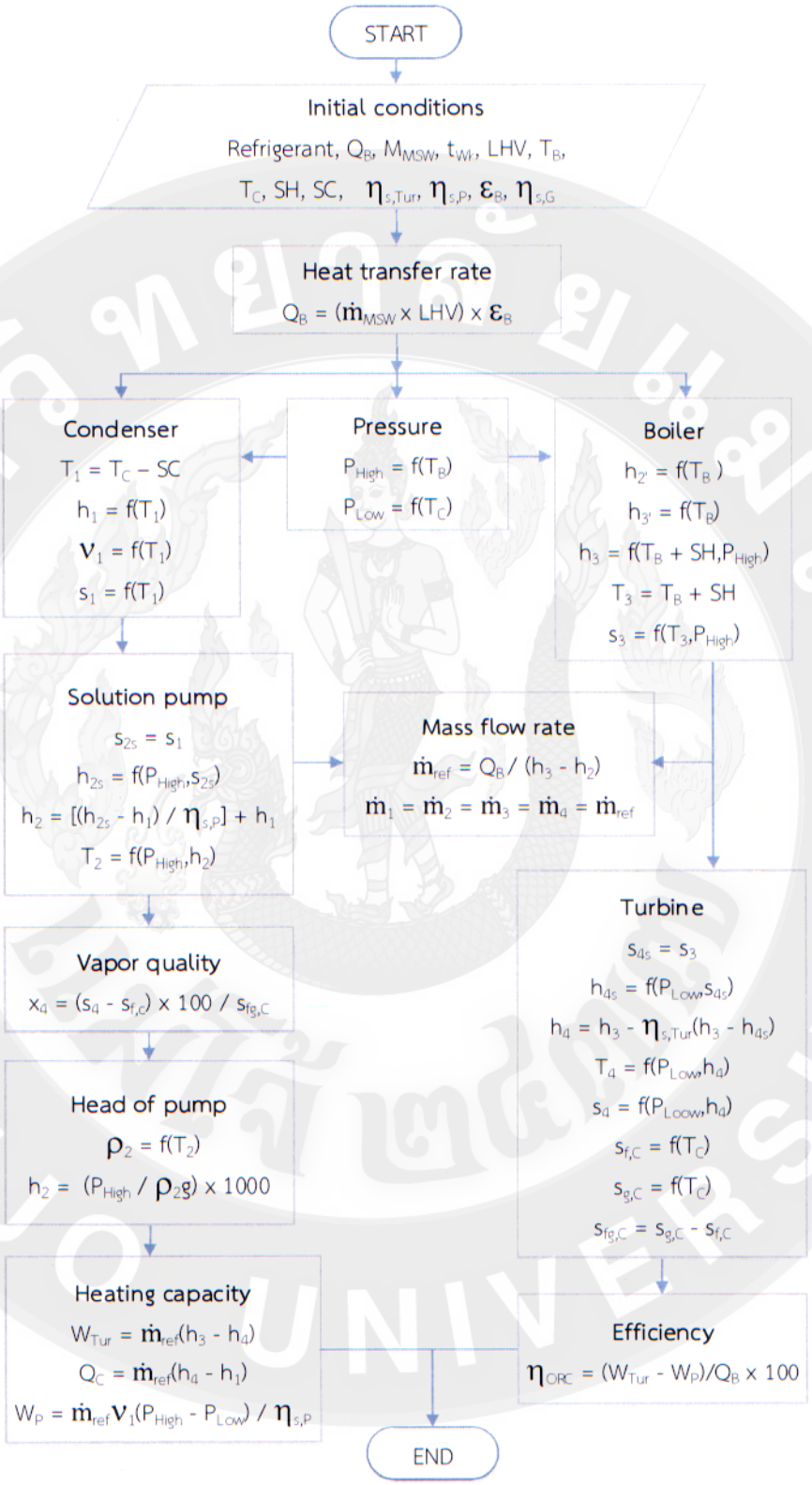
ขั้นตอนการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนได้แสดงแผนภาพการทำงานดังแสดงในภาพที่ 24 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน ซึ่งรายละเอียดการคำนวณแสดงภาพที่ 25 ต่อไปนี้



ภาพที่ 24 แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน

โดยเงื่อนไขในการทำงานดังนี้

1. สารทำงานในระบบ : R-245fa
2. อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) : $Q_B = (M_{MSW}LHV_{MSW}\varepsilon_B)/t_{Wk}$
3. อุณหภูมิสารทำงานที่หม้อต้ม (T_B) : 80 °C
4. อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น (T_C) : 40 °C
5. ประสิทธิผลของหม้อต้ม (ε_B) : 85%
6. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกปั๊ม ($\eta_{s,P}$) : 80%
7. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกกังหัน ($\eta_{s,Tur}$) : 85%
8. ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($\eta_{s,G}$) : 85%
9. Superheating (SH) : 10 °C
10. Subcooling (SC) : 0 °C
11. ระยะเวลาทำงาน (t_{Wk}) 350 d/y 24 h/d



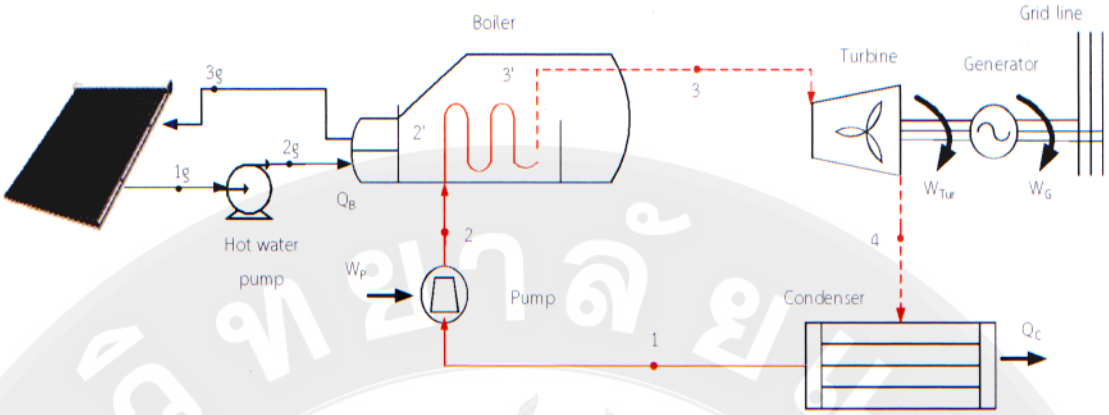
ภาพที่ 25 แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน

การประเมินค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนเป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้า คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2558)
3. ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2560)
4. ราคาเตาเผาขยะ คิดที่ 10% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
5. ไม่คิดค่าใช้จ่ายของขยะมูลฝอยในชุมชนและการขนส่ง
6. ระยะเวลาการทำงาน 24 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y
7. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
8. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราระหว่างประเทศ 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
9. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
10. อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ
11. ค่าโรงเรือน ค่าระบบท่อและค่าหอระบายความร้อน คิดที่ 50% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
12. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ราคาเตาเผาขยะ + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์

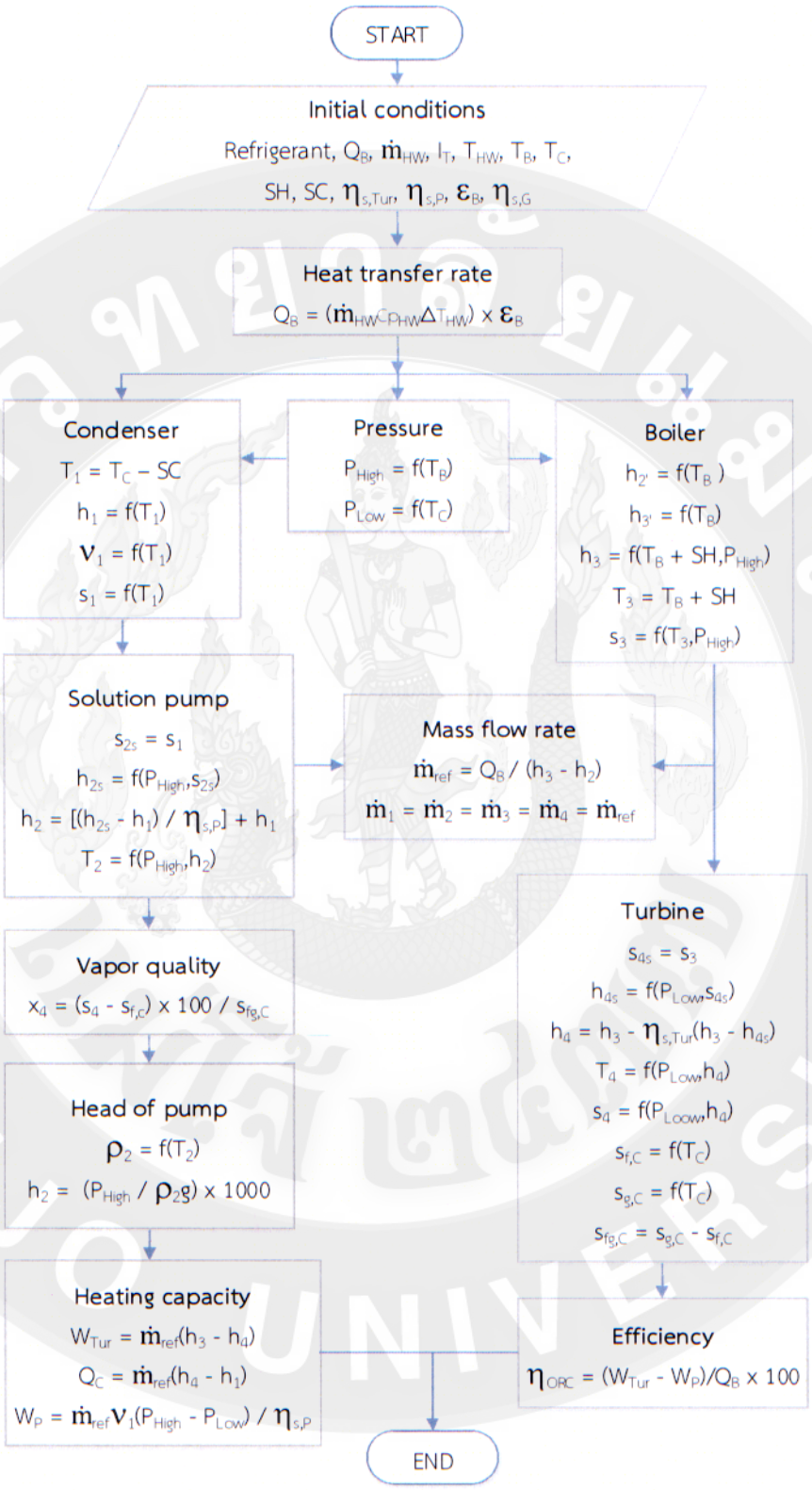
ขั้นตอนการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แสดงแผนภาพการทำงานดังแสดงในภาพที่ 26 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งรายละเอียดการคำนวณแสดงภาพที่ 27 ต่อไปนี้



ภาพที่ 26 แผนภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์

โดยมีเงื่อนไขในการทำงานดังนี้

1. สารทำงานในระบบ : R-245fa
2. อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) : $Q_B = \dot{m}_{HW}\, Cp_{HW}\, \Delta T_{HW} \varepsilon_B$
3. อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น (T_C) : 40 °C
4. ประสิทธิผลของหม้อต้ม (ε_B) : 85%
5. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกปั๊ม ($\eta_{s,P}$) : 80%
6. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกกังหัน ($\eta_{s,Tur}$) : 85%
7. ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($\eta_{s,G}$) : 85%
8. Superheating (SH) : 10 °C
9. Subcooling (SC) : 0 °C
10. ระยะเวลาทำงาน (t_{Wk}) 350 d/y 8 h/d



ภาพที่ 27 แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์

การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้า คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2558)
3. ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2560)
4. ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube) และถังเก็บน้ำร้อนขนาด 15,000 L (TSUS.co.th, 2560)
5. ระยะเวลาการทำงาน 8 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y
6. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
7. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
8. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
9. ค่าพลังงานไฟฟ้า 4.4217 Baht/kWh (กฟภ, 2560)
10. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บ + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา

นำผลการประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

นำศักยภาพที่ได้การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภทมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน หาการเปลี่ยนแปลงของสมดุลพลังงาน

จัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

นำผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มาจัดทำเป็นแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทน โดยแผนจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะสั้น (น้อยกว่า 2 y) ระยะกลาง (2-5 y) ระยะยาว (มากกว่า 5 y) โดยจะเรียงลำดับตามศักยภาพการผลิตไฟฟ้าซึ่งจะพิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุน (PB) และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC) แล้วนำไปวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน กับแผนพัฒนา

กำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP2015) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผนบูรณาการพลังงานระยะยาว พ.ศ.2558-2579 รวมทั้งสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปัจจุบัน และปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ผลการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ข้อมูลพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ข้อมูลแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในที่นี้คือ ข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนของประเทศไทย จากการศึกษาและสำรวจของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่พบแหล่งน้ำพุร้อนทั่วประเทศทั้งหมด 97 แหล่ง โดยที่ข้อมูลได้แสดงรายละเอียดแหล่งน้ำพุร้อนแต่ละแหล่ง อันประกอบด้วย ชื่อแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดที่ตั้ง อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน อัตราการไหลของน้ำพุร้อนที่ผิวดิน ปริมาณซิลิกา โซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ของแต่ละแหล่ง ซึ่งได้รวบรวมไว้โดย นัฐพร (2559) ในหนังสือการออกแบบระบบพลังงานทดแทน ทั้งนี้ได้ปรากฏข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีจำนวนทั้งหมด 9 แหล่ง โดยมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินตั้งแต่ 37.4-96 °C และมีอัตราการไหลผิวดินตั้งแต่ 0-5.56 L/s ซึ่งแหล่งน้ำพุร้อนเมืองแปงมีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 96 °C และมีอัตราการไหลมากที่สุดด้วยเช่นกันคือ 5.56 L/s รายละเอียดแหล่งน้ำพุร้อนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนแสดงในตารางที่ 7 ในส่วนของปริมาณซิลิกา (SiO_2) ที่นำมาแสดงด้วยนั้น จะใช้สำหรับการประเมินหาอุณหภูมิของน้ำพุร้อนจากแหล่งกักเก็บในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 7 ข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับ	แหล่งน้ำพุร้อน	อุณหภูมิ[1] (°C)	อัตราการไหล[2] (L/s)	SiO_2 (ppm)
1	แม่ฮี้	37.4	0.00	58.2
2	แม่ฮุ	46.8	0.03	93.2
3	บ่อน้ำพุร้อนโป่งสัก	53.7	0.00	85.1
4	ผาบ่อง	65.5	0.67	108.3
5	แม่อุมลองหลวง	78.8	0.19	92.5
6	บ่อน้ำพุร้อนท่าปาย	78.9	1.44	59.3
7	หนองแห้ง	81.1	3.00	100.2
8	บ่อน้ำพุร้อนโป่งปะ	87.4	0.23	87.3

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ลำดับ	แหล่งน้ำพุร้อน	อุณหภูมิ[1] (°C)	อัตราการไหล[2] (L/s)	SiO_2 (ppm)
9	เมืองแปง	96.0	5.56	87.2

หมายเหตุ: [1] อุณหภูมิน้ำพุร้อนที่ผิวดิน
[2] อัตราการไหลของน้ำพุร้อนที่ผิวดิน

ข้อมูลพลังงานชีวมวล

ข้อมูลพลังงานชีวมวล คือ ข้อมูลชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม ซึ่งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้รวบรวมข้อมูลของปี พ.ศ.2556 และจัดทำเป็นระบบฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย เพื่อให้หน่วยงานภาครัฐ นักลงทุน นักวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือสนใจด้านพลังงานชีวมวลใช้สำหรับศึกษาข้อมูลเบื้องต้นถึงศักยภาพชีวมวลที่เหลืออยู่ (Residue Potential) ในแต่ละพื้นที่ เพื่อประกอบการพิจารณาจัดทำนโยบายส่งเสริมสนับสนุนลงทุนหรือศึกษาวิจัย โดยที่ข้อมูลได้จำแนกเป็นข้อมูลรวมของประเทศไทย ข้อมูลรายภาค รายจังหวัด รายอำเภอ และข้อมูลดังกล่าวจะประกอบด้วย ปีที่ปลูก รายการพืชที่เพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูก ค่าดัชนีผลผลิต/พื้นที่ ปริมาณผลผลิต ปริมาณชีวมวล ชีวมวลที่ใช้ไปแล้ว ปริมาณชีวมวลที่เหลือ ศักยภาพทางความร้อน และอื่นๆ ซึ่งผู้วิจัยได้ค้นหาข้อมูลและคัดเลือกมาเฉพาะข้อมูลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งพบว่าจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีชีวมวลภาคเกษตรกรรมจากพืชเพียง 3 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ ข้าว แบ่งเป็นข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และพืชตระกูลถั่ว สำหรับชีวมวลจากข้าว คือ ฟางข้าวและแกลบ ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ ลำต้นข้าวโพดและซังข้าวโพด และชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว คือ ลำต้น เปลือกและใบถั่วเหลือง โดยที่ค่าความร้อนของชีวมวลแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน จึงได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 8 แล้วดังนี้

ตารางที่ 8 ข้อมูลชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม

รายการ	พื้นที่เพาะปลูก (Rai)	ปริมาณผลผลิต (Ton/y)	ปริมาณชีวมวล (Ton/y)	ชีวมวลที่ใช้ไปแล้ว (Ton/y)	ชีวมวลที่เหลือ (Ton/y)	ค่าความร้อน (MJ/kg)
1. ข้าวนาปี	43,374.00	7,959.00				
- ฟางข้าว-นาปี			33,299.91	3,299.91		12.33
- แกลบ-นาปี			14,271.39	14,271.39		13.52
2. ข้าวนาปรัง	565.00	338.00				
- ฟางข้าว-นาปรัง			165.62	165.62		12.33
- แกลบ-นาปรัง			70.98	70.98		13.52
3. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	52,950.00	32,936.00				
- ลำต้นข้าวโพด			60,602.24	3,030.11	57,572.13	9.83
- ซังข้าวโพด			7,904.64	7,114.18	790.46	9.62
4. พืชตระกูลถั่ว	26,325.00	8,610.00				
- ลำต้น เปลือก และใบถั่วเหลือง			10,133.97	506.70	9,627.27	16.23

ข้อมูลพลังงานขยะ

ข้อมูลปริมาณขยะ คือ ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนในปี พ.ศ.2558 ที่เกิดขึ้นในพื้นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นข้อมูลจากสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้ทำการรวบรวมไว้ จังหวัดแม่ฮ่องสอนมี อปท. ทั้งหมดรวม 49 แต่มีเฉพาะ 25 อปท. ที่มีการให้บริการจัดเก็บขยะ ฉะนั้นข้อมูลปริมาณขยะจึงแยกเป็น 2 ชุดข้อมูล ชุดแรกคือ ข้อมูลปริมาณขยะในพื้นที่ๆ อปท. มีการให้บริการจัดเก็บขยะ จำนวน 25 อปท. ประกอบด้วย ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ปริมาณขยะที่นำไปใช้ประโยชน์ และปริมาณขยะที่ผู้จัดเก็บขนนำไปกำจัด และชุดที่สอง คือ ข้อมูลปริมาณขยะนอกพื้นที่ๆ อปท. มีการให้บริการจัดเก็บขยะ จำนวน 24 อปท. ประกอบด้วย ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ปริมาณขยะที่นำไปใช้ประโยชน์ และปริมาณขยะที่กำจัดไม่ถูกต้อง นำมาสรุปในตารางที่ 9 และ 10 แล้วดังนี้

ตารางที่ 9 ปริมาณขยะในพื้นที่ๆ มีบริการจัดเก็บ

ลำดับ	พื้นที่	อำเภอ	ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น (Ton/d)	ปริมาณขยะที่นำไปใช้ประโยชน์ (Ton/d)	ปริมาณขยะที่นำไปกำจัด (Ton/d)
1	ทม.แม่ฮ่องสอน	เมือง	11.00	5.00	6.00
2	อบต.ปางหมู	เมือง	13.62	6.54	7.08
3	อบต.ผาบ่อง	เมือง	7.00	3.13	3.87
	รวมอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน		31.62	14.67	16.95
4	ทต.ขุนยวม	ขุนยวม	3.66	1.76	1.90
5	อบต.เมืองปอน	ขุนยวม	3.95	1.89	2.05
6	อบต.แม่เงา	ขุนยวม	2.75	1.32	1.43
	รวมอำเภอขุนยวม		10.36	4.97	5.39
7	ทต.แม่ลาน้อย	แม่ลาน้อย	3.84	1.84	2.00
8	อบต.ท่าผาปุ้ม	แม่ลาน้อย	3.53	1.69	1.83
9	อบต.แม่ลาน้อย	แม่ลาน้อย	4.58	2.20	2.38
10	อบต.แม่ลาหลวง	แม่ลาน้อย	4.71	2.26	2.45
11	อบต.สันติคีรี	แม่ลาน้อย	2.43	1.17	1.26
	รวมอำเภอแม่ลาน้อย		19.09	9.16	9.92
12	ทต.แม่สะเรียง	แม่สะเรียง	4.00	1.40	2.60
13	อบต.เมืองยวมใต้	แม่สะเรียง	7.70	3.69	4.00
14	อบต.บ้านกาศ	แม่สะเรียง	8.61	4.13	4.48
15	อบต.แม่คง	แม่สะเรียง	3.76	1.80	1.95
16	อบต.แม่เหาะ	แม่สะเรียง	5.23	2.51	2.72
	รวมอำเภอแม่สะเรียง		29.29	13.54	15.75
17	อบต.แม่คะตวน	สบเมย	5.15	2.47	2.68
18	อบต.แม่สวด	สบเมย	6.13	2.94	3.19
19	อบต.สบเมย	สบเมย	5.24	2.52	2.73
	รวมอำเภอสบเมย		16.52	7.93	8.59
20	ทต.ปาย	ปาย	5.00	1.10	3.90

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่	อำเภอ	ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น (Ton/d)	ปริมาณขยะที่นำไปใช้ประโยชน์ (Ton/d)	ปริมาณขยะที่นำไปกำจัด (Ton/d)
21	อบต.ทุ่งยาว	ปาย	4.45	1.79	2.66
22	อบต.แม่ฮี้	ปาย	2.66	1.28	1.39
23	อบต.เวียงเหนือ	ปาย	2.19	1.05	1.14
	รวมอำเภอปาย		14.31	5.23	9.08
24	อบต.ถ้ำลอด	ปางมะผ้า	5.00	1.54	3.46
25	อบต.สบป่อง	ปางมะผ้า	6.38	3.06	3.32
	รวมอำเภอปางมะผ้า	11.38	4.61	6.77	
รวมทั้งหมด			132.56	60.11	72.45

ตารางที่ 10 ปริมาณขยะนอกพื้นที่ๆ มีบริการจัดเก็บ

ลำดับ	พื้นที่	อำเภอ	ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น (Ton/d)	ปริมาณขยะที่นำไปใช้ประโยชน์ (Ton/d)	ปริมาณขยะที่กำจัดไม่ถูกต้อง (Ton/d)
1	อบต.หมอกจำแป่	เมือง	6.31	1.51	4.79
2	อบต.ห้วยปูลิง	เมือง	2.88	0.69	2.19
3	อบต.ห้วยโป่ง	เมือง	7.00	1.68	5.32
4	อบต.ห้วยผา	เมือง	4.93	1.18	3.74
	รวมอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน		21.11	5.07	16.04
5	อบต.แม่ยวมน้อย	ขุนยวม	2.23	0.54	1.70
6	อบต.แม่อูคอ	ขุนยวม	1.00	0.24	0.76
7	อบต.ขุนยวม	ขุนยวม	3.28	0.79	2.49
8	อบต.แม่กิ๊	ขุนยวม	3.00	0.72	2.28
	รวมอำเภอขุนยวม		9.51	2.28	7.23
9	อบต.ขุนแม่ลาน้อย	แม่ลาน้อย	2.63	0.63	2.00

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่	อำเภอ	ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น (Ton/d)	ปริมาณขยะที่นำไปใช้ประโยชน์ (Ton/d)	ปริมาณขยะที่กำจัดไม่ถูกต้อง (Ton/d)
10	อบต.แม่โถ	แม่ลาน้อย	3.24	0.78	2.46
11	อบต.แม่นาจาง	แม่ลาน้อย	2.98	0.72	2.27
12	อบต.ห้วยห้อม	แม่ลาน้อย	4.02	0.96	3.06
	รวมอำเภอแม่ลาน้อย		12.86	3.09	9.78
13	ทต.แม่ยวม	แม่สะเรียง	1.50	0.36	1.14
14	อบต.ป่าแป๋	แม่สะเรียง	5.27	1.26	4.01
15	อบต.เสาหิน	แม่สะเรียง	2.47	0.59	1.88
	รวมอำเภอแม่สะเรียง		9.24	2.22	7.02
16	อบต.กองก๋อย	สบเมย	4.69	1.13	3.56
17	อบต.ป่าโปง	สบเมย	3.49	0.84	2.65
18	อบต.แม่สามแลบ	สบเมย	5.74	1.38	4.36
	รวมอำเภอสบเมย		13.92	3.34	10.58
19	อบต.โป่งสา	ปาย	2.81	0.68	2.14
20	อบต.เมืองแปง	ปาย	3.02	0.73	2.30
21	อบต.แม่นาเติง	ปาย	5.68	1.36	4.32
22	อบต.เวียงใต้	ปาย	1.00	0.24	0.76
	รวมอำเภอปาย		12.52	3.00	9.51
23	อบต.นาปู่ป้อม	ปางมะผ้า	3.69	0.89	2.81
24	อบต.ปางมะผ้า	ปางมะผ้า	3.52	0.85	2.68
	รวมอำเภอปางมะผ้า		7.22	1.73	5.48
รวมทั้งหมด			86.38	20.73	65.65

ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์หรือค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีที่ตกบนระนาบเอียงของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเป็นรายชั่วโมงตั้งแต่เวลาพระอาทิตย์ขึ้นจนพระอาทิตย์ตก หรือกำหนดเวลาตั้งแต่ 6:00-18:00 น. โดยทำการประเมินหาค่ารังสีแสงอาทิตย์จากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ปี พ.ศ.2559 (นัฐพร, 2559) โดยทำการกำหนดข้อมูลลงในโปรแกรม คือ ตำแหน่งของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ละติจูด : 19.16 °N ลองจิจูด : 97.57 °E ลักษณะพื้นสะท้อนของรังสีอาทิตย์ : Concrete ซึ่งข้อมูลการประเมินค่ารังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกบนระนาบเอียงของจังหวัดแม่ฮ่องสอนในแต่ละเดือนของปีแสดงตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกบนระนาบเอียงของจังหวัดแม่ฮ่องสอนเดือนมกราคมหาเดือนมิถุนายน

หน่วย : W/m^2

Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
6:00	0.00	0.00	27.94	53.64	104.69	145.29
7:00	154.29	183.61	204.10	218.36	256.05	325.61
8:00	362.38	403.28	418.34	418.29	394.62	490.68
9:00	575.80	628.23	637.31	622.42	542.04	629.27
10:00	756.68	818.70	822.51	794.97	679.54	731.92
11:00	870.84	938.85	939.28	903.71	766.32	791.64
12:00	896.02	965.35	965.02	927.68	785.46	804.37
13:00	827.23	892.96	894.69	862.18	733.17	769.23
14:00	678.03	735.89	742.01	719.97	619.75	688.62
15:00	477.15	524.28	536.16	528.15	467.03	568.03
16:00	261.63	296.98	314.73	321.64	331.67	415.69
17:00	68.00	92.33	114.87	134.98	185.84	241.96
18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.00	58.70

ตารางที่ 12 ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกบนระนาบเอียงของจังหวัดแม่ฮ่องสอนเดือนกรกฎาคมหาเดือนธันวาคม

หน่วย : W/m^2

Time	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
6:00	138.50	107.47	57.76	2.72	0.00	0.00
7:00	322.08	300.21	255.89	176.03	118.59	139.81
8:00	490.15	476.66	437.28	334.70	296.95	336.30
9:00	631.25	624.80	589.56	467.90	480.33	537.94
10:00	735.76	734.52	702.36	569.63	635.96	708.88
11:00	796.57	798.36	767.99	656.96	734.25	816.79
12:00	809.53	811.97	781.97	676.23	755.94	840.59
13:00	773.75	774.41	743.36	623.58	696.70	775.57
14:00	691.68	688.24	654.78	524.95	568.26	634.54
15:00	568.91	559.35	522.28	409.05	395.52	444.72
16:00	413.80	396.50	354.87	262.61	210.53	241.14
17:00	236.92	210.80	163.98	95.63	44.85	58.37
18:00	50.33	14.91	0.00	0.00	0.00	0.00

บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผล

ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การประเมินศักยภาพด้านพลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน) เป็นการประเมินหาศักยภาพของแหล่งน้ำพุร้อนแต่ละแหล่ง คือ อุณหภูมิและอัตราการไหลจากแหล่งกักเก็บเพื่อจะนำเข้าระบบผลิตไฟฟ้า แต่ข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมได้ของแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้ง 9 แห่ง นั้นประกอบด้วย อุณหภูมิผิวดิน อัตราการไหลผิวดิน และปริมาณซิลิกา (SiO_2) จึงต้องใช้ข้อมูลทั้ง 3 รายการดังกล่าวมาคำนวณโดยใช้สมการ Quartz (Maximum steam loss) เพื่อใช้ประเมินหาศักยภาพของบ่อน้ำพุร้อนแต่ละแห่ง

เมื่อทำการประเมินโดยคำนวณหาศักยภาพของแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งของจังหวัดแม่ฮ่องสอน จะได้อุณหภูมิและอัตราการไหลจากแหล่งกักเก็บ โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ศักยภาพแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับที่	แหล่งน้ำพุร้อน	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (L/s)
1	แม่ฮี้	108.77	0.00
2	แม่ฮุ	129.43	0.23
3	บ่อน้ำพุร้อนโป่งสัก	125.27	0.00
4	ผาบ่อง	136.50	5.03
5	แม่อุมลองหลวง	129.08	1.43
6	บ่อน้ำพุร้อนท่าปาย	109.56	10.80
7	หนองแห้ง	132.81	22.50
8	บ่อน้ำพุร้อนโป่งปะ	126.43	1.73
9	เมืองแปง	126.38	41.70

เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของแหล่งน้ำพุร้อนแล้ว จะเห็นได้ว่าบางแหล่งนั้นมีอัตราการไหลจากแหล่งกักเก็บน้อยมาก คืออยู่ในช่วง 0-0.23 L/s เนื่องมาจากไม่มีอัตราการไหลผิวดินหรือมีน้อย

มาก จึงทำการคัดเลือกเฉพาะบ่อน้ำพุร้อนที่มีอัตราการไหลมากและตัดแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0-0.23 L/s ออกไปให้เหลือจำนวน 6 แหล่ง ประเมินศักยภาพจากแหล่งกักเก็บ มีอุณหภูมิ 109.56-136.5 °C และอัตราการไหล 1.43-41.70 L/s โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 14 แล้วนำข้อมูลของทั้ง 6 แหล่งไปคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน เพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อไป

ตารางที่ 14 แหล่งน้ำพุร้อนที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า

ลำดับที่	แหล่งน้ำพุร้อน	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (L/s)
1	ผาบ่อง	136.50	5.03
2	แม่อุมลองหลวง	129.08	1.43
3	บ่อน้ำพุร้อนท่าปาย	109.56	10.80
4	หนองแห้ง	132.81	22.50
5	บ่อน้ำพุร้อนโป่งปะ	126.43	1.73
6	เมืองแปง	126.38	41.70

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวล (ชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม)

ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม คือการนำข้อมูลทุติยภูมิของพลังงานชีวมวล มาทำการคำนวณหาศักยภาพพลังงานความร้อนของชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยการนำปริมาณชีวมวลคงเหลือแต่ละชนิดไปคำนวณกับค่าความร้อนเพื่อนำมาใช้ในการหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยมีชีวมวลจากพืช 3 ชนิด คือ ข้าว (ข้าวนาปีและข้าวนาปรัง) ข้าวโพดและพืชตระกูลถั่ว ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ชีวมวลจากข้าวมีสัดส่วนที่ใช้ไปแล้ว 100% ทำให้มีชีวมวลคงเหลือ 0% จึงไม่มีศักยภาพพลังงานความร้อนที่นำไปใช้งานได้ สำหรับชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และจากพืชตระกูลถั่ว มีสัดส่วนที่เหลือใช้ 85% และ 95% ตามลำดับและมีศักยภาพพลังงานความร้อน 573,538 TJ/y และ 156,251 TJ/y ตามลำดับ โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ศักยภาพชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

รายการ	ปริมาณชีวมวล (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)	สัดส่วนที่ใช้ไปแล้ว (%)	ชีวมวลที่ใช้ไปแล้ว (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)	สัดส่วนที่เหลือ (%)	ปริมาณชีวมวลที่เหลือ (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)
1. ข้าว								
- แกลบและฟางข้าว	47,808	606,539	100	47,808	606,539	0	0	0
2. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์								
- ลำต้นและซังข้าวโพด	68,507	671,763	15	10,144	98,224	85	58,363	573,538
3. พืชตระกูลถั่ว								
- ลำต้นเปลือกและใบถั่วเหลือง	10,134	164,474	5	507	8,224	95	9,627	156,251

จากตารางที่ 15 จะเห็นว่าชีวมวลจากข้าว คือ แกลบและฟางข้าวถูกนำไปใช้แล้วทั้งหมด ซึ่งหากสามารถนำส่วนที่ถูกใช้ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า จะสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้เป็นอย่างมาก ซึ่งในการศึกษานี้ผู้วิจัยจะพิจารณาโดยการนำชีวมวลจากข้าวกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าที่ปริมาณ 50% และ 100% เพื่อหาความเป็นไปได้ของศักยภาพพลังงานความร้อนที่จะนำไปผลิตไฟฟ้า จากผลการคำนวณทำให้พบว่าพลังงานความร้อนของชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% และ 100% เท่ากับ 303,269 TJ/y และ 606,539 TJ/y ตามลำดับ ดังแสดงศักยภาพพลังงานความร้อนของชีวมวลจากข้าวในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ศักยภาพชีวมวลจากข้าวที่ 50% และ 100% ของปริมาณทั้งหมด

รายการ	ปริมาณชีวมวล (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)	สัดส่วนที่ใช้ไปแล้ว (%)	ชีวมวลที่ใช้ไปแล้ว (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)	สัดส่วนที่เหลือ (%)	ปริมาณชีวมวลที่เหลือ (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)
1. ข้าว								
- แกลบและฟางข้าว	47,808	606,539	50	23,904	303,269	50	23,904	303,269
2. ข้าว								
- แกลบและฟางข้าว	47,808	606,539	0	0	0	100	47,808	606,59

จากนั้นนำข้อมูลพลังงานความร้อนของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด จากตารางที่ 15 และ 16 ไปคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรมเพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อไป

ผลการประเมินศักยภาพด้านพลังงานขยะ (ขยะมูลมูลฝอยในชุมชน)

ศักยภาพพลังงานขยะ จากข้อมูลทุติยภูมิแล้ว ขยะที่มีศักยภาพและสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้นั้น จะพิจารณาจากขยะในพื้นที่ให้บริการจัดเก็บขยะเท่านั้น เนื่องจากสามารถบริหารจัดการได้สะดวกและเป็นไปตามระเบียบ ข้อกฎหมายในการขนย้าย สำหรับขยะนอกพื้นที่ให้บริการจัดเก็บถือยังไม่นำมาพิจารณา ทั้งนี้ การประเมินศักยภาพด้านพลังงานขยะนั้นสามารถทำได้โดยการคำนวณหาศักยภาพพลังงานความร้อนของขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน แต่การจะหาศักยภาพพลังงานความร้อนของขยะได้นั้น ต้องทำการค่าความร้อนของขยะมูลฝอยก่อน ซึ่งการหาค่าความร้อนของขยะมูลฝอยในชุมชน (Municipal Solid Waste : MSW) นั้น ผู้วิจัยใช้วิธีการสำรวจข้อมูลขยะจาก 4 แหล่งในจังหวัดแม่ฮ่องสอน คือ ตลาดสด โรงเรียน ศาลากลางจังหวัด และชุมชน แล้วทำการคัดแยกขยะเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มขยะที่เผาไหม้ได้ และกลุ่มที่เผาไหม้ไม่ได้ โดยกลุ่มที่เผาไหม้ได้แบ่งย่อยออกเป็น 7 ประเภทย่อย ประกอบด้วย กระดาษ พลาสติก กิ่งไม้และใบไม้ เศษผักและเศษอาหาร ผ้า โฟม และขยะทั่วไป สำหรับกลุ่มที่เผาไหม้ไม่ได้ แบ่งออกเป็น 3

ประเภทย่อย ประกอบไปด้วย แก้ว โลหะ และขยะอันตราย แสดงรายละเอียดในตารางที่ 17 และตารางที่ 18 ต่อไปนี้

ตารางที่ 17 ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลขยะของตลาดสด และโรงเรียน

สถานที่	ตลาดสด			โรงเรียน		
ขยะถังที่	1	2	3	1	2	3
น้ำหนัก kg.	14.123	12.441	12.786	2.782	2.770	3.008
1. กระดาษ	0.081	0.185	0.096	0.338	0.186	0.408
2. พลาสติก	0.835	1.106	0.953	1.732	2.089	1.871
3. กิ่งไม้ ใบไม้	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4. เศษผักเศษอาหาร	12.896	10.712	11.106	0.576	0.184	0.368
5. ผ้า	0.000	0.000	0.102	0.000	0.000	0.000
6. โฟม	0.007	0.065	0.125	0.088	0.107	0.068
7. ขยะทั่วไป	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8. แก้ว	0.127	0.198	0.168	0.000	0.000	0.000
9. โลหะ	0.027	0.071	0.080	0.000	0.080	0.109
10. ขยะอันตราย	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
รวม	13.973	12.337	12.630	2.734	2.646	2.824

ตารางที่ 18 ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลขยะของศาลากลางจังหวัด และชุมชน

สถานที่	ศาลากลางจังหวัด			ชุมชน		
ขยะถังที่	1	2	3	1	2	3
น้ำหนัก kg.	4.554	4.219	4.684	8.105	3.516	3.372
1. กระดาษ	1.116	1.003	1.469	0.256	0.080	0.165
2. พลาสติก	1.468	0.735	1.108	2.074	1.034	1.489
3. กิ่งไม้ ใบไม้	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4. เศษผักเศษอาหาร	1.552	1.991	1.869	5.336	1.968	1.089
5. ผ้า	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6. โฟม	0.069	0.125	0.089	0.009	0.121	0.062

ตารางที่ 18 (ต่อ)

สถานที่	ศาลากลางจังหวัด			ชุมชน		
ขยะถังที่	1	2	3	1	2	3
7. ขยะทั่วไป	0.000	0.000	0.000	0.118	0.018	0.000
8. แก้ว	0.178	0.172	0.128	0.145	0.000	0.286
9. โลหะ	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.127
10. ขยะอันตราย	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
รวม	4.383	4.026	4.663	7.962	3.221	3.218

จะคำนวณได้ค่าความร้อนของขยะมูลฝอยแต่ละประเภทและค่าความร้อนรวมของขยะกลุ่มที่เผาไหม้ได้ ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าความร้อนขยะมูลฝอยแต่ละประเภท

รายการ	น้ำหนัก (kg)	น้ำหนัก (%)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ค่าความร้อน (%)	
1. กระดาษ	0.449	7.214	14.137	1.020	กลุ่มเผาไหม้ได้ 19.014 MJ/kg
2. พลาสติก	1.375	22.105	24.885	5.501	
3. กิ่งไม้ ใบไม้	0.000	0.000	16.380	0.000	
4. เศษผัก เศษอาหาร	4.137	66.536	18.232	12.131	
5. ผ้า	0.009	0.137	21.101	0.029	
6. โฟม	0.078	1.253	24.885	0.312	
7. ขยะทั่วไป	0.011	0.182	12.167	0.022	
8. แก้ว	0.117	1.879	0.221	0.004	กลุ่มเผาไหม้ไม่ได้ 0.015 MJ/kg
9. โลหะ	0.043	0.694	1.548	0.011	
10. ขยะอันตราย	0.000	0.000	12.167	0.000	
รวม	6.218	100		19.029	

ซึ่งขยะกลุ่มที่เผาไหม้ได้ (รายการที่ 1-7) จะมีสัดส่วนปริมาณขยะต่อน้ำหนัก คือ 97.43% และมีค่าความร้อนรวม คือ 19.014 MJ/kg สำหรับขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ (รายการที่ 8-10) จะมีสัดส่วนเพียง 2.57% และค่าความร้อนรวม คือ 0.015 MJ/kg เมื่อได้สัดส่วนต่อน้ำหนักและค่าความร้อนของ

ขยะมูลฝอยแล้ว จึงนำค่าความร้อนของขยะกลุ่มเผาไหม้ได้มาใช้ในการคำนวณหาศักยภาพพลังงานความร้อนของขยะมูลฝอยชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งปริมาณขยะทั้งหมด ขยะที่นำไปใช้ประโยชน์แล้วและขยะที่นำไปกำจัด (ขยะที่เหลือ) ขยะที่เผาไหม้ได้ (97.43% ของขยะที่นำไปกำจัด) และศักยภาพพลังงานความร้อนที่ประเมินจากขยะที่เผาไหม้ได้ ของขยะในพื้นที่ๆ มีบริการจัดเก็บสามารถแยกเป็นรายอำเภอได้ ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 20 ทั้งนี้ปริมาณขยะที่นำไปกำจัด (ขยะที่เหลือ) คิดเป็น 54.66% ของปริมาณขยะทั้งหมด และเป็นขยะที่เผาไหม้ได้รวมแล้ว 25,765 Ton/y ให้พลังงานความร้อนรวม 489.89 TJ/y ปริมาณขยะมากที่สุดได้แก่พื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนและแม่สะเรียง 6,026 Ton/y และ 5,602 Ton/y ตามลำดับ

ตารางที่ 20 ศักยภาพพลังงานความร้อนขยะมูลฝอยของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

รายการ	ปริมาณขยะ (Ton/y)	สัดส่วนที่ใช้ไปแล้ว (%)	ขยะที่ใช้ไปแล้ว (Ton/y)	สัดส่วนที่นำไปกำจัด (%)	ขยะที่นำไปกำจัด (Ton/y)	ขยะที่เผาไหม้ได้ (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)
1. เมืองแม่ฮ่องสอน	11,540	46.40	5,354	53.60	6,185	6,026	114.58
2. ขุนยวม	3,781	48.00	1,815	52.00	1,966	1,916	36.42
3. แม่ลาน้อย	6,966	48.00	3,344	52.00	3,622	3,529	67.11
4. แม่สะเรียง	10,691	46.22	4,941	53.78	5,750	5,602	106.52
5. สบเมย	6,031	48.00	2,895	52.00	3,136	3,055	58.10
6. ปาย	5,222	36.56	1,909	63.44	3,313	3,228	61.37
7. ปางมะผ้า	4,153	40.48	1,681	59.52	2,472	2,408	45.79
รวม	48,383	45.34	21,939	54.66	26,444	25,765	489.89

จากข้อมูลในตาราง 20 มีปริมาณขยะที่ถูกนำไปใช้แล้ว 45.34% ขยะที่ถูกใช้ประโยชน์ไปแล้วอาจจะนำไปใช้ได้ไม่คุ้มค่า ใช้ไม่ถูกวิธี เผาทำลาย เกิดประโยชน์น้อย แต่ถ้าสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเชื้อเพลิงขยะเพื่อผลิตไฟฟ้าจะได้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น จากปริมาณ 21,939 Ton/y เป็นขยะที่เผาไหม้ได้รวมแล้ว 21,375 Ton/y ให้พลังงานความร้อนรวม 406.43 TJ/y ปริมาณขยะมากที่สุดได้แก่พื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนและแม่สะเรียง 5,217 Ton/y และ 4,814 Ton/y ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ศักยภาพพลังงานความร้อน กรณีนำขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง

รายการ	ขยะที่ใช้ไปแล้ว (Ton/y)	ขยะที่เผาไหม้ได้ (Ton/y)	พลังงานความร้อน (TJ/y)
1. เมืองแม่ฮ่องสอน	5,354	5,217	99.19
2. ขุนยวม	1,815	1,768	33.62
3. แม่ลาน้อย	3,344	3,258	61.94
4. แม่สะเรียง	4,941	4,814	91.54
5. สบเมย	2,895	2,820	53.63
6. ปาย	1,909	1,860	35.37
7. ปางมะผ้า	1,681	1,638	31.14
รวม	21,939	21,375	406.43

จากนั้นนำข้อมูลศักยภาพพลังงานความร้อนของขยะมูลฝอยชุมชน ในพื้นที่ๆ มีบริการจัดเก็บและไม่มีบริการจัดเก็บ ทั้งในส่วนขยะที่เหลือและส่วนขยะที่ใช้ไปแล้ว จากตารางที่ 15 และ 16 ไปคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนเพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อไป

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

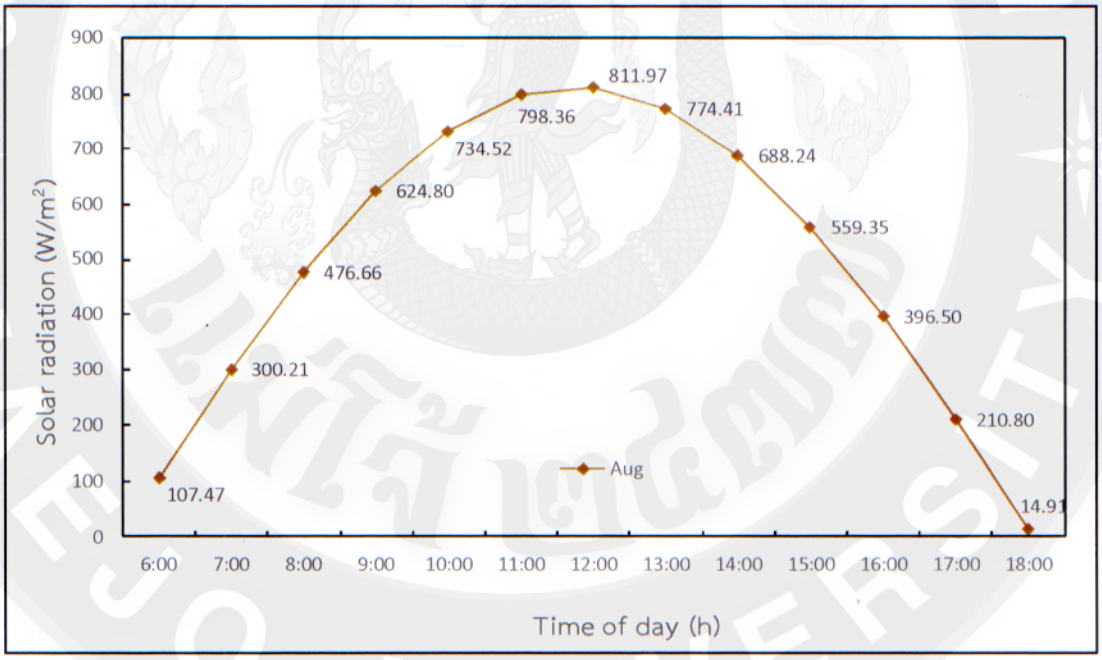
การประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ได้จากการนำข้อมูลทุติยภูมิของค่ารังสีแสงอาทิตย์มาทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ปี พ.ศ.2559 (นัฐพร, 2559) เพื่อหาศักยภาพการผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะนำน้ำร้อนที่ผลิตได้ไปป้อนให้โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ทั้งนี้ การผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะนำไปใช้ผลิตไฟฟ้า จะต้องทำการประเมินหาศักยภาพจากค่ารังสีแสงอาทิตย์ในเดือนที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ต่ำที่สุดในรอบปี เพื่อให้ได้ศักยภาพการผลิตน้ำร้อนที่ต่ำที่สุดมาใช้ผลิตไฟฟ้า ซึ่งค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่มีค่าต่ำที่สุดของจังหวัดแม่ฮ่องสอน คือ เดือนสิงหาคม มีค่ารังสี 14.15 $MJ/m^2.d$ (RETScreen, 2016) ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
IT ($MJ/m^2.d$)	18.68	21.28	23.11	23.15	19.62	15.62
Month	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
IT ($MJ/m^2.d$)	14.33	14.15	15.77	16.42	16.13	17.10

ที่มา : RETScreen (2016)

ซึ่งในการออกแบบและคำนวณระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะนำไปใช้ผลิตไฟฟ้า จะใช้ค่าของรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม ข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคมแสดงในภาพที่ 28 นำมาคำนวณหาศักยภาพในการผลิตน้ำร้อนขั้นต่ำที่สุดที่สามารถผลิตได้เพื่อใช้ป้อนเข้าระบบผลิตไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 28 ค่ารังสีอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนในเดือนสิงหาคม

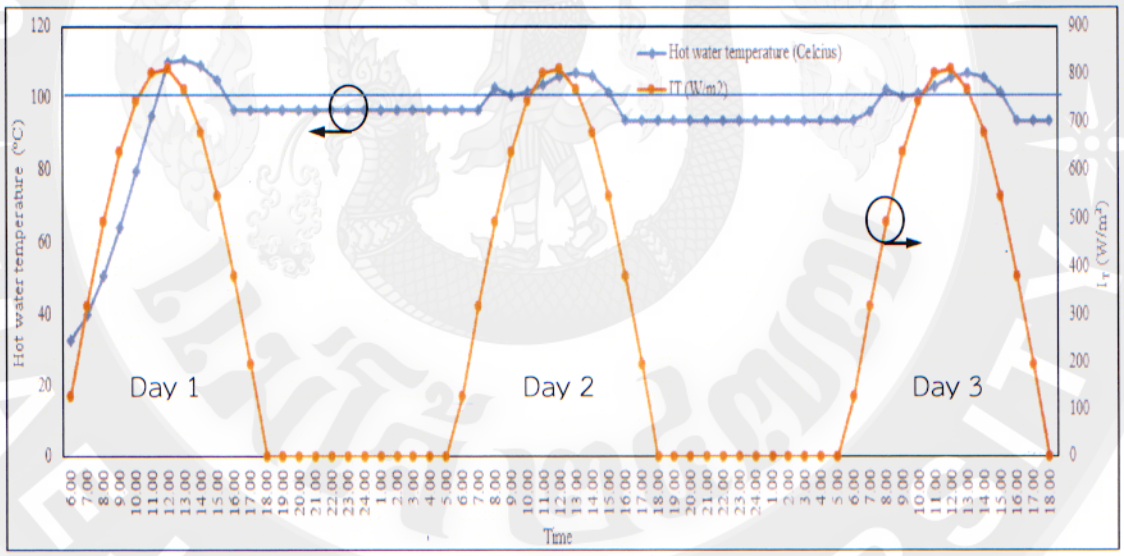
เงื่อนไขในการคำนวณโดยโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ปี พ.ศ.2559

1. ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมมาจากค่ารังสีพลังงานแสงอาทิตย์จังหวัดแม่ฮ่องสอนของเดือนสิงหาคม

2. อุณหภูมิน้ำเข้า เท่ากับ 30 °C

3. ละติจูด (Latitude) เท่ากับ 19.16 °N (จังหวัดแม่ฮ่องสอน)
4. ลองจิจูด (Longitude) เท่ากับ 97.57 °E (จังหวัดแม่ฮ่องสอน)
5. ฐานของพื้นที่ติดตั้งระบบเป็นพื้นคอนกรีต
6. ขนาดของถังเก็บน้ำ เท่ากับ 15,000 L
7. ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector)
8. พื้นที่ของตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ เท่ากับ 2.4 m^2/unit
9. อัตราการให้ความร้อนของการใช้งาน เท่ากับ 200 kW
10. อุณหภูมิน้ำร้อนขั้นต่ำที่ต้องการใช้น้ำร้อน เท่ากับ 100 °C

ผลจากการคำนวณโดยโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าจำนวนตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำให้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิตั้งแต่ 100 °C ทำงานต่อเนื่อง 8 h เท่ากับ 214 unit โดยต่อแบบขนานร่วมกัน เก็บสะสมความร้อนไว้ในถังเก็บน้ำขนาด 15,000 L ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

โดยที่ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิตั้งแต่ 100 °C ได้ต่อเนื่อง 8 h ตั้งแต่วันที่ 2 ของการทำงานเป็นต้นไป ซึ่งเท่ากับว่าระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถป้อนน้ำร้อน 200 kW น้ำร้อนอุณหภูมิตั้งแต่ 100 °C ได้ต่อเนื่อง 8 h/d ให้แก่โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยโรงไฟฟ้าสามารถเริ่มทำงานได้ตั้งแต่วันที่ 2 ของการทำงานระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งศักยภาพที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้ จะนำไป

คำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อไป

ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

เมื่อได้ข้อมูลและผลการประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภทแล้ว จึงดำเนินการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สำหรับพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภท แล้วนำข้อมูลจากผลการประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนมาเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้เพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภท โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภทจะมีความแตกต่างกันตามศักยภาพของเชื้อเพลิง จากนั้นทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน)

เมื่อนำศักยภาพของแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 6 แหล่งมาคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน (ภาพที่ 21) จะทำให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากน้ำพุร้อนรวมทั้งสิ้น 291 kW_e โดยมีโรงไฟฟ้าขนาดเล็กที่สุด คือ 5 kW_e จากแหล่งน้ำพุร้อนแม่อุมลอง และขนาดใหญ่ที่สุด คือ 146 kW_e จากแหล่งน้ำพุร้อนเมืองแปง โดยที่แหล่งบ่อน้ำพุร้อนท่าปายจะมีประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ต่ำที่สุด คือ 7.24% และสูงที่สุด คือ แหล่งผาบ่อง 11.14% จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิน้ำพุร้อน ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำพุร้อนจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับ	แหล่งน้ำพุร้อน	อุณหภูมิ[1] (°C)	อัตราการไหล[2] (L/s)	ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (%)	ศักยภาพ[3] (kW_e)	ศักยภาพ[4] (MWh/y)
1	ผาบ่อง	136.50	5.03	11.14	20	168
2	แม่อุมลองหลวง	129.08	1.43	10.20	5	44
3	บ่อน้ำพุร้อนท่าปาย	109.56	10.80	7.24	28	235
4	หนองแห้ง	132.81	22.50	10.68	86	721
5	บ่อน้ำพุร้อนโป่งปะ	126.43	1.73	9.84	6	51
6	เมืองแปง	126.38	41.70	9.83	146	1,230
	รวม				291	2,449

หมายเหตุ: [1] อุณหภูมิน้ำพุร้อนที่แหล่งกักเก็บใต้ผิวดิน

[2] อัตราการไหลน้ำพุร้อนที่แหล่งกักเก็บใต้ผิวดิน

[3] ศักยภาพประเมินจาก $W_e = \eta_{ORC}\dot{m}_{HS}Cp_{HS}\Delta T_{HS}$

[4] การผลิตพลังงานไฟฟ้า 24 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

เมื่อทำการประเมินหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อน คือ 2.33 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 146 kW_e มูลค่าการลงทุน 23,133,695 Baht และ 8.41 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5 kW_e มูลค่าการลงทุน 2,958,982 Baht ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับที่	แหล่งน้ำพุร้อน	ศักยภาพ (kW_e)	ราคาระบบผลิตไฟฟ้า (Baht)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
1	ผาบ่อง	20	1,898,833	5,069,133	3.74
2	แม่อุมลองหลวง	5	493,054	2,958,982	8.41
3	บ่อน้ำพุร้อนท่าปาย	28	2,658,348	6,230,246	3.28

ตารางที่ 24 (ต่อ)

ลำดับที่	แหล่งน้ำพุร้อน	ศักยภาพ (kW_e)	ราคาระบบผลิตไฟฟ้า (Baht)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
4	หนองแห้ง	86	8,153,670	14,466,066	2.49
5	บ่อน้ำพุร้อนโป่งปะ	6	575,904	3,083,828	7.50
6	เมืองแปง	146	13,911,709	23,133,695	2.33

ระยะเวลาคืนทุน เนื่องจากในปัจจุบันรัฐบาลยังไม่มีนโยบายในการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานความร้อนใต้พิภพจึงไม่มีอัตราการรับซื้อ ในที่นี้จึงคำนวณผลตอบแทนต่อปีโดยเป็นการผลิตใช้เองเพื่อทดแทนการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 4.4217 Baht/kWh ทำให้ได้ระยะเวลาคืนทุนที่ 4.25 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 146 kW_e และ 15.35 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5 kW_e ซึ่งระยะเวลาคืนทุนของโรงไฟฟ้าที่ 4.25-4.54 y นั้น มีความน่าสนใจและน่าลงทุนเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำ และมีระยะเวลาคืนทุนเร็ว ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับน้ำพุร้อนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับที่	แหล่งน้ำพุร้อน	ศักยภาพ (kW_e)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ผลตอบแทนต่อปี (Baht/y)	ระยะเวลาคืนทุน (y)
1	ผาบ่อง	20	5,069,133	742,499	6.83
2	แม่อุมลองหลวง	5	2,958,982	192,798	15.35
3	บ่อน้ำพุร้อนท่าปาย	28	6,230,246	1,039,491	5.99
4	หนองแห้ง	86	14,466,066	3,188,333	4.54
5	บ่อน้ำพุร้อนโป่งปะ	6	3,083,828	225,195	13.69
6	เมืองแปง	146	23,133,695	5,439,881	4.25

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานชีวมวลภาคเกษตรกรรม

เมื่อนำศักยภาพพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้ง 3 ชนิดมาคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม (ภาพที่ 23) จะทำให้ชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 26 ซึ่งจะเห็นได้ว่าชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่ว มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้ารวมกัน 2,966.86 kW_e และเมื่อนำมารวมกับศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของชีวมวลจากข้าวในสัดส่วน 50% และ 100% จะเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอนสูงถึง 4,199.77 kW_e และ 5,432.67 kW_e ตามลำดับ

ตารางที่ 26 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับ	รายการ	สัดส่วนปริมาณ (%)	พลังงานความร้อน (TJ/y)	ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (%)	ศักยภาพ[1] (kW_e)	ศักยภาพ[2] (MWh/y)
1	ข้าว (แกลบและฟางข้าว)	50.00 100.00	303.27 606.54	8.32 8.32	1,233 2,466	5,178.19 10,356.38
2	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลำต้นและซังข้าวโพด)	85.19	573.54	8.32	2,332	9,792.91
3	พืชตระกูลถั่ว (ลำต้น เปลือกและใบถั่วเหลือง)	95.00	156.25	8.32	635	2,667.91

หมายเหตุ: [1] ศักยภาพประเมินจาก $W_e = \eta_{Tur}\eta_G$

[2] คิดการผลิตพลังงานไฟฟ้า 12 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

เมื่อทำการประเมินหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรม จะอยู่ที่ 4.30 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 2,332 kW_e และ 2,466 kW_e และ 4.32 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 635 kW_e โดยมีมูลค่าการลงทุนโครงการ 93,020,560- 359,274,798 Baht ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับที่	รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	ราคาระบบผลิตไฟฟ้า (Baht)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
1	ชีวมวลจากข้าว 50%	1,233	117,108,505	179,952,399	4.31
2	ชีวมวลจากข้าว 100%	2,466	234,217,011	359,274,798	4.30
3	ชีวมวลจากข้าวโพด	2,332	221,473,732	339,761,652	4.30
4	ชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว	635	60,336,692	93,020,560	4.32

ระยะเวลาคืนทุน อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ (ชีวมวล) สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1-3 MW อยู่ที่ 4.82 Baht/kWh โรงไฟฟ้าขนาดต่ำกว่า 1 MW อยู่ที่ 5.34 Baht/kWh จึงได้ระยะเวลาคืนทุนที่ 7.20 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 24,666 kW_e และ 6.53 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 635 kW_e ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับที่	รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ผลตอบแทนต่อปี (Baht/y)	ระยะเวลาคืนทุน (y)
1	ชีวมวลจากข้าว 50%	1,233	179,952,399	24,958,884	7.21
2	ชีวมวลจากข้าว 100%	2,466	359,274,798	49,917,769	7.20
3	ชีวมวลจากข้าวโพด	2,332	339,761,652	47,201,843	7.20
4	ชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว	635	93,020,560	14,246,640	6.53

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน

เมื่อนำศักยภาพพลังงานความร้อนของขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนมาคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชน (ภาพที่ 25) จะทำให้ขยะมูลฝอยมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 29 ซึ่งจะเห็นได้ว่า

ขยะมูลฝอยที่นำไปกำจัด (ขยะที่เหลือ) มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุด คือ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน และแม่สะเรียง 233 kW_e และ 217 kW_e ตามลำดับ และมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้ารวม 996 kW_e

ตารางที่ 29 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับ	รายการ	พลังงานความร้อน (TJ/y)	ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (%)	ศักยภาพ[1] (kW_e)	ศักยภาพ[2] (MWh/y)
1	เมืองแม่ฮ่องสอน	114.58	8.32	233	1,956.48
2	ขุนยวม	36.42	8.32	74	621.92
3	แม่ลาน้อย	67.11	8.32	136	1,145.81
4	แม่สะเรียง	106.52	8.32	217	1,818.79
5	สบเมย	58.10	8.32	118	991.97
6	ปาย	61.37	8.32	125	1,047.87
7	ปางมะผ้า	45.79	8.32	93	781.81
	รวม	489.89	8.32	996	8,364.65

หมายเหตุ: [1] ศักยภาพประเมินจาก $W_e = \eta_{Tur}\eta_G$

[2] คิดการผลิตพลังงานไฟฟ้า 24 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

และหากสามารถนำขยะมูลฝอยใน ที่มีการใช้ประโยชน์ไปแล้วนำกลับมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้นั้น จะมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีก 826 kW_e ซึ่งอำเภอที่มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุด คือ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนและแม่สะเรียง 202 kW_e และ 186 kW_e ตามลำดับ รายละเอียดในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยในชุมชน กรณีนำขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง

ลำดับ	รายการ	พลังงานความร้อน (TJ/y)	ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (%)	ศักยภาพ[1] (kW_e)	ศักยภาพ[2] (MWh/y)
1	เมืองแม่ฮ่องสอน	99.19	8.32	202	1,693.64
2	ขุนยวม	33.62	8.32	68	574.08
3	แม่ลาน้อย	61.94	8.32	126	1,057.67
4	แม่สะเรียง	91.54	8.32	186	1,562.94

ตารางที่ 30 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	พลังงานความร้อน (TJ/y)	ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (%)	ศักยภาพ[1] (kW_e)	ศักยภาพ[2] (MWh/y)
5	สบเมย	53.63	8.32	109	915.66
6	ปาย	35.37	8.32	72	603.89
7	ปางมะผ้า	31.14	8.32	63	531.74
	รวม	406.43	8.32	826	6,939.62

หมายเหตุ: [1] ศักยภาพประเมินจาก $W_e = \eta_{Tur}\eta_G$

[2] คิดการผลิตพลังงานไฟฟ้า 24 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

เมื่อทำการประเมินหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยที่นำไปกำจัด (ขยะที่เหลือ) ต่ำสุดจะอยู่ที่ 2.25 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 233 kW_e มูลค่าการลงทุนโครงการ 35,474,649 Baht และสูงสุด 2.33 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 74 kW_e มูลค่าการลงทุนโครงการ 11,706,388 Baht ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (ขยะที่เหลือ)

ลำดับที่	รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	ราคาระบบผลิตไฟฟ้า (Baht)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
1	เมืองแม่ฮ่องสอน	233	22,123,587	35,474,649	2.25
2	ขุนยวม	74	7,032,627	11,706,388	2.33
3	แม่ลาน้อย	136	12,956,612	21,036,664	2.27
4	แม่สะเรียง	217	20,566,589	33,022,377	2.25
5	สบเมย	118	11,217,026	18,296,816	2.28
6	ปาย	125	11,849,202	19,292,493	2.28
7	ปางมะผ้า	93	8,840,648	14,554,020	2.31
	รวม	996			

สำหรับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยที่มีการใช้ประโยชน์ไปแล้วนำกลับมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ต้นทุนต่ำสุดอยู่ที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนและแม่สะเรียง 2.25 Baht/kWh และ 2.26 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 202 kW_e และ 186 kW_e มูลค่าการลงทุนโครงการ 30,793,590 Baht และ 28,465,769 Baht ตามลำดับ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (นำกลับมาเป็นเชื้อเพลิง)

ลำดับที่	รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	ราคาระบบผลิตไฟฟ้า (Baht)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
1	เมืองแม่ฮ่องสอน	202	19,151,486	30,793,590	2.25
2	ขุนยวม	68	6,491,656	10,854,358	2.34
3	แม่ลาน้อย	126	11,959,949	19,466,920	2.28
4	แม่สะเรียง	186	17,673,504	28,465,769	2.26
5	สบเมย	109	10,354,178	16,937,830	2.29
6	ปาย	72	6,828,672	11,385,159	2.34
7	ปางมะผ้า	63	6,012,802	10,100,163	2.35
	รวม	826			

ระยะเวลาคืนทุน อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ (ขยะ การจัดการแบบผสมผสาน) สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดต่ำกว่า 1 MW คือ 6.34 Baht/kWh จึงได้ระยะเวลาคืนทุนต่ำสุดที่ 2.86 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 233 kW_e และ 217 kW_e และระยะคืนทุนสูงสุด 2.97 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 74 kW_e ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (ขยะที่เหลือ)

ลำดับที่	รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ผลตอบแทนต่อปี (Baht/y)	ระยะเวลาคืนทุน (y)
1	เมืองแม่ฮ่องสอน	233	35,474,649	12,404,078	2.86
2	ขุนยวม	74	11,706,388	3,942,998	2.97
3	แม่ลาน้อย	136	21,036,664	7,264,411	2.90
4	แม่สะเรียง	217	33,022,377	11,531,112	2.86
5	สบเมย	118	18,296,816	6,289,073	2.91
6	ปาย	125	19,292,493	6,643,517	2.90
7	ปางมะผ้า	93	14,554,020	4,956,704	2.94
	รวม	996			

สำหรับระยะเวลาคืนทุนของโรงไฟฟ้า ในกรณีที่นำขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง ใช้อัตราการรับซื้อไฟฟ้าเช่นเดียวกันคือในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ (ขยะ การจัดการแบบผสมผสาน) สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดต่ำกว่า 1 MW คือ 6.34 Baht/kWh จึงได้ระยะเวลาคืนทุนต่ำสุดที่ 2.87 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 202 kW_e และระยะคืนทุนสูงสุด 3.00 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 63 kW_e ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (นำกลับมาเป็นเชื้อเพลิง)

ลำดับที่	รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ผลตอบแทนต่อปี (Baht/y)	ระยะเวลาคืนทุน (y)
1	เมืองแม่ฮ่องสอน	202	30,793,590	10,737,704	2.87
2	ขุนยวม	68	10,854,358	3,639,690	2.98
3	แม่ลาน้อย	126	19,466,920	6,705,610	2.90
4	แม่สะเรียง	186	28,465,769	9,909,040	2.87
5	สบเมย	109	16,937,830	5,805,299	2.92
6	ปาย	72	11,385,159	3,828,646	2.97
7	ปางมะผ้า	63	10,100,163	3,371,210	3.00
	รวม	826			

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อนำศักยภาพการผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำร้อน 15,000 L ปริมาณความร้อน 200 kW ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 °C มาคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ (ภาพที่ 27) จะทำให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 12 kW_e ดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

รายการ	อุณหภูมิขั้นต่ำ (°C)	ปริมาตรถังเก็บ (L)	ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (%)	ศักยภาพ[3] (kW_e)	ศักยภาพ[4] (MWh/y)
ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	100	15,000	8.14	12	33.75

เมื่อทำการประเมินหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะอยู่ที่ 23.40 Baht/kWh สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 12 kW_e มูลค่าการลงทุนโครงการ 6,375,687 Baht ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 36 ต่อไปนี้

ตารางที่ 36 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	ราคาระบบผลิตไฟฟ้า (Baht)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	12	1,144,999	6,375,687	23.40

ระยะเวลาคืนทุน อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานธรรมชาติ (พลังงานแสงอาทิตย์) สำหรับโรงไฟฟ้าทุกขนาดที่ติดตั้งบนพื้นดิน คือ 5.66 Baht/kWh จึงได้ระยะเวลาคืนทุน 33.37 y สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 12 kW_e ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 37

ตารางที่ 37 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

รายการ	ศักยภาพ (kW_e)	มูลค่าการลงทุนโครงการ (Baht)	ผลตอบแทนต่อปี (Baht/y)	ระยะเวลาคืนทุน (y)
ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	12	6,375,687	191,038	33.37

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

การประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน จะใช้การเปรียบเทียบจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปี พ.ศ.2558 ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณ 111,113.50 MWh/y (สนง สถิติแห่งชาติ, 2560) และนำผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้ง 4 ประเภท มาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอน แสดงให้เห็นถึงดุลยภาพของการผลิตและใช้พลังงานในปัจจุบัน และจะมีการเปลี่ยนดุลยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าไปจากเดิมเมื่อเกิดศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามที่ผู้วิจัยได้ประเมินไว้ โดยที่ จากเดิมจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 คิดเป็น

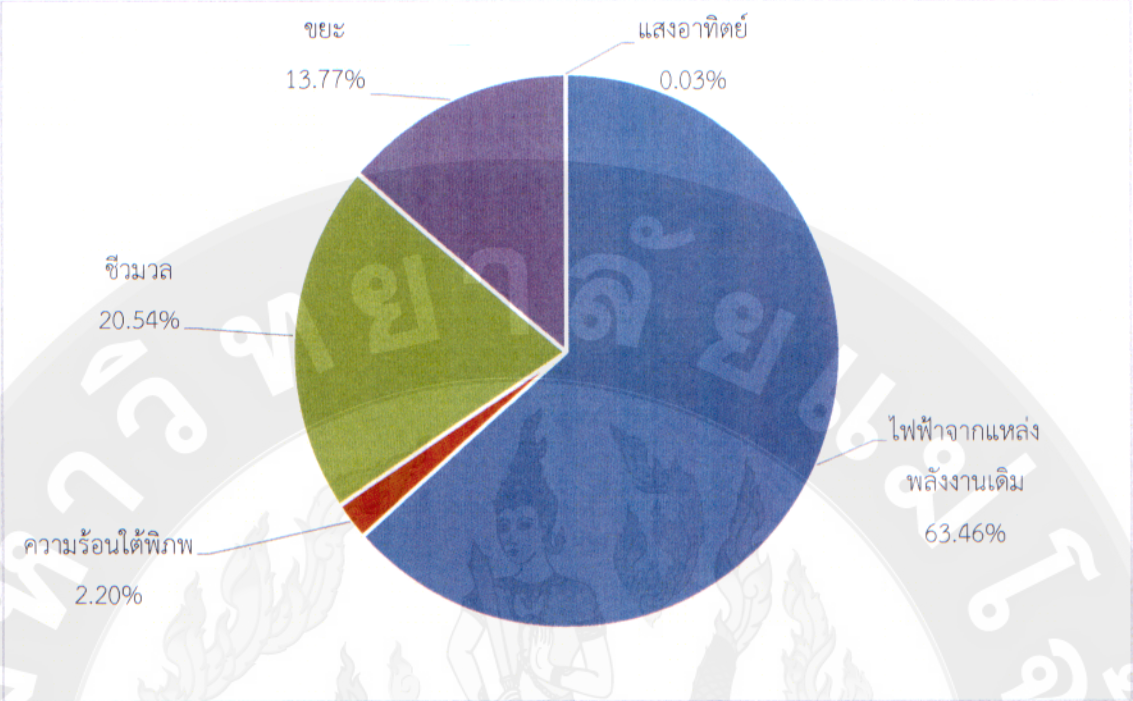
100% และจากผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภทรวมทั้งหมด คือ 40,604.11 MWh/y สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนได้มากถึง 36.54% และลดการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานเดิมลงเหลือ 63.46% ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 38-39 และภาพที่ 30

ตารางที่ 38 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอนจากแหล่งพลังงานเดิม

สมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน		MWh/y	สัดส่วน (%)
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปี พ.ศ.2558	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	111,113.50	100

ตารางที่ 39 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอนร่วมกับแหล่งพลังงานทดแทน

สมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน		MWh/y	สัดส่วน (%)
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปี พ.ศ.2558	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	70,509.39	63.46
ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ	แหล่งน้ำพุร้อน	2,448.88	36.54
ศักยภาพพลังงานชีวมวลภาคเกษตรกรรม	ชีวมวลจากข้าว	10,356.38	
	ชีวมวลจากข้าวโพด	9,792.91	
	ชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว	2,667.91	
ศักยภาพพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน	ขยะที่เหลือใช้	8,364.65	
	ขยะที่นำกลับมาใช้	6,939.62	
ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์	น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	33.75	



ภาพที่ 30 กราฟแสดงสัดส่วนสมดุลพลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอนจากแหล่งพลังงานเดิมร่วมกับแหล่งพลังงานทดแทน

แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

จากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan : PDP2015) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผนบูรณาการพลังงานระยะยาว พ.ศ.2558-2579 (Thailand Integrated Energy Blueprint : TIEB) และเป็นนโยบายของรัฐบาลในการที่จะเพิ่มกำลังการผลิตและสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศนั้น ได้กำหนดให้เพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของประเทศไทยในภาพรวมจากเดิมที่แผน PDP2010 REV3 กำหนดไว้พียง 8% ให้เพิ่มสัดส่วนขึ้นในแผน PDP2015 โดยมีเป้าหมายในปี ค.ศ.2026 คือ 10-20% และในปี ค.ศ.2036 กำหนดเป้าหมายสุดท้าย คือ 15-20% ทั้งนี้ ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้ง 4 ประเภท สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อตอบสนองนโยบายภาครัฐและสอดคล้องกับแผน PDP2015 ในภาพรวมได้ โดยแยกตามประเภทของพลังงานทดแทนและสามารถกำหนดเป็นแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยแผนจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะสั้น (น้อยกว่า 2 y) ระยะกลาง (2-5 y) ระยะยาว (มากกว่า 5 y) ซึ่ง

จะพิจารณาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ระยะคืนทุน ควบคู่กับ ศักยภาพการผลิต ปริมาณเชื้อเพลิง และการบริหารจัดการ ได้ดังนี้

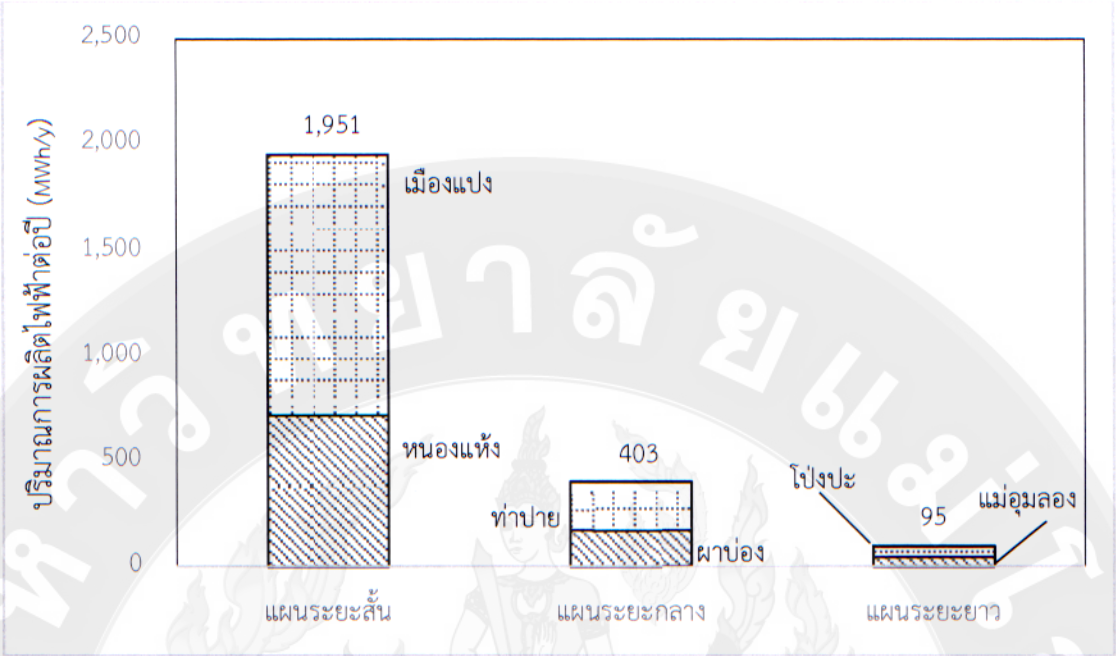
การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพจะพิจารณาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าจากน้ำพุร้อน รวมทั้งระยะเวลาคืนทุนและขนาดโรงไฟฟ้า ทั้งนี้โรงไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยต่ำที่สุดและระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด คือ โรงไฟฟ้าเมืองแปงและโรงไฟฟ้าหนองแห้ง ซึ่งมีกำลังการผลิตสูงเป็นอันดับ 1 และ 2 ของโรงไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนโรงไฟฟ้าที่เหลืออีก 4 แห่งถูกจัดอยู่ในแผนระยะกลางและระยะยาว ดังแสดงในตารางที่ 40

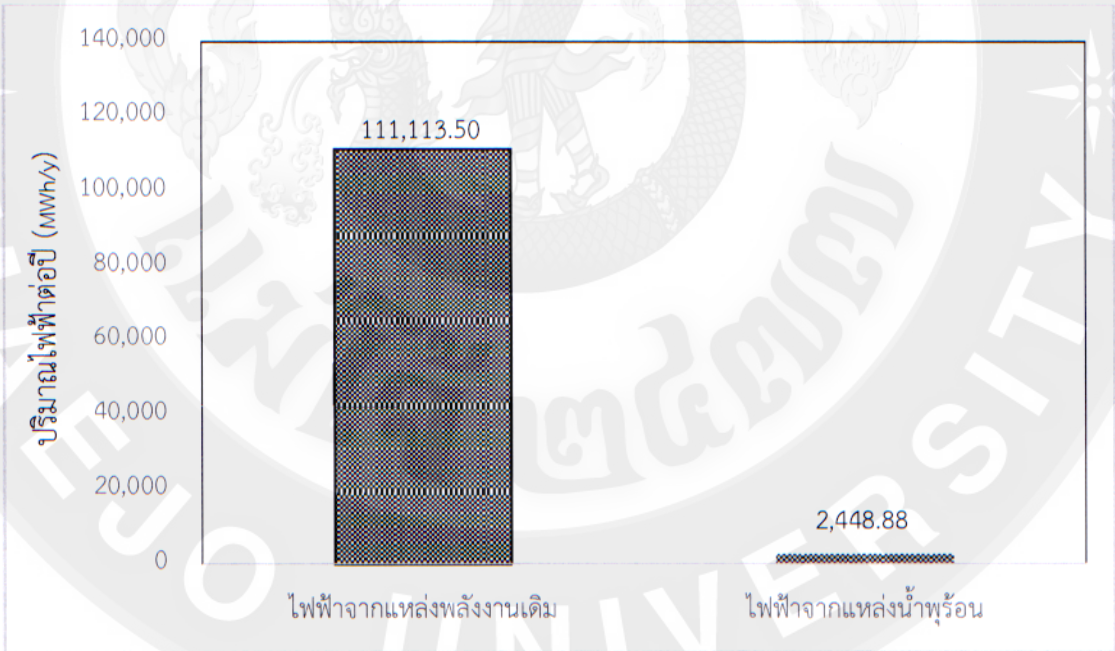
ตารางที่ 40 แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

แผนระยะสั้น	แผนระยะกลาง	แผนระยะยาว
โรงไฟฟ้าเมืองแปง	โรงไฟฟ้าท่าปาย	โรงไฟฟ้าโป่งปะ
ขนาด 146 kW_e	ขนาด 28 kW_e	ขนาด 6 kW_e
ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย
2.33 Baht/kWh	3.28 Baht/kWh	7.50 Baht/kWh
ระยะเวลาคืนทุน 4.25 y	ระยะเวลาคืนทุน 5.99 y	ระยะเวลาคืนทุน 13.69 y
โรงไฟฟ้าหนองแห้ง	โรงไฟฟ้าผาบ่อง	โรงไฟฟ้าแม่อุมลองหลวง
ขนาด 86 kW_e	ขนาด 20 kW_e	ขนาด 5 kW_e
ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย
2.49 Baht/kWh	3.74 Baht/kWh	8.41 Baht/kWh
ระยะเวลาคืนทุน 4.54 y	ระยะเวลาคืนทุน 6.83 y	ระยะเวลาคืนทุน 15.35 y

และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้ 2.2% เทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน คิดเป็นกำลังการผลิตรวมของโรงไฟฟ้าตามแผนทั้ง 3 ระยะ เท่ากับ 2,449 MWh/y ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 31 และ 32 ต่อไปนี้



ภาพที่ 31 การวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำพุร้อน



ภาพที่ 32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำพุร้อนกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

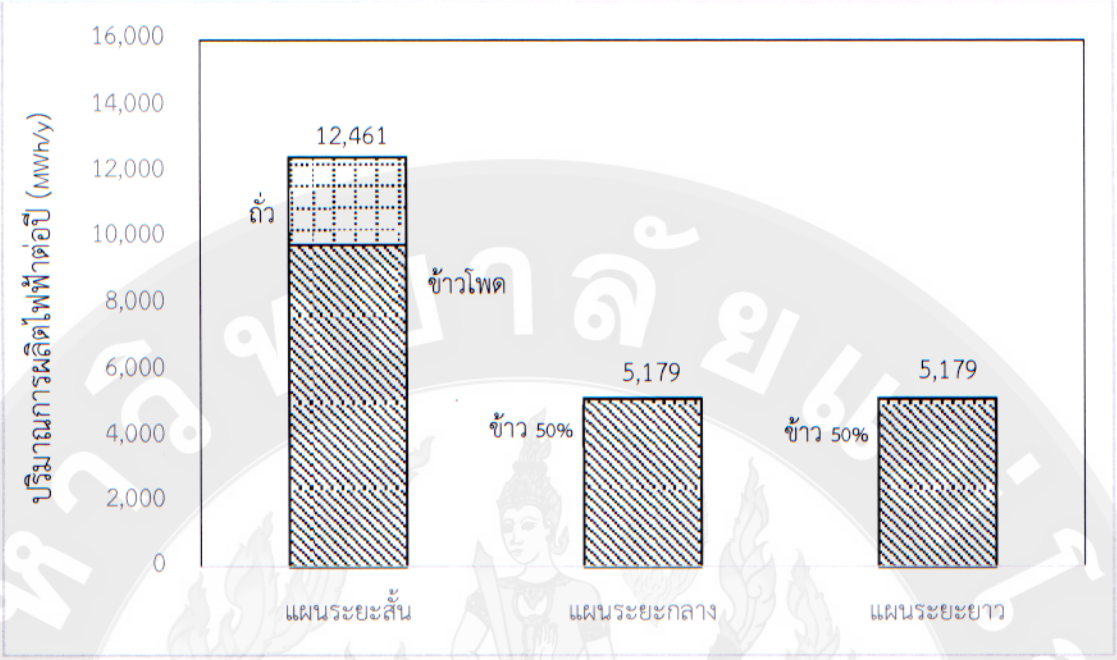
การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม

ในกรณีของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม จะไม่สามารถพิจารณาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าได้เพียงอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณชีวมวลจากข้าวในปัจจุบันนั้น ถูกนำไปใช้แล้วทั้งหมด จึงพิจารณาตามปริมาณของชีวมวลที่มีอยู่ในปัจจุบันก่อน คือชีวมวลจากข้าวโพดและพืชตระกูลถั่ว มาจัดอยู่ในแผนระยะสั้น สำหรับแผนระยะกลาง จะพิจารณาการนำกลับมาใช้ของชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% ของทั้งหมด และแผนระยะยาวจะพิจารณานำชีวมวลจากข้าวที่เหลืออีก 50% ให้รวมเป็น 100% เพื่อนำกลับมาใช้ได้ทั้งหมด ซึ่งมีกระบวนการจัดการที่ต้องใช้ระยะเวลาพอสมควร จึงไม่สามารถกำหนดชีวมวลจากข้าวมาผลิตไฟฟ้าในแผนระยะสั้นได้ และสามารถวางแผนได้ดังตารางต่อไปนี้

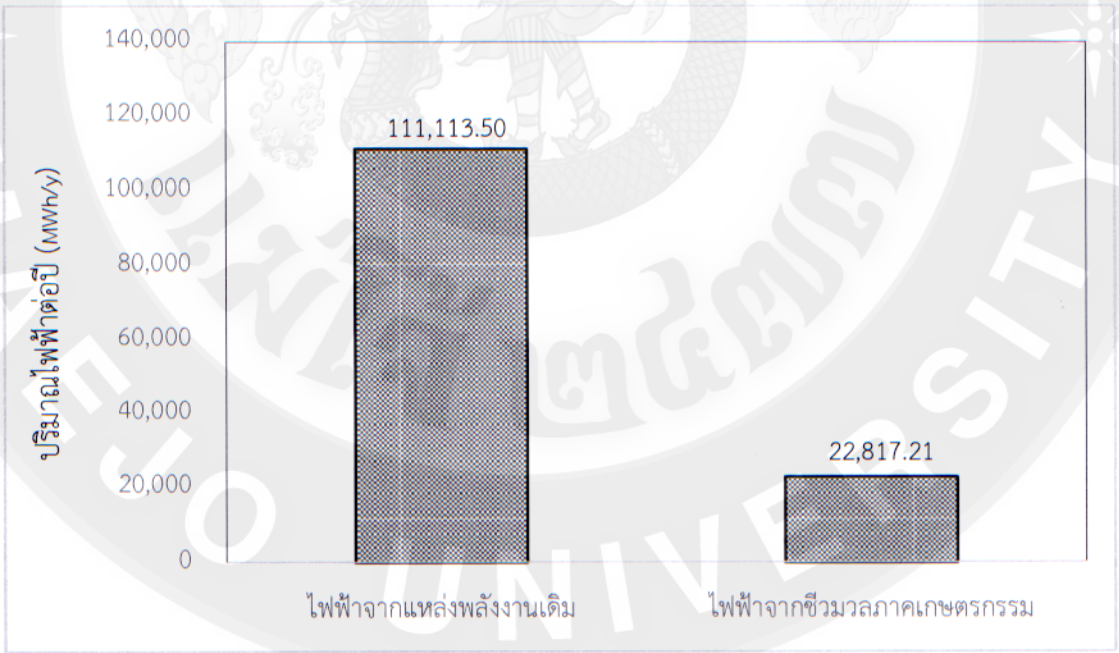
ตารางที่ 41 แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม

แผนระยะสั้น	แผนระยะกลาง	แผนระยะยาว
โรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าวโพด ขนาด 2,332 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.30 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 7.20 y	โรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าว ขนาด 1,233 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.31 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 7.20 y	โรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าว ขนาด 1,233 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.31 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 7.20 y
โรงไฟฟ้าชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว ขนาด 635 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.32 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 6.53 y		

และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม เมื่อนำมารวมกันทั้งหมดสามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้ 20.54% เทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน คิดเป็นกำลังการผลิตรวมของโรงไฟฟ้าตามแผนทั้ง 3 ระยะ เท่ากับ 22,817 MWh/y ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 33 และ 34



ภาพที่ 33 กราฟแสดงการวางแผนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน



ภาพที่ 34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลภาคเกษตรกรรมกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน

การผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยในชุมชนนั้น จะพิจารณาจากศักยภาพของขยะในพื้นที่ๆ มีบริการจัดเก็บเท่านั้น โดยจะพิจารณาจากปริมาณขยะที่นำไปกำจัด (ขยะที่เหลือ) ในพื้นที่แต่ละอำเภอก่อนเป็นอันดับแรก และพิจารณาปริมาณขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง เป็นลำดับถัดไป กรณีของโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอยจากชุมชน จะคล้ายกับกรณีของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม เพราะไม่สามารถพิจารณาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าได้เพียงอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณขยะในปัจจุบันนั้น บางส่วนเป็นขยะที่นำไปกำจัด (เหลือใช้) บางส่วนถูกนำไปใช้ประโยชน์แล้ว จึงพิจารณาตามปริมาณของขยะมูลฝอยจากชุมชนที่เหลือใช้อันดับต้นๆ มาจัดอยู่ในแผนระยะสั้น สำหรับแผนระยะกลาง จะพิจารณาการนำขยะที่เหลือปริมาณน้อยๆ พร้อมกับการนำกลับมาใช้ของขยะที่มีปริมาณมากในอันดับต้นๆ และแผนระยะยาวจะพิจารณาการนำขยะที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ปริมาณน้อยๆ ลงตามลำดับ ซึ่งกระบวนการจัดการนำขยะที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นเชื้อเพลิงป้อนโรงไฟฟ้านั้น ต้องใช้ระยะเวลาพอสมควร จึงไม่สามารถกำหนดในแผนระยะสั้นได้ ทั้งนี้ขนาดโรงไฟฟ้าก็แปรผันตรงกับปริมาณขยะ และสามารถวางแผนขนาดโรงไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 42

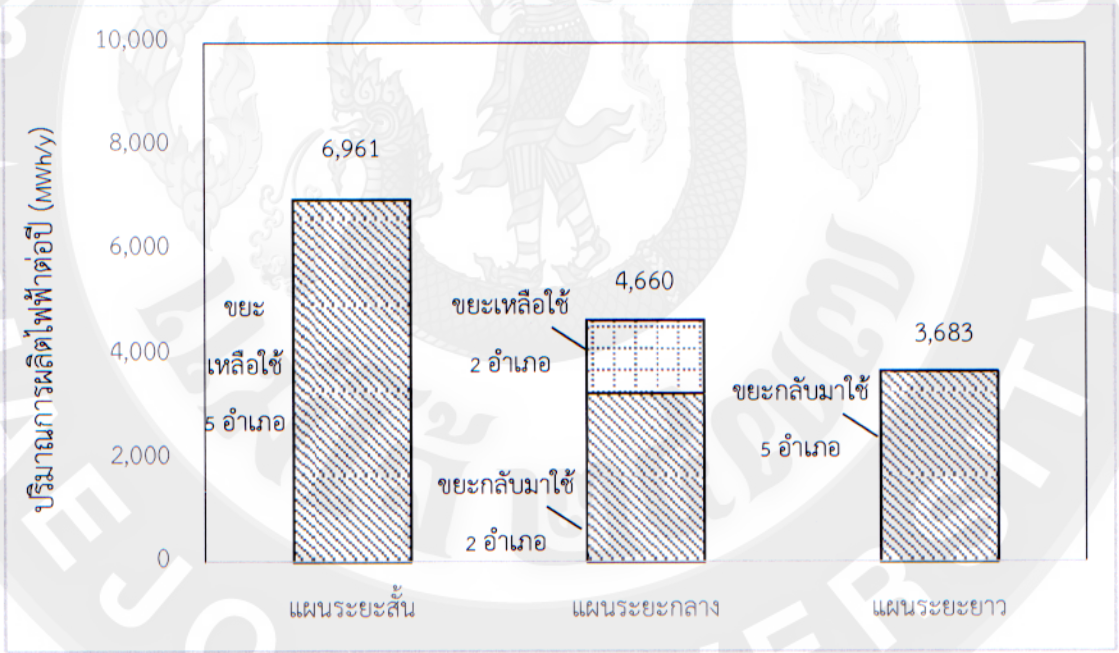
ตารางที่ 42 แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน

แผนระยะสั้น	แผนระยะกลาง	แผนระยะยาว
โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่เหลือใช้ 5 แห่งในพื้นที่ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน 233 kW_e อำเภอแม่สะเรียง 217 kW_e อำเภอแม่ลาน้อย 136 kW_e อำเภอปาย 125 kW_e อำเภอสบเมย 118 kW_e รวมทั้งหมด 829 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่เหลือใช้ 2 แห่งในพื้นที่ อำเภอปางมะผ้า 93 kW_e อำเภอขุนยวม 74 kW_e รวมทั้งหมด 167 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.31-2.33 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 2.94-2.97 y โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง 2 แห่งในพื้นที่ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน 202 kW_e อำเภอแม่สะเรียง 186 kW_e	โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง 5 แห่งในพื้นที่ อำเภอแม่ลาน้อย 126 kW_e อำเภอสบเมย 109 kW_e อำเภอปาย 72 kW_e อำเภอขุนยวม 68 kW_e อำเภอปางมะผ้า 63 kW_e รวมทั้งหมด 438 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.28-2.35 Baht/kWh

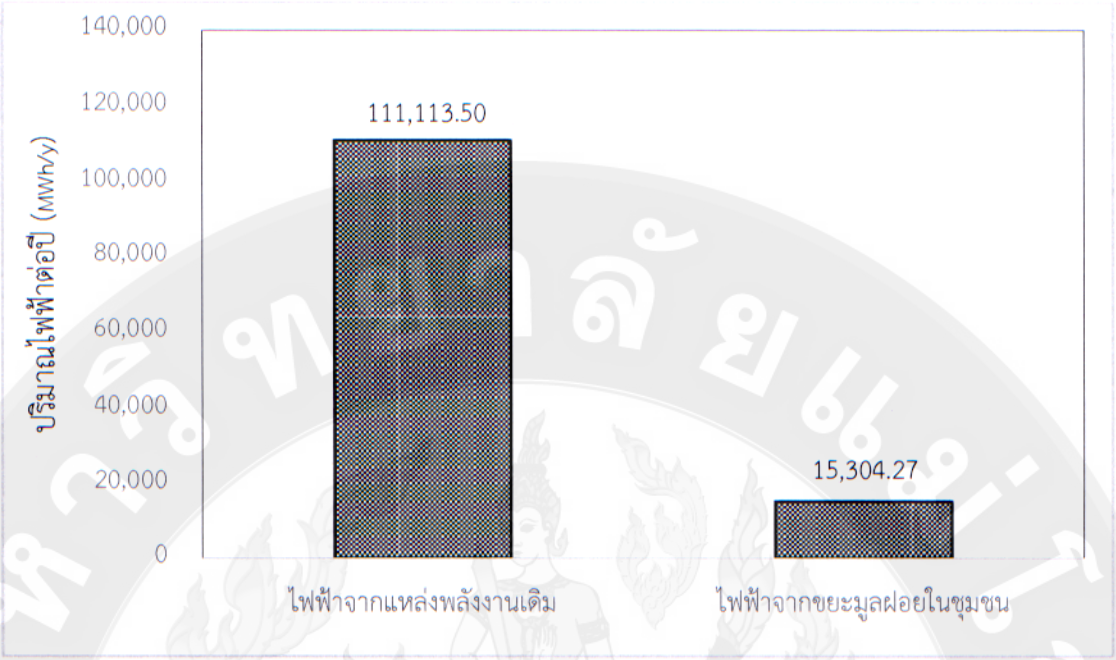
ตารางที่ 42 (ต่อ)

แผนระยะสั้น	แผนระยะกลาง	แผนระยะยาว
2.25-2.28 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 2.86-2.91 y	รวมทั้งหมด 388 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.25-2.26 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 2.87 y	ระยะเวลาคืนทุน 2.90-3.00 y

และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน เมื่อนำมารวมกันทั้งหมดสามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้ 13.77% เทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน คิดเป็นกำลังการผลิตรวมของโรงไฟฟ้าตามแผนทั้ง 3 ระยะ เท่ากับ 15,304 MWh/y ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 35 และ 36



ภาพที่ 35 กราฟแสดงการวางแผนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าขยะมูลฝอยในชุมชนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

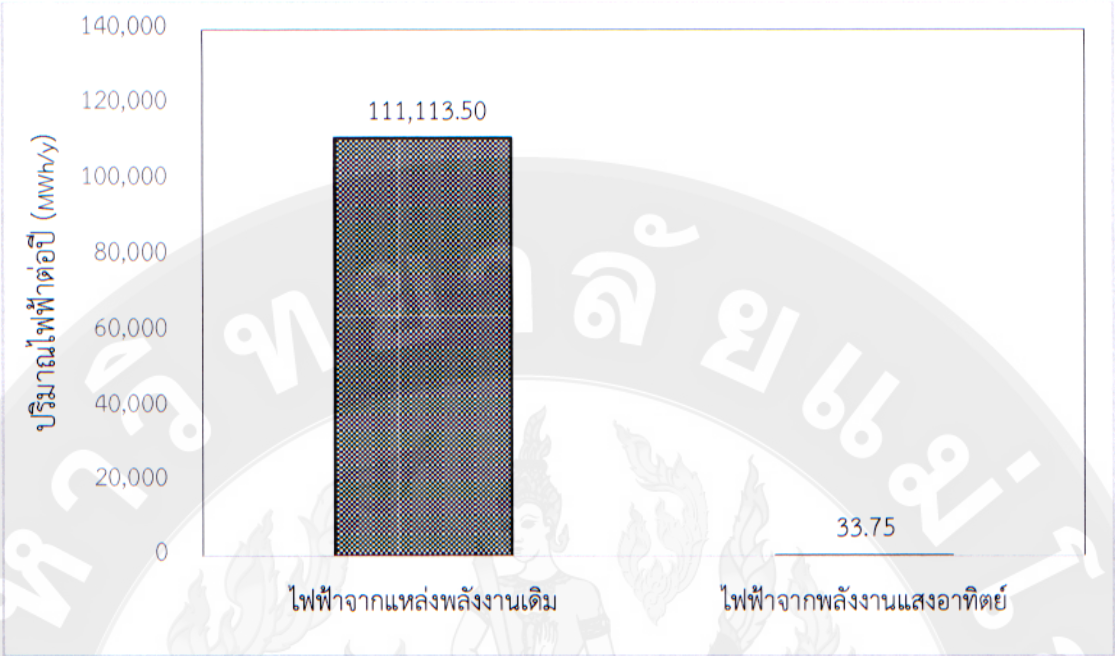


ภาพที่ 36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยในชุมชนกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

โรงไฟฟ้าน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ พิจารณาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยแล้ว ปรากฏว่ามีต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 23.40 Baht/kWh เนื่องจากราคาอุปกรณ์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อนมีราคาสูง จึงส่งผลให้ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยสูงตามไปด้วย จึงมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 33.37 y ซึ่งควรจัดโรงไฟฟ้าน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในแผนระยะยาว เพื่อดูแนวโน้มราคาอุปกรณ์ในอนาคตและยังคงศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ในการพิจารณาต่อไป

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้ 0.03% เทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน คิดเป็นกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า เท่ากับ 33.75 MWh/y ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

จากผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จะทำให้ทราบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ระยะเวลาในการคืนทุนปริมาณการผลิตไฟฟ้าต่อปี และสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้นที่จะช่วยลดปริมาณพลังงานการใช้ไฟฟ้าที่ใช้จากแหล่งพลังงานเดิมในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เมื่อนำแผนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภทในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม พลังงานขยะมูลฝอยจากชุมชน และพลังงานจากแสงอาทิตย์ มารวบรวมและจัดทำเป็นแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน จะได้แผนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 3 ระยะ คือ ระยะสั้น (น้อยกว่า 2 ปี) ระยะกลาง (2-5 ปี) และระยะยาว (มากกว่า 5 ปี) ซึ่งจะแสดงให้เห็นปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละระยะ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของพลังงานทดแทนแต่ละประเภท ระยะคืนทุน และผลรวมของกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนทั้งหมด

แผนระยะสั้น ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (เมืองแปงและหนองแห้ง) การนำน้ำพุร้อนมาผลิตไฟฟ้านั้น นับว่าเป็นเรื่องใหม่ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประชาชนทั่วไปยังไม่มีความรู้ ความเข้าใจ ในกระบวนการทำงานการผลิตไฟฟ้า และเพื่อป้องกันการต่อต้านแบบไร้เหตุผล ควรที่จะมีการดำเนินโครงการในการสำรวจศักยภาพเชิงพื้นที่ เพื่อสำรวจพื้นที่จริง ทั้งในด้าน

ภูมิศาสตร์ ศักยภาพของแหล่งน้ำพุร้อน แนวทางการพัฒนา การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า การเชื่อมต่อระบบสายส่งในอนาคต การวิเคราะห์ผลกระทบทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ทางด้านการเมือง นโยบายและการสนับสนุนของภาครัฐ ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม ด้านเทคโนโลยี และด้านสิ่งแวดล้อม และโครงการนี้ควรจะมีทีมงานในส่วนของมวลชนสัมพันธ์ในการประชาสัมพันธ์ ให้ความรู้และความเข้าใจให้กับประชาชน และร่วมงานกับทีมงานอาสาสมัครพลังงานจังหวัด (อส.พน.) ซึ่งเป็นนักสื่อสารพลังงานอยู่ในพื้นที่ มีความรู้ในด้านพลังงาน และมีข้อมูลเชิงลึกในพื้นที่ที่จะคอยให้ความรู้ คำแนะกับทีมงานในเบื้องต้นในการลงพื้นที่ ทีมงานจะได้เรียนรู้และสังเกตพฤติกรรม ความสนใจ แรงต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่ และพื้นที่ใกล้เคียงด้วย การลงพื้นที่ของทีมงานมวลชนสัมพันธ์มีประโยชน์มาก หลายหน่วยงานที่มีความต้องการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่เป้าหมาย ไม่มีการทำงานในลักษณะมวลชนสัมพันธ์หรือมีการสื่อสารด้านพลังงาน หรือการทำแผนพลังงานชุมชน ทำให้ประสบปัญหาในการดำเนินโครงการ เกิดการต่อต้าน เกิดความขัดแย้งในพื้นที่ กลายเป็นว่าแทนที่จะเข้าไปพัฒนาและยกระดับคุณภาพชีวิต กลับทำให้เกิดความไม่สงบสุขและเกิดความแตกแยกแบ่งฝ่าย โครงการของรัฐที่จะดำเนินการในอนาคตกลับต้องถูกยกเลิกไป ถือได้ว่าการดำเนินโครงการในชุมชนนั้นมีความสำคัญมาก ต้องทำให้ประชาชนเกิดความตระหนักรู้ และยอมรับอย่างเต็มใจและสบายใจ ซึ่งงบประมาณในการดำเนินโครงการนั้น สามารถขอรับการสนับสนุนงบวิจัยได้จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยเสนอผ่านสำนักงานพลังงานจังหวัด หรือมหาวิทยาลัยแม่ข่ายในแต่ละภาค (ภาคเหนือ คือ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) แหล่งน้ำพุร้อนแห่งแรกคือบ่อน้ำพุร้อนเมืองแปง อยู่ในพื้นที่ตำบลเมืองแปง อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน อำเภอปายเป็นแหล่งท่องเที่ยวชื่อดังของจังหวัดแม่ฮ่องสอน สถานที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากมาย เช่น โรงแรม ที่พัก ร้านอาหาร เพื่อรองรับนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างประเทศซึ่งมีจำนวนมาก อำเภอปายจึงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากตามไปด้วย ซึ่งบ่อน้ำร้อนเมืองแปงนั้น มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุด คือ 146 kW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1,230 MWh/y การดำเนินการโครงการผลิตไฟฟ้าจากน้ำพุร้อนเมืองแปงนั้น จะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้าในอำเภอปาย โครงการผลิตไฟฟ้าและโครงการที่เกี่ยวข้องกันจะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิต ความเป็นอยู่ของประชาชน เกิดการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ ประชาชนเกิดความรู้ ความเข้าใจในเรื่องพลังงานและการผลิตไฟฟ้าจากน้ำพุร้อน และเกิดความมั่นคงทางด้านพลังงาน สำหรับแหล่งที่ 2 คือบ่อน้ำพุร้อนหนองแห้ง อำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีศักยภาพการผลิตสูงสุด คือ 86 kW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 721 MWh/y โดยใช้วิธีการเดียวกันกับบ่อน้ำพุร้อนเมืองแปงในการดำเนินการ สำหรับงบประมาณในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า สามารถเสนอโครงการให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเพื่อพิจารณาดำเนินการ ในส่วนของพลังงานชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่ว เนื่องจากมีการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นน้อย จึงมีปริมาณชีวมวลเหลือใช้มากและเพียงพอที่จะนำไปผลิตไฟฟ้าได้

แต่บ่อยครั้งที่พบเห็นการเผาทำลายชีวมวลในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นการเผาทิ้งและไม่เกิดประโยชน์ อาจเป็นเพราะเสียเวลาในการขนย้ายไปกำจัด เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาหมอกควันและก่อให้เกิดมลพิษ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน เกิดอันตรายในการเดินทางสัญจร ซึ่งในกระบวนการแรกคือสำรวจพื้นที่เพาะปลูกและทำความเข้าใจกับกลุ่มเกษตรกรผู้เพาะปลูกที่เผาทำลายเศษวัสดุทางการเกษตร โดยทำเป็นโครงการนำร่องแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงเพื่อลดปัญหาหมอกควัน โดยขอรับการสนับสนุนงบประมาณจากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หรืองบประมาณจากจังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อนำความรู้ ความเข้าใจในการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่วไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงในลักษณะต่างๆ กัน ส่วนหนึ่งก็เป็นการหาแนวทางการแปรรูปวัสดุสำหรับใช้ในการผลิตไฟฟ้าและศึกษาแนวทางการผลิตเพื่อจำหน่าย ต้นทุนการผลิตและการขนส่ง ความสม่ำเสมอของปริมาณชีวมวล ซึ่งโครงการนำร่องจะสามารถลดการเผาทิ้งของวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร ลดปัญหาหมอกควัน ลดการเกิดมลพิษ ลดปัญหาสุขภาพของประชาชน ไม่เกิดปัญหาในการเดินทางสัญจร และยังได้ข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้ประโยชน์เพื่อดำเนินโครงการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลต่อไป ซึ่งโรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพการผลิตสูงถึง 2,332 kW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 9,793 MWh/y และโรงไฟฟ้าชีวมวลจากพืชตระกูลถั่วมีศักยภาพการผลิต 635 kW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2,668 MWh/y สำหรับงบประมาณการก่อสร้างโรงไฟฟ้า อาจจะประชาสัมพันธ์ให้นักลงทุนหรือผู้ประกอบการที่มีการรับซื้อผลผลิตจากเกษตรกรในพื้นที่พิจารณาลงทุน เพื่อให้ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของตนเองในการผลิตไฟฟ้า เกิดการทำธุรกิจแตกแขนงไปอีก ทั้งนี้สามารถรับการสนับสนุนแหล่งเงินทุนจากโครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนด้วยเงินทุนหมุนเวียน (ESCO Revolving Fund) ซึ่งการลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลอาจจะสามารถใช้แหล่งเชื้อเพลิงจากใบไม้ในพื้นที่ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในการเผาป่า ทำให้เกิดหมอกควัน ถ้าหากสามารถทำให้ประชาชนในพื้นที่ นำมาจำหน่ายให้กับโรงไฟฟ้าในราคาที่สมเหตุสมผล ก็จะมีส่วนช่วยจังหวัดแม่ฮ่องสอนในการแก้ปัญหาหมอกควันได้อย่างยั่งยืนต่อไป สำหรับพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากขยะที่เหลือใช้ 5 แห่ง (เมืองแม่ฮ่องสอน แม่สะเรียง แม่ลาน้อย ปาย สบเมย) สาเหตุที่เลือกทั้ง 5 อำเภอเพื่อทำโครงการในระยะสั้นนั้น เนื่องจากปริมาณขยะที่เหลือใช้จากทั้ง 5 พื้นที่นี้ มีบริการจัดเก็บจาก อปท. และสามารถนำไปผลิตไฟฟ้าซึ่งมีศักยภาพการผลิตตั้งแต่ 118-233 kW_e ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังงานขยะที่มีศักยภาพการผลิตสูงสุด 233 kW_e ใช้ปริมาณขยะที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ผลิตไฟฟ้าได้ 1,956 MWh/y รวมแล้วมีศักยภาพการผลิต 829 kW_e ผลิตไฟฟ้าได้รวม 6,961 MWh/y ปัจจุบันขยะที่เหลือจากใช้ประโยชน์ในจังหวัดแม่ฮ่องสอนบางส่วนมีการขนส่งนำไปทิ้งต่างจังหวัด บางส่วนนำไปทิ้งในพื้นที่หรือต่างอำเภอ ล้วนก่อให้เกิดปัญหาทิ้งสิ้นไม่ว่าในพื้นที่หรือนอกพื้นที่ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน แต่การนำขยะมาเป็น

เชื้อเพลิงเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้านั้นไม่ง่าย ถ้าตัดประเด็นเรื่องผลประโยชน์ออกไปแล้ว ขยะ ไม่เป็นที่ต้องการของประชาชนทุกพื้นที่ การจะสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมักจะเกิดการต่อต้านเสมอ ทั้งจากปัญหากลิ่นเน่าเหม็น เชื้อโรค การขนย้ายผ่านบ้านเรือนประชาชน น้ำเสียจากขยะ ซึ่งจริงๆ แล้วต้นเหตุมาจากขยะ มิได้เกิดจากโรงไฟฟ้า เมื่อจะทำโรงไฟฟ้าพลังงานขยะในพื้นที่ใด มักจะเกิดการต่อต้านโรงไฟฟ้าขึ้นมาทันที จึงทำให้ดูเหมือนโรงไฟฟ้ามีผลเสียต่อชุมชน แต่ถ้าสังเกตให้ดีจะพบว่าแทบจะไม่มีการต่อต้านเตาเผาขยะ เพราะเตาเผาขยะทำให้ขยะหมดไป แต่โรงไฟฟ้าพลังงานขยะก่อให้เกิดมลพิษ ทั้งๆ ที่โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ ก็คือนำขยะไปเผาเอาความร้อนไปผลิตไฟฟ้า ปัญหานี้เกิดจากความเข้าใจผิด การบริหารจัดการ การไม่ตระหนักรู้ และขาดการเข้าถึงชุมชนและการประชาสัมพันธ์ที่ดี จังหวัดแม่ฮ่องสอนนั้น ถึงแม้จะเป็นจังหวัดที่มีประชากรไม่มากนัก แต่ก็มีปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งจังหวัดในแต่ละปีมากถึง 48,383 Ton/y และมีแนวโน้มที่สูงขึ้น การนำขยะไปผลิตไฟฟ้านั้น นอกจากจะลดงบประมาณค่าใช้จ่ายในการขนย้ายไปกำจัดแล้ว อปท. ที่สามารถนำเอาขยะในพื้นที่ตนเอง หรือรวบรวมจากพื้นที่ใกล้เคียงมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการขายไฟฟ้า และจากการรับกำจัดขยะ เกิดการจ้างงานเพิ่มขึ้น สร้างความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่อีกด้วย โครงการศึกษาผลประโยชน์ของการบริหารจัดการขยะจึงควรเกิดขึ้นเป็นอันดับแรก วัตถุประสงค์เพื่อให้ชุมชนได้ทราบถึงปัญหาที่ชุมชนได้สร้างขึ้น ก็คือ ขยะ เมื่อเกิดความตระหนักและทราบปัญหาแล้ว จะสามารถร่วมกันแก้ไขปัญหาและบริหารจัดการได้อย่างไร สำนักงานพลังงานจังหวัดและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด สามารถร่วมกันเสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการให้ชุมชนได้ อีกทั้งชี้แจงผลกระทบให้กับชุมชนเพื่อจะได้ทำความเข้าใจร่วมกัน รวมทั้งบูรณาการกับสำนักงานสหกรณ์จังหวัดเพื่อเข้ามาช่วยในการดูแล จัดตั้งเป็นกลุ่มสหกรณ์เพื่อรักษาผลประโยชน์ให้กับชุมชน เมื่อชุมชนเกิดการยอมรับและได้รับรู้ถึงวิธีการแก้ไขปัญหา และผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นตามมาในอนาคตต่อชุมชนของตนเอง อปท. จึงพิจารณาหาเงินทุนหรือเสาะหาผู้ประกอบการมาลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ ซึ่งแหล่งเงินทุนที่ให้การสนับสนุน คือ โครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนด้วยเงินทุนหมุนเวียน (ESCO Revolving Fund) ทั้งนี้ตามแผนยุทธศาสตร์พลังงาน แผนระยะสั้นมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้ารวม 4,028 kW_e ปริมาณการผลิตไฟฟ้ารวม 2,1373.07 MWh/y

แผนระยะกลาง ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (ท่าปายและผาบ่อง) การขยายผลในแผนระยะกลางของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ สามารถใช้ต้นแบบจากแผนระยะสั้นมาต่อยอดและดำเนินการ เนื่องจากทีมงานมีประสบการณ์ในแผนระยะสั้นไปแล้ว เราสามารถนำพื้นที่เป้าหมายในแผนระยะกลาง ไปศึกษาดูงานและสอบถามถึงผลกระทบได้จากพื้นที่จริง อาสาสมัครพลังงานชุมชน (อส.พน.) ซึ่งเป็นคนในพื้นที่สามารถเป็นตัวแทนอธิบายให้ประชาชนในพื้นที่เป้าหมายได้รับทราบถึงรายละเอียดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี จะช่วยให้เกิดความเข้าใจและการ

ยอมรับได้ง่ายขึ้น ซึ่งบ่อน้ำร้อนท่าปายนั้น มีศักยภาพการผลิต 28 kW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 235 MWh/y การดำเนินการโครงการผลิตไฟฟ้าจากน้ำพุร้อนท่าปายนั้น จะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้าในอำเภอปายได้มากยิ่งขึ้นอีกขั้นหนึ่ง จากเดิมที่บ่อน้ำพุร้อนเมืองแปง สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1,230 MWh/y เมื่อบ่อน้ำพุร้อนท่าปายมาเสริมอีก จะได้ปริมาณการผลิตไฟฟ้ารวม 1,465 MWh/y ในส่วนของบ่อน้ำพุร้อนผาบ่องจะสามารถเพิ่มศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนได้ 20 kW_e และผลิตไฟฟ้าได้ 168 MWh/y สำหรับพลังงานชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% จากเดิมที่ชีวมวลจากข้าวถูกใช้ไปแล้วทั้งหมด จะต้องดำเนินการเพื่อดึงชีวมวลจากข้าวมาใช้ผลิตไฟฟ้าในปริมาณ 50% ของชีวมวลจากข้าวทั้งหมด ซึ่งการดำเนินการนั้น จะนำวิธีการจากแผนระยะสั้นมาปรับใช้ เพื่อให้สามารถดึงชีวมวลจากข้าวที่ใช้ไปแล้วมาผลิตไฟฟ้า การนำชีวมวลจากข้าวมาผลิตไฟฟ้าเพื่อเพิ่มมูลค่า แทนการการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น หรือการทำลายทิ้ง ซึ่งจะเกิดมลภาวะ การหาทางออกในการนำชีวมวลจากข้าวมาแปรรูปเป็นวัสดุเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและนำมาจำหน่ายให้กับโรงไฟฟ้า จะช่วยดึงศักยภาพชีวมวลจากข้าวมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าได้ ลดการเผาทิ้งของวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร ลดปัญหาหมอกควัน ลดการเกิดมลพิษ ลดปัญหาสุขภาพของประชาชน และใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าต่อไป ซึ่งโรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าว ที่ปริมาณ 50% นั้น มีศักยภาพการผลิตสูงถึง 1,233 kW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 5,179 MWh/y ในส่วนของพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากขยะที่เหลือใช้ 2 แห่ง (ปางมะผ้าและขุนยวม) และจากขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง 2 แห่ง (เมืองแม่ฮ่องสอนและแม่สะเรียง) ขยะที่เหลือใช้ทั้ง 2 แห่งสามารถใช้วิธีการเดียวกันกับแผนระยะสั้นได้ คือใช้โครงการนำร่องเพื่อให้ความรู้ประชาชนในการจัดการขยะ ส่วนขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วและจะนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับโรงไฟฟ้านั้น จะใช้โครงการนำร่องแบบแผนระยะสั้นแต่จะมีการแสดงให้ประชาชนเห็นถึงประโยชน์และการเพิ่มมูลค่าในการนำขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วนำกลับมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าว่าเกิดประโยชน์มากกว่าการนำไปใช้อย่างอื่นเช่นไร ถ้านำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนโรงไฟฟ้าแล้วจะเพิ่มศักยภาพการผลิตไฟฟ้าและเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับพื้นที่ได้อย่างไร ซึ่งจะช่วยให้ประชาชนได้เข้าใจในโครงการและประโยชน์ที่ตนเองและชุมชนจะได้รับ จากพลังงานทดแทนทั้ง 3 ประเภทจะทำให้แผนระยะกลางมีศักยภาพการผลิตรวม 1,836 kW_e ปริมาณการผลิตไฟฟ้ารวม 10,241.52 MWh/y

แผนระยะยาว ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (โป่งปะและแม่อุมลองหลวง) พลังงานชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง 5 แห่ง (แม่ลาน้อย สบเมย ปาย ขุนยวม ปางมะผ้า) พลังงานทดแทนทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวมามีการดำเนินการในแผนระยะสั้น และแผนระยะกลางแล้ว สามารถนำมาปรับใช้ในแผนระยะยาวได้ทั้งหมด แต่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นไม่ได้ระบุไว้ในแผนระยะสั้น

และระยะกลาง แต่ถูกจัดไว้ในแผนระยะยาวเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่สูงและมีระยะเวลาคืนทุนยาวนานกว่าพลังงานทดแทนประเภทอื่นๆ ทั้งนี้จังหวัดแม่ฮ่องสอนเดิมมีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และไฟฟ้าพลังงานน้ำ ถ้าแผนระยะสั้นและระยะกลางมีการดำเนินการ ก็จะมีโรงไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล และโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ ซึ่งเมื่อดำเนินการตามแผนระยะยาวก็จะมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์) โดยติดตั้งในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ในพื้นที่โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผาบ่อง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทำให้เกิดความหลากหลายในด้านแหล่งพลังงาน เป็นแหล่งเรียนรู้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ประกอบกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยกำลังดำเนินการโครงการนำร่องสมาร์ทกริดที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นจังหวัดที่ใช้เชื้อเพลิงสะอาด ปริมาณคาร์บอนต่ำ เสริมสร้างความมั่นคงและเพิ่มคุณภาพด้านพลังงาน เกิดการเรียนรู้และแบ่งปันข้อมูล มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เกิดการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ และเกิดการมีส่วนร่วมของประชาชน จะทำให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนพัฒนาไปสู่เมืองสีเขียวและเกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต ซึ่งรวมแล้วแผนระยะยาวมีศักยภาพการผลิต 1,694 kW_e ปริมาณการผลิตไฟฟ้ารวม 8,989.52 MWh/y รายละเอียดแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 43 แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ลำดับ	รายการ	แผนระยะสั้น	แผนระยะกลาง	แผนระยะยาว
1	พลังงานความร้อนใต้พิภพ	1. โรงไฟฟ้าเมืองแปง ขนาด 146 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.33 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 4.25 y 2. โรงไฟฟ้าหนองแห้ง ขนาด 86 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.54 Baht/kWh	1. โรงไฟฟ้าท่าปาย ขนาด 28 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 3.28 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 5.99 y 2. โรงไฟฟ้าผาบ่อง ขนาด 20 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 3.74 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 6.83 y	1. โรงไฟฟ้าโป่งปะ ขนาด 6 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 7.50 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 13.69 y 2. โรงไฟฟ้าแม่อุมลองหลวง ขนาด 5 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

ตารางที่ 43 (ต่อ)

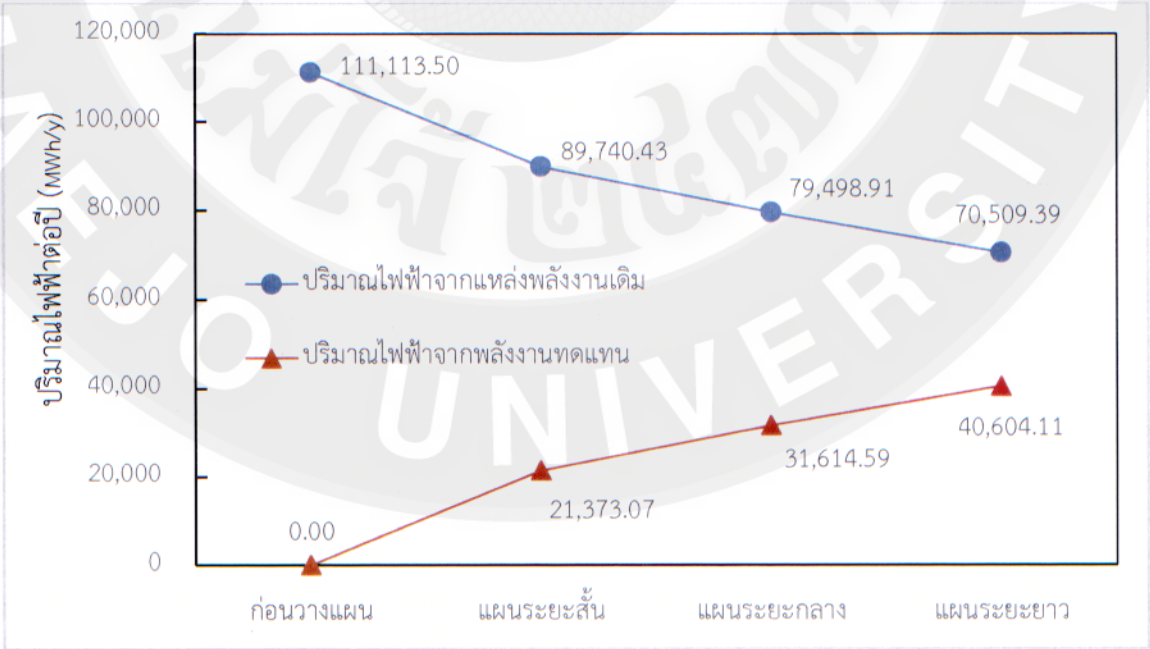
ลำดับ	รายการ	แผนระยะสั้น	แผนระยะกลาง	แผนระยะยาว
		ระยะเวลาคืนทุน 6.80 y		8.41 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 15.35 y
2	พลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม	1. โรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าวโพด ขนาด 2,332 kW_e ต้นทุน 4.30 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 7.20 y 2. โรงไฟฟ้าชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว ขนาด 635 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.32 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 6.53 y	1. โรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าว ขนาด 1,233 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.31 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 7.20 y	1. โรงไฟฟ้าชีวมวลจากข้าว ขนาด 1,233 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 4.31 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 7.20 y
3	พลังงานขยะมูลฝอยจากชุมชน	1. โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่เหลือใช้ 5 แห่งในพื้นที่ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน 233 kW_e อำเภอแม่สะเรียง 217 kW_e อำเภอแม่ลาน้อย 136 kW_e อำเภอปาย 125 kW_e	1. โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่เหลือใช้ 2 แห่งในพื้นที่ อำเภอปางมะผ้า 93 kW_e อำเภอขุนยวม 74 kW_e รวมทั้งหมด 167 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.31-2.33 Baht/kWh	1. โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง 5 แห่งในพื้นที่ อำเภอแม่ลาน้อย 126 kW_e อำเภอสบเมย 109 kW_e อำเภอปาย 72 kW_e

ตารางที่ 43 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	แผนระยะสั้น	แผนระยะกลาง	แผนระยะยาว
		อำเภอสบเมย 118 kW_e รวมทั้งหมด 829 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.25-2.28 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 2.86-2.91 y	ระยะเวลาคืนทุน 2.94-2.97 y 2. โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จากขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง 2 แห่งในพื้นที่ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน 202 kW_e อำเภอแม่สะเรียง 186 kW_e รวมทั้งหมด 388 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.25-2.26 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 2.87 y	อำเภอขุนยวม 68 kW_e อำเภอปางมะผ้า 63 kW_e รวมทั้งหมด 438 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 2.28-2.35 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 2.90-3.00 y
4	พลังงานแสงอาทิตย์			1. โรงไฟฟ้าน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 12 kW_e ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 23.40 Baht/kWh ระยะเวลาคืนทุน 33.37 y
รวม (MWh/y)		21,373	10,242	8,990
รวมสะสม (MWh/y)		21,373	31,615	40,604

แผนยุทธศาสตร์นี้จะเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริหารหน่วยงานของรัฐเพื่อใช้ในการตัดสินในการดำเนินโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนในอนาคต ทั้งนี้แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนนี้ จะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานของจังหวัด เพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในประเทศ สามารถตอบสนองนโยบายรัฐบาลตามแผนบูรณาการพลังงานระยะยาว และแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย อีกทั้งจะเป็นแหล่งเรียนรู้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย สร้างการมีส่วนร่วมของประชาชน และพัฒนาไปสู่การเป็นเมืองสีเขียวในอนาคต

ในระยะก่อนวางแผนมีการนำเข้าพลังงานทั้งหมด สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามแผนจึงเป็น 0% เมื่อมีการกำหนดแผนในระยะสั้นทำให้เพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 21,373 MWh/y ลดการนำเข้าพลังงานได้ 19.24% ต่อมาคือแผนระยะกลาง สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้ 10,242 MWh/y ลดการนำเข้าพลังงานได้ 9.22% และสุดท้ายคือแผนระยะยาว สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้ 8,990 MWh/y ลดการนำเข้าพลังงานได้ 8.09% กำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผนดังกล่าวทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณการผลิตไฟฟ้ารวมมากถึง 40,604.11 MWh/y เพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนสูงถึง 36.54% ซึ่งสูงกว่าที่แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยตั้งเป้าหมายไว้ที่ 20% ในปี ค.ศ. 2579 โดยแสดงดังภาพที่ 38 แสดงแนวโน้มการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่สอดคล้องตามแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงาน



ภาพที่ 38 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามแผนยุทธศาสตร์พลังงาน

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานทดแทนทั้ง 4 ประเภทของจังหวัดแม่ฮ่องสอน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. พลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน) แหล่งน้ำพุร้อนที่มีศักยภาพมีอุณหภูมิที่แหล่งกักเก็บใต้ผิวดิน 109.56-136.50 °C อัตราการไหลที่แหล่งกักเก็บใต้ผิวดิน 1.43-41.70 L/s ศักยภาพการผลิตไฟฟ้ารวม 291 kWe ปริมาณการผลิต 2,448.88 MWh/y และต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 2.33-8.41 Baht/kWh

2. พลังงานชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม ชีวมวลที่มีศักยภาพมี 3 ชนิด คือ ชีวมวลจากข้าว มีค่าพลังงานความร้อน 606.54 TJ/y ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 2,466 kW_e ปริมาณการผลิต 10,356.38 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 4.30 Baht/kWh ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีค่าพลังงานความร้อน 573.54 TJ/y ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 2,332 kWe ปริมาณการผลิต 9,792.91 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 4.30 Baht/kWh และชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว มีค่าพลังงานความร้อน 156.25 TJ/y ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 635 kW_e ปริมาณการผลิต 2,667.91 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 4.32 Baht/kWh

3. พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน ขยะมูลฝอยที่มีศักยภาพมี 2 ส่วน คือ ขยะที่นำไปกำจัด (ขยะเหลือใช้) มีค่าพลังงานความร้อน 489.89 TJ/y ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 996 kW_e ปริมาณการผลิต 8,364.65 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 2.25-2.33 Baht/kWh และขยะที่ใช้ประโยชน์ไปแล้วนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า มีค่าพลังงานความร้อน 406.43 TJ/y ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 826 kW_e ปริมาณการผลิต 6,939.62 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 2.25-2.35 Baht/kWh

4. พลังงานแสงอาทิตย์ ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตน้ำร้อน 15,000 L ปริมาณความร้อน 200 kW อุณหภูมิตั้งแต่ 100 °C ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 12 kW_e ปริมาณการผลิต 33.75 MWh/y ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 23.40 Baht/kWh

แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน สามารถสรุปได้ดังนี้

แผนระยะสั้น ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (เมืองแปงและหนองแห้ง) รวม 232 kW_e พลังงานชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่ว รวม 2,967 kW_e พลังงานขยะ

มูลฝอยในชุมชน จากขยะที่เหลือในพื้นที่ 5 อำเภอ (เมือง แม่สะเรียง แม่ลาน้อย ปาย สบเมย) 829 kW_e รวมแล้วแผนระยะสั้นมีศักยภาพการผลิต 4,028 kW_e เพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าลงได้ 19.24%

แผนระยะกลาง ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (ท่าปายและผาบ่อง) รวม 48 kW_e พลังงานชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% คือ 1,233 kW_e พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากขยะที่เหลือในพื้นที่ 2 อำเภอ (ปางมะผ้าและขุนยวม) และขยะที่ใช้ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง ในพื้นที่ 2 อำเภอ (เมืองแม่ฮ่องสอนและแม่สะเรียง) รวม 555 kW_e รวมแล้วแผนระยะกลางมีศักยภาพการผลิต 1,836 kW_e เพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าลงได้ 9.22%

แผนระยะยาว ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ 2 แหล่ง (โป่งปะและแม่อุมลอง) รวม 11 kW_e พลังงานชีวมวลจากข้าวที่ปริมาณ 50% คือ 1,233 kW_e พลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน จากขยะที่ใช้ไปแล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิง ในพื้นที่ 5 อำเภอ (แม่ลาน้อย สบเมย ปาย ขุนยวม ปางมะผ้า) รวม 438 kW_e รวมแล้วแผนระยะยาวมีศักยภาพการผลิต 1,694 kW_e เพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าลงได้ 8.09%

จากแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้ง 3 ระยะ รวมแล้วมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 7,558 kW_e ปริมาณการผลิต 40,604.11 MWh/y สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าลงได้รวมทั้งหมด 36.54%

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเบื้องต้น ซึ่งการนำไปพัฒนาต่อยอดคือ การแปลงจากแผนยุทธศาสตร์ไปสู่การปฏิบัติจริง โดยการนำแผนแต่ละระยะ โรงไฟฟ้าแต่ละแห่งไปดำเนินการศึกษาเพื่อจัดทำเป็นโครงการในพื้นที่และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดของการพัฒนาเพื่อตอบสนองนโยบายของรัฐ การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงของสภาวะเศรษฐกิจในพื้นที่ แนวทางการบริหารจัดการ ผลกระทบต่อสุขภาพ สังคมและสิ่งแวดล้อม การยอมรับและการมีส่วนร่วมในพื้นที่ และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงในอนาคต

บรรณานุกรม

European commission Stocktaking document towards a new energy strategy Europe 2011-2020. 2010.

Galloni, E., Fontana, G. & Staccone, S. 2015. Design and experimental analysis of a mini ORC (organic Rankine cycle) power plant based on R245fa working fluid. **Energy**, 90, 768-775.

Hanpower.com.tw. 2017. **ORC**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://hanpower.com.tw (24 กุมภาพันธ์ 2560)

SEBIGAS. **เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (ORC)**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.sebigasuac.co.th/index.php/th/homepage-3/sebigas-uac, (21 กุมภาพันธ์ 2559).

Sutabutr, T. 2015. **Overview of Thailand Integrated Energy Blueprint**, กระทรวงพลังงาน. Renewable Eneregy Asia.

TSUS.co.th. 2560. **ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : www.tsus.co.th (24 กุมภาพันธ์ 2560)

กรมธนารักษ์. 2559. **สรุปราคาประเมินทุนทรัพย์ที่ดิน รอบบัญชี ปี 2559-2562**.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก**. กรุงเทพ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน.

_____. 2558. **รายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย 2557**. กรุงเทพ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. 2556. **ยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2557-2561**. กรุงเทพ: กระทรวงพลังงาน.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. กระทรวงพลังงาน.ชีวมวล, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th, (25 เมษายน 2559)

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. **นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบ Feed-in Tariff**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/power/fit-seminar/Fit_2558.pdf, (24 กุมภาพันธ์ 2559).

สำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน. 2557. รายงานแผนปฏิบัติการพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน พ.ศ. 2559-2562. แม่ฮ่องสอน: สำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน.

นัฐพร ไชยญาติ. 2556 **คู่มือการใช้งานโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.** เชียงใหม่: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

_____. 2558. **การออกแบบระบบพลังงานทดแทน: ด้านความร้อน** (Renewable Energy System Design: Part thermal). วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

_____. 2559. **การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Waste heat recovery).** เชียงใหม่: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

_____. 2559. **การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design).** เชียงใหม่: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ปิยชาติ ศิลปสุวรรณ. 2557 **ขยะมูลฝอยชุมชน ปัญหาใหญ่ที่ประเทศกำลังเผชิญ (Municipal solid waste: The Significant problem of Thailand).**กลุ่มงานติดตามและประมวลผลงานของวุฒิสภา สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา. (ปีที่ 4 ฉบับที่ 7 เดือนเมษายน 2557) .

ธนาคารกรุงไทย. 2560. **อัตราดอกเบี้ยเงินกู้** [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : http://www.ktb.co.th/ktb/th/newsdetail.aspx?nid=uoEoTLZU43w5Wmx4HxWC2g%3D%3D (24 กุมภาพันธ์ 2560).

_____. 2560. **อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ** [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.ktb.co.th/ktb/th/exchangerate.aspx?cid=MPtvuj7JKRxuSO6HVepV0A%3d%3d (24 กุมภาพันธ์ 2560).

ธนาพล ตันติสัตยกุล, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีย์ปวีณ ภูหญ้า, และ ภานุวัฒน์ ไถ้บ้านกวย, 2558. "พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว," **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23, 418-431.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ตัวอย่างการคำนวณของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยจำลองวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้สารทำงาน คือ R-245fa ซึ่งใช้โปรแกรม Refprop (Version 9.1) คำนวณบน Microsoft Excel โดยมีข้อมูลเบื้องต้นดังต่อไปนี้

- สารทำงานในระบบ R-245fa
- อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าหม้อต้ม (T_{1h}) 90 °C
- อุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าระบบ (T_{3C}) 32 °C
- ผลต่างของออุณหภูมิสารทำงานกับน้ำระบายความร้อน ($T_{ref} - T_{1C}$) 3 °C
- ผลต่างของออุณหภูมิน้ำร้อนกับสารทำงาน ($T_{2h} - T_{ref}$) 3 °C
- ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้า-ออกระบบ (ΔT_{HW}) 15 °C
- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) 200 kW
- ผลต่างของออุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่เข้า-ออกระบบ (ΔT_{CW}) 5 °C
- ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของกังหัน ($\eta_{S,Tur}$) 85 %
- ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของปั๊ม ($\eta_{S,P}$) 85 %
- Supper heating (SH) 10 °C
- Subcooling (SC) 0 °C

แนวทางการวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1) หาอุณหภูมิของสารทำงานที่หม้อต้มและเครื่องควบแน่น

อุณหภูมิสารทำงานที่หม้อต้ม ($T_B = T_{1h} - \Delta T_{HW} - (T_{2h} - T_{ref})$) 72 °C

อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น ($T_C = T_{3C} + \Delta T_{CW} + (T_{ref} - T_{1C})$) 40 °C

ขั้นตอนที่ 2) หาความดันของสารทำงานที่หม้อต้มและเครื่องควบแน่น

ความดันด้านสูงพิจารณาที่หม้อต้ม ($P_H = f(T_B)$) 642.79 kPa

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Pressure("R245fa","Tvap","mks",273.15+72)

ความดันด้านต่ำพิจารณาที่เครื่องควบแน่น ($P_L = f(T_C)$) 250.46 kPa

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Pressure("R245fa","Tvap","mks",273.15+40)

ขั้นตอนที่ 3) พิจารณาสารทำงานที่ปั๊มสารทำงาน

อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 1 ($T_1 = T_C - SC$) 40 °C

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 1 ($h_1 = f(T_C - SC)$) 252.57 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy("R254fa","Tliq","mks",273.15+40)

ปริมาตรสารทำงานจุดที่ 1 (ν_1=f(T_1)) 0.00077 m^3/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Volume("R254fa","Tliq","mks",273.15+40)

เอนโทรปีจุดที่ 1 (s_1=f(T_1)) 1.18 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy("R254fa","Tliq","mks",273.15+40)

เอนโทรปีจุดที่ 2 (s_{2s}=s_1) 1.18 kJ/kg·K

เอนทัลปีสารทำงานที่จุด 2s (h_{2s}=f(P_H,s_{2s})) 252.87 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy("R254fa","PS","mks",642.79,1.18)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 2 (h_2 =[(h_{2s} +h_1) / $\eta_{s,P}$] + h_1) 252.93 kJ/kg

อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 2 (T_2=f(P_H,h_2)) 40.19 °C

คำสั่งที่ใช้บน Excel คือ = Temperature("R254fa","PH","mks",642.79,252.93)-273.15

ขั้นตอนที่ 4) พิจารณาสารทำงานที่หม้อต้ม

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 2′ ($h_{2'}$=f(T_B)) 297.49 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy("R254fa","Tliq","mks",273.15+80)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 3′ ($h_{3'}$=f(T_B)) 456.36 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy("R254fa","Tvap","mks",273.15+80)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 3 (h_3=f(T_B+SH,P_H)) 467.77 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Excel คือ = Enthalpy("R254fa","TP","mks",273.15+80+10,642.79)

อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 3 (T_3=T_B+SH) 82 °C

เอนโทรปีจุดที่ 3 (s_3=f(T_3,P_H) 1.81 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy("R254fa","TP","mks",273.15+82,642.79)

ขั้นตอนที่ 5) พิจารณาสารทำงานที่กังหัน

เอนโทรปีจุดที่ 4s (s_{4s}=s_3) 1.81 kJ/kg·K

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 4s (h_{4s} = f(P_L,s_{4s})) 449.76 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy("R254fa","PS","mks",250.46,1.81)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 4 (h_4=h_3-$\eta_{s,Tur}$(h_3-h_{4s})) 452.46 kJ/kg

อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 4 (T_4=f(P_L,h_4)) 58.69 °C

คำสั่งที่ใช้บน Excel คือ = Temperature("R254fa","PH","mks",250.46,452.46)-273.15

เอนโทรปีจุดที่ 4 (s_4=f(P_L,h_4)) 1.82 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy("R254fa","PH","mks",250.46,452.46)

เอนโทรปีของสารทำงานในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่อุณหภูมิควบแน่น ($s_{f,c}$=f(T_C))

1.18 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy("R254fa","Tliq","mks",273.15+40)

เอนโทรปีของสารทำงานในสถานะของไออิ่มตัวที่อุณหภูมิควบแน่น ($s_{g,c}$=f(T_C))

1.76 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy("R254fa","Tvap","mks",273.15+40)

เอนโทรปีของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิควบแน่น ($s_{fg,C} = s_{g,C} - s_{f,C}$) 0.58 kJ/kg·K

ขั้นตอนที่ 6) พิจารณาปริมาณไอของสารทำงานที่ออกจากกังหัน

ปริมาณไอของสารทำงานที่ออกจากกังหัน (qv_4= [($s_4 - s_{f,c}$)100] / $s_{f,c}$) 110.05 %

ขั้นตอนที่ 7) พิจารณาปริมาณอัตราการไหลของสารทำงาน

อัตราการไหลของสารทำงาน ($\dot{m}_{ref} = Q_B / (h_3 - h_2)$) 0.93 kg/s

ขั้นตอนที่ 8) พิจารณาความสูงของของไหลเทียบเท่า

ความหนาแน่นของสารทำงานที่ออกจากปั๊มสารทำงาน (ρ_2 = f(T_2)) 1296.16 kg/m^3

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Density("R254fa","Tliq","mks",273.15+40.19)

เทียบเท่าความสูงของของไหล ($H_2 = (P_H / \rho_2 g)1000$ ๗ 50.55 m

ขั้นตอนที่ 9) พิจารณาความสามารถด้านความร้อนของอุปกรณ์ในระบบ

งานที่ได้จากกังหัน ($W_{Tur} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_4)$) 14.25 kW

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น ($Q_C = \dot{m}_{ref}(h_4 - h_1)$) 186.08 kW

งานที่ต้องป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน ($W_P = (\dot{m}_{ref} v_1 (P_H - P_L))/\eta_{s,P}$) 0.33 kW

ขั้นตอนที่ 10) หาค่าประสิทธิภาพของระบบ ORC

ค่าประสิทธิภาพ (η_{ORC} = [($W_{Tur,e} - W_P$) / Q_B]100) 6.97 %

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยและระยะเวลาคืนทุนของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน) แหล่งเมืองแปง

โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้

1. โรงไฟฟ้าขนาด 146 kW_e
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2559)
3. ใช้ที่ดินขนาด 1 Rai ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2560)
4. ค่าใช้จ่ายในการขุดเจาะน้ำพุร้อนความลึก 500 km คิดที่ 1,512,367 Baht (อดิศักดิ์ และ นัฐพร, 2559)
5. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 146 kW_e เป็นเงิน 11,593,090 Baht โดยคิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
6. ค่าโรงเรือน ค่าระบบท่อและค่าหอระบายความร้อน คิดที่ 50% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 5,796,545 Baht
7. ค่าขนส่งวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คิดที่ 20% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 2,318,618 Baht
8. ค่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Plate heat exchanger) จำนวน 2 ชุด เป็นเงิน 211,469 Baht
9. ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา คิดที่ 5% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น เป็นเงิน 1,101,605 Baht
10. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าที่ดิน+ ค่าใช้จ่ายในการขุดน้ำพุร้อน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน เป็นเงิน 22,032,090 Baht
11. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าที่ดิน+ค่าใช้จ่ายในการขุดน้ำพุร้อน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา เป็นเงิน 23,133,695 Baht
12. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
13. ค่าพลังงานไฟฟ้า 4.4217 Baht/kWh (กฟภ, 2560)
14. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)

15. ระยะเวลาการทำงาน 24 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

การคำนวณหาระยะเวลาคืน (PB) โดยใช้สมการดังนี้

$PB = Z / B$

$B = EC\ W_{ORC,net}\ t_{Wk}$

เมื่อ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (y)

Z คือ มูลค่าการลงทุนโครงการ = 23,133,695 Baht

B คือ ผลมูลค่าตอบแทนต่อปี = 5,439,881 Baht/y

EC คือ อัตรารับซื้อไฟฟ้า = 4.4217 Baht/kWh

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 146 kW_e

t_{Wk} คือ เวลาการทำงานต่อปี = 24 h x 350 d (h/y)

ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

PB = 4.25 y

การคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC) โดยใช้สมการดังนี้

$$LEC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PEC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{W_{ORC,net}\, t_{Wk}}{(1+r)^t}}$$

เมื่อ LEC คือ ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)

Inv คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = 22,032,090 Baht

PEC คือ การใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยมีค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา = 1,101,605 Baht และค่าซากโรงไฟฟ้า (1% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น) = 220,321 Baht

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 146 kW_e

n คือ อายุการใช้งานของระบบ = 20 y

r คือ อัตราดอกเบี้ย = 7.62%

ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

LEC = 2.33 Baht/kWh

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานชีวมวลภาคเกษตรกรรม ชีวมวลจากข้าวโพด

โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้

1. โรงไฟฟ้าขนาด 2,332 kW_e
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2559)
3. ใช้ที่ดินขนาด 1 Rai ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2560)
4. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 2,332 kW_e เป็นเงิน 184,561,443 Baht โดยคิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
5. ค่าโรงเรือน ค่าระบบท่อและค่าหอระบายความร้อน คิดที่ 50% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 92,280,722 Baht
6. ค่าขนส่งวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คิดที่ 20% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 36,192,289 Baht
7. ค่าเตาเผาชีวมวล คิดที่ 5% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 9,228,072 Baht
8. ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา คิดที่ 5% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น เป็นเงิน 16,179,126 Baht
9. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าเตาเผาชีวมวล + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน เป็นเงิน 323,582,525 Baht
10. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์+ ค่าเตาเผาชีวมวล + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา เป็นเงิน 339,761,652 Baht
11. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
12. อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ (ชีวมวล) สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1-3 MW อยู่ที่ 4.82 Baht/kWh
13. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
14. ระยะเวลาการทำงาน 12 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

การคำนวณหาระยะเวลาคืน (PB) โดยใช้สมการดังนี้

$PB = Z / B$

$B = EC\ W_{ORC,net}\ t_{Wk}$

เมื่อ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (y)

Z คือ มูลค่าการลงทุนโครงการ = 339,761,652 Baht

B คือ ผลมูลค่าตอบแทนต่อปี = 47,201,843 Baht/y

EC คือ อัตรารับซื้อไฟฟ้า = 4.82 Baht/kWh

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 2,332 kW_e

t_{Wk} คือ เวลาการทำงานต่อปี = 12 h x 350 d (h/y)

ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

PB = 7.20 y

การคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC) โดยใช้สมการดังนี้

$$LEC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PEC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{W_{ORC,net}\, t_{Wk}}{(1+r)^t}}$$

เมื่อ LEC คือ ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)

Inv คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = 323,582,525 Baht

PEC คือ การใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยมีค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา = 16,179,126 Baht และค่าซากโรงไฟฟ้า (1% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น) = 3,235,825 Baht

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 2,332 kW_e

n คือ อายุการใช้งานของระบบ = 20 y

r คือ อัตราดอกเบี้ย = 7.62%

ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

LEC = 4.30 Baht/kWh

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานขยะมูลฝอยในชุมชน (ขยะที่เหลือ) อำเภอเมือง แม่ฮ่องสอน

โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้

1. โรงไฟฟ้าขนาด 233 kW_e
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2559)
3. ใช้ที่ดินขนาด 1 Rai ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2560)
4. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 233 kW_e เป็นเงิน 18,436,322 Baht โดยคิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
5. ค่าโรงเรือน ค่าระบบท่อและค่าหอระบายความร้อน คิดที่ 50% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 9,218,161 Baht
6. ค่าขนส่งวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คิดที่ 20% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 3,687,264 Baht
7. ค่าเตาเผาขยะ คิดที่ 10% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 1,843,632 Baht
8. ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา คิดที่ 5% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น เป็นเงิน 1,689,269 Baht
9. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าเตาเผาขยะ + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน เป็นเงิน 33,785,380 Baht
10. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าเตาเผาขยะ + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา เป็นเงิน 35,474,649 Baht
11. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
12. อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ (ขยะ การจัดการแบบผสมผสาน) สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดต่ำกว่า 1 MW คือ 6.34 Baht/kWh
13. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
14. ระยะเวลาการทำงาน 24 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

การคำนวณหาระยะเวลาคืน (PB) โดยใช้สมการดังนี้

$$PB = Z / B$$

$$B = EC\ W_{ORC,net}\ t_{Wk}$$

เมื่อ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (y)

Z คือ มูลค่าการลงทุนโครงการ = 35,474,649 Baht

B คือ ผลมูลค่าตอบแทนต่อปี = 12,404,078 Baht/y

EC คือ อัตรารับซื้อไฟฟ้า = 6.34 Baht/kWh

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 233 kW_e

t_{Wk} คือ เวลาการทำงานต่อปี = 12 h x 350 d (h/y)

ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

PB = 2.86 y

การคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC) โดยใช้สมการดังนี้

$$LEC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PEC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{W_{ORC,net} t_{Wk}}{(1+r)^t}}$$

เมื่อ LEC คือ ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)

Inv คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = 33,785,380 Baht

PEC คือ การใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยมีค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา = 1,689,269 Baht และค่าซากโรงไฟฟ้า (1% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น) = 337,854 Baht

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 233 kW_e

n คือ อายุการใช้งานของระบบ = 20 y

r คือ อัตราดอกเบี้ย = 7.62%

ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

LEC = 2.25 Baht/kWh

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ของพลังงานแสงอาทิตย์

โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้

1. โรงไฟฟ้าขนาด 12 kW_e
2. อายุการใช้งานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คิดที่ 20 y (นัฐพร, 2559)
3. ใช้ที่ดินขนาด 1 Rai ราคาประเมินที่ดิน 600,000 Baht/Rai (กรมธนารักษ์, 2560)
4. ค่าระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube) และถังเก็บน้ำร้อนขนาด 15,000 L เป็นเงิน 3,850,000 Baht (TSUS.co.th, 2560)
5. ราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 12 kW_e เป็นเงิน 954,166 Baht โดยคิดที่ 2,250 USD ต่อ 1 kW_e (Hanpower.com.tw, 2017)
6. ค่าโรงเรือน ค่าระบบท่อและค่าหอระบายความร้อน คิดที่ 50% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 477,083 Baht
7. ค่าขนส่งวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คิดที่ 20% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นเงิน 190,833 Baht
8. ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา คิดที่ 5% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น เป็นเงิน 303,604 Baht
9. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บ + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน เป็นเงิน 6,072,083 Baht
10. มูลค่าการลงทุนโครงการ = ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ + ค่าระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บ + ค่าที่ดิน + ค่าโรงเรือน + ค่าระบบท่อ + ค่าหอระบายความร้อน + ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา เป็นเงิน 6,375,687 Baht
11. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 1 USD = 35.18 Baht (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
12. อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ของกลุ่มพลังงานธรรมชาติ (พลังงานแสงอาทิตย์) สำหรับโรงไฟฟ้าทุกขนาดที่ติดตั้งบนพื้นดิน คือ 5.66 Baht/kWh
13. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.62% (ธนาคารกรุงไทย, 2560)
14. ระยะเวลาการทำงาน 8 h/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

การคำนวณหาระยะเวลาคืน (PB) โดยใช้สมการดังนี้

$$PB = Z / B$$

$$B = EC\ W_{ORC,net}\ t_{Wk}$$

เมื่อ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (y)

Z คือ มูลค่าการลงทุนโครงการ = 6,375,687 Baht

B คือ ผลมูลค่าตอบแทนต่อปี = 191,038 Baht/y

EC คือ อัตรารับซื้อไฟฟ้า = 5.66 Baht/kWh

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 12 kW_e

t_{Wk} คือ เวลาการทำงานต่อปี = 8 h x 350 d (h/y)

ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

PB = 33.37 y

การคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC) โดยใช้สมการดังนี้

$$LEC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PEC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{W_{ORC,net}\, t_{Wk}}{(1+r)^t}}$$

เมื่อ LEC คือ ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)

Inv คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น = 6,072,083 Baht

PEC คือ การใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยมีค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา = 303,604 Baht และค่าซากโรงไฟฟ้า (1% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น) = 60,721 Baht

$W_{ORC,net}$ คือ ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ = 12 kW_e

n คือ อายุการใช้งานของระบบ = 20 y

r คือ อัตราดอกเบี้ย = 7.62%

ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

LEC = 23.40 Baht/kWh

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง: พฤหัส บุญมาตา
นัฐพร ไชยญาติ
รณชาติ มั่นศิลป์

ชื่อบทความ: แผนยุทธศาสตร์การผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน
Strategy Power Generation Plan by an Organic Rankine Cycle from Biomass Energy of Maehongson Province

ชื่อวารสาร: การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 (12th Conference on Energy Network of Thailand)

หน้าที่: 61-68

สถานที่ ณ โรงแรม วังจันทน์ ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย ดำเนินการจัดประชุมโดย มหาวิทยาลัยนเรศวร ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่ ระหว่างวันที่ 8-10 มิถุนายน 2559

ENETT12-EP-126

แผนยุทธศาสตร์การผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน
Strategy Power Generation Plan by an Organic Rankine Cycle from Biomass Energy of Maehongson Province

พฤหัส บุญมาตา[1]* นัฐพร ไชยญาติ[1] และรณชาติ มั่นศิลป์[2]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290
[2] วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่ 50300
*E-mail: paruehat.en@gmail.com โทรศัพท์ 081-5952457

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปจัดทำแผนงานตามแผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้าของแม่ฮ่องสอน จากผลการศึกษาพบว่า ชีวมวลที่มีศักยภาพนำมาผลิตไฟฟ้ามี 3 ชนิด คือ ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ชีวมวลจากข้าว และชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว โดยมีปริมาณ 68,507 Ton/y 47,808 Ton/y และ 10,144 Ton/y ตามลำดับ และสามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 1,646 kW_e 870 kW_e และ 448 kW_e ตามลำดับ โดยคิดที่สัดส่วนการนำมาใช้ประโยชน์ที่ 85.19% 50% และ 95% ของชีวมวลที่เกิดขึ้นทั้งหมด รวมทั้งสามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้สูงถึง 11.94% สอดคล้องกับยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงานตามแผน PDP2015 ที่ต้องการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 10-20% ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด

คำสำคัญ: ชีวมวล วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ยุทธศาสตร์พลังงาน แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 2015

Abstract

This research studies the electricity potential of Organic Rankine Cycle (ORC) by biomass energy of Maehongson province, Thailand. The secondary data of biomass is used to predict the suitable capacity of the ORC-biomass power plant and the strategy of renewable energy planning of Maehongson province. From the study results, it could be found that the biomass from corn, rice and soybean are 68,507 Ton/y 47,808 Ton/y and 10,144 Ton/y, respectively. Those biomass energy could be used to generate electricity from the ORC-biomass power plant of 1,646 kW_e 870 kW_e and 448 kW_e, respectively, which produce from the among of biomass at around 85.19% 50% and 95%, respectively. The electrical energy potential from 3 types of biomass could be increased the ratio of electricity from renewable energy per total electricity at around 11.94%, which supports the gold of strategy energy planning of the Power development plan (PDP) 2015 at 10-120%.

Keywords: Biomass, Organic Rankine Cycle, Strategy Energy Plan, Power Development Plan of Thailand 2015

1. บทนำ

พลังงาน [1] ถือได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันและมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อโลกมีการพัฒนามากยิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบันพลังงานเปลี่ยนไปเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตมากยิ่งขึ้น เพื่อพัฒนาศักยภาพในการผลิต ต้นทุน ความคุ้มค่า ความเหมาะสมในการพัฒนา การใช้งานของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องศักยภาพและการใช้งาน และที่สำคัญคือด้านความมั่นคงที่พลังงานสิ้นเปลืองเริ่มมีปริมาณลดลง จึงมีความพยายามปลดตนเองออกจากการใช้พลังงานสิ้นเปลือง และเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทยนั้น กระทรวงพลังงาน คือหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบในการกำหนดยุทธศาสตร์ด้านพลังงานของประเทศ [2] ซึ่งประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกัน แต่อาจจะมีปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ บางครั้งวิกฤตการณ์ของโลกอาจจะ

ทำให้ประเทศไทยได้รับอิทธิพลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้เพราะประเทศไทยยังต้องมีการนำเข้าพลังงานเป็นจำนวนมาก กระทรวงพลังงานจึงได้กำหนดแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานที่สอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหาด้านพลังงานที่เกิดขึ้น เพื่อสร้างเสถียรภาพด้านพลังงานของประเทศ ให้มีพอเพียงต่อความต้องการและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ โดยมี วิสัยทัศน์กระทรวงพลังงาน "มุ่งบริหารพลังงานอย่างยั่งยืน ให้ประเทศชาติและประชาชนชาวไทย มีพลังงานใช้อย่างพอเพียง" ในส่วนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน [1] เป็นจังหวัดชายแดนตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศซึ่งห่างจากกรุงเทพมหานครมากที่สุดในภาคเหนือด้วยระยะทางประมาณ 924 km โดยทั่วไปเป็นพื้นที่ภูเขาและที่ราบระหว่างหุบเขา รับกระแสไฟฟ้าจากระบบผลิตภายในจังหวัด กำลังผลิตไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 18,100 kW และระบบจำหน่าย 22 kV จากสถานีไฟฟ้า 3 แห่ง คือ สถานีไฟฟ้าฮอด สถานีไฟฟ้าจอมทอง และสถานีไฟฟ้าแม่แตง จ.เชียงใหม่ นำมาจ่ายไฟในพื้นที่ 7 อำเภอ ซึ่งในปัจจุบันมีการจ่ายไฟในระบบ 115 kV จากสถานีไฟฟ้าแม่แตงผ่านอำเภอปาย ไปถึงอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จึงทำให้ระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่ก็ยังไม่เพียงพอและทั่วถึงกับการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอที่เหลืออื่นๆ ซึ่งการใช้พลังงานของประชาชนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ไม่ว่าจะเป็น ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซหุงต้ม ส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากภายนอก จะมีเพียงไฟฟ้าเท่านั้นที่สามารถผลิตได้เองในจังหวัด เนื่องด้วยมีทรัพยากรธรรมชาติที่ค่อนข้างสมบูรณ์ โดยผลิตจาก โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่าปัจจุบันจังหวัดแม่ฮ่องสอนยังต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากภายนอก เพราะปริมาณการผลิตในจังหวัดยังไม่เพียงพอ และเห็นว่าจังหวัดแม่ฮ่องสอนยังมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนในจังหวัดได้ จึงควรทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพลังงานทดแทนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อประเมินศักยภาพในการเพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้าและนำไปใช้ในการวางแผนยุทธศาสตร์พลังงานของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยประเมินศักยภาพจากการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC)

2. ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย 2 ทฤษฎี คือ ชีวมวล และวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) [3] คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น

- แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ซังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว
- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น

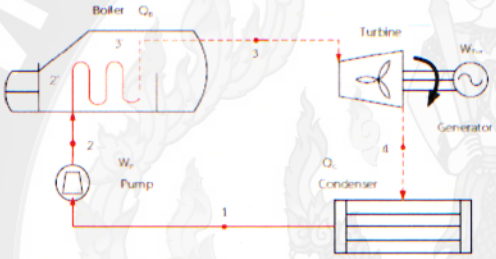
ชีวมวล สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโต พืชใช้ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้เป็นแป้งและน้ำตาล กักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราก็จะได้พลังงานออกมา เมื่อนำชีวมวลมาเผาไหม้ เกิดพลังงานความร้อน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

ชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย หากมีการใช้ประโยชน์ในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงซึ่งจะไม่เสียต้นทุนค่าขนส่งมากนัก นับเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้ การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างภาวะเรือนกระจก เนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม การพัฒนาโครงการเกี่ยวกับชีวมวลจะสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งและ การมีส่วนร่วมของชุมชนได้อีกด้วย

2.2. วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (ORC)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ [4] เป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของระบบแรงคิน (Rankine cycle) แต่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำหรือมีจุดเดือดต่ำ (Boiling point) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในระบบแรงคินทั่วไป ทำให้ระบบ ORC สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 100 °C) ระบบ ORC มีหลักการทำงาน คือ ของไหลที่ผ่านกระบวนการควบแน่นจนสมบูรณ์ในเครื่องควบแน่น (Condenser) จะควบแน่นเป็นของเหลวอิ่มตัว (จุดที่ 1) และของไหลจะถูกอัดตัวโดยปั๊ม (Pump) ภายใต้กระบวนการ

ไอเซนทรอปิก จนกระทั่งมีความดันสูงขึ้น (P_{High}) (จุดที่ 2) จะเท่ากับความดันภายในหม้อต้ม (Boiler) จากนั้นของเหลวจะถูกให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่ ($P_2=P_{2'}$) จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 2') กลายเป็นไออิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 3') และกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (จุดที่ 3) ในที่สุด ไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่กังหัน (Turbine) ขยายตัวแบบไอเซนทรอปิก และผลิตงานโดยการขับเพลาที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้ความดันและอุณหภูมิของไอสารทำงานลดลง (P_{Low}) (จุดที่ 4) ที่ทางออกของกังหันซึ่งอยู่ในสถานะของผสม (ไอและของเหลว) จากนั้นจะไหลไปควบแน่นยังเครื่องควบแน่นภายใต้ความดันคงที่ ($P_4=P_1$) กลายเป็นของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 1) อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพของระบบ ORC

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการของงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบ ORC

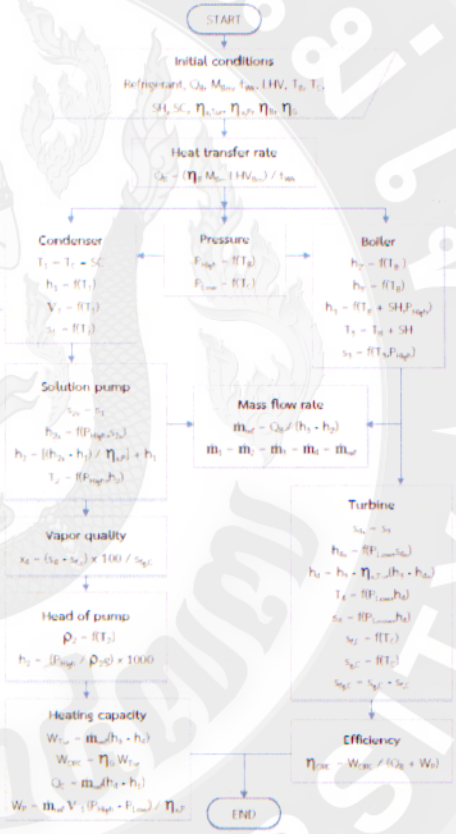
ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาแผนยุทธศาสตร์พลังงาน

ขั้นตอนที่ 3 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิพลังงานชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินศักยภาพด้านพลังงานชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากพลังงานชีวมวลภาคเกษตรกรรมของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีเงื่อนไขในการทำงานดังนี้

- สารทำงานในระบบ : R-245fa
- อุณหภูมิสารทำงานที่หม้อต้ม (T_B) : 80 °C
- อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น (T_C) : 40 °C
- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) : หาได้จากสมการ $Q_B = (\eta_B M_{Bm} LHV_{Bm}) / t_{wk}$
- ประสิทธิภาพของหม้อต้ม (η_B) : 60% [5]
- ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกกังหัน ($\eta_{s,Tur}$) : 85% [5]
- ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกปั๊ม ($\eta_{s,P}$) : 85% [5]
- ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η_{Gen}) : 85% [5]
- Superheating (SH) : 10 °C
- Subcooling (SB) : 0 °C
- ระยะเวลาทำงาน (t_{wk}) 350 d/y วันละ 12 hr
- ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ORC แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ORC

ขั้นตอนที่ 6 นำศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากพลังงานชีวมวลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประเมินร่วมกับอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอน และเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามนโยบายของรัฐบาล เพื่อกำหนดแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนระยะสั้น กลาง และยาว ทั้งนี้การประเมิน

ดังกล่าวไม่พิจารณาผลของราคาชีวมวล และค่าใช้จ่ายจากการขนส่ง

4. ผลและการอภิปรายผล

4.1 ศักยภาพพลังงานชีวมวล

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกในภาคเกษตรกรรม ผลผลิต ปริมาณชีวมวล ศักยภาพชีวมวลทั้งหมด และปริมาณชีวมวลที่เหลือใช้ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน รวมถึงค่าความร้อนของชีวมวลแต่ละประเภท พบว่า ชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีศักยภาพนำมาผลิตไฟฟ้ามี 3 ชนิด คือ 1) ข้าว มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด คือ 68,297 Ton/y ชีวมวลจากข้าว 47,808 Ton/y ซึ่งทั้งหมดไม่ได้นำกลับมาใช้งานด้านพลังงาน 2) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีปริมาณผลผลิตอันดับสอง คือ 32,936 Ton/y ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีมากที่สุด คือ 68,507 Ton/y ถูกนำไปใช้ในด้านการเกษตร 10,144 Ton/y คิดเป็น 14.81% ของชีวมวลทั้งหมด และ 3) พืชตระกูลถั่ว มีปริมาณผลผลิตน้อยที่สุด คือ 8,610 Ton/y และมีชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว 10,134 Ton/y ซึ่งถูกนำไปใช้ในด้านการเกษตร 507 Ton/y คิดเป็น 5% ของชีวมวลทั้งหมด ดังนั้นจะเห็นว่าปริมาณชีวมวลจากภาคเกษตรกรรมรวมแล้วมีมากถึง 126,489 Ton/y และเป็นที่น่าสังเกตว่าชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่ว มีปริมาณชีวมวลมากกว่าปริมาณผลผลิต ซึ่งแตกต่างจากข้าวที่มีปริมาณชีวมวลน้อยกว่าผลผลิต โดยชีวมวลจากพืชตระกูลถั่วจะมีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 16.23 MJ/kg รองลงมา คือ ชีวมวลจากข้าว 12.33-13.52 MJ/kg และชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 9.62-9.83 MJ/kg ถึงแม้ชีวมวลจากข้าวจะถูกนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ เชื้อเพลิง หรือประโยชน์อื่นๆ แล้วก็ตาม แต่ก็ยังคงมีศักยภาพชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่วมากถึง 67,990 Ton/y คิดเป็น 53.77% ของปริมาณชีวมวลทั้งหมด (คิดจากชีวมวล 3 ชนิด) ซึ่งถือว่ามีศักยภาพมากพอที่จะนำไปผลิตไฟฟ้าต่อได้

ตารางที่ 1 ข้อมูลชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

รายการ	ข้าว	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	พืชตระกูลถั่ว
ชีวมวล	แกลบและฟางข้าว	ลำต้นและซังข้าวโพด	ลำต้น เปลือกและใบถั่วเหลือง
พื้นที่เพาะปลูก (Rai)	143,939	52,950	26,325
ปริมาณผลผลิต (Ton/y)	68,297	32,936	8,610
ปริมาณชีวมวล (Ton/y)	47,808	68,507	10,134
ชีวมวลที่ใช้แล้ว (Ton/y)	47,808	10,144	507
สัดส่วนชีวมวลที่ใช้แล้ว (%)	100	15	5
ชีวมวลที่เหลือ (Ton/y)	-	58,363	9,627
สัดส่วนชีวมวลที่เหลือ (%)	-	85.19	95.00
ค่าความร้อน (MJ/kg)	12.33-13.52	9.62-9.83	16.23

4.2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรในปัจจุบัน

จากหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบข้อมูลศักยภาพพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้แล้วนั้น ขั้นตอนต่อไป คือ การประเมินศักยภาพด้านความร้อนของชีวมวลที่เหลือใช้ในปัจจุบัน คือ ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC ที่ใช้สารทำงาน คือ R-245fa โดยคิดวันทำงานที่ 350 d/y และระยะเวลาทำงานวันละ 12 hr ผลการคำนวณศักยภาพชีวมวลที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากระบบ ORC ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลในปัจจุบัน [6]

รายการ	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	พืชตระกูลถั่ว
ประเภทชีวมวล	ต้นและซังข้าวโพด	ลำต้น เปลือกและใบถั่วเหลือง
ปริมาณชีวมวล (Ton/y)	58,363	9,628
ค่าความร้อน (MJ/kg)	9.62-9.83	16.23
ปริมาณความร้อนทั้งหมด (TJ)	574	156
ขนาดระบบ ORC (kW_e)	1,646	448
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า (kWh/y)	6,911,687	1,882,970
FiT ชีวมวล (Baht/kWh)	4.82	5.34
รายได้ (Baht/y)	33,314,333	10,055,059

จากศักยภาพพลังงานชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรในปัจจุบันสามารถนำมาใช้กับสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลได้ 2 โรง คือ โรงไฟฟ้าจากชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปริมาณชีวมวล 58,363 Ton/y ขนาดระบบ ORC 1,646 kW_e ผลิตไฟฟ้าได้

6,911,687 kWh/y สามารถสร้างรายได้ 33.31 Million Baht/y และโรงไฟฟ้าจากชีวมวลพืชตระกูลถั่ว ปริมาณชีวมวล 9,628 Ton/y ขนาดระบบ ORC 448 kW_e ผลิตไฟฟ้าได้ 1,882,970 kWh/y สร้างรายได้ 10.05 Million Baht/y สาเหตุที่พิจารณาแยกเป็น 2 โรงไฟฟ้า เพราะค่าความร้อนของชีวมวลทั้ง 2 ประเภทต่างกัน จึงควรที่จะใช้หม้อต้มสำหรับผลิตน้ำร้อนแยกจากกัน ซึ่งหากลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าระบบ ORC จำนวน 2 โรง โดยคิดราคาค่าโรงไฟฟ้าที่ 1,750 USD/kW_e [5] โรงไฟฟ้าจากชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะใช้เงินลงทุน 101.4 Million Baht ค่าการรับซื้อไฟฟ้า (Feed in Tariff, FiT) ของโรงไฟฟ้าขนาด 1-3 MW อยู่ที่ 4.82 Baht/kWh [7] มีระยะคืนทุนที่ 3.04 y สำหรับโรงไฟฟ้าจากชีวมวลพืชตระกูลถั่วจะใช้เงินลงทุน 27.6 Million Baht ค่าการรับซื้อไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าขนาดต่ำกว่า 1 MW อยู่ที่ 5.34 Baht/kWh [7] มีระยะคืนทุนน้อยกว่า คือ 2.75 y จะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้าระบบ ORC ทั้ง 2 โรงซึ่งใช้ชีวมวลที่เหลือใช้ทางการเกษตรในปัจจุบันสามารถดำเนินการได้ทันทีเพราะมีชีวมวลพร้อมใช้งานและโรงไฟฟ้ามีระยะคืนทุนน้อย คือ 2.75-3.04 y

4.3 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นไปได้

ชีวมวลจากข้าว คือ แกลบและฟางข้าวถูกนำไปใช้แล้วทั้งหมดในการเกษตรและเผาทิ้ง ซึ่งหากสามารถนำกลับมาผลิตไฟฟ้า จะสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้เป็นอย่างมาก ซึ่งในการศึกษานี้นำชีวมวลจากข้าวมาพิจารณาที่ปริมาณชีวมวล 50% และ 100% เพื่อหาความเป็นไปได้ของศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วย ORC เพื่อเป็นทางเลือกในอนาคตที่จะพิจารณาถึงความคุ้มค่า และความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตไฟฟ้าแทนการนำไปใช้ด้านอื่นๆ โดยรายละเอียดของศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากชีวมวลข้าวแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่เป็นไปได้

รายการ	ข้าว	
ประเภทชีวมวล	แกลบและฟางข้าว 50%	แกลบและฟางข้าว 100%
ปริมาณชีวมวล (Ton/y)	23,904	47,808
ค่าความร้อน (MJ/kg)	12.33-13.52	
ปริมาณความร้อนทั้งหมด (TJ)	303	607
ขนาดระบบ ORC (kW_e)	870	1,740
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า (kWh/y)	3,654,688	7,309,376
FiT ชีวมวล (Baht/kWh)	5.34	4.82
รายได้ (Baht/y)	19,516,034	35,231,192

จากศักยภาพพลังงานชีวมวลข้าวที่เป็นไปได้ สามารถนำมาใช้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลได้ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ใช้ชีวมวลจากข้าว 50% ปริมาณชีวมวล 23,904 Ton/y ขนาดระบบ ORC 870 kW_e ผลิตไฟฟ้าได้ 3,654,688 kWh/y รายได้ 19.52 Million Baht/y และแบบที่สอง คือ ใช้ชีวมวลจากข้าว 100% ปริมาณชีวมวล 47,808 Ton/y ขนาดระบบ ORC 1,740 kW_e ผลิตไฟฟ้าได้ 7,309,376 kWh/y รายได้ 35.23 Million Baht/y ซึ่งถ้าหากลงทุนสร้างโรงไฟฟ้า ORC ทั้ง 2 แบบ โดยคิดราคาค่าโรงไฟฟ้า ที่ 1,750 USD/kW_e [5] โรงไฟฟ้าแบบแรกใช้ชีวมวลจากข้าว 50% จะใช้เงินลงทุน 53.62 Million Baht ค่าการรับซื้อไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าขนาดต่ำกว่า 1 MW คือ 5.34 Baht/kWh [7] ระยะคืนทุน คือ 2.75 y แบบที่สองใช้ชีวมวลจากข้าว 100% จะใช้เงินลงทุน 107.23 Million Baht ค่าการรับซื้อไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าขนาด 1-3 MW จะคิดที่ 4.82 Baht/kWh [7] มีระยะคืนทุนที่ 3.04 y ซึ่งจะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้าระบบ ORC ทั้ง 2 แบบซึ่งใช้ชีวมวลจากข้าวที่ 50% และ 100% ของปริมาณทั้งหมด มีระยะคืนทุนที่ 2.75-3.04 y ใกล้เคียงกับโรงไฟฟ้าระบบ ORC จากชีวมวลที่เหลือใช้ในปัจจุบัน แต่ชีวมวลจากข้าวถูกใช้ในด้านอื่นๆ ทั้งหมด จึงต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงความสามารถในการนำปริมาณชีวมวลจากข้าวกลับมาใช้มาในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลาดำเนินการ ไม่สามารถดำเนินการได้ทันที

4.4 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในอนาคต

การผลิตไฟฟ้าระบบ ORC จากพลังงานชีวมวลสามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอนโดยใช้พลังงานทดแทน หากพิจารณาข้อมูลสถิติการใช้ไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอนในปี พ.ศ.2557 [8] ที่มีการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 104,287,800 kWh/y ร่วมกับข้อมูลจากตารางที่ 2 และตารางที่ 3 สามารถพิจารณาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลร่วมได้ 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่วซึ่งเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพสามารถใช้ได้ทันที ผลิตไฟฟ้าได้รวม 8,794,657 kWh/y ทดแทนไฟฟ้าที่ใช้ในจังหวัดได้ 8.43% ดังแสดงในตารางที่ 4 กรณีที่ 2 ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่ว ร่วมกับการใช้ชีวมวลจากข้าว 50% ของปริมาณทั้งหมด ผลิตไฟฟ้าได้รวม 12,449,345 kWh/y ทดแทนไฟฟ้าที่ใช้ในจังหวัดได้ 11.94% ดังแสดงในตารางที่ 5 กรณีที่ 3 ใช้ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พืชตระกูลถั่วและชีวมวลจากข้าว 100% ของปริมาณทั้งหมด ผลิตไฟฟ้าได้รวม 16,104,033 kWh/y ทดแทนไฟฟ้าที่ใช้ทั้งจังหวัดได้ 15.44% ดังแสดงในตารางที่ 6

อนึ่งปัจจุบันไฟฟ้าที่ใช้ในจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้มาจากการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าฟอสซิล และโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน โดยที่ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมาจาก 2 แหล่ง คือ

พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานน้ำ ซึ่งต้องพึ่งพาแสงแดดและแหล่งน้ำธรรมชาติ การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากพลังงานชีวมวล จะทำให้เกิดโรงไฟฟ้ารูปแบบใหม่ อีกทั้งช่วยเสริมความมั่นคงและเสถียรภาพด้านพลังงาน เพิ่มปริมาณการใช้พลังงานทดแทน ลดการใช้พลังงานฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้าในจังหวัดแม่ฮ่องสอนอีกด้วย

ตารางที่ 4 ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากชีวมวลเหลือใช้ปัจจุบัน

รายการ		kWh/y	%
การใช้ไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ปี พ.ศ.2557		104,287,800	100
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC	ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	6,911,687	6.63
	ชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว	1,882,970	1.81
	รวม	8,794,657	8.43

ตารางที่ 5 ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC (รวมชีวมวลข้าว 50%)

รายการ		kWh/y	%
การใช้ไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ปี พ.ศ. 2557		104,287,800	100
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC	ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	6,911,687	6.63
	ชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว	1,882,970	1.81
	ชีวมวลจากข้าว 50%	3,654,688	3.50
	รวม	12,449,345	11.94

ตารางที่ 6 ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC (รวมชีวมวลข้าว 100%)

รายการ		kWh/y	%
การใช้ไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ปี พ.ศ.2557		104,287,800	100
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC	ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	6,911,687	6.63
	ชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว	1,882,970	1.81
	ชีวมวลจากข้าว 100%	7,309,376	7.01
	รวม	16,104,033	15.44

4.5 แผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนการผลิตไฟฟ้า

จากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) [9] กระทรวงพลังงานกำหนดเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลในปี พ.ศ.2569 คือ 10-20% และในปี พ.ศ.2579 คือ 15-20% จะเห็นได้ว่าศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากพลังงานชีวมวลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวได้สูงสุดถึง 15.44% สอดคล้องกับยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน [2] และตอบสนองนโยบายรัฐบาลได้ตามแผน PDP2015 ทั้งนี้จากข้อมูลในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถนำมาใช้วางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้า 3 ระยะ อนึ่งระยะเวลาของแผนงานแต่ละระยะนั้นไม่ได้หมายถึงระยะเวลาของโครงการ แต่หมายถึงระยะเวลาที่จะสามารถดำเนินการเพื่อให้เป็นไปตามยุทธศาสตร์พลังงานในการผลิตไฟฟ้า ตามศักยภาพของชีวมวลแต่ละประเภท โดยแผนงานในระยะต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

ระยะที่ 1 แผนงานระยะสั้น ดำเนินการภายในระยะเวลา 1-3 ปี คือ นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในปัจจุบัน คือ ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพืชตระกูลถั่วมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าระบบ ORC ซึ่งสามารถดำเนินการได้ทันทีเพราะมีปริมาณเพียงพอ และยังไม่มีการนำไปใช้ในด้านอื่นๆ ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้ารวม 8,794,657 kWh/y เพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนได้ 8.43%

ระยะที่ 2 แผนงานระยะกลาง ดำเนินการภายในระยะเวลา 4-6 ปี คือ กระบวนการที่จะต้องนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นไปได้ คือ ชีวมวลจากข้าว 50% ของปริมาณทั้งหมด มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าระบบ ORC ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นทั้งหมด ไม่สามารถดำเนินการได้ทันที จึงกำหนดเป็นแผนระยะกลาง เพราะต้องใช้เวลาในการดำเนินงาน ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า คือ 3,654,688 kWh/y เพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนได้อีก 3.5% เมื่อรวมกับแผนงานระยะสั้นจะได้ผลรวมเป็น 11.94%

ระยะที่ 3 แผนงานระยะยาว ดำเนินการภายในระยะเวลา 7-10 y คือ เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากแผนงานระยะที่ 2 คือ นำชีวมวลจากข้าวมาให้ได้อีก 50% รวมเป็น 100% ของปริมาณทั้งหมด มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าระบบ ORC หากสามารถดำเนินการสำเร็จ ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเป็น 3,654,688 kWh/y เพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนได้อีก 3.5% เมื่อรวมกับแผนงานระยะสั้นและระยะกลาง จะได้ผลรวมของสัดส่วนพลังงานทดแทนเป็น 15.44% แต่ที่กำหนดไว้ในแผนงานระยะยาว เพราะต้องดำเนินการแผนงานระยะกลางให้แล้วเสร็จก่อน โดยนำชีวมวลจากข้าวที่ใช้ไปแล้ว 50% กลับมาผลิตไฟฟ้า จากนั้นจึงดำเนินการขั้นต่อไปสำหรับชีวมวลที่เหลืออีก 50% จึงนำปริมาณชีวมวลรวม 100% กลับมาผลิตไฟฟ้า ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แผนงานตามยุทธศาสตร์พลังงานในการผลิตไฟฟ้า

รายการ	ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า (kWh/y)	%	แผนงาน
ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	6,911,687	6.63	ระยะสั้น 1-3 ปี
ชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว	1,882,970	1.81	
ชีวมวลจากข้าว 50%	3,654,688	3.50	ระยะกลาง 4-6 ปี
ชีวมวลจากข้าว 50% (รวม 100%)	3,654,688	3.50	ระยะยาว 7-10 ปี

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

- ชีวมวลที่มีศักยภาพนำมาผลิตไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอนมี 3 ชนิด คือ ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ชีวมวลจากข้าว และชีวมวลจากพืชตระกูลถั่ว โดยมีปริมาณ 68,507 Ton/y 47,808 Ton/y และ 10,144 Ton/y ตามลำดับ
- โรงไฟฟ้าระบบ ORC จากชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว และพืชตระกูลถั่ว มีขนาด 1,646 kW_e 870 kW_e และ 448 kW_e ตามลำดับ โดยคิดที่สัดส่วนการนำมาใช้ประโยชน์ที่ 85.19% 50% และ 95% ของชีวมวลที่เกิดขึ้นทั้งหมด
- การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว และพืชตระกูลถั่ว ในปริมาณ 85.19% 50% และ 95% ของชีวมวลทั้งหมด สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้สูงถึง 11.94%

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณทุนการศึกษาจากกองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียมที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน. (2558). *แผนปฏิบัติการพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน พ.ศ. 2559-2562.*

[2] กระทรวงพลังงาน. (2559). *ยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน (พ.ศ. 2559-2563).*

[3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. กระทรวงพลังงาน. *ชีวมวล*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/04/2559.

[4] นัฐพร ไชยญาติ. (2558). การออกแบบระบบพลังงานทดแทนด้านความร้อน (Renewable Energy System : Part Thermal), เชียงใหม่.

[5] Chaiyat N. (2015). *ต้นแบบโรงไฟฟ้าระบบ Organic Rankine cycle.* [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.researchgate.net/profile/Nattaporn_Chaiyat2, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/04/2016.

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, *ระบบรายงานศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย.* [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/04/2016.

[7] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. กระทรวงพลังงาน. *นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบ Feed-in Tariff*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/04/2559.

[8] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. *สถิติผู้ใช้ไฟฟ้าและการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทผู้ใช้ พ.ศ. 2548-2557*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://service.nso.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/04/2559.

[9] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. กระทรวงพลังงาน. *แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มาhttp://www.eppo.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/04/2559.

8. รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

g	ค่าแรงโน้มถ่วง (m/s^2)
h	เอนทัลปี (kJ/kg)
LHV	ค่าความร้อนต่ำ (MJ/kg)
M	ปริมาณ (kg)
$\dot{m}$	อัตราการไหล (kg/s)
P	ความดัน (kPa)
Q	อัตราความร้อน (kW)
SH	Superheating (°C)
SC	Subcooling (°C)
s	เอนโทรปี (kJ/kg·K)
T	อุณหภูมิ (°C)
t	เวลา (s)
W	กำลังงาน (kW)
x	อัตราส่วนไอ (%)

ตัวกรีก

η	ประสิทธิภาพ (%)
ν	ปริมาณจำเพาะ (m^3/kg)
ρ	ความหนาแน่น (kg/m^3)

ตัวย่อ

B	หม้อต้ม

Bm	ชีวมวล
C	เครื่องควบแน่น
e	ไฟฟ้า
f	ของเหลว
G	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
g	ก๊าซ
High	สูง
Low	ต่ำ
ORC	วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
P	ปั๊มสารทำงาน
ref	สารทำงาน
s	ไอเซนทรอปิค
Tur	กังหัน
Wk	การทำงาน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	พฤหัส บุญมาตา	
เกิดเมื่อ	19 พฤษภาคม 2520	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2535	มัธยม 3 โรงเรียนแม่แตง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2538	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2542	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2558	มหาวิทยาลัยธนบุรี คณะบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการ
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2553 - ปัจจุบัน	สำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน