

การจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม



นายอนุพงษ์ ธนสาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2555

**BIOMASS GASIFIER DISTRIBUTED POWER PLANT
MODELING AND CLASSIFIED
OPTIMAL LOCATION**

Anuphong Thanasan



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.เผด็จ เผ่าละออ)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.อนันต์ อุ่นศิริไธย)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.บุญเรือง มะรังศรี)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อนุพงษ์ ชนสาร : การจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งติดตั้ง
ที่เหมาะสม (BIOMASS GASIFIER DISTRIBUTED POWER PLANT MODELING
AND CLASSIFIED OPTIMAL LOCATION) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ อุ่นศิริไธย์, 179 หน้า.

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหา
ตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 30 บัส ซึ่งเป็นระบบการไหล
ของกำลังไฟฟ้า ระบบ IEEE 39 บัส ซึ่งเป็นระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระบบ IEEE 69 บัส ซึ่ง
เป็นระบบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้า การจำลองการติดตั้งโรงไฟฟ้าในตำแหน่งบัสที่ต่างกัน จะมีผล
ต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบอย่างมีนัย ดังนั้น การหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง
โรงไฟฟ้าชีวมวลมีความจำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองของระบบ ซึ่งดำเนินการกำหนดพื้นที่ของ
วัตถุดิบต่าง ๆ ทำให้ทราบถึงศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล การหาผลเฉลย
ของปัญหาดังกล่าวอาศัยวิธีการนิวตัน-ราฟสันในการคำนวณ เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด
เลือกใช้เทคนิคชาณูฉลาด คือ วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (particle
swarm optimization: PSO) สำหรับการค้นหาค่าตำแหน่งการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งพิจารณา
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบไฟฟ้ากำลังเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา โดย
ดำเนินการกำหนดกรณีที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดจำนวน 120 รูปแบบ จากผลการทดสอบ แสดง
ให้เห็นว่า สามารถหาตำแหน่งการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เหมาะสมที่สุดได้

ANUPHONG THANASAN : BIOMASS GASIFIER DISTRIBUTED
POWER PLANT MODELING AND CLASSIFIED OPTIMAL LOCATION.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ANANT OONSIVILAI, Ph.D., 179 PP.

POWER PLANT /OPTIMIZATION/ BIOMASS /PARTICLE SWARM
OPTIMIZATION

The thesis presents a simulation model biomass power plant to be installed and locate the appropriate for the power system 30-bus 39 bus and 69 bus. The installations of power plants in the different bus. Will affect the power loss of the system significantly. Therefore, finding an optimal location for the installation of a biomass power plant is necessary to rely on the system model. The operates a host of other materials keeping in mind the potential for biomass power plant to produce electricity. Solving of such problems, the method of Newton - Raphson calculation. So, search optimal location for the installation of a biomass power plant is necessary to rely on the system model. Techniques to determine the most appropriate use of artificial intelligence is particle swarm optimization: PSO. The operates test cases used in all 120 cases. The results of the test shows locate the installation of biomass power plants are most optimal.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มคนต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันท์ อุ่นศิริไธย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไข รายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจและเป็นแบบอย่างที่ดี ในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้านให้กับผู้วิจัยเสมอมา

อาจารย์ผู้สอนทุกท่านประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และมอบความรู้ ความเข้าใจ ทางวิชาการอย่างดียิ่งมา โดยตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ รวมถึงน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าทุก ๆ คน ที่ให้คำปรึกษา และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้ความรัก กำลังใจ การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

อนุพงษ์ ธนสาร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 การจัดรูปแบบวิทยานิพนธ์	3
2 ปรัชญาและทฤษฎีการศึกษาระบบไฟฟ้าชีวมวล	4
2.1 บทนำ	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและ การหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม.....	4
2.3 การศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล.....	7
2.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการมีโรงไฟฟ้าชีวมวล.....	9
2.5 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล.....	9
2.5.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion)	9
2.5.2 แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification).....	9
2.5.3 การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration).....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 ทฤษฎีและสมมุติฐาน	11
2.6.1 Biomass gasifier	11
2.6.1.1 องค์ประกอบของชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์	12
2.6.1.2 การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์	13
2.6.2 Biogas technology	23
2.6.2.1 องค์ประกอบของการเกิดแก๊สชีวภาพ	24
2.6.2.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ	25
2.6.2.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	28
2.6.2.4 การคำนวณกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส	29
2.7 สรุป	32
3 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	33
3.1 บทนำ	33
3.2 การหาผลเฉลยแรงดันและการไหลของกำลังไฟฟ้า	
โดยใช้วิธีการวนรอบนิวตัน-ราฟสัน	35
3.2.1 การคำนวณสมาชิกของเมตริกซ์จาโคเบียน (J_1, J_2, J_3, J_4)	38
3.2.2 สายส่งกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง	40
3.3 การพิจารณาตัวบ่งชี้ความได้เปรียบและการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ	
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	42
3.4 การใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	45
3.4.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค	45
3.5 การหาตำแหน่งเหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	
โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค	47
3.6 สรุป	48
4 ผลการทดสอบหาค่ากำลังงานสูญเสีย IEEE 30 บัส	46
4.1 บทนำ	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ระบบทดสอบและผลการทดสอบ IEEE 30 บัส	
เป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	46
4.2.1 พารามิเตอร์ ของระบบ IEEE 30 บัส.....	47
4.2.2 ผลการทดสอบระบบ IEEE 30 บัสเมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	53
4.3 ระบบทดสอบและผลการทดสอบ IEEE 39 บัส.....	69
4.3.1 พารามิเตอร์ ของระบบ IEEE 39 บัส.....	71
4.3.2 ผลการทดสอบระบบ IEEE 39 บัสเมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	77
4.4 ระบบทดสอบและผลการทดสอบ IEEE 69 บัส.....	92
4.4.1 พารามิเตอร์ ของระบบ IEEE 69 บัส.....	94
4.4.2 ผลการทดสอบระบบ IEEE 69 บัสเมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	98
4.5 การพิจารณาตัวบ่งชี้ความได้เปรียบและการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ	
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล.....	113
4.6 สรุป.....	144
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	145
5.1 สรุป.....	145
5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต.....	146
รายการอ้างอิง.....	147
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ	
การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 30 บัส	150
ภาคผนวก ข. ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ	
การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 39 บัส	157
ภาคผนวก ค. ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ	
การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 69 บัส	164
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	171
ประวัติผู้เขียน	179

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย.....8
2.2	ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลแกลบและฟางข้าว.....14
2.3	ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลต้นอ้อยและชานอ้อย15
2.4	ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลต้นยางและไม้ยาง.....16
2.5	ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลต้นปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม17
2.6	ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลต้นมันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลัง18
2.7	ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลต้นข้าวโพดและตอข้าวโพด19
2.8	ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลไม้ยูคาลิปตัส20
2.9	คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิด.....21
4.1	พารามิเตอร์ของระบบ IEEE 30 บัส Line data.....48
4.2	พารามิเตอร์ของระบบ IEEE 30 บัส Load flow results.....50
4.3	พารามิเตอร์ของระบบ IEEE 30 บัส Transformer tap setting data51
4.4	ผลการหาค่าลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส ก่อนการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล52
4.5	แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล55
4.6	ผลการหาค่าลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล63
4.7	พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส.....71
4.8	พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส74
4.9	พารามิเตอร์การปรับตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส75
4.10	แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล78
4.11	ผลการหาค่าลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล86
4.12	พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส.....94
4.13	พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล99	99
4.15 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล107	107
4.16 พารามิเตอร์พื้นฐาน113	113
4.17 ผลการหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.5$114	114
4.18 ผลการหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.8$120	120
4.19 ผลการหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.99999$126	126
4.20 ผลการหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.001$132	132
4.21 ผลการหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.1$138	138

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การผลิตไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชัน	10
2.2 Biomass gasifier	12
2.3 แกลบและฟางข้าว	14
2.4 ต้นอ้อยและชานอ้อย	15
2.5 ต้นยางและไม้ยาง	16
2.6 ต้นปาล์ม ใบปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม	17
2.7 ต้นมันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลัง	18
2.8 ต้นข้าวโพดและตอข้าวโพด	19
2.9 ไม้ยูคาลิปตัส	20
2.10 Biogas technology	24
2.11 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	29
2.12 Open cycle gas turbine plant	30
3.1 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง	33
3.2 วงจรสายส่งกำลังไฟฟ้า	40
3.3 แผนผังการทำงานการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยฝูงอนุภาค	43
3.4 แผนผังขั้นตอนการค้นหา	45
4.1 ระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE	47
4.2 ระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	53
4.3 ระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	69
4.4 ระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากวิกฤติการณ์ด้านพลังงานของประเทศไทยที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันและมีราคาสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่นำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเป็นหลัก เพื่อเป็นการสร้างความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจและพลังงานให้กับประเทศ จึงมีการสนับสนุนแหล่งพลังงานทดแทนขึ้นมา ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพของแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล หากสามารถนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็แหล่งพลังงานที่ยั่งยืนของประเทศได้

โรงไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่มีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง ในปัจจุบันพบว่าแหล่งเชื้อเพลิงหลัก อันได้แก่ ถ่านหินและน้ำมันดิบมีปริมาณลดลงอย่างมาก เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้งานมีสูง ซึ่งเป็นไปตามจำนวนประชากรของโลกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการหาแหล่งพลังงานทางเลือกอื่น สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและมีการนำไปวิจัยเพื่อพัฒนาอยู่ไม่น้อย เครื่องกำเนิดพลังงานที่สามารถนำมูลเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 12% จากปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด

การแจกจ่ายเครื่องกำเนิดพลังงานกำลังศึกษาการสร้างแบบครบวงจร ซึ่งเครื่องกำเนิดพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่ให้กำลังอย่างมาก ซึ่งใช้ประโยชน์ได้หลายทาง ซึ่งความสามารถของมันสามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้ภายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ แนวคิดในการใช้ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed generator) ในการกระจายหรือระบบส่งกำลังไฟฟ้า กำลังเป็นที่สนใจของอุตสาหกรรมต่าง ๆ งานวิจัยหลายชนิดได้ตั้งข้อสังเกตและให้ความสำคัญอย่างมาก ประโยชน์ที่ได้จากการกระจายในการแจกจ่ายทรัพยากรเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้ก็ขึ้นอยู่กับการวางแผนผังของแต่ละพื้นที่เป็นสำคัญ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาการจัดการการผลิตพลังงานไฟฟ้าชีวมวลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาและกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ที่เป็นเขตเกษตรกรรมหรือในเขตป่าไม้ ซึ่งขึ้นกับปริมาณทรัพยากรในพื้นที่นั้น ๆ จะทำให้กำลังงานสูญเสียและมีความคุ้มค่าในการลงทุน

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.3.1 ให้ทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรมเฉพาะทางวิศวกรรม ได้แก่ MATLAB ในการหาพื้นที่ที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
- 1.3.2 การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่ต้องการนำวัสดุมาใช้เป็นวัตถุดิบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ทำการศึกษาปรัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและทำการหาข้อมูลของพลังงานชีวมวลที่น่าสนใจ
- 1.4.2 ศึกษาผลกระทบที่ตามมาของโรงไฟฟ้าชีวมวลและเก็บข้อมูล
- 1.4.3 หาพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนและลดกำลังงานสูญเสีย
- 1.4.4 ทดสอบเปรียบเทียบแบบจำลองและหาข้อมูลผิดพลาด
- 1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดลองผลและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล
- 1.5.2 สามารถลดปัญหาสถานะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้อย่างดี
- 1.5.3 สามารถหาพื้นที่ที่เหมาะสมที่ทำการจัดสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลได้และเพื่อลดต้นทุนการผลิต

1.5.4 ได้แบบจำลอง Biomass gasifier model รองรับงานวิจัยเชิงลึก

1.5.5 ได้เผยแพร่ความรู้จากงานวิจัยในงานประชุมวิชาการ

1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วย 5 บท ซึ่งแต่ละบทได้นำเสนอต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอบเขตของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงปรัทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจาย และการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม

บทที่ 3 อธิบายถึงโรงไฟฟ้าชีวมวลในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงทฤษฎีและสมมุติฐานของงานวิจัย รวมถึงการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าและเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

บทที่ 4 นำเสนอระบบทดสอบที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัย โดยระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ระบบทดสอบ IEEE 39 บัสและระบบทดสอบ IEEE 69 บัส

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะของงานวิจัย



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและการศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล

2.1 บทนำ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจาย และการหาตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาได้มีผู้ทำการวิจัยค้นคว้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ ในบทที่ 2 จึงนำเสนอการสำรวจวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าชีวมวล

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจาย และการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม โดยปรัทัศนัวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า กำลังและเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

Caisheng Wang, M. Hashem Nehrir (2001) ได้ทำการศึกษาการสูญเสียของระบบไฟฟ้า กำลังและปริมาณความสูญเสียของการส่งจ่ายในโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งได้พุดถึงตำแหน่งของโรงไฟฟ้าขนาดเล็กบนระบบไฟฟ้ากำลังที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าย่อย (Distributed Generation, DG) บนระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้แบบระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส และ 30 บัส ของ IEEE เป็นระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับการทดสอบของงานวิจัยนี้ และงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาในการหาที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดของการติดตั้งโรงไฟฟ้าย่อยอยู่ 3 ลักษณะคือ Uniformly distributed load, Centrally distributed load and Uniformly increasing distributed load ซึ่งเป็นการประเมินล่วงหน้าคือ การส่งจ่ายทั้งหมดของภาวะโหลดบนกรณีศึกษาทั้ง 3 ลักษณะ โดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม Power world simulator ในการวิเคราะห์หาค่าความสูญเสียในระบบส่งจ่ายและทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของการติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดเล็กเข้าบนระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

C.A.Roa-Sepulveda (2003) ได้ศึกษาวิธีการหาอัตราการใช้ของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีการรอบเหนียวได้ถูกนำเสนอเพื่อแก้ปัญหาอัตราการใช้ของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง รวมถึงการแก้ปัญหาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีเงื่อนไขที่ทำการพิจารณาคือ Power flow และ Load flow มีการใช้ระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส ของ IEEE และระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส ของ IEEE ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะคิดและพิจารณาในส่วนของการ Load flow ซึ่งพิจารณาที่ค่าแรงดันไฟฟ้า มุมเฟส การผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และความต้องการทางไฟฟ้าในส่วนของการทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะพิจารณาที่ต้นทุนรวมต่อชั่วโมง

Tuba Gozel M. Hakan Hocaoglu Ulas Eminoglu Abdulkadir Balikci (2003) ได้ศึกษาการเพิ่มขึ้นของพลังงานทดแทนในปัจจุบัน เช่น โรงไฟฟ้าชีวมวล โรงไฟฟ้าพลังงานลมและโรงไฟฟ้าจากคลื่น โดยทำการศึกษาผลรวมของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าย่อย และหาวิธีการเพื่อทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ต่ำที่สุด โดยทำการพิจารณาในเรื่องของขนาดและตำแหน่งของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในท้องถิ่นโดยระบบไฟฟ้ากำลัง 13 บัส ของ IEEE ได้ถูกนำเสนอสำหรับการทดสอบซึ่งแยกกรณีศึกษาเป็นสองกรณีคือ การหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดและขนาดของการติดตั้งโรงไฟฟ้า โดยมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของความต้องการไฟฟ้าที่ 0-10%

Cano and Jurado (2006) นำเสนอวิธีการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลชนิดกังหันแก๊สเข้ากับระบบไฟฟ้า โดยพิจารณาหาขนาดของโรงไฟฟ้าที่ทำให้ระบบได้รับผลประโยชน์มากที่สุด และพิจารณาหาตำแหน่งสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าที่ทำให้ระบบมีค่าสูญเสียต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ทดสอบบนระบบ 30 บัส ของ IEEE โดยการวิจัยจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดจากผลประโยชน์ที่ได้รับจากการสร้างโรงไฟฟ้า ซึ่งตัวแปรที่ใช้พิจารณา เช่น การลงทุน คุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เป็นต้น และขั้นตอนที่ 2 นำขนาดที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 1 มากำหนดตำแหน่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้าบนระบบที่ได้นำมาใช้ทดสอบ โดยผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้าขนาด 24 MW ถูกติดตั้งลงบนบัสที่ 5 จะทำให้ระบบมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่น้อยที่สุด

Nareesh A., Pukar M. and Mithulananthan N. (2006) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์การคำนวณขนาดที่เหมาะสมที่สุด และผลของวิธีการเกี่ยวกับการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ของการติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก (Distributed Generation, DG) เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในด้านปฐมภูมิของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าให้น้อยที่สุด โดยทำการศึกษาในระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส (30 bus Distribution test system), ระบบไฟฟ้ากำลัง 33 บัส (33 bus Distribution test system) และระบบไฟฟ้ากำลัง 69 บัส (69 bus Distribution test system) โดยการกำหนดขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก ผลของงานวิจัยนี้แสดงว่าสามารถลดกำลังไฟฟ้า

สูญเสียด้านปฏิกิริยาของโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก หากมีการติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดเล็กที่เหมาะสม ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ในระบบ 30 บัส ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งคือบัสที่ 12 มีขนาดโรงไฟฟ้าที่ติดตั้ง 3.30 MW ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 154.87 KW โดยก่อนทำการติดตั้งมีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 383.61 KW ทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงถึง 59.6% ในระบบ 33 บัส ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งคือ บัสที่ 6 มีขนาดโรงไฟฟ้าที่ติดตั้ง 2.49 MW ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 111.24 KW โดยก่อนทำการติดตั้งมีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 211.20 KW ทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงถึง 47.3% และในระบบ 69 บัส ปรากฏว่าตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งคือบัสที่ 61 มีขนาดโรงไฟฟ้าที่ติดตั้ง 1.81 MW ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 81.44 KW โดยก่อนทำการติดตั้งมีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 219.28 KW ทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงถึง 62.8%

Durga Gautam (2007) งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดอยู่ 2 วิธี ของการติดตั้งโรงไฟฟ้าย่อย ซึ่งเป็นรากฐานในการลดการขยายส่งกระแสไฟฟ้า เมื่อมีการติดตั้งและมีขนาดของโรงไฟฟ้าย่อยที่เหมาะสม ปัจจัยของการติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมมีวัตถุประสงค์อยู่ 2 ประการคือ ชุมชนมีความปลอดภัยในการติดตั้งโรงไฟฟ้าย่อยได้ผลตอบแทนสูงสุด จากการติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าย่อย ซึ่งมีปัจจัยพื้นฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับการลงทุนมาเกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส ของ IEEE ทำการทดสอบคุณลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก 7 แบบ เพื่อหาขนาดและตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของการติดตั้งโรงไฟฟ้าย่อย

Suwatchai Punsri, Sumath Anantasate, Chaimongkol Chokpanyasuwan and Pornrapepat Bhasaputra (2008) ศึกษาแนวทางสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในระบบไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ การจำลองและทดสอบผลได้ทดสอบบนระบบ 7 บัส ของ IEEE ในงานวิจัยได้กำหนดขนาดกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่นำมาติดตั้งบนระบบมีค่าเท่ากับ 5 10 และ 15% ของความต้องการการใช้ไฟฟ้า โดยได้กำหนดจำนวนของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ติดตั้งเป็น 1 2 3 และ 4 Unit เพื่อเปรียบเทียบและหาค่าที่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่าในตำแหน่งจำนวน และขนาดที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ติดตั้งบนระบบสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบลงได้ในขณะเดียวกันถ้าโรงไฟฟ้าชีวมวลถูกติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมหรือมีจำนวนและขนาดไม่เหมาะสมก็จะทำให้ระบบมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

สตูดิ สตูดิ (2552) ศึกษาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อติดตั้งบนระบบ 30 บัส และ 118 บัส ของ IEEE ในงานวิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งและจำนวนของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบที่มีค่าต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ตำแหน่งบัสต่างด้วยกำลังการผลิต 10 MW โดยเพิ่มจำนวนที่ละ 1 Unit ติดตั้งจนครบ 4 Unit ผลจากการวิจัยพบว่าเมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลจำนวน 4 Unit ในตำแหน่งที่เหมาะสมจะทำให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้แสดงถึงการนำโรงไฟฟ้าชีวมวลไปติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมซึ่งทำให้ระบบไฟฟ้าที่นำมาทดสอบมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้นเช่นกัน

สุวัจน์ชัย พันธุ์ศรี ได้ศึกษาวิธีการรอบเหนียวค้นหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมก่อนการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลและหลังการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลบนระบบไฟฟ้ากำลัง 7 บัส 30 บัส และ 118 บัส ของ IEEE ซึ่งก่อนการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลบนระบบไฟฟ้ากำลัง 7 บัส ของ IEEE มีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 1.61 MW และหลังจากติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงเป็น 1.08 MW หรือคิดเป็น 32.92% และก่อนการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลบนระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส ของ IEEE มีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 4.77 MW และหลังจากติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงเป็น 2.83 MW หรือคิดเป็น 40.67% และก่อนการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลบนระบบไฟฟ้ากำลัง 118 บัส ของ IEEE มีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 12.18 MW และหลังจากติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในตำแหน่งที่ตั้งเหมาะสมกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงเป็น 6.63 MW หรือคิดเป็น 45.57% จากการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดจำนวน 4 โรง

2.3 การศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล

แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานทดแทนชีวมวล “พลังงานทดแทน” หมายถึง พลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด (เมื่อเทียบกับพลังงานหลักในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน ซึ่งมีเฉพาะที่และรวมถึงต้นทุนที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในการสำรวจและขุดเจาะแหล่งน้ำมันใหม่) ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญ เช่น แสงอาทิตย์ ลม คลื่นทะเล กระแสน้ำ ความร้อนจากใต้ผิวโลก พลังงานจากกระบวนการชีวภาพ เช่น บ่อก๊าซชีวภาพ

พลังงานชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยมีศักยภาพที่จะนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานอยู่มากไม่ว่าจะอยู่ในรูปเชื้อเพลิงหรือเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่หากนำชีวมวลทั้งหมดมาผลิตไฟฟ้าแล้วเราสามารถผลิตได้รวมประมาณ 3000 MW ดังแสดงในตารางที่ 3.1

(ประเภทศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย) แหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่มาจากภาคอุตสาหกรรม การเกษตร เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กากจากกระบวนการผลิต ในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ได้จากการแปรรูป ไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้ กากปาล์มได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กาก มันสำปะหลังได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพด เพื่อนำเมล็ดออก กาบและกะลามะพร้าวได้จากการนำมะพร้าวมา ปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว ส่าเหล้าได้จากการผลิต แอลกอฮอล์ เป็นต้น

นอกจากนี้แหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลอีกแหล่งคือ พื้นที่เพาะปลูก เช่น นาข้าว ซึ่งมีเศษฟางข้าว เป็นเศษเหลือทิ้ง ใบอ้อยที่เหลือทิ้งจากใบอ้อยหรือเหง้ามันสำปะหลัง และชีวมวลอื่น ๆ ที่เป็นกาก เหลือทิ้งจากพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกนี้หากมีการนำเศษชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานชีวมวล ผลิตไฟฟ้าก็สามารถสร้างรายได้เพิ่มให้กับเกษตรกรได้

ตารางที่ 2.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย

(ที่มา : มุลินธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม 2553)

ประเภทของชีวมวล	ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า (MW)
แกลบ	700
ฟางข้าว	650
ชานอ้อย	900
ยอดและใบอ้อย	570
เส้นใยกะลาและทะลายปาล์มเปล่า	70
เศษไม้	40
เหง้ามันสำปะหลัง	70
ชังข้าวโพด	70
กากปาล์ม	24.3

2.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการมีโรงไฟฟ้าชีวมวล

1. หากมีการส่งเสริมให้เกิดการปลูกไม้โตเร็ว เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในชุมชนจะทำให้เกิดการหมุนเวียนทางเศรษฐกิจ เช่น การจ้างงานและขนส่งไม้โตเร็ว
2. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือใช้แก่เกษตรกร
3. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงงานไฟฟ้าชีวมวลส่วนใหญ่ (80%) เป็นค่าเชื้อเพลิงซึ่งจะทำให้มีการซื้อขายชีวมวลเป็นเงินหมุนเวียนสม่ำเสมอในชุมชนทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งทางด้านเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน
4. ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานนำเข้า

2.5 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

เทคโนโลยีแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าพร้อมกับความร้อนจากชีวมวลคือ กังหันไอน้ำ แต่มีปัญหาอยู่ที่กังหันไอน้ำยังมีประสิทธิภาพต่ำ ไม่เหมาะสมกับระบบการผลิตพลังงานขนาดใหญ่ ปัจจุบันจึงได้พัฒนาออกแบบให้ทำงานที่ความดันไอน้ำสูงและมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น กระบวนการเพื่อการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงาน โดยทั่วไปอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อนซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ การเผาไหม้โดยตรง การผลิตก๊าซและการผลิตพลังงานรวม (กระทรวงพลังงาน, 2550)

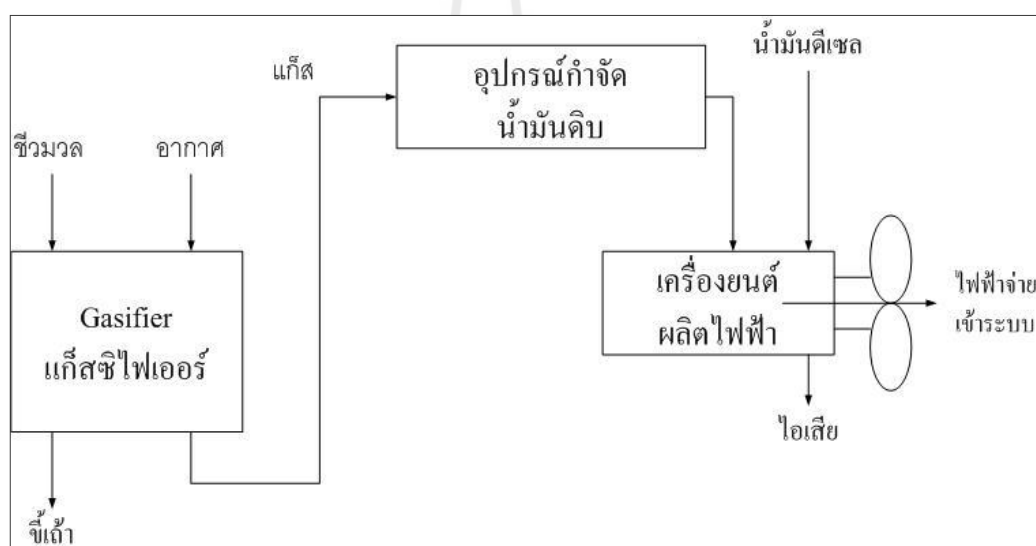
2.5.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion)

เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเชื้อเพลิงแข็งมีขั้นตอนคือเผาเชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรงในเตาความร้อนที่ได้จะถูกนำไปใช้ผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงไอน้ำที่ผลิตได้นี้จะถูกนำไปใช้ขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำจะเข้าสู่คอนเดนเซอร์ (เครื่องควบแน่น) เพื่อให้เย็นลงและกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ เพื่อปั๊มกลับขึ้นไปป้อนหม้อไอน้ำ โดยถูกอุ่นด้วยไอน้ำที่มาจากกังหันไอน้ำที่ความดันช่วงกลางก่อนป้อนกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำอีกครั้ง

2.5.2 แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

เป็นเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 1 MW เริ่มจากการย่อยชีวมวลให้มีขนาดใกล้เคียงกันไม่เกิน 10 CM ส่งเข้าไปยังห้องเผาไหม้ที่ควบคุมอากาศไหลเข้าในปริมาณจำกัดทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จะได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นหลัก มีค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 5 MJ/m^3 ซึ่งอาจจะน้อยหรือมากกว่านี้ขึ้นกับเทคโนโลยีที่ใช้

ข้อดีของระบบแก๊สซิฟิเคชันคือ เหมาะกับระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 1 MW) สำหรับหมู่บ้านชนบทที่กระแสไฟฟ้าเข้าไม่ถึง และมีปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลเพียงพอต่อการผลิต แต่ข้อด้อยของระบบนี้คือเทคโนโลยียังไม่เสถียร การบำรุงรักษายุ่งยากปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันมาผลิตแก๊สเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการกระบวนการผลิตไฟฟ้ามีด้วยกันหลายแบบคือ เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลลง (Downdraft gasification system) ซึ่งข้อเด่นของเตาชนิดนี้คือ ออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันดิบโดยเฉพาะ เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft gasification system) เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed gasification system) เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงข้อดีของเทคโนโลยีนี้จะพบว่าหากสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้มีเสถียรภาพมากขึ้น ก็จะส่งผลดีต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านที่กระแสไฟฟ้ายังไม่สามารถเข้าถึงได้ เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน



รูปที่ 2.1 การผลิตไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชัน

2.5.3 การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration)

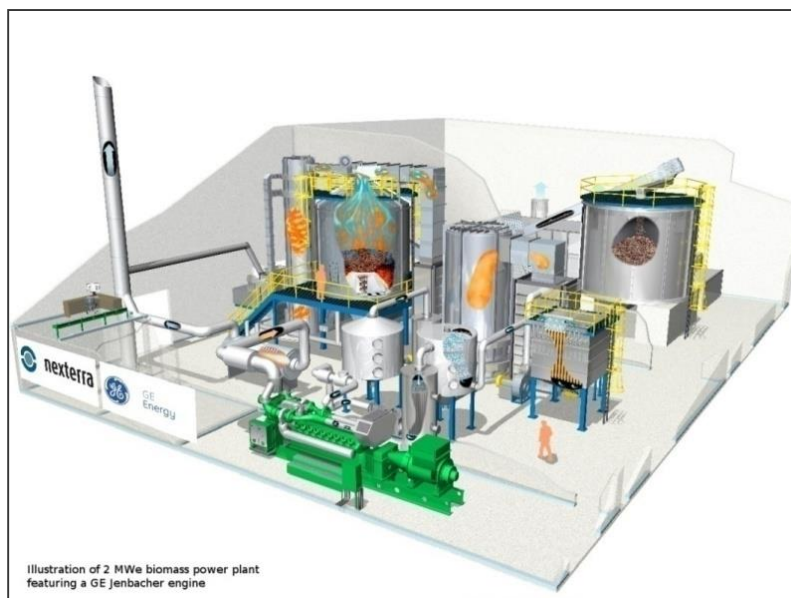
คือการใช้พลังงานจากแหล่งงานหรือเชื้อเพลิงเพียงแหล่งเดียวผลิตพลังงานที่ต่างกัน 2 ชนิด พลังงานที่มักถูกผลิตร่วมกันโดยมากจะอยู่ในรูปการผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานกลกับความร้อน โดยความร้อนที่ได้จากการผลิตพลังงานร่วมนี้อาจอยู่ในรูปของไอน้ำ ของเหลวร้อน หรือก๊าซร้อน สามารถแบ่งตามลำดับก่อนหลังของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนออกได้เป็น 2 แบบ คือการผลิตไฟฟ้านำหน้า (Topping cycle) และการผลิตไฟฟ้าตามหลัง (Bottoming cycle)

2.6 ทฤษฎีและสมมุติฐาน

ในอดีตพลังงานไฟฟ้าได้มาจากโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้นอยู่กับระบบเศรษฐศาสตร์ ซึ่งในจำนวนนี้ส่วนใหญ่นั้นจะเป็นโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยปกติแล้วโรงไฟฟ้างกล่าวจะมีอัตราการเติบโต 6-7% ต่อปี แต่ในปี 1970 ได้เกิดปัญหาน้ำมันแพงและปัญหาทางสิ่งแวดล้อมขึ้นและในปี 1980 มีปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นรวมกับปัญหาทางเศรษฐกิจทำให้ปริมาณความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นเพียงนิดเดียวจาก 1.6% ถึง 3% ในทางเดียวกันค่าสายส่งและระบบการกระจายได้เติบโตขึ้นจาก 25% ถึง 150% ของพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันระบบการกระจายพลังงานอยู่ในอัตราส่วน 2 ใน 3 ของราคาทั้งหมดของอุตสาหกรรมพลังงาน ผลจากการเติบโตที่ช้าลงแต่ระบบการกระจายพลังงานที่แพงขึ้น ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและปัญหาด้านอื่น ๆ จากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีทำให้โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมอีกต่อไป และได้เปลี่ยนมาเป็นแบบที่คุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์มากขึ้น ชีวมวลแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ Biomass gasifier และ Biogas technology

2.6.1 Biomass gasifier

กระบวนการในการเปลี่ยนชีวมวลมาเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นมีหลายวิธีเช่น การเผาไหม้แก๊สซิฟิเคชัน IGCC Pyrolysis ชีวมวลสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นแก๊ส โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน Thermochemical gasification จะเป็นการเผาไหม้ผ่านอากาศ เพราะฉะนั้นในกระบวนการนี้ยังไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์แต่ก็มีแก๊สเกิดขึ้น แล้วการผลิตแก๊สคือการผสมกันระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบคือไหลขึ้นหรือไหลลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของชีวมวลและการผลิตแก๊สในส่วนของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลงนั้น ชีวมวลและทิศทางการไหลของแก๊สจะไปในทิศทางเดียวกันคือด้านล่าง ส่วนกรณีของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นนั้น ปกติจะป้อนชีวมวลด้านบนโดยผ่านแก๊สซิฟิเคชันและเข้าสู่กระบวนการต่อไปคือ Drying pyrolysis oxidation และ Reduction เมื่อได้แก๊สจากระบบกระบวนการข้างต้นแล้ว จะผ่านไปสู่กระบวนการหล่อเย็นต่อไปและผ่านกระบวนการทำความสะอาดในระบบย่อย ซึ่งจะประกอบด้วย Cyclone สำหรับแยกสสารและ Scrubber สำหรับหล่อเย็นและทำความสะอาดแก๊ส (คือการแยกสสาร) อาจเกิดเถ้าขึ้นในปฏิกิริยา Oxidation และเถ้าจะเข้าผ่านไปยัง Reduction พื้นที่ เพื่อจัดการแยกเถ้าโดยปกติแล้วแก๊สที่ได้ออกมาจะมีส่วนประกอบของ 20-22% CO 15-18% H₂ 2-4% CH₄ 9-11% CO₂ และ 50-53% N₂ ซึ่งเป็นแบบค่า Low calorific ของเชื้อเพลิง โดยมีเชื้อเพลิง 1000-1200 kcal/Nm



รูปที่ 2.2 Biomass gasifier
(ที่มา: <http://www.ecofriendlymag.com>)

2.6.1.1 องค์ประกอบของชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์ องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

ความชื้น (Moisture) ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้ามีความชื้นประมาณ 80-90% ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้แต่อาจื่อนำมาผ่านกระบวนการบีบอัดเพื่อลดความชื้นก่อน นำไปเผา ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50%

ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter และ Fixed carbon ส่วน Volatiles matter คือส่วนที่ถูกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่ายและมีการเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1-3% ขกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20% ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และการกำจัดพอสสมควร ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้ จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.6.1.2 การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์ มีวิธีการวัด

3 แบบคือ

1. ค่าความร้อนต่ำหรือ Lower Heating Value (LHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำต่อกิโลกรัม

2. ค่าความร้อนสูงหรือ Higher Heating Value (HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมดจากนั้นนำมาหาค่าความร้อนค่าที่วัดได้คือค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 5.72(9H + M) \text{ kcal/kg หรือ}$$

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 23.95(9H + M) \text{ kJ/kg}$$

เมื่อ H เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และ

เมื่อ M เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

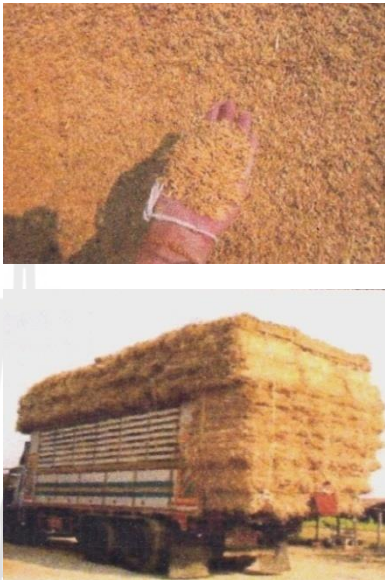
3. ค่าความร้อนแห้งหรือ Dry Heating Value หมายถึงการนำชีวมวลจำนวนหนึ่ง มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัม เพื่อนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนแห้งต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังนี้

$$\text{Dry Heating Value} = \text{HHV} / (1 - M/100)$$

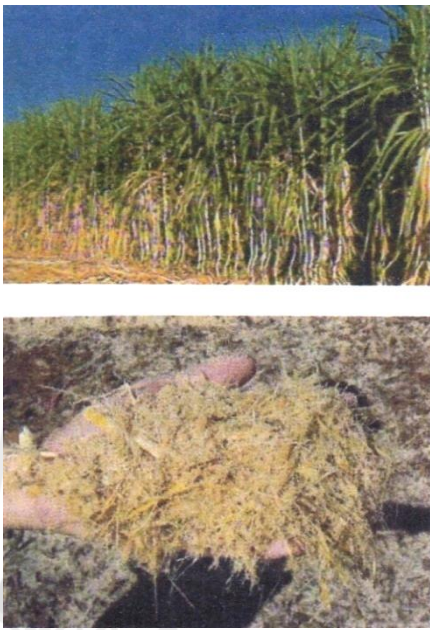
เมื่อ M เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล



ตารางที่ 2.2 ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีววมวลแกลบและฟางข้าว

ชนิดชีวมวล	แกลบ	
ภาพ	ภาพที่ 2.3 แกลบและฟางข้าว 	
รายละเอียด	แกลบเป็นส่วนเหลือทิ้งจากการสีข้าว โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ปรับสภาพดินก่อนเพาะปลูก นำไปเผาเป็นถ่านอัดแท่ง เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ได้ความร้อน	
เทคโนโลยี	กักเก็บไอน้ำ , กระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊ส	
ข้อดีข้อเสีย	ข้อดีคือ มีความชื้นต่ำ และขนาดเล็ก จี๊เถ่าที่ได้จากแกลบยังสามารถผสมดินเพื่อปลูกไม้ดอกไม้ประดับ ใช้ในการเผาไหม้เพื่อผลิตความร้อนและนำความร้อนดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ผลิตไฟฟ้า อบข้าวเพื่อลดความชื้น	ข้อเสียคือ มีปริมาณจี๊เถ่าจากการเผาไหม้สูง ควรคำนึงในการเผาไหม้เนื่องจากแกลบมีน้ำหนักเบาและบรรทุกได้น้อยประมาณ 5 ตัน/เที่ยว เท่านั้น

ตารางที่ 2.3 ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีววมวลต้นอ้อยและชานอ้อย

ชนิดชีวมวล	ต้นอ้อย ชานอ้อย	
ภาพ	ภาพที่ 2.4 ต้นอ้อยและชานอ้อย 	
รายละเอียด	ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล มีค่าความชื้นสูง ส่วนใหญ่จะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาล ส่วนใบและยอดอ้อยจะมีค่าความชื้นต่ำ และให้ค่าพลังงานความร้อนสูงเหมาะสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในโรงงานน้ำตาล	
เทคโนโลยี	กังหันไอน้ำ , กระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊ส	
ข้อดีข้อเสีย	ข้อดีคือ มีความชื้นต่ำ และค่าพลังงานความร้อนสูง ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำ ใบอ้อยและยอดอ้อยจะเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในอนาคต	ข้อเสียคือ มีปริมาณผลผลิตที่ได้จากอ้อยน้อย พื้นที่ในการเพาะปลูกมีอุปสรรคในเรื่องของการจัดเก็บ

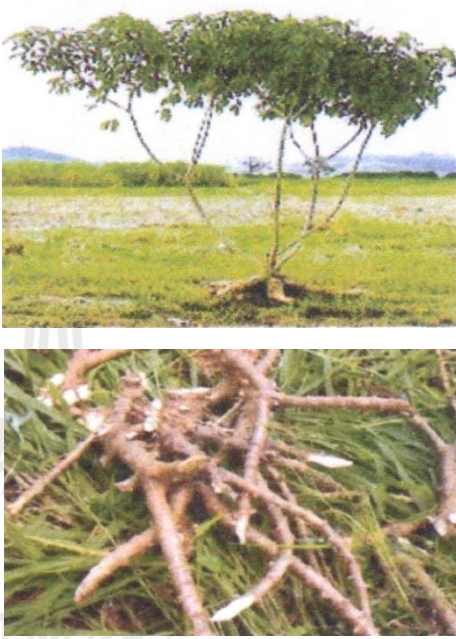
ตารางที่ 2.4 ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีววมวลต้นยางและไม้ยาง

ชนิดชีวมวล	ไม้ยางพารา	
ภาพ	ภาพที่ 2.5 ต้นยางและไม้ยาง 	
รายละเอียด	ไม้ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ มีอายุ 6-7 ปี จะสามารถกรีดยางได้ และปริมาณน้ำยางน้อยเมื่อมีอายุประมาณ 25-30 ปี โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต เพราะมีต้นทุนถูกกว่าการใช้น้ำมันเตา เช่น โรงงานผลิตถุงมือยาง โรงงานแปรรูปอาหารทะเล ส่วนปีกไม้และจี้เลื่อยนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนอบไม้ยางพาราในโรงเลื่อย และส่วนที่เหลือจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วก็ยังสามารถนำไปขายได้	
เทคโนโลยี	กักเก็บไอน้ำ , กระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊ส	
ข้อดีข้อเสีย	ข้อดีคือ สามารถนำมาผลิตพลังงานความร้อนจากเศษไม้ที่เหลือใช้จากการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ต้นทุนในการผลิตความร้อนถูก	ข้อเสียคือ มีค่าความชื้นสูง และค่าพลังงานความร้อนต่ำ และมีปริมาณน้อยหากเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2.5 ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีววมวลต้นปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม

ชนิดชีวมวล	ปาล์มน้ำมัน	
ภาพ	ภาพที่ 2.6 ต้นปาล์ม ใบปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม 	
รายละเอียด	ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้ประกอบอาหาร ซึ่งมีจำนวนมาก นอกจากนำมาผลิตน้ำมันปาล์มยังมีส่วนอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนมีหลายส่วน เช่น ใบปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม	
เทคโนโลยี	กังหันไอน้ำ	
ข้อดีข้อเสีย	ข้อดีคือ สามารถนำมาผลิตพลังงานความร้อน นอกเหนือจากการผลิตน้ำมันปาล์ม แต่สำหรับกะลาปาล์ม ถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต กะลาปาล์มมีความชื้นต่ำและให้ความร้อนค่อนข้างสูงจึงเป็นที่นิยมของโรงงานอุตสาหกรรม	ข้อเสียคือ มีค่าความชื้นสูงและค่าพลังงานความร้อนต่ำ (ยกเว้น กะลาปาล์ม) หากมีอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่สูงมากนัก จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง

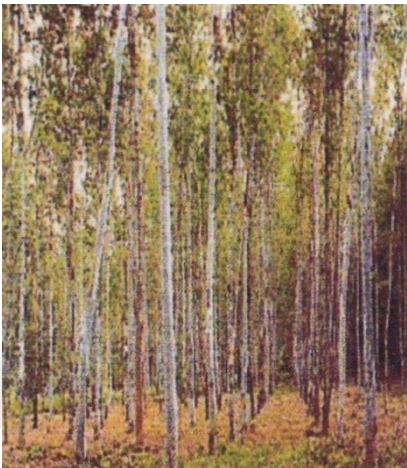
ตารางที่ 2.6 ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีววมวลต้นมันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลัง

ชนิดชีวมวล	มันสำปะหลัง	
ภาพ	ภาพที่ 2.7 ต้นมันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลัง 	
รายละเอียด	มันสำปะหลังเป็นปลูกง่าย ผลผลิตที่ได้คือหัวมัน โดยหัวมันสำปะหลังถูกนำมาใช้ในการผลิตแป้งมัน เศษวัสดุที่ได้จากต้นมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โดยเฉพาะเหง้ามันและลำต้นสามารถนำมาผลิตพลังงานความร้อนให้กับหม้อไอน้ำได้	
เทคโนโลยี	กังหันไอน้ำ	
ข้อดีข้อเสีย	ข้อดีคือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนทดแทนการใช้น้ำมันเตาได้ในหม้อไอน้ำ	ข้อเสียคือ มีค่าความชื้นสูง และค่าพลังงานความร้อนต่ำ โดยส่วนใหญ่จะใช้ส่วนของเหง้ามันและลำต้นมาใช้ประโยชน์ได้เท่านั้น

ตารางที่ 2.7 ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีววมวลต้นข้าวโพดและตอข้าวโพด

ชนิดชีวมวล	ข้าวโพด	
ภาพ	ภาพที่ 2.8 ต้นข้าวโพดและตอข้าวโพด 	
รายละเอียด	ข้าวโพดเป็นพืชล้มลุกใช้เวลาในการให้ผลผลิต 3-4 เดือน โดยให้ผลผลิตเป็นข้าวโพดหวาน และมีส่วนที่เหลือใช้จากการเพาะปลูกที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อน เช่น ชังข้าวโพดนำมาเผาเป็นถ่านอัดแท่ง ผสมอาหารสัตว์ และทำปุ๋ย เป็นต้น	
เทคโนโลยี	กังหันไอน้ำ	
ข้อดีข้อเสีย	ข้อดีคือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนทดแทนการใช้ น้ำมันเตาได้ในหม้อไอน้ำ	ข้อเสียคือ มีค่าความชื้นค่อนข้างสูง และค่าพลังงานความร้อนค่อนข้างต่ำ โดยส่วนใหญ่จะใช้ส่วนของชังข้าวโพดมาใช้ประโยชน์ได้เท่านั้น

ตารางที่ 2.8 ข้อดี ข้อเสียของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก๊สชีววมวลไม้ยูคาลิปตัส

ชนิดชีวมวล	ไม้ยูคาลิปตัส	
ภาพ	ภาพที่ 2.9 ไม้ยูคาลิปตัส 	
รายละเอียด	ไม้ยูคาลิปตัสใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใบใช้กลั่นน้ำมัน ดอกใช้เลี้ยงผึ้ง เนื้อไม้ใช้ทำฟืน และเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตกระดาษ พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคอีสานและภาคตะวันออก ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากความต้องการของกระดาษเพิ่มขึ้น เศษวัสดุเหลือใช้จะเป็นเปลือกไม้ยูคาลิปตัสถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต และน้ำมันยางดำซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระดาษ นำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา	
เทคโนโลยี	กังหันไอน้ำ	
ข้อดีข้อเสีย	ข้อดีคือ ใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนของต้น ไม้ยูคาลิปตัส โดยส่วนที่สามารถนำมาใช้ในการใช้พลังงานความร้อน คือส่วนของน้ำมันยาง (จากการผลิตกระดาษ) เปลือกไม้ใช้ในการเผาไหม้	ข้อเสียคือ มีค่าความชื้นค่อนข้างสูง และค่าพลังงานความร้อนค่อนข้างต่ำ โดยส่วนใหญ่จะใช้ส่วนของเปลือกไม้ และน้ำมันยางมาใช้ประโยชน์ได้เท่านั้น

ตารางแสดงคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิด

วัตถุดิบแต่ละชนิดนั้นสามารถให้พลังงานที่แตกต่างกันและมีสารประกอบหลายชนิดซึ่งเมื่อนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการแก๊สซิไฟเออร์แล้วนั้นไม่ว่าจะเป็นการเผาไหม้ด้วยวิธีต่าง ๆ จะเห็นว่าพืชชีวมวลแต่ละชนิดก็จะให้พลังงานมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล และชีวมวลที่นำมาเป็นวัตถุดิบแต่ละชนิดเมื่อมีการแปรสภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า ก็จะทำให้อัตราส่วนของสารพิษที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งแต่ละชนิดก็ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิด

(ที่มา: <http://www.effe.or.th>)

	แกลบ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ใบอ้อย	ไม้ยางพารา
% Moisture	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00
% Ash	12.65	10.39	1.43	6.10	1.60
% Volatile matter	56.46	60.70	41.98	67.80	45.70
% Fixed carbon	18.88	18.90	5.86	16.90	7.71
% Carbon	37.48	38.17	21.33	41.60	25.58
% Hydrogen	4.41	5.02	3.06	5.08	3.19
% Oxygen	33.27	35.28	23.29	37.42	24.48
% Nitrogen	0.17	0.58	0.12	0.40	0.14
% Sulfur	0.04	0.09	0.03	0.17	0.02
% Chlorine	0.09	-	-	0.01	0.01
% Moisture	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00
Higher heating value kJ/kg	14,755	13,650	9,243	16,794	10,365
Lower heating value kJ/kg	13,517	12,330	7,368	15,479	8,600

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิด (ต่อ)

(ที่มา: <http://www.efc.or.th>)

	ไผ่ปล้ำ	กะลาปล้ำ	ทะลายปล้ำ	ลำต้นปล้ำ	ทางปล้ำ
% Moisture	38.50	12.00	58.60	48.40	78.40
% Ash	4.42	3.52	2.03	1.20	0.70
% Volatile matter	42.68	68.20	30.46	38.70	16.30
% Fixed carbon	14.39	16.30	8.90	11.70	4.60
% Carbon	30.82	44.44	21.15	23.90	10.13
% Hydrogen	3.74	5.01	2.56	3.04	1.25
% Oxygen	21.61	34.70	15.34	22.91	9.44
% Nitrogen	0.84	0.28	0.27	0.56	0.07
% Sulfur	0.08	0.02	0.04	0.06	0.02
% Chlorine	0.11	0.02	0.16	-	0.12
% Moisture	38.50	12.00	58.60	48.40	78.40
Higher heating value kJ/kg	13,127	18,267	9,196	9,370	3,908
Lower heating value kJ/kg	11,400	16,900	7,240	7,556	1,760

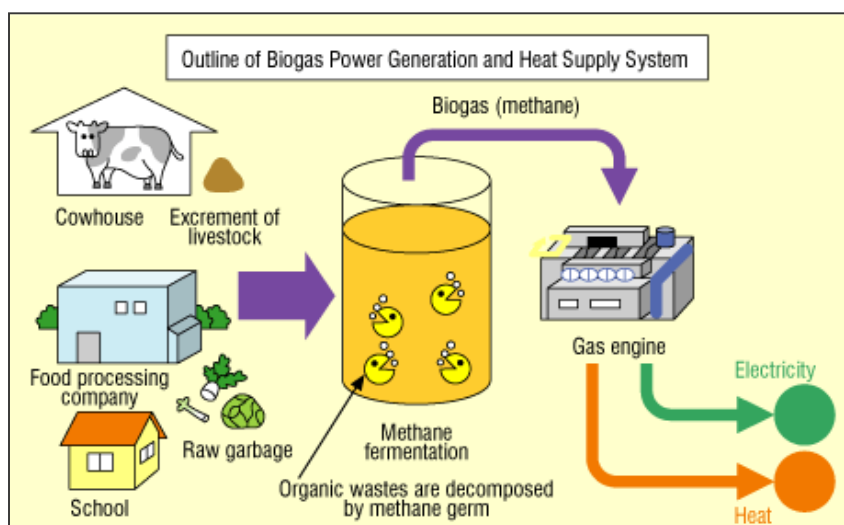
ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิด (ต่อ)

(ที่มา: <http://www.efc.or.th>)

	ซังข้าวโพด	ลำต้นข้าวโพด	เหง้ามันสำปะหลัง	เปลือกไม้ยูคา
% Moisture	40.00	41.70	59.40	60.00
% Ash	0.90	3.70	1.50	2.44
% Volatile matter	45.42	46.46	31.00	28.00
% Fixed carbon	13.68	8.14	8.10	9.56
% Carbon	28.19	8.14	18.76	18.60
% Hydrogen	3.36	4.06	2.48	2.12
% Oxygen	27.42	22.47	17.50	16.68
% Nitrogen	0.12	0.13	0.32	0.15
% Sulfur	0.03	-	0.04	0.02
% Chlorine	0.05	-	0.05	0.10
% Moisture	40.00	41.70	59.40	60.00
Higher heating value kJ/kg	11,298	11,704	7,451	6,811
Lower heating value kJ/kg	9,615	9,830	5,494	4,917

2.6.2 Biogas technology

แก๊สชีวภาพเป็นสสารที่อยู่ในรูปของแก๊ส เกิดจากการย่อยสลายของซากสิ่งมีชีวิต ทั้งซากพืช ซากสัตว์และของเสียจากสัตว์รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายทั้งหมดเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในสภาวะที่ไร้อากาศแก๊สชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ ถ้ามีสภาพที่เหมาะสมหรือเกิดขึ้นในระบบผลิตแก๊สชีวภาพที่สร้างขึ้น



รูปที่ 2.10 Biogas technology

(ที่มา: <http://www.ecobell.at>)

2.6.2.1 องค์ประกอบของการเกิดแก๊สชีวภาพ

1. สารอินทรีย์ซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรีย
2. แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กประเภทหนึ่งแบคทีเรียมีทั้งกลุ่มที่ใช้ ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต สำหรับแบคทีเรียที่เราจะกล่าวถึง ซึ่งเป็นผู้ผลิตแก๊สชีวภาพนั้นเป็นกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน
3. สิ่งแวดล้อมที่เป็นระบบปิดไร้อากาศ
4. อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม สำหรับแบคทีเรียแต่ละประเภทซึ่งสภาพอากาศของเมืองไทยนับว่าเหมาะสมมากทุกฤดูกาลในเกือบทุกพื้นที่

แก๊สชีวภาพประกอบไปด้วยแก๊สหลายชนิดส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) 50-70% และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สอื่น ๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ (H_2O) เป็นต้น มีเทนเป็นแก๊สที่จุดติดไฟได้ง่ายจึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีและเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เราสามารถนำแก๊สชีวภาพ ไปใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ ส่วนแก๊สอื่น ๆ คือแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ตั้งต้นว่ามีส่วนประกอบของไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) มากน้อยเพียงใด

2.6.2.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ

วัตถุดิบสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพได้แก่ของเสียต่าง ๆ เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร ชุมชนและฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ ขยะชุมชนและฟาร์มสุกร เป็นต้น

ฟาร์มเลี้ยงสุกร เนื่องจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร การใช้น้ำในฟาร์มแต่ละแห่งจะแตกต่างกันออกไป จากการศึกษาปริมาณน้ำเสียของฟาร์มในประเทศไทย พบว่าโดยเฉลี่ยปริมาณน้ำเสียในแต่ละวันต่อตัว (เทียบกับสุกรน้ำหนักเฉลี่ย 60 KG /ตัว) จะอยู่ที่ 27 ลิตร/ตัว หรือประมาณ 222 ลิตร/หน่วยปศุสัตว์ (1 หน่วยปศุสัตว์เทียบเท่ากับน้ำหนักสุกรยืนคอกประมาณ 500 KG) และลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีข้อแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการจัดการของแต่ละฟาร์ม ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่คือ เรื่องกลิ่นเหม็นและแมลงวัน ฟาร์มเลี้ยงสุกรบางแห่งใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง (Open pond) ซึ่งระบบดังกล่าวต้องใช้พื้นที่เป็นบริเวณกว้างมากและมีการตื่นเงิน เนื่องจากการตกตะกอนของของเสียจากการเลี้ยงสุกร ทำให้ต้องทำการขุดลอกอยู่บ่อย สิ้นเปลืองทั้งค่าใช้จ่ายและเวลาดำเนินการ รวมทั้งเป็นภาระในการกำจัดกากตะกอนจำนวนมาก ส่วนบางฟาร์มที่พอจะมีศักยภาพในการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้ เช่น การใช้เครื่องแยกตะกอนเพื่อแยกส่วนกากของเสียออกจากน้ำเสีย ก่อนปล่อยลงสู่ระบบบ่อผึ่งในฟาร์มหรือใช้เครื่องเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย แต่การใช้เทคโนโลยีดังกล่าวนี้จะมีค่าใช้จ่ายค่าพลังงานในการเดินเครื่องและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเดินระบบน้อย แต่มีศักยภาพในการช่วยลดความสกปรกและกลิ่นเหม็นได้ ยิ่งไปกว่านั้นการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะได้แก๊สชีวภาพเป็นผลพลอยได้ สามารถนำไปใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่น ทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม ฟืน น้ำมันเชื้อเพลิงหรือใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ภายในฟาร์มได้เป็น อย่างดี ตลอดจนได้ปุ๋ยอินทรีย์แห้งที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน เพื่อการเกษตรภายในฟาร์มหรือเพื่อจำหน่ายให้แก่เกษตรกรภายนอกได้ ตัวอย่างเทคโนโลยีแก๊สชีวภาพ เช่น บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบปิด (Modified covered lagoon) เทคโนโลยีแก๊สชีวภาพแบบ UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) เทคโนโลยีแก๊สชีวภาพแบบ H-UASB (High upflow anaerobic sludge blanket) และ Fixed dome เป็นต้น

โรงฆ่าสัตว์ โดยปกติการฆ่าสุกรของโรงฆ่าสัตว์จะก่อให้เกิดน้ำเสียเฉลี่ยระหว่าง 300-500 ลิตร/ตัว ซึ่งของเสียเหล่านี้จะมีสิ่งสกปรกในรูปของไขมัน น้ำมันและสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง หากโรงฆ่าสัตว์ไม่มีการบำบัดความสกปรกที่อยู่ในน้ำเสียเหล่านี้หรือไม่มีการจัดการของเสียและบำบัดน้ำเสียที่ดีก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือสิ่งแวดล้อมได้ รวมทั้งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการสร้างโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐานมากขึ้นและมีระบบการบำบัดน้ำเสีย โดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบบ่อดักซึ่งต้องใช้พื้นที่มากและประสบปัญหาบ่อดินเงิน เนื่องจากการตกตะกอนของของเสียจากการฆ่าสัตว์ ทำให้ต้องขุดลอกอยู่บ่อย ๆ และบางส่วนใช้เทคโนโลยีเครื่องเติมอากาศ หรือเครื่องกวนตะกอน ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายมากในการบำรุงรักษาด้วยเหตุนี้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยจัดการกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนนั้นมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ ช่วยลดความสกปรกและกลิ่นเหม็น เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเดินเครื่องน้อย ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะได้แก๊สชีวภาพเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถที่จะนำไปทดแทนการใช้แก๊สเชื้อเพลิงหรือใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้ในโรงฆ่าสัตว์ เทคโนโลยีระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีหลายเทคโนโลยีด้วยกัน เช่น UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) และ HSS-UASB (High suspension solids - upflow anaerobic sludge blanket)

โรงงานผลิตน้ำตาล การผลิตน้ำตาลสามารถสกัดได้จากพืชหลายชนิดเช่น อ้อย หัวบีท เป็นต้น อ้อยนิยมปลูกมากในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือบางส่วน ผลผลิตอ้อยที่ได้โดยเฉลี่ยประมาณ 60 ล้านตัน/ปี สำหรับฤดูเก็บเกี่ยวนั้นอยู่ในช่วงเดือนธันวาคมจนถึงเดือนมีนาคม ซึ่งภายในโรงงานผลิตน้ำตาลจะมีความต้องการไอน้ำและกระแสไฟฟ้าจำนวนมากในกระบวนการผลิตน้ำตาล ปัจจุบันมีบางโรงงานได้นำเอาน้ำอ้อยที่เหลือจากการผลิตน้ำตาลมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำใช้ในโรงงาน หากกระแสไฟฟ้าเหลือจากการใช้ภายในโรงงานแล้ว สามารถขายต่อให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นการแบ่งเบาภาระของรัฐ ด้านพลังงานได้อีกทางหนึ่ง สำหรับวันทำการผลิตน้ำตาล/ปีนั้น 120 วัน โดยต้นอ้อย 1 ต้นจะทำให้เกิดน้ำเสีย 0.11 M^3 และน้ำเสีย 1 M^3 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 7 M^3 ในปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำตาลหลายโรงได้ทำการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล (Molasses) ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลนั้นได้น้ำเสียจำนวนมากและน้ำเสียเหล่านี้ยังสามารถผลิตเป็นแก๊สชีวภาพได้และเมื่อน้ำเสียของทั้งสองกระบวนการคือ จากการผลิตน้ำตาลและเอทานอลมารวมกันก็จะมีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงขึ้นและนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง มันสำปะหลังเป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งนิยมปลูกกันมากทางภาคอีสานตอนใต้และภาคตะวันออก มันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดขมและชนิดหวาน โดยชนิดขมนั้นไม่เหมาะสำหรับนำมาบริโภคโดยตรงเนื่องจากมีกรดไฮโดรไซยานิกสูงเป็นพิษต่อร่างกาย แต่เหมาะสำหรับนำมาแปรรูปเป็นมันอัดเม็ด มันเส้นเพื่อเลี้ยงสัตว์และแป้งมันเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนชนิดหวานนั้นส่วนใหญ่ปลูกไว้รอบบ้านเพื่อการบริโภค แป้งมันสำปะหลังนั้น นอกจากจะนำมาใช้ในการบริโภคแล้วยังใช้เป็นวัตถุดิบในหลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น ในประเทศไทยสามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ประมาณ 2 ล้านตัน/ปี กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้นได้น้ำเสียประมาณ 15-20 M³ ต่อตันและน้ำเสีย 1 M³ สามารถให้แก๊สชีวภาพ 10 M³ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนั้น มีทั้งเทคโนโลยีแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ปัจจุบันมีหลายโรงงานที่เริ่มนำระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาใช้ เช่น โรงงานสงวนวงศ์ อุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโรงงานผลิตและส่งออกแป้งมันรายใหญ่ของประเทศไทยใช้ระบบ ABR (Anaerobic baffled reactor) โรงงานชลเจริญและโรงงานชัยภูมิพืชผลใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic fixed film reactor: AFFR) และโรงงานแป้งมันเอี่ยมเฮงอุตสาหกรรมใช้ระบบ UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) เป็นต้น ผลพลอยได้ที่ได้จากการจัดการน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนคือแก๊สชีวภาพ ซึ่งสามารถนำแก๊สชีวภาพที่ได้นี้ไปทดแทนการใช้แก๊สเชื้อเพลิงหรือใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ภายในโรงงานได้อีกด้วย

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งนิยมปลูกมากในภาคใต้ของประเทศไทย เช่น กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและสตูล โดยได้ผลผลิตเป็นทะลายปาล์มสดประมาณ 4.5 ล้านตัน/ปี และมีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยปีละ 5% ซึ่งทะลายปาล์มสดที่ได้นั้นนำมาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมี 2 ประเภทคือ ประเภทโบราณและประเภทมาตรฐาน โดยกระบวนการผลิตแบบโบราณ (หีบแห้ง) จะรับซื้อเฉพาะผลปาล์มสดเท่านั้นการหีบน้ำมันจะหีบ ทั้งผล ไม่มีการแยกน้ำมันจากไฟเบอร์ออกจากเมล็ด คุณภาพของน้ำมันดิบที่ได้จะน้อย กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบอีกประเภทหนึ่งคือ กระบวนการผลิตแบบมาตรฐาน (หีบเปียก) โดยจะสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากทะลายปาล์มสด ทะลาย ใบปาล์มและทะลายเปล่า ในกระบวนการผลิตดังกล่าวจะต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมากและจะมีเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตทั้งในรูปของทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์ม ตะกอนและน้ำเสีย ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามอัตราการเพิ่มปริมาณการผลิต (โดยเฉลี่ยผลปาล์มสด 1 ตันจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 0.4 M³)

หรือคิดเป็น 40% ของผลปาล์มสด) ปกติน้ำเสียจะมีสิ่งสกปรกในรูปของไขมัน น้ำมันและสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถจัดการน้ำเสียที่เกิดจากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีหลายเทคโนโลยีด้วยกัน เช่น เทคโนโลยีแก๊สชีวภาพระบบถังปฏิกรณ์แบบ CSTR (Completely stirred tank reactor) เป็นระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic system) โดยน้ำเสีย 1 M^3 จะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 35 M^3 และเทคโนโลยีนี้ได้ผ่านการใช้งานตั้งแต่เดือนมีนาคม 2542 ที่บริษัทเอเชียน้ำมันปาล์มจำกัด จังหวัดกระบี่และได้นำแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ขนาดไม่เกิน 1 MW) ตามเกณฑ์เงื่อนไขของการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

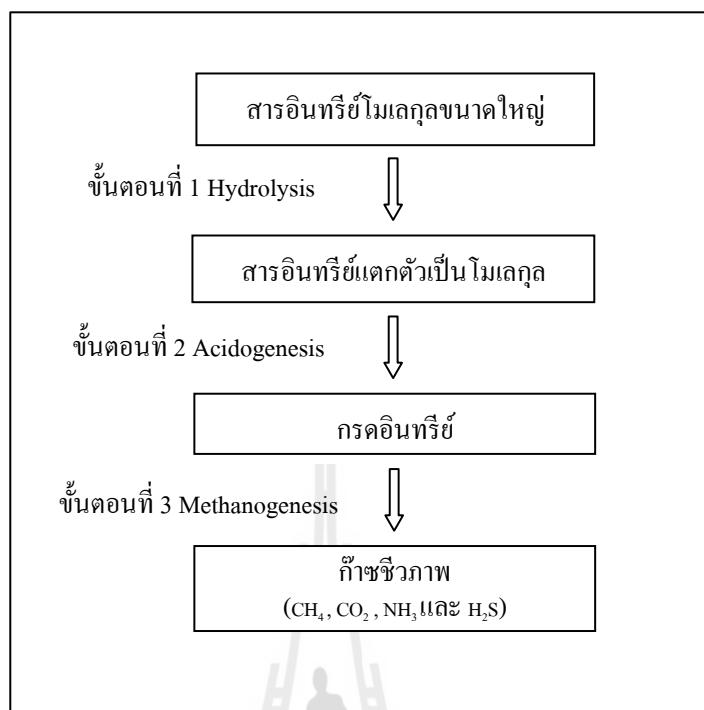
2.6.2.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนคือ Hydrolysis acidogenesis methanogenesis

ขั้นตอนที่ 1 hydrolysis ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ยังอยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถจะย่อยสลายได้ทันที จำเป็นที่จะต้องมีการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กเสียก่อน โดยมีแบคทีเรียกลุ่มแรกปล่อยเอนไซม์มาช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล แบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง

ขั้นตอนที่ 2 acidogenesis แบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งจะทำการย่อยสลายโมเลกุลที่แตกตัวแล้ว จากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ (Organic Acid) ซึ่งได้แก่ Acetic Acid น้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น แบคทีเรียที่กลุ่มนี้เรียกว่า Acid forming bacteria เป็นแบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้

ขั้นตอนที่ 3 methanogenesis ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งเรียกว่า Methanogens หรือ Methane forming bacteria จะทำการเปลี่ยน Acetic acid และไฮโดรเจน (H) เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียพวกนี้เป็นชนิดที่ต้องอยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจนจริง ๆ (Obligate anaerobic bacteria) ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของ Acetic acid จากปฏิกิริยาก่อนหน้านี้



รูปที่ 2.11 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ
(ที่มา: <http://www.effe.or.th>)

2.6.2.4 การคำนวณกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส

โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สใช้อากาศมาตรฐานเป็นส่วนประกอบสำคัญ ในวัฏจักรเรียกวัฏจักรแก๊สนี้ว่า วัฏจักรเบรตัน (Brayton cycle) ซึ่งมีลักษณะคล้าย ๆ กับวัฏจักร แรนकिनสิ่งที่แตกต่างกันคือ ของไหลทำงานที่ใช้อากาศมาตรฐานจะไม่มีการเปลี่ยนสถานะดังนั้น ประสิทธิภาพของวัฏจักรกำหนดได้ด้วยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\eta_{Brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (2.1)$$

เมื่อ r_p = อัตราส่วนความดัน (Pressure) γ = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific heat ratio)

จะได้สมการ Turbine expansion

$$\frac{T_c}{T_d} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (2.3)$$

กระบวนการเกิดขึ้นที่ปัมเกิดจากการอัดอากาศทำให้กระบวนการทั้ง 2 มีอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ γ ไม่เท่ากันจะได้ว่า

$$W_1 = W_{net,GT} = W_a [C_{pg}(T_c - T_d) - C_{pa}(T_b - T_a)] \quad (2.4)$$

$$W_2 = W_{net,ST} = W_s(h_1 - h_2) \quad (2.5)$$

$$Q_1 = W_a C_{pg}(T_c - T_b + T_e - T_d) \quad (2.6)$$

$$Q_{EX,GT} = W_a C_{pg}(T_e - T_f) \quad (2.7)$$

โดยที่ W_a = อัตราการไหลของอากาศในวัฏจักรเบรย์ตัน
 W_s = อัตราการไหลของอากาศในวัฏจักรแรนกิน
 C_{pa} = ความจุความร้อนของอากาศ
 C_{pg} = ความจุความร้อนของแก๊ส

การคำนวณกำลังไฟฟ้าในระบบของโรงไฟฟ้าชีวมวล นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบที่นำมาผลิตแก๊สชีวมวลซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิดเมื่อเผาแล้ว ก็จะได้สารทางเคมีแต่ละชนิดมีค่าที่ต่างกันไป ซึ่งจะนำมาคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงในระบบโรงไฟฟ้า เมื่อได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วจากนั้นจะทำการกำหนดค่าให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ($Q=0$) และกำหนดให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 40%-60% เมื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบได้แล้วจึงนำไปใช้ในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าเพื่อหาลำดับงานสูญเสียในระบบ

2.7 สรุป

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้นำเสนอในบทที่ 2 นี้ เป็นผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม ซึ่งผลงานวิจัยต่าง ๆ รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าชีวมวลในข้างต้น ถือว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญยิ่งต่อผู้วิจัยสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ และการพัฒนาระบบการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลได้อย่างเหมาะสมที่สุด

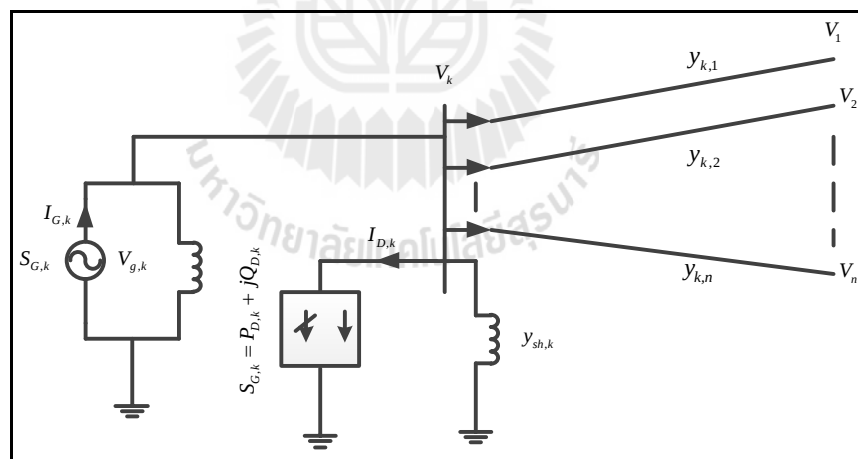


บทที่ 3

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

3.1 บทนำ

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการหาผลเฉลยสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่าง ๆ โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะอาศัยวิธีการนิวตัน-ราฟสัน ในการหาผลเฉลย การคำนวณผลเฉลยแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังอาศัยพื้นฐานการวิเคราะห์แรงดัน โหนดเพื่อสร้างสมการ การวิเคราะห์ห้วงจรเชิงเส้นทั่วไป จะใช้สมการสมดุลกระแสที่บัสตามหลักของ KCL สำหรับการคำนวณในระบบไฟฟ้ากำลัง จะเปลี่ยนไปใช้การหลักการสมดุลของกำลังไฟฟ้าที่บัสแทนค่าของกระแสดังกล่าว ผลจากการใช้สมการไฟฟ้าเชิงซ้อน ผลเฉลยของระบบสมการนี้ คือ เฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆที่ยังไม่ทราบค่าพิจารณาจากระบบไฟฟ้ากำลังดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

จากสมการโนดจะได้สมการสมดุลกระแสที่โนดใดๆดังนี้

$$Y_{k,1}V_1 + Y_{k,2}V_2 + \dots + Y_{k,n}V_n = I_{G,k} - I_{D,k}$$

หรือ

$$\sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i = I_{G,k} - I_{D,k} \quad (3.1)$$

เนื่องจากโหลดและกำลังไฟฟ้าที่จะผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ในรูปของ ดังนั้น
จะได้ว่า

จัดรูปสมการใหม่ได้สมการการไหลของไฟฟ้าเชิงซ้อนที่บัส k ใดๆ เป็น

$$S_{G,k}^* - S_{D,k}^* = V_k^* \sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i \quad (3.3)$$

ถ้ากำหนดค่าเชิงซ้อนของกำลังไฟฟ้า เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าและแอดมิตแตนซ์ดังนี้

$$S_{(G,k)}^* = P_{(G,k)} + jQ_{(G,k)}$$

$$S_{D,k} = P_{D,k} + jQ_{D,k}$$

$$V_k = |V_k| \angle \delta_k$$

$$Y_{k,i} = |Y_{k,i}| \angle \theta_{k,i}$$

โดยที่ $S_{G,k}$ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ผลิตและถูกจ่ายเข้าบัส k

$P_{G,k}$ และ $Q_{G,k}$ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตและถูกจ่ายสู่บัส k

$S_{D,k}$ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของโหลดที่บัส k

$P_{D,k}$ และ $Q_{D,k}$ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของโหลดที่บัส k

V_k เรียกว่า เฟสเซอร์ของแรงดัน การคำนวณนี้ใช้พิกัดเชิงขั้ว

$|V_k|$ และ δ_k เรียกว่า ขนาดและมุมของเฟสเซอร์แรงดันที่บัส k

$Y_{k,i}$ เรียกว่า องค์ประกอบหรือสมาชิกของเมตริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์แถวที่ k หลักที่ i

$|Y_{k,i}|$ และ $\theta_{k,i}$ เรียกว่า ขนาดและมุมของสมาชิกเมตริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์แถวที่ k

หลักที่ i

แทนค่าในสมการจะได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงขั้ว
 แทนค่าในสมการจะได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงขั้ว

$$(P_{G,k} - P_{D,k}) - j(Q_{G,k} - Q_{D,k}) = (|V_k| < -\delta_k) \sum_{i=1}^n (|Y_{k,i}| < \theta_{k,i}) (|V_i| < \delta_i) \quad (3.4)$$

$$(P_{G,k} - P_{D,k}) - j(Q_{G,k} - Q_{D,k}) = \sum_{i=1}^n |Y_{k,i}| V_k V_i < (\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k) \quad (3.5)$$

จากสมการที่ได้พบว่า สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ได้มีความไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจำเป็นต้องใช้การแก้สมการด้วยวิธีการวนรอบดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2 โดยในที่นี้จะนำเสนอวิธีการแก้ปัญหการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตันราฟสันในลำดับถัดไป ดังนี้

3.2 การหาผลเฉลยแรงดันและการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีการวนรอบนิวตัน-ราฟสัน

การนำวิธีนิวตันราฟสันไปแก้ปัญหามีเริ่มต้นจากการกำหนดฟังก์ชันไม่เชิงเส้น และตัวแปรควบคุมที่ต้องการคำนวณผลเฉลย จากสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส k ใดๆ ตามสมการที่ (3.6) และ (3.7) จะได้

$$(P_{G,k} - P_{D,k}) - j(Q_{G,k} - Q_{D,k}) = (|V_k| < -\delta_k) \sum_{i=1}^n (|Y_{k,i}| < \theta_{k,i}) (|V_i| < \delta_i) \quad (3.6)$$

$$(P_{G,k} - P_{D,k}) - j(Q_{G,k} - Q_{D,k}) = \sum_{i=1}^n |Y_{k,i}| V_k V_i < (\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k) \quad (3.7)$$

กำหนดให้

$$P_{sch,k} - jQ_{sch,k} = (P_{G,k} - P_{D,k}) - j(Q_{G,k} - Q_{D,k}) \quad (3.8)$$

สำหรับเฟสเซอร์แรงดันบั๊สที่เป็นผลเฉลยของระบบสมการนี้ จะทำให้สมการสมดุลอย่างไรก็ตาม ในกระบวนการวนรอบต้องดำเนินการกำหนดค่าเริ่มต้นของเฟสเซอร์แรงดันบั๊สซึ่งทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเริ่มต้นแบบราบเรียบ (flat start) โดยกำหนดใช้แรงดันบั๊สเริ่มต้นของทุกบั๊สมีค่าเริ่มต้น $1.00 < 0^\circ \text{p.u.}$ หรือใช้ผลเฉลยของแรงดันของการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าของระบบที่ทำงาน ณ จุดทำงานก่อนหน้านี้ที่จะพิจารณา ถ้าค่าเริ่มต้นเหล่านี้ไม่ใช่ผลเฉลยแรงดันของระบบ จะทำให้สมการดังกล่าวไม่เป็นศูนย์ เกิดการคลาดเคลื่อนของผลรวมกำลังไฟฟ้าที่บั๊สขึ้นมาเรียกว่า ความไม่สอดคล้องของกำลังไฟฟ้า (power mismatches) ซึ่งมีทั้งส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟดังนี้

$$\Delta P_k = P_{sch,k} - P_{cal,k} = f_{p,k} \quad (3.9)$$

$$\Delta Q_k = Q_{sch,k} - Q_{cal,k} = f_{q,k} \quad (3.10)$$

โดยที่

$$P_{cal,k} = \sum_{i=1}^n |Y_{k,i} V_k V_i| \cos(\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k) \quad (3.11)$$

$$Q_{cal,k} = -\sum_{i=1}^n |Y_{k,i} V_k V_i| \sin(\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k) \quad (3.12)$$

ใช้ระเบียบวิธีการวนรอบนิวตันราฟสันประมาณผลเฉลยของระบบสมการที่รอบการคำนวณที่ $k+1$ รอบใดๆ จะได้สมการ

ใช้ระเบียบวิธีการวนรอบนิวตันราฟสันประมาณผลเฉลยของระบบสมการที่รอบการคำนวณที่ $k+1$ รอบใดๆ จะได้สมการ

$$f_{p,k+1} = \Delta P_{k+1} = \Delta P_k + [\nabla f_{p,k}]^T \cdot \Delta x = 0 \quad (3.13)$$

$$\Delta P_k = -[\nabla f_{p,k}]^T \cdot \Delta x \quad (3.14)$$

เมื่อ $x = [\delta | V]^T$

$$\text{นั่นคือ } \Delta P_k = - \left(\frac{\partial f_{p,k}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f_{p,k}}{\partial |V|} \Delta |V| \right) \quad (3.15)$$

เนื่องจาก $P_{sch,k}$ มีค่าคงที่จะได้

$$\frac{\partial f_{p,k}}{\partial x} = - \frac{\partial P_{cal,k}}{\partial x}$$

$$\text{นั่นคือ } \Delta P_k = \frac{\partial P_{cal,k}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P_{cal,k}}{\partial |V|} \Delta |V| \quad (3.16)$$

ในการหาค่าล้งไฟฟ้ารีแอกทีฟจะได้

$$\Delta Q_k = \frac{\partial Q_{cal,k}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial Q_{cal,k}}{\partial |V|} \Delta |V| \quad (3.17)$$

เมื่อทำการรวมสมการเพื่อสร้างเมตริกซ์สำหรับปรับปรุงผลเฉลยแรงดันด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันจะได้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{cal}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{cal}}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q_{cal}}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_{cal}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

จะได้สมการ

$$\begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{(h+1)} = \begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{(h)} + \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^{(h)} = \begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{(h)} + \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1(h)} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^{(h)} \quad (3.19)$$

3.2.1 การคำนวณสมาชิกของเมตริกซ์จาโคเบียน (J1,J2,J3,J4)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \Delta |V_1| \\ \Delta |V_2| \\ \vdots \\ \Delta |V_n| \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

ถ้าให้ บัสที่ s เป็นบัส-สแล็ก จากสมการข้างบน หลักที่ $k = s$ และแถวที่ $k = s$ จะถูกกำจัดออกไป เหลือเมตริกซ์ขนาดเพียง $2(n-1) \times 2(n-1)$ เท่านั้น ดังนี้

เมตริกซ์ย่อย J1 :

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_k V_j Y_{k,j}| \sin(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k)$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_i} = -|V_k V_i Y_{k,i}| \sin(\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k); i \neq k$$

เมตริกซ์ย่อย J2 :

$$\frac{\partial P_k}{\partial |V_k|} = 2|V_k Y_{k,k}| \cos(\theta_{k,k}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_j Y_{k,j}| \cos(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k)$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial |V_i|} = |V_k Y_{k,i}| \cos(\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k); i \neq k$$

เมตริกซ์ย่อย J3 :

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_k V_j Y_{k,j}| \cos(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k)$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_i} = -|V_k V_i Y_{k,i}| \cos(\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k); i \neq k$$

เมตริกซ์ย่อย J4 :

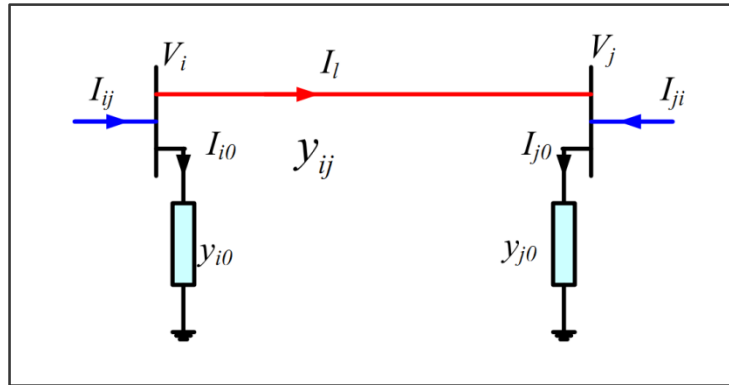
$$\frac{\partial Q_k}{\partial |V_k|} = -2|V_k Y_{k,k}| \sin(\theta_{k,k}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_j Y_{k,j}| \sin(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k)$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial |V_i|} = -|V_k Y_{k,i}| \sin(\theta_{k,i} + \delta_i - \delta_k); i \neq k$$

การคำนวณเพื่อปรับปรุงผลเฉลยแรงดันจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้

3.2.2 สายส่งกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งกำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณได้หลังจากทราบค่าผลเฉลยของแรงดันไฟฟ้าและมุมเฟสในหัวข้อที่ 3.2 โดยพิจารณาจากวงจรระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีทิศทางต่าง ๆ ดังรูป



รูปที่ 3.2 วงจรสายส่งกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.2 พิจารณาจากบัสที่ i ไปบัสที่ j สามารถเขียนสมการของกระแสไฟฟ้าและสมการกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนได้ดังสมการที่ x และ y ตามลำดับ

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} \quad (3.21)$$

โดยที่ $I_l = y_{ij}(V_i - V_j)$

$$I_{i0} = y_{i0}V_i$$

และ $S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (3.22)$

ในทำนองเดียวกันพิจารณาจากบัสที่ j ไปบัสที่ i พบว่า

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} \quad (3.23)$$

โดยที่ $I_l = y_{ij}(V_j - V_i)$

$$I_{i0} = y_{i0}V_j$$

และ $S_{ji} = V_i I_{ji}^*$ (3.24)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งระหว่างบัสที่ i กับบัสที่ j สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.25)

$$S_{Loss,ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (3.25)$$

จากสมการที่ (3.25) เมื่อเขียนสมการในรูปแบบของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะได้ ดังนี้

$$S_{Loss} = P_{Loss} + jQ_{Loss} \quad (3.26)$$

สำหรับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงทั้งหมดในระบบไฟฟ้า กำลังเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (3.27)

$$\text{Minimize } P_{Total, Loss} = \sum_{l=1}^n P_{Loss_l} \quad (3.27)$$

เมื่อ $P_{Total, Loss}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงทั้งหมดในสายส่งกำลังไฟฟ้า
 P_{Loss_l} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงในสายส่งกำลังไฟฟ้าเส้นที่ l^{th}

3.3 การพิจารณาตัวบ่งชี้ความได้เปรียบและการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

การศึกษาและพิจารณาเกี่ยวกับตัวบ่งชี้ความได้เปรียบและความเป็นไปได้ของระบบพลังงานชีวมวล ซึ่งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของระบบและอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นเบื้องต้น การกระจายไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตได้ โดยพื้นฐานของการศึกษาจะขึ้นอยู่กับการลงทุน $I_s (\$/MW)$ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า $P_e (MW)$ และปริมาณชีวมวลแห้งในพื้นที่ และพารามิเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของชีวมวล $d (t/km^2 \text{ yr d.m. dry mass})$ และพื้นที่การผลิตวัตถุดิบชีวมวล $S (km^2)$ ซึ่งเป็นแบบหมุนเวียน โดยมีศูนย์กลางเป็นที่ตั้งของโรงไฟฟ้าชีวมวลและมีรัศมี $R (km)$

ดังนั้นจึงให้ $H_b (MWh/t)$ คือ ปริมาณค่าความร้อนของชีวมวล $\delta (t/km^2 \text{ yr})$ คือ ผลผลิตของวัตถุดิบแห้งและ η_e คือ ประสิทธิภาพรวมของการผลิตไฟฟ้า ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$E_e = S \delta H_b \eta_e = \pi R^2 \delta H_b \eta_e \quad (3.28)$$

เวลาที่โรงไฟฟ้าดำเนินงาน $t (h/yr)$ ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งจะเป็น

$$P_e = \frac{E_e}{t} (MW) \quad (3.29)$$

สำหรับการคำนวณค่าพลังงานความร้อน $E (MWh/yr)$ และกำลังงานความร้อน $P_t (MW)$ อาจดำเนินการคำนวณได้ แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตย่อมมีค่าประสิทธิภาพ (η_t) และค่าตัวประกอบการใช้งาน (f_u) ดังนั้น สามารถคำนวณพลังงานความร้อนได้ดังนี้

$$E_t = S \delta H_b \eta_t f_u = \pi R^2 \delta H_b \eta_t f_u \quad (MWh/yr) \quad (3.30)$$

$$P_t = \frac{E_t}{t} (MW) \quad (3.31)$$

ค่าธรรมเนียมกระแสเงินสด (CF) ซึ่งเป็นยอมรับและไม่เปลี่ยนแปลงตามอายุพืช V_u ตามที่ระบุไว้ สำหรับผลรวมของเงินที่เพิ่มขึ้น (IN) และค่าใช้จ่ายทางการเงิน (OUT)

$$CF = IN - OUT \quad (\$/\text{yr}) \quad (3.32)$$

รายได้จากการขายของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ คือ

$$IN = E_e p_e + E_t p_t \quad (\$/\text{yr}) \quad (3.33)$$

p (\$/MW) คือ ราคาขายของพลังงานไฟฟ้า (p_e) และราคาขายของพลังงานความร้อน (p_t)
ค่าธรรมเนียมในการใช้จ่ายประกอบด้วยความเสียหายจากกำลังซื้อชีวมวล

$$C_b = \pi R^2 \delta C_{bs} \quad (\$/\text{yr}) \quad (3.34)$$

เมื่อ C_{bs} คือ ราคาต่อหน่วยของชีวมวล (\$/t d.m.)
สำหรับการจัดการเกี่ยวกับต้นทุนของชีวมวล คือ

$$C_t = \int_0^R (2\pi C_{ts} \delta R^2) dR = \frac{2}{3} \pi C_{ts} \delta R^3 \quad (\$/\text{yr}) \quad (3.35)$$

เมื่อ C_{ts} คือ ต้นทุนค่าขนส่ง (\$/t km d.m.) ซึ่งมีภาระต้นทุน คือ

$$C_w = C_{ws} n_u \quad (\$/\text{yr}) \quad (3.36)$$

เมื่อ C_{ws} คือ ค่าธรรมเนียมเฉลี่ยต่อภาระต้นทุนและ n_u จำนวนลูกจ้าง
ต้นทุนการรักษาสภาพต้องพิจารณาตามสัดส่วนของผลรวมการลงทุนและการคำนวณเป็น
ดังสมการ

$$C_r = I k_r \quad (\$/\text{yr}) \quad (3.37)$$

เมื่อ I (\$) คือ ผลรวมของการลงทุนและ k_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาและการซ่อม
บำรุง จากสมการที่ 3.33 ถึง 3.36 และ 3.37 แทนค่าในสมการที่ 3.32 จะได้สมการค่าธรรมเนียมเงิน
สดดังนี้

$$CF = (E_e p_e + E_t p_t) - (C_b + C_t + C_w + C_r) \quad (\$/\text{yr}) \quad (3.38)$$

ค่าธรรมเนียมกระแสเงินสดจะสัมพันธ์กับมูลค่าในปัจจุบัน (NPV) ซึ่งก็คือ ส่วนต่างเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนดั่งสมการ

$$NPV = CF f_a - I \quad (\$) \quad (3.39)$$

$$\text{เมื่อ } f_a = \frac{(1+i)^{V_u} - 1}{i(1+i)^{V_u}} \quad (3.40)$$

f_a คือ ตัวประกอบของการลดราคาที่น่ามาใช้ตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า การลงทุน คือ ความสนใจในเชิงเศรษฐกิจ เมื่อ NPV ในการชดเชยที่พอเพียงกับการลงทุน ตัวบ่งชี้ความได้เปรียบ (PI) จะแสดงกำไรของการดำเนินงานการลงทุนต่อหน่วย ซึ่งมีสมการดังนี้

$$PI = \frac{NPV}{I} \quad (3.41)$$

$$PI = \frac{[E_e p_e + E_t p_t - (C_b + C_t + C_w + C_r)] f_a - I}{I} \quad (3.42)$$

การคำนวณในสมการที่ 4.15 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของการลงทุนทั้งหมด $I(\$)$ ในฟังก์ชันของการลงทุน $I_s (\$/\text{MW})$ สามารถแทนได้ดังสมการที่ 3.43

$$I = I_s P_e \quad (\$) \quad (3.43)$$

จากการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลังในสมการที่ 3.27 เมื่อนำมาพิจารณาพร้อมกับสมการของตัวบ่งชี้วัดความได้เปรียบในสมการที่ 3.42 จะสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลได้ดังสมการที่ 3.44 โดยที่ α คือ สัมประสิทธิ์สัดส่วนถ่วงดุลของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งมีค่า $0 < \alpha < 1$ สำหรับการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

$$\text{Minimize } F(PI, P_{\text{Total, Loss}}) = \alpha \frac{1}{PI} + (1 - \alpha) P_{\text{Total, Loss}} \quad (3.44)$$

3.4 การใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การศึกษาปัญหาที่เหมาะสมที่สุดไม่สามารถดำเนินการได้โดยตรง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาขึ้นมาภายใต้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีคุณสมบัติที่ชัดเจน เช่น ความสามารถในการคำนวณอนุพันธ์หรือความต่อเนื่องของฟังก์ชันเป็นต้น ดังนั้นการศึกษาปัญหาที่เหมาะสมที่สุดส่วนใหญ่จะเน้นไปที่เทคนิคการคำนวณบนพื้นฐานของฟังก์ชันคณิตศาสตร์

3.4.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

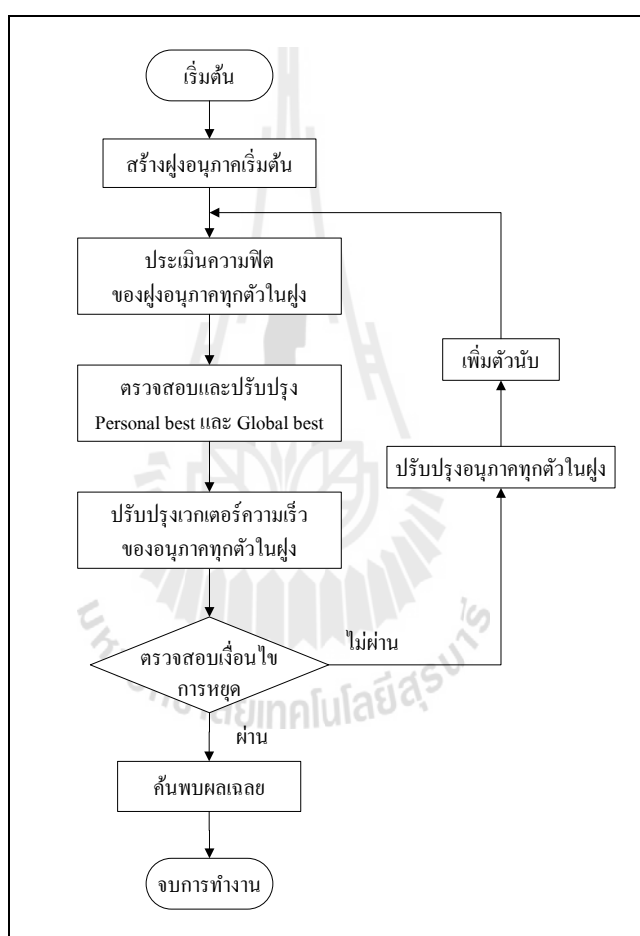
การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization หรือ PSO) เป็นอัลกอริทึมที่มีแรงดลใจมาจากธรรมชาติ โดยเฉพาะการเคลื่อนที่ของฝูงปลาและฝูงนก การเคลื่อนที่ทั้งสองแบบเป็นการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบย่อย ๆ ที่เคลื่อนที่ไปด้วยกันอย่างประสานเวลา (Synchronous) ปลาหรือนกสามารถเคลื่อนที่ไปเป็นฝูง แยกตัวออกจากฝูงแล้วรวมตัวกลับเข้ามาในฝูงอีกครั้งได้

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (PSO) เป็นการจำลองระบบหรือโครงสร้างทางสังคมของกลุ่มสิ่งมีชีวิตอย่างง่าย การรวมกลุ่มทางสังคมของสิ่งมีชีวิตเพื่อวัตถุประสงค์บางประการ เช่น การหาอาหารเพื่อการอยู่รอดของกลุ่ม เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยผลักดันให้ประชากรส่วนใหญ่ในกลุ่มหรือสังคม หรือทั้งหมดมีพฤติกรรมที่สอดคล้องกัน ในปี ค.ศ. 1995 ซึ่งมีแนวคิดจากการหาอาหารของฝูงนก หรือหาอาหารของฝูงปลาและทฤษฎีการเคลื่อนที่ (Velocity Theory) ซึ่งต้องอาศัยการเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่มและการเว้นระยะห่างระหว่างนกแต่ละตัว การจำลองฝูงอนุภาคอาศัยหลักการนี้ โดยการกำหนดอนุภาคเพื่อใช้แทนผลเฉลยพร้อมด้วยการประเมินค่าความฟิตที่ดีที่สุด กล่าวคือ มีระยะห่างของฝูงกับแหล่งอาหารน้อยที่สุด นอกจากนี้ คุณสมบัติที่สำคัญในการจำลองหาอาหารของฝูง ได้แก่ เวกเตอร์ความเร็ว (Particle's Velocity) ของอนุภาคแต่ละตัวใช้เป็นตัวกำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้น ๆ อนุภาคทุกตัวในฝูงจะต้องถูกปรับปรุงทิศทางในการเคลื่อนที่ให้สอดคล้องกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวที่มีค่าความฟิตดีที่สุด ผลจากการดำเนินการนี้จะช่วยให้ฝูงอนุภาคมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดดังแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.18 แผนผังการทำงานการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฝูงอนุภาค

กำหนดให้ฝูงอนุภาคประกอบด้วยอนุภาคทั้งสิ้น n ตัว อนุภาคแต่ละตัวจะได้รับการปรับปรุงระหว่างกระบวนการวนรอบ ดังนี้

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + v_i^{(k+1)} \quad (3.28)$$

$$v_i^{(k+1)} = v_i^{(k)} + \alpha_i(x_i^{lbest} - x_i^{(k)}) + \beta_i(x_i^{gbest} - x_i^{(k)}) \quad (3.29)$$



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยฝูงอนุภาค

$x_i^{(k)}$ คือ อนุภาคซึ่งนำเสนอผลเฉลยตัวที่ i ในรอบการคำนวณที่ k

$v_i^{(k)}$ คือ เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคตัวที่ i รอบการคำนวณที่ k

α_i, β_i คือ ตัวเลขสุ่มแบบสม่ำเสมอ (Uniform random) ในช่วง $[0,1]$

x_i^{lbest} คือ ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่อนุภาคตัวที่ i ค้นพบ (Personal best)

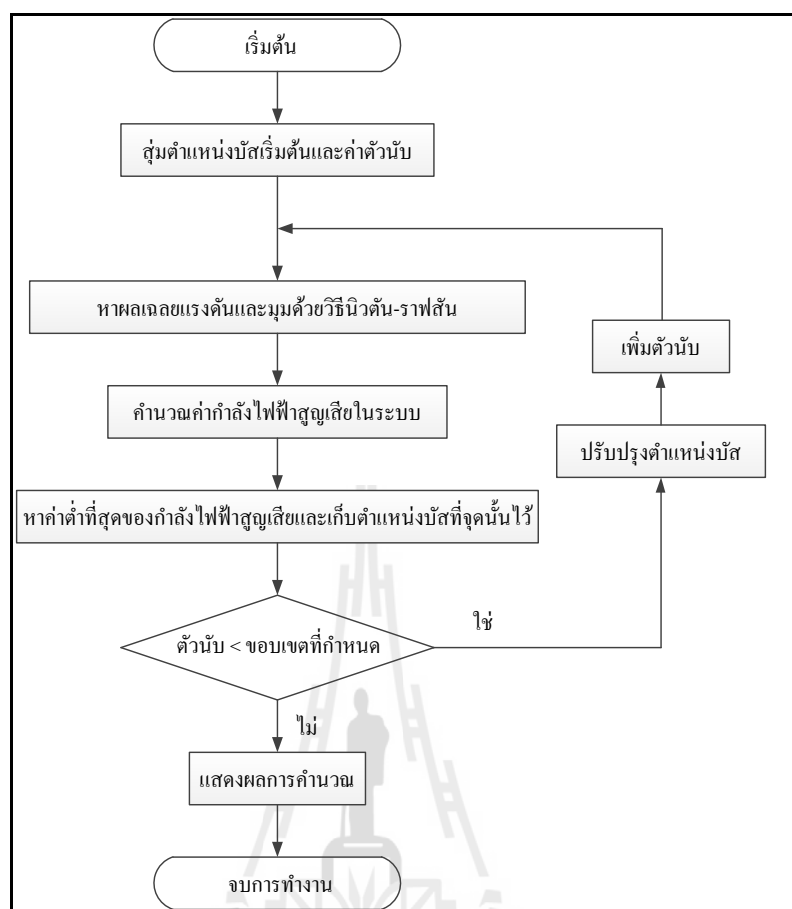
x_i^{gbest} คือ ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ฝูงอนุภาคค้นพบ (Global best)

ดำเนินการคำนวณรอบภายใต้เงื่อนไขการหยุดที่เหมาะสม จะได้ผลเฉลยของปัญหาค่าเหมาะที่สุด วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของฝูงอนุภาค แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ ตัวอัลกอริทึมยังไม่มีควมซับซ้อนแต่อย่างใด วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของฝูงอนุภาคยังถือเป็นอัลกอริทึมที่ค่อนข้างใหม่สำหรับการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.5 การหาตำแหน่งเหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

การหาตำแหน่งเหมาะสมที่สุดในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับข้อนี้ ได้ดำเนินการค้นหาค่าเหมาะที่สุดของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ที่เรียกว่า วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งมีกระบวนการทำงานตามที่อธิบายในหัวข้อที่ 3.4 กระบวนการค้นหาจะพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งกำลังไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพของขั้นตอนการค้นหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

สำหรับรูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการค้นหาค่าเหมาะที่สุดในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลจะเริ่มจากสร้างกลุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาพร้อมทั้งกำหนดขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลของพื้นที่ที่ปกคลุมบัสกำลังไฟฟ้างดกล่าว จากนั้นดำเนินการหาผลเฉลยด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน และนำไปคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของระบบด้วยสมการที่ (3.28) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียดังกล่าวถือเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของคำตอบในแต่ละรอบของการค้นหา



รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการค้นหา

3.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าพร้อมทั้งการหาผลเฉลยด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยวิทยานิพนธ์จะมุ่งเน้นการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งนำไปสู่การกำหนดเป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหาตำแหน่งการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งถือเป็นอัลกอริทึมการค้นหาที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง และได้มีการอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของอัลกอริทึม พร้อมทั้งขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการทดสอบและผลการค้นหาสำหรับปัญหาดังกล่าวจะนำเสนอในบทถัดไป

บทที่ 4

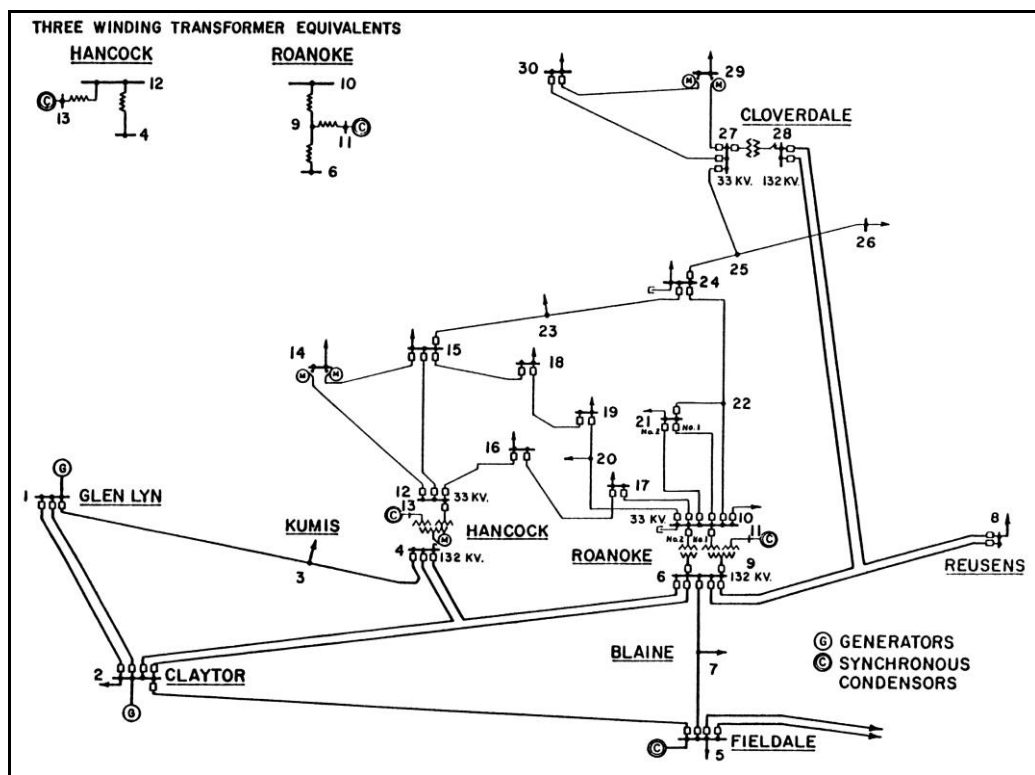
ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

4.1 บทนำ

การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมีค่าต่ำที่สุดเป็นสิ่งสำคัญต่อการพิจารณาในด้านต่าง ๆ เช่น การลงทุน การนำวัตถุดิบไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นต้น ในบทนี้จึงได้นำเสนอผลการค้นหาตำแหน่งเหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบให้มีค่าน้อยที่สุด รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับกระบวนการค้นหาดังกล่าวได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3 สำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง รวมถึงค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย 3 ระบบด้วยกัน คือ ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 บัส (IEEE 30 Bus system) เป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า ระบบไฟฟ้ากำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 ตัว 39 บัส (IEEE 10 Generator 39 Bus system) และระบบการจำหน่าย 69 บัส (IEEE 69 Bus Distribution system) การทดสอบได้ดำเนินการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 5 ส่วน และกำหนดให้แต่ละส่วนมีวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ฟัคตของโรงไฟฟ้าชีวมวลมีขนาดต่างกัน นอกจากนี้ยังมีการสับเปลี่ยนวัตถุดิบในแต่ละพื้นที่ ซึ่งสามารถพิจารณาแบบจำลองในรูปแบบต่าง ๆ ได้ทั้งหมด 120 แบบ และดำเนินการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล นอกจากนี้ยังได้มีการพิจารณาเกี่ยวกับตัวบ่งชี้ความได้เปรียบร่วมกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบสำหรับระบบการจำหน่าย 69 บัสอีกด้วย

4.2 ระบบทดสอบและผลการทดสอบ IEEE 30 บัส

ทดสอบการหาค่ากำลังงานสูญเสีย และหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้า โดยใช้ระบบทดสอบขนาด 30 บัส เป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.1 ระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เป็นระบบทดสอบขนาด 30 บัส ซึ่งเป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยมีระดับแรงดัน 11 kV และค่ากำลังไฟฟ้า 100 kVA เป็นค่าฐาน การทดสอบกำหนดให้โรงไฟฟ้าที่ติดตั้งมีขนาดเท่ากับ 40 MW ดำเนินการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสต่าง ๆ และคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบในตำแหน่งบัสต่าง ๆ เพื่อพิจารณาดำเนินการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำที่สุด



รูปที่ 4.1 ระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE
(ที่มา: <http://www.ee.washington.edu>)

4.2.1 พารามิเตอร์ ของระบบ IEEE 30 บัส

ระบบที่พิจารณาในหัวข้อนี้เป็นระบบตามมาตรฐาน IEEE 30 บัส ซึ่งเป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยรายละเอียดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า โหลดกำลังไฟฟ้าที่บัส และการปรับตั้งค่าหม้อแปลงของระบบ แสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 ตามลำดับ จากการดำเนินการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า และการหาค่าผลเฉลยด้วยวิธีนิวตันราฟ-สัน สามารถคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ IEEE 30 บัส ที่เป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า ในตำแหน่งบัสต่าง ๆ ที่กำหนดให้มีการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 40 MW ซึ่งมีผลการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในตำแหน่งบัสต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 30 บัส

(ที่มา : <http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE>)

From Bus	To Bus	Line Impedance		Half Line Charging Susceptance (B) (p.u.)
		Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)	
1	2	0.0192	0.0575	0.0264
1	3	0.0452	0.1652	0.0204
2	4	0.0570	0.1737	0.0184
3	4	0.0132	0.0379	0.0042
2	5	0.0472	0.1983	0.0209
2	6	0.0581	0.1763	0.0187
4	6	0.0119	0.0414	0.0045
5	7	0.0460	0.1160	0.0102
6	7	0.0267	0.0820	0.0085
6	8	0.0120	0.0420	0.0045
6	9	0	0.2080	0
6	10	0	0.5560	0
9	11	0	0.2080	0
9	10	0	0.1100	0
4	12	0	0.2560	0
12	13	0	0.1400	0
12	14	0.1231	0.2559	0
12	15	0.0662	0.1304	0

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 30 บัส (ต่อ)

(ที่มา : <http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE>)

From Bus	To Bus	Line Impedance		Half Line Charging Susceptance (B) (p.u.)
		Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)	
12	16	0.0945	0.1987	0
14	15	0.2210	0.1997	0
16	17	0.0524	0.1923	0
15	18	0.1073	0.2185	0
18	19	0.0639	0.1292	0
19	20	0.0340	0.0680	0
10	20	0.0936	0.2090	0
10	17	0.0324	0.0845	0
10	21	0.0348	0.0749	0
10	21	0.0727	0.1499	0
21	22	0.0116	0.0236	0
15	23	0.1000	0.2020	0
22	24	0.1150	0.1790	0
23	24	0.1320	0.2700	0
24	25	0.1885	0.3292	0
25	26	0.2544	0.3800	0
25	27	0.1093	0.2087	0
28	27	0	0.3960	0
27	29	0.2198	0.4153	0
27	30	0.3202	0.6027	0
29	30	0.2399	0.4533	0
8	28	0.0636	0.2000	0.0214
6	28	0.0169	0.0599	0.0065

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 30 บัส

(ที่มา : <http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE>)

Bus No.	Load		Reactive Power Limits	
	Real Power (p.u.)	Reactive Power (p.u.)	Q min (p.u.)	Q max (p.u.)
1	0.000	0.000	-	-
2	0.217	0.127	-0.2	0.6
3	0.024	0.012	-	-
4	0.076	0.016	-	-
5	0.942	0.19	-0.15	0.625
6	0.000	0.000	-	-
7	0.228	0.109	-	-
8	0.3	0.3	-0.15	0.50
9	0.000	0.000	-	-
10	0.058	0.02	-	-
11	0.000	0.000	-0.10	0.40
12	0.112	0.075	-	-
13	0.000	0.000	-0.15	0.45
14	0.062	0.016	-	-
15	0.082	0.025	-	-
16	0.035	0.018	-	-
17	0.09	0.058	-	-
18	0.032	0.009	-	-
19	0.095	0.034	-	-
20	0.022	0.007	-	-
21	0.175	0.112	-	-

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 30 บัส (ต่อ)

(ที่มา : <http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE>)

Bus No.	Load		Reactive Power Limits	
	Real Power (p.u.)	Reactive Power (p.u.)	Q min (p.u.)	Q max (p.u.)
22	0.000	0.000	-	-
23	0.032	0.016	-	-
24	0.087	0.067	-	-
25	0.000	0.000	-	-
26	0.035	0.023	-	-
27	0.000	0.000	-	-
28	0.000	0.000	-	-
29	0.024	0.009	-	-
30	0.106	0.019	-	-

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์การปรับตั้งค่าหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ IEEE 30 บัส

From Bus	To Bus	Tap Setting Value (p.u.)
6	9	0.978
6	10	0.969
4	12	0.932
28	27	0.968

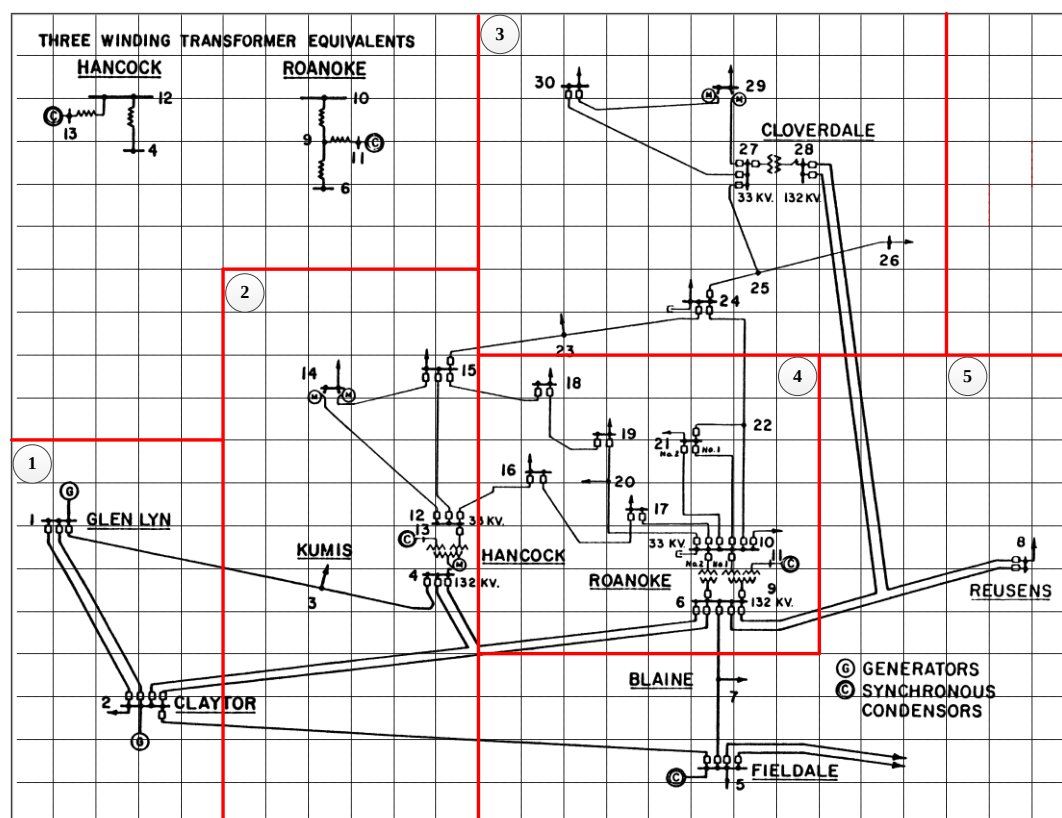
ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียของระบบ IEEE 30 บัส

บัสที่ติดตั้ง Generator ขนาด 40 MW	กำลังงานสูญเสีย MW	บัสที่ติดตั้ง Generator ขนาด 40 MW	กำลังงานสูญเสีย MW
1	16.6487	16	14.037
2	14.172	17	13.281
3	13.051	18	13.744
4	12.681	19	13.443
5	12.681	20	13.449
6	12.240	21	12.961
7	12.055	22	13.038
8	12.030	23	13.982
9	12.290	24	13.355
10	12.291	25	13.905
11	12.182	26	18.299
12	13.113	27	13.096
13	12.916	28	12.312
14	15.312	29	14.961
15	13.252	30	14.729

จากตารางที่ 4.4 ผลการหาลำดับกำลังงานสูญเสียของระบบ IEEE 30 บัส ซึ่งเป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า ผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียยังไม่ได้พิจารณาวัตถุดิบที่ใช้กำหนดขนาดของโรงไฟฟ้า ซึ่งในการกำหนดขนาดของโรงไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่งจะนำเสนอในหัวข้อ 4.2.3 ต่อไป จากผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาด 40 MW ที่ตำแหน่งบัสที่ 8 จะทำให้ระบบมีกำลังงานสูญเสียต่ำที่สุด ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับบัสต่าง ๆ ในระบบทดสอบ

4.2.2 ผลการทดสอบระบบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

เป็นระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่เป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า ที่มีระดับแรงดัน 11.0 kV ที่ค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100 kVA โดยในการทดสอบ ได้ดำเนินการจำลองติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพิ่มเข้าไปในระบบดังกล่าว เพื่อนำมาทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบที่เมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 ระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

พื้นที่ 1: วัตถุดิบที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยในพื้นที่ที่ 1 จะครอบคลุมบัสที่ 1 และ 2 ดังนั้นจึงกำหนดให้บัสที่ 1 และ 2 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ

- พื้นที่ 2: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและสัณยภาพชีวมวลในประเทศไทยในพื้นที่ที่ 2 จะครอบคลุม巴士ที่ 3, 4, 12, 13, 14 และ 15 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 3, 4, 12, 13, 14 และ 15 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 3: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและสัณยภาพชีวมวลในประเทศไทยในพื้นที่ที่ 3 จะครอบคลุม巴士ที่ 23, 24, 25, 26, 24, 28, 29 และ 30 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 23, 24, 25, 26, 24, 28, 29 และ 30 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 4: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและสัณยภาพชีวมวลในประเทศไทยในพื้นที่ที่ 4 จะครอบคลุม巴士ที่ 6, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21 และ 22 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 6, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21 และ 22 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 5: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและสัณยภาพชีวมวลในประเทศไทยในพื้นที่ที่ 5 จะครอบคลุม巴士ที่ 5, 7, และ 8 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 5, 7, และ 8 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ

จากการพิจารณาติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในระบบทดสอบระบบทดสอบ 30巴士ตามมาตรฐาน IEEE ที่เป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า สามารถกำหนดแบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนรูปที่ 4.2 ระบบทดสอบ 30巴士 ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล การพิจารณาได้ดำเนินการสับเปลี่ยนวัตถุดิบในแต่ละพื้นที่ ซึ่งสามารถพิจารณาแบบจำลองได้ทั้งหมด 120 แบบ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 30巴士ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อดำเนินการจำลองการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
1	ยอดและ ใบอ่อน	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
2	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
4	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570	ซังข้าวโพด	70
5	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570
6	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
7	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
8	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
9	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570
10	ยอดและ ใบอ่อน	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
11	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
12	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
13	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570
14	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
15	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
16	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
17	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
18	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
19	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
20	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
21	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
22	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
23	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
24	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
25	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
26	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
27	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
28	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
29	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
30	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
31	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
32	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
33	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
34	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
35	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
36	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
37	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
38	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
39	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
41	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
42	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
43	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
44	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
45	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
46	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
47	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
48	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
49	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
50	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70
51	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
52	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
53	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
54	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70
55	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
56	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
57	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
58	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
59	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70
60	เส้นใยกะลา ทะเลสาบปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
61	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
62	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
63	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
64	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
65	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
66	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
67	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
68	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
69	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
71	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
72	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
73	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
74	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
75	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
76	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
77	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
78	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
79	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
80	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
81	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
82	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
83	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
84	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
85	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
86	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
87	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
88	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
89	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
90	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
91	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
92	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
93	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
94	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
95	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
96	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
97	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
98	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
99	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
100	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
101	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
102	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
103	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
104	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
105	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 30 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
106	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
107	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
108	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
109	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
110	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
111	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
112	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
113	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
114	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
115	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
116	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
117	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
118	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
119	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
120	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70

ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 30 บัส ซึ่งเป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยอาศัยการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ตำแหน่งที่เหมาะสมและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบที่ต่ำที่สุดของรูปแบบการจำลองต่าง ๆ ทั้ง 120 แบบ ในตารางที่ 4.5 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการหากำลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
1	4	เหมืองน้ำลำปะหลัง	11	70	9.6504
2	5	เหมืองน้ำลำปะหลัง	8	70	7.4775
3	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
4	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
5	3	เหมืองน้ำลำปะหลัง	28	70	10.0243
6	4	เหมืองน้ำลำปะหลัง	11	70	9.6504
7	5	เหมืองน้ำลำปะหลัง	8	70	7.4775
8	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
9	4	ซังข้าวโพด	11	70	9.6504
10	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
11	4	เหมืองน้ำลำปะหลัง	11	70	9.6504
12	5	เหมืองน้ำลำปะหลัง	8	70	7.4775
13	4	ซังข้าวโพด	11	70	9.6504
14	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
15	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
16	3	ซังข้าวโพด	28	70	10.0243
17	4	ซังข้าวโพด	11	70	9.6504
18	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
19	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
20	5	เหมืองน้ำลำปะหลัง	8	70	7.4775

ตารางที่ 4.6 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล(ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
21	4	หม้อน้ำสำปะหลัง	11	70	9.6504
22	5	หม้อน้ำสำปะหลัง	8	70	7.4775
23	5	ขังข้าวโพด	8	70	7.4775
24	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
25	3	หม้อน้ำสำปะหลัง	28	70	10.0243
26	4	หม้อน้ำสำปะหลัง	11	70	9.6504
27	5	หม้อน้ำสำปะหลัง	8	70	7.4775
28	5	ขังข้าวโพด	8	70	7.4775
29	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
30	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
31	4	หม้อน้ำสำปะหลัง	11	70	9.6504
32	5	หม้อน้ำสำปะหลัง	8	70	7.4775
33	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
34	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
35	5	ขังข้าวโพด	8	70	7.4775
36	3	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	28	70	10.0243
37	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
38	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
39	5	ขังข้าวโพด	8	70	7.4775
40	5	หม้อน้ำสำปะหลัง	8	70	7.4775

ตารางที่ 4.6 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล(ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
41	3	ชั่งข้าวโพด	28	70	10.0243
42	4	ชั่งข้าวโพด	11	70	9.6504
43	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
44	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775
45	5	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	8	70	7.4775
46	4	ชั่งข้าวโพด	11	70	9.6504
47	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
48	4	เหง้ามันสำปะหลัง	11	70	9.6504
49	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775
50	5	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	8	70	7.4775
51	3	เหง้ามันสำปะหลัง	28	70	10.0243
52	4	เหง้ามันสำปะหลัง	11	70	9.6504
53	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775
54	5	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	8	70	7.4775
55	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
56	4	ชั่งข้าวโพด	11	70	9.6504
57	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
58	4	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	11	70	9.6504
59	5	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	8	70	7.4775
60	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775

ตารางที่ 4.6 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล(ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
61	3	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	28	70	10.0243
62	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
63	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
64	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
65	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
66	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
67	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
68	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
69	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
70	3	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	28	70	10.0243
71	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
72	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
73	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
74	4	เหง้ำมันสำปะหลัง	11	70	9.6504
75	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
76	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
77	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
78	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
79	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
80	3	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	28	70	10.0243

ตารางที่ 4.6 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล(ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
81	4	ชั่งข้าวโพด	11	70	9.6504
82	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
83	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
84	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
85	3	ชั่งข้าวโพด	28	70	10.0243
86	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
87	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
88	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
89	4	ชั่งข้าวโพด	11	70	9.6504
90	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
91	3	เหง้ำมันสำปะหลัง	28	70	10.0243
92	4	เหง้ำมันสำปะหลัง	11	70	9.6504
93	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
94	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
95	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
96	4	ชั่งข้าวโพด	11	70	9.6504
97	5	ชั่งข้าวโพด	8	70	7.4775
98	5	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	7.4775
99	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
100	3	ชั่งข้าวโพด	28	70	10.0243

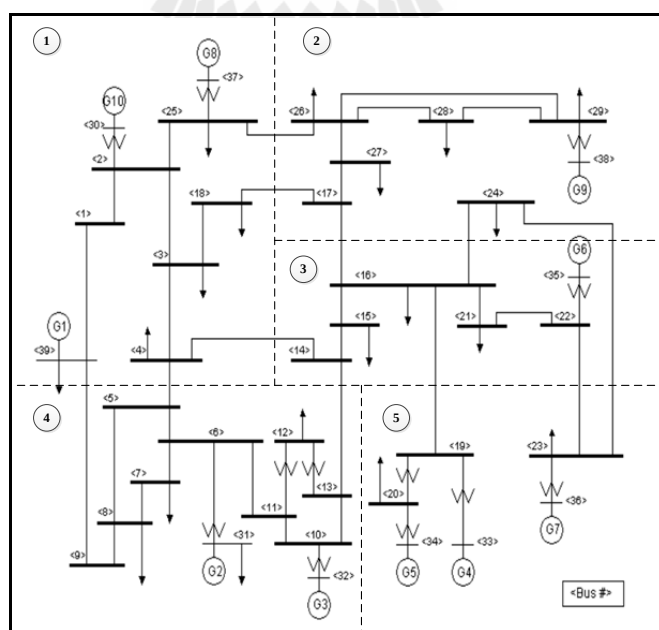
ตารางที่ 4.6 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล(ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
101	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
102	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
103	4	ซังข้าวโพด	11	70	9.6504
104	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
105	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775
106	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	11	70	9.6504
107	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
108	4	เหง้ามันสำปะหลัง	11	70	9.6504
109	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775
110	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
111	4	เหง้ามันสำปะหลัง	11	70	9.6504
112	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775
113	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
114	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
115	3	เหง้ามันสำปะหลัง	28	70	10.0243
116	4	ซังข้าวโพด	11	70	9.6504
117	5	ซังข้าวโพด	8	70	7.4775
118	5	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	7.4775
119	4	เหง้ามันสำปะหลัง	11	70	9.6504
120	5	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	7.4775

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6 ผลการหาค่ากำลังงานสูญเสียของระบบ IEEE 30 บัส ที่เป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า เมื่อดำเนินการจำลองการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการกำหนดพื้นที่ของวัตถุดิบในแต่ละพื้นที่และหาตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ทำให้กำลังงานสูญเสียของระบบต่ำที่สุด พบว่า การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่บัสต่าง ๆ จากตารางที่ 4.5 (แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล) จะพบว่า ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลจะไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบและปัจจัยหลัก คือ วัตถุดิบต่าง ๆ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวล

4.3 ระบบทดสอบและผลการทดสอบ IEEE 39 บัส

ทดสอบการหาค่ากำลังงานสูญเสีย และหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยใช้ระบบทดสอบขนาด 39 บัส ซึ่งเป็นระบบเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.3 ระบบทดสอบ 39 บัสตามมาตรฐาน IEEE ซึ่งเป็นระบบทดสอบขนาด 39 บัส โดยมีระดับแรงดัน 11 kV ที่ค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100 kVA โดยในการทดสอบ จะดำเนินการจำลองเพิ่มโรงไฟฟ้าชีวมวลในตำแหน่งบัสต่าง ๆ เพื่อนำมาทดสอบกำลังสูญเสียของระบบที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 ระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

- พื้นที่ 1: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 1 จะครอบคลุม巴士ที่ 1, 2, 3, 4, 18, 25 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 1, 2, 3, 4, 18, 25 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 2: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 2 จะครอบคลุม巴士ที่ 17, 24, 26, 27, 28, 29 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 17, 24, 26, 27, 28, 29 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 3: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 3 จะครอบคลุม巴士ที่ 14, 15, 16, 21, 22 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 14, 15, 16, 21, 22 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 4: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 4 จะครอบคลุม巴士ที่ 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 5: วัตถุที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 5 จะครอบคลุม巴士ที่ 19, 20, 23 ดังนั้นจึงกำหนดให้巴士ที่ 19, 20, 23 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ

สำหรับ巴士ที่ [30, 32, 33, 34, 35, 36, 36, 37, 38, 39] มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่แล้ว ซึ่งจะไม่พิจารณาการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในตำแหน่ง巴士เหล่านี้

4.3.1 พารามิเตอร์ของระบบ IEEE 39 บัส

ระบบที่พิจารณาในบทนี้เป็นระบบมาตรฐาน IEEE 39 บัส ที่เป็นระบบเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า พารามิเตอร์ของโหลดกำลังไฟฟ้าในบัสต่าง ๆ และพารามิเตอร์ของการปรับตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.7 ถึง 4.9 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

From Bus	To Bus	Line Impedance		Half Line Charging Susceptance (B) (p.u.)
		Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)	
1	2	0.0035	0.0411	0.6987
1	39	0.0010	0.0250	0.7500
2	3	0.0013	0.0151	0.2572
2	25	0.0070	0.0086	0.1460
3	4	0.0013	0.0213	0.2214
3	18	0.0011	0.0133	0.2138
4	5	0.0008	0.0128	0.1342
4	14	0.0008	0.0129	0.1382
5	6	0.0002	0.0026	0.0434
5	8	0.0008	0.0112	0.1476
6	7	0.0006	0.0092	0.1130
6	11	0.0007	0.0082	0.1389
7	8	0.0004	0.0046	0.0780
8	9	0.0023	0.0363	0.3804

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

From Bus	To Bus	Line Impedance		Half Line Charging Susceptance (B) (p.u.)
		Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)	
9	39	0.0010	0.0250	1.2000
10	11	0.0004	0.0043	0.0729
10	13	0.0004	0.0043	0.0729
13	14	0.0009	0.0101	0.1723
14	15	0.0018	0.0217	0.3660
15	16	0.0009	0.0094	0.1710
16	17	0.0007	0.0089	0.1342
16	19	0.0016	0.0195	0.3040
16	21	0.0008	0.0135	0.2548
16	24	0.0003	0.0059	0.0680
17	18	0.0007	0.0082	0.1319
17	27	0.0013	0.0173	0.3216
21	22	0.0008	0.0140	0.2565
22	23	0.0006	0.0096	0.1846
23	24	0.0022	0.0350	0.3610
25	26	0.0032	0.0323	0.5130
26	27	0.0014	0.0147	0.2396
26	28	0.0043	0.0474	0.7802
26	29	0.0057	0.0625	1.0290
28	29	0.0014	0.0151	0.2490
12	11	0.0016	0.0435	0.0000
12	13	0.0016	0.0435	0.0000
6	31	0.0000	0.0250	0.0000

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

From Bus	To Bus	Line Impedance		Half Line Charging Susceptance (B) (p.u.)
		Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)	
10	32	0.0000	0.0200	0.0000
19	33	0.0007	0.0142	0.0000
20	34	0.0009	0.0180	0.0000
22	35	0.0143	0.0143	0.0000
23	36	0.0272	0.0272	0.0000
25	37	0.0232	0.0232	0.0000
2	30	0.0181	0.0181	0.0000
29	38	0.0156	0.0156	0.0000
19	20	0.0138	0.0138	0.0000

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Bus	Type	Voltage [PU]	Load	
			Real Power (p.u.)	Reactive Power (p.u.)
1	PQ	-	0.0	0.0
2	PQ	-	0.0	0.0
3	PQ	-	322.0	2.4
4	PQ	-	500.0	184.0
5	PQ	-	0.0	0.0
6	PQ	-	0.0	0.0
7	PQ	-	233.8	84.0

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Bus	Type	Voltage [PU]	Load	
			Real Power (p.u.)	Real Power (p.u.)
8	PQ	-	522.0	176.0
9	PQ	-	0.0	0.0
10	PQ	-	0.0	0.0
11	PQ	-	0.0	0.0
12	PQ	-	7.5	88.0
13	PQ	-	0.0	0.0
14	PQ	-	0.0	0.0
15	PQ	-	320.0	153.0
16	PQ	-	329.0	32.3
17	PQ	-	0.0	0.0
18	PQ	-	158.0	30.0
19	PQ	-	0.0	0.0
20	PQ	-	628.0	103.0
21	PQ	-	274.0	115.0
22	PQ	-	0.0	0.0
23	PQ	-	247.5	84.6
24	PQ	-	308.6	-92.0
25	PQ	-	224.0	47.2
26	PQ	-	139.0	17.0
27	PQ	-	281.0	75.5
28	PQ	-	206.0	27.6
29	PQ	-	283.5	26.9

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Bus	Type	Voltage [PU]	Load	
			MW	MVar
30	PQ	1.0475	0.0	0.0
31	PQ	0.9820	9.2	4.6
32	PQ	0.9831	0.0	0.0
33	PQ	0.9972	0.0	0.0
34	PQ	1.0123	0.0	0.0
35	PQ	1.0493	0.0	0.0
36	PQ	1.0635	0.0	0.0
37	PQ	1.0278	0.0	0.0
38	PQ	1.0265	0.0	0.0
39	PQ	1.0300	11040.0	250.0

ตารางที่ 4.9 พารามิเตอร์การปรับตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

From Bus	To Bus	Transformer Tap	
		Magnitude	Angle
1	2	0.000	0.00
1	39	0.000	0.00
2	3	0.000	0.00
2	25	0.000	0.00
3	4	0.000	0.00
3	18	0.000	0.00
4	5	0.000	0.00

ตารางที่ 4.9 พารามิเตอร์การปรับตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส (ต่อ)

(ที่มาจาก http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

From Bus	To Bus	Transformer Tap	
		Magnitude	Angle
4	14	0.000	0.00
5	6	0.000	0.00
5	8	0.000	0.00
6	7	0.000	0.00
6	11	0.000	0.00
7	8	0.000	0.00
8	9	0.000	0.00
9	39	0.000	0.00
10	11	0.000	0.00
10	13	0.000	0.00
13	14	0.000	0.00
14	15	0.000	0.00
15	16	0.000	0.00
16	17	0.000	0.00
16	19	0.000	0.00
16	21	0.000	0.00
16	24	0.000	0.00
17	18	0.000	0.00
17	27	0.000	0.00
21	22	0.000	0.00
22	23	0.000	0.00
23	24	0.000	0.00

ตารางที่ 4.9 พารามิเตอร์การปรับตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ IEEE 39 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

From Bus	To Bus	Transformer Tap	
		Magnitude	Angle
25	26	0.000	0.00
26	27	0.000	0.00
26	28	0.000	0.00
26	29	0.000	0.00
28	29	0.000	0.00
12	11	1.006	0.00
12	13	1.006	0.00
6	31	1.070	0.00
10	32	1.070	0.00
19	33	1.070	0.00
20	34	1.009	0.00
22	35	1.025	0.00
23	36	1.000	0.00
25	37	1.025	0.00
2	30	1.025	0.00
29	38	1.025	0.00
19	20	1.060	0.00

4.3.2 ผลการทดสอบระบบ IEEE 39 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

ผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียของระบบ IEEE 39 บัส ซึ่งเป็นระบบเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า โดยกำหนดพื้นที่ของวัตถุคิบนรูปแบบต่างๆ จากการพิจารณาติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในระบบทดสอบระบบทดสอบ 39 บัสตามมาตรฐาน IEEE สามารถจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนรูปแบบที่ 4.4 ระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE และพิจารณาแบบจำลองสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 39 บัสตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
1	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
2	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
4	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
5	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
6	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
7	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
8	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
9	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
10	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
11	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
12	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
13	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
14	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
15	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
16	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
17	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
18	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
19	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
20	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
21	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
22	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
23	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
24	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
25	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
26	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
27	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
28	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
29	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
30	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
31	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
32	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามน สำปะหลัง	70
33	เหง้ามน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
34	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
35	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เหง้ามน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
36	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
37	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
38	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
39	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหลัง	70
41	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
42	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
43	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
44	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหลัง	70
45	เหง้ามน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
46	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
47	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
48	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
49	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
50	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
51	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
52	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
53	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
54	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
55	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
56	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
57	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70
58	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
59	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
60	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
61	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
62	เศษไม้	40	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
63	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
64	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
65	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	ขังข้าวโพด	70
66	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
67	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
68	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
69	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70
70	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
71	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
72	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
73	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70
74	ขังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
75	ยอดและ ใบอ้อย	570	ขังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
76	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
77	เศษไม้	40	ยอดและ ใบ อ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
78	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
79	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
80	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570
81	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
82	เศษไม้	40	ยอดและ ใบ อ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
83	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
84	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
85	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ่อน	570
86	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบ อ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
87	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
88	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
89	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ่อน	570
90	ยอดและ ใบอ่อน	570	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
91	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40
92	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
93	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
94	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ขังข้าวโพด	70
95	ขังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
96	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
97	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70
98	ขังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
99	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
100	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
101	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
102	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
103	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
104	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ขังข้าวโพด	70
105	ขังข้าวโพด	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.10 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 39 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
106	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
107	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
108	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
109	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
110	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
111	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
112	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
113	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
114	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
115	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ยอดและ ใบอ้อย	570
116	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
117	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
118	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
119	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ยอดและ ใบอ้อย	570
120	ยอดและ ใบอ้อย	570	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70

ผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียและผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบมาตรฐาน IEEE 39 บัส ซึ่งเป็นระบบเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า ที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลและกำหนดพื้นที่ของ วัตถุดับในรูปแบบต่างๆ

ตารางที่ 4.11 ผลการหาลำดับงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส

เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดับ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุดับ	BUS	MW	PSO(MW)
1	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
2	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
3	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
4	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
5	1	ซังข้าวโพด	4	70	60.7227
6	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5922
7	3	ขอดและใบอ้อย	14	570	59.6008
8	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
9	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
10	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
11	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
12	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
13	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
14	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
15	1	ซังข้าวโพด	4	70	60.7227
16	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
17	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
18	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
19	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
20	3	ขอดและใบอ้อย	14	570	59.6008

ตารางที่ 4.11 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
21	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
22	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
23	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
24	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
25	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	4	70	60.7227
26	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
27	3	ขอดและใบอ้อย	14	570	60.7642
28	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
29	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
30	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
31	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	59.6008
32	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
33	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
34	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
35	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	4	70	60.7227
36	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
37	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
38	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
39	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
40	3	ขอดและใบอ้อย	14	570	59.6008

ตารางที่ 4.11 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
41	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
42	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
43	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
44	4	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	8	70	60.5705
45	3	ยอดและใบอ้อย	14	570	59.6008
46	4	ซังข้าวโพด	8	70	59.6008
47	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
48	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
49	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
50	1	เหง้ามันสำปะหลัง	4	70	60.7227
51	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
52	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
53	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
54	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
55	3	ยอดและใบอ้อย	14	570	60.5627
56	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
57	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
58	4	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	8	70	60.5705
59	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
60	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	4	70	60.7227

ตารางที่ 4.11 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
61	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
62	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
63	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
64	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
65	3	ขอดและใบอ้อย	14	570	59.6008
66	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
67	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
68	3	ขอดและใบอ้อย	14	570	59.6008
69	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
70	1	ซังข้าวโพด	4	70	60.7227
71	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
72	3	ขอดและใบอ้อย	14	570	59.6008
73	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
74	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
75	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
76	1	ขอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
77	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
78	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
79	4	ขอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
80	1	เหง้ามันสำปะหลัง	4	70	60.7227

ตารางที่ 4.11 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
81	1	ขุดและใบอ้อย	4	570	56.2141
82	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
83	4	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	60.7227
84	4	ขุดและใบอ้อย	8	570	54.4316
85	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	4	70	60.7227
86	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
87	3	ขุดและใบอ้อย	14	570	59.6008
88	4	ขุดและใบอ้อย	8	570	54.4316
89	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
90	1	ขุดและใบอ้อย	4	570	56.2141
91	4	ขุดและใบอ้อย	8	570	54.4316
92	4	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	60.5705
93	1	ขุดและใบอ้อย	4	570	56.2141
94	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	60.5705
95	3	ขุดและใบอ้อย	14	570	59.6008
96	1	ขุดและใบอ้อย	4	570	56.2141
97	4	เหง้ำมันสำปะหลัง	8	70	60.5705
98	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	59.6008
99	4	ขุดและใบอ้อย	8	570	54.4316
100	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	4	70	60.7227

ตารางที่ 4.11 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

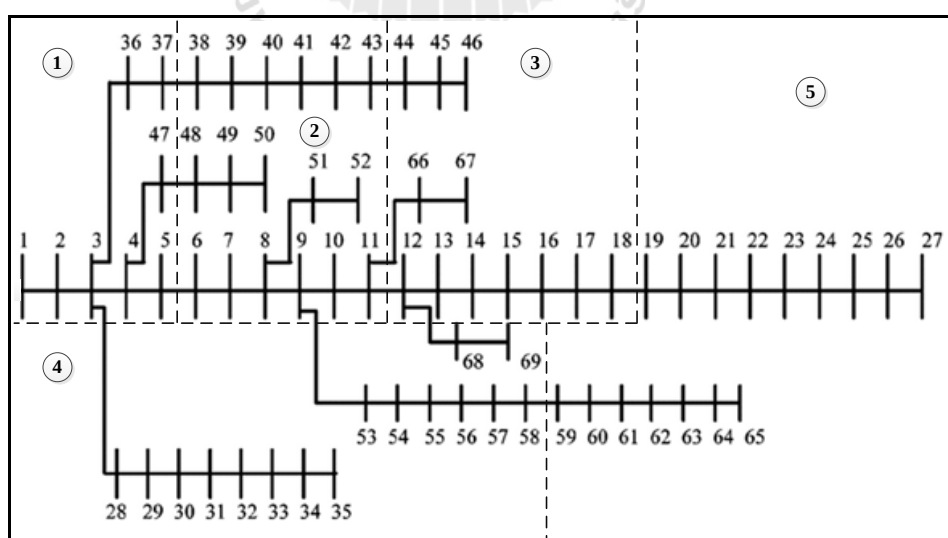
แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
101	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	59.6008
102	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
103	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
104	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
105	1	ซังข้าวโพด	4	70	60.7227
106	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	59.6008
107	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
108	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
109	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
110	1	เหง้ามันสำปะหลัง	4	70	60.7227
111	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141
112	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
113	4	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	8	70	59.6008
114	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
115	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	4	70	60.7227
116	4	ซังข้าวโพด	8	70	60.5705
117	3	ยอดและใบอ้อย	14	570	59.6008
118	4	ยอดและใบอ้อย	8	570	54.4316
119	4	เหง้ามันสำปะหลัง	8	70	60.5705
120	1	ยอดและใบอ้อย	4	570	56.2141

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.11 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส ซึ่งเป็นระบบเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการกำหนดพื้นที่ของวัตถุบิในแต่ละบัสเพื่อหาตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ทำให้กำลังงานสูญเสียของระบบน้อยที่สุด จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่บัสต่างๆ จากตารางที่ 4.10 (แบบจำลองพื้นที่และวัตถุบิบนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE

เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล) จะทำให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างน้อยที่สุด ซึ่งตำแหน่งบัสดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ที่ใช้ต่างกัน ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าต่างกันซึ่งมีความเหมาะสมที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาด 40 MW ตามตาราง 4.11 จะเห็นว่า เมื่อทำการกำหนดพื้นที่ต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.3 (ระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล) ของแต่ละวัตถุประสงค์ตามตารางที่ 4.10 (แบบจำลองพื้นที่และวัตถุประสงค์บนระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล) จะพบว่ากำลังงานสูญเสียในแต่ละแบบไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และศักยภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าต่างกัน แสดงว่าตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับระบบทดสอบ 39 บัส ตามมาตรฐาน IEEE แสดงดังตารางที่ 4.11 (ผลการหาลำดับงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล)

4.4 ระบบทดสอบและผลการทดสอบ IEEE 69 บัส

ทดสอบการหาลำดับงานสูญเสีย และหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยใช้ระบบทดสอบขนาด 69 บัส ซึ่งเป็นระบบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้า และใช้ระบบทดสอบในรูปที่ 4.4 (ระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE) เป็นระบบทดสอบขนาด 69 บัส ใช้กับระดับแรงดัน 11 kV ที่ค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100 kVA โดยในการทดสอบ จะดำเนินการจำลองการเพิ่มโรงไฟฟ้าชีวมวลเข้าไปในระบบ เพื่อนำมาทดสอบกำลังสูญเสียของระบบที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตำแหน่งบัสดังต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 ระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE
เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

- พื้นที่ 1: วัตถุประสงค์ที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 1 จะครอบคลุมบัสที่ 1, 2, 3, 4, 5, 36, 37, 47 ดังนั้นจึงกำหนดให้บัสที่ 1, 2, 3, 4, 5, 36, 37, 47 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 2: วัตถุประสงค์ที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 2 จะครอบคลุมบัสที่ 6, 7, 8, 9, 10, 11, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52 ดังนั้นจึงกำหนดให้บัสที่ 6, 7, 8, 9, 10, 11, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 3: วัตถุประสงค์ที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 3 จะครอบคลุมบัสที่ 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 44, 45, 46, 66, 67 ดังนั้นจึงกำหนดให้บัสที่ 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 44, 45, 46, 66, 67 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 4: วัตถุประสงค์ที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 4 จะครอบคลุมบัสที่ 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 68, 69 ดังนั้นจึงกำหนดให้บัสที่ 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 68, 69 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- พื้นที่ 5: วัตถุประสงค์ที่ใช้ในพื้นที่นี้อ้างอิงจาก ตารางที่ 3.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย ในพื้นที่ที่ 5 จะครอบคลุมบัสที่ 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65 ดังนั้นจึงกำหนดให้บัสที่ 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65 มีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ

4.4.1 พารามิเตอร์ของระบบ IEEE 69 บัส

ระบบที่พิจารณาในหัวข้อนี้เป็นระบบมาตรฐาน IEEE 69 บัส ที่เป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ประกอบด้วย พารามิเตอร์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า และ พารามิเตอร์ของโหลดกำลังไฟฟ้าที่จำหน่ายในบัสต่าง ๆ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Branch Number	Sending End Bus	Receiving End Bus	Line Impedance	
			Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)
1	1	2	0.0005	0.0012
2	2	3	0.0005	0.0012
3	3	4	0.0015	0.0036
4	4	5	0.0251	0.0294
5	5	6	0.3660	0.1864
6	6	7	0.3811	0.1941
7	7	8	0.0922	0.0470
8	8	9	0.0493	0.0251
9	9	10	0.8190	0.2707
10	10	11	0.1872	0.0619
11	11	2	0.7114	0.2351
12	12	13	1.0300	0.3400
13	13	14	1.0440	0.3450
14	14	15	1.0580	0.3496
15	15	16	0.1966	0.0650
16	16	17	0.3744	0.1238
17	17	18	0.0047	0.0016
18	18	19	0.3276	0.1083
19	19	20	0.2106	0.0690

ตารางที่ 4.12 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส (ต่อ)

(ที่มาจาก http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Branch Number	Sending End Bus	Receiving End Bus	Line Impedance	
			Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)
20	20	21	0.3416	0.1129
21	21	22	0.0140	0.0046
22	22	23	0.1591	0.1145
23	23	24	0.3463	0.1145
24	24	25	0.7488	0.2475
25	25	26	0.3089	0.1021
26	26	27	0.1732	0.0572
27	3	28	0.0044	0.0108
28	28	29	0.0640	0.1565
29	29	30	0.3978	0.1315
30	30	31	0.0702	0.0232
31	31	32	0.3510	0.1160
32	32	33	0.8390	0.2816
33	33	34	1.7080	0.5646
34	34	35	1.4740	0.4873
35	3	36	0.0044	0.0108
36	36	37	0.0640	0.1565
37	37	38	0.1053	0.1230
38	38	39	0.0304	0.0355
39	39	40	0.0018	0.0021
40	40	41	0.7283	0.8509
41	41	42	0.3100	0.3623
42	42	43	0.0410	0.0478
43	43	44	0.0092	0.0116

ตารางที่ 4.12 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Branch Number	Sending End Bus	Receiving End Bus	Line Impedance	
			Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)
44	44	45	0.1089	0.1373
45	45	46	0.0009	0.0012
46	4	47	0.0034	0.0084
47	47	48	0.0851	0.2083
48	48	49	0.2898	0.7091
49	49	50	0.0822	0.2011
50	8	51	0.0928	0.0473
51	51	52	0.3319	0.1114
52	9	53	0.1740	0.0886
53	53	54	0.2030	0.1034
54	54	55	0.2842	0.1447
55	55	56	0.2813	0.1433
56	56	57	1.5900	0.5337
57	57	58	0.7837	0.2630
58	58	59	0.3042	0.1006
59	59	60	0.3861	0.1172
60	60	61	0.5075	0.2585
61	61	62	0.0974	0.0496
62	62	63	0.1450	0.0738
63	63	64	0.7105	0.3619
64	64	65	1.0410	0.5302

ตารางที่ 4.12 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Branch Number	Sending End Bus	Receiving End Bus	Line Impedance	
			Resistance (R) (p.u.)	Resistance (X) (p.u.)
65	11	66	0.2012	0.0611
66	66	67	0.0047	0.0014
68	68	69	0.0047	0.0016
69	11	43	0.5000	0.5000
70	13	21	0.5000	0.5000
71	15	46	1.0000	0.5000
72	50	59	2.0000	1.0000
73	27	65	1.0000	0.5000

ตารางที่ 4.13 พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Bus No.	PL(kW)	QL(kVAR)	Bus No.	PL(kW)	QL(kVAR)
6	2.60	2.20	16	45.50	30.00
7	40.40	30.00	17	60.00	35.00
8	75.00	54.00	18	60.00	35.00
9	30.00	22.00	20	1.00	0.60
10	28.00	19.00	21	114.00	81.00
11	145.00	104.00	22	5.00	3.50
12	145.00	104.00	24	28.00	20.00
13	8.00	5.00	26	14.00	10.00
14	8.00	5.50	27	14.00	10.00
15	45.50	30.00	28	26.00	18.60

ตารางที่ 4.13 พารามิเตอร์โหลดกำลังไฟฟ้าของระบบ IEEE 69 บัส (ต่อ)

(ที่มา http://psdyn.ece.wisc.edu/IEEE_benchmarks/)

Bus No.	PL(kW)	QL(kVAR)	Bus No.	PL(kW)	QL(kVAR)
29	26.00	18.60	51	40.50	28.30
33	14.00	10.00	52	3.60	2.70
34	19.50	14.00	53	4.35	3.50
35	6.00	4.00	54	26.40	19.00
36	26.00	18.55	55	24.00	17.20
37	26.00	18.55	59	100.00	72.00
39	24.00	17.00	61	1244.00	888.00
40	24.00	17.00	62	32.00	23.00
41	1.20	1.0	64	227.00	162.00
43	6.00	4.30	65	59.00	42.00
45	39.22	26.30	66	18.00	3.00
46	39.22	26.30	67	18.00	3.00
48	79.00	56.40	68	28.00	20.00
49	384.70	274.50	69	28.00	20.00
50	384.70	274.50			

4.4.2 ผลการทดสอบระบบ IEEE 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

ผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียของระบบ IEEE 69 บัส ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล และกำหนดพื้นที่ของวัตถุดับในรูปแบบต่าง ๆ จากการพิจารณาติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในระบบทดสอบระบบทดสอบ 69 บัสตามมาตรฐาน IEEE สามารถจำลองพื้นที่และวัตถุดับตามรูปที่ 4.4 (ระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล) แสดงดังตารางที่ 4.14 (แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดับในระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล)

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
1	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
2	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
4	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70
5	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3
6	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
7	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
8	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
9	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3
10	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
11	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
12	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
13	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3
14	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
15	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
16	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40
17	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3
18	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
19	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
20	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
21	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
22	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
23	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
24	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
25	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3
26	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
27	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
28	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70
29	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3
30	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
31	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
32	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
33	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3
34	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
35	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
36	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40
37	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3
38	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
39	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
40	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
41	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40
42	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3
43	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
44	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ามัน สำปะหลัง	70
45	เหง้ามัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
46	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40
47	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70
48	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3
49	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70
50	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70
51	ซ้งข้าวโพด	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40
52	เศษไม้	40	ซ้งข้าวโพด	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3
53	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	ซ้งข้าวโพด	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70
54	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	ซ้งข้าวโพด	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70
55	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	ซ้งข้าวโพด	70
56	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40
57	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70
58	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3
59	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหล้ง	70	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70
60	เส้นโยกะลา ทะลาขปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	ซ้งข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ามน สำปะหล้ง	70

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
61	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40
62	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3
63	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
64	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
65	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
66	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
67	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
68	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
69	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70
70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3
71	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
72	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
73	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70
74	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3
75	กากปาล์ม	24.3	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
76	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
77	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
78	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
79	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
80	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3
81	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
82	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
83	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
84	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
85	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3
86	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
87	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
88	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
89	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3
90	กากปาล์ม	24.3	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุคิบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW	วัตถุคิบน	MW
91	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40
92	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3
93	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
94	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
95	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เศษไม้	40	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70
96	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
97	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
98	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
99	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70
100	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3
101	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
102	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70
103	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3
104	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	ซังข้าวโพด	70
105	ซังข้าวโพด	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นโยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการ
ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

	พื้นที่บนระบบทดสอบ IEEE 69 บัส									
	พื้นที่ 1		พื้นที่ 2		พื้นที่ 3		พื้นที่ 4		พื้นที่ 5	
	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW	วัตถุดิบ	MW
106	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40
107	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
108	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3
109	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
110	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	เศษไม้	40	ซังข้าวโพด	70
111	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40
112	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70
113	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
114	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
115	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	เศษไม้	40	กากปาล์ม	24.3
116	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40
117	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70
118	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70
119	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70	กากปาล์ม	24.3
120	กากปาล์ม	24.3	เส้นใยกะลา ทะลายปาล์ม	70	ซังข้าวโพด	70	เศษไม้	40	เหง้ำมัน สำปะหลัง	70

ผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียและผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบมาตรฐาน IEEE 69 บัส ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลและกำหนดพื้นที่ของ วัตถุดับในรูปแบบต่างๆ

ตารางที่ 4.15 ผลการหาลำดับงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส

เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดับ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุดับ	BUS	MW	PSO(MW)
1	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
2	1	เศษไม้	5	40	6.3900
3	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
4	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112
5	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
6	1	ซังข้าวโพด	2	70	7.2779
7	1	เศษไม้	2	40	6.3900
8	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
9	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112
10	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
11	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112
12	1	เศษไม้	5	40	6.3900
13	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
14	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
15	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
16	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
17	1	เศษไม้	5	40	6.3900
18	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
19	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
20	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112

ตารางที่ 4.15 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
21	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
22	1	เศษไม้	5	40	6.3900
23	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
24	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
25	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
26	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	2	70	7.2779
27	1	เศษไม้	5	40	6.3900
28	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
29	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
30	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
31	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
32	1	เศษไม้	5	40	6.3900
33	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
34	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
35	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
36	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
37	1	เศษไม้	5	40	6.3900
38	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
39	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
40	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112

ตารางที่ 4.15 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดับ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	PSO(MW)
41	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112
42	1	เศษไม้	5	40	6.3900
43	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
44	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
45	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
46	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112
47	1	เศษไม้	5	40	6.3900
48	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
49	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
50	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
51	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
52	1	เศษไม้	5	40	6.3900
53	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
54	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
55	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112
56	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
57	1	เศษไม้	5	40	6.3900
58	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
59	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
60	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.0112

ตารางที่ 4.15 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
61	1	ชั่งข้าวโพด	5	70	7.0112
62	1	เศษไม้	5	40	6.3900
63	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
64	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
65	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
66	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
67	1	เศษไม้	5	40	6.3900
68	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
69	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
70	1	ชั่งข้าวโพด	5	70	7.0112
71	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	2	70	7.2779
72	1	เศษไม้	5	40	6.3900
73	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
74	1	ชั่งข้าวโพด	5	70	7.0112
75	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
76	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
77	1	เศษไม้	5	40	6.3900
78	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
79	1	ชั่งข้าวโพด	5	70	7.0112
80	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112

ตารางที่ 4.15 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
81	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
82	1	เศษไม้	5	40	6.3900
83	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
84	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
85	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
86	1	ซังข้าวโพด	2	70	7.2779
87	1	เศษไม้	5	40	6.3900
88	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
89	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
90	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
91	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112
92	1	เศษไม้	5	40	6.3900
93	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
94	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
95	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
96	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.2601
97	1	เศษไม้	5	40	6.3900
98	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
99	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.0112
100	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.0112

ตารางที่ 4.15 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส
เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุบิ				กำลังงานสูญเสีย
	พื้นที่	วัตถุบิ	BUS	MW	PSO(MW)
101	1	หม้อน้ำสำหรับหลัง	5	70	7.0112
102	1	เศษไม้	5	40	6.3900
103	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปลั้ม	5	70	7.0112
104	1	กากปลั้ม	2	24.3	7.2601
105	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
106	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
107	1	เศษไม้	5	40	6.3900
108	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปลั้ม	5	70	7.0112
109	1	กากปลั้ม	2	24.3	7.2601
110	1	หม้อน้ำสำหรับหลัง	5	70	7.0112
111	1	กากปลั้ม	2	24.3	7.2601
112	1	เศษไม้	5	40	6.3900
113	1	หม้อน้ำสำหรับหลัง	5	70	7.0112
114	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
115	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปลั้ม	5	70	7.0112
116	1	หม้อน้ำสำหรับหลัง	2	70	7.2779
117	1	เศษไม้	5	40	6.3900
118	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.0112
119	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปลั้ม	5	70	7.0112
120	1	กากปลั้ม	2	24.3	7.2601

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.15 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัสที่เป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการกำหนดพื้นที่ของวัตถุบิในแต่ละบัสเพื่อหาตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ทำให้กำลังงานสูญเสียของระบบน้อยที่สุด จากตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่บัสต่างๆจากตารางที่ 4.14 (แบบจำลองพื้นที่และวัตถุบิบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้ง

โรงไฟฟ้าชีวมวล) จะทำให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งตำแหน่งบัสดังกล่าวมีวัตถุดิบที่ใช้ต่างกัน ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าต่างกัน จากตาราง 4.15 จะเห็นว่า เมื่อทำการกำหนดพื้นที่ต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.4 (ระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล) ของแต่ละวัตถุดิบตามตารางที่ 4.14 (แบบจำลองพื้นที่และวัตถุดิบบนระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE เมื่อทำการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล) จะพบว่ากำลังงานสูญเสียในแต่ละแบบไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและศักยภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าต่างกัน แสดงว่าตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับระบบทดสอบ 69 บัส ตามมาตรฐาน IEEE แสดงดังตารางที่ 4.15 ผลการหาลำดับการสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล

4.5 ผลการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับระบบจำหน่าย 69 บัส

สำหรับในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการค้นหาค่าตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยวิธีการค้นหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนของฝูงอนุภาค ซึ่งใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ได้พิจารณาเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบและคำนึงถึงตัวบ่งชี้ความได้เปรียบของการติดตั้งโรงไฟฟ้าด้วย พารามิเตอร์ของการคำนวณตัวบ่งชี้วัดความได้เปรียบดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.16 การดำเนินการจะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนถ่วงดุลของฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหามีค่า $\alpha = 0.5 \ 0.8 \ 0.99999 \ 0.001$ และ 0.1 ซึ่งผลการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับระบบจำหน่าย 69 บัส ทั้งหมด 120 แบบ แสดงดังตารางที่ 4.17 4.18 และ ตารางที่ 4.19 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 พารามิเตอร์พื้นฐาน

พารามิเตอร์	ขนาด
$t(h/yr)$	7000
$V_u(yr)$	10
η_e	0.22/0.4
η_t	0.7
f_u	0.5
k_r	0.03
$I_s(\$ / MW)$	3001920

ตารางที่ 4.16 พารามิเตอร์พื้นฐาน

พารามิเตอร์	ขนาด
$I_s (\$/ MW)$	3001920
$n_u (units)$	12
$C_{ws} (t / km^2 yr)$	30000
δ	115
$H_b (t / km^2 yr)$	4.5
$C_{bs} (\$/ t)$	50
$C_{ts} (\$/ t km)$	30
$p_e (\$/ MWh)$	55
$p_t (\$/ MWh)$	65
i	0.1
R	21.5

ตารางที่ 4.17 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.5$

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{Total, Loss})$
1	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
2	1	เศษไม้	5	40	3.770
3	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
4	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
5	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
6	1	ซังข้าวโพด	2	70	4.213
7	1	เศษไม้	2	40	3.770
8	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
9	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
10	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
11	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080

ตารางที่ 4.17 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.5$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{Total, Loss})$
11	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080
12	1	เศษไม้	5	40	3.770
13	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
14	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
15	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
16	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
17	1	เศษไม้	5	40	3.770
18	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
19	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
20	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080
21	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
22	1	เศษไม้	5	40	3.770
23	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
24	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
25	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080
26	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	2	70	4.213
27	1	เศษไม้	5	40	3.770
28	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
29	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
30	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
31	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
32	1	เศษไม้	5	40	3.770
33	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
34	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
35	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080

ตารางที่ 4.17 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.5$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{Total, Loss})$
36	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
37	1	เศษไม้	5	40	3.770
38	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
39	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
40	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
46	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
47	1	เศษไม้	5	40	3.770
48	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.205
49	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.080
50	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
51	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
52	1	เศษไม้	5	40	3.770
53	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.080
54	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.205
55	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
56	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
57	1	เศษไม้	5	40	3.770
58	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.205
59	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.080
60	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080

ตารางที่ 4.17 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.5$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{Total, Loss})$
61	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
62	1	เศษไม้	5	40	3.770
63	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
64	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
65	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
66	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
67	1	เศษไม้	5	40	3.770
68	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
69	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
70	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
71	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	4.213
72	1	เศษไม้	5	40	3.770
73	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
74	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
75	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
76	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
77	1	เศษไม้	5	40	3.770
78	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
79	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
80	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080

ตารางที่ 4.17 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.5$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{Total, Loss})$
81	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
82	1	เศษไม้	5	40	3.770
83	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
84	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
85	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
86	1	ซังข้าวโพด	2	70	4.213
87	1	เศษไม้	5	40	3.770
88	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
89	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
90	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
91	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080
92	1	เศษไม้	5	40	3.770
93	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
94	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
95	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
96	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
97	1	เศษไม้	5	40	3.770
98	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
99	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	4.080
100	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	4.080

ตารางที่ 4.17 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.5$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{Total, Loss})$
101	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
102	1	เศษไม้	5	40	3.770
103	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080
104	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
105	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
106	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
107	1	เศษไม้	5	40	3.770
108	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080
109	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
110	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
111	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205
112	1	เศษไม้	5	40	3.770
113	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	4.080
114	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
115	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080
116	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	2	70	4.213
117	1	เศษไม้	5	40	3.770
118	1	ซังข้าวโพด	5	70	4.080
119	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	4.080
120	1	กากปาล์ม	2	24.3	4.205

จากตารางที่ 4.17 แสดงผลการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า 69 บัส ทั้งหมด 120 แบบ โดยอาศัยวิธีเทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการที่ 4.17 ที่คำนึงถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงในระบบและตัวบ่งชี้ความได้เปรียบ เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุล

ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $\alpha = 0.5$ ซึ่งจะพบว่า ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่าย 69 บัส ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ตำแหน่งบัสที่ 5 และ บัสที่ 2 ในทำนองเดียวกัน ผลการค้นหาคำแนะนำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่าย 69 บัส ทั้ง 120 แบบ กรณีที่กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $\alpha = 0.8$ และ $\alpha = 0.99999$ แสดงดังตารางที่ 4.18 และตารางที่ 4.19 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 4.18 ผลการหาคำแนะนำที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.8$

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	F(PL,P _{loss})
1	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
2	1	เศษไม้	5	40	2.198
3	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
4	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
5	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
6	1	ซังข้าวโพด	2	70	2.375
7	1	เศษไม้	2	40	2.198
8	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
9	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
10	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
11	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
12	1	เศษไม้	5	40	2.198
13	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
14	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
15	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
16	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
17	1	เศษไม้	5	40	2.198
18	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
19	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322

ตารางที่ 4.18 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.8$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	F(PI, P _{loss})	BUS	MW	F(PI, P _{loss})
20	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
21	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
22	1	เศษไม้	5	40	2.198
23	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
24	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
25	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
26	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	2	70	2.375
27	1	เศษไม้	5	40	2.198
28	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
29	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
30	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
31	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
32	1	เศษไม้	5	40	2.198
33	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
34	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
35	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
36	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	2.322
37	1	เศษไม้	5	40	2.198
38	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
39	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
40	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322

ตารางที่ 4.18 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.8$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
41	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
42	1	เศษไม้	5	40	2.198
43	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
44	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
45	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
46	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
47	1	เศษไม้	5	40	2.198
48	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
49	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
50	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
51	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
52	1	เศษไม้	5	40	2.198
53	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
54	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
55	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
56	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
57	1	เศษไม้	5	40	2.198
58	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
59	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
60	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322

ตารางที่ 4.18 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.8$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
61	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
62	1	เศษไม้	5	40	2.198
63	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
64	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
65	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
66	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
67	1	เศษไม้	5	40	2.198
68	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
69	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
70	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
71	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	2.375
72	1	เศษไม้	5	40	2.198
73	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
74	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
75	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
76	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
77	1	เศษไม้	5	40	2.198
78	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
79	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
80	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322

ตารางที่ 4.18 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.8$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
81	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
82	1	เศษไม้	5	40	2.198
83	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
84	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
85	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
86	1	ซังข้าวโพด	2	70	2.375
87	1	เศษไม้	5	40	2.198
88	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
89	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
90	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
91	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322
92	1	เศษไม้	5	40	2.198
93	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
94	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
95	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
96	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
97	1	เศษไม้	5	40	2.198
98	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
99	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
100	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	2.322

ตารางที่ 4.18 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.8$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
101	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
102	1	เศษไม้	5	40	2.198
103	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
104	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
105	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
106	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
107	1	เศษไม้	5	40	2.198
108	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
109	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
110	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
111	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372
112	1	เศษไม้	5	40	2.198
113	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	2.322
114	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
115	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
116	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	2.375
117	1	เศษไม้	5	40	2.198
118	1	ซังข้าวโพด	5	70	2.322
119	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	2.322
120	1	กากปาล์ม	2	24.3	2.372

ตารางที่ 4.19 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.99999$

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
1	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
2	1	เศษไม้	5	40	1.15061
3	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
4	1	เส้นใยกะตาะตลยปาล์ม	5	70	1.15067
5	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
6	1	ซังข้าวโพด	2	70	1.15069
7	1	เศษไม้	2	40	1.15061
8	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
9	1	เส้นใยกะตาะตลยปาล์ม	5	70	1.15067
10	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
11	1	เส้นใยกะตาะตลยปาล์ม	5	70	1.15067
12	1	เศษไม้	5	40	1.15061
13	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
14	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
15	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
16	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
17	1	เศษไม้	5	40	1.15061
18	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
19	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
20	1	เส้นใยกะตาะตลยปาล์ม	5	70	1.15067

ตารางที่ 4.19 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.99999$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	F(PI,P _{loss})	BUS	MW	F(PI,P _{loss})
21	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
22	1	เศษไม้	5	40	1.15061
23	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
24	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
25	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
26	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	2	70	1.15069
27	1	เศษไม้	5	40	1.15061
28	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
29	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
30	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
31	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
32	1	เศษไม้	5	40	1.15061
33	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
34	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
35	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
36	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
37	1	เศษไม้	5	40	1.15061
38	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
39	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
40	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067

ตารางที่ 4.19 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.99999$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
41	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	1.15067
42	1	เศษไม้	5	40	1.15061
43	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
44	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
45	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
46	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	1.15067
47	1	เศษไม้	5	40	1.15061
48	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
49	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
50	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
51	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
52	1	เศษไม้	5	40	1.15061
53	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
54	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
55	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	1.15067
56	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
57	1	เศษไม้	5	40	1.15061
58	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
59	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
60	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	1.15067

ตารางที่ 4.19 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.99999$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
61	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
62	1	เศษไม้	5	40	1.15061
63	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
64	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
65	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	1.15067
66	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
67	1	เศษไม้	5	40	1.15061
68	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
69	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	1.15067
70	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
71	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	2	70	1.15069
72	1	เศษไม้	5	40	1.15061
73	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
74	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
75	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
76	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
77	1	เศษไม้	5	40	1.15061
78	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
79	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
80	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	1.15067

ตารางที่ 4.19 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.99999$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
81	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
82	1	เศษไม้	5	40	1.15061
83	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
84	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
85	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	1.15067
86	1	ซังข้าวโพด	2	70	1.15069
87	1	เศษไม้	5	40	1.15061
88	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
89	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	1.15067
90	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
91	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
92	1	เศษไม้	5	40	1.15061
93	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
94	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	1.15067
95	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
96	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
97	1	เศษไม้	5	40	1.15061
98	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
99	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	1.15067
100	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067

ตารางที่ 4.19 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.99999$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
101	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
102	1	เศษไม้	5	40	1.15061
103	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
104	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
105	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
106	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
107	1	เศษไม้	5	40	1.15061
108	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
109	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
110	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
111	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069
112	1	เศษไม้	5	40	1.15061
113	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	1.15067
114	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
115	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
116	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	1.15069
117	1	เศษไม้	5	40	1.15061
118	1	ซังข้าวโพด	5	70	1.15067
119	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	1.15067
120	1	กากปาล์ม	2	24.3	1.15069

ตารางที่ 4.20 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.001$

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PL, P_{loss})$
1	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
2	1	เศษไม้	5	40	6.38476
3	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
4	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
5	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
6	1	ซังข้าวโพด	2	70	7.27177
7	1	เศษไม้	2	40	6.38476
8	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
9	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
10	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
11	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
12	1	เศษไม้	5	40	6.38476
13	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
14	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
15	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
16	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
17	1	เศษไม้	5	40	6.38476
18	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
19	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
20	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533

ตารางที่ 4.20 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.001$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
21	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
22	1	เศษไม้	5	40	6.38476
23	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
24	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
25	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
26	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	2	70	7.27177
27	1	เศษไม้	5	40	6.38476
28	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
29	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
30	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
31	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
32	1	เศษไม้	5	40	6.38476
33	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
34	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
35	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
36	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	7.00533
37	1	เศษไม้	5	40	6.38476
38	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
39	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
40	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533

ตารางที่ 4.20 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.001$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
41	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533
42	1	เศษไม้	5	40	6.38476
43	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
44	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
45	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
46	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533
47	1	เศษไม้	5	40	6.38476
48	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
49	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
50	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
51	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
52	1	เศษไม้	5	40	6.38476
53	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
54	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
55	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533
56	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
57	1	เศษไม้	5	40	6.38476
58	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
59	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
60	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533

ตารางที่ 4.20 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.001$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
61	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
62	1	เศษไม้	5	40	6.38476
63	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
64	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
65	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
66	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
67	1	เศษไม้	5	40	6.38476
68	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
69	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
70	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
71	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	7.27177
72	1	เศษไม้	5	40	6.38476
73	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
74	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
75	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
76	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
77	1	เศษไม้	5	40	6.38476
78	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
79	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
80	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533

ตารางที่ 4.20 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.001$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
81	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
82	1	เศษไม้	5	40	6.38476
83	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
84	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
85	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
86	1	ซังข้าวโพด	2	70	7.27177
87	1	เศษไม้	5	40	6.38476
88	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
89	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
90	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
91	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533
92	1	เศษไม้	5	40	6.38476
93	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
94	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
95	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
96	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
97	1	เศษไม้	5	40	6.38476
98	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
99	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
100	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	7.00533

ตารางที่ 4.20 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.001$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
101	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
102	1	เศษไม้	5	40	6.38476
103	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533
104	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
105	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
106	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
107	1	เศษไม้	5	40	6.38476
108	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533
109	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
110	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
111	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398
112	1	เศษไม้	5	40	6.38476
113	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	7.00533
114	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
115	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533
116	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	7.27177
117	1	เศษไม้	5	40	6.38476
118	1	ซังข้าวโพด	5	70	7.00533
119	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	7.00533
120	1	กากปาล์ม	2	24.3	7.25398

ตารางที่ 4.21 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.1$

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
1	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
2	1	เศษไม้	5	40	5.86600
3	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
4	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
5	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
6	1	ซังข้าวโพด	2	70	6.66511
7	1	เศษไม้	2	40	5.86600
8	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
9	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
10	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
11	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
12	1	เศษไม้	5	40	5.86600
13	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
14	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
15	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
16	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
17	1	เศษไม้	5	40	5.86600
18	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
19	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
20	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508

ตารางที่ 4.21 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.1$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
21	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
22	1	เศษไม้	5	40	5.86600
23	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
24	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
25	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
26	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	2	70	6.66511
27	1	เศษไม้	5	40	5.86600
28	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
29	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
30	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
31	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
32	1	เศษไม้	5	40	5.86600
33	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
34	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
35	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
36	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
37	1	เศษไม้	5	40	5.86600
38	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
39	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
40	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508

ตารางที่ 4.21 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.1$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
41	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508
42	1	เศษไม้	5	40	5.86600
43	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
44	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
45	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
46	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508
47	1	เศษไม้	5	40	5.86600
48	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
49	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
50	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
51	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
52	1	เศษไม้	5	40	5.86600
53	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
54	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
55	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508
56	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
57	1	เศษไม้	5	40	5.86600
58	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
59	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
60	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508

ตารางที่ 4.21 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.1$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
61	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
62	1	เศษไม้	5	40	5.86600
63	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
64	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
65	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
66	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
67	1	เศษไม้	5	40	5.86600
68	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
69	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
70	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
71	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	6.66511
72	1	เศษไม้	5	40	5.86600
73	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
74	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
75	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
76	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
77	1	เศษไม้	5	40	5.86600
78	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
79	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
80	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508

ตารางที่ 4.21 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.1$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
81	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
82	1	เศษไม้	5	40	5.86600
83	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
84	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
85	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
86	1	ซังข้าวโพด	2	70	6.66511
87	1	เศษไม้	5	40	5.86600
88	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
89	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
90	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
91	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508
92	1	เศษไม้	5	40	5.86600
93	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
94	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
95	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
96	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
97	1	เศษไม้	5	40	5.86600
98	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
99	1	เหง้ำมันสำปะหลัง	5	70	6.42508
100	1	เส้นใยกะลาทะลายปาล์ม	5	70	6.42508

ตารางที่ 4.21 ผลการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส เมื่อติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณี $\alpha = 0.1$ (ต่อ)

แบบที่	ผลการจำลองวัตถุดิบ				ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์
	พื้นที่	วัตถุดิบ	BUS	MW	$F(PI, P_{loss})$
101	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
102	1	เศษไม้	5	40	5.86600
103	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508
104	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
105	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
106	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
107	1	เศษไม้	5	40	5.86600
108	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508
109	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
110	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
111	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909
112	1	เศษไม้	5	40	5.86600
113	1	เหง้ามันสำปะหลัง	5	70	6.42508
114	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
115	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508
116	1	เหง้ามันสำปะหลัง	2	70	6.66511
117	1	เศษไม้	5	40	5.86600
118	1	ซังข้าวโพด	5	70	6.42508
119	1	เส้นใยกะลาทะเลลายปาล์ม	5	70	6.42508
120	1	กากปาล์ม	2	24.3	6.64909

4.6 สรุป

การหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของการจำหน่ายไฟฟ้าแก่ระบบถือว่ามีความสำคัญ เนื่องจากหากติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมก็จะส่งผลให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่สูง ดังนั้น เนื้อหาในบทนี้จึงนำเสนอการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยวิธีเทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพวิธีการหนึ่ง ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงในระบบเพียงอย่างเดียว และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่านึงถึงค่าตัวบ่งชี้วัดความได้เปรียบ ซึ่งพิจารณาเกี่ยวกับเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเงินค่าขนส่งวัตถุดิบชีวมวล และจากการดำเนินการค้นหา พบว่า สามารถค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลได้ทุกรูปแบบของระบบไฟฟ้ากำลังที่ทำการทดสอบ



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม โดยงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เริ่มจากการค้นคว้าปรัทศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในอดีตที่ผ่านมาเกี่ยวกับการจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล ทฤษฎีและสมมุติฐานพร้อมทั้งข้อดีข้อเสียของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ การหาผลเฉลยอาศัยระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์นิวตัน-ราฟสัน นอกจากนี้ยังนำเสนอเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งถือเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพที่ใช้สำหรับการค้นหาค่าเหมาะสมที่สุดของปัญหาทางวิศวกรรมต่าง ๆ โดยรายละเอียดของกระบวนการค้นหาของอัลกอริทึมดังกล่าวและการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3

การจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจายและการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยวิธีเทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาประกอบด้วย ระบบ IEEE 30 บัส ซึ่งเป็นระบบทดสอบการไหลของกำลังไฟฟ้า ระบบ IEEE 39 บัส ซึ่งเป็นระบบทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระบบ IEEE 69 บัสที่เป็นระบบทดสอบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้มุ่งเน้นถึงวัตถุประสงค์คือการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบให้มีค่าต่ำที่สุด และนอกจากนี้ยังได้มีการนำค่าตัวบ่งชี้วัดความได้เปรียบมาพิจารณาร่วมกับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของระบบอีกด้วย และดำเนินการพิจารณาแบบจำลองในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งหมด 120 แบบ ในแต่ละระบบกำลังไฟฟ้าที่พิจารณา โดยจากการค้นหาค่าตำแหน่งที่

เหมาะสมดังกล่าว พบว่า ได้คำตอบที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต่ำที่สุดในรูปแบบต่าง ๆ ที่นำมาพิจารณาได้ ซึ่งทำให้ทราบถึงขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลและวัตถุดิบที่ใช้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการทดสอบ โดยอาศัยแบบจำลองของระบบที่นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ สำหรับการขยายผลของการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลภายในประเทศในอนาคตอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตการศึกษาจะพบว่า ถ้ามีการพิจารณาองค์ประกอบเพิ่มเติมจะส่งผลให้การศึกษามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยองค์ประกอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังจริงนั้นต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบอื่นเพิ่มขึ้นเช่น ขนาดพื้นที่ในการก่อสร้างภูมิประเทศ แหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นต้น

2. การพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ควรมีการศึกษาจุดคุ้มทุนก่อนสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยพิจารณาองค์ประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องเช่น ราคาที่ดินในการก่อสร้าง ค่าขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล ต้นทุนการผลิต ปริมาณของวัตถุดิบ จะต้องให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด ซึ่งควรทำการศึกษาความเป็นไปได้อย่างละเอียด เป็นต้น

3. การพิจารณาด้านระบบไฟฟ้ากำลัง ควรมีการศึกษาหลายด้านเช่น ระยะทางของสายส่งไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเข้ากับระบบของการไฟฟ้า เพื่อจะทำให้ทราบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีของการส่งจ่ายไฟฟ้า หากมีการติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดเล็กผิวดำเนินการ ก็จะส่งผลให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่าย แต่หากนำไปปฏิบัติจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น ความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า หากมีการเพิ่มจำนวนโหนดมากขึ้น จะทำให้เกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสินค้าเป็นจำนวนมาก

ดังนั้นในการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล การคัดเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยทั่วไปควรอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบและควรอยู่ห่างจากชุมชน เพื่อลดผลกระทบระหว่างการก่อสร้าง เพราะว่าหลังจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลแล้วเสร็จ มวลสารที่มาจากโรงไฟฟ้าชีวมวลส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยฝุ่นละอองและไนโตรเจนออกไซด์ ที่ต้องควบคุมให้อยู่เกณฑ์มาตรฐาน

รายการอ้างอิง

ธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์ “Power plant and Substation” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
นศรราชสีมา 2548.

ธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์ “การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
นศรราชสีมา 2549.

ธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์ “เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุด” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
นศรราชสีมา 2550.

สดุติ สกุดดี. **Optimal placement of biomass power plant by tabu search approach**

สุวัจน์ชัย พันธุ์ศรี. Optimal allocation of biomass power plant by simulated annealing approach.

Areerak, K-N., Kulworawanichpong, T., and Sujitjorn, S. (2004). **Moving Towards a New Era of Intelligent Protection through Digital Relaying in Power Systems.” LNCS. vol. 3213**
pp. 1255-1261. Springer-Verlag, Heidelberg

C.A. Roa-Sepulveda, B.J. Pavez-Lazo, (2003) . A solution to the optimal power flow using
simulated annealing. **International Journal of Electrical Power & Energy systems**, 25
January 2003,4757

Durga Gautam (2007). Optimal distributed generator placement in deregulated electricity market.
December 2007.

F, Jurado and A,Cano, “ Optimum location of biomass-fuelled gas turbines in an electric system ”
Energy Sources ,2006

Greyson, K.A., and Oonsivilai, A. (2009) Measurement loss effect on power system state
estimation. Robotics and Biomimetics, . ROBIO 2009. **IEEE International Conference**,
pp. 883-888.

Greyson, K.A., and Oonsivilai, A. (2009) Identification of critical measurements in the power
system network. **Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE '09. IEEE/PES**, pp. 1-6.

H.L.Willis, H.Tram M.V. Engle, and L. Finley, “ Optimization applications to power
distribution,” **IEEE Computer Applications in Power**, vol.8, pp. 12-17, Oct.1995.

- H.L. Willis and W.G. Scott , **Distributed power generation** , New York : Marcel Dekker , 2000.
- Kulworawanichpong, T. and Sujitjorn, S. (2002). Optimal power flow using Tabu search. **IEEE Power Engineering Review, Power Engineering Letter**. 37- 40.
- Kulworawanichpong, T., Areerak, K-L., Areerak K-N., and Sujitjorn, S.(2004) Harmonic Identification for Active Power Filters Via Adaptive Tabu Search Method.” **LNCS**. vol. 3215. pp. 687-694 Springer-Verlag, Heidelberg.
- Kulworawanichpong, T., Areerak, K-L., Areerak K-N., Pao-la-or, P., Puangdownreong, D., and Sujitjorn, S.(2005) Dynamic parameter identification of induction motors using intelligent search techniques In IASTED. **International Conference on Modelling, Identification, and Control (MIC2005)**, pp. 328-332, Innsbruck, Austria
- Leeton, U., Uthitsunthorn, D., Kwannetr, U., Sinsuphun, N., and Kulworawanichpong, T.(2010) Power loss minimization using optimal power flow based on particle swarm optimization. **In International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)**, pp. 440-444, Chaing Mai, Thailand
- Narongrit, T., Areerak, K-L., and Areerak, K-N. (2010) Design of an Active Power Filter using Genetic Algorithm Technique.” **In the 9th WSEAS International Conference on Artificial Intelligent Knowledge Engineering and Data Bases (AIKED’10)**, pp. 46-50, Cambridge, United Kingdom
- Naresh A., Pukar M. and Mithulananthan N. (2006) An analytical approach for DG allocation in Primary Distribution Network. **Electricity Power & energy systems**, February
- N.S. Rau and Y.H. Wan , “ Optimum location of resources in distributed planning,” **IEEE Trans, Power System**, vol.9, pp.2014-2020, Now. 1994
- Oonsivilai, A., and Marungsri, B. (2007). Optimal PID tuning for AGC system using adaptive Tabu search.” **In Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on POWER SYSTEMS** (pp 42-47). Beijing, China : WSEAS.
- Oonsivilai, A., and Greyson, K.A. (2009). Application of sequential Response Surface Methodology to the power system state estimation. **AFRICON, 2009. AFRICON '09.**, pp.1-6

- Oonsivilai, A., and Greyson, K.A. (2009). Effect of electric power shedding on economic dispatch: Case study Tanzania. **Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference** , pp.3252-3255
- Oonsivilai, A., and Greyson, K.A. (2009). Power Ration Effect on Limited Power Generation Costs. **Intelligent Systems, 2009. GCIS '09. WRI Global Congress**, pp.374-378
- Oonsivilai, A., and Greyson, K.A. (2009). State estimation using extended SEMM in power system. **Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09. International Conference** , pp.1-6
- Oonsivilai, A., and Greyson, K.A. (2010). Negotiation model for generating units balancing in optimal dispatch based on power system contingencies using agents. **Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2010 IEEE PES**, pp.1-6
- R. Banerjee “Comparison of option for distributed generation in India,” Energy Policy, vol.34, pp.101-111, Jan. 2006.
- Sujitjorn, S., Kulworawanichpong T., and Puangdownreong, D. and Areerak, K-N. (2006). Adaptive Tabu Search and Applications in Engineering Design.” Book Chapters **in Integrated Intelligent Systems for Engineering Design (ed. X. F. Zha and R..J. Howlett), IOS Press**, pp. 233-257, Netherlands
- Tuba Gozel M. Hakan Hocaoglu Ulas Eminoglu Abdulkadir Balikci (2003). Optimal placement and sizing of Distribute Generation on Radial Feeder with Different static Load Models. **In ternational Conference on Future Power Systems**, November
- W.G. Scott, “Micro turbine generators for distribution system,” **IEEE Industry Applications Magazine** vol.4, pp.57-62, May-June 1998.

ภาคผนวก ก

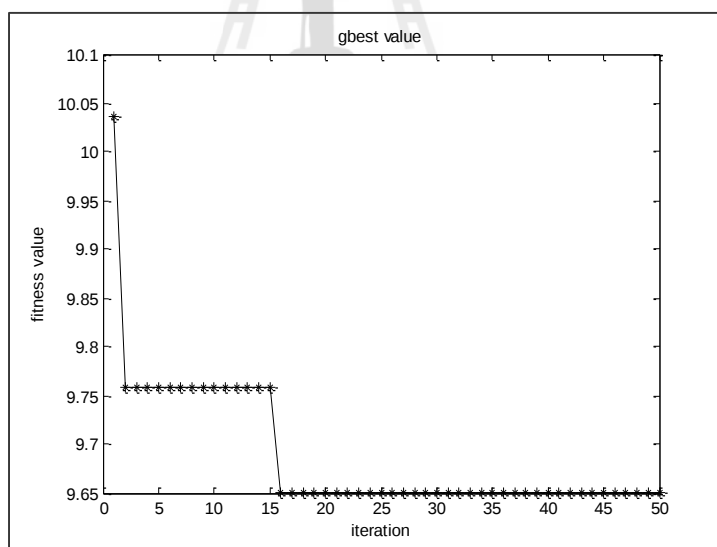
ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ
การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 30 บัส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส

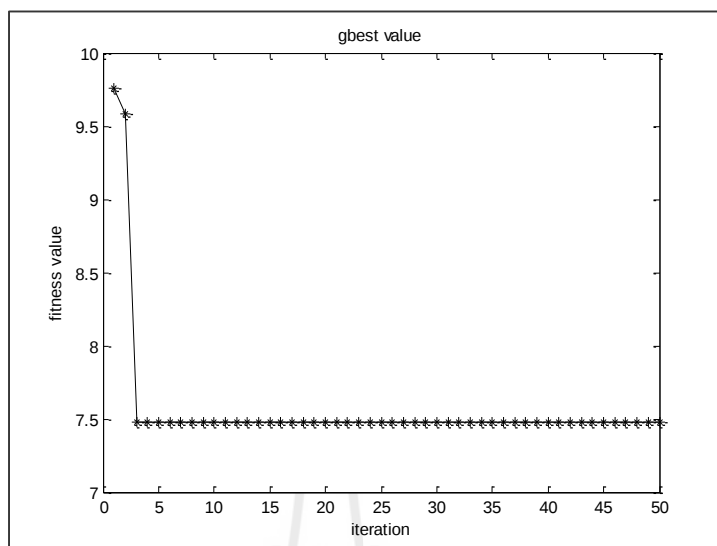
ผลการค้นหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 30 บัส ซึ่งเป็นระบบการไหลของกำลังไฟฟ้า จากการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอัลกอริทึมของการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ภายใต้อข้อมูลในตารางที่ 4.5 ในบทที่ 4 และดำเนินการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมดังกล่าวในรูปแบบที่ 1 ของ ตารางที่ 4.5 แสดงได้ดังรูปที่ ก.1 ซึ่งแสดงการลู่เข้าของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (fitness value) ในจำนวนรอบการค้นหาสูงสุดเท่ากับ 50 และในทำนองเดียวกันในรูปที่ ก.2 ถึง รูปที่ ก.10 แสดงการลู่เข้าของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปแบบที่ 2 ถึง 10 ตามตารางที่ 4.5 ซึ่งนำมาเสนอเพื่อเป็นตัวอย่างของกระบวนการค้นหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

แบบที่ 1: Power Losses = 9.6504 MW บัสที่ 11



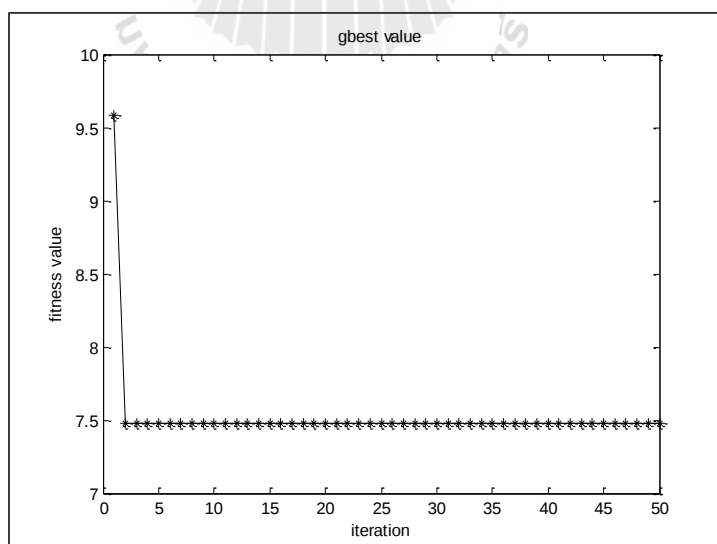
รูปที่ 1.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 1

แบบที่ 2: Power Losses = 7.4775 MW บัสที่ 8



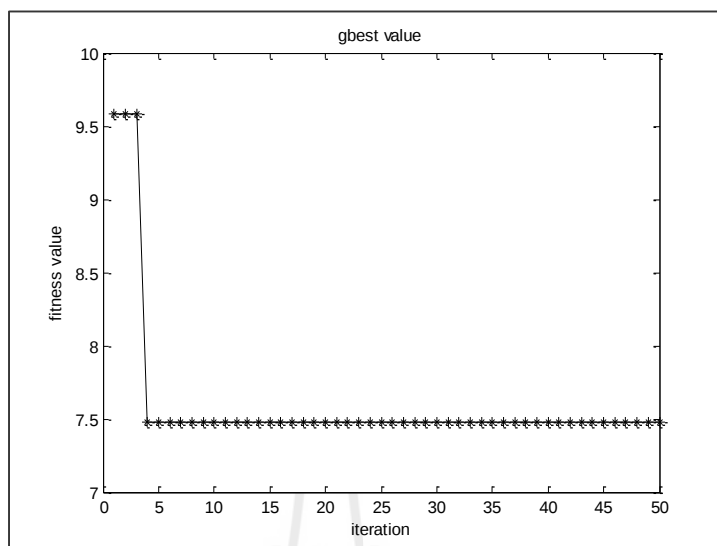
รูปที่ 2.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 2

แบบที่ 3: Power Losses = 7.4775 MW บัสที่ 8



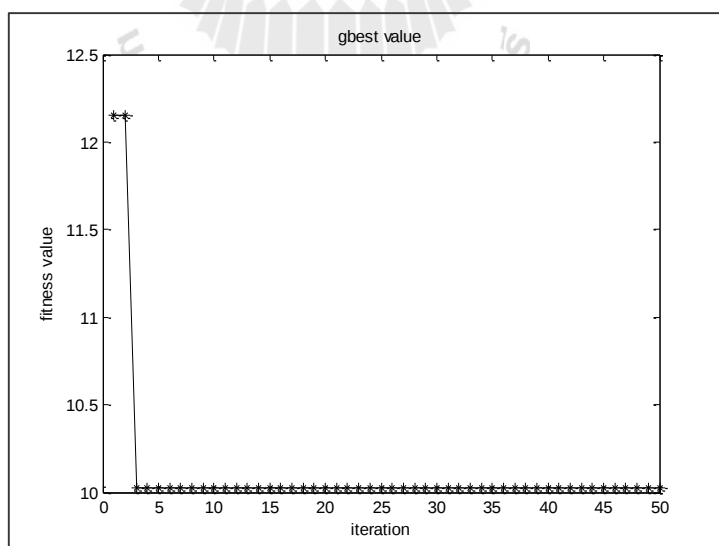
รูปที่ 3.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 3

แบบที่ 4: Power Losses = 7.4775 MW บัสที่ 8



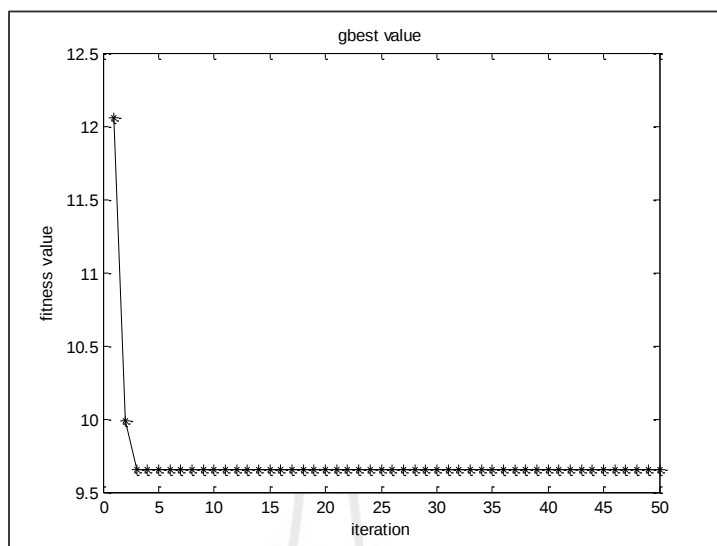
รูปที่ 4.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 4

แบบที่ 5: Power Losses = 10.0243 MW บัสที่ 28



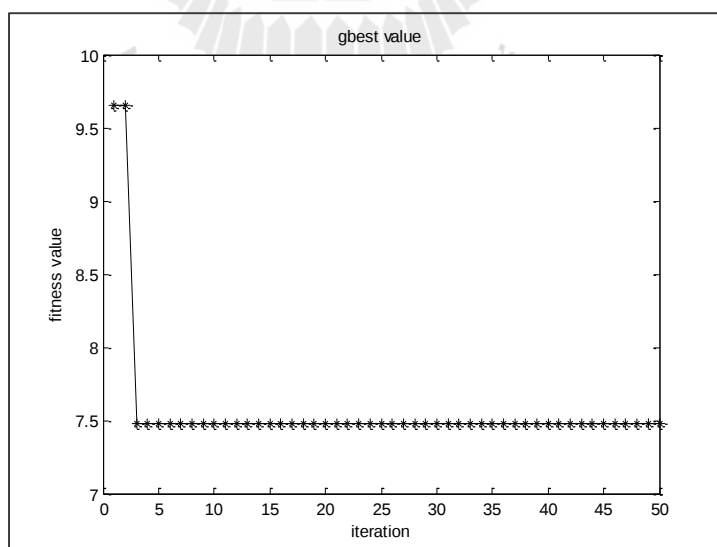
รูปที่ 5.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 5

แบบที่ 6: Power Losses = 9.6504 MW บัสที่ 11



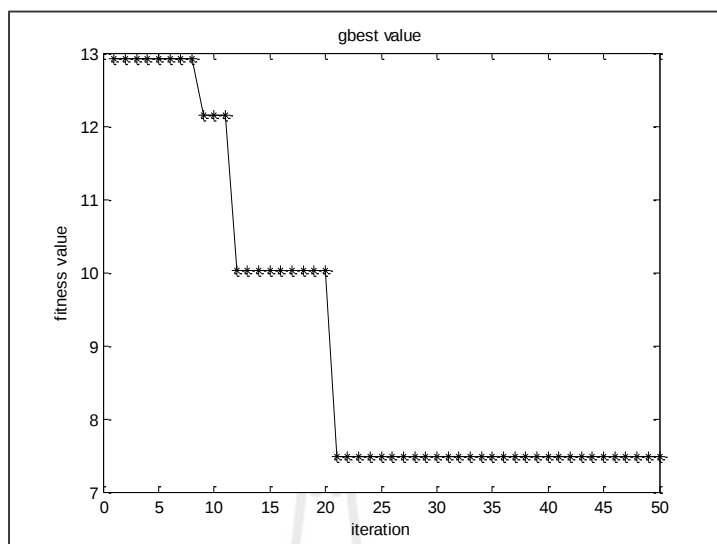
รูปที่ 6.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 6

แบบที่ 7: Power Losses = 7.4775 MW บัสที่ 8



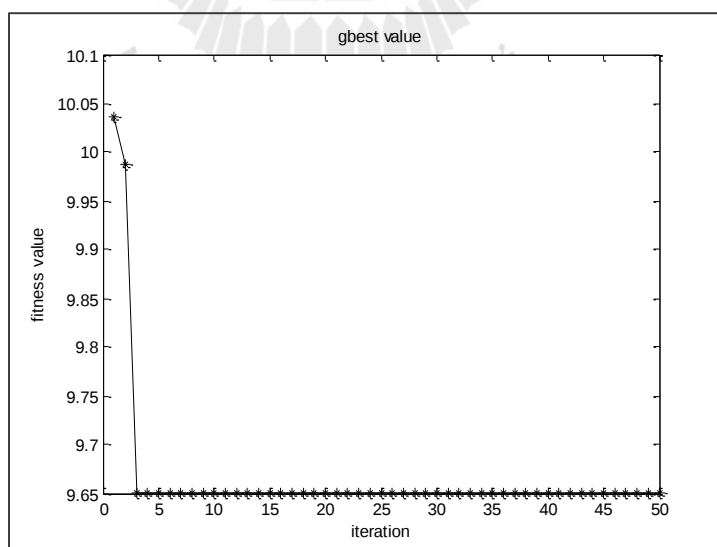
รูปที่ 7.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 7

แบบที่ 8: Power Losses = 7.4775 MW บัสที่ 8



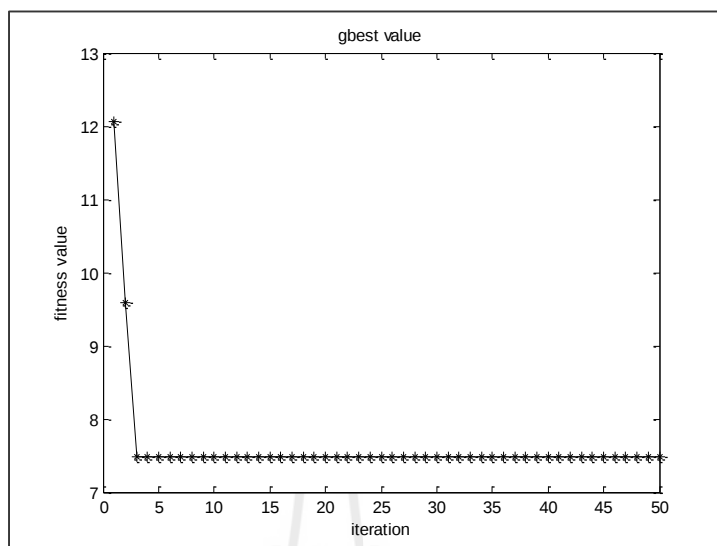
รูปที่ 8.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 8

แบบที่ 9: Power Losses = 9.6504 MW บัสที่ 11



รูปที่ 9.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 9

แบบที่ 10: Power Losses = 7.4775 MW บัสที่ 8

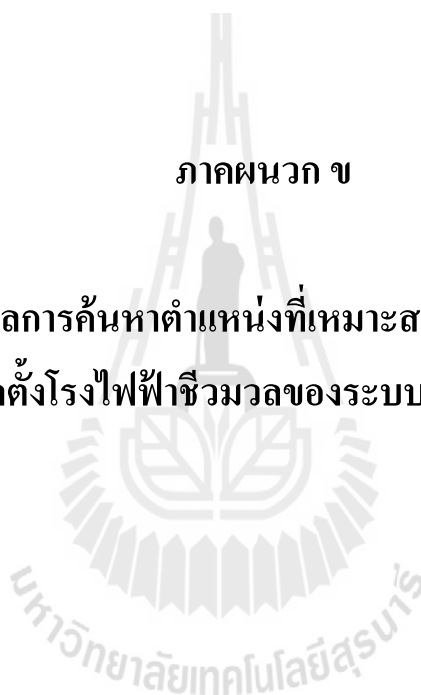


รูปที่ 10.ก ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 30 บัส แบบที่ 10



ภาคผนวก ข

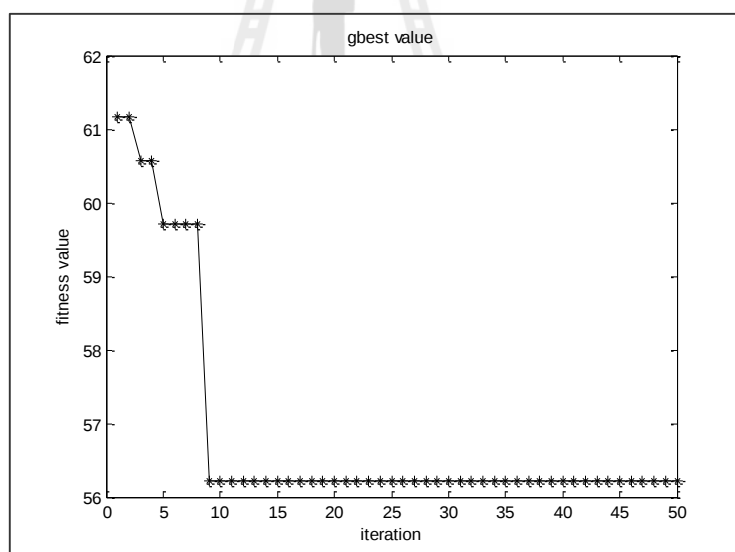
ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ
การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 39 บัส



ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส

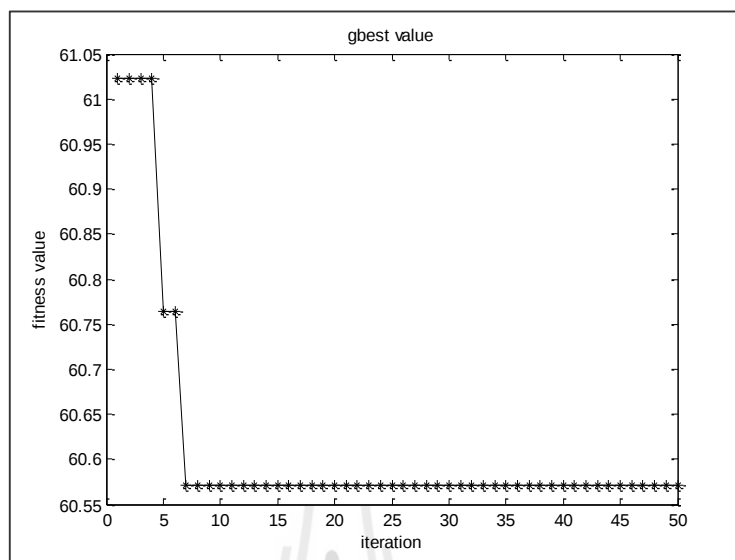
ผลการค้นหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 39 บัส ซึ่งเป็นระบบทดสอบเครื่องเนตไฟฟ้า จากการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอัลกอริทึมของการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ภายใต้อข้อมูลในตารางที่ 4.10 ในบทที่ 4 และดำเนินการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ผลการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมดังกล่าวในรูปแบบที่ 1 ของ ตารางที่ 4.10 แสดงได้ดังรูปที่ ข.1 ซึ่งแสดงการลู่เข้าของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (fitness value) ในจำนวนรอบการค้นหาสูงสุดเท่ากับ 50 และในทำนองเดียวกันในรูปที่ ข.2 ถึง รูปที่ ข.10 แสดงการลู่เข้าของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปแบบที่ 2 ถึง 10 ตามตารางที่ 4.10 ซึ่งนำมาเสนอเพื่อเป็นตัวอย่างของกระบวนการค้นหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

แบบที่ 1: Power Losses = 56.2141 MW บัสที่ 4



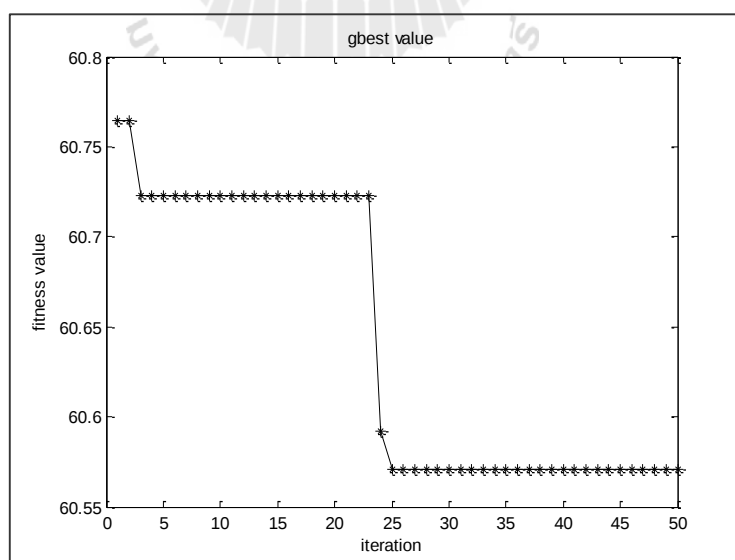
รูปที่ ข.1 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 1

แบบที่ 2: Power Losses = 60.5705 MW บัสที่ 8



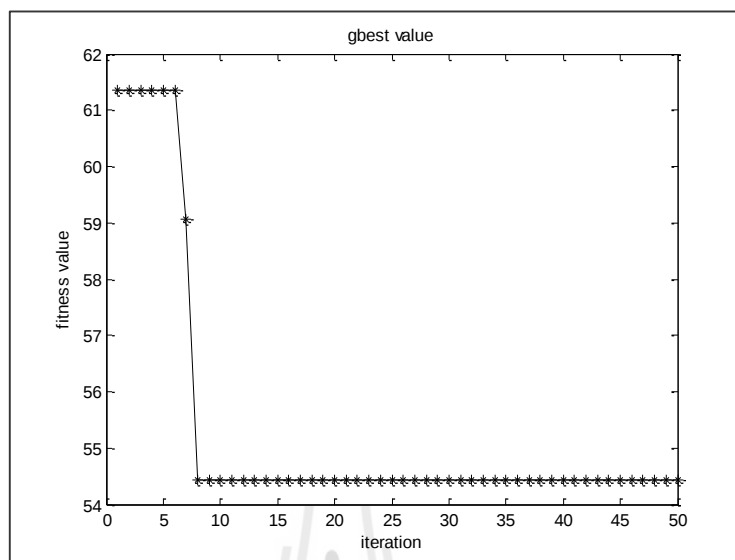
รูปที่ ข.2 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 2

แบบที่ 3: Power Losses = 60.5705 MW บัสที่ 8



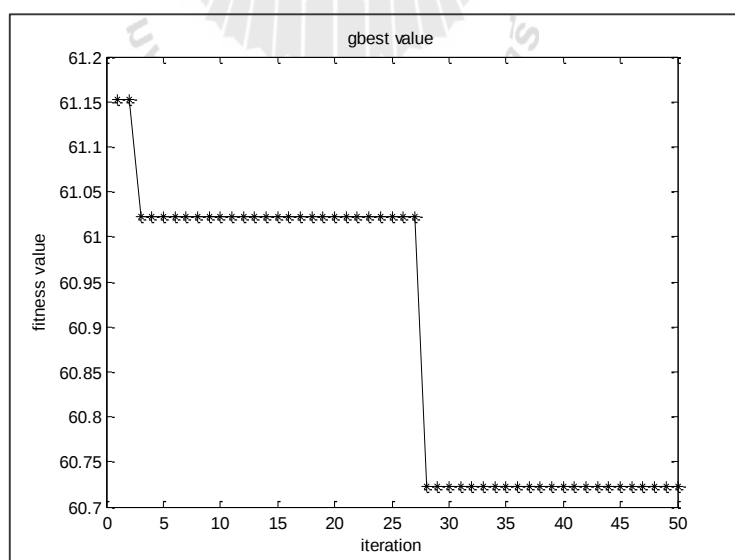
รูปที่ ข.3 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 3

แบบที่ 4: Power Losses = 54.4316 MW บัสที่ 8



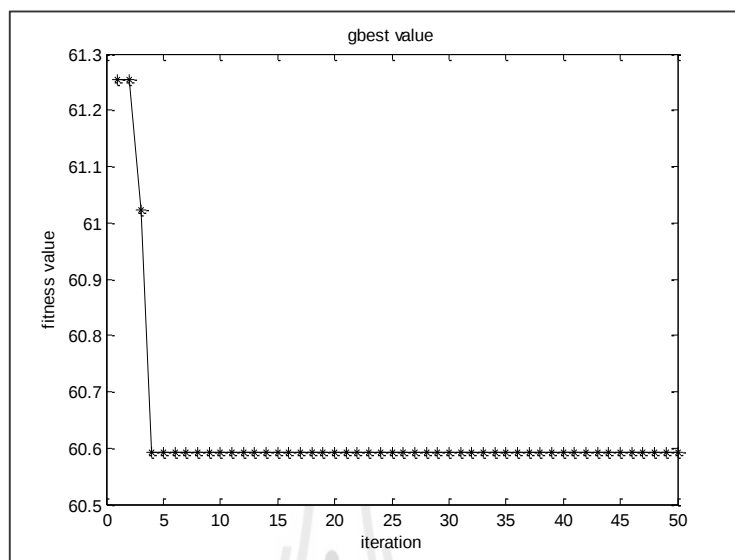
รูปที่ ข.4 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 4

แบบที่ 5: Power Losses = 60.7227 MW บัสที่ 4



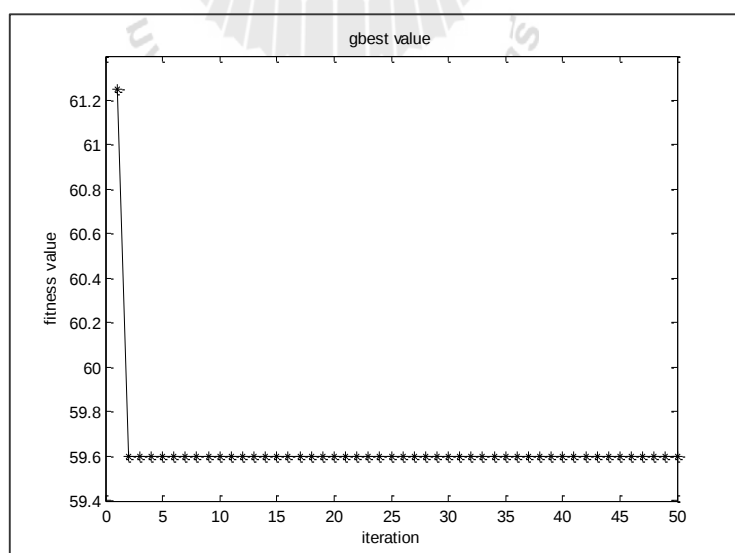
รูปที่ ข.5 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 5

แบบที่ 6: Power Losses = 60.5922 MW บัสที่ 8



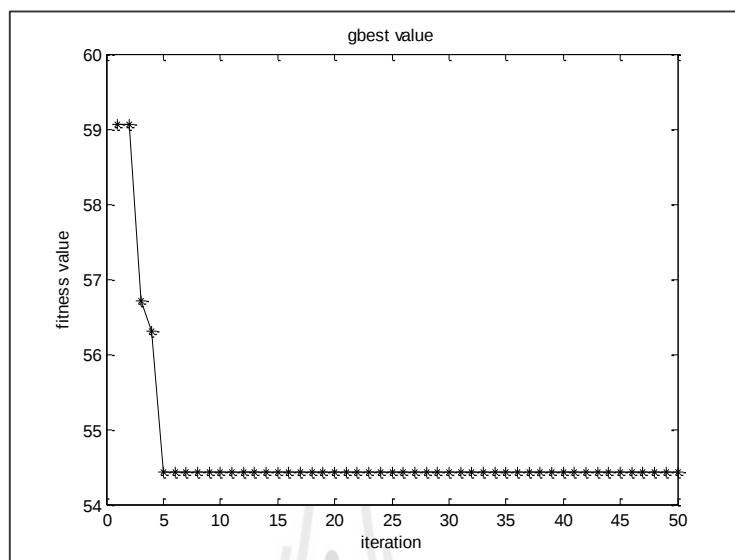
รูปที่ ข.6 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 6

แบบที่ 7: Power Losses = 59.6008 MW บัสที่ 14



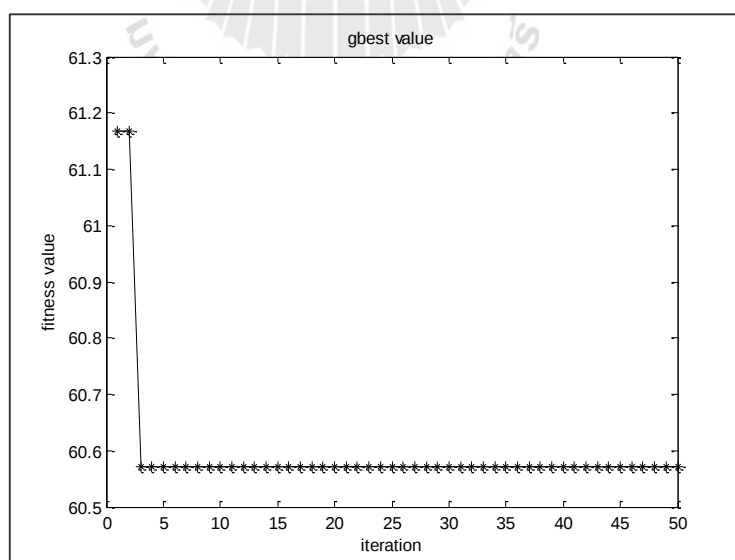
รูปที่ ข.7 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 7

แบบที่ 8: Power Losses = 54.4316 MW บัสที่ 8



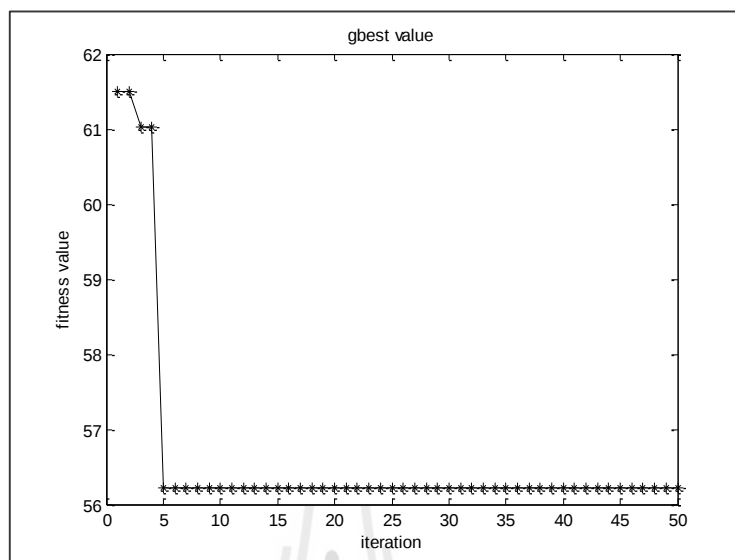
รูปที่ ข.8 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 8

แบบที่ 9: Power Losses = 60.5705 MW บัสที่ 8



รูปที่ ข.9 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 9

แบบที่ 10: Power Losses = 56.2141 MW บัสที่ 4



รูปที่ ข.10 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 39 บัส แบบที่ 10



ภาคผนวก ค

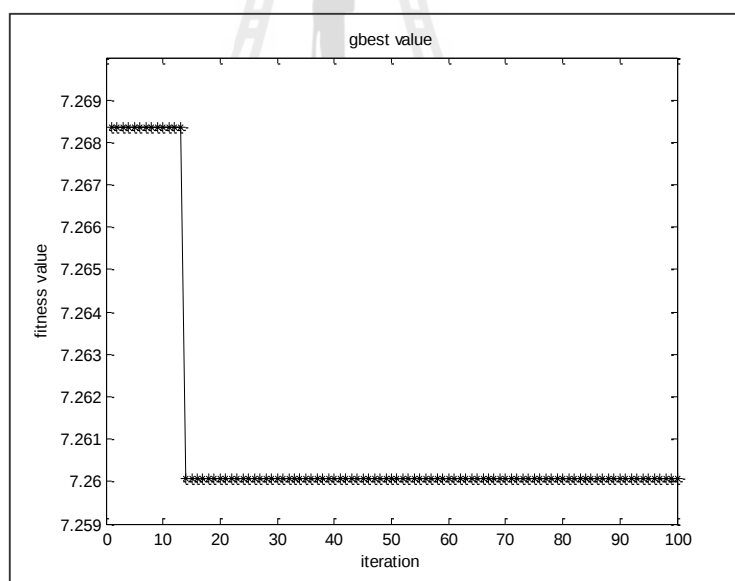
ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับ
การติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 69 บัส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส

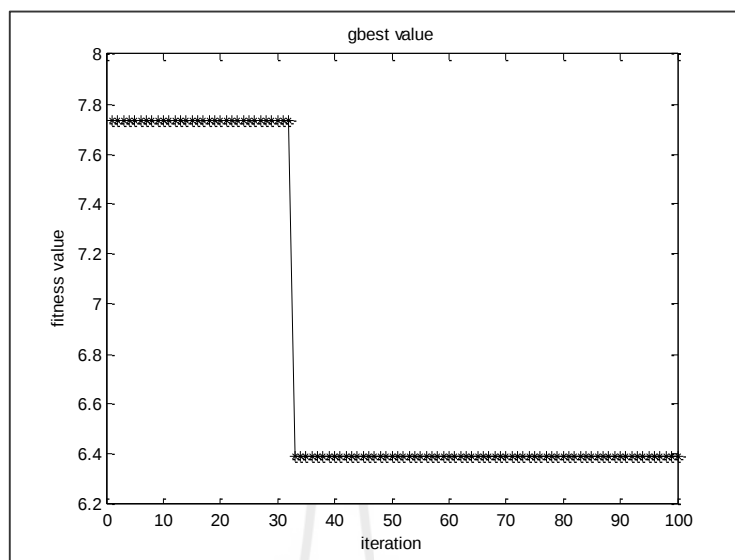
ผลการค้นหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลของระบบ IEEE 69 บัส ซึ่งเป็นระบบการจำหน่าย จากการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอัลกอริทึมของการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ภายใต้อัลกอริทึมของการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยอาศัยการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ผลการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมดังกล่าวในรูปแบบที่ 1 ของ ตารางที่ 4.14 แสดงได้ดังรูปที่ ค.1 ซึ่งแสดงการลู่เข้าของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (fitness value) ในจำนวนรอบการค้นหาสูงสุดเท่ากับ 100 และในทำนองเดียวกันในรูปที่ ค.2 ถึง รูปที่ ค.10 แสดงการลู่เข้าของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปแบบที่ 2 ถึง 10 ตามตารางที่ 4.14 ซึ่งนำมาเสนอเพื่อเป็นตัวอย่างของกระบวนการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

แบบที่ 1: Power Losses = 7.2601 MW บัสที่ 2



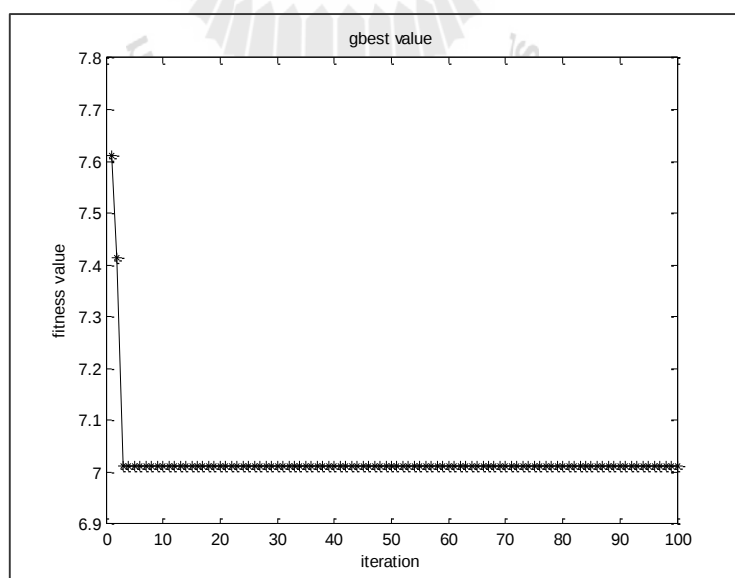
รูปที่ ค.1 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 1

แบบที่ 2: Power Losses = 6.3900 MW บัสที่ 5



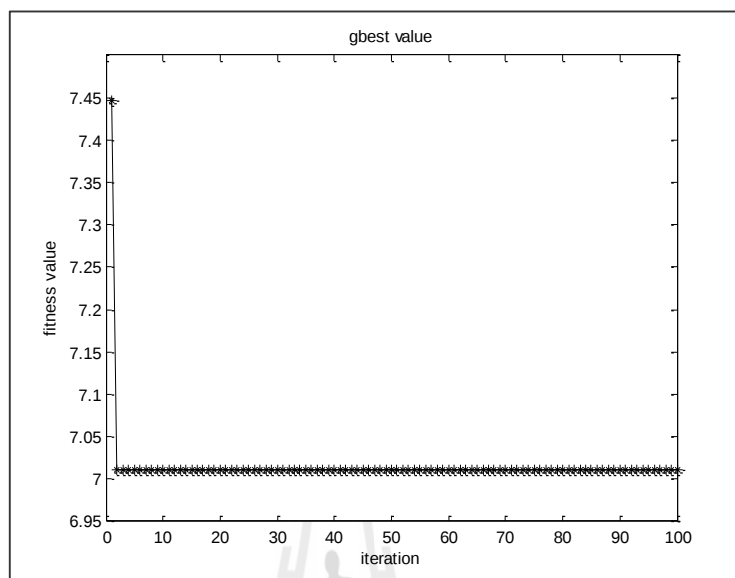
รูปที่ ค.2 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 2

แบบที่ 3: Power Losses = 7.0112 MW บัสที่ 5



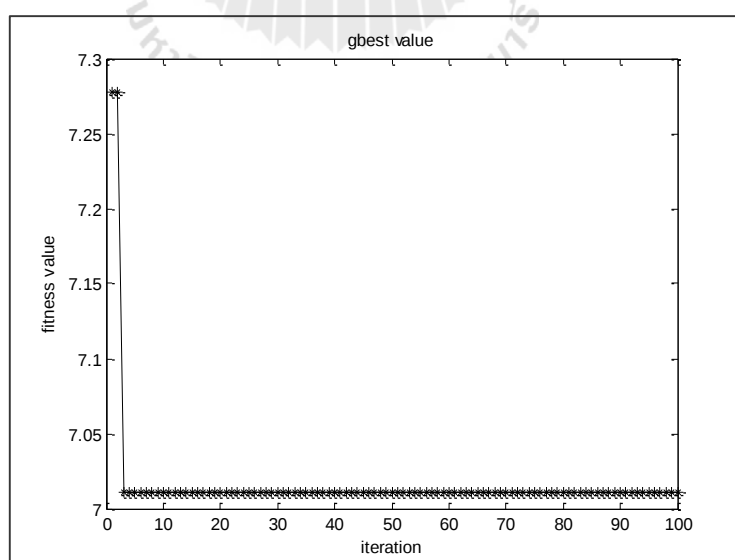
รูปที่ ค.3 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 3

แบบที่ 4: Power Losses = 7.0112 MW บัสที่ 5



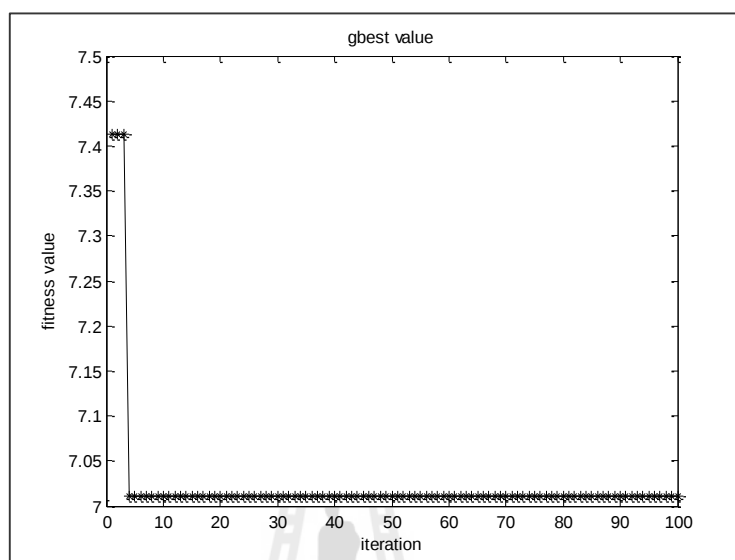
รูปที่ ค.4 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 4

แบบที่ 5: Power Losses = 7.0112 MW บัสที่ 5



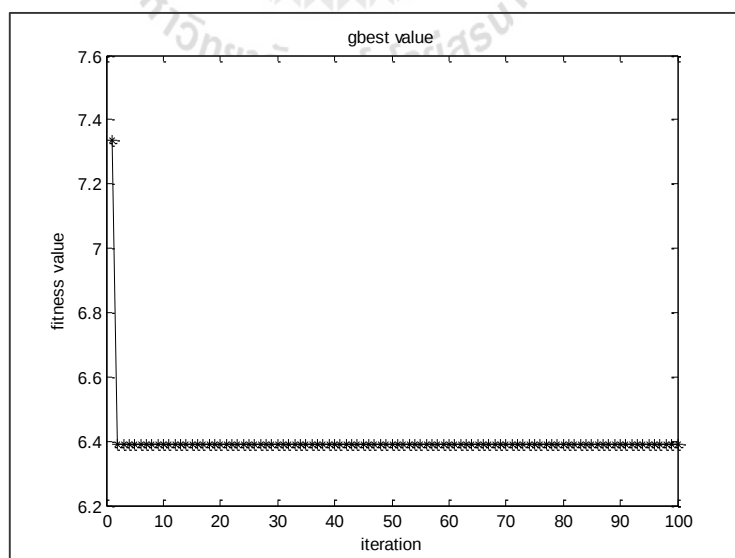
รูปที่ ค.5 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 5

แบบที่ 6: Power Losses = 7.2779 MW บัสที่ 2



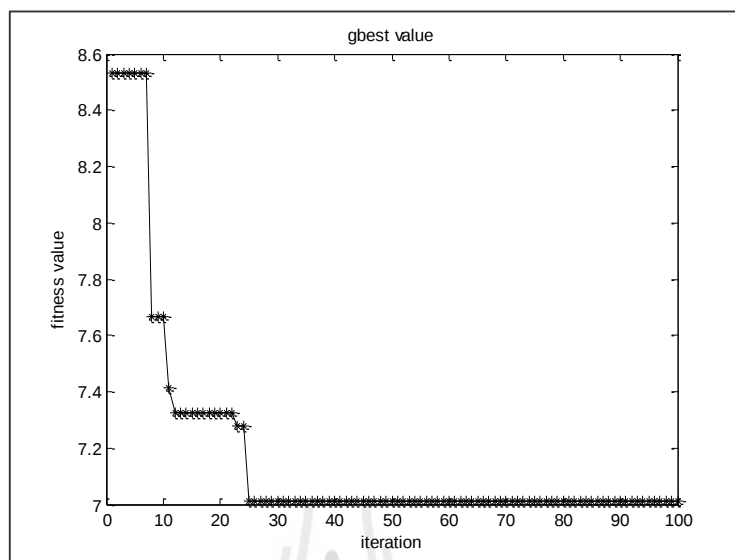
รูปที่ ก.6 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 6

แบบที่ 7: Power Losses = 6.3900 MW บัสที่ 2



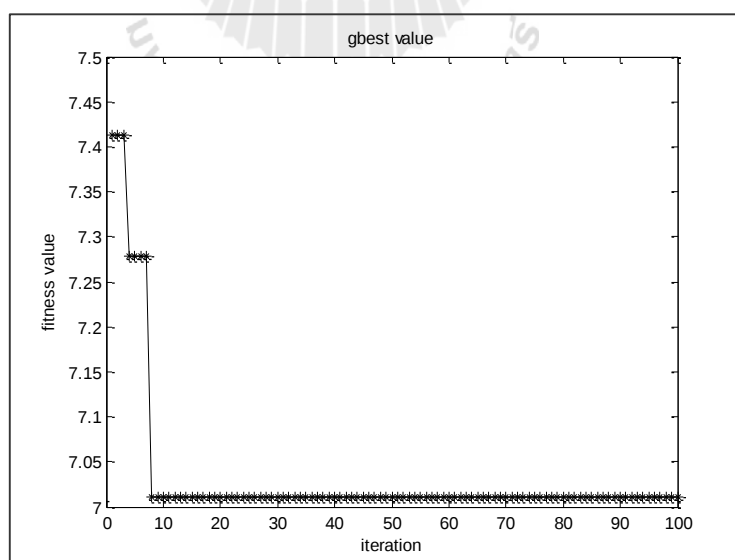
รูปที่ ก.7 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 7

แบบที่ 8: Power Losses = 7.0112 MW บัสที่ 5



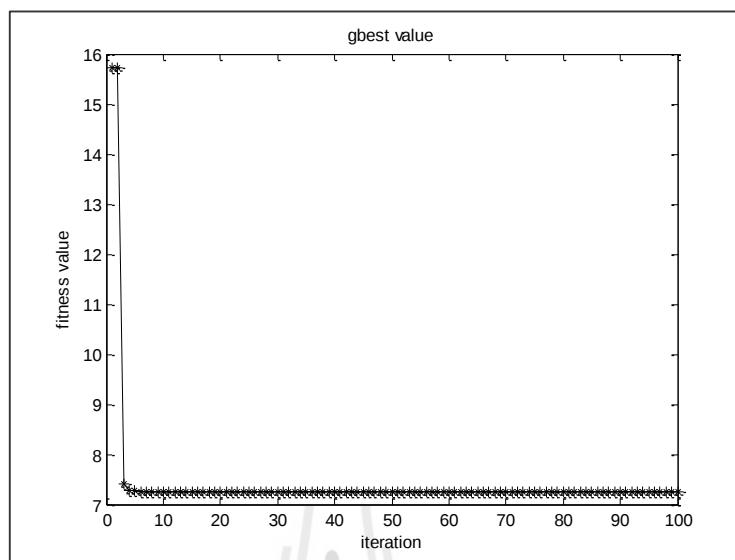
รูปที่ ค.8 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 8

แบบที่ 9: Power Losses = 7.0112 MW บัสที่ 5



รูปที่ ค.9 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 9

แบบที่ 10: Power Losses = 7.2601 MW บัสที่ 2



รูปที่ ค.10 ผลการหาค่าพลังงานสูญเสียของระบบทดสอบ 69 บัส แบบที่ 10



ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Anuphong Thanasan, Anant Oonsivilai (2012). **Optimization location for the Installation of Plant Biomass Using an Adaptive Tabu Search.**
World Academy of Science, Engineering and Technology(WASET
2012), December 22-23, 2012 Bangkok, Thailand



Optimization Location for Installation of Plant Biomass Using Adaptive Tabu Search

A. Thanasan, R. Oonsivilai, and A. Oonsivilai

Abstract— A new approach to biomass power plants installed in the appropriate locations by studying the benefits of nature to tame fire and the power loss of the system is presented in this paper. The system applied in the experiment is a test of a 30 bus, including the finding method for the best fit is an artificial intelligence technique. The movement of the Adaptive Tabu Search (ATS) was used to search for the installed biomass power system to get the most appropriate location for the power plant.

Keywords— Biomass, Optimization, Power loss

I. INTRODUCTION

THE energy crisis in Thailand, increasing of energy in current and a higher price are enormous impact on our country's economy. Since a fuel in Thailand is mainly import from abroad. The renewable energy sources are supported in order to stabilize the economy and energy for country. Thailand, country where has the potential of biomass fuel source if this energy could be utilized as a source of sustainable energy to benefit the country.

The concept of installing distributed generation in a utility distribution or sub-transmission system is gaining interest in the industry. Research suggested that distributed resources benefits could be substantial. However, these distributed benefits are site specific [1]-[3].

Nowadays, the main source of fuel such as coal and crude oil has decreased significantly because of high demand depending on population increase. As a result, people are looking for alternative energy sources. Thailand is an agricultural country, has biomass for alternative fuel that received considerable attention and lead to research for development. Currently, the biomass is becoming an alternative energy to the use of renewable resources that can be recycled again. In the term of the power produced from biomass are considering both technical and economic. The major benefit of biomass energy is the combustion cycle released the carbon dioxide in small quantities [4],[5].

However, it is difficult to choose powerhouse appropriate approach the power plant to generate electricity. This research has been developed and installed the appropriate locations in agricultural or forest area. This will depend on the resources amount in the area to reduce power loss and investment cost.

Presently, the artificial intelligence (AI) techniques are widely applied to many engineering works such as the system identifications using an adaptive tabu search (ATS) [6]-[10], as well as the protection design in power system [11], the active power filter design using a genetic algorithm (GA) [12], power loss minimization using a particle swarm optimization (PSO)[13], Optimal power flow using Tabu search [14], Optimal controller tuning and design[15-17] and etc. Therefore, in the paper, the PSO algorithm and ATS is selected for the installation of plant biomass.

II. THE SYSTEM

In this paper, a 30-bus system following IEEE standard, as shown in figure 1, is used. Testing system voltage is 11.0 kV, power base is 100 kVA and 40 MW generators. A 24 MW gas turbine is inserted into bus number 5 to check the power loss of generator installed system in each bus. Area of study is segmented as shown in figure 1.

Three types of raw material is used in this testing system; tapioca, chaff and sugar canes. We segmented each zone according to which raw material is used; Zone 1, tapioca generating 20 MW, Zone 2, chaff generating 60 MW and Zone 3, sugar cane giving 40 MW.

*A. Oonsivilai, author is with the Smart Materials, Health Sciences and Energy Research Center and the Alternative and Sustainable Energy Research Unit, Postharvest and Technology research center, School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. (e-mail: gnant@sut.ac.th)

T. Thanasan is with the School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, THAILAND(e-mail: Anuphong_game@hotmail.com).

Oonsivilai, R. is with the School of Food Technology, Center of Excellence in Electric Energy, Smart Materials, and Health Science, Research Technology development for value creation of Agricultural byproducts, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, 30000 Thailand (phone: 66-442-24232; fax: 66-442-24232; e-mail: roonsivi@sut.ac.th).

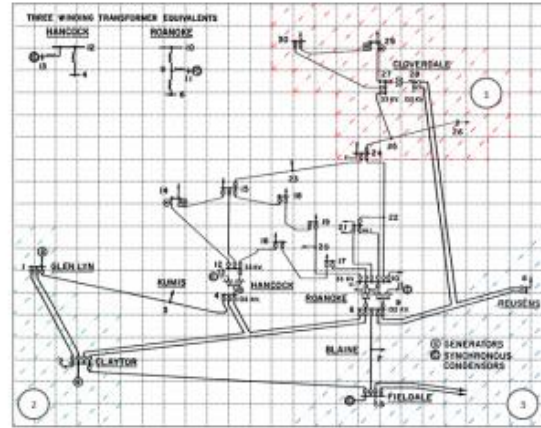


Figure 1 30-bus test system based on standard IEEE.

III. POWER LOSSES

Electric power systems may suffer significant losses. The losses depend on the line resistance and currents and are usually referred to as thermal losses. While the line resistances are fixed, the currents are a complex function of the system topology and the location of generation and load. Consider the well-known power flow equations, with complex power

$$S_i = P_i + jQ_i \quad (1)$$

injected at bus i as

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (2)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (3)$$

where Y_{ij} is the magnitude of the $i-j$ element of the bus admittance matrix
 γ_{ij} angle with $i-j$
 γ_{ij} is the angle of the $i-j$ element of the bus admittance matrix
 V_i is the voltage magnitude at the i th bus
 δ_i is the phase angle of the voltage V_i

In this paper, only the real power injections as they relate to electric losses are of concern. The system losses can be expressed as

$$P_L = \sum_{i=1}^n P_{Gi} - \sum_{i=1}^n P_{Di} \quad (4)$$

Where:

P_L is the real power loss

P_{Gi} is the real power generated at the i th bus.

P_{Di} is the real power required at the i th bus.

In order to determine the best placement of the units for study systems, an algorithm is proposed that would be appropriate given the particular constraints on voltage operations [16]. This algorithm is applied to determine the best placement of gas turbine unit in order to power losses on the system degrade for a given load. The method is conducted using the MATLAB Software Package. The algorithm proceeds as follows:

- I. Perform power flow calculations to determine initial conditions of the system
- II. Select possible locations of units based on areas that have large losses.
- III. For each selected location, recalculate system losses if the gas turbine is added.
- IV. Rank each location according to system losses.

IV. ADAPTIVE TABU SEARCH: ATS

The tabu search (TS) algorithm is an iterative search that starts from some initial feasible solution and attempts to determine a better solution in the manner

of a hill-climbing algorithm. TS is commonly developed for solving local optimization problem. The algorithm keeps historical local optima for leading to the near-global optimum fast and efficiently. The local optima are kept in Tabu List (TL) for making sure that there will be no same local optimum happening again in the process. Another powerful tool in TS is called backtracking. Backtracking process starts from stepping back to some local optimum in TL and then searching a new optimum in different directions. Backtracking is performed when the backtracking criterion (BC) is encountered.

The TS algorithm has a flexible memory in which to maintain the information about the past step of the search and uses it to create and exploit the better solutions. The main two components of the TS algorithm are the tabu list (TL) restrictions and the aspiration criterion (AC). Well description and detail of adaptive tabu search (ATS) can be found in [18-22].

In applying the ATS algorithm, to solve a combinatorial optimization problem, the basic idea is to choose a feasible solution at random and then obtain a neighbor to this solution. A move to this neighbor is performed if either it does not belong to the TL or, in case of being in the TL it passes the AC test. During these search procedures the best solution is always updated and stored aside until the stopping

X : the set of feasible solutions.
 x : the current solution, $x \in X$
 x_b : the best solution reached.
 x_{nb} : the best solution among trial solutions.
 $E(x)$: the objective function of solution x
 $N(x)$: the set of neighborhood of $x \in X$
 TL : tabu list.
 AL : aspiration level.

criterion is satisfied [18].

The following notations are used through the description of the ATS algorithm for a general combinatorial optimization problem:

The procedure of the ATS algorithm is as follow:

Step 0: Set TL as empty and AC as zero.

Step 1: Set iteration counter $k = 0$. Select an initial solution $x \in X$, and set $x_b = x$.

Step 2: Generate a set of trial solutions in the neighborhood of x . Let x_{nb} be the best trial solution.

Step 3: If $E(x_{nb}) > E(x_b)$, go to Step 4, otherwise set the best solution $x_b = x_{nb}$ and go to Step 4.

Step 4: Perform the tabu test. If x_{nb} is NOT in the TL, then accept it as a current solution, set $x = x_{nb}$, and update the TL and AC and go to Step 6, otherwise go to Step 5.

Step 5: Perform the AC test. If satisfied, then override the tabu state, set $x = x_{nb}$, and update the AC.

Step 6: Perform the termination test. If the stopping criterion is satisfied then stop, otherwise - Activate the AR (adaptive search radius) mechanism to speed up the searching process. - Activate the BT mechanism if a local minimum trap occurs. Reset iteration and repeat step 2.

Based on ATS algorithm, PID controller can be identified using the flow chart show in Fig.3.

V. SEARCH AREA FOR INSTALLATION BY ATS

The position of the bus in the standard 30-bus system using Adaptive Tabu Search This search process and design parameters of the algorithm are as follows.

Step 1: Define the minimum and maximum limits for the search parameter n is 0-30.

Step 2: Define the random response equal to 5.

Step 3: Define a random post within the search radius around the number is 5.

Step 4: Configure the default search radius is equal to 0.5.

Step 5: Configure the reduction radius factor equal to 1.3.

Step 6: to set conditions for the reverse. If the system can't find the answer to a local solution out of a total of 50 rounds to find a way to reverse occurs.

Step 7: Set the maximum number of search (count_{max}) at 50 cycles.

Of these parameters, the algorithm searches the Adaptive Tabu Search algorithm design above. Search Results for bus to install a biomass power plant is shown in Figure 8, which is the result of the convergence of the solution. In this case, the convergence of the power loss a minimum. The cost is around 12.030 MW in the 50th round, which match the search request, 11 of Figure 1, which is the most suitable place to install a biomass power plant. The main ingredients used in that area is a sugar cane plant of 40 MW.

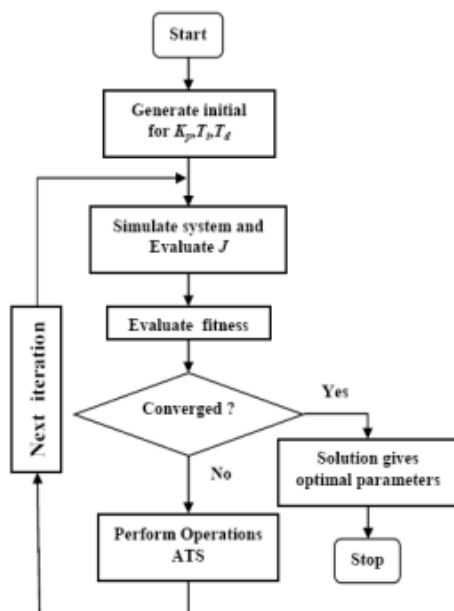


Figure 2 Flow chart for the ATS process.

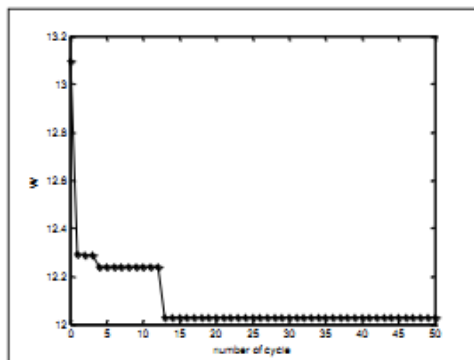


Figure 3. The convergence of the power loss By ATS.

VI. CONCLUSION

In this paper presents the optimal location for the installation of a biomass power plant by Adaptive Tabu

Search (ATS) which is one efficient algorithm for searching. The scope of the search and to determine the parameters of the search method is important for the movement of the swarm searching process. And the radius of the search to find an adaptive tabu search that makes searches more effective. From the test to determine the location of a biomass power plant with 30 bus system follow IEEE standard with three materials (tapioca, chaff and sugar cane). The result is the optimal location for installation the biomass power plant is bus number 8 and the material in this area is sugar cane with the power plant of 40 MW. In this paper, Adaptive Tabu Search (ATS) is efficient for locating and installing a biomass power plant. And future plans are also available with the cost value into account, which makes the installation of plant biomass more efficient.

VII. RESULT

Set of configuration parameters of algorithm that used to search the movement of particle under the preliminary design stage. Results are the parameters of the power loss as shown in figure 4. The convergence of the power loss is equal to 12.030 MW in 50 rounds which is match with the bus number 8 in figure 1 that is optimal location for installation of a biomass power plant by the main material used in that area is sugar cane plant of 40 MW. As same as algorithm that to adaptive tabu search. Results are the parameters of the power loss as shown in figure 11. The convergence of the power loss is equal to 12.030 MW in 50 rounds which is match with the bus number 8 in figure 1 that is optimal location for installation of a biomass power plant by the main material used in that area is sugar cane plant of 40 MW.

VIII. CONCLUSION

In this paper presents the optimal location for the installation of a biomass power plant by Adaptive Tabu Search (ATS) which is one efficient algorithm for searching. The scope of the search and to determine the parameters of the search method is important for the movement of the swarm searching process. And the radius of the search to find an adaptive tabu search that makes searches more effective. From the test to determine the location of a biomass power plant with 30 bus system follow IEEE standard with three materials (tapioca, chaff and sugar cane). The result is the optimal location for installation the biomass power plant is bus number 8 and the material in this area is sugar cane with the power plant of 40 MW. In this paper, Adaptive Tabu Search (ATS) is efficient for locating and installing a biomass power plant. And future plans are also available with the cost value into account, which makes the installation of plant biomass more efficient.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Research and Development Institute Funds, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, Thailand.

REFERENCES

- [1] N.S. Rau and Y.H. Wan, "Optimum location of resources in distributed planning," IEEE Trans. Power Systems, vol. 9, pp. 2014-2020, Nov. 1994.
- [2] H.L. Willis, H. Tram, M.V. Engle, and L. Finley, "Optimization applications to power distribution," IEEE Computer Applications in Power, vol. 8, pp. 12-17, Oct. 1995.
- [3] W.G.Scott, "Micro-turbine generator for distribution system," IEEE Industry Applications Magazine, vol.4, pp.57-62, May-June 1998.
- [4] F. Jurado, M. Ortega, A. Cano, and J. Carpio "Biomass gasification, gas turbine and diesel engine," Energy Sources, vol 23, pp. 897-905, Dec. 2001.
- [5] M. Fiala, G. Pellizzi, and G. Riva "A model for the optimal dimensioning of biomass-fuelled electric power plants". Journal of Agricultural Engineering Research, vol. 67, pp.17-25, May1997.
- [6] Puangdownreong, D., Areerak, K-N., Srikaew, A., Sujitjorn, S. and Totarong, P. "System Identification via Adaptive Tabu Search." In IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT02), pp. 915-920, Thailand (2002).
- [7] Sujitjorn, S., Kulworawanichpong T., and Puangdownreong, D. and Areerak, K-N. "Adaptive Tabu Search and Applications in Engineering Design." Book Chapters in Integrated Intelligent Systems for Engineering Design (ed. X. F. Zha and R.J. Howlett), IOS Press, pp. 233-257, Netherlands (2006).
- [8] Puangdownreong, D., Areerak, K-N., Areerak, K-L., Kulworawanichpong, T., and Sujitjorn, S. "Application of adaptive tabu search to system identification." In IASTED International Conference on Modelling, Identification, and Control (MIC2005), pp.178-183, Innsbruck, Austria (2005).
- [9] Kulworawanichpong, T., Areerak, K-L., Areerak, K-N., Pao-la-or, P., Puangdownreong, D., and Sujitjorn, S. "Dynamic parameter identification of induction motors using intelligent search techniques." In IASTED International Conference on Modelling, Identification, and Control (MIC2005), pp. 328-332, Innsbruck, Austria (2005).
- [10] Kulworawanichpong, T., Areerak, K-L., Areerak, K-N., and Sujitjorn, S. "Harmonic Identification for Active Power Filters Via Adaptive Tabu Search Method." LNCS. vol. 3215. pp. 687-694. Springer-Verlag, Heidelberg (2004).
- [11] Areerak, K-N., Kulworawanichpong, T., and Sujitjorn, S. "Moving Towards a New Era of Intelligent Protection through Digital Relaying in Power Systems." LNCS. vol. 3213. pp. 1255-1261. Springer-Verlag, Heidelberg (2004).
- [12] Narongrit, T., Areerak, K-L., and Areerak, K-N. "Design of an Active Power Filter using Genetic Algorithm Technique." In the 9th WSEAS International Conference on Artificial Intelligent, Knowledge Engineering and Data Bases (AIKED'10), pp. 46-50, Cambridge, United Kingdom(2010).
- [13] Leeton, U., Uthitsunthorn, D., Kwannetr, U., Sinsuphun, N., Kulworawanichpong, T.: Power loss minimization using optimal power flow based on particle swarm optimization. In International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), pp. 440-444, Chaing Mai, Thailand (2010).
- [14] Kulworawanichpong, T. and Sujitjorn, S. (2002). "Optimal power flow using Tabu search." IEEE Power Engineering Review, Power Engineering Letter. 37-40.
- [15] Oonsivilai, A., and Marungsri, B. (2007). "Optimal PID tuning for AGC system using adaptive Tabu search." In Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on POWER SYSTEMS (pp 42-47). Beijing, China: WSEAS.
- [16] Oonsivilai and P. Pao-la-or, "Application of Adaptive Tabu Search for Optimum PID Controller Tuning AVR System," Wseas Transactions on Power System, Vol.3, June 2008.
- [17] Oonsivilai, A. and Boonruang, M. Optimal PID Tuning for AGC system using Adaptive Tabu Search. WSEAS Sep 15-17, Beijing, China.
- [18] Oonsivilai, A and Pao-La-Or. P. 2008. Application of adaptive tabu search for optimum PID controller tuning AVR system. WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS. Issue 6 Vol. 3. June. ISSN: 1790 - 5060. pp: 495 - 506.
- [19] Marungsri, B., and Oonsivilai, A. 2008. Partial discharge localization in oil insulation transformer using adaptive tabu search. 12th WSEAS CSCC July 18-20. Heraklion, Crete Island, Greece.
- [20] Anant Oonsivilai, Padej Pao-La-Or, "Application of Adaptive Tabu Search for Optimum PID Controller tuning AVR System", WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS, Issue 6, Volume 3, June 2008, pp 495-506.
- [21] Anant Oonsivilai, Padej Pao-La-Or, "Optimum PID controller tuning for AVR system using adaptive tabu search", World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) Stevens Point, Wisconsin, USA ©2008.
- [22] Anant Oonsivilai, Wichai Srisuruk, Boonruang Marungsri And Thanatchai Kulworawanichpong, "Tabu

World Academy of Science, Engineering and Technology 72 2012

Search Approach to Solve Routing Issues in
Communication Networks", World Academy of
Science, Engineering and Technology 53 2009, pp
1174-1177.

ประวัติผู้เขียน

นายอนุพงษ์ ธารสาร เกิดเมื่อวันที่ 08 ธันวาคม 2528 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2551 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โดยได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งจากการทำวิจัยวิทยานิพนธ์ เรื่อง การจำลองโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบกระจาย และการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมได้มีผลงานตีพิมพ์ปรากฏ ดังภาคผนวก ง.

