บทที่ 5

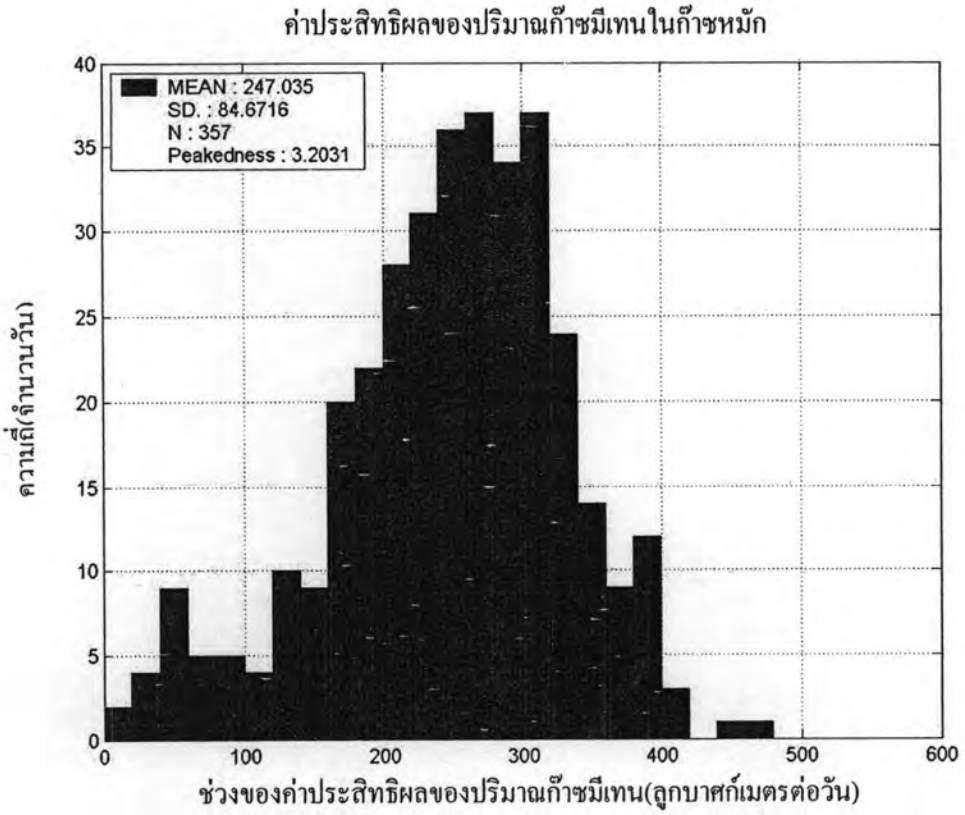
การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร โดยใช้หลักการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ดังได้กล่าวในบทที่แล้ว ในการศึกษาจะทำการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาขนาดกำลังการผลิต การกำหนดเวลาในการเดินเครื่อง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการผลิตไฟฟ้า ผลจากการศึกษาทำให้ทราบถึงขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสม จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ รวมถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยใช้ดัชนีชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน มีค่าเป็นเท่าใด และมีความเหมาะสมในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานครหรือไม่

5.1 แหล่งที่มาของก๊าซหมัก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแหล่งที่มาของก๊าซหมักที่จะนำมาใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณานำก๊าซหมักจากระบบบำบัดตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมมาใช้ ซึ่งเกิดจากการหมักตะกอนน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่และระบบบำบัดตะกอนรวมศูนย์ ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ประกอบด้วย โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ช่องนนทรี รัตนโกสินทร์ ทุ่งครุ ดินแดง หนองแขม และระบบบำบัดตะกอน

ข้อมูลปริมาณก๊าซหมักและร้อยละของมีเทนในก๊าซหมักจากระบบบำบัดตะกอนที่จะนำมาใช้ในการหาขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานครในปัจจุบันนั้น เป็นปริมาณก๊าซหมักและร้อยละของมีเทนในก๊าซหมักที่เกิดขึ้นจริงต่อวันจากระบบบำบัดตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ.2548 ที่มีการอ่านค่าและบันทึกได้ในแต่ละวันจากเครื่องวัดปริมาณก๊าซ ณ จุดหน้าถังหมัก จากจำนวนข้อมูลที่บันทึกได้จำนวนทั้งสิ้น 365 ข้อมูล มีข้อมูลบางส่วนที่อ่านค่าไม่ถูกต้องอันเนื่องมาจากเครื่องวัดทำงานผิดพลาดจำนวน 8 ข้อมูล คงเหลือข้อมูลปริมาณก๊าซจำนวนทั้งสิ้น 357 ข้อมูล ซึ่งสามารถนำมาสรุปเป็นข้อมูลค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมักนำเสนอในรูปของฮีสโตรแกรม แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ฮีสโทแกรมของค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมัก

จากรูปที่ 5.1 เป็นรูปฮีสโตรแกรมของค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมักที่เกิดขึ้นจริงต่อวันจากระบบบำบัดตะกอน ซึ่งคำนวณได้จากผลคูณของปริมาณก๊าซหมักกับร้อยละของมีเทนในก๊าซหมัก โดยที่แกนนอนเป็นแกนของช่วงปริมาณก๊าซมีเทน หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวัน แกนตั้งเป็นแกนของความถี่ของจำนวนข้อมูลหรือจำนวนวันที่มีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นซึ่งอยู่ในช่วงปริมาณก๊าซมีเทนนั้นๆ

ในการศึกษาจะนำค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมักไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องต้นกำลังเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยพิจารณาจากการกระจายของค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมักที่ได้จากข้อมูลจริงในอดีตตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 ไปใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคต่อไป

5.2 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคโดยนำค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมักมาใช้ในการประเมินหาขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสม จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยใช้เครื่องต้นกำลัง คือ เครื่องยนต์สันดาปภายใน รายละเอียดการคำนวณจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

5.2.1 เครื่องต้นกำลัง

เครื่องต้นกำลังที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ในที่นี้จะเลือกเครื่องต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน ทั้งนี้เนื่องจากการเปรียบเทียบคุณลักษณะของระบบผลิตพลังงานร่วม ตามตารางที่ 5.1 พบว่า เครื่องยนต์สันดาปภายในมีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ไปจนถึงเมกกะวัตต์ สามารถแบ่งขนาดกำลังการผลิตเป็นขนาดกำลังการผลิตต่ำๆ จำนวนหลายๆ เครื่อง ช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถทำงานจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว และปรับขนาดกำลังการผลิตตามความเหมาะสมของปริมาณเชื้อเพลิงได้ รวมทั้งมีประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ อีกทั้งราคาและเงินลงทุนในการติดตั้งไม่สูงมาก ทำให้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาอันสั้น และมีผู้ผลิตจำนวนมากสามารถรับบริการซ่อมบำรุงได้ง่าย

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะของระบบผลิตพลังงานร่วมด้วยเทคโนโลยีประเภทต่างๆ

คุณลักษณะ	เทคโนโลยีของระบบผลิตพลังงานร่วม			
	กังหันแก๊ส	กังหันแก๊สขนาดเล็ก	เซลล์เชื้อเพลิง	เครื่องยนต์สันดาปภายใน
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	500-30,000	30-400	100-3,000	30-6,000
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(%)	21-40	14-30	36-50	30-42
ประสิทธิภาพรวม(%)	68-74	64-77	65-75	74-81
อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อความร้อน	0.48-1	0.47-0.63	0.92-1.95	0.6-1.11
เงินลงทุน(บาทต่อกิโลวัตต์)	16,000-36,000	48,000-68,000	160,000-200,000	28,000-48,000
ค่าซ่อมบำรุง (บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.16-0.4	0.32-0.6	0.08-0.6	0.3-0.8
การปลดปล่อยมลพิษ (mg/bhp-hr)	NO_x : < 9-50 CO : < 15-50	NO_x : 9-50 CO : 9-50	NO_x : < 0.02 CO : < 0.01	NO_x : 0.7-13 CO : 1-2

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบในเชิงเทคนิคของเครื่องยนต์สันดาปภายในกับกังหันแก๊ส เครื่องยนต์สันดาปภายในมีขนาดกำลังการผลิตที่เล็กกว่าได้ รวมทั้งมีประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าสูงกว่า และเงินลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าไม่แตกต่างกันนัก ส่วนกังหันแก๊สขนาดเล็ก มีราคาและเงินลงทุนในการติดตั้งสูงกว่าและมีการใช้งานยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย และหากเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิง มีเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายสูงกว่ามาก รวมถึงเชื้อเพลิงที่จะ

นำมาใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงจะต้องเป็นไฮโดรเจนบริสุทธิ์ ทำให้มีค่าใช้จ่ายในส่วนที่นำมาใช้ในการแยกไฮโดรเจนออกจากก๊าซมีเทน และการใช้งานยังไม่แพร่หลายทั้งยังมีผู้ผลิตน้อย อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์สันดาปภายในมีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ค่อนข้างสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 3 เทคโนโลยีข้างต้น

5.2.2 สมมติฐานและเงื่อนไขที่ใช้

ในการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคของโครงการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร ใช้สมมติฐานในการศึกษาเป็นดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สมมติฐานในการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค

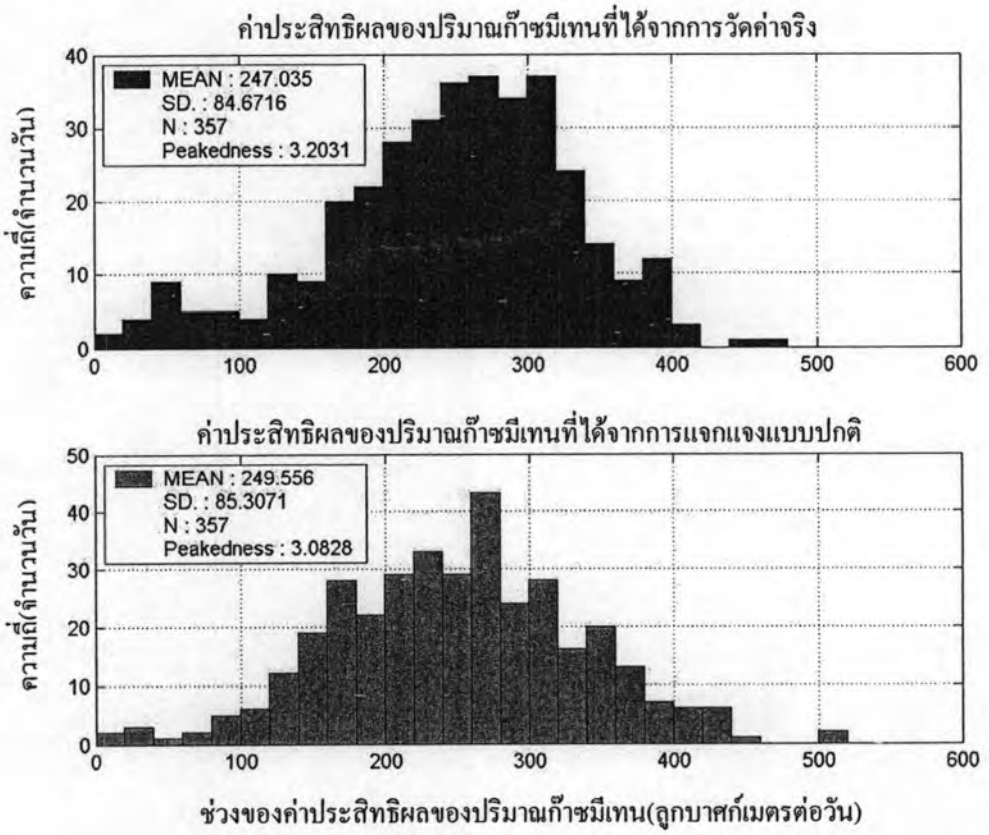
		หน่วย
เชื้อเพลิง	ก๊าซมีเทนจากก๊าซหมักที่ได้จากตะกอนน้ำเสียของระบบบำบัดตะกอน	
ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน	35.8	เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร
อัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร[34]	แบบ TOU	-
- ช่วง On Peak	2.8408	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
- ช่วง Off Peak	1.2246	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
ค่าไฟฟ้าผันแปร*	0.7584	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
ขนาดความจุของถังเก็บก๊าซ	100	ลบ.ม.
- ตั้งค่าปริมาณก๊าซสูงสุด(เพื่อเพิ่มความปลอดภัย)	89	ลบ.ม.
ปริมาณก๊าซชีวภาพบรรจุอยู่เริ่มต้นภายในถังเก็บ	89	ลบ.ม.
ร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำสุด	52	%

* ค่าไฟฟ้าผันแปร(F_t) ณ เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม 2549

ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่นำมาใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย ข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านเทคนิคและด้านการเงิน ได้แก่ ขนาดกำลังการผลิต อัตราการใช้ความร้อน ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ และอายุการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 7.28 กิโลวัตต์ ถึง 1,020 กิโลวัตต์ ในส่วนของข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์สันดาปภายในหลัก ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค คือ ขนาดกำลังการผลิต และอัตราการใช้ความร้อน ส่วนข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ ราคาเครื่องจักรและ

อุปกรณ์ ราคาอาคารและสิ่งปลูกสร้าง ค่าซ่อมบำรุง และอายุการใช้งาน โดยข้อมูลทั้งหมดมีแหล่งที่มา แสดงไว้ในภาคผนวก ก

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่า ค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณก๊าซหมักที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดตะกอน ดังนั้นในที่นี้จึงตั้งสมมติฐานให้ค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนเป็นค่าแบบสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ(Normal Distribution) เช่นเดียวกันกับค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้นำเสนอในรูปของฮีสโตรแกรมในรูปที่ 5.1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 247 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 84.67 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หากพิจารณาค่าความโด่งของฮีสโตรแกรมข้างต้น ถ้าความโด่งมีค่าเท่ากับ 3 แสดงว่า การแจกแจงของข้อมูลเป็นโค้งปกติ แต่หากมีค่าน้อยกว่า 3 หรือมากกว่า 3 แสดงว่า การแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะแบน หรือสูงแหลม ตามลำดับ ทั้งนี้จากการคำนวณค่าความโด่งของรูปที่ 5.1 พบว่า มีค่าความโด่งเข้าใกล้ 3 ซึ่งถือว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ[37] ทั้งนี้หากทำการทดลองสร้างสัญญาณสุ่มนำมาเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนซึ่งคำนวณได้จากการวัดค่าจริงเป็นดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงต่อวันกับค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนที่มีการแจกแจงแบบปกติ

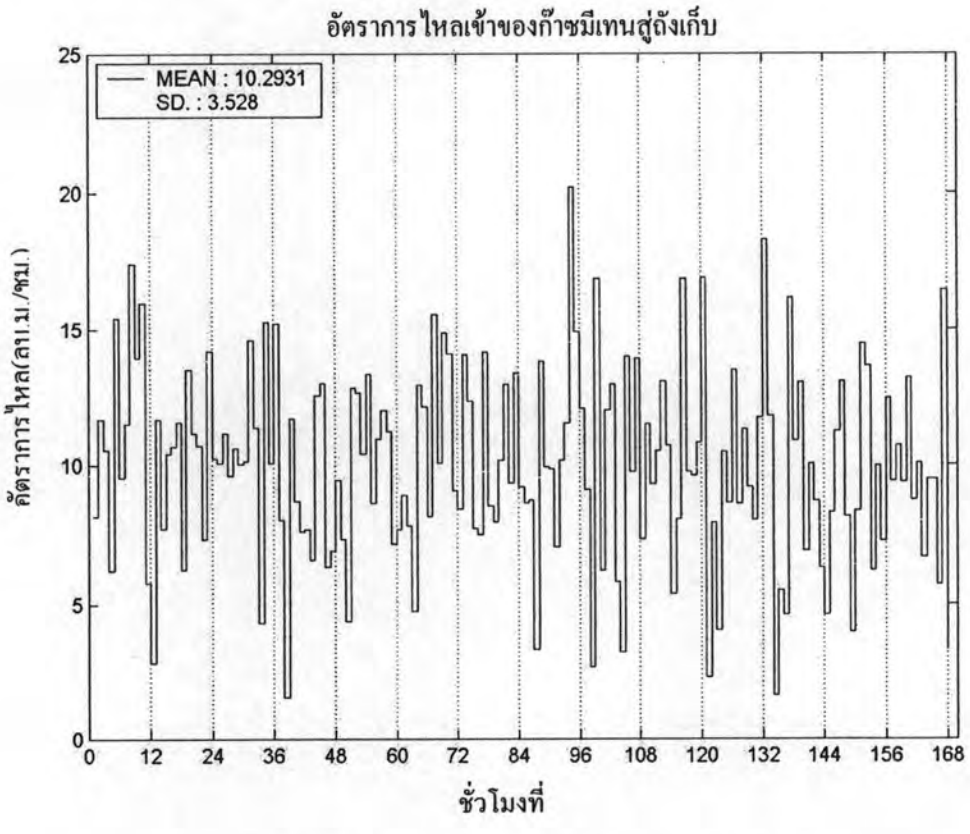
จากรูปที่ 5.2 รูปด้านบน คือ ฮีสโตรแกรมของค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการวัดค่าจริง ส่วนรูปด้านล่าง คือ ฮีสโตรแกรมของค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยที่แกนนอนเป็นแกนของช่วงปริมาณก๊าซมีเทน หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวัน แกนตั้งเป็นแกนของความถี่ของจำนวนข้อมูลหรือจำนวนวันที่มีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นซึ่งอยู่ในช่วงปริมาณก๊าซมีเทนนั้นๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราการไหลเข้าของก๊าซมีเทนสู่ถังเก็บซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามช่วงเวลานั้น มีการแจกแจงแบบปกติ

ค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติข้างต้นจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลเข้าของก๊าซมีเทนสู่ถังเก็บ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นดังสมการที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

$$Q'_{in(mean)} = \frac{247}{24} = 10.3 \ m^3/hr. \tag{5.1}$$

$$Q'_{in(S.D.)} = \frac{84.67}{24} = 3.52 \ m^3/hr. \tag{5.2}$$

ทั้งนี้หากนำค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลเข้าของก๊าซมีเทนสู่ถังเก็บ นำมาแสดงค่าตามช่วงเวลา เป็นดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 อัตราการไหลเข้าของก๊าซมีเทนสู่ถังเก็บ

จากรูปที่ 5.3 อัตราการไหลเข้าของก๊าซมีเทนสู่ถังเก็บข้างต้นจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณโปรแกรมเชิงพลวัต เพื่อคำนวณหาเส้นทางการเปลี่ยนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป

5.2.3 ขั้นตอนการคำนวณ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการคำนวณหาขนาดกำลังการผลิต จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยจะใช้หลักการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 และสมมติฐานในการศึกษาตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 5.2.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค คือ ขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสม จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานครในปัจจุบัน

ในที่นี้จะใช้ค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมักในการคำนวณแทนปริมาณก๊าซชีวภาพจริง เพื่อความสะดวก พร้อมกับเปลี่ยนถังเก็บก๊าซชีวภาพให้เป็นถังเก็บก๊าซมีเทน และปรับขนาดความจุของถังเก็บก๊าซมีเทน($Q'_{\max}$) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของขนาดความจุของถังเก็บชีวภาพกับร้อยละของมีเทนในก๊าซหมักต่ำที่สุดซึ่งได้การบันทึกค่าจริงในอดีต ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซหมัก ขนาดความจุของถังเก็บก๊าซมีเทนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.3

$$Q'_{\max} = 0.52 \times Q_{\max} \tag{5.3}$$

ขั้นตอนการคำนวณ สรุปได้ดังนี้

1) กำหนดขนาดกำลังการผลิตที่เลือกใช้ และใช้ข้อมูลค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยต่อวันแบบถ่วงน้ำหนักจากรูปที่ 5.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์สันดาปภายในจากสมมติฐานข้างต้น ได้แก่ ขนาดกำลังการผลิต และอัตราการใช้ความร้อน นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในของรุ่นนั้นๆ ที่กำหนด ตามสมการที่ 5.4

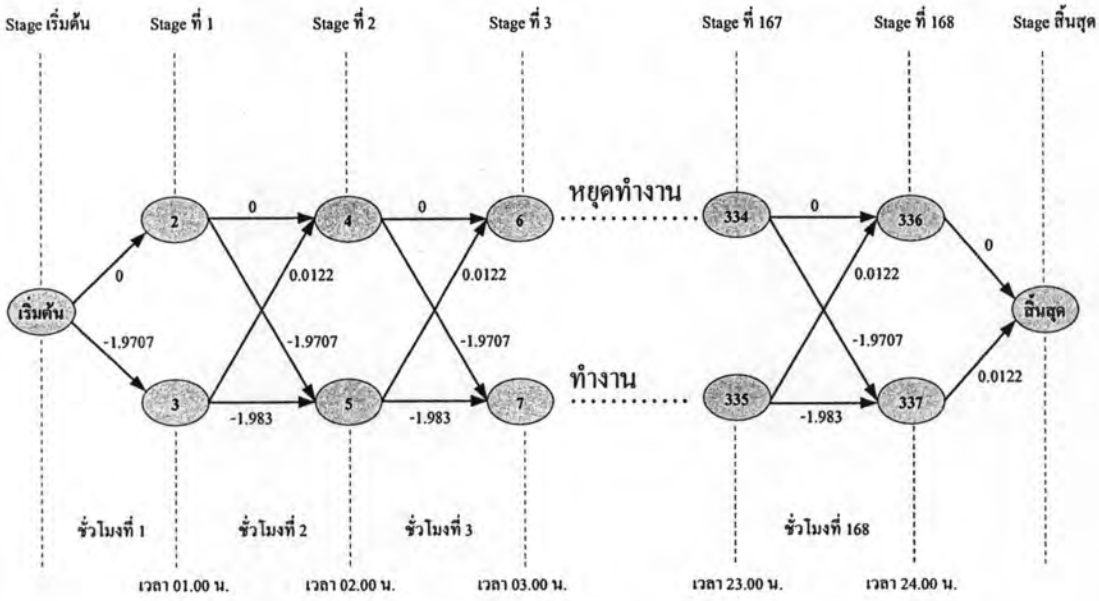
$$f_c\left(kW_{inst}\right) = \frac{F_c\left(kW_{inst}\right) \times kW_{inst}}{35.8} \tag{5.4}$$

2) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในของแต่ละรุ่นตามสมการที่ 5.4 และค่าประสิทธิผลของปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยต่อวันแบบถ่วงน้ำหนักจากรูปที่ 5.1 จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลออกของก๊าซมีเทนจากถังเก็บ ตามสมการที่ 5.5

$$Q'_{out} = \begin{cases} 0 & : \text{หากเครื่องยนต์หยุดทำงาน} \\ f_c\left(kW_{inst}\right) & : \text{หากเครื่องยนต์ทำงาน} \end{cases} \quad (5.5)$$

3) กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าผันแปร เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณรายได้สุทธิต่อปีตลอดอายุของโครงการ โดยในการศึกษาอัตราค่าไฟฟ้าได้คิดตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าจำแนกตามกิจการไฟฟ้า อยู่ในหมวด TOU หรืออัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาใช้งาน ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร[34] ทั้งนี้เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นส่วนราชการ จึงจัดอยู่ในประเภทดังกล่าวข้างต้น

4) เขียนแผนผังของโปรแกรมเชิงพลวัต ในการคำนวณหาเส้นทางการเปลี่ยนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง โดยใช้หลักการตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 หากนำมาเขียนในรูปของแผนผังของโปรแกรมเชิงพลวัตจะเป็นดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แผนผังของโปรแกรมเชิงพลวัตของการเปลี่ยนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายใน 168 ชั่วโมง

5) คำนวณหาเวกเตอร์เส้นทางการเปลี่ยนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยย้อนกลับจากจุดสิ้นสุดตามเส้นทางที่คำนวณได้ไปยังจุดเริ่มต้น จากนั้นตัดองค์ประกอบตัวที่หนึ่ง และองค์ประกอบตัวสุดท้ายของเวกเตอร์เส้นทางการเปลี่ยนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกเหลือองค์ประกอบของเวกเตอร์เส้นทางการเปลี่ยนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสิ้น 168 องค์ประกอบ หมายเลขคู่แทนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดทำงาน ส่วนหมายเลขคี่แทน

สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน ฉะนั้นจะได้เวกเตอร์สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 168 ซึ่งแต่ละองค์ประกอบของเวกเตอร์สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มี 2 สถานะ คือ 1 และ 0

6) นำเวกเตอร์สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 168 จากข้อ 5 และขนาดกำลังการผลิตจากข้อ 1 มาคำนวณหาจำนวนชั่วโมงเดินเครื่องต่อสัปดาห์ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ

5.2.4 ผลการศึกษา

ผลการคำนวณหา จำนวนชั่วโมงเดินเครื่องต่อสัปดาห์ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อสัปดาห์ โดยใช้แผนผังโปรแกรมเชิงพลวัตจากรูปที่ 5.4 ที่ขนาดกำลังการผลิตต่างๆ กันของเครื่องยนต์สันดาปภายในจากฐานข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ก สามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สรุปจำนวนชั่วโมงเดินเครื่องและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่ขนาดกำลังการผลิตต่างๆ กันของเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อสัปดาห์

ขนาดกำลังการผลิต (กิโลวัตต์)	จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง (ชั่วโมง/สัปดาห์)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/สัปดาห์)
7.28	166	1,208
10.64	165	1,756
16.24	160	2,598
24	147	3,528
32	140	4,480
36	130	4,680
48	101	4,848
52	95	4,940
64	78	4,992
70.4	73	5,139
100	54	5,400
224	0	0
475.2	0	0
760	0	0
1,020	0	0

จากตารางที่ 5.3 ขนาดกำลังการผลิต, จำนวนชั่วโมงเดินเครื่องต่อสัปดาห์ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อสัปดาห์ จะถูกนำไปใช้ในการประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้าโดยคำนวณหาดัชนีชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนต่อไป

5.3 การประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะนำผลการศึกษาด้านเทคนิคข้างต้นมาใช้ในการประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้า โดยมีดัชนีชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน การประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้ามีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกโครงการที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนเป็นตัวชี้วัด ซึ่งอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนจะต้องมีค่ามากกว่า 1

5.3.1 สมมติฐานและเงื่อนไขที่ใช้

ในการประเมินความคุ้มค่าของโครงการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร โดยใช้ดัชนีชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน ใช้สมมติฐานในการศึกษาเป็นดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 สมมติฐานในการศึกษาเพื่อประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้า

		หน่วย
จำนวนสัปดาห์เดินเครื่อง	52	สัปดาห์ต่อปี
อัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร[34]	แบบ TOU	-
- ช่วง On Peak	2.8408	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
- ช่วง Off Peak	1.2246	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
ค่าไฟฟ้าผันแปร*	0.7584	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
ร้อยละของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้**	7.5	เปอร์เซ็นต์
อายุของโครงการ	15	ปี

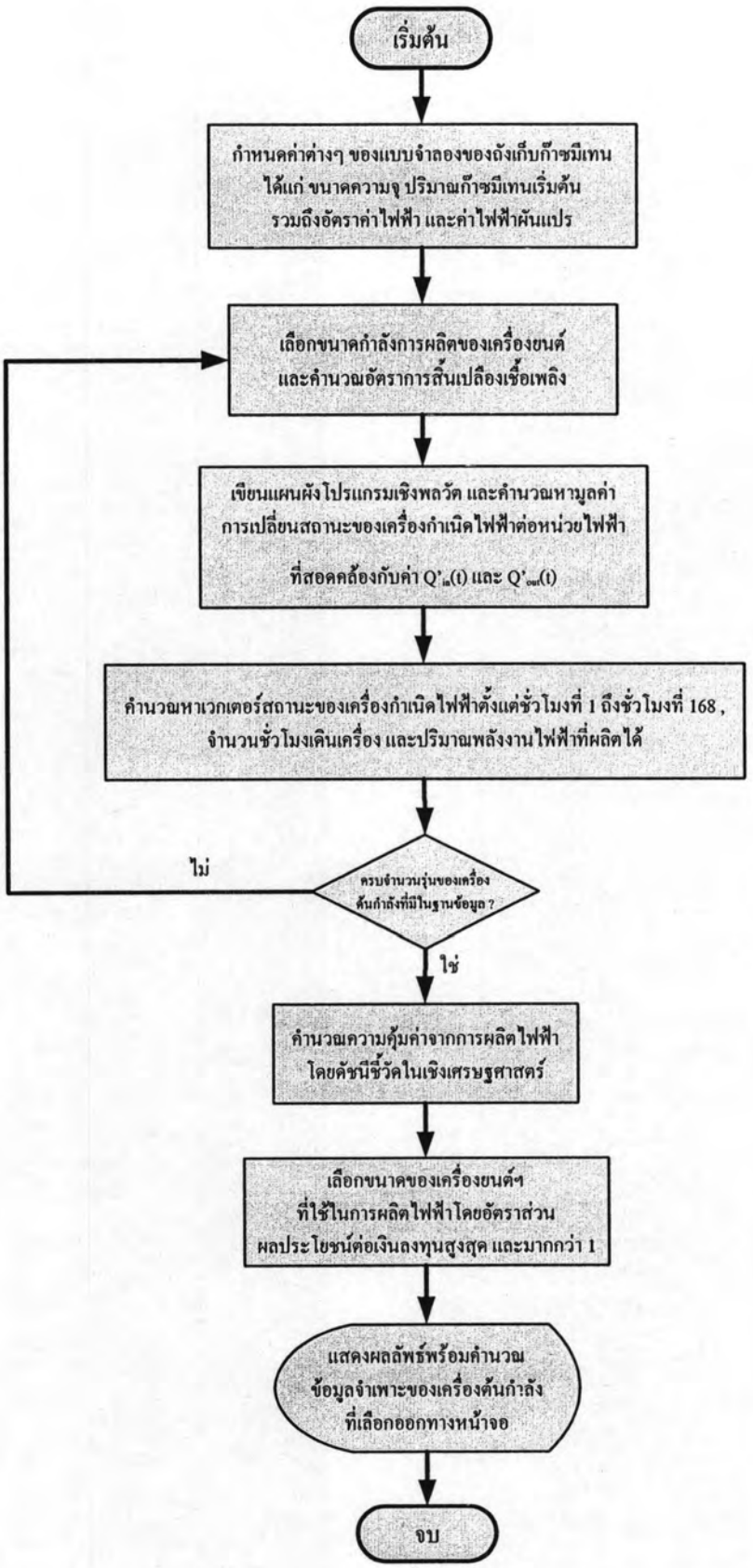
* ค่าไฟฟ้าผันแปร(F_t) ณ เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม 2549

** ร้อยละของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ประจำวันที่ 31 มีนาคม 2549

5.3.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ผลการประเมินความเป็นไปได้ด้านเทคนิค ได้แก่ ขนาดกำลังการผลิต และเวกเตอร์สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 168 รวมถึงอัตราค่าไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าผันแปรจากสมมติฐานในการศึกษาข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหารายได้จากการผลิตไฟฟ้ารายสัปดาห์ โดยใช้สมการที่ 4.23 จากนั้นนำมาคำนวณเป็นรายได้สุทธิต่อปีจากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ 4.24 รายจ่ายสุทธิต่อปีโดยใช้สมการที่ 4.33 รายได้สุทธิต่อปี และรายจ่ายสุทธิต่อปีในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการจะถูกเปลี่ยนให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ดังได้กล่าวในบทที่ 4 รวมกับเงินลงทุนเริ่มแรกนำไปใช้ในการคำนวณดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนต่อไป

จากขั้นตอนการคำนวณค่าจากการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคและการประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้าข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังสรุปการคำนวณได้ แสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แผนผังการคำนวณของการศึกษาความเป็นไปได้และความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้า

5.3.3 ผลการศึกษา

ผลการคำนวณเพื่อประเมินคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าที่ขนาดกำลังการผลิตและสถานะการเดินเครื่องต่อสัปดาห์ต่างๆ กัน สามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 5.5

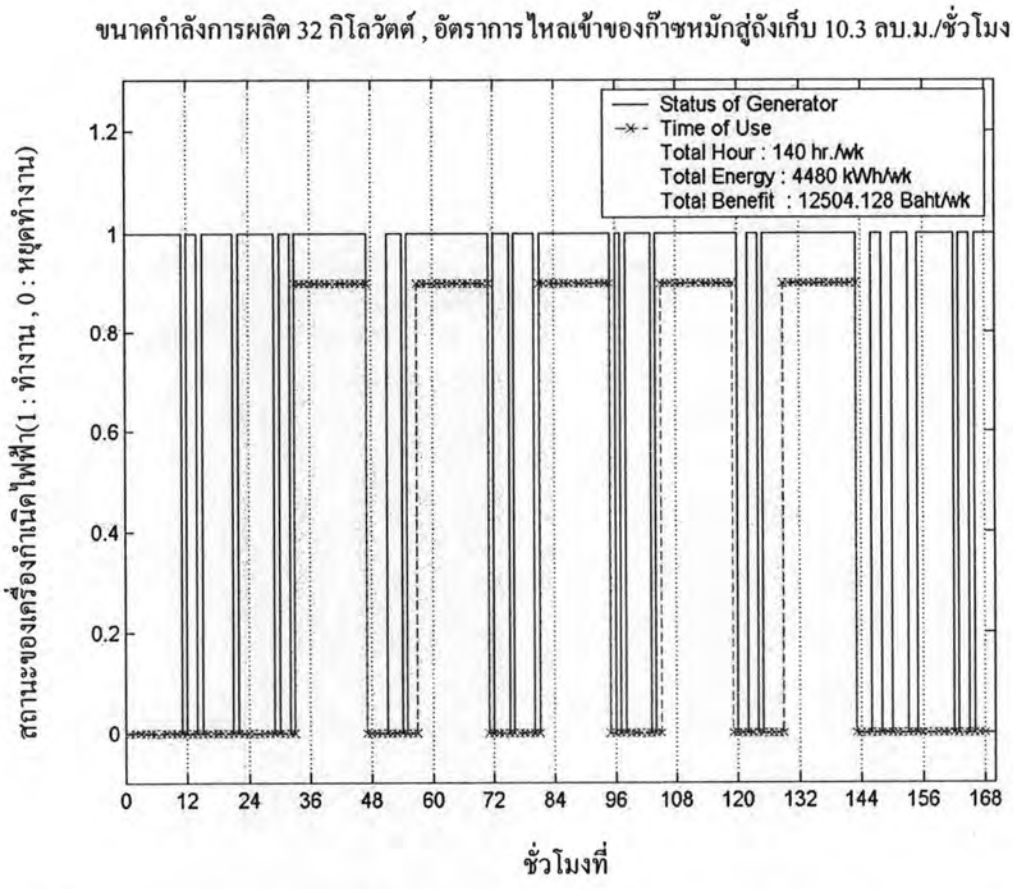
ตารางที่ 5.5 สรุปดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าการผลิตไฟฟ้าจากระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานครที่ขนาดกำลังการผลิตต่างๆ กัน

ขนาดกำลังการผลิต (กิโลวัตต์)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	อัตราผลตอบแทนภายใน (%)	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน
7.28	N/A	N/A	N/A
10.64	49,070	9.31	1.02
16.24	805,779	27.66	1.34
24	1,408,921	27.06	1.46
32	2,027,593	26.81	1.55
36	2,129,122	25.26	1.54
48	1,624,226	17.68	1.35
52	1,494,175	16.12	1.30
64	952,303	12.07	1.17
70.4	718,067	10.68	1.12
100	-494,388	5.89	0.93
224	N/A	N/A	N/A
475.2	N/A	N/A	N/A
760	N/A	N/A	N/A
1,020	N/A	N/A	N/A

N/A คือ ไม่สามารถคำนวณหาค่าได้เนื่องจากในแต่ละปีรายได้หักลบกับรายได้มีค่าน้อยกว่าศูนย์

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นว่า ผลการคำนวณหาขนาดกำลังการผลิตของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่ทำให้อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนสูงสุดและมากกว่าหนึ่ง คือ ขนาดกำลังการผลิต 32 กิโลวัตต์ โดยมีจำนวนชั่วโมงเดินเครื่องเท่ากับ 140 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 4,480 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และมีดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้าได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 2,027,593 อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 26.81 และ

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนเท่ากับ 1.55 แสดงให้เห็นว่า มีความคุ้มค่าจากการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า ทั้งนี้หากนำเวกเตอร์สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 168 ของเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดกำลังการผลิต 32 กิโลวัตต์ จากการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคดังกล่าวข้างต้นมาแสดงเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU จะได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิต 32 กิโลวัตต์ ในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ เทียบกับช่วงของอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU

จากรูปที่ 5.6 เส้นสีดำเข้มต่อเนื่อง คือ สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง โดยหมายเลข 1 แทนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน ส่วน 0 แทนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดทำงาน ในส่วนของเส้นกากบาทและเส้นประไม่ต่อเนื่อง คือ ช่วงเวลาของอัตราค่าไฟฟ้า On peak และ Off Peak ตามลำดับ

ในการประเมินความคุ้มค่าจากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ดัชนีชี้วัดในเชิงเศรษฐศาสตร์ดังกล่าวข้างต้น จะต้องวิเคราะห์งบลงทุนของการติดตั้งและดำเนินงานของระบบผลิตไฟฟ้าตลอดอายุของโครงการ โดยสามารถแสดงการวิเคราะห์งบลงทุนที่ขนาดกำลังการผลิต 32 กิโลวัตต์ ได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์งบลงทุนของการติดตั้งและดำเนินงานของระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 32 กิโลวัตต์ จากระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

		หน่วย
<u>รายละเอียดข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์</u>		
จำนวนชั่วโมงเดินเครื่องยนต์	140	ชั่วโมง/สัปดาห์
จำนวนชั่วโมงเดินเครื่องยนต์	7,280	ชั่วโมง/ปี
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	4,480	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/สัปดาห์
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	232,960	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ตัวประกอบการผลิตไฟฟ้า(Plant Factor)	83	เปอร์เซ็นต์
อายุของโครงการ	15	ปี
<u>ค่าใช้จ่ายลงทุน</u>		
เงินลงทุนซื้อเครื่องจักรพร้อมอุปกรณ์	781,000	บาท
เงินลงทุนก่อสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้าง	609,561	บาท
ค่าเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า	22,080	บาท
รวม	**<u>1,412,641</u>**	**บาท**
<u>ค่าใช้จ่ายผันแปร</u>		
ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	116,480	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า	0	บาทต่อปี
รวม	**<u>116,480</u>**	**บาท/ปี**
<u>ค่าใช้จ่ายคงที่</u>		
ค่าเสื่อมราคา	63,432	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน	144,000	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภค	0	บาทต่อปี
รวม	**<u>207,432</u>**	**บาท/ปี**
<u>รายรับ</u>		
การขายไฟฟ้า หรือค่าไฟฟ้าที่ลดลง	650,214	บาท/ปี
รวม	**<u>650,214</u>**	**บาท/ปี**
<u>การคำนวณประมาณการรายได้ต่อปี</u>		
เงินลงทุนรวม	1,412,641	บาท
รายได้	650,214	บาทต่อปี

รายจ่าย	323,912	บาทต่อปี
กำไรสุทธิ	**326,302**	**บาท/ปี**
ดัชนีชี้วัดด้านการเงิน		
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	2,027,593	บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน	26.81	%
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน	1.55	-

จากตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์งบลงทุนของการติดตั้งและดำเนินงานของระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 32 กิโลวัตต์ จะเห็นว่า ด้วยปริมาณน้ำเสีย บีโอดี และการจัดการน้ำเสียในปัจจุบันของระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่และระบบบำบัดตะกอนรวมศูนย์ของกรุงเทพมหานคร แสดงให้เห็นว่า การลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหมักนั้น มีความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค โดยมีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งที่เหมาะสม คือ 32 กิโลวัตต์ จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง 140 ชั่วโมง/สัปดาห์ และหากลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน ภายในระยะเวลาของโครงการ 15 ปี จะมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 2,027,593 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 26.81 และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีค่าเท่ากับ 1.55

จากบทนี้ทำให้เราทราบถึงความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการลงทุนผลิตไฟฟ้าจากการจัดการน้ำเสียในปัจจุบันและปริมาณก๊าซหมักที่เกิดขึ้นของระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่และระบบบำบัดตะกอนรวมศูนย์ของกรุงเทพมหานคร ในบทต่อไปจะทำการศึกษาแนวทางพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร ให้มีความคุ้มค่ายิ่งขึ้นต่อไป