

บทที่ 5

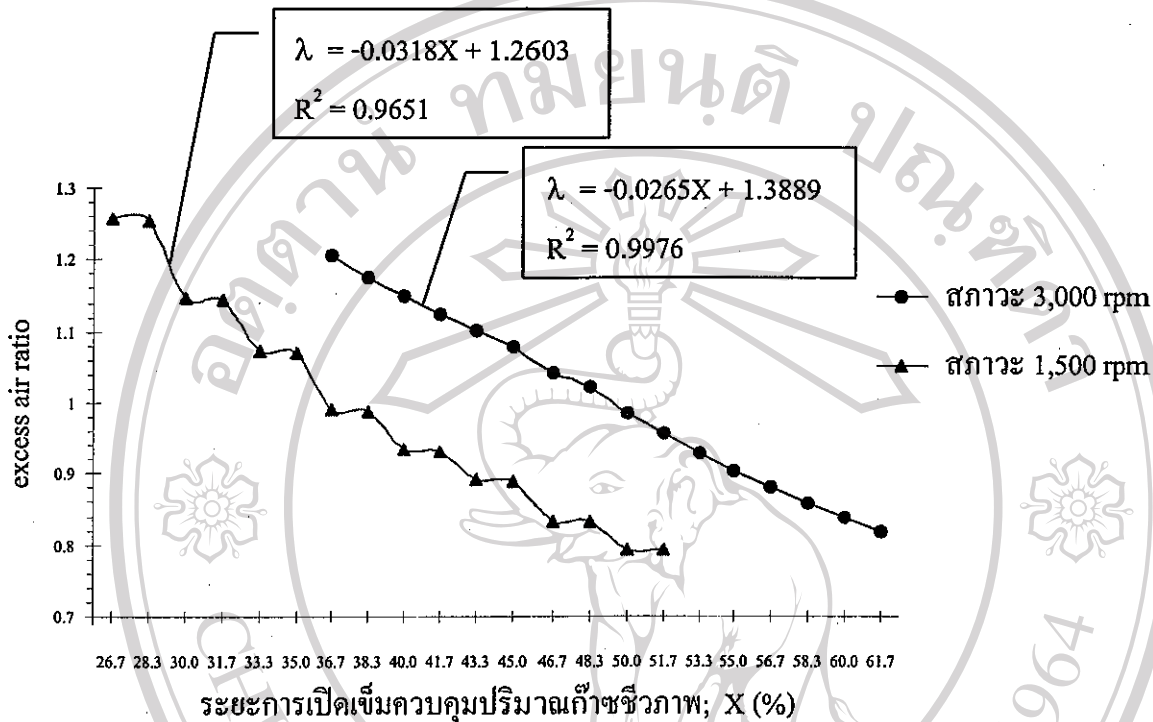
ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยการปรับปรุงคาร์บูเรเตอร์สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีวภาพ จะประกอบด้วยขั้นตอนการปฏิบัติที่สำคัญ 2 ส่วนหลักคือ ส่วนที่หนึ่ง ส่วนของการออกแบบและสร้างคาร์บูเรเตอร์ขึ้นใหม่โดยให้ขนาดคอคอดเหมาะสมกับขนาดความจุและความเร็วรอบทำงานของเครื่องยนต์ และสามารถปรับปริมาณก๊าซชีวภาพโดยการหมุนปรับด้วยมือให้มีความยืดหยุ่นและง่ายต่อการปรับหรือมีช่วงในการหมุนปรับที่กว้างขึ้นกว่าเดิม โดยใช้วิธีการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของนมหนูก๊าซโดยเพิ่มควบคุมปริมาณก๊าซ มีช่วงในการหมุนปรับไม่ต่ำกว่า 20% ของระยะการเปิดทั้งหมดของเข็มและจะทำให้การปรับส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพให้เข้าสู่ภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงสุดทำได้โดยง่าย ส่วนที่สอง ส่วนของการติดตั้งเครื่องยนต์เป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้า รวมถึงการติดตั้งระบบระบายความร้อนเป็นแบบปิด, ปรับแต่งอัตราส่วนการอัด และองศาการจุดระเบิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงด้วย จากนั้นจึงทำการทดสอบเปรียบเทียบการทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm เพื่อสรุปให้ได้ว่าที่สภาวะการทำงานรูปแบบใดจะเหมาะสมที่สุดโดยถือเอาการให้ประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก ซึ่งผลจากการวิจัยทั้งหมดสามารถอธิบายได้โดยลำดับดังนี้

5.1 ผลการทดสอบการทำงานของคาร์บูเรเตอร์

จากการทดสอบการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่โดยการติดตั้งเข้ากับท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ของชุดผลิตกระแสไฟฟ้าแทนที่คาร์บูเรเตอร์ตัวเดิมที่ใช้ น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง และให้ระบบทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm โดยการสลับเปลี่ยนคอคอดที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้ความเร็วอากาศ ณ จุดคอคอดมีค่าเป็น 125 m/s ตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นจึงปรับปริมาณก๊าซชีวภาพให้มีปริมาณก๊าซเข้าเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 step (ใน 1 step คือการหมุนสกรูควบคุมก๊าซในชุดคาร์บูเรเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา หรือ 1.6%) พบว่าช่วงที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ ณ ที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm นี้สามารถปรับสกรูควบคุมปริมาณก๊าซได้ทั้งสิ้น 16 step โดยเพิ่มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพเปิด 36.7% ถึง 61.7% สำหรับการทำงานที่ 3,000 rpm และเปิด 26.7% ถึง 51.7% สำหรับการทำงานที่

1,500 rpm โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ (excess air ratio; λ) กับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของนมหงูก๊าซโดยการเปิดของเข็มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพได้ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง excess air ratio; λ กับระยะการเปิดเข็มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 5.1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างอัตราส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ กับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของนมหงูก๊าซโดยการเปิดของเข็มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm นี้มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น โดยมีลักษณะเป็นสมการเส้นตรง และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) ที่เข้าใกล้ 1 มาก ซึ่งบ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือของการปรับแต่งคาร์บูเรเตอร์นี้ว่า จะเป็นไปในลักษณะเชิงเส้น อีกทั้งยังพบว่าคาร์บูเรเตอร์นี้มีช่วงในการหมุนปรับปริมาณก๊าซชีวภาพเพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm ได้ทั้งสิ้น 25% ของระยะการเปิดทั้งหมดของเข็ม ซึ่งก็เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ

5.2 ผลการทดสอบที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm

จากการทดสอบเดินระบบผลิตรถยนต์ไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm ซึ่งได้ทำการปรับปรุงแล้วตามขั้นตอนการทดสอบและบันทึกข้อมูลในบทที่ 4 โดยแสดง

ผลการทดสอบในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย(T_{g}), ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO), อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ เมื่อองศาการจุดระเบิดเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ จ.1-จ.16 (ภาคผนวก จ) ซึ่งในแต่ละรูปจะพบจุดที่แสดงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (optimum) โดยการถือเอาจุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก ทั้งนี้ในแต่ละรูปจะเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพขึ้น 1 step โดยการหมุนสกรูเพื่อยกเข็มควบคุมก๊าซในชุดคาร์บูเรเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา หรือ 1.6% จากนั้นจะพิจารณานำเอาจุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละรูปรวบรวมมาแสดงในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย(T_{g}), ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO), ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ เมื่อตำแหน่งเข็มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราส่วนอากาศส่วนเกิน(λ) เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 5.3 เพื่อแสดงให้เห็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุดมีค่าเป็น 22.14% ซึ่งก็คือสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (optimum) นั่นเอง และจากรูปที่ 5.3 นี้จะสามารถมองย้อนกลับไปเพื่อหาตำแหน่งองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุดได้จากการพิจารณาดำเนินการของการเปิดเข็มควบคุมก๊าซชีวภาพเป็นหลัก ซึ่งจะพบว่าการทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm จะสามารถปรับเปลี่ยนองศาการจุดระเบิดได้ในช่วง 30-68 °BTDC และตำแหน่งองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุดคือ 51 °BTDC ดังแสดงในรูปที่ 5.2

5.3 ผลการทดสอบสภาวะการทำงาน 1,500 rpm

จากการทดสอบเดินระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm ซึ่งได้ทำการปรับปรุงแล้วตามขั้นตอนการทดสอบและบันทึกข้อมูลในบทที่ 4 โดยแสดงผลการทดสอบในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย(T_{g}), ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO), อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ เมื่อองศาการจุดระเบิดเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ จ.19-จ.34 (ภาคผนวก จ) ซึ่งในแต่ละรูปจะพบจุดที่แสดงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (optimum) โดยการถือเอาจุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก ทั้งนี้ในแต่ละรูปจะเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพขึ้น 1 step โดยการหมุนสกรูเพื่อยกเข็มควบคุมก๊าซในชุดคาร์บูเรเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา หรือ 1.6% จากนั้นจะพิจารณานำเอาจุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละรูปรวบรวมมาแสดงในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิก๊าซไอเสีย(T_{g}), ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO), ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ เมื่อตำแหน่งเข็มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราส่วนอากาศส่วนเกิน(λ) เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 5.5 เพื่อแสดงให้เห็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุดมีค่าเป็น 19.74% ซึ่งก็คือสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (optimum) นั่นเอง และจากรูปที่ 5.5 นี้

จะสามารถมองย้อนกลับไปเพื่อหาตำแหน่งองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุดได้จากการพิจารณาดำเน่งของการเปิดเข็มควบคุมก๊าซชีวภาพเป็นหลัก ซึ่งจะพบว่าการทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm จะสามารถปรับเปลี่ยนองศาการจุดระเบิดได้ในช่วง 37-60 °BTDC และตำแหน่งองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุดคือ 48 °BTDC ดังแสดงในรูปที่ 5.4

5.4 การเปรียบเทียบที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm และ 1,500 rpm

ทั้งนี้เพื่อให้เห็นผลการทดสอบเปรียบเทียบที่สภาวะการทำงานที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm และ 1,500 rpm ได้ดียิ่งขึ้นจึงได้แสดงในรูปของกราฟ 3 มิติ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ (engine efficiency), องศาการจุดระเบิด (ignition angle) และ อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (excess air ratio; λ) ที่สภาวะการทำงานที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm และ 1,500 rpm ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และพบว่าที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm และ 1,500 rpm สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ จ.18 และ จ.36 (ภาคผนวก จ)

5.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm และ 1,500 rpm

จากผลการทดสอบเดินเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยให้ระบบทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm โดยบันทึกผลการทดสอบลงในตารางบันทึกผลและทำการคำนวณเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆตามวิธีการทดสอบ และแสดงผลการทดสอบในรูปของกราฟ แสดงความสัมพันธ์ต่างๆทั้งนี้เพื่อการหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องยนต์โดยถือเอาจุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก สามารถอธิบายผลการทดสอบได้ดังนี้

5.5.1 อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อองศาการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นหรือมีการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง และจะลดลงต่ำสุด ณ จุดๆหนึ่งหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากขณะที่ยองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าน้อยเกินไป (ไฟอ่อน) หรือปริมาณเชื้อเพลิงมีน้อย (ส่วนผสมบาง) เครื่องยนต์จะมีกำลังน้อย การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีอากาศส่วนเกินมาก เครื่องยนต์จึงมีความร้อนสูง ดังนั้นหากปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าให้มากขึ้นหรือเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงให้มากขึ้นเพียงพอแก่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังมากขึ้น อุณหภูมิไอเสียต่ำลง ในทางตรงกันข้ามหากองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไป (ไฟแก่) หรือปริมาณเชื้อเพลิงมากเกินไป (ส่วนผสมหนา) จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อีกเช่นกัน เครื่องยนต์จะมีกำลังลดลงและอุณหภูมิไอเสียก็จะสูงขึ้นอีก

5.5.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) จากก๊าซไอเสียมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจากจุดที่ให้อุณหภูมิไอเสียต่ำสุดหรือมีการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง

มากขึ้นในการทำงานเดียวกันกับอุณหภูมิก๊าซไอเสีย เนื่องจากขณะที่องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าน้อยเกินไป(ไฟอ่อน) เครื่องยนต์จะมีระยะเวลาการเผาไหม้สั้นลง ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)สูง และจะลดลงเมื่อมีระยะเวลาและองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม จากนั้นจะสูงขึ้นอีกเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไป(ไฟแก่)หรือปริมาณเชื้อเพลิงมากเกินไป ทำให้เครื่องยนต์เกิดการน็อก ความดันในห้องเผาไหม้จะสูงขึ้นมาก และจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(HC)สูงขึ้นด้วย

5.5.3 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น และปริมาณเชื้อเพลิงมากขึ้นจนถึงจุดที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด และจะค่อยๆลดต่ำลงเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไป(ไฟแก่) และปริมาณเชื้อเพลิงมากเกินไป(ส่วนผสมหนา) เนื่องจากในสถานะที่องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าน้อยเกินไป(ไฟอ่อน) หรือปริมาณเชื้อเพลิงน้อยเกินไป(ส่วนผสมบาง) การเผาไหม้จะไม่สมบูรณ์ อุณหภูมิก๊าซไอเสียจะสูง ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปกับความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพเครื่องยนต์จึงต่ำ ในทำงานเดียวกันในสถานะที่องศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไป(ไฟแก่)หรือปริมาณเชื้อเพลิงมากเกินไป(ส่วนผสมหนา) การเผาไหม้ก็จะไม่สมบูรณ์เช่นกัน อุณหภูมิก๊าซไอเสียจะสูงขึ้นอีก ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ก็จะลดต่ำลงเนื่องจากสูญเสียประสิทธิภาพไปกับความร้อนที่เกิดขึ้น อีกประการหนึ่งในขณะที่ส่วนผสมบาง(อัตราส่วนอากาศส่วนเกินมีค่าสูง) ประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งองศาการจุดระเบิดสูงกว่าในขณะที่ส่วนผสมหนา(อัตราส่วนอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำ) เนื่องจากในขณะที่ส่วนผสมหนา ปริมาณเชื้อเพลิงมีมาก เมื่อเกิดการจุดระเบิดเปลวไฟที่พุ่งลุกลามออกไปภายในห้องเผาไหม้ จะใช้เวลาสั้นกว่าขณะที่ส่วนผสมบาง จึงต้องลดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าลงเพื่อให้เปลวไฟที่พุ่งลุกลามออกไปสิ้นสุดลงทันต่อตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลูกสูบใบตำแหน่งที่เหมาะสมโดยไม่เกิดการน็อก ดังนั้นจุดที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะมีองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมและอุณหภูมิก๊าซไอเสียก็จะต่ำด้วย ณ จุดนั้นประสิทธิภาพเครื่องยนต์จึงสูงสุด

5.5.4 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้มีแนวโน้มจะสูงขึ้นและจะลดลงในช่วงปลาย กล่าวคือ เครื่องยนต์มีกำลังมากพอที่จะเอาชนะความเฉื่อยเชิงโครนัสของมอเตอร์เหนี่ยวนำมากขึ้นในการทำงานเดียวกันกับประสิทธิภาพเครื่องยนต์ แต่ขณะที่เครื่องยนต์ไฟอ่อน กำลังเครื่องยนต์จะน้อย ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต่ำมาก และทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูง เนื่องจากเครื่องยนต์ถูกขับให้หมุนโดยมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยมีความเร็วรอบคงที่ การประจุไอดี(เชื้อเพลิงผสมกับอากาศ) มีอัตราคงที่ ณ จุดนั้นๆ และเมื่อประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะสูงขึ้นด้วยในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำลง และพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะต่ำลงอีกในช่วงปลายเมื่อประสิทธิภาพเครื่องยนต์ต่ำลงโดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงขึ้น

5.5.5 จากการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ณ สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพตำบลแม่เห็ญ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนัดัดแปลง ยี่ห้อ NISSAN sunny A-12 ต่อกำลังเพลาดตรงเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 2 pole 380/660V 50 Hz 25 HP ประสิทธิภาพมอเตอร์ 90% ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และต่อกำลังเพลาดตรงเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 4 pole 380/660V 50 Hz 25 HP ประสิทธิภาพมอเตอร์ 90% ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm สามารถเปรียบเทียบการทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm ภายใต้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (optimum) ดังตารางที่ 5.1

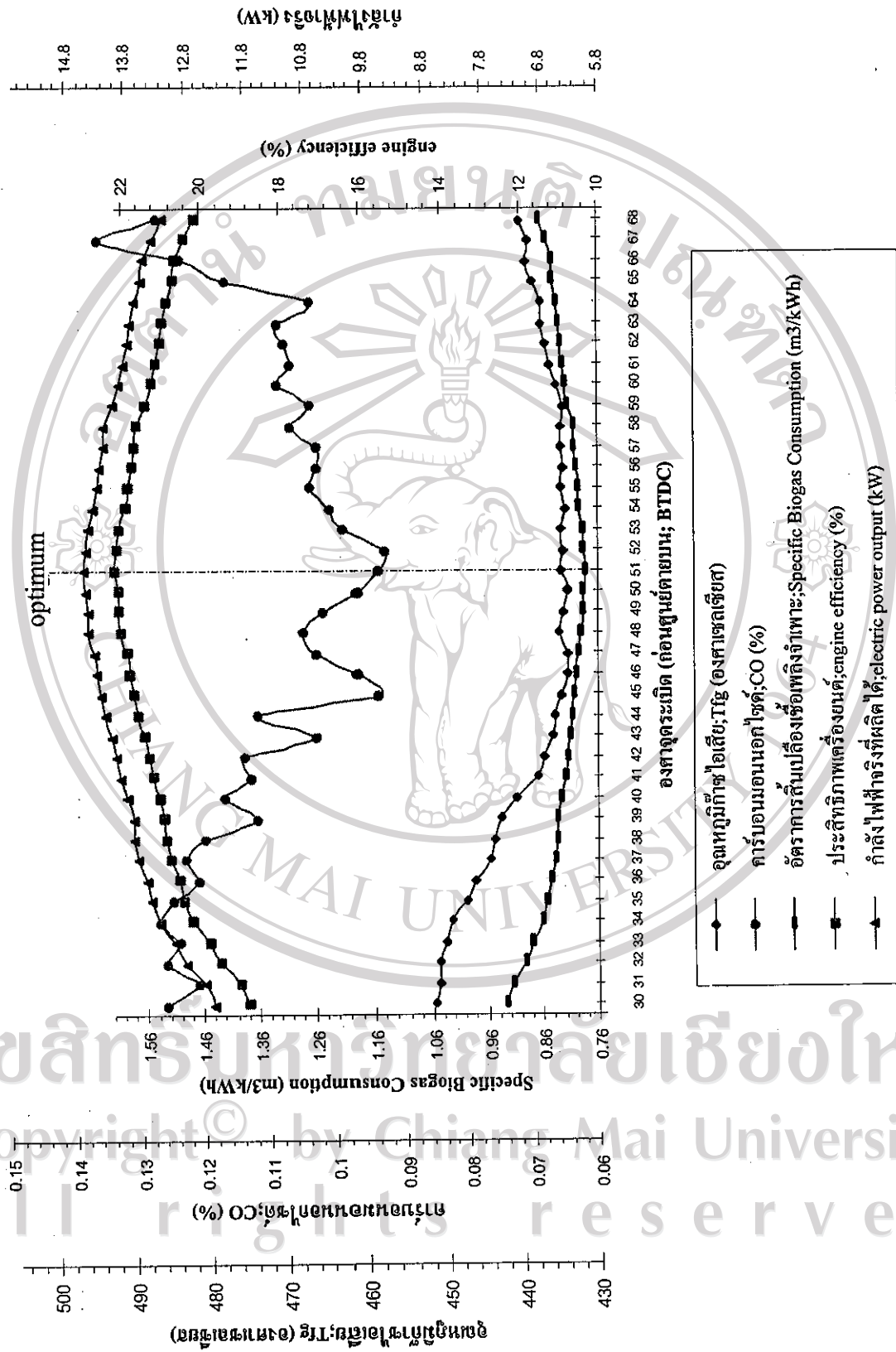
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบการทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm ภายใต้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (optimum)

| รายการ | 3,000 rpm | 1,500 rpm |
|--|---------------------------|---------------------------|
| 1. องศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมของเครื่องยนต์ | 51 °BTDC | 48 °BTDC |
| 2. อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (λ) | 1.021 | 0.989 |
| 3. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (f_c) | 11.368 m ³ /hr | 5.879 m ³ /hr |
| 4. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) | 0.79 m ³ /kWh | 0.88 m ³ /kWh |
| | 0.74 m ³ /kWh* | 0.83 m ³ /kWh* |
| 5. กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (P_{el}) | 14.48 kW | 6.68 kW |
| 6. ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (η_{eng}) | 22.14 % | 19.74 % |
| 7. ประสิทธิภาพรวมของระบบ (η_{tot}) | 19.92 % | 17.77 % |
| 8. ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO)จากก๊าซไอเสีย | เฉลี่ย 0.094 % | เฉลี่ย 0.056 % |
| 9. ปริมาณไฮโดรคาร์บอนมอน (HC)จากก๊าซไอเสีย | เฉลี่ย 267 ppm | เฉลี่ย 299 ppm |
| 10. อุณหภูมิเครื่องยนต์หรือน้ำหล่อเย็น (T_{eng}) | เฉลี่ย 72 °C | เฉลี่ย 69 °C |
| 11. อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง (T_{oil}) | เฉลี่ย 94 °C | เฉลี่ย 77 °C |
| 12. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (T_g) | เฉลี่ย 435 °C | เฉลี่ย 280 °C |
| 13. การเปิดของเข็มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพรั่วละ 1.6% ส่งผลให้ λ เปลี่ยนไป | เฉลี่ย 0.026 | เฉลี่ย 0.031 |

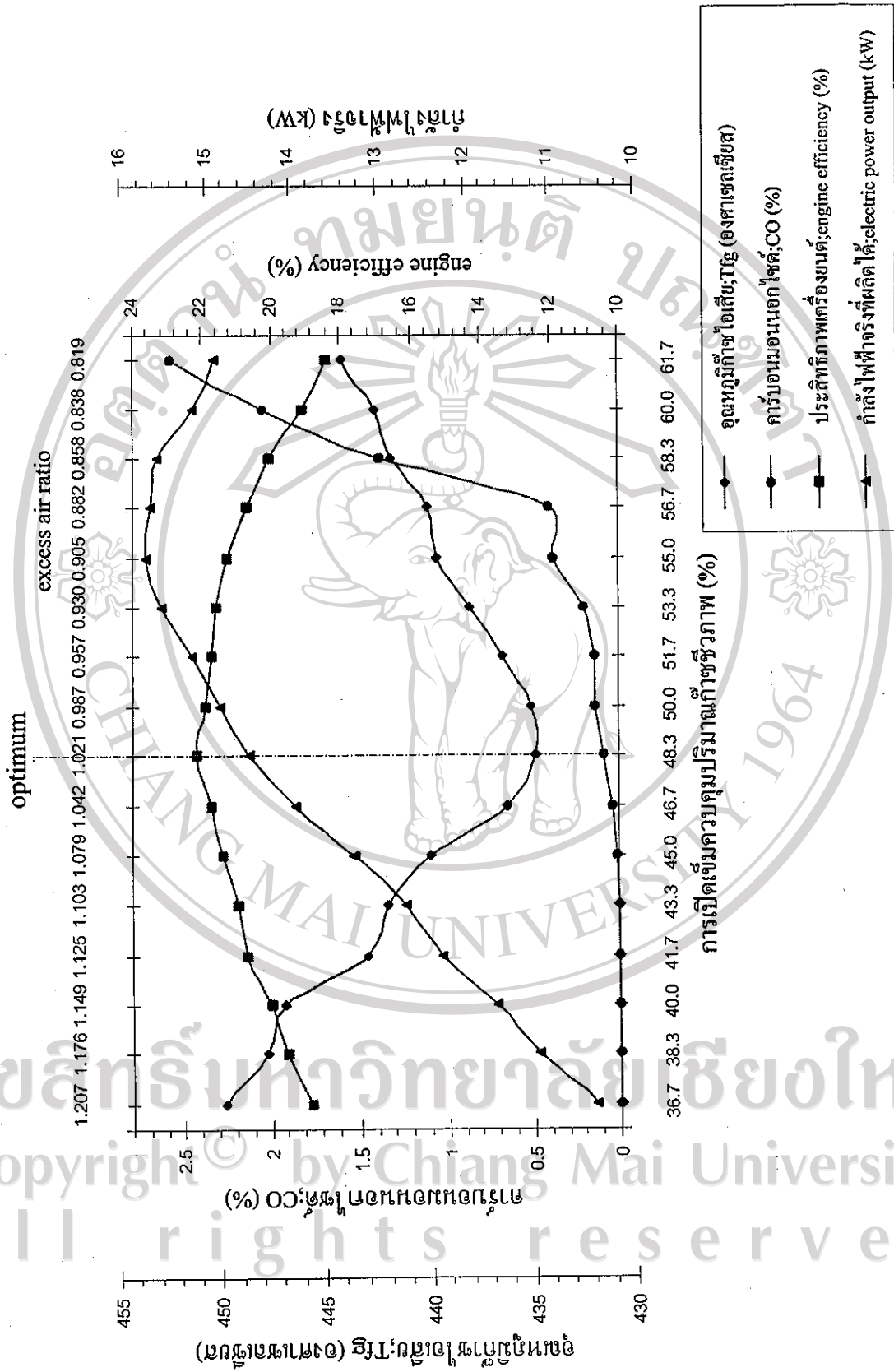
* NTP (Normal temperature and pressure) คือ 0 °C และ 1.013 bar ตามลำดับ [16]

STD (Standard temperature and pressure) คือ 29.34 °C และ 1.008 bar ตามลำดับ [ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา จ.เชียงใหม่]

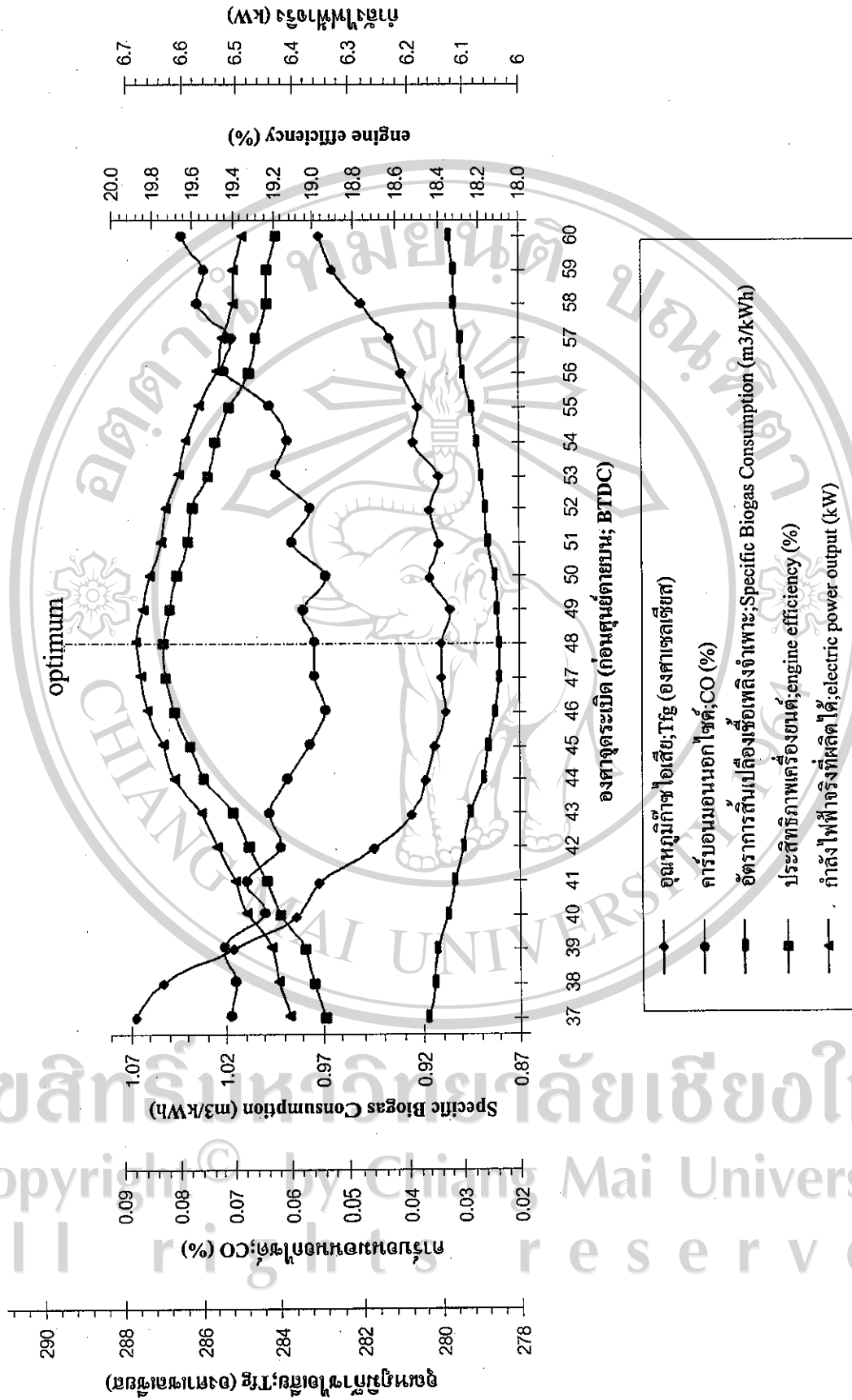
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากไอเสีย, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ กับองศาการจุดระเบิดที่เปลี่ยนไป ขณะที่เพิ่มความคมปริมาณก๊าซชีวภาพที่ 48.3 %



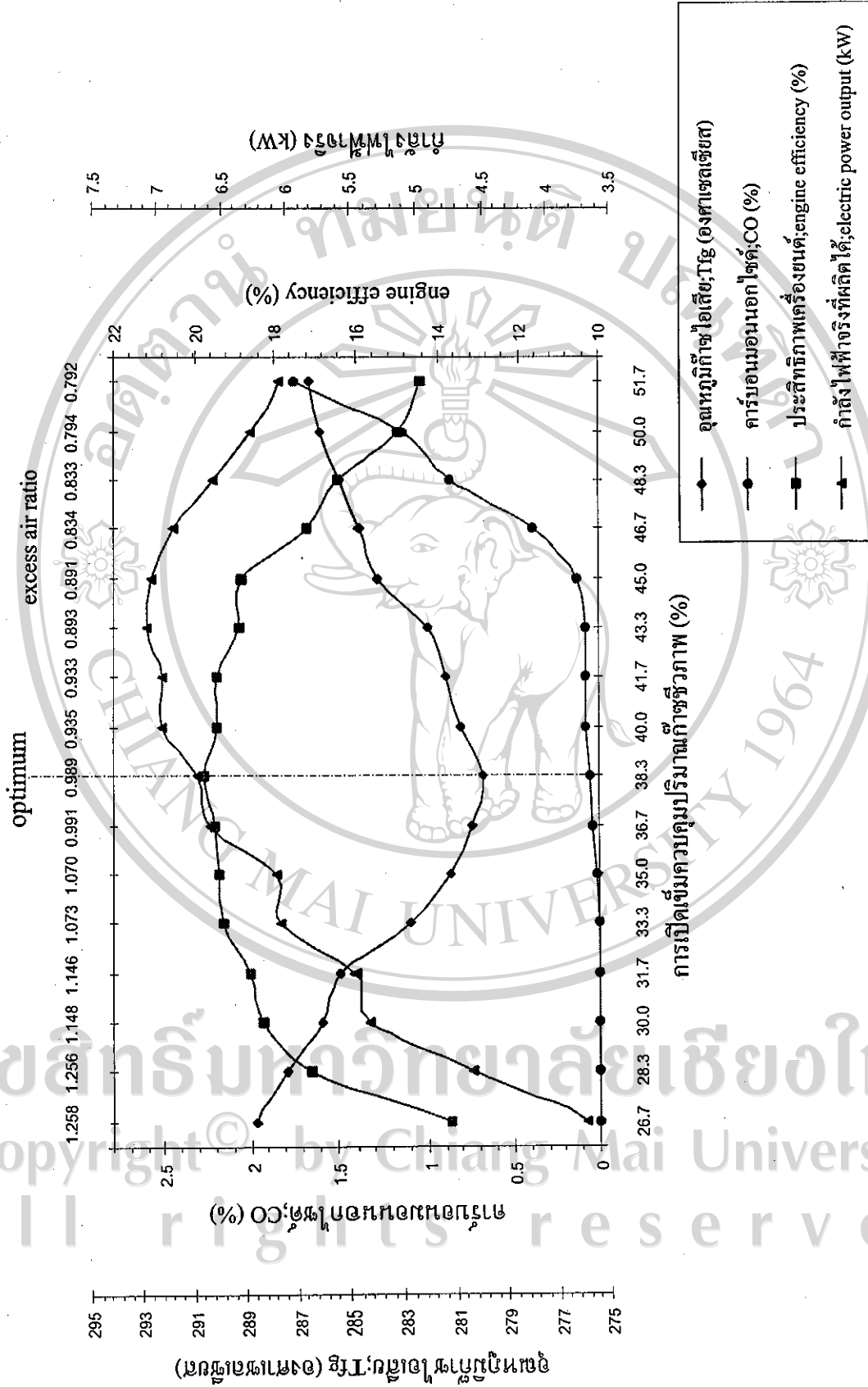
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจาก ไอเสีย, ประสิทธิภาพเครื่องยนต์และกำลังไฟฟ้จริงที่ผลิตได้ กับอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่เปลี่ยนไป ขณะที่มีจํานวนความปริมาตรก๊าซชีวภาพเปิด 36.7 ถึง 61.7 %



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากไอเสีย, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ กับองศาการจุดระเบิดที่เปลี่ยนไป ขณะที่ยังคงควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพเบ็ด 38.3 %



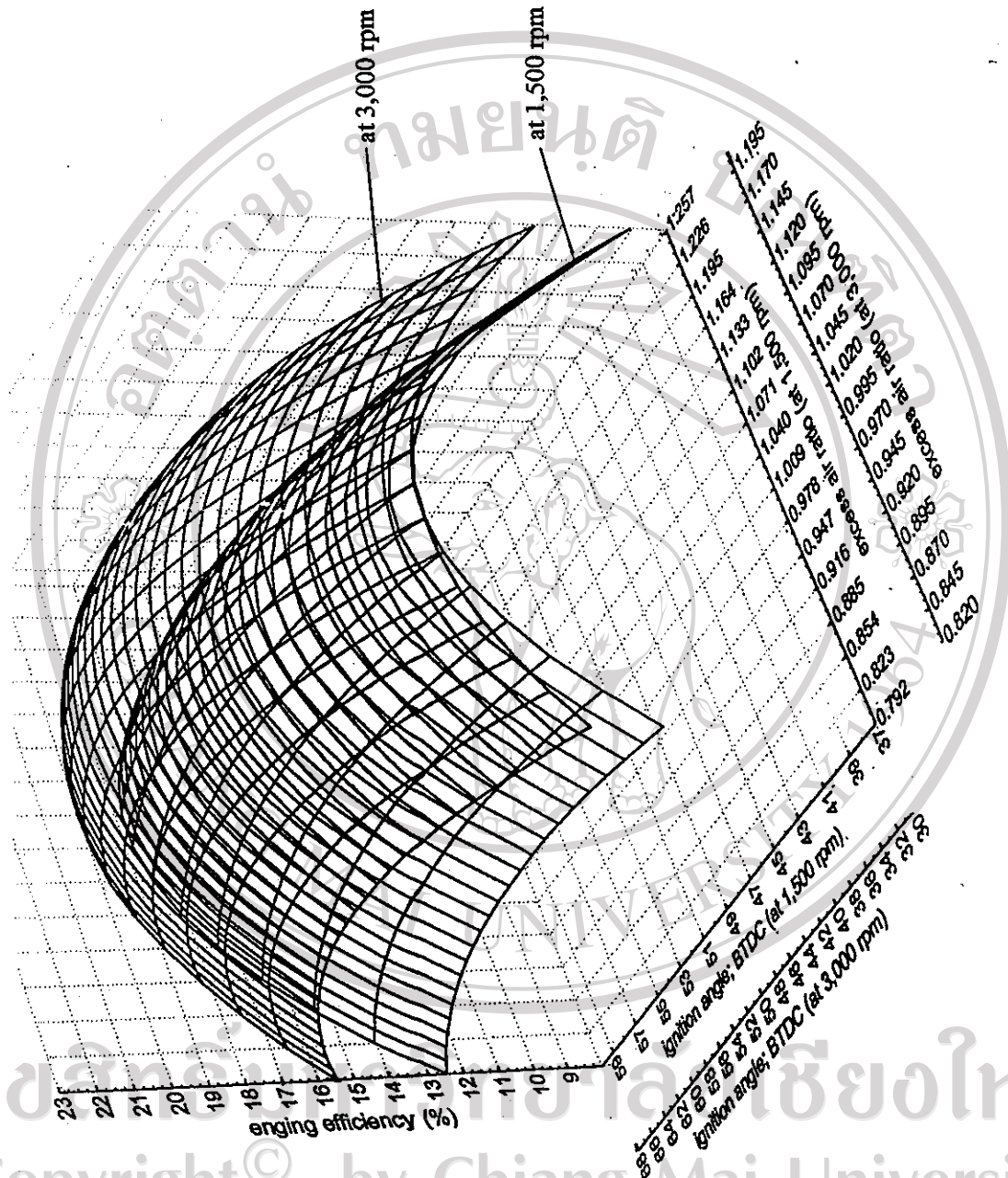
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากไอเสีย, ประสิทธิภาพเครื่องยนต์และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ กับอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่เปลี่ยนไป ขณะที่เข้มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพเปิด 26.7 ถึง 51.7 %



● อุณหภูมิก๊าซไอเสีย;Tfg (องศาเซลเซียส)
 ● คาร์บอนมอนอกไซด์;CO (%)
 ■ ประสิทธิภาพเครื่องยนต์;engine efficiency (%)
 ■ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้;electric power output (kW)

การเปิดเข้มควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพ (%)

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ (engine efficiency), องศาการจุดระเบิด (ignition angle) และ อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (excess air ratio; λ) ที่สถานะการทำงานที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm และ 1,500 rpm



Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับงานวิจัยนี้จะคำนวณผลทางเศรษฐศาสตร์โดยการเปรียบเทียบกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ยูเรเนียม ณ.สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีกำลังผลิตประมาณ 15 kW โดยใช้เครื่องยนต์ขนาด 1,800 cc เป็นเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องยนต์เหนียวนำขนาด 25 HP ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่ปรับปรุงขึ้นใหม่และใช้ในการวิจัยนี้มีกำลังผลิตไม่เกิน 15 kW โดยใช้เครื่องยนต์ขนาด 1,171 cc เป็นเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องยนต์เหนียวนำขนาด 25 HP ทำงานที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm และ 1,500 rpm เพื่อประกอบการพิจารณาว่าระบบใดมีความน่าสนใจในการลงทุนมากที่สุด โดยอยู่ภายใต้สมมุติฐานดังนี้

ก. คำนึงถึงต้นทุนในส่วนของคุณค่าผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพเท่านั้น
ข. ไม่คิดค่าแรงงานในการบำรุงรักษาโดยถือว่าสถานประกอบการมีช่างเทคนิคประจำการอยู่แล้ว

ค. ให้ระบบทำงานวันละ 8 ชั่วโมงโดยไม่มีวันหยุด

ง. ถือว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติจากการหมักจึงไม่คิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้

จ. อัตรารับซื้อไฟฟ้าคืนจากการไฟฟ้าฯ ใช้เกณฑ์ TOU = 2.695 บาท/kWh (ข้อมูลจากระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก. การไฟฟ้านครหลวง: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, พฤษภาคม: 2545)

ทั้งนี้จะต้องอาศัยข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้ยูเรเนียมและที่ปรับปรุงใหม่เพื่อเป็นข้อมูลดิบในการคำนวณดังนี้

ก. ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้ยูเรเนียม

- ราคาเครื่องยนต์เก่า (TOYOTA -2Y) ขนาด 1,800 cc ราคา 30,000 บาท
- ค่า Overhaul + ค่าทำแทน + ค่าแรง ราคา 30,000 บาท
- เครื่องยนต์เหนียวนำขนาด 18 kW (25 HP) ราคา 30,000 บาท
- ชุดควบคุม ราคา 80,000 บาท
- รวมราคาชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ ราคา 170,000 บาท
- ค่าซ่อมบำรุงรักษาปีละ 20,000 บาท
- ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ 12 kW
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 14.3 m³/hr
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 1.17 m³/kWh
- Overhaul 30,000 บาท/ครั้ง ทุกๆ 2 ปี และหมดอายุการใช้งาน 6 ปี
- ผู้ผลิต : BAU (ข้อมูลจากสถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)

ข. ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่

- ราคาเครื่องยนต์เก่า (NISSAN A-12) ขนาด 1,171 cc ราคา 12,000 บาท
- ค่า Overhaul (10,000 บาท) + ค่าทำแท่น (12,000 บาท) + ค่าแรง (1,000 บาท) รวมราคา 23,000 บาท
- มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 18 kW (25 HP) ราคา 15,000 บาท
- ชุดคาร์บูเรเตอร์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ ราคา 3,000 บาท
- ชุดควบคุม ราคา 40,000 บาท
- รวมราคาชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ ราคา 93,000 บาท
- ค่าซ่อมบำรุงรักษาปีละ 11,900 บาท¹ และ 7,540 บาท²
- ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ 14.48 kW¹ และ 6.68 kW²
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 11.368 m³/hr¹ และ 5.879 m³/hr²
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 0.79 m³/kWh¹ และ 0.88 m³/kWh²
- Overhaul 11,000 บาท/ครั้ง (ทุกๆ 1 ปี และหมดอายุการใช้งาน 3 ปี)¹ และ(ทุกๆ 2 ปี และหมดอายุการใช้งาน 6 ปี)² (ข้อมูลจากการทดสอบและคำนวณ)

¹ สำหรับที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm ² สำหรับที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm

∴ เปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่เท่ากันภายใต้เวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวันดังนี้

ก. เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm เทียบกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิมที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิมจะ

$$\text{ต้องใช้เวลาทั้งสิ้น} = \frac{11.368 \times 8}{14.3} = 6.36 \text{ hr}$$

ข. เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm เทียบกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิมที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิมจะ

$$\text{ต้องใช้เวลาทั้งสิ้น} = \frac{5.879 \times 8}{14.3} = 3.29 \text{ hr}$$

∴ หากจำนวนเงินที่ขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้าต่อปีในแต่ละกรณีดังนี้

ก. เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm

$$\text{จะขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้าได้} = 14.48 \times 8 \times 365 \times 2.695 = 113,948.912 \text{ บาท/ปี}$$

ข. เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm

$$\text{จะขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้าได้} = 6.68 \times 8 \times 365 \times 2.695 = 52,567.592 \text{ บาท/ปี}$$

ค. เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm เทียบกับเครื่องยนต์

ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิมที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิม จะขายไฟฟ้าคืนให้กับการไฟฟ้าฯ ได้ $= 12 \times 6.36 \times 365 \times 2.695 = 75,074.076$ บาท/ปี

ง. เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm เทียบกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิมที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้อยู่เดิม จะขายไฟฟ้าคืนให้กับการไฟฟ้าฯ ได้ $= 12 \times 3.29 \times 365 \times 2.695 = 38,835.489$ บาท/ปี

∴ กรณีใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ $= 113,948.912 - 75,074.076 = 38,874.836$ บาท/ปี

∴ กรณีใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ $= 113,948.912 - 38,835.489 = 75,113.423$ บาท/ปี

∴ กรณีใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm จะประหยัดค่าบำรุงรักษาได้ $= 20,000 - 11,900 = 8,100$ บาท/ปี

∴ กรณีใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm จะประหยัดค่าบำรุงรักษาได้ $= 20,000 - 7,540 = 12,460$ บาท/ปี

∴ กรณีใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่จะประหยัดต้นทุนการสร้างชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ $= 170,000 - 93,000 = 77,000$ บาท/ปี

จากการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์สามารถแสดงรายละเอียดในรูปแบบของตาราง Cash Flow ได้ดังนี้

ก. Cash Flow เปรียบเทียบผลต่างระหว่างการเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุง ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm กับชุดผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่เดิม ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm จะแสดงในตารางที่ 5.2

ข. Cash Flow เปรียบเทียบผลต่างระหว่างการเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุง ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm กับชุดผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่เดิม ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm จะแสดงในตารางที่ 5.3

ค. Cash Flow แสดงผลของการเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงใหม่ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm จะแสดงในตารางที่ 5.4

ง. Cash Flow แสดงผลของการเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุงที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm จะแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.2 Cash Flow เปรียบเทียบผลต่างระหว่างทางเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนตก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุง

ที่สถานะการทำงาน 3,000 rpm กับชุดผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ยูนิคิม ที่สถานะการทำงาน 1,500 rpm (หน่วยบาท)

| รายการ | ปีที่ | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| รายจ่าย (Expenditure) | 77000 | | | -23000 | | | |
| 1. เงินลงทุนที่ประหยัดได้ (Investment cost saving) | | 28040 | 28040 | 28040 | 28040 | 28040 | 28040 |
| 2. ค่าบำรุงรักษาที่ประหยัดได้ (O&M saving) | | 11000 | 11000 | 11000 | 11000 | 11000 | |
| 3. ค่า Overhaul ที่ประหยัดได้ (Overhaul saving) | | | | | | | |
| รายรับ (Revenue) | | | | | | | |
| 1. พลังงาน ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Energy saving) | | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 |
| กระแสเงินสดสุทธิที่ประหยัดได้ (Net saving cash flow) | 77000.00 | 77914.84 | 77914.84 | 43914.84 | 77914.84 | 77914.84 | 66914.84 |

ตารางที่ 5.3 Cash Flow เปรียบเทียบผลต่างระหว่างทางเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนตก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุง

ที่สถานะการทำงาน 1,500 rpm กับชุดผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ยูนิคิม ที่สถานะการทำงาน 1,500 rpm (หน่วยบาท)

| รายการ | ปีที่ | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| รายจ่าย (Expenditure) | 77000 | | | | | | |
| 1. เงินลงทุนที่ประหยัดได้ (Investment cost saving) | | 12460 | 12460 | 12460 | 12460 | 12460 | 12460 |
| 2. ค่าบำรุงรักษาที่ประหยัดได้ (O&M saving) | | | | | | | |
| 3. ค่า Overhaul ที่ประหยัดได้ (Overhaul saving) | | | 11000 | | | | |
| รายรับ (Revenue) | | | | | | | |
| 1. พลังงาน ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Energy saving) | | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 | 38874.84 |
| กระแสเงินสดสุทธิที่ประหยัดได้ (Net saving cash flow) | 77000.00 | 51334.84 | 62334.84 | 51334.84 | 62334.84 | 51334.84 | 51334.84 |

ตารางที่ 5.4 Cash Flow แสดงผลของการเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุง ที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm

| รายการ | ปี 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| รายจ่าย (Expenditure) | | | | | | | (หน่วย:บาท) |
| 1. เงินลงทุน (Investment cost) | -93000 | | | | | | |
| 2. ค่าบำรุงรักษา (O&M cost) | | -11900 | -11900 | -11900 | -11900 | -11900 | -11900 |
| 3. ค่า Overhaul | | -11000 | -11000 | -11000 | -11000 | -11000 | -11000 |
| รายรับ (Revenue) | | | | | | | |
| 1. มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ (Energy cost) | | 113948.91 | 113948.91 | 113948.91 | 113948.91 | 113948.91 | 113948.91 |
| กระแสเงินสดสุทธิ (Net cash flow) | -93000.00 | 91048.91 | 91048.91 | 79048.91 | 91048.91 | 91048.91 | 102048.91 |
| ค่าอัตราส่วนลด; IRR (%) | 94.65 | | | | | | |
| ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PBP) (ปี) | 1.02 | | | | | | |

ตารางที่ 5.5 Cash Flow แสดงผลของการเลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ปรับปรุง ที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm

| รายการ | ปี 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| รายจ่าย (Expenditure) | | | | | | | (หน่วย:บาท) |
| 1. เงินลงทุน (Investment cost) | -93000 | | | | | | |
| 2. ค่าบำรุงรักษา (O&M cost) | | -7540 | -7540 | -7540 | -7540 | -7540 | -7540 |
| 3. ค่า Overhaul | | | -11000 | | | | |
| รายรับ (Revenue) | | | | | | | |
| 1. มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ (Energy cost) | | 52567.59 | 52567.59 | 52567.59 | 52567.59 | 52567.59 | 52567.59 |
| กระแสเงินสดสุทธิที่ประหยัดได้ (Net saving cash flow) | -93000.00 | 45027.59 | 34027.59 | 45027.59 | 34027.59 | 45027.59 | 45027.59 |
| ค่าอัตราส่วนลด; IRR (%) | 37.73 | | | | | | |
| ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PBP) (ปี) | 2.31 | | | | | | |