

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

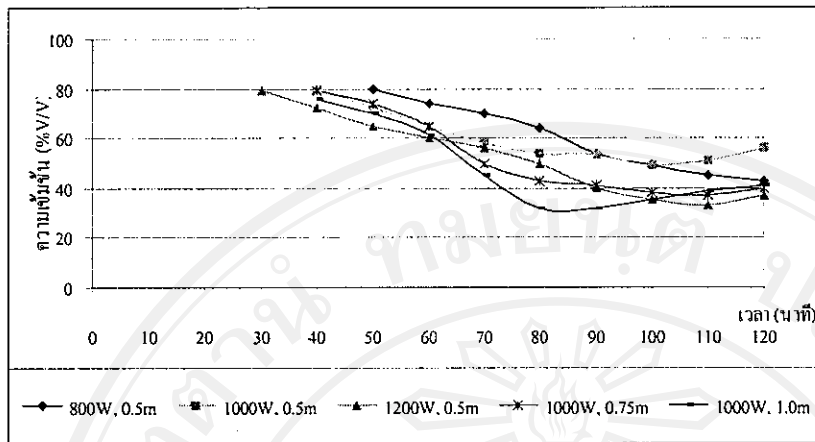
การทดสอบกลิ่นเอทานอลด้วยเทคนิคบับเบิลปั๊ม ซึ่งมีด้วยกันสองส่วน คือ การทดสอบบับเบิลปั๊มโดยใช้พลังงานไฟฟ้า และการทดสอบกลิ่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ผลจากการทดสอบที่ได้ทั้งสองส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบบับเบิลปั๊มโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

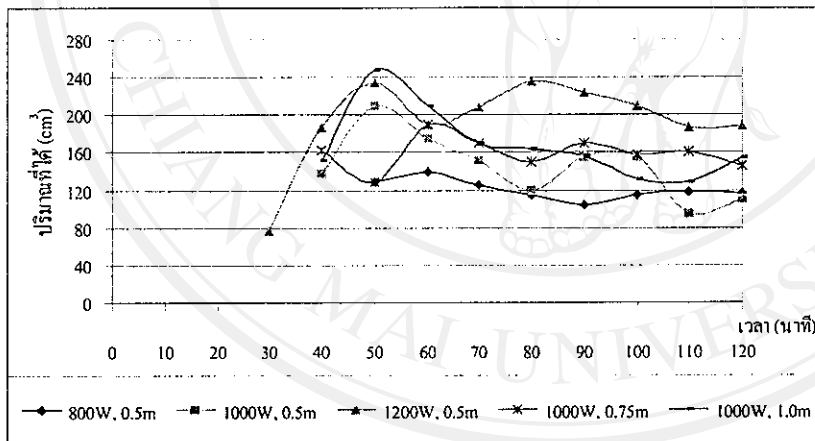
การทดสอบในส่วนนี้ สารละลายเอทานอลที่ใช้ทดสอบได้จากการผสมเอทานอลบริสุทธิ์ (99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) กับน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ท่อบับเบิลปั๊มที่ใช้เป็นท่อแก้วสามขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8, 10 และ 14 mm แต่ละขนาดจะมีความสูงเป็น 0.5, 0.75 และ 1.0 m ดำเนินการกลั่นโดยใช้กำลังไฟฟ้า 800, 1,000 และ 1,200 W ตามลำดับ และในการทดสอบแต่ละครั้งจะใช้เวลา 2 ชั่วโมงเท่ากัน ผลการทดสอบที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 การกลั่นโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm

กรณีที่กลั่นโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm พบว่ากระบวนการกลั่นจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความเข้มข้นที่กลั่นได้ในช่วงแรกมีค่าค่อนข้างสูงจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงมาเรื่อย ๆ และมีแนวโน้มที่จะคงที่เมื่อเริ่มเข้าสู่ชั่วโมงที่สอง สำหรับกรณีที่สามารถกลั่นให้ได้ความเข้มข้นและอัตราการกลั่นที่สูงได้แก่ กรณีที่ท่อบับเบิลปั๊มมีความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีอัตราการกลั่นเท่ากับ $14.5 \text{ cm}^3/\text{min}$ กรณีที่ท่อบับเบิลปั๊มมีความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 800 W ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีอัตราการกลั่นเท่ากับ $12.0 \text{ cm}^3/\text{min}$ และกรณีที่ท่อบับเบิลปั๊มมีความสูง 0.75 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 52 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการกลั่นเท่ากับ $15.9 \text{ cm}^3/\text{min}$ สำหรับกรณีอื่น ๆ ความเข้มข้นและปริมาณที่กลั่นได้แสดงในรูป 4.1 และรูป 4.2 ตามลำดับ



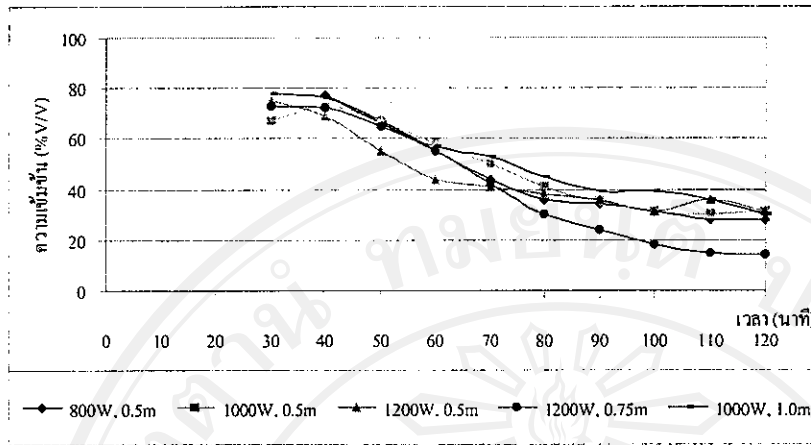
รูป 4.1 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร



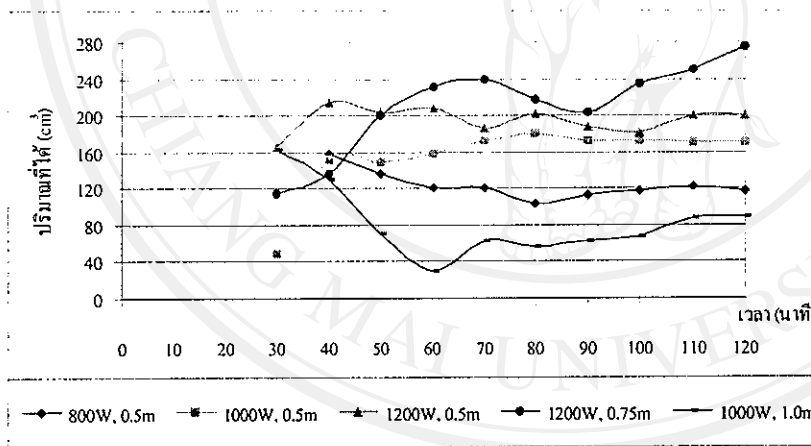
รูป 4.2 แผนภูมิแสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4.1.2 การกลั่นโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm

การทดสอบในกรณีที่กลั่นโดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm พบว่ากระบวนการกลั่นจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm แต่ความเข้มข้นที่กลั่นได้จะน้อยกว่า โดยกรณีที่สามารถกลั่นได้ดีเป็นกรณีที่ใช้ท่อที่มีความสูง 0.5 m ทั้งสามกรณีได้แก่ กรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้า 800 W ได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 46 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มี



รูป 4.3 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร



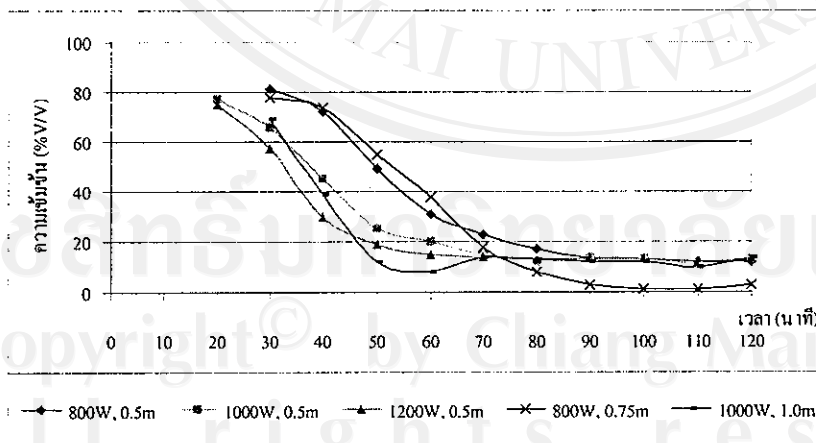
รูป 4.4 แผนภูมิแสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

อัตราการกลั่น $12.3 \text{ cm}^3/\text{min}$ กรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ได้รับความเข้มข้นเฉลี่ย 46 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเช่นกัน มีอัตราการกลั่น $15.4 \text{ cm}^3/\text{min}$ และกรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้า 1,200 W ได้รับความเข้มข้นเฉลี่ย 45 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีอัตราการกลั่น $19.5 \text{ cm}^3/\text{min}$ จากผลที่ได้จะเห็นได้ชัดเจนว่า กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นจะมีผลต่อความเข้มข้นที่กลั่นได้ไม่มากนัก แต่จะมีผลโดยตรงกับอัตราการกลั่นที่ได้ กล่าวคือ ถ้าใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นอัตราการกลั่นที่ได้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ส่วน

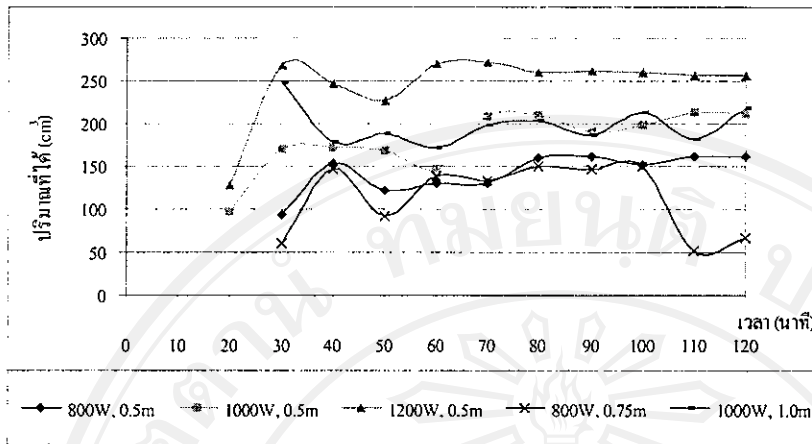
กรณีที่เกิดโดยใช้ท่อที่มีความสูง 1.0 m ทั้งสามกรณีได้แก่ กรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้า 800, 1,000 และ 1,200 W นั้นถึงแม้ว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของทุกกรณีจะสูงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาอัตราการกลับที่ได้แล้วพบว่ามีความน้อยมากเมื่อเทียบกับกรณีที่เกิดโดยใช้ท่อที่มีความสูง 0.5 และ 0.75 m สำหรับความเข้มข้นและปริมาณที่กลับได้ในแต่ละกรณีแสดงในรูป 4.3 และรูป 4.4 ตามลำดับ

4.1.3 การกลับโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14 mm

การทดสอบในกรณีที่เกิดโดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14 mm พบว่ามีบางกรณีที่กระบวนการกลับเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง ได้แก่ กรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้า 1,200 W ที่ความสูงของท่อ 0.75 m, กรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ที่ความสูงของท่อ 0.75 m และกรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้า 800 W ที่ความสูงของท่อ 1.0 m ทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลับได้มีค่าค่อนข้างน้อย ส่วนกรณีอื่น ๆ ที่กระบวนการกลับเป็นไปอย่างต่อเนื่องพบว่าเมื่อดำเนินการกลับต่อไปเรื่อย ๆ ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลับได้ลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละกรณีน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจากสารละลายเอทานอลในหม้อต้มไหลผ่านท่อแบบเบิ้ลปัมขึ้นไปถึงถังแยกไอ - ของเหลวได้น้อย ดังนั้นเมื่อดำเนินการกลับต่อไปเรื่อย ๆ ความเข้มข้นที่เหลือในหม้อต้มจะลดลงอย่างรวดเร็ว ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลับได้จึงลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน สำหรับความเข้มข้นและปริมาณเอทานอลที่กลับได้ในแต่ละกรณีแสดงดังในรูป 4.5 และรูป 4.6 ตามลำดับ



รูป 4.5 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้เมื่อกลับในระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร



รูป 4.6 แผนภูมิแสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4.1.4 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของปัจจัยต่าง ๆ

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เพื่อดูผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อความเข้มข้นและอัตราการกลั่นเฉลี่ยที่ได้ในการทดสอบในระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะกำหนดให้ผลการทดสอบที่ใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm, ความสูง 0.75 m และใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ซึ่งมีค่าความเข้มข้นและอัตราการกลั่นเฉลี่ยที่ได้เป็น 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ 18.8 cm³/min ตามลำดับเป็นค่าอ้างอิง แล้วเปรียบเทียบกับผลการทดสอบกับกรณีอื่น ๆ ที่ค่าของปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 4.1

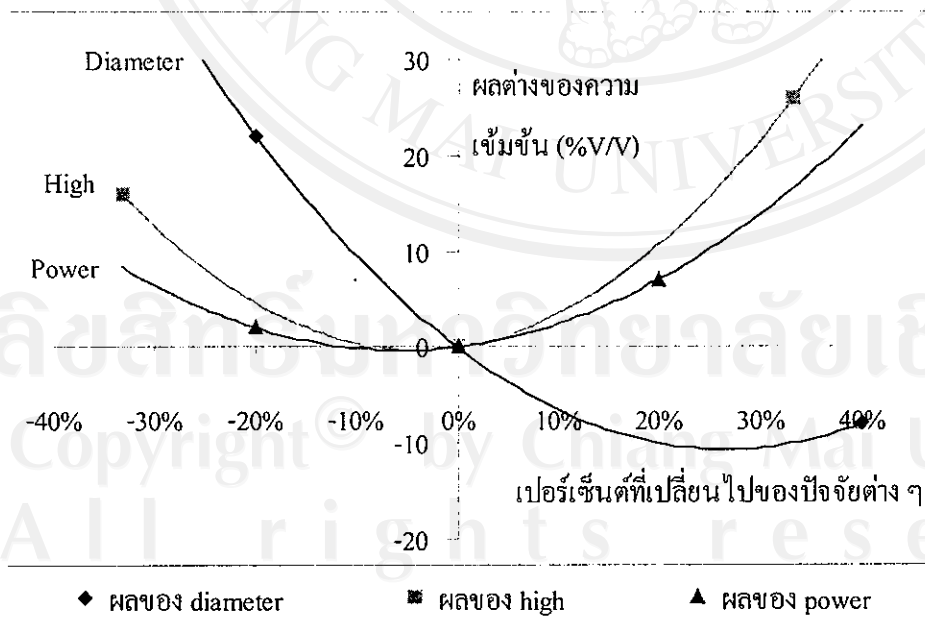
ตารางที่ 4.1 ค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าอ้างอิง

ค่าที่เปลี่ยนไป	-33.3 %	-20 %	Reference	+20 %	+33.3 %	+40 %
Diameter (mm)	-	8 mm	10 mm	-	-	14 mm
High (m)	0.5 m	-	0.75 m	-	1.0 m	-
Power (W)	-	800 W	1,000 W	1,200 W	-	-

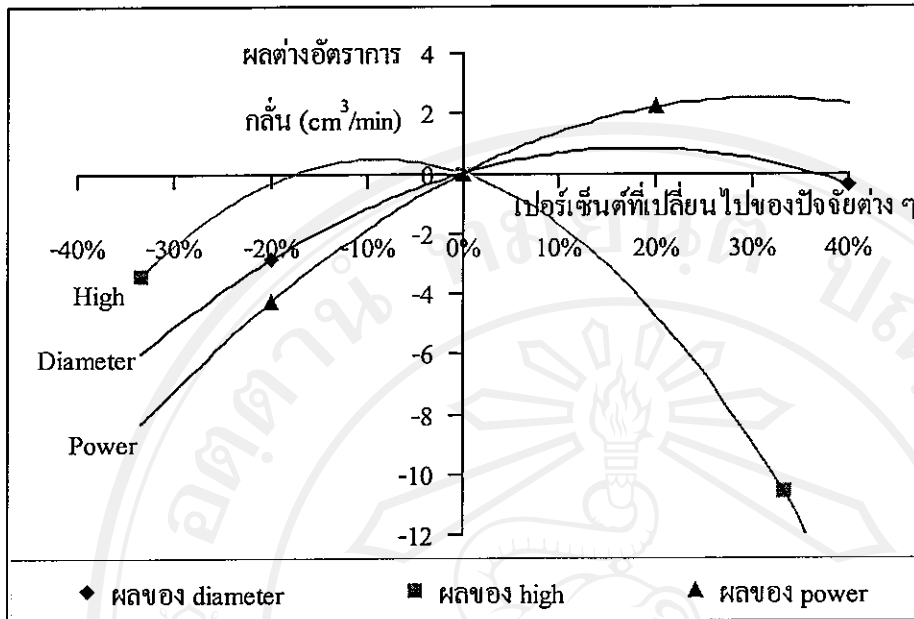
ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้มากที่สุด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อบับเบิ้ลปัม รองลงมาคือความสูงของท่อบับเบิ้ลปัม และ

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ตามลำดับ นั่นคือ ถ้าหากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจาก 10 mm เป็น 14 mm ค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จะลดลงเล็กน้อย และอัตราการกลั่นที่ได้ก็ไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก แต่ถ้าหากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อลดลงจาก 10 mm เป็น 8 mm ค่าความเข้มข้นที่ได้จะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเพิ่มขึ้นไปจากเดิม 22 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในขณะที่อัตราการกลั่นที่ได้ลดลงจากเดิมเพียง 2.9 cm³/min เท่านั้น สำหรับผลของความสูงของท่อบีบเป่าปัมพบว่าในกรณีที่ความสูงของท่อบีบเป่าปัมเพิ่มขึ้นจาก 0.75 m เป็น 1.0 m ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ก็มีค่าสูงเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นไปจากเดิมถึง 26 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แต่เมื่อพิจารณาอัตราการกลั่นที่ได้พบว่า มีค่าลดลงไปจากเดิมถึง 10.6 cm³/min เหลือเพียง 8.2 cm³/min เท่านั้น ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ความสูงลดลงเป็น 0.5 m ที่มีค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่อัตราการกลั่นลดลงเพียง 3.4 cm³/min เท่านั้น ส่วนผลของกำลังไฟฟ้าที่ใช้พบว่ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่กลั่นได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อความเข้มข้นและอัตราการกลั่นที่ได้แสดงดังในรูป 4.7 และ รูป 4.8 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าระบบกลั่นเอทานอลที่ทำการศึกษจะสามารถกลั่นได้ดีเมื่อดำเนินการกลั่นโดยใช้ท่อบีบเป่าปัมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 8 mm ที่ความสูงระหว่าง 0.5 – 0.75 m โดยใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 800 – 1,000 W



รูป 4.7 แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์ความไวของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้



รูป 4.8 แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์ความไวของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่ออัตราการกลั่น

4.1.5 การวิเคราะห์กลุ่มตัวแปรไร้มิติ

การวิเคราะห์กลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless analysis) ที่เกี่ยวข้องกับระบบกลั่นที่ทำการศึกษาโดยใช้ “ทฤษฎีของบัคกิงแฮมพาย” (Buckingham Pi Theorem) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ พบว่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_f} = f \left(\frac{\dot{m}_f \lambda}{P}, \frac{C}{C_{Initial}} \right) \quad (4.1)$$

โดยที่ \dot{m}_d = อัตราการกลั่น (kg/s)

\dot{m}_f = อัตราการป้อนสารละลาย (kg/s)

λ = ความร้อนแฝงในการระเหยของสารผสมเอทานอล - น้ำ (kJ/kg)

P = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)

C = ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ (%v/v)

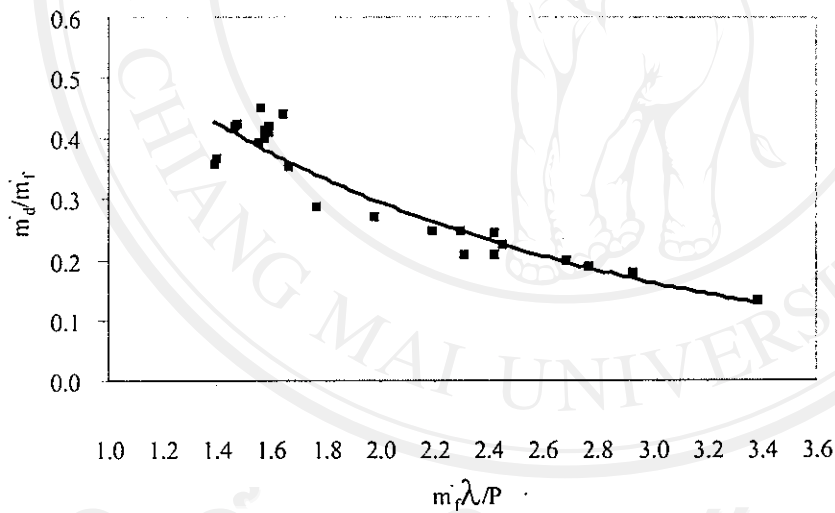
$C_{Initial}$ = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (%v/v)

ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูป 4.9 และรูป 4.10 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า $\frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_f}$ มีความสัมพันธ์กับ $\frac{\dot{m}_f \lambda}{P}$ เป็นฟังก์ชันเลขชี้กำลัง และมีความสัมพันธ์กับ $\frac{C}{C_{Initial}}$ เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ดังต่อไปนี้

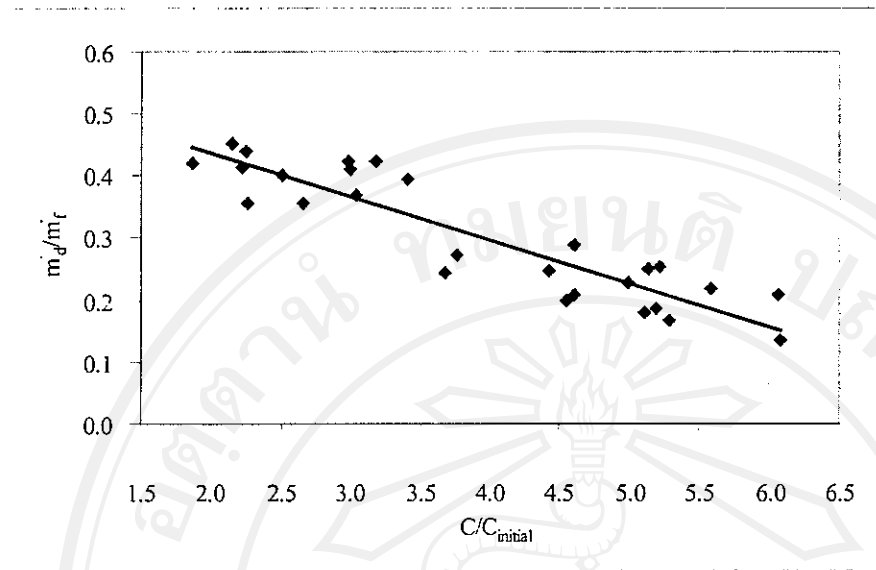
$$\frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_f} = 0.7545 e^{-0.4991(\dot{m}_f \lambda / P)} \tag{4.2}$$

และ

$$\frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_f} = 0.5744 - 0.0696 \frac{C}{C_{Initial}} \tag{4.3}$$



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © Chiang Mai University
 All rights reserved



รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_f}$ กับ $\frac{C}{C_{Initial}}$ ที่ได้จากการทดสอบ

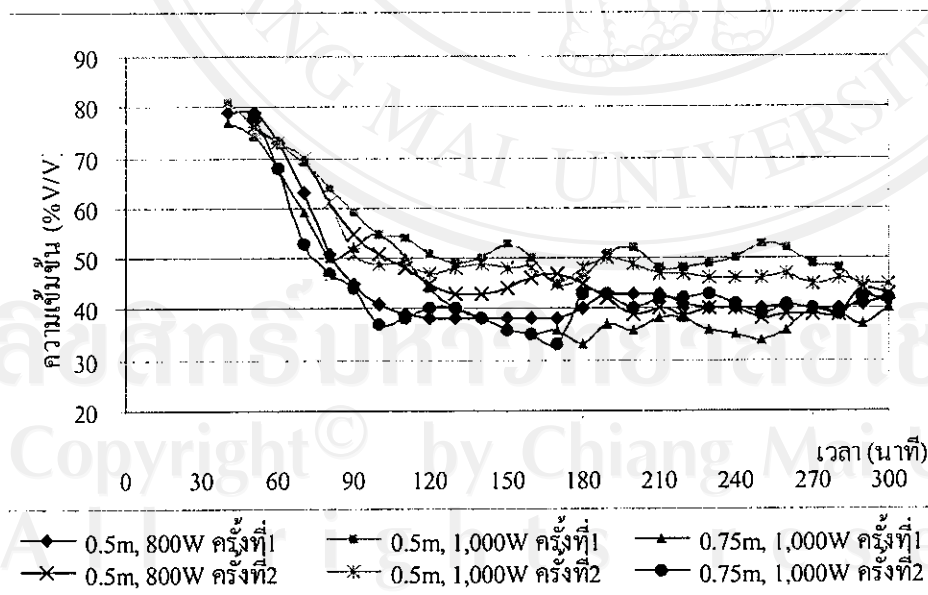
4.1.6 การทดสอบกลิ่นอย่างต่อเนื่อง

จากการทดสอบทั้งหมด 27 กรณี พบว่ากรณีที่ระบบกลิ่นสามารถทำงานได้ดีมีอยู่ด้วยกัน 3 กรณี โดยที่ทั้ง 3 กรณีนั้นเป็นกรณีที่ใช้ท่อขับเบิ้ลปั๊มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 8 mm ทั้งหมด ได้แก่ กรณีที่ท่อมีความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีอัตราการกลิ่นเท่ากับ 14.5 cm³/min, กรณีที่ท่อมีความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 800 W ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีอัตราการกลิ่นเท่ากับ 12.0 cm³/min และกรณีที่ท่อมีความสูง 0.75 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 52 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการกลิ่นเท่ากับ 15.9 cm³/min

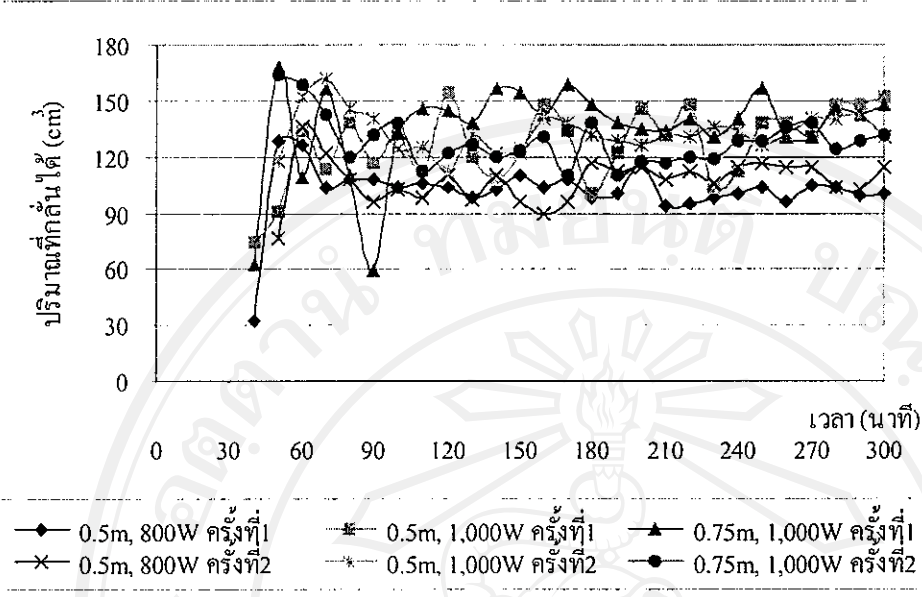
เพื่อให้แน่ใจว่าการกลิ่นเอทานอลด้วยเทคนิคขับเบิ้ลปั๊มจะสามารถดำเนินการกลิ่นต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ยังมีความเข้มข้นและอัตราการกลิ่นสูงอยู่จึงทำการทดสอบกลิ่นเอทานอลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมงโดยดำเนินการกลิ่นภายใต้เงื่อนไขทั้งสามกรณีดังกล่าว ในการทดสอบนั้นจะใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ และในแต่ละกรณีจะทำการทดสอบซ้ำสองครั้ง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้มีดังต่อไปนี้

4.1.6.1 การกลั่นโดยใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

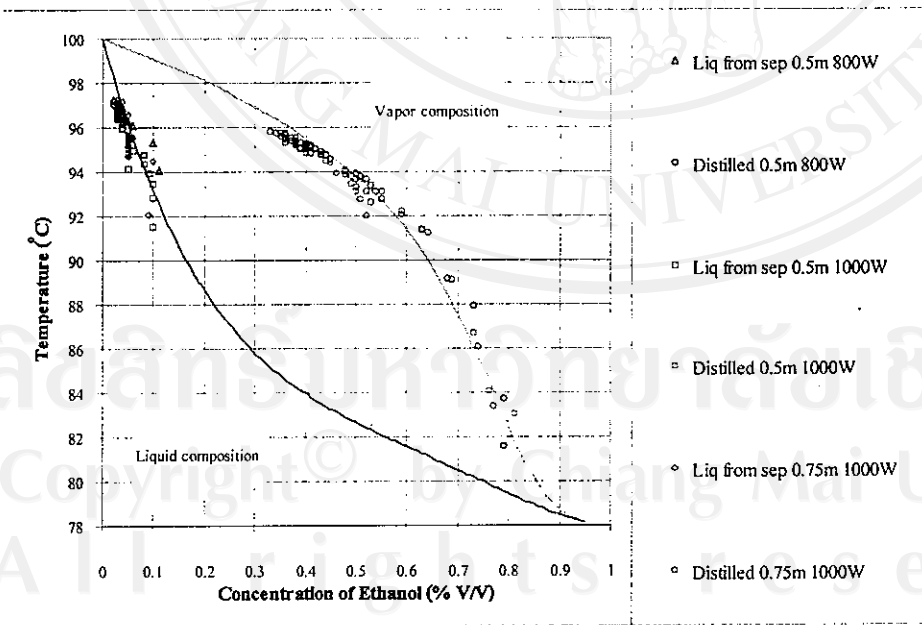
ผลจากการทดสอบกลั่นต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรพบว่าในช่วงแรกความเข้มข้นที่กลั่นได้จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนเข้าสู่ชั่วโมงที่สองความเข้มข้นที่ได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ และในการทดสอบทั้งสองครั้งของแต่ละกรณีความเข้มข้นที่กลั่นได้มีค่าใกล้เคียง ส่วนปริมาณที่กลั่นได้ไม่ค่อยคงที่ เนื่องจากการไหลของสารละลายขึ้นไปสู่ถังแยกไอ - ของเหลวไม่ค่อยสม่ำเสมอ แต่ปริมาณที่กลั่นได้ตลอดการทดสอบทั้งสองครั้งของแต่ละกรณียังคงมีค่าใกล้เคียงกัน ความเข้มข้นและปริมาณที่กลั่นได้แสดงในรูป 4.11 และรูป 4.12 ตามลำดับโดยกรณีที่กลั่นโดยใช้ใช้ท่อขับเบิ้ลปัมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ที่ความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 52 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการกลั่นเท่ากับ $12.95 \text{ cm}^3/\text{min}$ กรณีที่กลั่นโดยใช้ใช้ท่อขับเบิ้ลปัมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ที่ความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 800 W ได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 46 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการกลั่นเท่ากับ $10.45 \text{ cm}^3/\text{min}$ และกรณีที่กลั่นโดยใช้ใช้ท่อขับเบิ้ลปัมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ที่ความสูง 0.75 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 44 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการกลั่นเท่ากับ $13.15 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูป 4.11 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

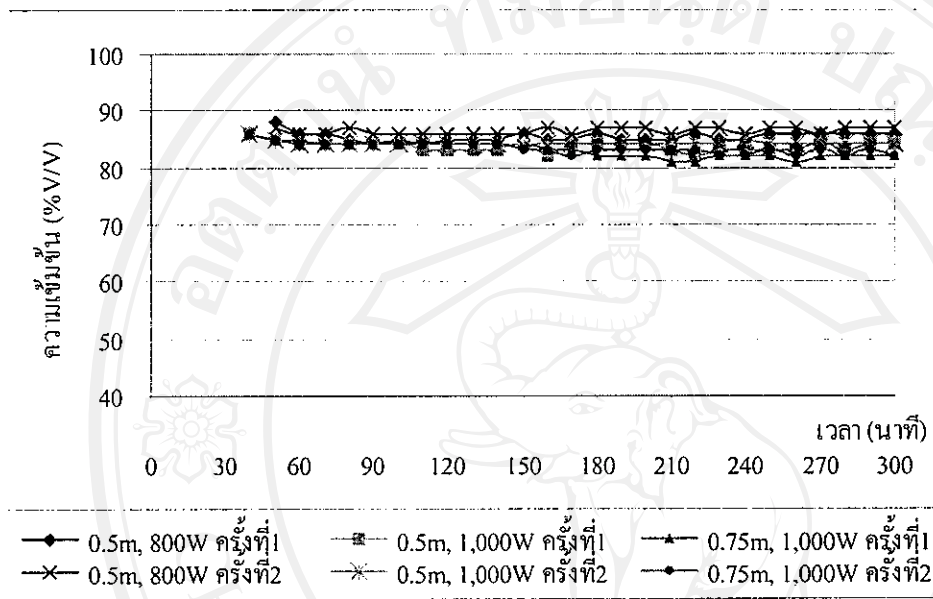


รูป 4.12 แผนภูมิแสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร



รูป 4.13 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสมดุลไอ - ของเหลวกับผลที่ได้จากการทดสอบกลั่นโดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ผลที่ได้จากการทดสอบกลิ่น โดยใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเมื่อเทียบกับสมมูลไอ – ของเหลวของสารผสมเอทานอล – นำพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับสมมูลไอ – ของเหลว ซึ่งแสดงได้ดังในรูป 4.13



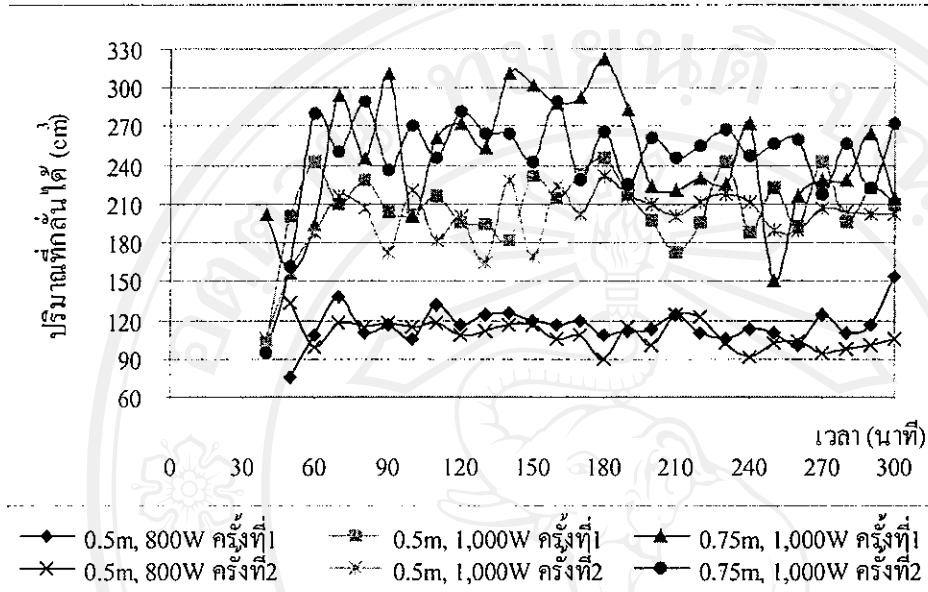
รูป 4.14 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4.1.6.2 การกลั่นโดยใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดย

ปริมาตร

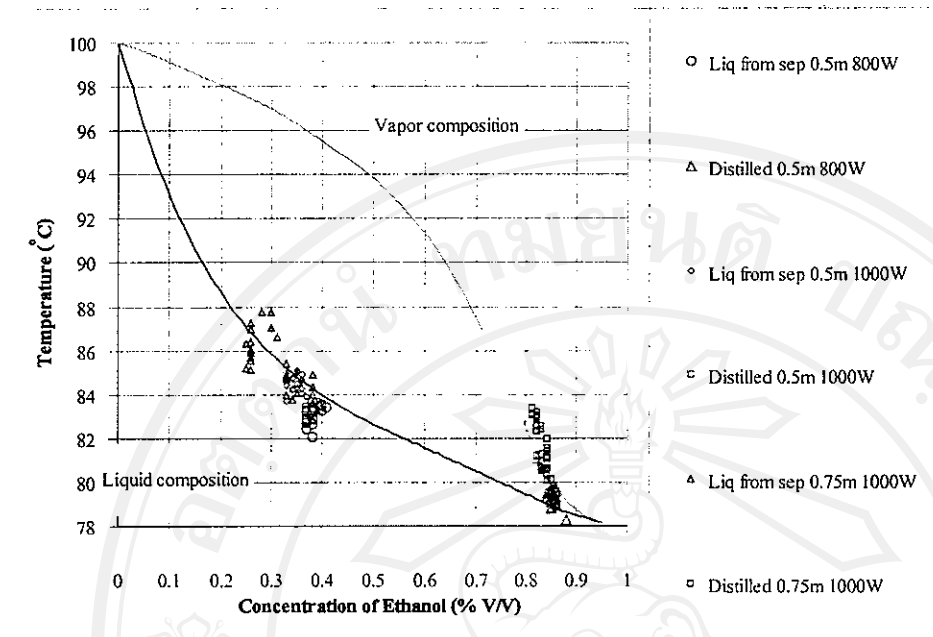
ผลจากการทดสอบกลิ่นต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรพบว่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบ และในการทดสอบทั้งสองครั้งของแต่ละกรณี ความเข้มข้นและปริมาณที่กลั่นได้มีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในรูป 4.14 และรูป 4.15 ตามลำดับโดยกรณีที่กลั่นโดยใช้ใช้ท่อแบบเบิ้ลปี้มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ที่ความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W จะให้ความเข้มข้นเฉลี่ย 84 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรอัตราการกลั่นเท่ากับ $20.2 \text{ cm}^3/\text{min}$ กรณีที่กลั่นโดยใช้ใช้ท่อแบบเบิ้ลปี้มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ที่ความสูง 0.5 m ใช้กำลังไฟฟ้า 800 W ให้ความเข้มข้นเฉลี่ย 86 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการกลั่นเท่ากับ $11.25 \text{ cm}^3/\text{min}$ และกรณีที่กลั่นโดยใช้ใช้ท่อแบบเบิ้ลปี้มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ที่ความ

สูง 0.75 m ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 W ได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 83 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการกลั่นเท่ากับ $24.65 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูป 4.15 แผนภูมิแสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้เมื่อกลั่นในระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ผลที่ได้จากการทดสอบกลั่น โดยใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเมื่อเทียบกับสมดุลไอ – ของเหลวของสารผสมเอทานอล – น้ำพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับสมดุลไอ – ของเหลว เช่นเดียวกับกรณีที่กลั่น โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งผลที่ได้แสดงดังในรูป 4.16



รูป 4.16 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสมดุลไอ - ของเหลวกับผลที่ได้จากการทดสอบกลั่น โดยใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4.2 การทดสอบกลั่นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

4.2.1 ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

ในการศึกษานี้จำเป็นต้องหาสมการการประสิทธิผลของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์เพื่อใช้สำหรับประเมินหาปริมาณความร้อนที่สารละลายเอทานอลได้รับจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ โดยในการศึกษานี้ จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (แสดงในภาคผนวก ข และภาคผนวก ค) มาใช้ในการคำนวณ แต่เนื่องจากในการศึกษานี้อุณหภูมิของสารละลายทางด้านเข้า (T_{in}) ของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก ดังนั้นการที่จะหาสมการการประสิทธิผลโดยวิธีปกตินั้นจะไม่สามารถทำได้ จำเป็นต้องใช้วิธีการอื่นในการหาเพื่อให้ได้ค่า $F_R(T_{in})$ และ $F_R U_L$ ของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

เมื่อพิจารณาปริมาณความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ตามสมการ (2.16) และพิจารณาจากเส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ดังแสดงในรูป 2.1 จะพบว่าค่าผลคูณประสิทธิผลการส่งผ่านและดูดกลืนของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ หรือ $F_R(T_{in})$ ก็คือค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ (η_c) ขณะที่อุณหภูมิของไหลเข้าเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมนั่นเอง ดังนั้นจากสมการ (2.16)

$$Q_u = F_R(\tau\alpha)I_T A_c - F_R U_L A_c (T_{fi} - T_a) \quad (2.16)$$

เมื่ออุณหภูมิของไหลเข้าเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($T_{fi} = T_a$) จะได้

$$F_R(\tau\alpha) = \frac{Q_u}{I_T A_c} = \frac{\dot{m}_f c_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c} \quad (4.1)$$

และจากสมการ (2.16) เมื่อค่ารังสีแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับศูนย์ (ในตอนกลางคืน) จะสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน ($F_R U_L$) ได้ดังนี้

$$-F_R U_L = \frac{Q_u}{A_c (T_{fi} - T_a)} = \frac{\dot{m}_f c_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c (T_{fi} - T_a)} \quad (4.2)$$

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่า $F_R(\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ โดยอาศัยสมการ (4.1) และสมการ (4.2) พบว่าตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ในการศึกษามีค่าผลคูณประสิทธิภาพการส่งผ่านและดูดกลืนหรือ $F_R(\tau\alpha)$ เท่ากับ 0.263 และมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ($F_R U_L$) เท่ากับ 1.9169 W/m² ดังนั้นสมการประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาแสดงได้ดังนี้

$$\eta_c = 0.263 - 1.9169 \frac{(T_{fi} - T_a)}{I_T} \quad (4.3)$$

สมการการประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้ดังแสดงในสมการ (4.3) นี้จะใช้สำหรับคำนวณหาปริมาณความร้อนที่สารละลายเอทานอลได้รับจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถประเมินหาต้นทุนที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลได้ตลอดทั้งปี

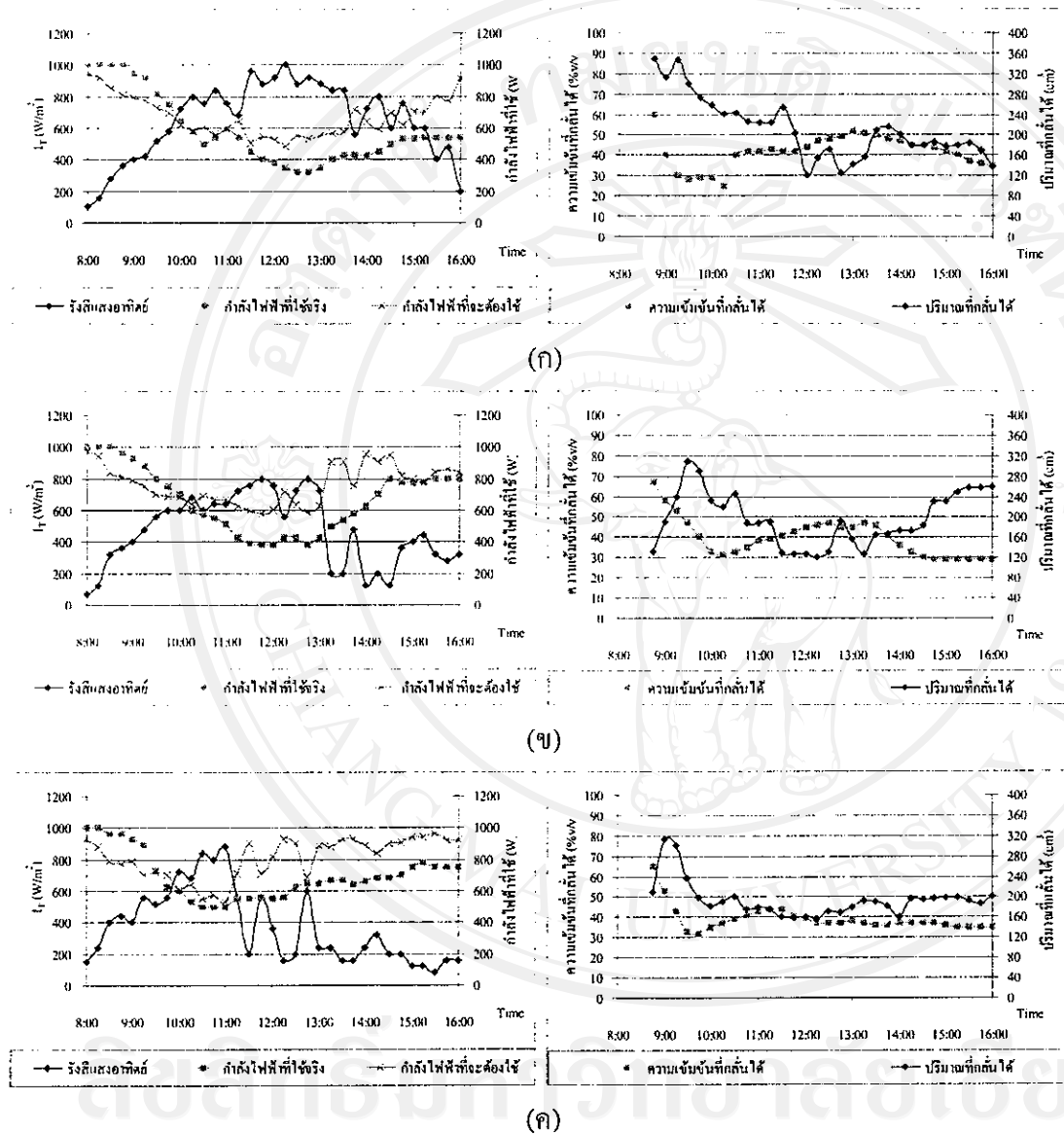
4.2.2 ผลการทดสอบก้นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

การทดสอบก้น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นแบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับรังสี 2.0 m² ใช้สารละลายเอทานอลที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดำเนินการก้นตั้งแต่วันที่ 8:00 – 16:00 น. โดยใช้สภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ จากผลการทดสอบบับเบิ้ลปัมในส่วนแรก คือ ใช้ท่อบับเบิ้ลปัมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 8 mm ความสูง 0.5 m และในการทดสอบแต่ละครั้งจะเริ่มใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 1,000 W จากนั้นทำการปรับคิมเมอร์โดยพิจารณาจากค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้สารละลายเอทานอลได้รับความร้อนประมาณ 1,000 W สำหรับผลการทดสอบจะแยกพิจารณาออกเป็น 3 กรณี คือ วันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก วันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ปานกลาง และวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างน้อยดังต่อไปนี้

การทดสอบในกรณีของวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก มีผลการทดสอบทั้งหมดสี่วัน ได้แก่ วันที่ 29 กันยายน 2546, วันที่ 12 ตุลาคม 2546, วันที่ 13 ตุลาคม 2546 และวันที่ 8 พฤศจิกายน 2546 ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นและปริมาณเอทานอลที่ก้นได้ในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ความเข้มข้นของเอทานอลที่ก้นได้มีค่าประมาณ 41 – 44 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสามารถก้นได้ประมาณ 5.6 – 6.4 ลิตร/วัน มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 4.29 – 4.84 kWh/วัน และเมื่อทำการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้ในการก้นโดยพิจารณาจากสมมติฐานที่กำหนดให้สารละลายเอทานอลได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟหารวมประมาณ 1,000 W (ไม่คิดพลังงานที่สะสมในตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์) โดยอาศัยสมการประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ตามสมการ (4.3) ช่วยในการคำนวณพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้ในการก้นในแต่ละวันมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง โดยมีค่าประมาณ 5.53 – 5.86 kWh/วัน ตัวอย่างผลการก้นในวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก (29 กันยายน 2546) แสดงดังในรูป 4.17 (ก) ส่วนผลการก้นในวันอื่น ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ข

สำหรับการทดสอบในกรณีของวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ปานกลาง มีผลการทดสอบทั้งหมดสามวัน ได้แก่ วันที่ 3 ตุลาคม 2546, วันที่ 4 พฤศจิกายน 2546 และวันที่ 5 พฤศจิกายน 2546 ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นและปริมาณเอทานอลที่ก้นได้ในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับกรณีที่ก้นในวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก โดยความเข้มข้นของเอทานอลที่ก้นได้มีค่าประมาณ 39 – 43 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสามารถก้นได้ประมาณ 5.4 – 5.9 ลิตร/วัน มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 4.87 – 5.50 kWh/วัน ขณะที่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้ในการก้นในแต่ละวันซึ่งได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงเช่นเดียวกับกรณีที่ก้นในวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก โดยมีค่าประมาณ 6.08 – 6.28 kWh/วัน สำหรับ

ตัวอย่างผลการกลั่นในวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ปานกลาง (5 พฤศจิกายน 2546) แสดงดังในรูป 4.17 (ข) และผลการกลั่นในวันอื่น ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ข



รูป 4.17 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า (ก) วันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก (29 กันยายน 2546), (ข) วันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ปานกลาง (5 พฤศจิกายน 2546), (ค) วันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างน้อย (4 ตุลาคม 2546)

สำหรับกรณีของวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างน้อย ซึ่งมีผลการทดสอบทั้งหมดสามวัน ได้แก่ วันที่ 4 ตุลาคม 2546, วันที่ 30 ตุลาคม 2546 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2546 ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นและปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับกรณี

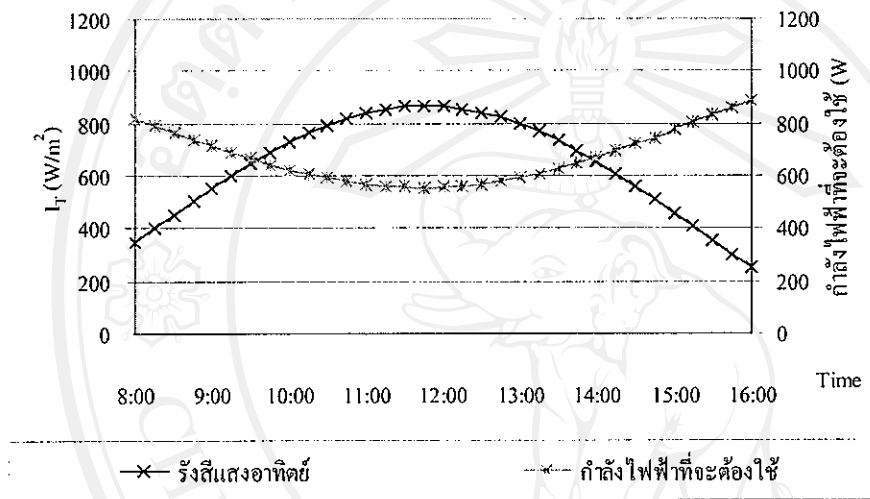
ของวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมากและปานกลาง โดยความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้มีค่าประมาณ 38 – 39 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณที่กลั่นได้ประมาณ 5.7 – 6.0 ลิตร/วัน มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 5.64 – 5.99 kWh/วัน ขณะที่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้จ่ายสำหรับการกลั่นในแต่ละวันซึ่งได้จากการคำนวณมีค่าประมาณ 6.48 – 6.88 kWh/วัน สำหรับตัวอย่างผลการกลั่นในวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ปานกลาง (4 ตุลาคม 2546) แสดงดังในรูป 4.17 (ก) ส่วนผลการกลั่นในวันอื่น ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ข

จากผลการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าทั้งสามกรณีจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นและปริมาณที่กลั่นได้ในแต่ละกรณีมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 โดยกลั่นได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 41 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และปริมาณการกลั่นเฉลี่ย 5.779 ลิตร/วัน หรือประมาณ 2,109 ลิตร/ปี ส่วนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใช้นั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับในแต่ละวัน

ตารางที่ 4.2 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

วันที่	ปริมาณที่กลั่นได้ (ลิตร/วัน)	ความเข้มข้นที่กลั่นได้เฉลี่ย (% v/v)	อัตราการกลั่นเฉลี่ย (cm ³ /min)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/วัน)		ค่ารังสีแสงอาทิตย์
				จากการทดลอง	จากการคำนวณ	
29 ก.ย.46	6.352	41	14.12	4.82	5.53	มาก
12 ต.ค.46	5.570	44	12.38	4.84	5.86	มาก
13 ต.ค.46	5.730	44	12.73	4.29	5.80	มาก
8 พ.ย.46	5.858	42	13.02	4.79	5.79	มาก
3 ต.ค.46	5.382	40	11.96	5.15	6.28	ปานกลาง
4 พ.ย.46	5.460	43	12.13	4.87	6.08	ปานกลาง
5 พ.ย.46	5.886	39	13.08	5.50	6.28	ปานกลาง
4 ต.ค.46	5.812	39	12.92	5.73	6.67	น้อย
30 ต.ค.46	5.692	39	12.65	5.99	6.88	น้อย
1 พ.ย.46	6.047	38	13.44	5.64	6.48	น้อย
เฉลี่ย	5.779	41	12.84			

นอกจากการทดสอบกลิ่นเอทานอลเพื่อพิจารณาผลการกลั่นในแต่ละวันแล้ว ผู้ศึกษายังได้ทำการประเมินหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้ในการกลั่นเอทานอลในแต่ละเดือน โดยอาศัยค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้โดยใช้สมการ (2.1) ถึงสมการ (2.15) ผลการคำนวณพบว่าในเดือนมกราคม จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 5.24 kWh/วัน หรือ ประมาณ 172 kWh/เดือน ซึ่งผลการคำนวณที่ได้แสดงดังในรูป 4.18 ส่วนผลการคำนวณในเดือนอื่น ๆ แสดงในตารางที่ 4.3



รูป 4.18 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับและค่ากำลังไฟฟ้าที่จะต้องใช้สำหรับการกลั่นเอทานอลในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเดือนมกราคม

ตารางที่ 4.3 พลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้ในแต่ละเดือน

เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้		เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้	
	kWh/วัน	kWh/เดือน		kWh/วัน	kWh/เดือน
มกราคม	5.54	172	กรกฎาคม	5.43	168
กุมภาพันธ์	5.35	150	สิงหาคม	5.44	169
มีนาคม	5.62	174	กันยายน	5.90	177
เมษายน	5.47	164	ตุลาคม	5.82	180
พฤษภาคม	5.60	174	พฤศจิกายน	5.92	178
มิถุนายน	5.74	172	ธันวาคม	5.82	181