

บทที่ 4

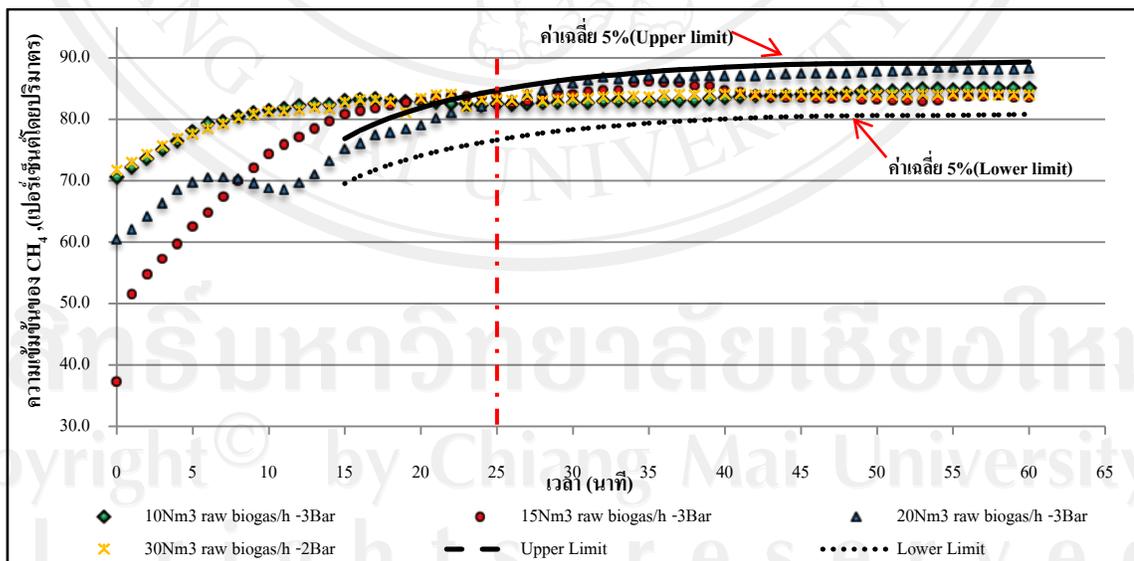
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การดำเนินการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงสถานะที่เหมาะสมของระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ คือ ไบโอมีเทน โดยแบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้ คือ 1) การหาระยะเวลาการเข้าสู่สถานะสมดุลของระบบการดูดซึมก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ได้ไบโอมีเทนที่มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ค่อนข้างคงที่ 2) การทดลองเดินระบบด้วยสถานะการเดินระบบต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไบโอมีเทนที่ผลิตได้ อันได้แก่ ความดันภายในระบบ อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ และค่า L/G Ratio รวมถึงสถานะที่ทำให้ไบโอมีเทนที่มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพ การวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอมีเทน การวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียก๊าซมีเทนในระบบ และหาค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวล ซึ่งผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองแสดงตามลำดับของการทดลองดังต่อไปนี้

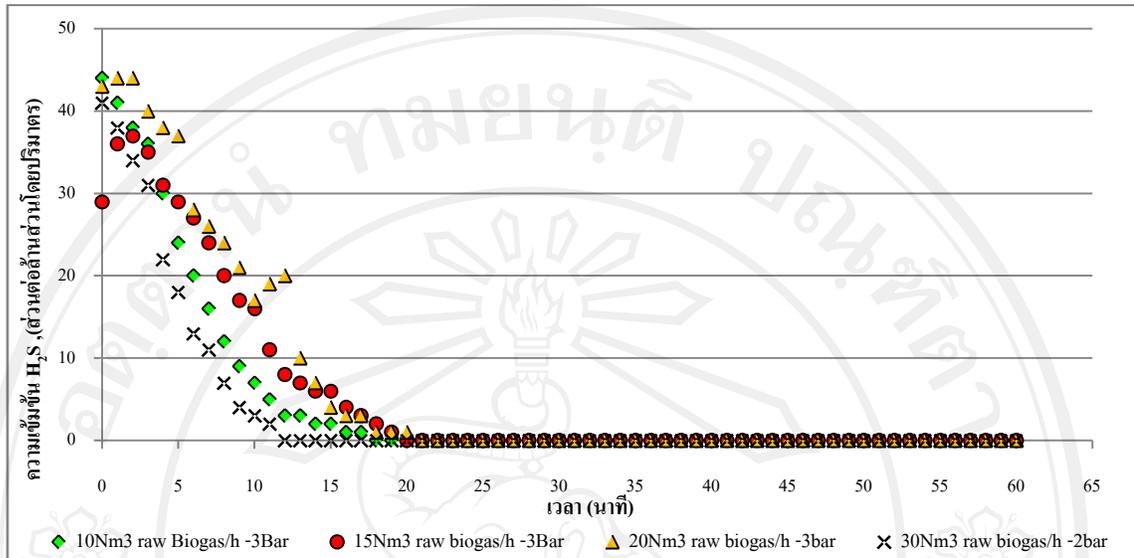
4.1 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาการเข้าสู่สถานะสมดุลของระบบการดูดซึมก๊าซชีวภาพ

การทดลองหาระยะเวลาการเข้าสู่สถานะสมดุลของระบบ จะทำการทดลองเดินระบบที่สถานะต่างๆ ซึ่งทดสอบโดยใช้ก๊าซชีวภาพอัดเข้าสู่ถังดูดซึม (Absorber) ที่ความดัน 2 และ 3 บาร์เกจ ในส่วนของอัตราการไหลก๊าซชีวภาพเป็น 10 15 20 และ 30 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง และใช้อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ (L/G Ratio) เป็น 0.3 โดยทำการวัดค่าต่างๆ ของระบบ ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซที่ออกจากระบบดูดซึม และค่าพีเอชของน้ำเข้าและออกจากระบบ เป็นต้น ส่วนของการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจากระบบการดูดซึมได้ตรวจวิเคราะห์โดยเครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพแบบออนไลน์ ซึ่งได้บันทึกค่าการตรวจวัดทุกๆ 1 นาที โดยระบบจัดการและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) เก็บบันทึกข้อมูลตั้งแต่เริ่มเดินระบบการดูดซึมก๊าซชีวภาพเรื่อยไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในรูปที่ 4.1 แสดงถึงผลการทดลองการหาระยะเวลาการเข้าสู่สถานะสมดุลของระบบซึ่งมีการปรับเปลี่ยนสถานะ

การเดินระบบต่างๆ โดยในรูปจะสังเกตเห็นว่าเมื่อเวลาการเดินระบบผ่านไป ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ออกจากระบบคูดซิมมีปริมาณความเข้มข้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ระดับค่อนข้างคงที่เมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยในช่วง 10 นาทีแรกของการเดินระบบคูดซิมจะมีการแกว่งของปริมาณความเข้มข้นก๊าซมีเทนที่อยู่ในไบโอมิเทนค่อนข้างสูง เนื่องจากระบบคูดซิมยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุลของระบบ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในช่วงนี้ การสัมผัสกันของฟิล์มของน้ำที่ตกมาอยู่ที่ตัวกลางกับการไหลของก๊าซชีวภาพภายในถังคูดซิมยังไม่คงที่ เนื่องจากการกระจายของน้ำยังไม่ทั่วพื้นที่หน้าตัดของชั้นตัวกลาง ดังนั้นผลจากการตรวจวัดในช่วงนี้จึงไม่ใช่ค่าที่เข้าสู่สภาวะสมดุลอย่างแท้จริง เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ออกจากระบบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและเข้าสู่ระดับที่คงที่เมื่อเวลาผ่านไปอีกระยะเวลาหนึ่ง เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวิเคราะห์ช่องของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average envelope) ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดค่าเฉลี่ยทุกๆ 15 นาที ดังแสดงในรูปของเส้นประซึ่งแสดงถึงขีดจำกัดบนและล่างของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในรูปที่ 4.1 พบว่าที่เวลาตั้งแต่ 25 นาทีขึ้นไป ปริมาณความเข้มข้นของมีเทนจะอยู่ในช่องของค่าเฉลี่ย นั่นคือมีการเปลี่ยนแปลงของระบบน้อยจนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จึงถือว่าระบบคูดซิมก๊าซเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady state)

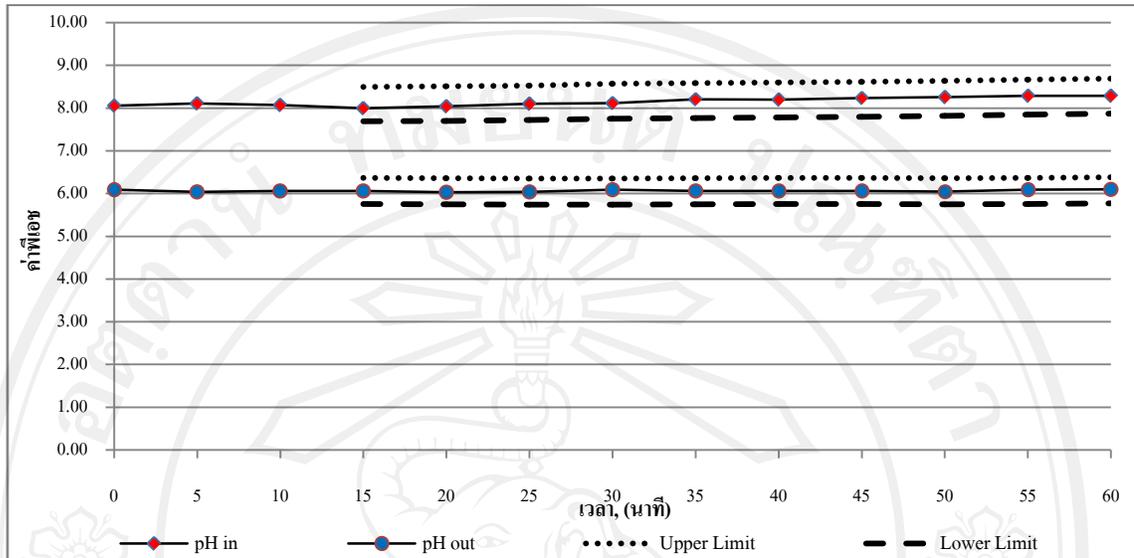


รูป 4.1 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ออกจากรังคูดซิมตั้งแต่เริ่มเดินระบบที่สภาวะการเดินระบบแบบต่างๆ



รูป 4.2 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ออกจากถังคูดซิมตั้งแต่เริ่มเดินระบบ ที่สภาวะการเดินระบบแบบต่างๆ

ในส่วนของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นับตั้งแต่เริ่มเดินระบบ ในแต่ละสภาวะการเดินระบบที่ต่างกัน ได้แก่ อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ 10 15 20 และ 30 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง และที่ความดันภายในถังคูดซิม 2 และ 3 บาร์เกจ โดยมีการบันทึกผลการตรวจวัดทุกๆ 1 นาที ด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการประกอบก๊าซชีวภาพ พบว่าในขณะที่เริ่มเดินระบบจะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจากระบบการกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เบื้องต้นโดยวิธีการใช้ฟอยเหล็ก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 40 – 45 ส่วนต่อล้านส่วน เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะค่อยๆ มีการลดลงเรื่อยๆ โดยปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เริ่มมีค่าน้อยกว่าที่เครื่องมือวิเคราะห์จะสามารถตรวจวัดได้ (มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่า Detection limit ซึ่งเท่ากับ 0 ส่วนต่อล้านส่วน) จึงทำให้เครื่องมือวิเคราะห์แสดงค่าปริมาณความเข้มข้นเป็น 0 ส่วนต่อล้านส่วน เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20 นาที และมีค่าคงที่เป็น 0 ส่วนต่อล้านส่วนตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง แสดงว่าระบบการคูดซิมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้เข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว



รูป 4.3 การเปลี่ยนแปลงของระดับพีเอชของน้ำที่เข้าและออกจากถังดูดซึมน้ำที่ความดัน 3 บาร์เกจ ที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง และอัตราการไหลของน้ำ 6 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของน้ำที่เข้าและน้ำที่ออกจากระบบดูดซึมน้ำก๊าซ ดังที่ได้เห็นว่าน้ำก่อนจะเข้าระบบดูดซึมน้ำจะมีค่าพีเอชประมาณ 8 ซึ่งมีสภาพเป็นด่าง และเมื่อน้ำไหลเข้าสู่ระบบเกิดการดูดซึมน้ำก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เข้าสู่ น้ำ จึงทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดคาร์บอนิก ค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบดูดซึมน้ำจึงมีค่าประมาณ 6 ซึ่งต่ำกว่าน้ำก่อนเข้าระบบ แต่เมื่อน้ำที่ออกจากระบบคายน้ำก็จะมีค่าพีเอชสูงขึ้นประมาณ 8 ซึ่งมีสภาพเป็นด่าง ดังนั้นน้ำที่ออกจากระบบคายน้ำก็จะถูกวนกลับเข้าสู่ระบบดูดซึมน้ำ โดยจะหมุนเวียนเช่นนี้ต่อไป และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการเดินระบบผ่านไปมากกว่า 20 นาที พบว่าระดับพีเอชของระบบจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการเดินระบบผ่านไปมากกว่า 25 นาที ซึ่งช่วยยืนยันถึงระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของระบบการดูดซึมน้ำ

จากการทดลองเพื่อหาระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุลของระบบ พบว่าระบบเริ่มคงที่เมื่อเดินระบบผ่านไป 25 นาที นับตั้งแต่เริ่มเดินระบบ เพื่อให้ระบบมีการปรับเข้าสู่สภาวะสมดุล ดังที่แสดงได้จากปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และค่าพีเอช ในรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าคงที่หลังจากระยะเวลาเดินระบบผ่านไป 25 นาที และจากการศึกษาของ

Ortloff (2010)ซึ่งพบว่าเมื่อเดิน ระบบผลิตไบโอมีเทน ที่ความดันภายในถัง ดูดซึมที่ 8 บาร์ มีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุลประมาณ 11 นาทีซึ่งจะใช้เวลาเร็วกว่าระบบในงานวิจัยนี้ที่มีเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ 25 นาที เพราะฉะนั้นในการศึกษาระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพจึงจำเป็นต้องมีการเดินระบบเป็นเวลายาวน้อย 30 นาทีขึ้นไปและจะเริ่มมีการอ่านค่าพารามิเตอร์จากการตรวจวัดต่างๆ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วเท่านั้น เพื่อให้เป็นตัวแทนค่าการทดลองที่แท้จริงของระบบ

4.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของสภาวะการทำงานของระบบที่มีต่อองค์ประกอบของไบโอมีเทน

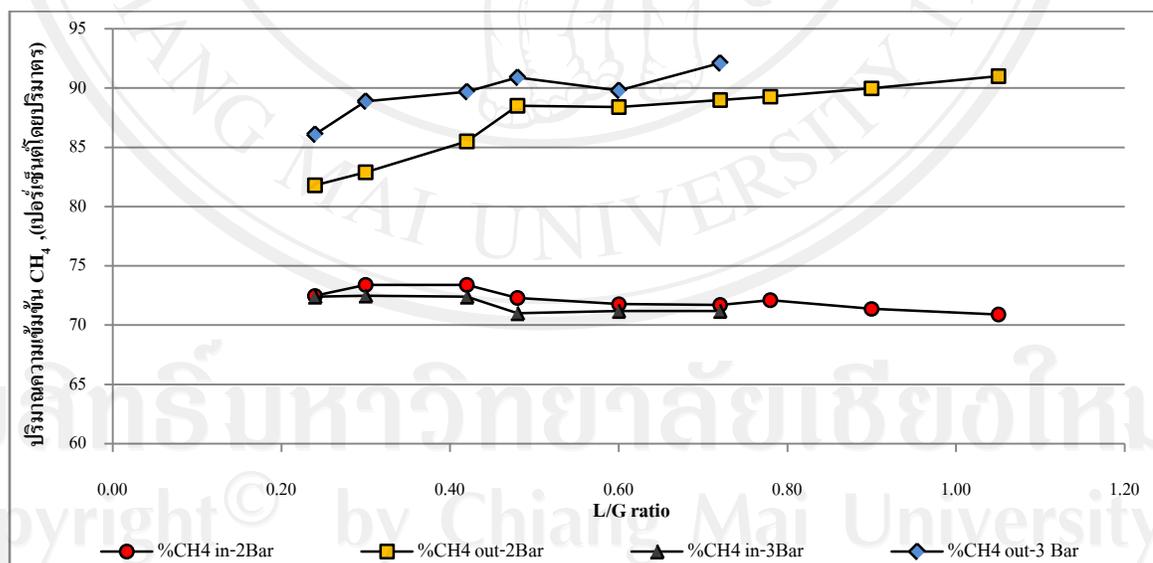
4.2.1 การทดลองเดินระบบที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซึมก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไบโอมีเทน มีการกำหนดค่าการออกแบบระบบที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง และปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่อัตราส่วน L/G Ratio ต่างๆ ในช่วง 0.24 – 1.05 เท่า โดยที่ระดับความดันภายในถังดูดซึม 2 บาร์เกจ และ 3 บาร์เกจ จากการทดลองพบว่าระบบสามารถเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจากเดิม 70.9 – 73.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็น 81.8 – 92.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มค่า L/G Ratio ให้สูงขึ้นไบโอมีเทนที่ออกจากถังดูดซึมมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนค่อยๆ ค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุดที่ระบบสามารถทำได้คือ 92.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังนั้นไบโอมีเทนที่ผลิตได้จากระบบการดูดซึมด้วยน้ำมีค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงใกล้เคียงกับไบโอมีเทนที่ผลิตใช้ในต่างประเทศ (Electrigaz Technologies, 2008)

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า L/G Ratio จะเห็นว่าเมื่อค่า L/G Ratio เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน โดยในช่วงเริ่มต้นของการเพิ่มค่า L/G Ratio พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่เมื่อค่า L/G Ratio เพิ่มจนถึงช่วงหนึ่ง จะได้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนค่อนข้างคงที่ ดังนั้นการเพิ่ม L/G Ratio จะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบมากในช่วงต้น ในขณะที่ช่วงท้ายของการเพิ่มค่า L/G Ratio จะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่ม L/G Ratio จะส่งผลให้น้ำที่ยังไม่อิ่มตัวเข้าสู่ระบบได้ปริมาณมากขึ้น ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไบโอมีเทนที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม L/G Ratio ขึ้นไปจนถึงระดับหนึ่ง ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ

มีเทนจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลง เช่น การเพิ่มค่า L/G Ratio เป็น 0.8 และ 0.9 เท่า ค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไบโอมีเทนจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก อันเนื่องมาจากถูกจำกัดด้วยอัตราการถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงสู่ น้ำ (Rasi, 2009) เพราะฉะนั้นการเพิ่มค่า L/G Ratio ให้สูงมากๆ ก็ไม่สามารถช่วยให้ไบโอมีเทนที่ผลิตได้มีค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สูงขึ้นนัก

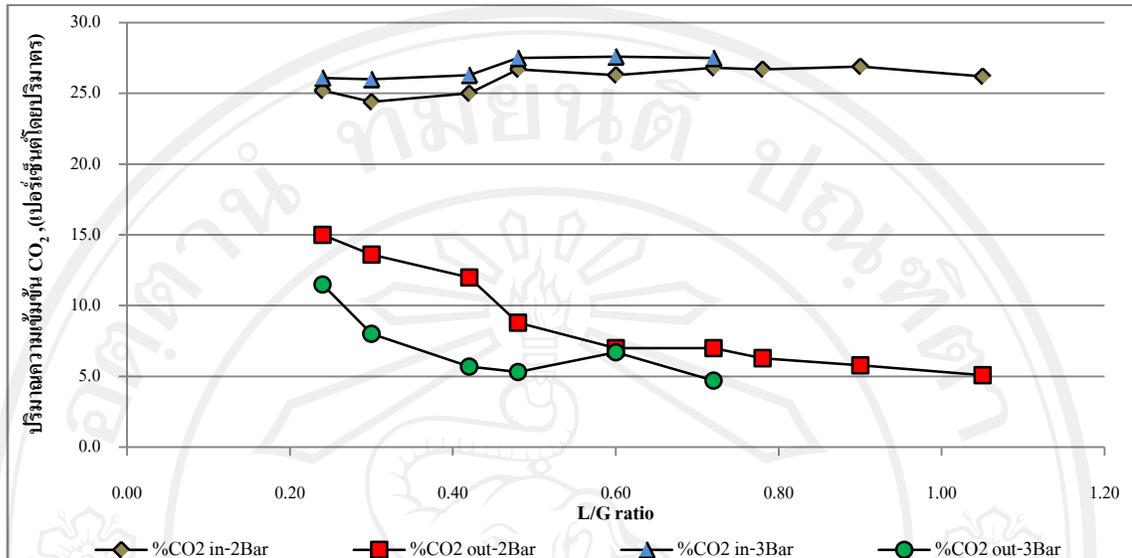
เมื่อพิจารณาผลของความดันภายในถังคูดซิมจากรูปที่ 4.4 พบว่าที่ค่า L/G Ratio เดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มความดันขึ้นจาก 2 เป็น 3 บาร์ จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจากเดิม เช่น ที่ค่า L/G Ratio เท่ากับ 0.30 เท่า ค่าปริมาณความเข้มข้นก๊าซมีเทนเพิ่มจากเดิม 82.9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็น 88.9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเพิ่มขึ้นเป็น 7.2 เปอร์เซ็นต์ และที่ค่า L/G Ratio สูงขึ้น การเพิ่มความดันจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เช่น ที่ค่า L/G Ratio 0.60 เท่า ค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจากเดิม 88.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็น 89.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเพิ่มขึ้นเป็น 1.6 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น เพราะฉะนั้นค่าของ L/G Ratio จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนของระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพมากกว่าค่าของความดันภายในถังคูดซิม



รูป 4.4 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เข้าและออกจากถังคูดซิมที่อัตราการไหลก๊าซ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง

หากเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ได้จากการทดลองกับงานวิจัยของ Rasi (2008) พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีแนวโน้มของกราฟที่เหมือนกัน คือที่ค่า L/G Ratio ช่วงค่าต่ำ จะได้ความเข้มข้นก๊าซมีเทนที่เพิ่มสูงขึ้นค่อนข้างเร็ว และหากค่า L/G Ratio เพิ่มสูงขึ้น ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งในงานวิจัยของ Rasi (2008) มีการใช้ความดันที่สูงกว่าคือ 10 – 30 บาร์ และค่า L/G Ratio 5 – 20 ในขณะที่งานวิจัยนี้ใช้ความดันที่ 2 – 3 บาร์ และ L/G Ratio 0.2 - 1.0 ซึ่งถึงว่าจะมีความแตกต่างกันของความดัน แต่ผลของ L/G Ratio พบว่าคล้ายคลึงกัน

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่หลังจากก๊าซชีวภาพไหลผ่านถังดูดซึม โดยจะเห็นว่าก่อนเข้าสู่ระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 24.4 – 27.6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แต่ภายหลังจากที่เข้าสู่กระบวนการดูดซึมก๊าซภายในถังดูดซึมพบว่า ที่สภาวะการเดินระบบโดยใช้ความดันภายในระบบ 2 บาร์เกจ มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 5.7 – 15.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และที่ความดันภายในระบบ 3 บาร์เกจ มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 4.7 – 11.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ น้ำภายในระบบ โดยค่า L/G Ratio ที่เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดักจับด้วยน้ำได้มากขึ้น เนื่องมาจากระบบมีน้ำใหม่ที่ยังไม่อิ่มตัวด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลเข้ามาด้วยอัตราเร็วขึ้นตามค่าของ L/G Ratio แต่เมื่อค่า L/G Ratio เพิ่มสูงมากขึ้น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซที่ออกจากถังดูดซึมมีค่าลดลงต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากถูกจำกัดด้วยอัตราการถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ น้ำ



รูป 4.5 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพที่เข้าและออกจากถังดูดซึมที่อัตราการไหลก๊าซ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง

จากตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าและออกจากถังดูดซึม โดยพบว่าที่ความดัน 2 บาร์ มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจากระบบกรองเบื้องต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 380 – 1000 ส่วนต่อล้านส่วน และเมื่อก๊าซผ่านเข้าและออกจากถังดูดซึม ที่ความดันทั้ง 2 ค่า มีปริมาณความเข้มข้นจะมีค่าน้อยมากจนเกินกว่าช่วงจำกัดของเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ จึงแสดงค่าเป็น 0 ส่วนต่อล้านส่วน

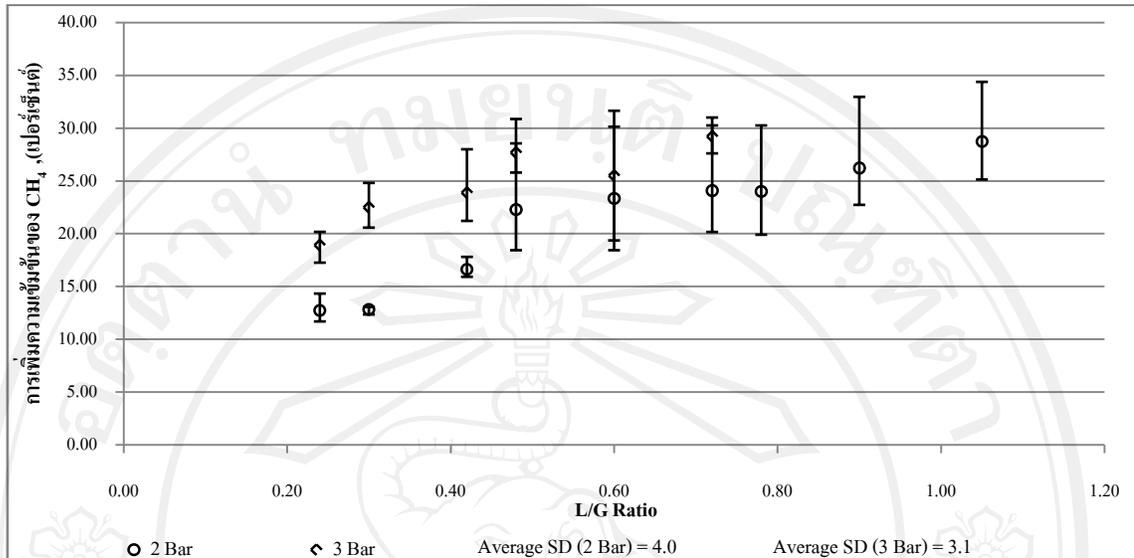
ประสิทธิภาพของระบบดูดซึมด้วยน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของ %CH₄ Enrichment และ %CO₂ Reduction ซึ่งหมายถึง ประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ และ ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ ในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงผลของ L/G Ratio และความดันภายในระบบต่อ %CH₄ Enrichment และ %CO₂ Reduction โดยทั่วไปจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มค่า L/G Ratio แล้วประสิทธิภาพของระบบจะสูงขึ้น เนื่องมาจากระบบได้น้ำที่ยังไม่อิ่มตัวด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ามาสู่ระบบด้วยอัตราการไหลสูงขึ้น ซึ่งจะดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ดีขึ้น และส่งผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นไปพร้อมกัน

ตาราง 4.1 ปริมาณความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่เข้าและออกจากถังดูดซึม ที่ อัตราการไหลก๊าซ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง

อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 10 ม. ³ ก๊าซ/ชม. (SV = 39.8 ชม. ⁻¹)				
L/G	ความดัน 2 บาร์		ความดัน 3 บาร์	
Ratio	H ₂ S เข้าถังดูดซึม	H ₂ S ออกจากถังดูดซึม	H ₂ S เข้าถังดูดซึม	H ₂ S ออกจากถังดูดซึม
0.24	977	0	0	0
0.30	380	0	0	0
0.42	447	0	4	0
0.48	788	0	0	0
0.60	829	0	0	0
0.72	1057	0	12	0
0.78	691	0		
0.90	1009	0		
1.05	816	0		

*เนื่องจากที่ความดัน 2 บาร์ ระบบรอกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เบื้องต้นโดยใช้ฝอยเหล็กยังไม่ได้ล้างทำความสะอาด ทำให้มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมาในปริมาณความเข้มข้นที่สูง

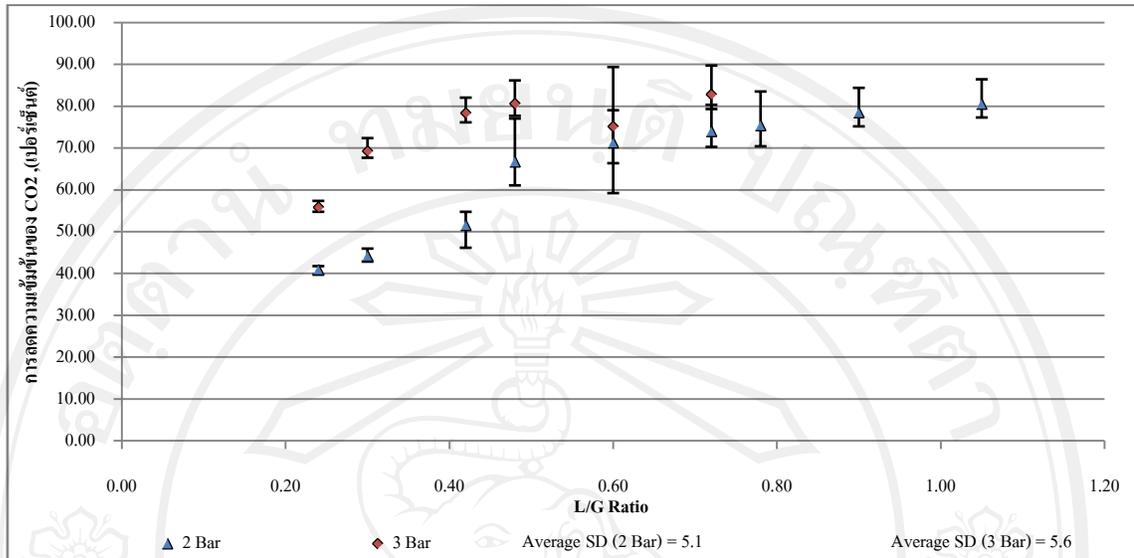
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่า L/G Ratio เดียวกัน แต่ค่าความดันภายในถังดูดซึมต่างกัน จะมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลของค่า L/G Ratio และความดันภายในถังดูดซึมต่อประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนก็สามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน ระบบดูดซึมก๊าซสามารถเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนได้ 12.7 – 29.2 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นเดิม โดยการเพิ่มค่า L/G Ratio มีผลมาก ซึ่งพบว่าหากเพิ่มค่า L/G Ratio จาก 0.24 เท่า ไปเป็น 1.05 เท่า จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจาก 12.7 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นเดิม ไปเป็น 29.2 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นเดิม ที่ความดันภายในของระบบเป็น 2 บาร์เกจ



รูป 4.6 ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนของระบบที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ที่ความดันภายในถังคูดซิมต่างๆ

ในส่วนของความดันภายในของระบบมีผลต่อประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอย่างชัดเจน และจากงานวิจัยของ Rasi (2009) ประสิทธิภาพการเพิ่มก๊าซมีเทนและประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับงานวิจัยนี้เช่นเดียวกัน

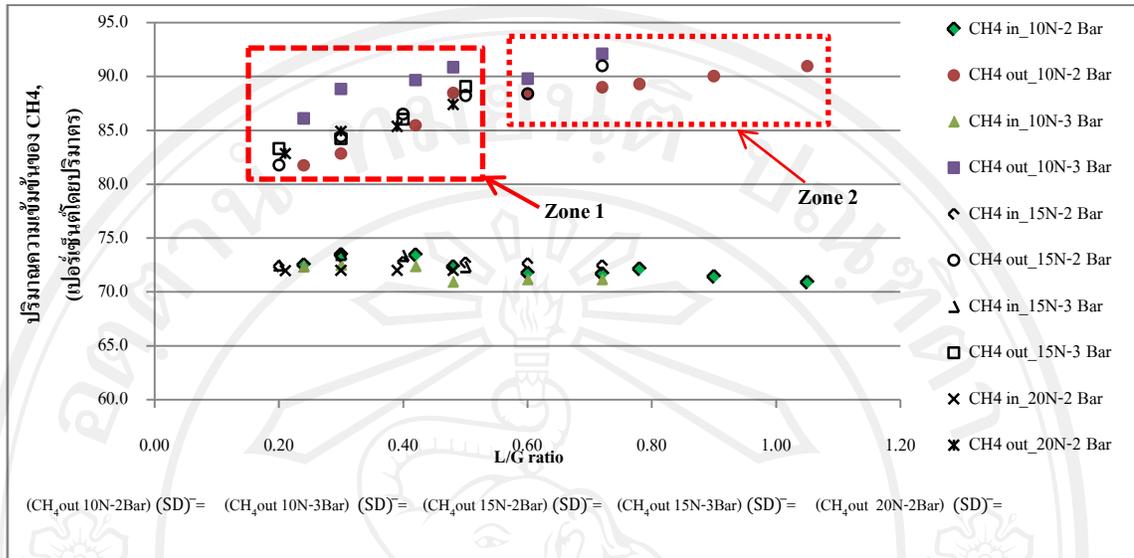
จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การควบคุมระบบให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอมิเทนที่มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนแตกต่างกันสามารถทำได้โดยการควบคุมความดันภายในระบบและค่า L/G Ratio เป็นหลัก โดยรวมแล้วเมื่อปัจจัยทั้ง 2 นี้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ก็จะทำให้ระบบโดยรวมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดยังต้องคำนึงถึงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้งาน รวมถึงเสถียรภาพของระบบด้วย การเพิ่มค่า L/G Ratio นั้นทำให้ปั๊มน้ำต้องทำงานเพิ่มขึ้นและต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มแรงดันของระบบก็มีผลทำให้เครื่องอัดก๊าซ (Compressor) ใช้พลังงานสูงขึ้นและเพิ่มต้นทุนการผลิตไบโอมิเทน



รูป 4.7 ประสิทธิภาพการลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ที่ความดันภายในถังคูดซิมต่างๆ

4.2.2 การทดลองที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพสูงกว่า 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง

ระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพระบบนี้ออกแบบให้สามารถรองรับอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่สูงกว่า 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมงได้ จึงสามารถทดลองระบบโดยใช้อัตราการไหลที่สูงขึ้นโดยมีการเพิ่มอัตราการไหลก๊าซชีวภาพเป็น 15 20 และ 30 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง สำหรับวิธีการทดลองโดยใช้ค่า L/G Ratio ตั้งแต่ 0.21 – 1.05 เท่า แต่ทว่าข้อมูลการทดสอบที่อัตราการไหล 30 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง จะมีผลการทดลองเพียง 2 ค่าเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของปั๊มน้ำที่ไม่สามารถทำอัตราการไหลและความดันให้รองรับการดำเนินการระบบที่ค่า L/G Ratio สูงๆ ได้ ส่วนการดำเนินการเดินระบบที่สภาวะอื่นๆ ก็เป็นเช่นกัน ซึ่งมีข้อจำกัดตามอัตราการไหลและความดันของเครื่องอัดก๊าซชีวภาพและปั๊มน้ำสามารถทำได้



รูป 4.8 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ผ่านออกจากถังคูดซิมที่ความดันภายในถังคูดซิมและค่า L/G Ratio ต่างๆ

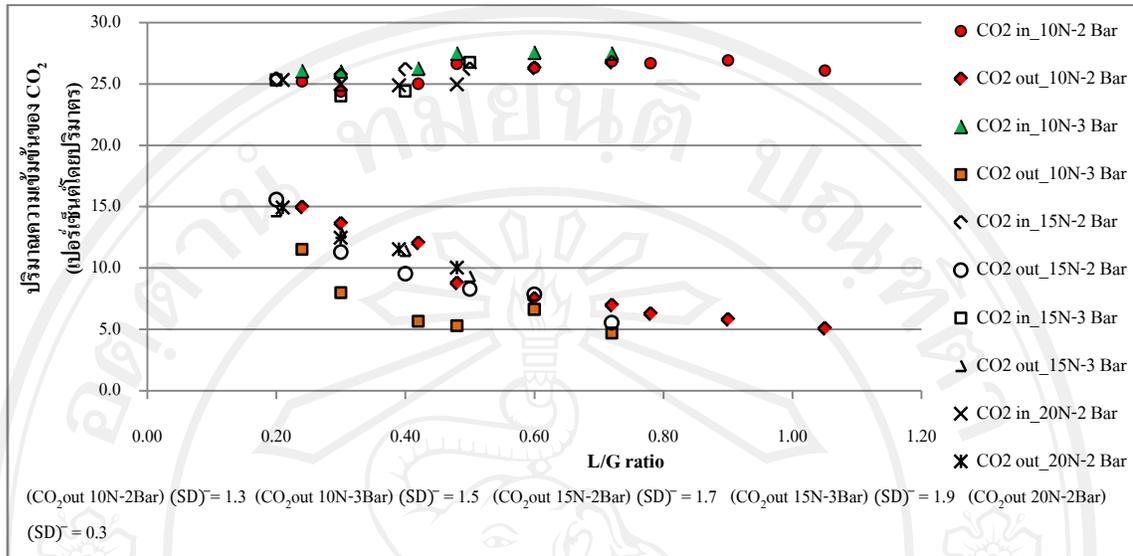
รูปที่ 4.8 แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพที่ออกจากระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพที่ความดันภายในถังคูดซิมและค่า L/G Ratio ต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซต่อชั่วโมง จะพบว่าเมื่อเพิ่มค่า L/G Ratio ให้สูงขึ้น พบว่าไบโอมีเทนที่ผลิตได้จากระบบคูดซิมจะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่ว่าการเพิ่มความดันภายในของระบบถือว่ามีอิทธิพลค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการเพิ่มของค่า L/G Ratio โดยใน zone1 ที่ความดันเดียวกันและค่า L/G Ratio ต่างกัน ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่ zone 2 เมื่อค่า L/G Ratio เพิ่มขึ้นมากขึ้น ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งจากทั้ง zone 1 และ zone 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มค่าความดันภายในระบบจากเดิม 2 บาร์ เกจ เป็น 3 บาร์ เกจ ไบโอมีเทนที่ผลิตได้จะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในขณะที่อิทธิพลของค่า L/G Ratio จะมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไบโอมีเทนที่ออกจากระบบค่อนข้างชัดเจน โดยจะมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าที่ค่า L/G Ratio เป็นค่าเดียวกันแล้ว ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไบโอมีเทนที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพแตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกันด้วย เช่น จากรูปที่ 4.8 ที่ความดันภายในถังคูดซิม 2 และ 3 บาร์ เกจ ค่า L/G Ratio เป็น 0.2 เท่า โดยจะพบว่าที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ

10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซมีเทนอยู่ที่ 81.8 และ 86.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 15 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซมีเทนอยู่ที่ 81.8 และ 83.3 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 20 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซมีเทนอยู่ที่ 82.4 และ 84.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณความเข้มข้นก๊าซมีเทนจะแตกต่างกันอยู่ในช่วงแคบๆ เท่านั้น

ดังนั้นถ้าหากค่า L/G Ratio คงที่ และมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำให้สอดคล้องกับอัตราการไหลก๊าซที่เข้าสู่ระบบ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่โดยไม่ขึ้นกับอัตราการไหล ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีการออกแบบทางวิศวกรรมเคมี (Coulson *et al.*, 2002) ด้วยเหตุผลนี้แล้วการออกแบบระบบให้มีขนาดใหญ่มากขึ้น จึงสามารถใช้ค่า L/G Ratio จากระบบในงานวิจัยนี้มาคำนวณและออกแบบระบบต่อไปได้ในอนาคต

รูปที่ 4.9 แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังจากผ่านถังดูดซึม โดยก่อนเข้าสู่ระบบผลิตไบโอมีเทนจะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยรวมอยู่ระหว่าง 24 – 27 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อก๊าซผ่านกระบวนการดูดซึมออกมาแล้วพบว่าที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 5 – 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 15 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 6 – 16 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 20 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 8 – 15 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหากยิ่งเพิ่มค่า L/G Ratio มากขึ้น จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดูดซึมด้วยน้ำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากระบบมีน้ำใหม่ที่ยังไม่อิ่มตัวด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลเข้าสู่ระบบด้วยอัตราที่เร็วขึ้นตามค่า L/G Ratio

ประสิทธิภาพของระบบการดูดซึมสามารถแสดงได้ดังตารางของ %CH₄ Enrichment และ %CO₂ Reduction ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามลำดับ ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 แสดงผลของค่า L/G Ratio และความดันภายในระบบต่อ %CO₂ Reduction และ %CH₄ Enrichment ซึ่งโดยทั่วไป



รูป 4.9 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผ่านออกจากถังดูดซึมที่ความดันภายในระบบและค่า L/G Ratio ต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ 29.2 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะของอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ความดันภายในถังดูดซึม 3 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio ที่ 0.72 เท่า และจากสภาวะการเดินระบบต่างๆ พบว่ามีประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทน อยู่ในช่วง 12.7 – 29.2 เปอร์เซ็นต์ และสังเกตได้ว่าหากค่า L/G Ratio เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นตามด้วย เนื่องมาจากระบบมีน้ำใหม่ไหลเข้าสู่ระบบในอัตราที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 แสดงถึงประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะมีค่าสูงถึง 82.9 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะของอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ความดันภายในถังดูดซึม 3 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio ที่ 0.72 เท่า และจากสภาวะการเดินระบบต่างๆ พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในช่วง 36.3 – 82.9 เปอร์เซ็นต์ และสังเกตได้ว่าหากค่า L/G Ratio เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามค่า L/G Ratio ด้วยเช่นกัน

ตาราง 4.2 ประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในระบบ ที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

L/G Ratio	อัตราการไหล 10 ม. ³ ก๊าซ/ชม.		L/G Ratio	อัตราการไหล 15 ม. ³ ก๊าซ/ชม.		L/G Ratio	อัตราการไหล 20 ม. ³ ก๊าซ/ชม.		L/G Ratio	อัตราการไหล 30 ม. ³ ก๊าซ/ชม.
	2 บาร์	3 บาร์		2 บาร์	3 บาร์		2 บาร์	3 บาร์		2 บาร์
0.24	12.72	18.99	0.20	13.05	14.82	0.21	15.10	17.71	0.20	13.30
0.30	12.81	22.50	0.30	15.17	14.72	0.30	17.93	19.60	0.30	15.46
0.42	16.61	23.89	0.40	18.86	17.39	0.39	18.45	23.56		
0.48	22.29	27.68	0.50	21.55	23.20	0.48	21.42			
0.60	23.36	25.50	0.60	21.74						
0.72	24.10	29.21	0.72	25.58						

ดังนั้นจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่าหากเพิ่มค่า L/G Ratio จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น แต่หากว่าเพิ่มค่า L/G Ratio ขึ้นไปเรื่อยๆ ประสิทธิภาพของระบบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเกือบคงที่ เพราะการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกจำกัดด้วยอัตราการถ่ายเทมวลของก๊าซเข้าสู่ น้ำ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ที่สภาวะค่า L/G Ratio ประมาณ 0.7 เท่าๆ กัน พบว่างานวิจัยของ Kapdiet *al.* (2004) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังดูดซึม 150 มิลลิเมตร ความสูงของถังดูดซึม 4500 มิลลิเมตร ความสูงของชั้นวัสดุเพิ่มพื้นที่ผิว 3500 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุเพิ่มพื้นที่ผิวแบบ Resching rings โดยองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพดิบดังนี้ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน 55 – 65 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 35 – 40 เปอร์เซ็นต์ และใช้ความดันภายในถังดูดซึมสูงถึง 10 บาร์ เกจ จากงานวิจัยดังกล่าวจะได้ไบโอมิเทนที่มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในขณะที่ระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพในการวิจัยนี้ ใช้ความดันภายในถังดูดซึมเพียง 3 บาร์ เกจ เท่านั้น เนื่องจากมีการออกแบบระบบให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการถ่ายเทมวลได้มาก ซึ่งมีข้อดีในเรื่องการประหยัดพลังงาน ในขณะที่สวีเดนมีการใช้ระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพเช่นเดียวกัน ซึ่งพบว่าใช้ความดันภายในถังดูดซึม 10 บาร์ เกจ แต่เป็นระบบที่มีอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพสูง ตั้งแต่ 75 – 80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (Jonsson, 2003) และได้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงถึง 97 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Persson, 2007) ซึ่งถือว่ามีค่าความร้อนสูงเกินไปและไม่

เหมาะกับการใช้งานสำหรับเครื่องยนต์ในประเทศไทย หากจะใช้กับเครื่องยนต์จำเป็นต้องมีปรับแต่งเครื่องยนต์ให้รองรับกับสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิง

ตาราง 4.3 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ ที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ

L/G Ratio	อัตราการไหล 10 ม. ³ ก๊าซ/ชม.		L/G Ratio	อัตราการไหล 15 ม. ³ ก๊าซ/ชม.		L/G Ratio	อัตราการไหล 20 ม. ³ ก๊าซ/ชม.		L/G Ratio	อัตราการไหล
	2 บาร์	3 บาร์		2 บาร์	3 บาร์		2 บาร์	3 บาร์		30 ม. ³ ก๊าซ/ชม. 2 บาร์
0.24	40.95	55.83	0.20	38.87	42.31	0.21	40.95	47.38	0.20	36.26
0.30	44.23	69.29	0.30	55.92	46.20	0.30	50.17	58.29	0.30	49.17
0.42	51.55	78.41	0.40	63.30	53.14	0.39	53.67	67.67		
0.48	66.73	80.67	0.50	68.37	64.74	0.48	59.75			
0.60	71.29	75.17	0.60	69.74						
0.72	74.00	82.88	0.72	79.25						

4.3 คุณภาพของน้ำและการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำที่ใช้ในการทดลอง

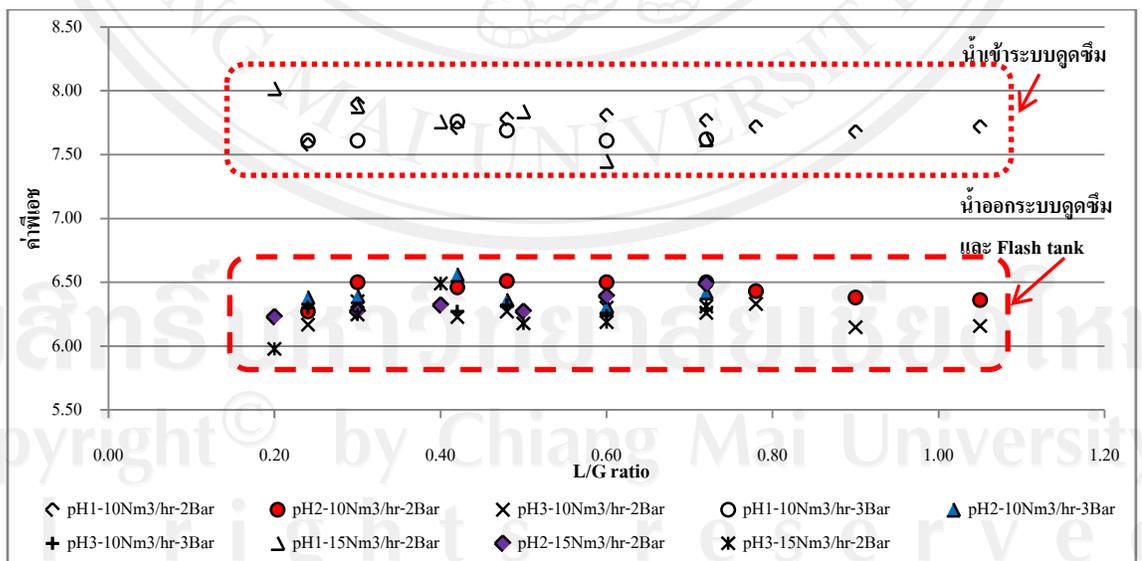
จากการตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นของน้ำประปาที่ผลิตจากน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภคภายในฟาร์มสุกรของบริษัท โพรทีจี จำกัด ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.4 จะพบว่าน้ำประปาซึ่งนำมาใช้กับระบบปรั้งปรุ้งก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไบโอมิเทน มีของแข็งละลาย (total dissolved solids) ค่อนข้างน้อยและอยู่ในมาตรฐานน้ำประปาทั่วไป ทำให้คาดว่าไม่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาตะกอนหรือสิ่งอุดตันในระบบการดูดซึม น้ำประปามีค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total alkalinity) เท่ากับ 427.57 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CaCO₃ เมื่อเทียบกับน้ำประปาทั่วไปพบว่าน้ำประปาที่ผลิตภายในฟาร์มมีความเป็นด่างค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลให้มีความสามารถในการสะเทินกรดได้ดี ทำให้เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ดูดซับก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรด และสำหรับปริมาณคลอรีนคงเหลือ (residual chlorine) พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าน้อย แต่ทั้งนี้ระบบปรับปรุ้งก๊าซชีวภาพในการศึกษานี้ เป็นแบบที่มีการวนน้ำกลับ (regenerative wash) ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนตัวกลางน้อย เพราะ เป็นน้ำประปาที่สะอาดไม่มีแหล่งสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์น้ำประปาที่ใช้สำหรับระบบการผลิตไบโอมีเทน

รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Residual Chlorine	<0.15	มก./ล.	-	APHA-AWWA (2005)
Total Alkalinity	427.57	มก./ล.	-	APHA-AWWA (1998)
Total Dissolved Solids	532.25	มก./ล.	-	APHA-AWWA (1998)

การเดินระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไบโอมีเทน จะมีการวัดค่าพีเอชทั้งหมด 3 จุดวัด ได้แก่ จุดที่ 1 ก่อนเข้าสู่ถังดูดซึม (pH1) จุดที่ 2 หลังออกจากถังดูดซึม (pH2) และจุดที่ 3 หลังออกจาก flash tank (pH3) โดยค่าพีเอชเป็นดัชนีซึ่งบ่งบอกถึงสภาพกรดและด่างของน้ำ ดังนั้นเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นกรดอ่อน (weak acid) ละลายเข้าสู่ น้ำ ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำลดลง ในการทดลองพบว่าน้ำบาดาลที่ใช้มีค่าพีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วง 7.5 – 8.2 ซึ่งบ่งบอกว่าน้ำมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย จึงเหมาะสมที่จะเป็นตัวดูดซึมก๊าซชีวภาพ เมื่อเดินระบบที่มีการวนน้ำจากระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล จะบันทึกค่าพีเอชของระบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงค่าพีเอชของน้ำในระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไบโอมีเทนทั้ง 3 จุด



รูป 4.10 ค่าพีเอชของน้ำที่ใช้สำหรับระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไบโอมีเทน

จากรูปที่ 4.10 น้ำที่ไหลเข้าสู่ถังดูดซึมนั้นมีค่าพีเอชประมาณ 7.4 – 8.3 และเมื่อน้ำไหลออกจากถังดูดซึม พบว่ามีค่าพีเอชลดลงเหลืออยู่ในช่วง 5.8 – 6.9 เนื่องจากมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซกรดละลายอยู่ในน้ำ และเมื่อน้ำไหลผ่านเข้าสู่ Flash Tank จะมีการลดความดันลงส่งผลให้ก๊าซมีเทนบางส่วนคายตัวออกจากรู แต่ในส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ยังคงถูกเก็บกักไว้ในน้ำ ดังจะแสดงได้จากการที่ค่าพีเอชของน้ำที่ออกจาก flash tank (pH3) ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงค่ามากนักเมื่อเทียบกับน้ำที่ไหลเข้าสู่ flash tank หลังจากนั้นน้ำจะไหลเข้าสู่ถังคายก๊าซ ซึ่งมีการลดความดันลงจนเหลือ 0.2 บาร์เกจ และมีการเป่าอากาศเข้าไปดึงก๊าซที่ละลายน้ำอยู่ให้คายตัวออกจากรู ซึ่งพบว่าค่าพีเอชของน้ำสามารถกลับขึ้นไปสู่ระดับช่วง 7.4 – 8.4 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำก่อนเข้าสู่ระบบ และมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินการทดลอง ซึ่งแสดงว่าระบบคายก๊าซ (desorber) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำ และจากงานวิจัยของ Rasi. (2008) พบว่าน้ำก่อนเข้าสู่ถังดูดซึมจะมีระดับค่าพีเอชที่สูงกว่าน้ำที่ออกจากถังดูดซึมเช่นเดียวกับผลการทดลองของงานวิจัยที่ดำเนินการอยู่เช่นกัน โดยสามารถวนน้ำกลับมาใช้ดำเนินการต่อได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปฏิบัติงานจริง จะต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะ เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการสะสมของสิ่งสกปรกในถังพักน้ำและอุปกรณ์ต่างๆ

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอมีเทน

หลังจากเดินระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพจนเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว จะมีการเก็บตัวอย่างไบโอมีเทนที่ผลิตได้ภายใต้สภาวะการเดินระบบบางสภาวะและส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบก๊าซ เว้นเพียงการวัดจุดน้ำค้างที่ต้องตรวจวัดที่หน้างานจริง คุณสมบัติของไบโอมีเทนซึ่งได้จากการเดินระบบที่สภาวะอัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ความดันภายในถังดูดซึม 3 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio เท่ากับ 0.72 ได้ถูกนำมาวิเคราะห์และแสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นว่าไบโอมีเทนที่ผลิตได้จากการวิจัยนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดคลัสเตอร์และคุณภาพของก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ พ.ศ. 2552 ในทุกข้อกำหนด ยกเว้นเพียงค่าดัชนีซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไปเล็กน้อยเท่านั้น

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอมีเทนที่ผลิตซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วคุณสมบัติของไบโอมีเทนที่ผลิตได้นั้น มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

สำหรับยานยนต์ของกรมธุรกิจพลังงาน ยกเว้นเพียงค่าดัชนีวอบบีเพียงค่าเดียวที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่งผลให้ไบโอมิเทนมีค่าความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐาน แต่ยังสามารถปรับลดค่าดัชนีวอบบีโดยการนำก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ หรือก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำ มาผสมเข้ากับไบโอมิเทนที่ผลิตได้ เพื่อช่วยลดสัดส่วนของก๊าซมีเทนในไบโอมิเทนให้ต่ำลง ซึ่งจะทำให้มีค่าเฉลี่ยของดัชนีวอบบีอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ หรือควรเลือกสภาวะการเดินระบบเพื่อให้มีค่าดัชนีวอบบีอยู่ในมาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนดไว้

ตาราง 4.5 เปรียบเทียบไบโอมิเทนที่ผลิตได้กับมาตรฐานเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ของกรมธุรกิจพลังงาน

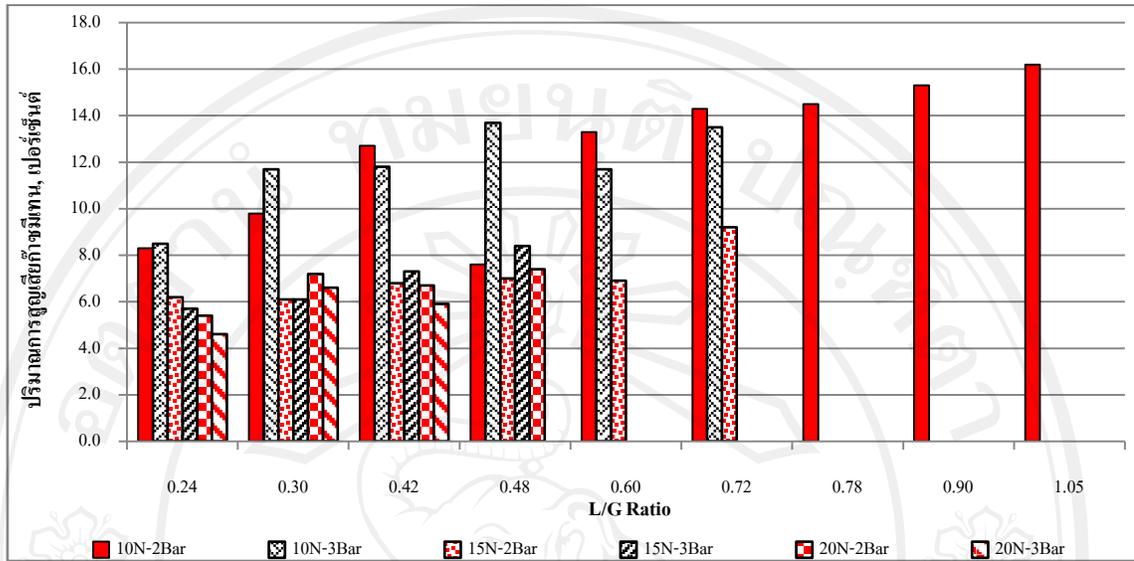
ข้อกำหนด	เกณฑ์มาตรฐาน	ไบโอมิเทนที่ผลิตได้
1. จุดน้ำค้างที่ความดัน 20,000 กิโลปาสกาล	<9.2 °ซ.	8.0 °ซ.
2. จุดน้ำค้างไฮโดรคาร์บอน ที่ความดัน 4,500 กิโล-ปาสกาล ซึ่งควมแน่นเป็นของเหลวไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์	<15.5 °ซ.	-77 °ซ.
3. ค่ามีเทน	>65	99.1
4. ไฮโดรเจน (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	<0.1	ไม่พบ
5. คาร์บอนไดออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	<18	7.4
6. ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	<1.0	0.7
7. ดัชนีวอบบี (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร)	>37 และ <42	44.3
8. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ม. ³)	<23	19.47
9. กำมะถัน (มก./ม. ³)	<50	18.32

4.5 ปริมาณการสูญเสียมีเทนของระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพ (Methane Loss)

ระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพทุกระบบที่มีการสร้างขึ้นใช้งาน ล้วนแต่มีการสูญเสียก๊าซมีเทนออกจากระบบเสมอ และสำหรับในกระบวนการดูดซึมด้วยน้ำ พบว่ามีการสูญเสียก๊าซมีเทน ซึ่งเกิดจากที่ก๊าซมีเทนบางส่วนละลายเข้าสู่ น้ำ ดังนั้นเพื่อช่วยลดการสูญเสียก๊าซมีเทนจึงมีการติดตั้งถัง flash tank เพื่อให้มีการนำก๊าซมีเทนบางส่วนกลับเข้ามาในระบบ ก่อนจะเข้าสู่ถังคายก๊าซ จากตารางที่ 4.6 แสดงถึงอัตราการไหลของก๊าซมีเทนที่เข้าและออกจากระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไบโ

มีเทน โดยเมื่อทำสมดุลมวล (Mass balance) พบว่า ส่วนต่างระหว่างอัตราการไหลของก๊าซมีเทนที่เข้าและออกจากระบบ คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียไปจากระบบคายก๊าซ

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียก๊าซมีเทนโดย มีปริมาณการสูญเสียมีเทนเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ 0.85 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซต่อชั่วโมง หรือ 9.2เปอร์เซ็นต์ และ มีการสูญเสียก๊าซมีเทนมากที่สุดคิดเป็น 16.2เปอร์เซ็นต์ จากสภาวะการเดินระบบที่ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ความดันภายในถังดูดซึม 2 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio ที่ 1.05 เท่า ในส่วนของค่าที่น้อยที่สุดคิดเป็น 4.6เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะการเดินระบบที่ 20 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ความดันภายในถังดูดซึม 3 บาร์เกจ ที่ค่า L/G Ratio เป็น 0.1 เมื่อพิจารณารายงานการวิจัยของ Electrigaz Technologies, (2008) ในส่วนของระบบการดูดซึมด้วยน้ำ มีสภาวะการเดินระบบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพดิบของก๊าซต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และความดันมากกว่า 3 บาร์ พบว่าจะมีปริมาณการสูญเสียมีเทนน้อยกว่า 4เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการสูญเสียก๊าซมีเทนน้อยกว่าในงานวิจัยนี้ซึ่งมีอุณหภูมิมากกว่า เฉลี่ยประมาณ 32 องศาเซลเซียส ความดันน้อยกว่า 3 บาร์ และในประเทศออสเตรเลียมีการใช้ระบบเมมเบรน ที่อัตราการไหลก๊าซ 180 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่าในงานวิจัยนี้ พบว่ามีการสูญเสียก๊าซมีเทนน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (Electrigaz Technologies, 2008) ซึ่งมีการสูญเสียก๊าซมีเทนที่ใกล้เคียงกันกับงานวิจัยนี้ ในขณะที่รายงานการศึกษาของ Petersson, A. and Wellinger, A. (2009) สำหรับระบบการดูดซึมด้วยน้ำที่ความดัน 4 – 7 บาร์ พบว่ามีการสูญเสียก๊าซมีเทนน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการสูญเสียน้อยกว่างานวิจัยนี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีปริมาณการสูญเสียก๊าซมีเทนที่มากกว่าระบบอื่นๆ เพราะระบบในงานวิจัยนี้มีก๊าซส่วนหนึ่งหลุดไปกับน้ำ เนื่องจากท่อจ่ายก๊าซเข้าที่อยู่ภายในถังดูดซึมอยู่ใกล้ระดับผิวน้ำในส่วนของน้ำขาออกจากระบบมากเกินไป ส่งผลให้เมื่อเกิดน้ำขังในส่วนเก็บน้ำก่อนออกจากถังดูดซึมทำให้ท่อจ่ายก๊าซเข้าถูกน้ำท่วมไปด้วย



รูป 4.11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียก๊าซมีเทน (%Methane loss) ในระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพ

ตาราง 4.6 อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่เข้าและออกจากถังคูคซึมก๊าซ

อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 10 ม. ³ ก๊าซ/ชั่วโมง					อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 15 ม. ³ ก๊าซ/ชั่วโมง						อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 20 ม. ³ ก๊าซ/ชั่วโมง					
L/G Ratio	มีเทนขาเข้า, (ม. ³ ก๊าซ/ชม.)		มีเทนขาออก, (ม. ³ ก๊าซ/ชม.)		L/G Ratio	มีเทนขาเข้า, (ม. ³ ก๊าซ/ชม.)			มีเทนขาออก, (ม. ³ ก๊าซ/ชม.)			L/G Ratio	มีเทนขาเข้า, (ม. ³ ก๊าซ/ชม.)		มีเทนขาออก, (ม. ³ ก๊าซ/ชม.)	
	ความ ดัน 2 บาร์	ความ ดัน 3 บาร์	ความ ดัน 2 บาร์	ความ ดัน 3 บาร์		ความ ดัน 2 บาร์	ความ ดัน 3 บาร์	ความ ดัน 4 บาร์	ความ ดัน 2 บาร์	ความ ดัน 3 บาร์	ความ ดัน 4 บาร์		ความ ดัน 2 บาร์	ความ ดัน 3 บาร์	ความ ดัน 2 บาร์	ความ ดัน 3 บาร์
0.24	7.22	7.24	6.63	6.63	0.20	10.84	10.84	10.80	10.16	10.22	10.06	0.21	14.50	14.35	13.72	13.68
0.30	7.25	7.25	6.54	6.40	0.30	10.99	10.88	10.77	10.32	10.22	9.88	0.30	14.51	14.44	13.46	13.47
0.42	7.25	7.25	6.32	6.39	0.40	10.97	10.87		10.22	10.08		0.39	14.46	14.41	13.49	13.57
0.48	7.31	7.11	6.75	6.14	0.50	10.94	10.97		10.17	10.04		0.48	14.47		13.39	
0.60	7.24	7.14	6.27	6.35	0.60	10.96			10.20							
0.72	7.23	7.08	6.20	6.12	0.72	10.84			9.84							

4.6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Mass Transfer Coefficient)

การถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเฟสก๊าซไปสู่เฟสของเหลวภายในถังดูดซึม สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two-film theory) ซึ่งแสดงว่าในชั้นฟิล์มของแต่ละเฟสจะมีความแตกต่างของความเข้มข้น (Concentration gradients) ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนหลักที่ทำให้โมเลกุลเกิดการแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มไปยังอีกเฟสหนึ่ง โดยที่ชั้น ผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างเฟสทั้งสอง จะถือว่ามีสถานะสมดุลทางกายภาพ การอธิบายการทำงานของถังดูดซึมนิยมแสดงในรูปกราฟของเส้นการดำเนินงาน (Operating line) และเส้นสมดุล (Equilibrium line) ในกราฟแสดงสัดส่วนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ในเฟสของเหลวและเฟสของก๊าซ (x-y diagram) สำหรับถังดูดซึม เส้นปฏิบัติการจะอยู่เหนือเส้นสมดุลเสมอ

สำหรับการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยน้ำเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า เป็นการดูดซึมทางกายภาพซึ่งความต้านทานการถ่ายเทมวลหลักจะอยู่ในเฟสของเหลว ในขณะที่ความต้านทานการถ่ายเทมวลในเฟสก๊าซจะมีค่ามากเพื่อเทียบกับความต้านทานในเฟสของเหลว ซึ่งจะเรียกกระบวนการชนิดนี้ว่า กระบวนการที่ถูกควบคุมโดยฟิล์มของเหลว ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในกระบวนการชนิดนี้ นิยมแสดงในรูปแบบของ $K_x a$ หรือ $K_L a$ สำหรับในการศึกษานี้ เป็นระบบที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูง ทำให้ operating line และ equilibrium line เป็นเส้นโค้ง จึงมักจะแสดงไดอะแกรมในรูปของสัดส่วนโมล (mole ratio) และอัตราการไหลของก๊าซอื่น ๆ นอกจากตัวถูกละลาย (solute-free basis) เพื่อให้ได้ไดอะแกรมในรูปแบบของเส้นตรง การคำนวณค่า Number of Transfer Units และ Height of Transfer Units รวมถึงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสามารถใช้สมการดังนี้

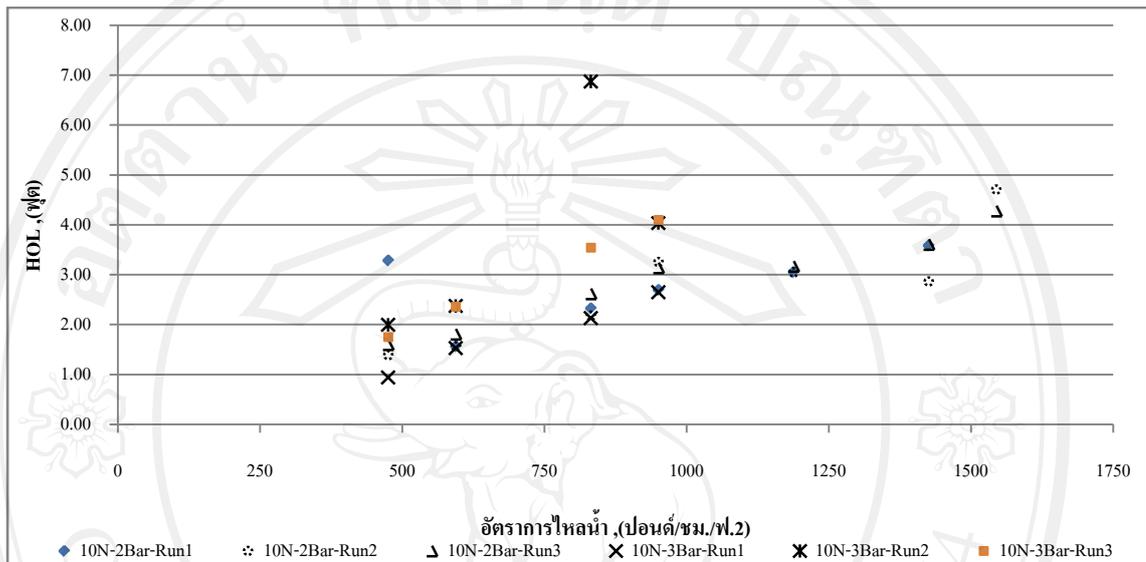
$$I = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

$$H_{OL} = \frac{L'}{K_x a S}$$

$$N_{OL} = \int \frac{dX}{(X^* - X)}$$

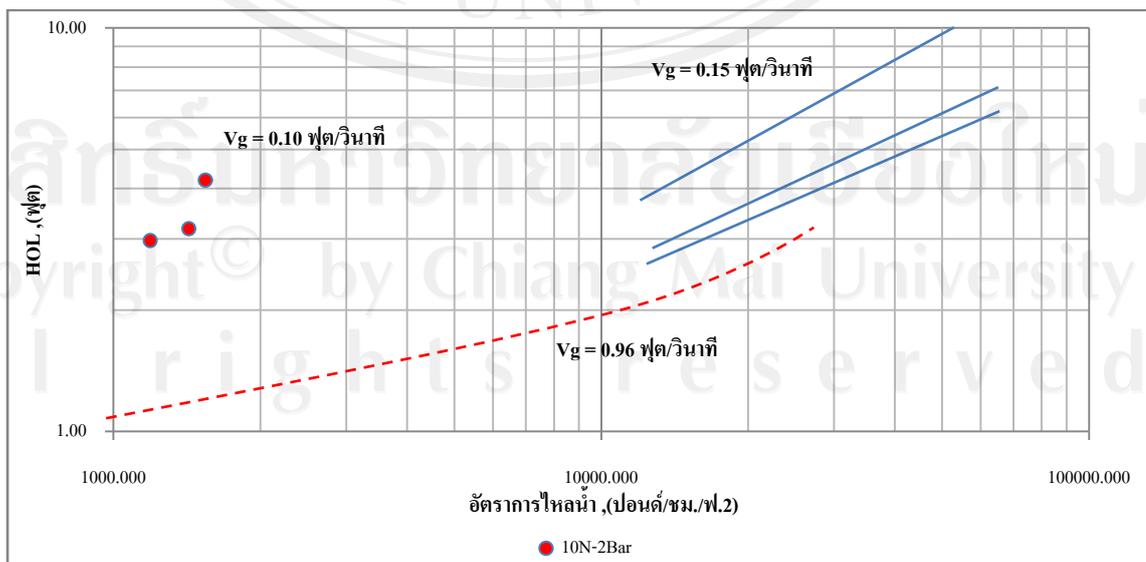
จากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงค่า H_{OL} ของระบบดูดซึมด้วยน้ำ และจากการศึกษาของ Cooper *et al.* (1941) โดยทดสอบการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยหอดูดซึมที่บรรจุตัวกลางชนิด raschig rings ขนาด $2 \times 2 \times 1/16$ นิ้วซึ่งมีการทดสอบที่อัตราการไหลของของเหลวสูงซึ่งมักจะพบในกรณีที่ต้องการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหลือน้อย ซึ่งพบว่าค่า H_{OL} ที่อัตราการไหลของ

ของเหลวสูงพบว่ามีค่าสูงกว่าที่อัตราการไหลต่ำค่อนข้างมาก โดย Copper *et al.* (1941) อธิบายว่าที่อัตราการไหลของของเหลวสูงๆ ก๊าซจะถูกของเหลวพาลงสู่ด้านล่างของหอคอยดูดซึม ทำให้การไหลแบบสวนทางในหอคอยดูดซึม (countercurrent flows) ถูกรบกวน จนทำให้การถ่ายเทมวลไม่ดีเท่าที่ควร



รูป 4.12 ผลของความสูงของหน่วยการถ่ายเทมวลสำหรับการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากรูปที่ 4.13 ยังได้พล็อตข้อมูลของ Sherwood and Holloway (1940) ซึ่งทำการศึกษาค่า H_{OL} ของคอลัมน์ที่ใช้สำหรับการคายออกซิเจนที่อัตราการไหลต่ำใกล้เคียงกับการศึกษานี้ และพบว่าผลการทดลองที่วิจัยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการศึกษาของ Cooper *et al.* (1941)



รูป 4.13 ผลของ SLV กับความสูงของหน่วยการถ่ายเทสำหรับการดูดซึมก๊าซ

จากตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของระบบปรับปรุงก๊าซมีค่าสูงสุดเท่ากับ 443.13 กิโลกรัม โมลต่อลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่สภาวะการเดินระบบ 15 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซต่อชั่วโมง ความดันภายในถึงจุดซึม 2 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio เท่ากับ 0.50 เท่า และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลน้อยที่สุด เท่ากับ 0.24 กิโลกรัม โมลต่อลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่สภาวะการเดินระบบ 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซต่อชั่วโมง ความดันภายในถึงจุดซึม 3 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio เท่ากับ 0.24 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Arthur and Richard (1997) ซึ่งระบบมีขนาดอัตราการไหลก๊าซและน้ำที่มากกว่าและขนาดของถังดูดซึมมีขนาดใหญ่กว่า พบว่าจากรูปที่ 4.13 ค่า H_{OL} จากการวิจัยมีช่วงอยู่ในลักษณะเดียวกัน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจึงมีแนวโน้มเหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง อุณหภูมิภายในถังดูดซึมจึงมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละการทดลอง ซึ่งอุณหภูมิภายในถังดูดซึมมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ทำให้ที่บางสภาวะไม่สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลได้ และยังมีการสูญเสียก๊าซไปกับน้ำที่ออกจากถังดูดซึมในทุกสภาวะการเดินระบบ เนื่องจากท่อพ่นก๊าซอยู่ใกล้ระดับพักน้ำภายในถังดูดซึม ซึ่งส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์เช่นเดียวกัน

ตาราง 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในเฟสของเหลวของระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพในสภาวะการทดลองต่างๆ

L/G Ratio	อัตรา การ ไหลน้ำ, ม. ³ /ชม.	อัตราการ ไหลก๊าซ ชีวภาพ, ม. ³ ก๊าซ/ ชม.	SV, ชม. ⁻¹	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ($K_L a$), กิโลกรัมโมล./ม. ³ -วินาที					
				ความดันภายในถังดูดซึมก๊าซ					
				2 บาร์			3 บาร์		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.24	2.4	10	39.8	N/A	N/A	N/A	0.60	0.24	1.84
0.30	3.0	10	39.8	3.2	0.81	124.08	0.56	1.96	N/A
0.42	4.2	10	39.8	0.5	1.22	1.06	1.79	0.84	0.96
0.48	4.8	10	39.8	5.84	1.23	1.07	1.26	0.81	0.82
0.60	6.0	10	39.8	1.54	1.11	0.92	1.13	0.35	0.68
0.72	7.2	10	39.8	1.24	0.89	0.92	1.09	0.72	0.71
0.80	8.0	10	39.8	1.16	1.03	0.99			
0.90	9.0	10	39.8	1.18	1.26	1.00			
1.05	10.5	10	39.8	1.18	0.90	0.99			

ตาราง 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในเฟสของเหลวของระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพในสภาวะการทดลองต่างๆ(ต่อ)

L/G Ratio	อัตรา การ ไหลน้ำ, ม. ³ /ชม.	อัตราการ ไหลก๊าซ ชีวภาพ, ม. ³ ก๊าซ/ ชม.	SV, ชม. ⁻¹	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ($K_L a$), กิโลกรัมโมล./ม. ³ -วินาที					
				ความดันภายในถังดูดซึมก๊าซ					
				2 บาร์			3 บาร์		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.20	3.0	15	59.8	N/A	0.53	N/A	0.25	0.62	4.66
0.30	4.5	15	59.8	N/A	1.33	0.40	0.69	0.51	0.68
0.40	6.0	15	59.8	4.27	1.23	1.92	0.57	0.56	0.64
0.50	7.5	15	59.8	443.13	1.11	1.99	1.18	0.61	0.63
0.60	9.0	15	59.8	1.70	0.97	1.78			
0.72	10.8	15	59.8	1.94	0.18	1.81			
0.21	4.2	20	79.7	1.28	6.11	0.93	0.45	0.54	0.64
0.30	6.0	20	79.7	N/A	2.66	N/A	4.77	1.44	1.28
0.39	7.8	20	79.7	2.87	2.02	1.54	2.90	1.34	1.31
0.48	9.6	20	79.7	2.54	1.72	1.51			

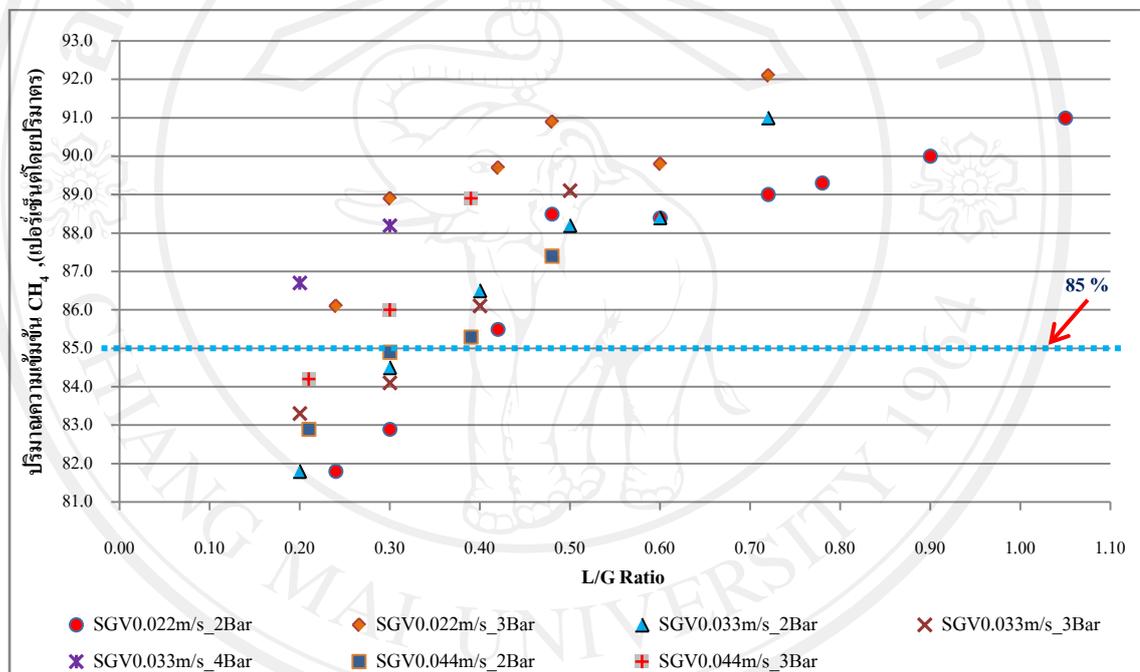
*NA คือไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากมีก๊าซหลุดไปกับน้ำที่ออกจากระบบ

4.7 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอมีเทน

การเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพเพื่อการผลิตไบโอมีเทน นั้น จะพิจารณาจากไบโอมีเทนที่ผลิตซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดคลัสเตอร์และคุณภาพของก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ พ.ศ. 2552 และอัตราการใช้พลังงานของระบบผลิตไบโอมีเทน โดยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอมีเทนที่ผลิตได้จาก ระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพในหัวข้อที่ 4.4 ซึ่งพบว่าไบโอมีเทนที่ผลิตได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน แต่มีเพียงค่าดัชนีวอบบีซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานไปเล็กน้อย ดังนั้นจึง ต้องมีการเลือกสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าดัชนีวอบบีไม่เกินค่ามาตรฐานที่ได้ กำหนดไว้ จากการคำนวณพบว่าหากต้องการให้ค่าดัชนีวอบบีอยู่ระหว่าง 37 – 42 เมกะจูลต่อ ลูกบาศก์เมตรของไบโอมีเทน เพราะฉะนั้นจะต้องมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 83.0 – 89.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรโดยมีสมมุติฐานว่าองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วย ก๊าซมีเทนเป็นหลัก เพื่อให้ได้ไบโอมีเทนที่มีค่าความร้อนเหมาะสม ในการวิจัยนี้เลือกที่จะผลิตไบโอมีเทนที่มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งเป็นค่า

กึ่งกลางของย่านดัชนีวอบบีที่กฎหมายตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้ หรือเทียบเท่ากับ ค่าดัชนีวอบบีประมาณ 40 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรของไบโอมิเทน

เนื่องจากการดำเนินระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไบโอมิเทนที่มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งการเดินระบบในหลายสภาวะ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยมีสภาวะการเดินระบบจำนวน 4 สภาวะ ซึ่งคาดว่าจะสามารถผลิตไบโอมิเทนได้อยู่ในช่วงค่าดัชนีวอบบีที่ต้องการ สภาวะการเดินระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9



รูป 4.14 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในไบโอมิเทนที่การเดินระบบในสภาวะต่างๆ

เนื่องจากไม่สามารถพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จากค่าการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ระบบโดยผู้ผลิต เพราะในแต่ละเงื่อนไขการทดลองมีการใช้ระยะเวลาทดลองหลังจากเข้าสู่สมดุลแล้วเป็นเวลา 30 นาทีเท่ากัน ซึ่งหากคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะทำให้มีค่าเท่ากัน จึงมีการตรวจวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบต่ออัตราการไหลของก๊าซ โดยใช้มาตรวัดไฟฟ้า (kWh Meter) ผลการตรวจวัดได้แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยจะเห็นที่อัตราการไหล 10 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ระบบได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.68 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพ ซึ่งสูงกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบที่อัตราการไหล 20 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง โดยสาเหตุมาจากเครื่องอัดก๊าซมีการเปิดปิดบ่อยครั้ง ซึ่งช่วงเริ่มเดินเครื่องจะมีการใช้

พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าปกติ ดังนั้นสถานะที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด คือสถานะที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 20 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ที่ความดันภายในถังดูดซึม 3 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio เท่ากับ 0.30 เท่า พบว่าที่สถานะนี้ใช้พลังงาน 0.46 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพ

ตาราง 4.8 สถานะการเดินระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนที่ปริมาณความเข้มข้นประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

อัตราการไหลก๊าซ ,ม. ³ ก๊าซ/ชม.	SV ,ชม. ⁻¹	ความดัน, บาร์เกจ	L/G Ratio	อัตราการใช้ไฟฟ้า, กิโลวัตต์ชั่วโมง/ม. ³ ก๊าซ	การสูญเสียก๊าซมีเทน	
					ม. ³ ก๊าซ/ชม.	เปอร์เซ็นต์
10	39.8	2	0.42	0.68	0.9	12.7
20	59.8	2	0.30	0.47	1.0	7.2
20	59.8	2	0.39	0.51	1.0	6.7
20	59.8	3	0.30	0.46	1.0	6.6

เมื่อพิจารณาปริมาณการสูญเสียก๊าซมีเทน พบว่าที่สถานะทั้ง 4 สถานะ มีปริมาณการสูญเสียก๊าซมีเทนที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นสถานะที่อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 20 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง ที่ความดันภายในถังดูดซึม 3 บาร์เกจ และค่า L/G Ratio เป็น 0.3 เท่า จึงถือเป็นสถานะการเดินระบบที่มีความเหมาะสมที่สุด