บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการศึกษาสภาวะเริ่มต้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของการผลิตแก๊สมีเทนจากสับเตรทร่วมระหว่างมูลแพะกับฟางข้าว โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนและค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) และค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ต่อการผลิตแก๊สมีเทน

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สมีเทนในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (A) และค่าความเป็นกรด – ด่าง (B) สามารถเขียนเป็นสมการถดถอยได้ดังนี้

$$Y = 1439.96 + 37.78_A + 280.31_B - 0.08_{AB} - 0.72_A^2 - 18.80_B^2$$

การออกแบบการทดลองครั้งนี้มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ค่าความไม่เหมาะสมของแบบการทดลอง (Lack of fit) ไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการเลือกแบบการทดลองในครั้งนี้ (ตาราง 10) นอกจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลอง R^2 มีค่าเท่ากับ 0.97 และ R^2 (adj) ซึ่งขึ้นกับองศาอิสระของตัวแปร (Degree of freedom) มีค่าเท่ากับ 0.95 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับข้อมูลจากการทดลองสำหรับค่าตัวแปรต้นทั้งสองตัวแปรที่ระดับความเชื่อมั่นสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 9 ปริมาณผลได้ของไบโอแก๊สและแก๊สมีเทนในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	A(Code)	A(Actual)	B(Code)	B(Actual)	Methane (mL)	Biogas (mL)
1	-1.000	20.000	1.000	8.000	52.360	690.10
2	1.414	32.071	0.000	7.000	50.110	652.43
3	1.000	30.000	1.000	8.000	56.530	810.07
4	-1.414	17.929	0.000	7.000	30.160	271.74

ตาราง 9 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	A(Code)	A(Actual)	B(Code)	B(Actual)	Methane (mL)	Biogas (mL)
5	0.000	25.000	0.000	7.000	79.020	1743.97
6	1.000	30.000	-1.000	6.000	34.560	336.96
7	0.000	25.000	-1.414	5.590	12.180	52.74
8	0.000	25.000	0.000	7.000	80.410	1860.69
9	0.000	25.000	0.000	7.000	72.960	1589.80
10	0.000	25.000	1.414	8.410	65.420	1147.47
11	-1.000	20.000	-1.000	6.000	28.770	256.63
12	0.000	25.000	0.000	7.000	80.120	1839.56
13	0.000	25.000	0.000	7.000	78.440	1729.60

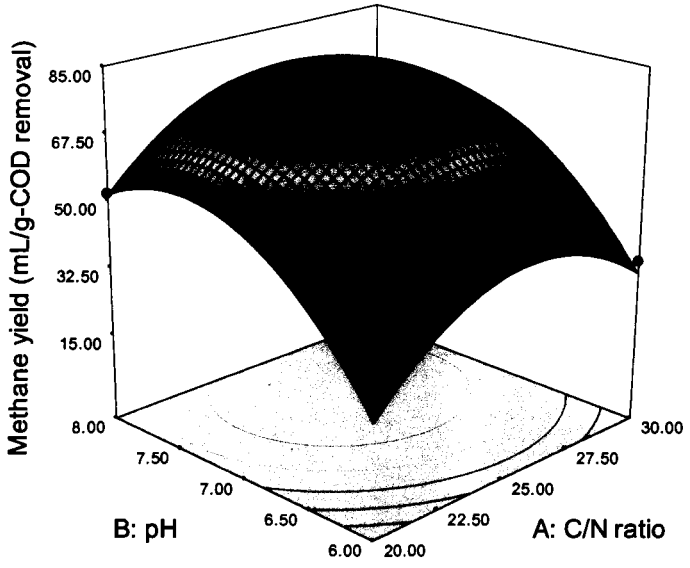
ตาราง 10 แบบจำลองพิสูจน์ค่าความเชื่อมั่นของการออกแบบการทดลอง (significance of regression coefficients)

Factor	Methane production (mL)	
	Coefficients estimate	Probability
Model	-	<0.0001
Intercept	78.190	-
A	4.770	0.0449
B	15.110	0.0001
AB	-0.410	8.8878
A^2	-18.130	< 0.0001
B^2	-18.800	< 0.0001
Lack of fit	-	0.0517

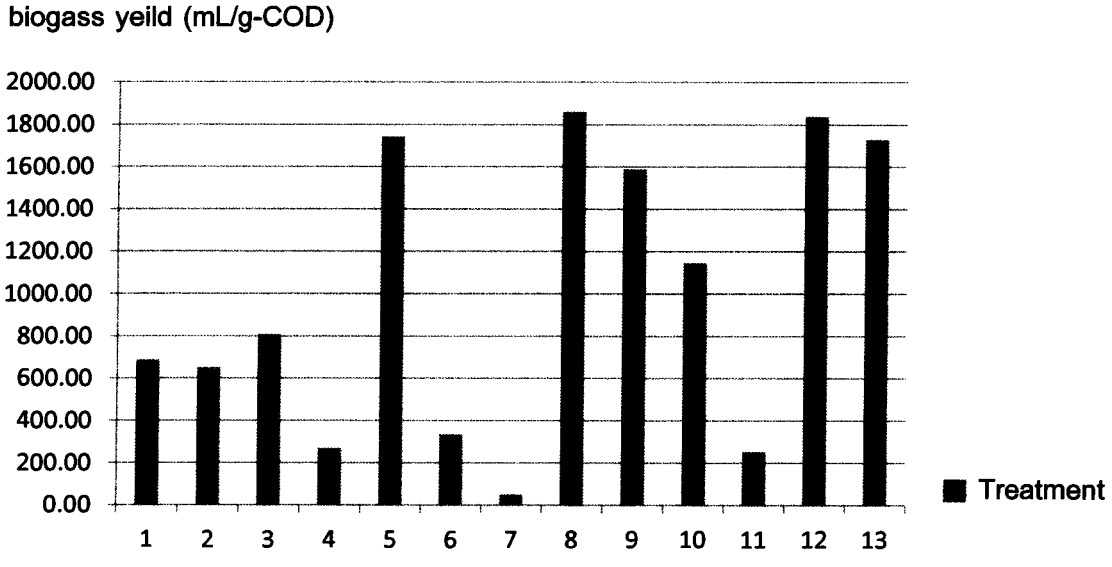
ภาพ 9 แสดงอิทธิพลของปัจจัย A (อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน) และ B (ค่าความเป็นกรด – ด่าง) ที่มีต่อผลได้ของแก๊สมีเทนจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อกำหนดค่าของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20.00 สามารถให้ผลได้ของแก๊สมีเทนเท่ากับ 20.98 มิลลิลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ลดลง และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนจาก 20.00 ถึง 25.59 พบว่าผลได้ของแก๊สมีเทนเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 80.68 มิลลิลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ลดลง เนื่องจากที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสามารถทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ และกิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น (Yokoi et al., 2014) และนอกจากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีค่าต่ำจะทำให้จุลินทรีย์นำสารอาหารไปใช้ในการสร้างเซลล์ (Sreela-or, 2011) แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 25 ผลได้ของแก๊สมีเทนลดลง เนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจนที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Lin and Lay, 2004)

การผลิตแก๊สมีเทนจากฟางข้าวร่วมกับมูลแพะโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 6.00 สามารถให้ผลได้ของแก๊สมีเทนเท่ากับ 20.98 มิลลิลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ลดลง และเมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นจาก 6.00 ถึง 7.19 พบว่าผลได้ของแก๊สมีเทนสูงขึ้นเท่ากับ 80.68 มิลลิลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ลดลง เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ดี ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำจะส่งผลให้ระยะเวลาการปรับตัว (Lag time) ของจุลินทรีย์มีระยะเวลานาน (Van Ginkel et al., 2001) และนอกจากนั้นค่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำอาจจะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Reungsang and Sreela-or, 2013) จะเห็นได้จากการทดลองครั้งนี้เมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้นจะทำให้ผลได้ของมีเทนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามหากเพิ่มปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.19 ผลได้ของแก๊สมีเทนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงจะส่งผลทำให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดความเสียหาย (Khanal et al., 2004)



ภาพ 8 โครงสร้างพื้นที่การตอบสนองของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สมีเทน



ภาพ 9 ปริมาณไบโอแก๊สแต่ละการทดลอง

ผลรวมของปริมาณไบโอแก๊สแต่ละการทดลองเมื่อครบจำนวน 30 วัน พบว่า การทดลองที่ 8 มีปริมาณสูงสุด 1860.69 mL/g-COD ซึ่งมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 25 และความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 โดยผลได้ของไบโอแก๊สน้อยที่สุด คือ การทดลองที่ 7 ซึ่งมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 25 และความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.59 มีปริมาณไบโอแก๊สเท่ากับ 52.74 mL/g-COD (ภาพ 9)

4.2 การทดลองซ้ำ (Confirmation Experiment)

จากสมการทำนายผลการทดลองการผลิตแก๊สมีเทนจากฟางข้าวร่วมกับมูลแพะโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถให้ค่าผลได้ของแก๊สมีเทนสูงสุด คือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 25.59 และค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.19 สามารถให้ผลได้ของแก๊สมีเทนเท่ากับ 80.72 มิลลิลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ลดลง ซึ่งเมื่อนำสภาวะที่ได้มาทำการทดลองซ้ำดังตาราง 11 พบว่าที่สภาวะที่เหมาะสมจากสมการการทำนายพบว่าสามารถให้ผลได้ของแก๊สมีเทนเท่ากับ 80.68 มิลลิลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ลดลง ซึ่งมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จาการทดลองจริงเพียง 0.05 เท่านั้น แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

ตาราง 11 แสดงปริมาณผลได้ของแก๊สมีเทนในสภาวะต่างๆ

ชุดการทดลอง	Condition	C:N ratio	pH	Methane (mL/g-COD)	
				Predicted	Obtained
-	Optimal	25.59	7.19	80.72	80.68
1	High	30.00	8.00	61.74	60.73
0	Medium	25.00	7.00	79.11	78.19
-1	Worst	20.00	6.00	21.05	20.98