

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 4.1 การศึกษาสภาวะการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกต่อผลผลิตซีโอดี ละลายน้ำจากกากมันสำปะหลัง

วัตถุประสงค์ของการบำบัดเบื้องต้นคือ แยกสลายส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก โดยวัดประสิทธิภาพจากปริมาณซีโอดีละลายน้ำ มีปัจจัยที่ทดลองคือ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งส่วนแล้วเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณซีโอดีละลายน้ำในการบำบัดเบื้องต้น โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 1:10 (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 30 วัน ความเข้มข้นซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10, 1:15 และ 1:20 (มวลต่อปริมาตร) สุดท้ายการทดลองที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 30 นาที อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 (มวลต่อปริมาตร) ด้วยกรดอะซิติก กรดโพโรไพออนิก กรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.045 โมลาร์ ผลการทดลองปริมาณซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำก่อน และหลังการบำบัดเบื้องต้น นำมาใช้ในคำนวณค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.4 โดยเริ่มต้นมีบางส่วนของกากมันสำปะหลังที่ละลายน้ำออกมาจึงเป็นซีโอดีละลายน้ำเริ่มต้น ซึ่งจากการใช้กรดพบว่าซีโอดีละลายน้ำเริ่มต้นสูงกว่าการใช้น้ำกลั่นเนื่องจากกรดทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งบางส่วน และความเข้มข้นกรดสูงซึ่งมีแนวโน้มทำให้ปริมาณซีโอดีละลายน้ำเริ่มต้นสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยค่าซีโอดีละลายน้ำหลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่าแตกต่างกันตามสภาวะการบำบัดเบื้องต้น จากนั้นจึงหาความแตกต่างของระหว่างเริ่มต้นและหลังจากการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งซีโอดีละลายน้ำก่อนการบำบัดเบื้องต้น ซีโอดีละลายน้ำหลังการบำบัดเบื้องต้น และซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้น คิดออกมาเป็นสัดส่วนต่อซีโอดีทั้งหมด โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$\text{COD solubilisation (\%)} = \left( \frac{\text{SCOD}}{\text{TCOD}} \right) \times 100$$

COD solubilisation	=	ซีโอดีที่ละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด (%)
SCOD	=	ซีโอดีละลายน้ำ (มก.ต่อลิตร)
TCOD	=	ซีโอดีทั้งหมด (มก.ต่อลิตร)

ตารางที่ 4.1 ค่าซีโอดีจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง (25 C)

Temp (C)	Acid (%)	Time (days)	TCOD (mg/l)	SCOD(mg/l)			COD solubilisation(%)		
				initial	final	$\Delta$ SCOD	initial	final	$\Delta$ COD solubilisation
25 (room)	distill/1	30	61,466 (1:10)	2,281	3,952	1,671	3.7	6.4	2.7
	distill/2			3,077	8,098	5,021	5.0	13.2	8.2
	0.25			3,385	3,249	-136	5.5	5.3	-0.2
	0.5			3,680	2,939	-741	6.0	4.8	-1.2
	1			3,385	3,868	483	5.5	6.3	0.8
	2			3,680	4,796	1,116	6.0	7.8	1.8
	distill/1		45,386 (1:15)	1,913	9,283	7,370	4.2	20.5	16.3
	distill/2			2,198	8,477	6,279	4.8	18.7	13.9
	0.25			2,355	1,624	-731	5.2	3.6	-1.6
	0.5			2,381	2,088	-293	5.2	4.6	-0.6
	1			2,428	2,552	124	5.3	5.6	0.3
	2			2,502	3,790	1,288	5.5	8.4	2.9
	distill/1		40,320 (1:20)	1,545	8,819	7,274	3.8	21.9	18.1
	distill/2			1,685	9,490	7,805	4.2	23.5	19.3
	0.25			2,208	1,315	-893	5.5	3.3	-2.2
	0.5			1,987	1,624	-363	4.9	4.0	-0.9
	1			2,134	2,243	109	5.3	5.6	0.3
	2			1,987	3,017	1,030	4.9	7.5	2.6

TCOD = ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

SCOD = ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

COD solubilisation = อัตราส่วนซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด (%)

ตารางที่ 4.2 ค่าซีโอดีจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 55 และ 70 องศาเซลเซียส

Temp (C)	Acid (%)	Time (min)	TCOD (mg/l)	SCOD(mg/l)			COD solubilisation(%)		
				initial	final	$\Delta$ SCOD	initial	final	$\Delta$ COD solubilisation
55	distill	60	61,446	3,058	3,840	782	5.0	6.2	1.2
	0.0625			3,949	4,147	198	6.4	6.7	0.3
	0.125			4,336	4,608	272	7.1	7.5	0.4
	0.25			3,949	4,531	582	6.4	7.4	1.0
	0.5			3,988	4,608	620	6.5	7.5	1.0
70	distill	15	61,466	2,995	3,763	768	4.9	6.1	1.2
	0.0625			3,949	4,147	198	6.4	6.7	0.3
	0.125			4,262	4,684	422	6.9	7.6	0.7
	0.25			3,994	4,915	921	6.5	8.0	1.5
	0.5			3,648	4,761	1,113	5.9	7.7	1.8
	distill	30		3,020	3,763	743	4.9	6.1	1.2
	0.0625			3,949	4,608	659	6.4	7.5	1.1
	0.125			3,910	5,606	1,696	6.4	9.1	2.7
	0.25			3,910	5,990	2,080	6.4	9.7	3.3
	0.5			3,717	6,835	3,118	6.0	11.1	5.1
	distill	60		2,688	4,480	1,792	4.4	7.3	2.9
	0.0625			3,609	9,600	5,991	5.9	15.6	9.7
	0.125			4,147	12,800	8,653	6.7	20.8	14.1
	0.25			4,147	17,280	13,133	6.7	28.1	21.4
	0.5			3,916	30,080	26,164	6.4	48.9	42.5

TCOD = ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

SCOD = ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

COD solubilisation = อัตราส่วนซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด (%)

ตารางที่ 4.3 ค่าซีโอดีจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

Temp (C)	Acid (%)	Time (min)	TCOD (mg/l)	SCOD(mg/l)			COD solubilisation(%)		
				initial	final	$\Delta$ SCOD	initial	final	$\Delta$ COD solubilisation
90	distill	15	61,466	3,302	4,428	1,126	5.4	7.2	1.8
	0.0625			4,023	13,918	9,895	6.5	22.6	16.1
	0.125			4,023	17,286	13,263	6.5	28.1	21.6
	0.25			4,137	24,674	20,537	6.7	40.1	33.4
	0.5			4,023	32,898	28,875	6.5	53.5	47.0
	distill	30		3,868	6,200	2,332	6.3	10.1	3.8
	0.0625			4,352	14,260	9,908	7.1	23.2	16.1
	0.125			4,203	21,080	16,877	6.8	34.3	27.5
	0.25			4,389	33,480	29,091	7.1	54.5	47.4
	0.5			4,240	44,020	39,780	6.9	71.6	64.7
	distill	60		3,416	36,062	32,646	5.6	58.7	53.1
	0.0625			3,947	39,858	35,911	6.4	64.8	58.4
	0.125			4,289	49,348	45,059	7.0	80.3	73.3
	0.25			4,099	50,613	46,514	6.7	82.3	75.6
	0.5			4,023	53,777	49,754	6.5	87.5	81.0

TCOD = ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

SCOD = ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

COD solubilisation = อัตราส่วนซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด (%)

ตารางที่ 4.4 ค่าซีโอดีจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

Temp (C)	Acid (%)	Time (min)	TCOD (mg/l)	SCOD(mg/l)			COD solubilisation(%)		
				initial	final	$\Delta$ SCOD	initial	final	$\Delta$ COD solubilisation
121	distill	15	61446	2,998	37,837	34,839	4.9	61.6	56.7
	0.0625			3,682	43,654	39,972	6.0	71.0	65.0
	0.125			4,289	49,980	45,691	7.0	81.3	74.3
	0.25			3,947	51,878	47,931	6.4	84.4	78.0
	0.5			3,758	52,409	48,651	6.1	85.3	79.2
	distill	30		3,492	42,388	38,896	5.7	69.0	63.3
	0.0625			4,061	48,715	44,654	6.6	79.3	72.7
	0.125			4,175	51,246	47,071	6.8	83.4	76.6
	0.25			4,213	52,776	48,563	6.9	85.9	79.0
	0.5			4,023	52,246	48,223	6.5	85.0	78.5
	distill	60		2,695	44,919	42,224	4.4	73.1	68.7
	0.0625			3,454	53,776	50,322	5.6	87.5	81.9
	0.125			3,454	53,144	49,690	5.6	86.5	80.9
	0.25			3,530	53,776	50,246	5.7	87.5	81.8
	0.5			3,112	54,409	51,297	5.1	88.5	83.4

TCOD = ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

SCOD = ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

COD solubilisation = อัตราส่วนซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด (%)

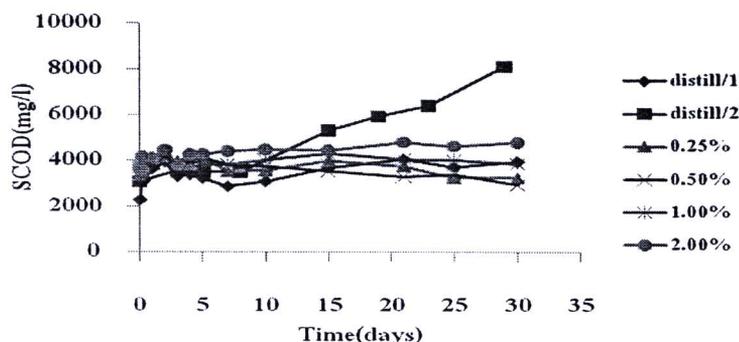
#### 4.1.1 ผลการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิห้องต่อซีโอดีละลายน้ำ

การบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลา 30 วัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10, 1:15 และ 1:20 (มวลต่อปริมาตร) แล้ววิเคราะห์ค่าซีโอดีละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อัตราส่วน 1:10 พบว่าการทดลองจากน้ำกลั่นในชุดที่ 1 และ 2 เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำเท่ากับ 2,281 และ 3,077 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อระยะเวลา 30 วัน พบว่า มีค่าซีโอดีละลายน้ำ 3,952 และ 8,098 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนจากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีปริมาณซีโอดีละลายน้ำเริ่มต้น 3,385 3,680 3,385 และ 3,680 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 30 วันมีค่าซีโอดีละลายน้ำ 3,249 2,939 3,868 และ 4,796 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

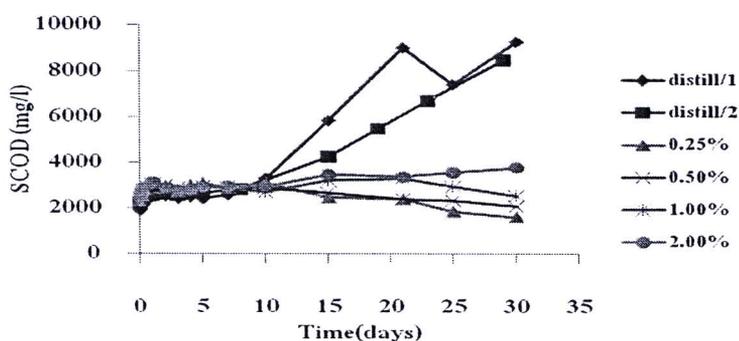
รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อัตราส่วน 1:15 (มวลต่อปริมาตร) พบว่า สำหรับน้ำกลั่นในชุดที่หนึ่งและสอง และกรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำ 1,913 2,198 2,355 2,318 2,428 และ 2,502 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อระยะเวลา 30 วัน มีค่าซีโอดีละลายน้ำ 9,283 8,477 1,624 2,088 2,552 และ 3,790 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อัตราส่วน 1:20 (มวลต่อปริมาตร) พบว่าจากการใช้น้ำกลั่นชุดที่หนึ่งและสอง และกรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำ 1,545 1,685 2,208 1,987 2,134 และ 1,987 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลา 30 วัน มีค่าซีโอดีละลายน้ำ 8,819 9,490 1,315 1,624 2,243 และ 3,017 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

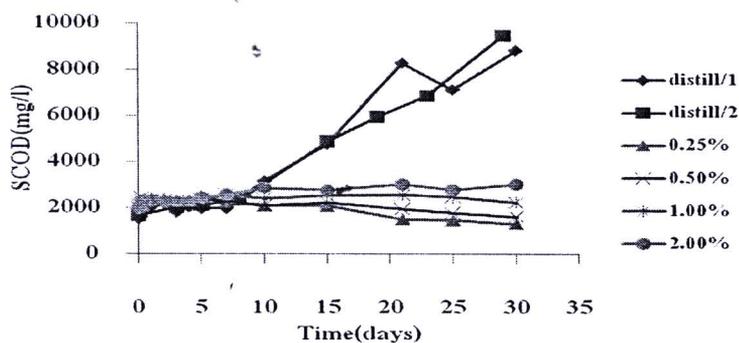
ซึ่งจากการทดลองทุกอัตราส่วนแสดงผลที่สอดคล้องกัน เมื่อระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 15 วัน จากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5 และ 1.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีค่าซีโอดีละลายน้ำลดลงเนื่องจากผิวส่วนหน้าของเหลวมีส่วนของเชื้อราขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.4 (A) ซึ่งเชื้อราจะเติมโตได้ดีในช่วงที่เป็นกรดอ่อนอีกทั้งอุดมไปด้วยสารอาหาร แต่ที่กรดซัลฟิวริก 2.0 % กลับไม่พบว่ามีส่วนของเชื้อราเนื่องจากมีความเป็นกรดสูงมากกว่าที่เชื้อราจะอาศัยอยู่ได้ จากการทดลองใช้น้ำกลั่นแช่กากมันสำปะหลังพบว่ามีปริมาณซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้น ตั้งแต่วันที่ 10 ของการทดลอง โดยเมื่อนำของเหลวภายในมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ แสดงในรูปที่ 4.4 (C) พบว่ามีแบคทีเรีย (จุดสีดำ) เกาะอยู่รอบเม็ดแป้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะน้ำกลั่นเหมาะสมต่อการเกิดแบคทีเรียในการย่อยเม็ดแป้งจึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณซีโอดีละลายน้ำสูงขึ้น



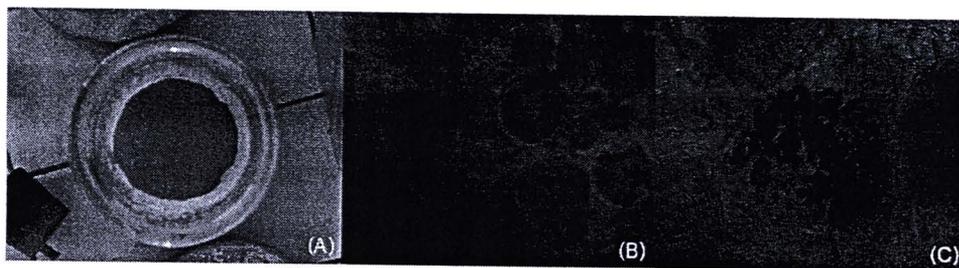
รูปที่ 4.1 ซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง (25 C) กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลา 30 วัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 (มวลต่อปริมาตร)



รูปที่ 4.2 ซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง (25 C) กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลา 30 วัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:15 (มวลต่อปริมาตร)

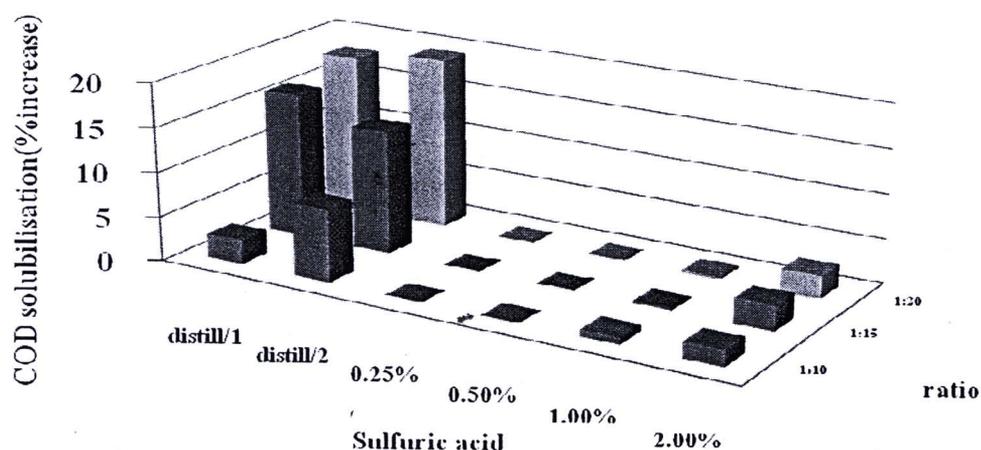


รูปที่ 4.3 ซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง (25 C) กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลา 30 วัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:20 (มวลต่อปริมาตร)



รูปที่ 4.4 (A) เชื้อราบนผิวหน้าการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดที่อุณหภูมิห้อง ( $0.5\% \text{H}_2\text{SO}_4$ , 1:15)  
(B), (C) เม็ดแป้ง และแบคทีเรียบนเม็ดแป้งส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดจากระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 30 วัน สำหรับน้ำกลั่น ที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20 (มวลต่อปริมาตร) พบว่าชุดที่หนึ่งมีค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 2.7, 16.3 และ 18.1 % ส่วนชุดที่สองมีค่า 8.2, 13.9 และ 19.3 % ตามลำดับ ส่วนจากการใช้กรด 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อัตราส่วน 1:10 มีค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด -0.2, -1.2, 0.8 และ 1.8 % ตามลำดับ อัตราส่วน 1:15 มีค่าเท่ากับ -1.6, -0.6, 0.3 และ 2.9 % ตามลำดับ และสุดท้ายที่อัตราส่วน 1:20 มีค่าเท่ากับ -2.2, -0.9, 0.3 และ 2.6 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิห้องถึงแม้ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นนานถึง 30 วัน ไม่สามารถแยกสลายกากมันสำปะหลัง ได้ เมื่อใช้กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) อีกทั้งกากมันสำปะหลังนั้นอุดมไปด้วยสารอาหารทำให้มีส่วนของเชื้อราเกิดขึ้น ส่วนจากการใช้น้ำกลั่นมีส่วนของแบคทีเรียเกิดขึ้นทำให้มีปริมาณซีโอดีละลายน้ำสูงขึ้น



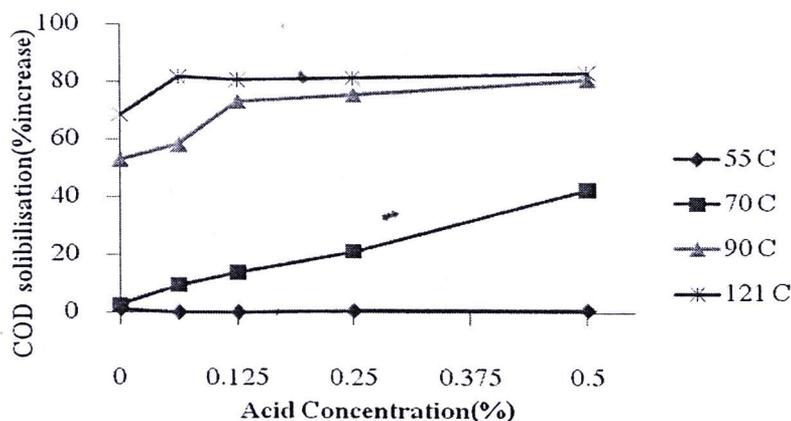
รูปที่ 4.5 ซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง  
ด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.25 0.5 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร)  
ระยะเวลา 30 วัน และอัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20 (มวลต่อปริมาตร)

## 4.1.2 ผลการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 55, 70, 90 และ 121

### องศาเซลเซียสต่อซีโอดีละลายน้ำ

#### 4.1.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 60 นาที

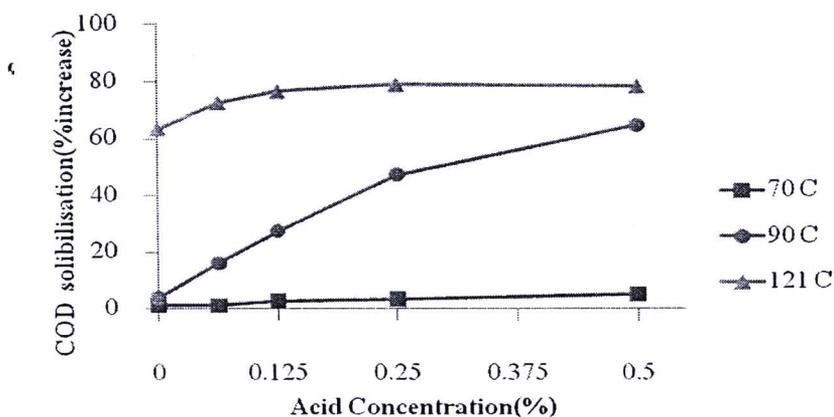
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อซีโอดีละลายน้ำ จากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ไม่สามารถแยกสลายกากมันสำปะหลังเป็นซีโอดีละลายน้ำได้ เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 5.0, 6.4, 7.1, 6.4 และ 6.5 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 6.2, 6.7, 7.5, 7.4 และ 7.5 % คิดเป็นค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.2, 0.3, 0.4, 1.0 และ 1.0 % ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าที่แตกต่างกับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของซีโอดีละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้น โดยเริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 4.4, 5.9, 6.7, 6.7 และ 6.4 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 7.3, 15.6, 20.8, 28.1 และ 48.9 % คิดเป็นสัดส่วนซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 2.9, 9.7, 14.1, 21.4 และ 42.5 % ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยเริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 5.6, 6.4, 7.0, 6.7 และ 6.5 % หลังการบำบัดเบื้องต้นแล้วมีค่า 58.7, 64.8, 80.3, 82.3 และ 87.5 % คิดเป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 53.1, 58.4, 73.3, 75.6 และ 81.0 % ตามลำดับ และสุดท้ายการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดเริ่มต้น 4.4, 5.6, 5.6, 5.7 และ 5.1 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 73.1, 87.5, 86.5, 87.5 และ 88.5 % โดยคิดเป็นค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 68.7, 81.9, 80.9, 81.8 และ 83.4 % ตามลำดับ (ค่าซีโอดีแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 – 4.4)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

#### 4.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที

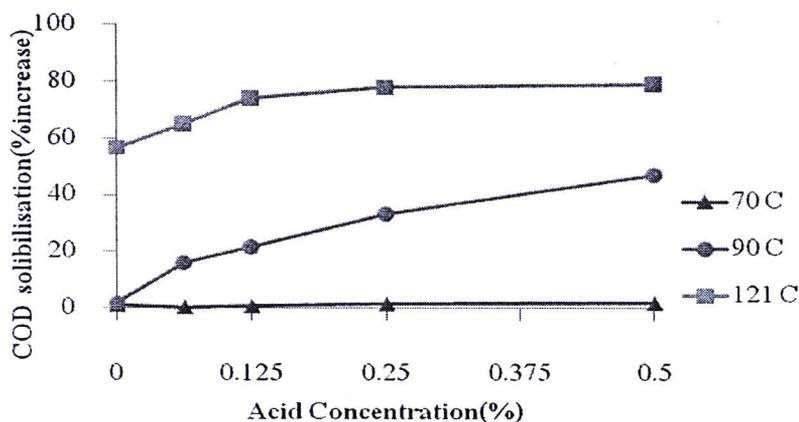
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที จากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าการบำบัดเบื้องต้นที่ 70 องศาเซลเซียส ค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.2, 1.1, 2.7, 3.3 และ 5.1 % เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 90 และ 121 องศาเซลเซียสพบว่ามีค่าซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 3.8, 16.1, 27.5, 47.4 และ 64.7 % ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ค่าเท่ากับ 63.3, 72.7, 76.6, 79 และ 78.5 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที

#### 4.1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 15 นาที

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที จากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิที่ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.2, 0.3, 0.7, 1.5 และ 1.8 % ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสให้ค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดสูงกว่าที่ 70 องศาเซลเซียส มีค่าซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.8, 16.1, 21.6, 33.4 และ 47.0 % และเพิ่มขึ้นอีกเมื่ออุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นเป็น 121 องศาเซลเซียส ค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 56.7, 65.0, 74.3, 78.0 และ 79.2 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที

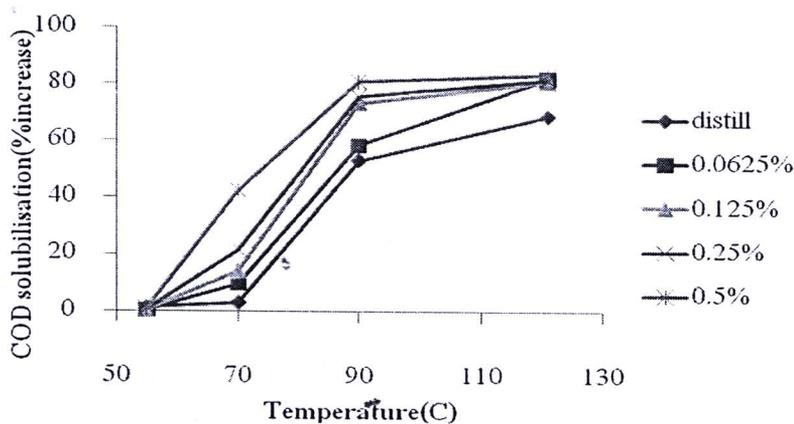
การทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.5 % มีประสิทธิภาพต่อการแยกสลายกากมันสำปะหลังเป็นซีโอดีละลายน้ำได้มากที่สุด โดยรองลงมาคือกรดซัลฟิวริก 0.25, 0.125 และ 0.0625 % ตามลำดับ โดยน้ำกลั่นให้ซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดค่าที่สุด ซึ่งปัจจัยในการแยกสลายวัสดุชีวมวลนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนบวก กรดความเข้มข้นสูงนั้นมีไอออนบวกอยู่มาก จึงเป็นสาเหตุทำให้แยกสลายกากมันสำปะหลังเป็นซีโอดีละลายน้ำได้สูง (Zhao, et.al. 2010)

โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Agu, et.al. (1997) จากการใช้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.2 – 5.0 โมลาร์ ในการย่อยเศษมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที อัตราส่วน 1:10 พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 10.5 - 17.8 กรัมต่อลิตร จากกรดใช้กรดซัลฟิวริก 0.2 - 2.0 โมลาร์ แต่เมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.0 โมลาร์ ปริมาณน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกับกรดความเข้มข้น 4.0 และ 5.0 โมลาร์ จากงานวิจัยของ Zhang, et.al. (2011) พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 2 และ 4% (มวลต่อมวล) ในการย่อยกากมันสำปะหลัง อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 (มวลต่อปริมาตร) พบว่าที่ความเข้มข้นกรด 4% มีปริมาณซีโอดีละลายน้ำเท่ากับ 31.3 กรัมต่อลิตร และลดลงเท่ากับ 26.7 กรัมต่อลิตรที่กรดซัลฟิวริก 2%

แต่อย่างไรก็ตามการใช้กรดความเข้มข้นสูงถึงแม้มีส่วนทำให้ซีโอดีละลายน้ำสูงขึ้นก็ตาม แต่อาจจะเป็นภาระต่อค่าใช้จ่าย เช่น ค่าสารเคมี การจัดการหลังจากการบำบัดเบื้องต้น เป็นต้น ซึ่งอาจสูงเกินความคุ้มค่า รวมทั้งอาจเป็นปัญหาในเชิงของสิ่งแวดล้อมต่อไป

#### 4.1.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 60 นาที

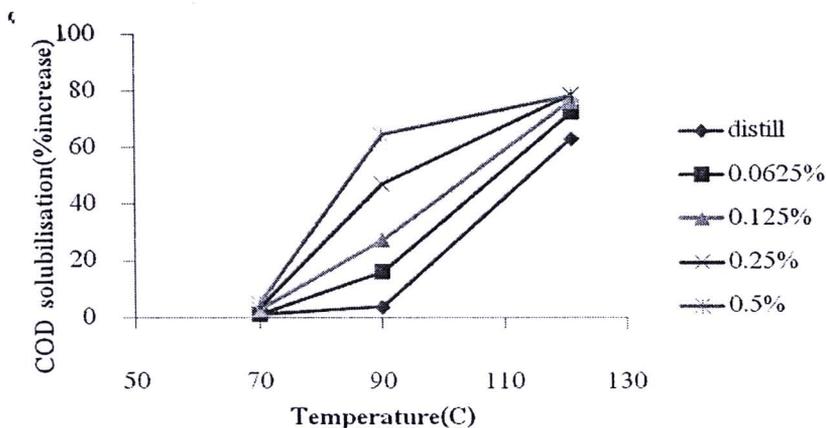
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดเพิ่มขึ้น จากน้ำกลั่นเริ่มต้นมีซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 5.0, 4.4, 5.6 และ 4.4 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 6.2, 7.3, 58.7 และ 73.1 % คิดเป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.2, 2.9, 53.1 และ 68.7 % ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.0625 % มีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดเริ่มต้น 6.4, 5.9, 6.4 และ 5.6 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 6.7, 15.6, 64.8 และ 87.5 % คิดเป็นส่วนที่เพิ่มขึ้นแล้วมีค่า 0.3, 9.7, 58.4 และ 81.9 % จากกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.125 % เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 7.1, 6.7, 7.0 และ 5.6 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 7.5, 20.8, 80.3 และ 86.5 % โดยคิดเป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดมีค่า 0.4, 14.1, 73.3 และ 80.9 % ส่วนความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.25 % เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 6.4, 6.7, 6.7 และ 5.7 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 7.4, 28.1, 82.3 และ 87.5 % คิดเป็นค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 1.0, 21.4, 75.6 และ 81.8 % สุดท้ายจากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.5 % มีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 6.5, 6.4, 6.5 และ 5.1 % ส่วนหลังจากการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 7.5, 48.9, 87.5 และ 88.5 % คิดเป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.0, 42.5, 81.0 และ 83.4 % ตามลำดับ(ซีโอดีละลายน้ำแสดงที่ตาราง 4.1)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลา 60 นาที

#### 4.1.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที

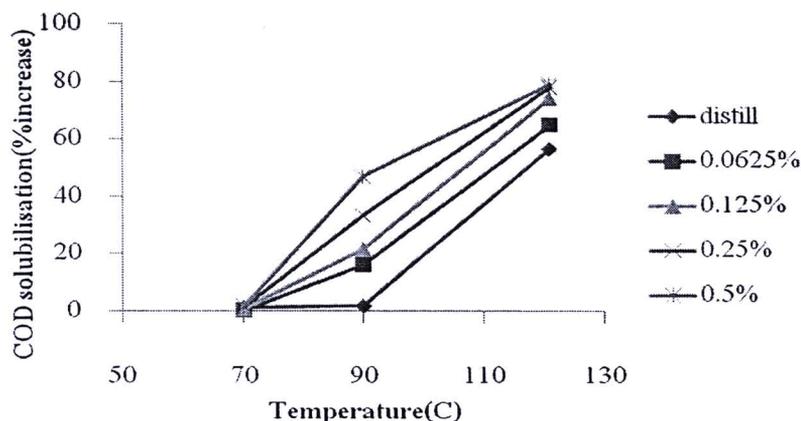
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อผลผลิตซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5% (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่นมีซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.2, 3.8 และ 63.3% ที่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.0625% มีส่วนซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้น 1.1, 16.1 และ 72.7% จากกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.125% ซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดมีค่า 2.7, 27.5 และ 76.6% ส่วนความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.25% ซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 3.3, 47.4 และ 79.0% สุดท้ายจากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.5% มีค่าเท่ากับ 5.1, 64.7 และ 78.5% ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลา 30 นาที

#### 4.1.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำที่ระยะเวลา 15 นาที

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อผลผลิตซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่นมีซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.2, 1.8 และ 56.8 % ที่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.0625 % มีค่า 0.3, 16.1 และ 65.0 % จากกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.125 % มีค่าเท่ากับ 0.7, 21.6 และ 74.3 % ส่วนกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.25 % มีค่าเท่ากับ 1.5, 33.5 และ 78.0% สุดท้ายจากการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.5 % มีค่าเท่ากับ 1.8, 47.0 และ 79.2 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลา 15 นาที

ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์อย่างชัดเจนว่าที่อุณหภูมิสูงนั้นสามารถแยกสลายชีวมวลได้ดีขึ้น โดยอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการแยกสลายกากมันสำปะหลังเป็นซีโอดีละลายน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 90, 70 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bougnier, et al. (2008) พบว่าการละลายน้ำของกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสีย นั้นมีความเชื่อมโยงกับอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้น

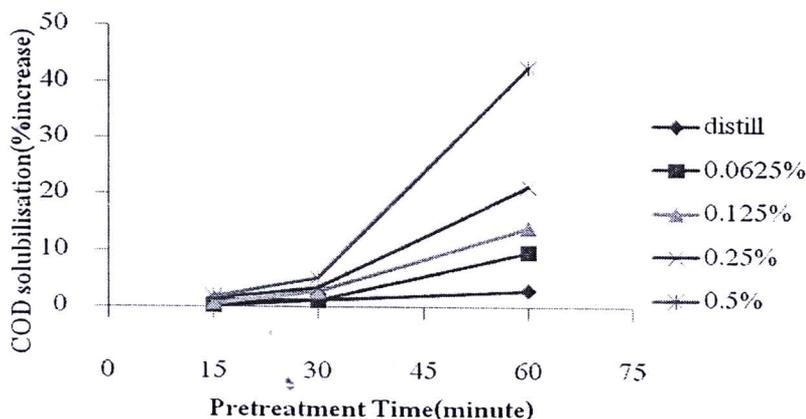
จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส จากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.0625 – 0.5 % ให้ค่าซีโอดีละลายน้ำใกล้เคียงกัน แต่จากอุณหภูมิ 90 และ 70 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของกรดสูงนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ความเข้มข้นกรดต่ำ โดยการย่อยเซลลูโลสด้วยกรดเจือจางที่อุณหภูมิสูงเหมาะสมมากกว่า เพราะการย่อยที่อุณหภูมิต่ำนั้นจำเป็นต้องใช้กรดความเข้มข้นสูง (McMillan, 1994)

กัลยา อยู่นาน (2546) พบว่าจากการย่อยสลายกากมันสำปะหลังความเข้มข้น 1.50% (มวลต่อปริมาตร) ด้วยกรดซัลฟิวริก 0.025 โมลาร์ ระยะเวลา 90 นาทีพบว่าที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดเท่ากับ 70% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเท่ากับ 37 และ 26 % ที่อุณหภูมิ 121 และ 105 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นย่อมหมายถึงต้องการพลังงานที่มากขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นเช่นกัน โดยความเหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างซีโอดีละลายน้ำที่ได้ต่อค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสีย

#### 4.1.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

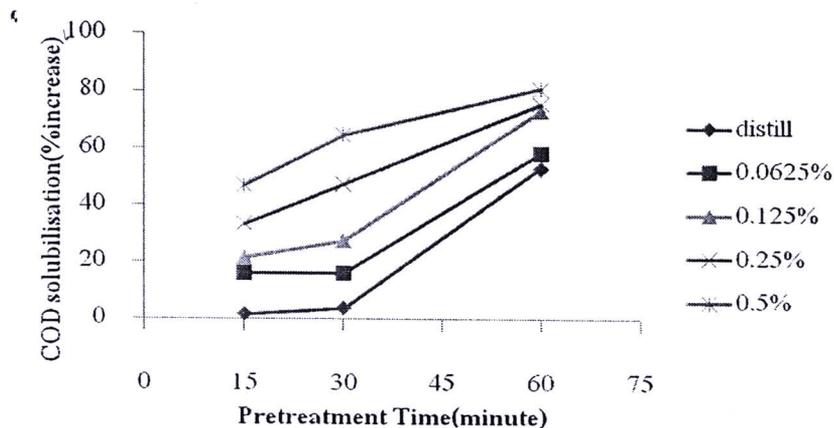
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำ จากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำกลั่นและความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นที่ 15, 30 และ 60 นาที พบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่น เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 4.9, 4.9 และ 4.4 % หลังการบำบัดเบื้องต้นแล้วมีค่า 6.1, 6.1 และ 7.3 % คิดเป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.2, 1.2 และ 7.9 % จากการใช้กรดพบว่า มีแนวโน้มเดียวกัน โดยกรณีกรด 0.0625 % เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 6.4, 6.4 และ 5.9 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 6.7, 7.5 และ 15.6 % คิดเป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 0.3, 1.1 และ 9.7 % กรณีกรด 0.125 % เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 6.7, 6.4 และ 6.7 % หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 7.1, 9.6 และ 20.8 % คิดเป็นสัดส่วนซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.7, 2.7 และ 14.1 % กรณีกรด 0.25 % เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 6.5, 6.4 และ 6.7% หลังการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 8.0, 9.7 และ 28.1 % เป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 1.5, 3.3 และ 21.4 % และสุดท้ายกรณีกรด 0.5 % เริ่มต้นมีค่าซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด 5.9, 6.0 และ 6.4% ค่าหลังการบำบัดเบื้องต้นเท่ากับ 7.7, 11.1 และ 48.9 % คิดเป็นค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.8, 5.1 และ 42.5 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร)

#### 4.1.2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

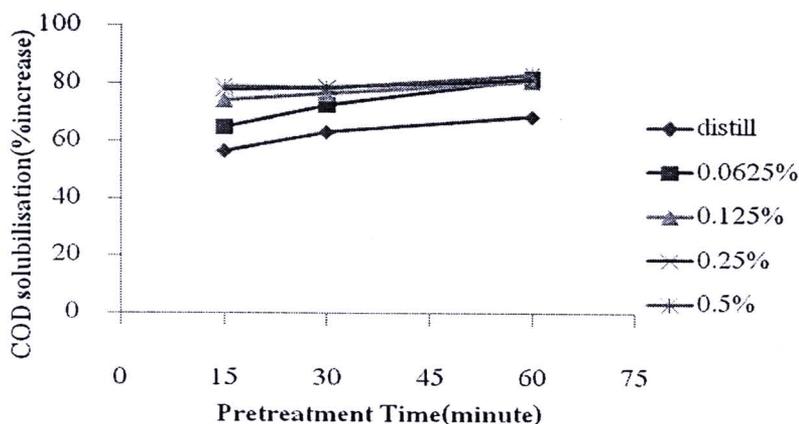
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำ จากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำกลั่นและความเข้มข้นกรดกรดซัลฟิวริก 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นที่ 15, 30 และ 60 นาที พบว่าจากน้ำกลั่น มีซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 1.8, 3.8 และ 53.1 % โดยกรดให้ค่าซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้นและเป็นแนวโน้มเดียวกัน จากกรด 0.0625 % มีค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 16.1, 16.1 และ 58.4 % กรด 0.125 % มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 21.6, 27.5 และ 73.3 % ส่วนกรด 0.25 % มีสัดส่วนซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 33.4, 47.4 และ 75.6 % และสุดท้าย กรด 0.5 % มีค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 47.0, 64.7 และ 81.0 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร)

#### 4.1.2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำ จากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำกลั่นและความเข้มข้นกรดกรดซัลฟิวริก 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นที่ 15, 30 และ 60 นาที พบว่าจากน้ำกลั่น ค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 56.7, 63.3 และ 68.7 % กรด 0.0625 % ค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 65.0, 72.7 และ 81.9 % กรด 0.125 % มีค่าที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 74.3, 76.6 และ 80.9 % ส่วนกรด 0.25 % มีค่าซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมด 78.0, 79.0 และ 81.8 % และสุดท้ายที่กรด 0.5 % มีค่าเท่ากับ 79.2, 78.5 และ 83.4 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระยะเวลาค่อยๆโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นนานขึ้นส่งผลทำให้ค่าซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีค่าซีโอดีละลายน้ำใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 90 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าแตกต่างกันเนื่องจากระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นที่สั้นนั้นทำให้อุณหภูมิเข้าไปไม่ถึงทำให้การแยกสลายกากมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพต่ำ แต่อย่างไรก็ตามที่ระยะเวลา 60 นาที ให้ผลซีโอดีละลายน้ำสูงกว่าที่ 30 และ 15 นาที ตามลำดับ

Liu และ Cheng (2010) โดยทดลองนำฟางข้าวโพดมาบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิสูงด้วยกรดซัลฟิวริก 0.2 นอร์มัล ระยะเวลาในการทดลองเท่ากับ 5, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที พบว่าจากการทดลองที่ระยะเวลา 90 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลละลายน้ำสูงที่สุด และลดลงตามลำดับ โดยมีค่าน้ำตาลละลายน้ำเท่ากับ 8.1, 7.6, 7.2, 6.6, 5.9 และ 5.5 กรัมต่อลิตร และ Zhao, et.al. (2010) ทดลองนำฟางข้าวมาบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดอะซิติกผสมกรดโพโรไฟออนิก (1:1) ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ระยะเวลา 30, 60 และ 120 นาที พบว่าระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นเพิ่มขึ้นมีอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.07, 13.55 และ 17.39 % ตามลำดับ

ปริมาณซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนจากสถานะการบำบัดเบื้องต้นด้วยความเข้มข้นกรดสูง อุณหภูมิและระยะเวลานานขึ้น (Zhang, et.al. 2010) แต่จากงานวิจัยของ Zhao, et.al. (2010) พบว่าระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นที่นานขึ้นเพิ่มการกำจัดลิกนินเพียงเล็กน้อย โดยโครงสร้างลิกนินมีการเปลี่ยนแปลงเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออกมากขึ้น มีส่วนช่วยปรับปรุงการย่อยเซลลูโลสให้ดีขึ้น

### 4.1.3 ผลการบำบัดเบื้องต้นกรดอะซิติก กรดโพรไพออนิก กรดไนตริก และ

กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.045 โมลาร์ ต่อซีโอดีละลายน้ำ

การบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดอะซิติก กรดโพรไพออนิก กรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.045 โมลาร์ (เทียบเท่ากับกรดซัลฟิวริก 0.25%) อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 เป็นเวลา 30 นาที ตารางที่ 4.5 แสดงผลของซีโอดีละลายก่อนการบำบัดเบื้องต้น ซีโอดีละลายน้ำหลังการบำบัดเบื้องต้นและผลต่างของซีโอดีละลายน้ำ รวมทั้งแสดงผลของซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดในตอนเริ่มต้น หลังจากการบำบัดขั้นต้น และส่วนที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดอะซิติก โพรไพออนิก ไนตริกและ

ไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.045 โมลาร์

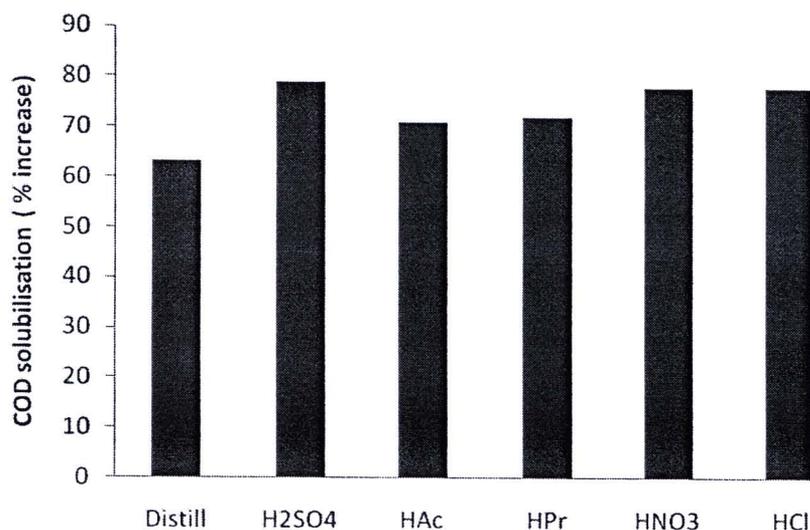
Temp (C)	Acid (%)	Time (min)	TCOD (mg/l)	SCOD(mg/l)			COD solubilisation(%)		
				initial	final	$\Delta$ SCOD	initial	final	$\Delta$ COD solubilisation
121	HAc	30	61,446	4,838	48,510	43,672	7.9	78.9	71.0
	HPr			5,518	49,770	44,252	9.0	81.0	72.0
	HNO <sub>3</sub>			4,347	52,290	47,943	7.1	85.1	78.0
	HCl			4,460	52,290	47,830	7.3	85.1	77.8

TCOD = ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

SCOD = ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

COD solubilisation = อัตราส่วนซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมด (%)

รูปที่ 4.15 แสดงผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดอะซิติก กรดโพรไพออนิก กรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก ซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดน้ำเริ่มต้นเท่ากับ 7.9, 9.1, 7.3 และ 7.1 % หลังจากการให้ความร้อนที่ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาทีแล้ว พบว่ามีปริมาณซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดเพิ่มขึ้น เท่ากับ 78.9, 81.0, 85.1 และ 85.1 % คิดเป็นซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 71.0, 72.0, 77.8 และ 78.0 % ตามลำดับ โดยจากกรดซัลฟิวริก 0.25 % มีค่าเท่ากับ 81.1% ซึ่งประสิทธิภาพในการย่อยสลายกากมันสำปะหลังเป็นซีโอดีละลายน้ำจากกรดไนตริก และไฮโดรคลอริกมีใกล้เคียงกับกรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และกรดโพรไพออนิก นั้น ให้อัตราส่วนซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดน้อยกว่ากรดแก่ แสดงให้เห็นว่ากรดแก่มีประสิทธิภาพในการบำบัดเบื้องต้นได้ดีกว่ากรดอ่อน (ค่าของน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริก 0.25 % แสดงดังตารางที่ 4.4)



รูปที่ 4.15 ซีไอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยกรดซัลฟิวริก อะซิติก โพรไพโอนิก ไนตริก ไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.045M ระยะเวลา 30 นาที

ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กัลยา อยู่ยูนาน (2546) โดยความเข้มข้นที่เท่ากับกรดอะซิติกให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยกว่ากรดซัลฟิวริกและกรดไฮโดรคลอริก เมื่อทำการย่อยกากมันสำปะหลัง ความเข้มข้น 1.5 % (w/v) กรดซัลฟิวริกมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 69.96 % โดยน้ำหนัก จากการใช้กรด 0.025 โมลาร์ ซึ่งกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพเท่ากับ 59.03 % ส่วนกรดอะซิติกนั้นต้องใช้ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 29.61 % และจากรายงานผลของ Xiao และ Clarkson (1997) กล่าวว่ากรดอะซิติกความเข้มข้น 80 % ไม่สามารถแยกหนังสือพิมพ์ได้ โดยมีค่าน้ำหนักที่สูญเสียเท่ากับ 6.04, 6.16, 7.16, 7.15 และ 7.19 % จากการใช้ความเข้มข้น กรดอะซิติก 0, 20, 40, 60 และ 80 %

#### 4.1.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบงานวิจัยในขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้น จากผลการบำบัดเบื้องต้นในการทดลองครั้งนี้พบว่าที่อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นกรดสูง ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นนาน มีผลทำให้ปริมาณซีโอดีละลายน้ำที่สูง แต่อย่างไรก็ตามจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้องกลับพบว่า การใช้กรดไม่สามารถแยกสลายกากมันสำปะหลังเป็นซีโอดีละลายน้ำได้ ซึ่งจากการใช้น้ำกลั่นมีผลต่อซีโอดีละลายน้ำดีกว่า และเมื่อใช้กรดอ่อนในการบำบัดเบื้องต้นพบว่าประสิทธิภาพการแยกสลายกากมันสำปะหลังเป็นซีโอดีละลายน้ำน้อยกว่าการใช้กรดแก่ โดยสถานะการบำบัดเบื้องต้นที่ให้ประสิทธิภาพซีโอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีทั้งหมดดีที่สุดคือ การบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 60 นาที อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 (มวลต่อปริมาตร) ให้ค่าเท่ากับ 83.5 % โดยพบว่าจากงานวิจัยของ Zhao, et.al. (2010) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนบวกเป็นหลัก โดยระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ได้ทดลองบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดอะซิติกผสมกรดโพโรไฟออนิก ที่ความเข้มข้น 1:1 ความเข้มข้น 0.075, 0.15, 0.3 และ 0.75 โมลาร์ ที่ระยะเวลา 15 นาที อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น 8.36, 9.95, 13.32 และ 17.67 % ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของ Agu, et.al. (1997) จากการใช้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.2 – 5.0 โมลาร์ ในการย่อยสลายมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที อัตราส่วน 1:10 พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลรีดิซเท่ากับ 10.5 – 17.8 กรัมต่อลิตร จากกรดใช้กรดซัลฟิวริก 0.2 – 2.0 โมลาร์ แต่เมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.0 โมลาร์แล้วปริมาณน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกับกรดความเข้มข้น 4.0 และ 5.0 โมลาร์ และสุดท้ายจากงานวิจัยของ Zhang, et.al. (2010) พบว่าซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่สถานะการบำบัดเบื้องต้นด้วยความเข้มข้นกรดสูง อุณหภูมิและเวลานานขึ้น พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 2 และ 4 % (มวลต่อมวล) ในการย่อยสลายมันสำปะหลัง อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 (มวลต่อปริมาตร) พบว่าที่ความเข้มข้นกรด 4 % มีปริมาณซีโอดีละลายน้ำเท่ากับ 31.3 กรัมต่อลิตร และลดลงเท่ากับ 26.7 กรัมต่อลิตรที่กรดซัลฟิวริก 2 %

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบงานวิจัยในขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้น

ชีวมวล	อุณหภูมิ	สารเคมี	ผล	งานวิจัย
กากมัน สำปะหลัง	อุณหภูมิห้อง(25) 30วัน ส่วนที่ 55, 70, 90 และ121 องศาเซลเซียส 15, 30, 60 นาที	25C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.25 – 0.5% ส่วน 55, 70, 90 และ 121C กรด 0.0625 – 0.5% (w/v)	ที่อุณหภูมิ 121 C กรด 0.5% ระยะเวลา 60 นาที ให้ค่าซีโอดี ละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดสูง ที่สุด เท่ากับ 83.5%	
ฟางข้าว	121องศาเซลเซียส 30 - 120 นาที	Hac + HPr (1:1) Conc 0.075, 0.15, 0.3และ 0.75 mol/L	จากการใช้อัตราส่วนของแข็ง ต่อของเหลว 1:10 (w/v) พบว่า อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น 8.36, 9.95, 13.32 และ 17.67% ตามลำดับความเข้มข้นกรด ที่ ระยะเวลา 30 นาที	Rui, et.al. (2010)
เศษมัน สำปะหลัง	120องศาเซลเซียส 30 นาที	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.2-5.0 M	ที่กรดซัลฟิวริกปริมาณ 0.2 - 2.0 M ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ เท่ากับ 10.5 - 17.8 กรัมต่อลิตร แต่เมื่อความเข้มข้นกรดเท่ากับ 3.0 - 5.0 M พบว่าปริมาณ น้ำตาลรีดิวิซ์มีค่าไม่แตกต่าง	Agu R.C. et.al. (1997)
เศษมัน สำปะหลัง	150 -170 องศาเซลเซียส 10 และ 30 นาที	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 และ 4%(w/w)	จากการให้ความร้อน 150 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ของแข็งต่อของเหลว 1:10 (w/v) พบว่าความเข้มข้นกรด สูงขึ้นให้ปริมาณซีโอดีละลาย น้ำสูงขึ้น 2% = 26.7 กรัมต่อ ลิตร 4% = 31.3 กรัมต่อลิตร และสอดคล้องกับอุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส	Qinghua et.al. (2010)

## 4.2 การศึกษาผลจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดที่สภาวะต่างๆต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน

ในการทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน นำกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น น้ำล้างกากมันสำปะหลัง ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นและกากมันสำปะหลังที่มีเชื้อราขึ้น มาทดสอบ โดยของเหลวและกากมันสำปะหลังจากการบำบัดเบื้องต้นนั้นเลือกบางส่วนหาบีเอ็มพีโดยเลือกจากการบำบัดเบื้องต้นที่ให้ค่าซีโอดีละลายน้ำสูง แสดงผลการทดลองศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนไว้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าบีเอ็มพีจากสภาวะการบำบัดเบื้องต้นต่างๆ

Temp (C)	Time	Acid conc(%)	BMP (ml. CH <sub>4</sub> /gCOD)				Total BMP
			Hydrolysate	Weight (%)	Solid residue	Weight (%)	
121	15 min	0.0625	257	71	173	29	233
		0.125	249	81	174	19	235
	30 min	distill	309	69	209	31	278
		0.0625	260	79	170	21	241
		0.125	234	83	170	17	223
	60 min	distill	287	73	170	27	255
0.0625		241	87	163	13	231	
90	15 min	0.125	183	28	236	72	229
		0.5	215	54	241	46	227
	30 min	0.125	253	34	215	66	228
		0.5	215	72	196	28	210
	60 min	distill	266	59	230	41	251
		0.0625	265	65	184	35	236
		0.125	243	80	173	20	229

Hydrolysate = ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น

Solid residue = กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น

Weight = สัดส่วนของซีโอดี

ตารางที่ 4.7(ต่อ) ค่าบีเอ็มพีจากสภาวะการบำบัดเบื้องต้นต่างๆ

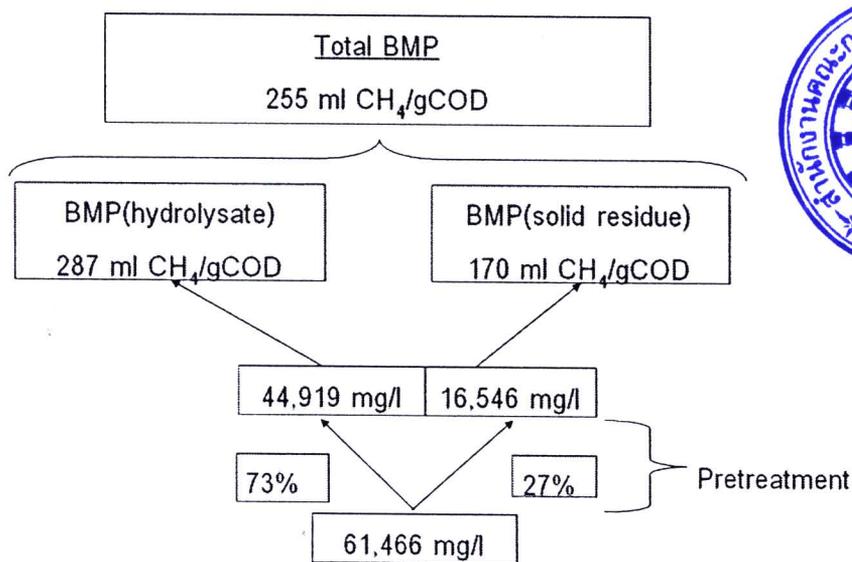
Temp (C)	Time	Acid conc(%)	BMP (ml. CH <sub>4</sub> /gCOD)				
			Hydrolysate	Weight (%)	Solid residue	Weight (%)	Total BMP
70	15 min	0.5	98	7	247	93	249
	30 min	0.5	145	11	242	89	237
	60 min	distill	193	7	247	93	245
		0.125	163	21	240	79	232
		0.5	244	49	237	51	241
55	60 min	distill	202	6	226	94	226
		0.5	153	7	234	93	231
room	30 days	distill 1:10	372	6	220	94	229
		distill 1:20	360	32	187	68	242
		1	134	6	248	94	245
121	30 min	Hac	257	79	201	21	245
		HPr	258	81	177	19	243
		HNO <sub>3</sub>	238	85	153	15	225
		HCl	239	85	153	15	226
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	236	85	156	15	224
Wash liquid			-	-	-	-	281
Fungi			-	-	-	-	230
Untreated			-	-	-	-	243

Hydrolysate = ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น

Solid residue = กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น

Weight = สัดส่วนของซีโอดี

โดยรูปที่ 4.16 ยกตัวขั้นตอนวิธีการคำนวณหาบีเอ็มพีจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที จากการใช้ น้ำกลั่น เพื่อแสดงที่มาของบีเอ็มพีรวมในรูปที่ 4.16 โดยเริ่มต้นมีค่าซีโอดีทั้งหมด 61,446 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดเบื้องต้นแยกอยู่ในส่วนของเหลวเท่ากับ 73% เมื่อนำมาคำนวณแล้วคิดเป็นซีโอดีที่อยู่ในส่วนของกากเท่ากับ 27% นำมาทดลองหาค่า บีเอ็มพีแล้วพบว่าส่วนของเหลวและส่วนของกากมีค่าเท่ากับ 287 และ 170 มิลลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ตามลำดับ เมื่อนำคำนวณเป็นบีเอ็มพีรวม พบว่ามีค่าเท่ากับ 255 มิลลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ส่วนของน้ำล้างกากถึงแม้จะมีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 281 มิลลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี แต่พบว่า มีผลกระทบน้อยมากต่อการผลิตก๊าซมีเทนคิดเป็น 4 % โดยที่ซีโอดีน้ำล้างกากเท่ากับ 10,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการล้างกากที่อัตราส่วน 1:1 (มวลต่อปริมาตร) กากมันสำปะหลังก่อนล้างน้ำ 1 กิโลกรัม มีความชื้น 78 % จะมีซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 228 กรัมซีโอดี คิดเป็นซีโอดีส่วนของกาก 96 % เป็นซีโอดีจากส่วนของเหลวเพียง 4 % เพราะฉะนั้นก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่นั้นมาจากส่วนของกาก



รูปที่ 4.16 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที จากการใช้ น้ำกลั่น

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) และค่าที่ทีเอส (TDS) เนื่องจากส่วนของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้นต้องทำการปรับเอชให้เท่ากับ 7 เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อแบคทีเรียไร้อากาศ แต่จากการปรับพีเอชมีส่วนของเกลือเกิดขึ้นทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลต่อส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.8 ค่าการนำไฟฟ้าและทีดีเอสจากการปรับพีเอชของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรด

อุณหภูมิ (C)	ระยะเวลา (min)	ความเข้มข้นกรด (%)	ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	ทีดีเอส (mg/l)
121	15 min	0.0625	1.49	1,118
		0.125	2.22	1,665
	30 min	0.0625	1.54	1,155
		0.125	2.62	1,965
	60 min	0.0625	1.72	1,290
90	15 min	0.125	3.2	2,400
		0.5	6.38	4,785
	30 min	0.125	2.69	2,018
		0.5	5.91	4,433
	60 min	0.0625	1.98	1,485
		0.125	2.85	2,138
70	15 min	0.5	6.95	5,213
	30 min	0.5	6.98	5,235
	60 min	0.125	2.9	2,175
		0.5	6.19	4,643
55	60 min	0.5	6.52	4,890
room	30 days	1	-	-
121	30 min	HNO <sub>3</sub> (0.045M)	2.65	1,988
		HCl (0.045M)	2.81	2,108
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.045M)	2.98	2,235

## 4.2.1 ผลจากอุณหภูมิต่ำในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพี

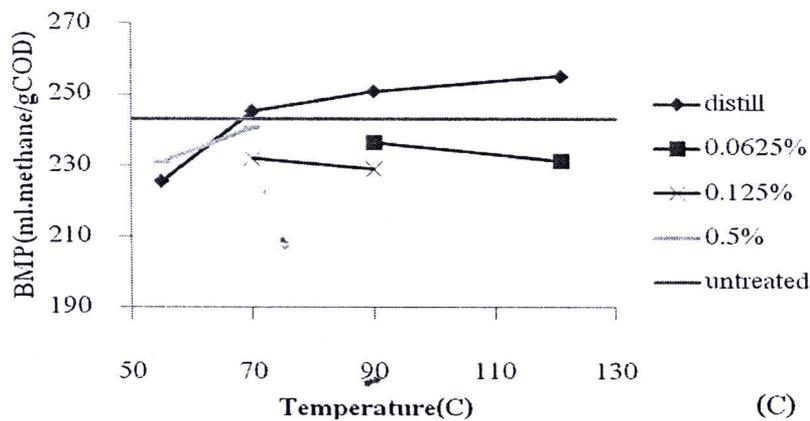
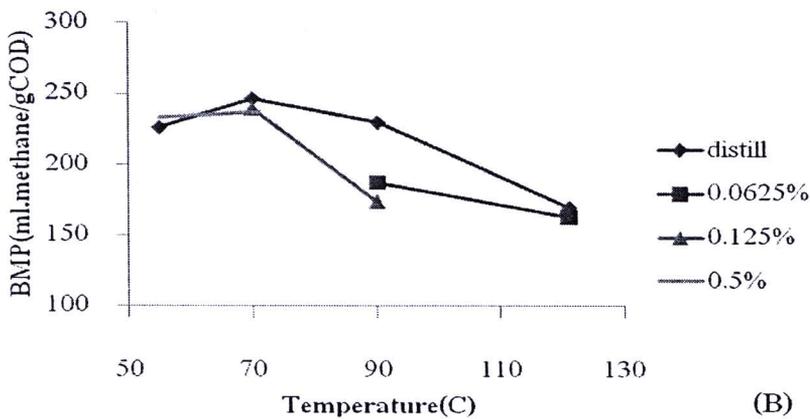
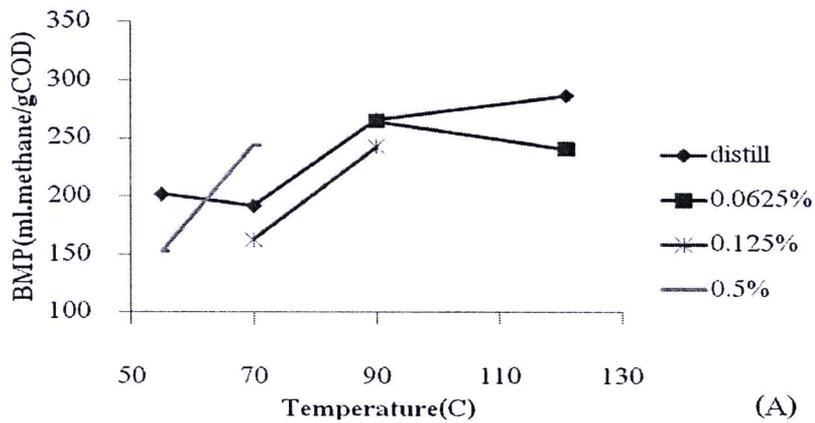
### 4.2.1.1 ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 60 นาที

รูปที่ 4.17(A) - 4.17(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำในการบำบัดเบื้องต้นต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และบีเอ็มพีรวม (Total BMP) จากการอุณหภูมิต่ำในการบำบัดเบื้องต้น 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.17(A) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าจากน้ำกลั่นให้ค่าบีเอ็มพีที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิต่ำ 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 202, 192, 266 และ 287 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ จากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.0625 % พบว่ามีค่าบีเอ็มพีลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิต่ำ 90 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 265 และ 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี แต่จากการใช้กรด 0.125 % ที่อุณหภูมิต่ำ 70 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเพิ่มขึ้น เท่ากับ 163 และ 243 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี สุดท้ายที่กรด 0.5 % อุณหภูมิต่ำ 55 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 153 และ 244 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.17(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของกากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น มีค่าบีเอ็มพีลดลงในทุกสภาวะ จากน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่ำ 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 226, 247, 230 และ 170 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ จากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.0625 % ที่อุณหภูมิต่ำ 90 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 187 และ 163 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่กรด 0.125 % อุณหภูมิต่ำ 70 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่า 240 และ 173 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และกรด 0.5 % อุณหภูมิต่ำ 55 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพี 234 และ 237 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.17(C) แสดงความสัมพันธ์ของบีเอ็มพีรวม พบว่าจากการใช้น้ำกลั่นมีค่าบีเอ็มพีเพิ่มขึ้นเท่ากับ 226, 245, 251 และ 255 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนจากการใช้กรด 0.0625 % มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิต่ำ 90 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่า 236 และ 231 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี เช่นเดียวกับที่กรด 0.125 % โดยที่อุณหภูมิต่ำ 70 องศาเซลเซียส มีค่า 232 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และ ที่ 90 องศาเซลเซียส มีค่า 229 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี สุดท้ายกรดซัลฟิวริก 0.5 % กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น โดยที่ 55 องศาเซลเซียส มีค่า 231 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และ 70 องศาเซลเซียส มีค่า 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 60 นาที

(A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น

(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น

(C) บีเอ็มพีรวม

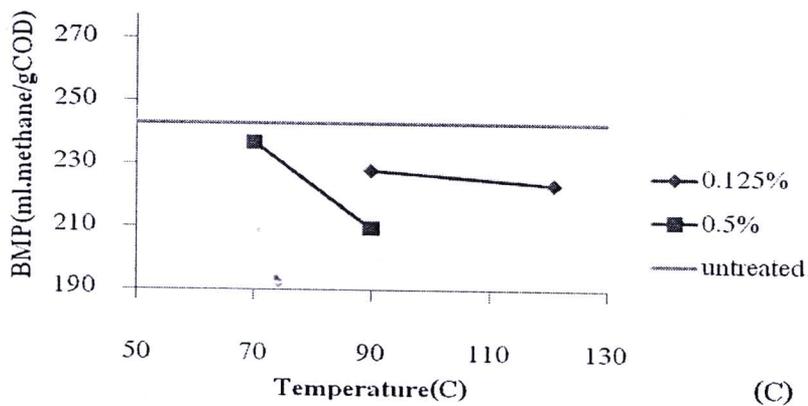
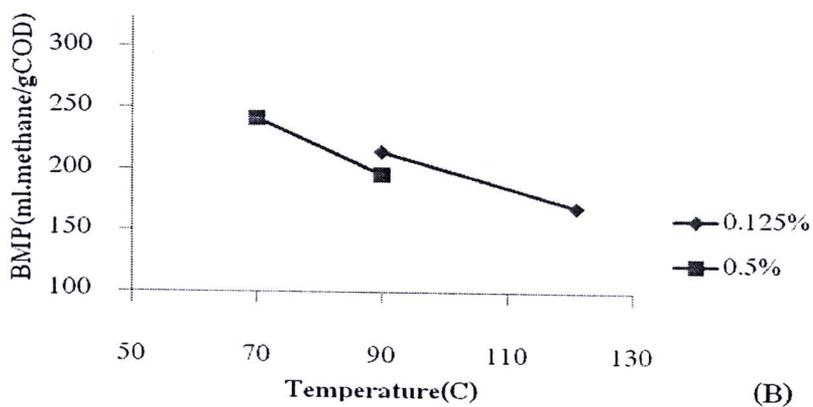
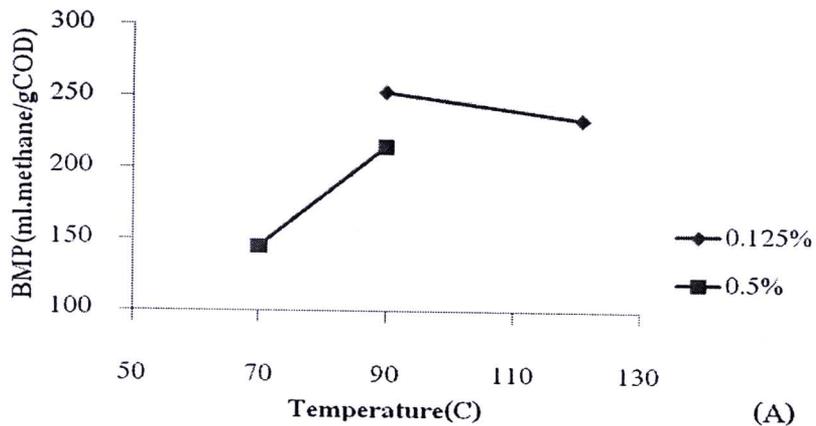
#### 4.2.1.2 ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 30 นาที

รูปที่ 4.18(A) - 4.18(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีจากของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และบีเอ็มพีรวม (Total BMP) จากการอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้น 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.18(A) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่มาจากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าที่กรดซัลฟิวริก 0.125 % มีค่าบีเอ็มพีลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่า 253 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และที่ 121 องศาเซลเซียส มีค่า 234 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี แต่ที่กรดซัลฟิวริก 0.5 % เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าบีเอ็มพีมากกว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเท่ากับ 145 และ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี จากส่วนของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 90° และ 121 องศาเซลเซียส ด้วยกรด 0.125 % มีค่าบีเอ็มพีที่ลดลง เนื่องจากความไม่เหมาะสมของสารอาหารต่อแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทน โดยส่วนหนึ่งมาจากการปรับพีเอชทำให้ค่าทีดีเอสสูงขึ้น และอีกส่วนหนึ่งคือการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิสูงร่วมกับกรดนั้นมีส่วนของสารยับยั้งคือลิกนินละลายน้ำ ซึ่งทำให้รบกวนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่เมื่ออุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้กรด 0.5 % พบว่ามีค่าบีเอ็มพีเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำนั้นมีซีโอดีละลายน้ำที่น้อย ซึ่งทำให้มีการใส่ของเสียเพื่อเป็นสารอาหารในปริมาณมาก นั้นหมายถึงปริมาณเกลือที่มาจากการปรับพีเอชก็มากขึ้นเช่นเดียวกัน

รูปที่ 4.18(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของกากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่าจากกรด 0.125 % ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 170 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี แต่ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ส่วนจากกรดซัลฟิวริก 0.5 % ที่อุณหภูมิ 90 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 196 และ 242 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ที่ทุกสถานะมีค่าบีเอ็มพีลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของเหลว ทำให้เหลือส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก

รูปที่ 4.18(C) แสดงความสัมพันธ์ของค่าบีเอ็มพีรวม พบว่าที่กรดซัลฟิวริก 0.125 % ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 228 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีค่า 223 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ส่วนจากกรดซัลฟิวริก 0.5 % ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 237 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และลดลงเป็น 210 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากการใช้กรดนั้นมีสารอาหารที่ไม่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่นค่าทีดีเอส เป็นต้น



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 30 นาที

(A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น

(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น

(C) บีเอ็มพีรวม

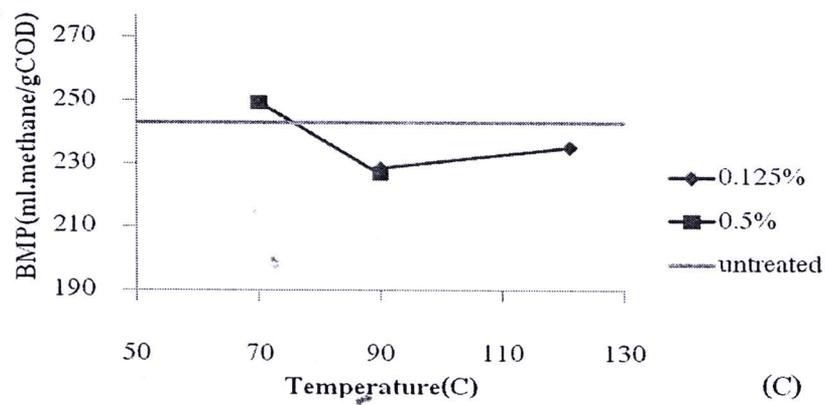
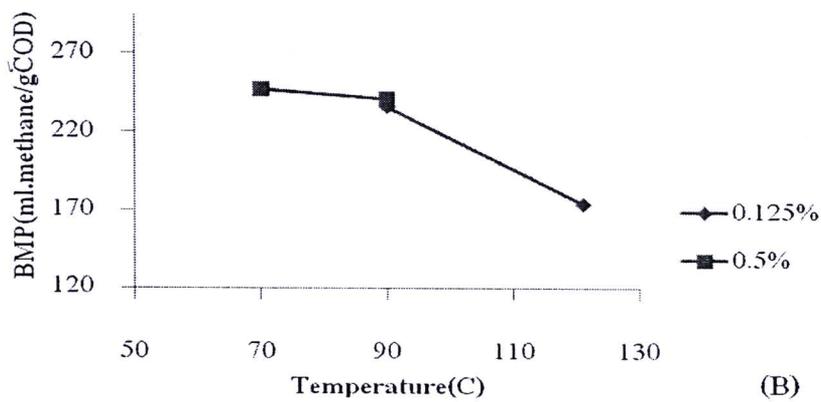
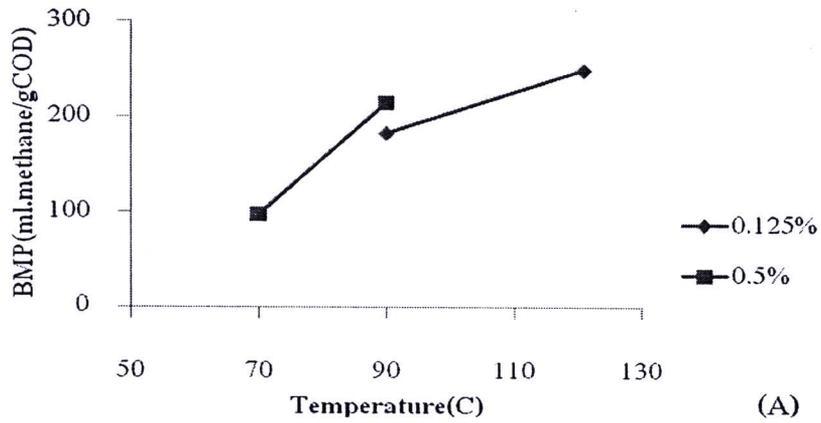
#### 4.2.1.2 ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 15 นาที

รูปที่ 4.19(A) - 4.19(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และบีเอ็มพีรวม (Total BMP) จากการอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้น 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.19(A) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีจากส่วนของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีค่าบีเอ็มพีเพิ่มขึ้น โดยที่กรด 0.125 % ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 183 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่ 121 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 249 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนที่กรด 0.5 % อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 98 ' และ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ค่าบีเอ็มพีเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงนั้น สารอาหารมีความเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซมีเทน เมื่ออุณหภูมิลดลงทำให้ต้องเพิ่มปริมาณของเสียที่ต้องใส่ลงไป ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของเสียนั้นหมายถึงมีปริมาณเกลือที่มาจากกรปรับพีเอชมากขึ้นเช่นกัน

รูปที่ 4.19(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของกากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีส่วนทำให้ค่าบีเอ็มพีจากส่วนของกากลดลง โดยจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริก 0.125 % ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพี 236 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี แต่ที่ 121 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 174 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนที่กรดซัลฟิวริก 0.5 % ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บีเอ็มพีเท่ากับ 247 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และเท่ากับ 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยสาเหตุที่บีเอ็มพีมีค่าลดลงเพราะที่อุณหภูมิสูงเป็นสารอาหารมีส่วนที่ย่อยสลายได้ยากมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

รูปที่ 4.19(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีรวม พบว่าอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าบีเอ็มพีเพิ่มขึ้น จากกรด 0.125 % จากอุณหภูมิ 90 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 229 และ 235 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนที่กรด 0.5 % เมื่ออุณหภูมิเพิ่มค่าบีเอ็มพีลดลง จากอุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 249 และ 227 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี โดยที่ 70 องศาเซลเซียส กรด 0.5 % มีค่าใกล้เคียงกับกากที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นเนื่องจากค่าบีเอ็มพีส่วนใหญ่มาจากส่วนของกาก ค่าเท่ากับร้อยละ 93 แต่เมื่ออุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าเพียงร้อยละ 47 กรด 0.125 % จากอุณหภูมิ 90 และ 121 องศาเซลเซียส โดยค่าบีเอ็มพีรวมส่วนใหญ่มาจากส่วนของเหลวที่มาจากกรบำบัดเบื้องต้น ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 15 นาที

(A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น

(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น

(C) บีเอ็มพีรวม

ส่วนของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น โดยจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิสูงร่วมกับการใช้กรด นั้นจะมีส่วนของสารพิษเกิดขึ้น ซึ่งน้ำตาลทำปฏิกิริยากับกรดแก่ที่อุณหภูมิสูง ทำให้น้ำตาลสูญเสีย น้ำ เกิดเป็นสารประกอบที่มีรูปร่างแหวน เรียกว่า เฟอร์ฟูรัล (Furfural) และ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (HMF) ส่วนลิกนินเมื่อถูกทำลายจะได้สารละลายฟีนอล แต่ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้มีการละลาย ออกมาน้อยมาก (Yang และ Wyman, 2004) ซึ่งสารเหล่านี้มีความเป็นพิษต่อเมทาโนเจน โดยเมื่อซึมซับเข้าสู่ผลังเซลล์แบคทีเรียไร้อากาศทำให้รบกวนการส่งผ่านสารอาหารและลดการ ป้องกันของผนังเซลล์ (Rinzema, et al. 1994) ทำให้สารอาหารมีความไม่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซ ชีวภาพ โดยจากการทดลองของ Zhang, et.al (2011) พบว่าเมื่ออุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 4 % (W/W) ระยะเวลา 30 นาที มีส่วนของ เฟอร์ฟูรัล เท่ากับ  $2.05 \pm 0.06$  กรัมต่อลิตร แต่ที่สภาวะเดียวกันแต่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีส่วนของ เฟอร์ฟูรัล เพียง  $0.13 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร แต่จากการใช้น้ำกลั่นนั้นเป็นไปได้ว่ามีสารพิษที่เกิดจากการบำบัดเบื้องต้น เพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าบีเอ็มพีสูงขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ส่วนของกาก จากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิสูงทุกกรณีให้ค่าบีเอ็มพีต่ำ เนื่องจากจากการบำบัดเบื้องต้นมีประสิทธิภาพแยกสลายกากมันสำปะหลังเป็นสารละลายได้ดีกว่าในอุณหภูมิต่ำ ทำให้ส่วนสารอินทรีย์นั้นมีการละลายออกมาและเหลือส่วนย่อยสลายได้ยากอยู่มากกว่าในมวลที่ เท่ากัน สังเกตได้จากน้ำหนักของซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นจึงเป็นสาเหตุให้บีเอ็มพีต่ำ

ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนรวมพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นบีเอ็มพีรวมส่วนใหญ่้นั้นมาจากส่วนของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น และเมื่ออุณหภูมิลดลง 90, 70 และ 55 องศาเซลเซียส ค่าบีเอ็มพีรวมที่มาจากส่วนของเหลวลดลงและเป็นค่าบีเอ็มพีที่มาจากส่วนของกากมากขึ้น (แสดงค่าน้ำหนักดัง ตารางที่ 4.7) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bougrier, et.al. (2008) พบว่าเมื่ออุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้น สูงขึ้นก๊าซชีวภาพมาจากส่วนของเหลวมากกว่าส่วนของสลัดจ์ โดยที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ก๊าซชีวภาพมาจากส่วนของสลัดจ์ถึง 91 % คิดเป็นส่วนของเหลวเท่ากับ 9 % แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เป็น 190 องศาเซลเซียส พบว่าก๊าซชีวภาพมาจากส่วนของสลัดจ์เพียง 43 % มาจากส่วนของเหลว เท่ากับ 57 %

## 4.2.2 ผลจากความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพี

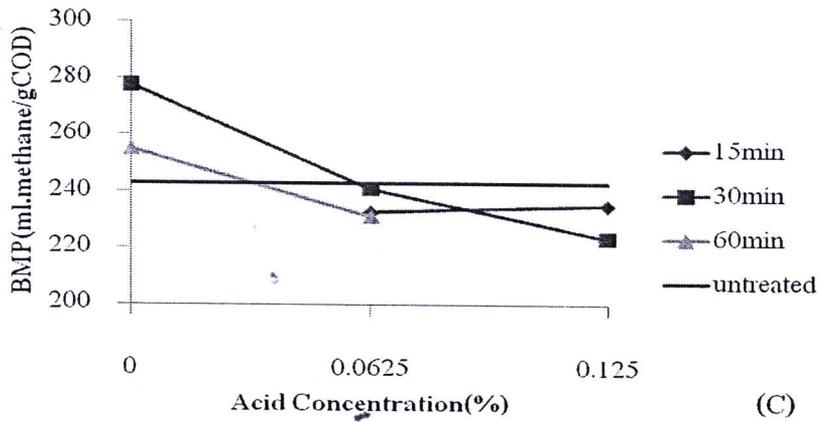
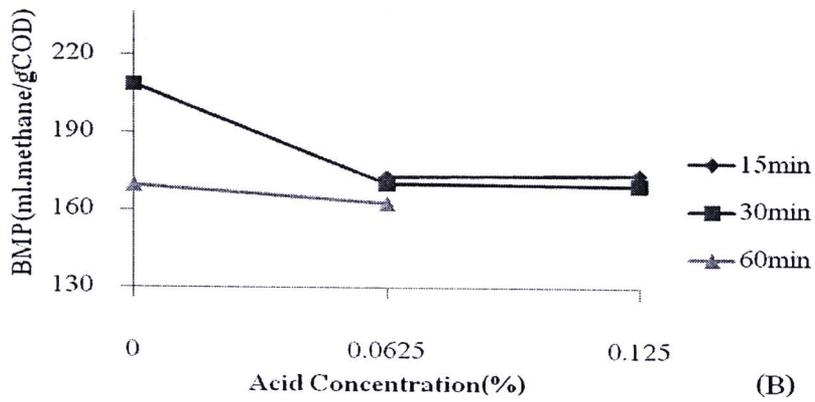
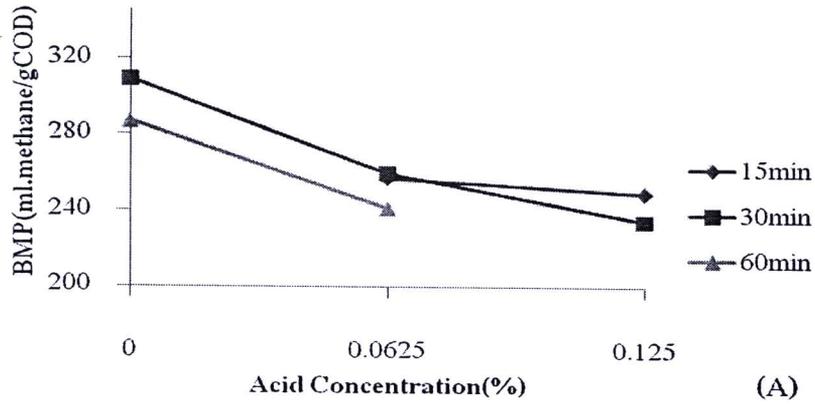
### 4.2.2.1 ที่อุณหภูมิกการบำบัดเบื้องต้น 121 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.20(A) - 4.20(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และ บีเอ็มพีรวม (Total BMP) จากการบำบัดเบื้องต้นที่ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที

รูปที่ 4.20(A) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดสูงขึ้นมีค่าบีเอ็มพีลดลง โดยที่ระยะเวลา 15 นาที กรด 0.0625 % มีค่าบีเอ็มพี 257 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และที่กรด 0.125 % มีค่าเท่ากับ 249 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี เช่นกันกับที่ระยะเวลา 30 นาที จากการใช้น้ำกลั่นมีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 309 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี โดยจากกรด 0.0625 % และ 0.125 % มีค่าเท่ากับ 260 และ 234 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี สุดท้ายที่ระยะเวลา 60 นาที น้ำกลั่น และ กรด 0.0625 % ให้ค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 287 และ 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.20(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของกากจากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดสูงขึ้นให้ค่าบีเอ็มพีจากส่วนของกากลดลง ที่ระยะเวลา 15 นาที กรด 0.0625 % มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 173 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี โดยที่กรด 0.125 % ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน มีค่าเท่ากับ 174 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนที่ระยะเวลา 30 นาที ที่น้ำกลั่นแสดงค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 209 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี กรด 0.0625 % และ 0.125 % มีค่าเท่ากับ 170 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี สุดท้ายจากระยะเวลา 60 นาที น้ำกลั่นให้ค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 170 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี โดยที่กรด 0.0625 % มีค่าเท่ากับ 163 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.20(C) แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกรดต่อค่าบีเอ็มพีรวม พบว่าจากการใช้กรดมีค่าบีเอ็มพีต่ำกว่ากากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแต่น้ำกลั่นมีค่ามากกว่า โดยจากระยะเวลา 15 นาที น้ำ กรด 0.0625% และ 0.125% มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 233 และ 235 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี จากระยะเวลา 30 นาที น้ำกลั่น กรด 0.0625% และ กรด 0.125% มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 278, 241 และ 224 มีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลา 60 นาที น้ำกลั่นให้ค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 255 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนกรด 0.0625% มีค่า 231 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี โดยที่กากที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 243 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ  
การบำบัดเบื้องต้น 121 องศาเซลเซียส  
(A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น  
(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น  
(C) บีเอ็มพีรวม

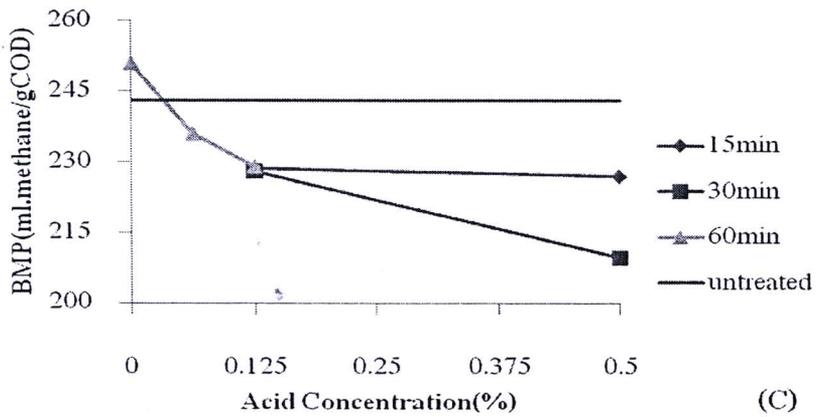
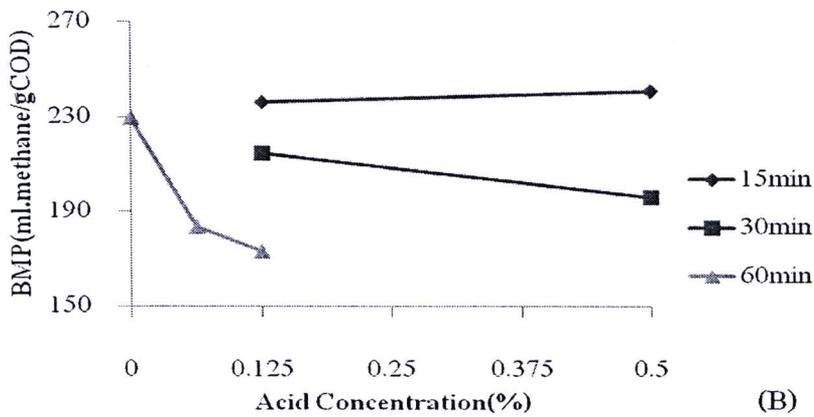
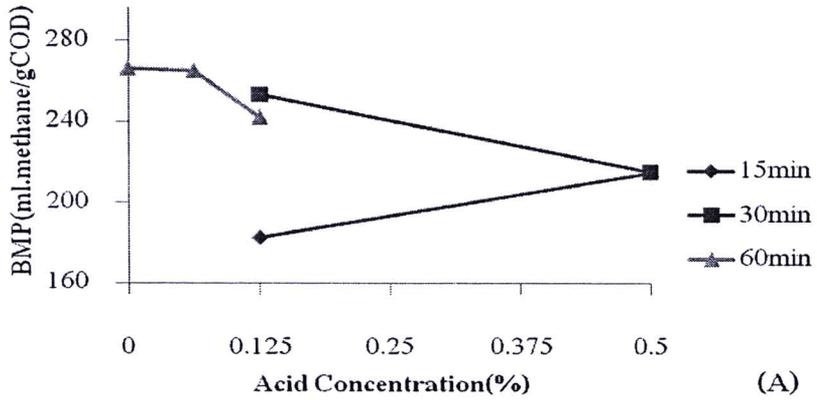
#### 4.2.2.2 ที่อุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้น 90 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.21(A) - 4.21(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และบีเอ็มพีรวม (Total BMP) จากการบำบัดเบื้องต้นที่ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที

รูปที่ 4.21(A) แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกรดต่อบีเอ็มพีในส่วนของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าที่ระยะเวลา 15 นาที จากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริก 0.125 % และ 0.5 % มีค่าบีเอ็มพีเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 183 และ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ตามลำดับ แต่มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลา 30 นาที โดยกรด 0.125 % มีค่าบีเอ็มพี 253 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และที่กรด 0.5 % มีค่าเท่ากับ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และสุดท้ายที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่าลดลงเช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 30 นาที โดยจากการใช้น้ำกลั่น กรดซัลฟิวริก 0.0625 % และ 0.5 % มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 266, 265 และ 242 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ตามลำดับ

รูปที่ 4.21(B) แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกรดต่อบีเอ็มพีจากส่วนของกาก พบว่ามีค่าบีเอ็มพีลดลง โดยที่ระยะเวลา 60 นาที จากการใช้น้ำกลั่น กรด 0.0625 % และ 0.125 % มีค่าเท่ากับ 230, 184 และ 173 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ตามลำดับ เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 30 นาที จากกรด 0.125 % มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และที่กรด 0.5 % เท่ากับ 196 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และสุดท้ายที่ระยะเวลา 15 นาที มีค่าบีเอ็มพีใกล้เคียงกัน จากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.125 % และ 0.5 % มีค่าเท่ากับ 236 และ 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี

รูปที่ 4.21(C) แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกรดต่อค่าบีเอ็มพีรวม พบว่ามีเพียงจากการใช้น้ำกลั่นที่ระยะเวลา 60 นาที ที่มีค่าสูงกว่ากากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งจากการใช้กรดในทุกกรณีพบว่ามีค่าบีเอ็มพีรวมลดลง โดยที่ระยะเวลา 60 นาที จากการใช้น้ำกลั่น กรด 0.0625 % และ 0.125% มีค่าเท่ากับ 251, 236 และ 229 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ตามลำดับ จากกรด 0.125 และ 0.5% มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 228 และ 210 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ตามลำดับ สุดท้ายที่ระยะเวลา 15 นาที จากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.125 และ 0.5% มีค่าเท่ากับ 229 และ 227 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ การบำบัดเบื้องต้น 90 องศาเซลเซียส  
 (A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น  
 (B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น  
 (C) บีเอ็มพีรวม

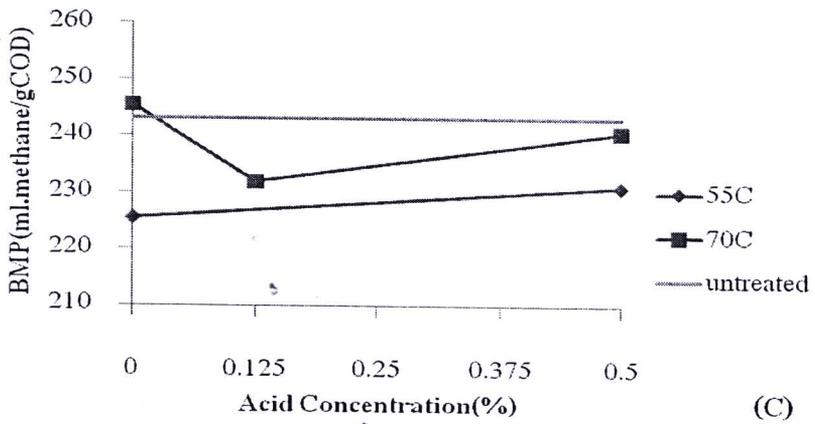
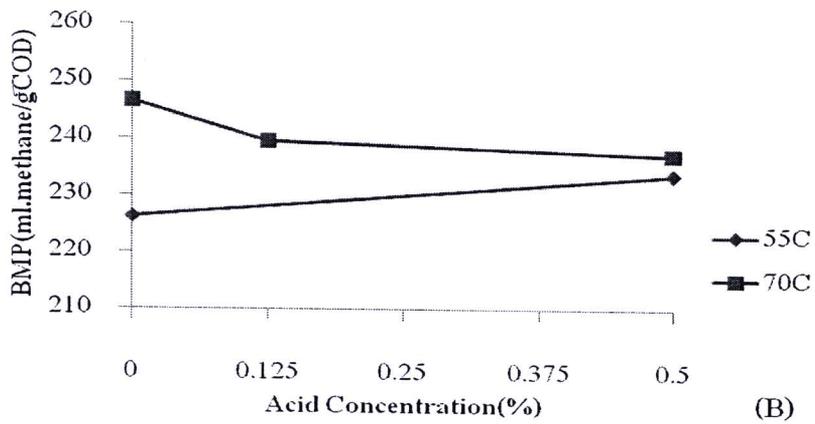
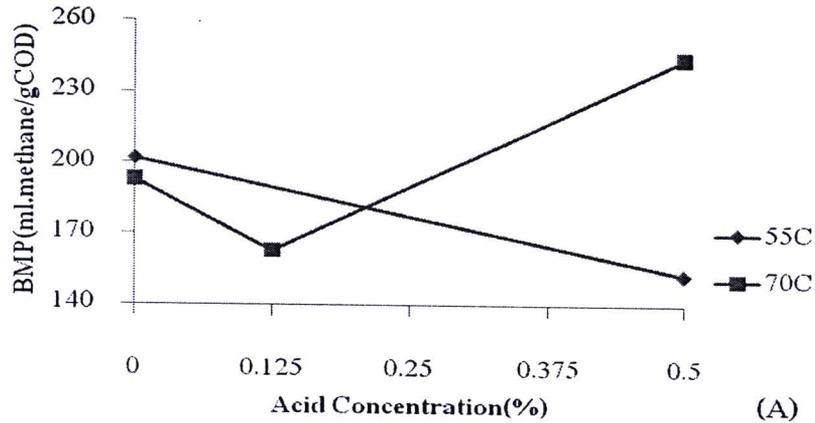
#### 4.2.2.3 ที่อุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้น 55 และ 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.22(A) - 4.22(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และ บีเอ็มพีรวม (Total BMP) จากการบำบัดเบื้องต้นที่ระยะเวลา 60 นาที

รูปที่ 4.22(A) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากการใช้กากลั่นและกรดซัลฟิวริก 0.5 % มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 202 และ 153 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ เนื่องจากการใช้กรดนั้นจำเป็นต้องปรับพีเอช จึงทำให้มีส่วนของค่าที่ดีเอสสูงขึ้น ซึ่งการที่มีค่าที่ดีเอสสูงขึ้นหมายถึงมีเกลือสูงขึ้น ซึ่งเกลือนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดแก่และด่างแก่ ส่วนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากการใช้กากลั่น และกรดซัลฟิวริก 0.125 % และ 0.5 % มีค่าเท่ากับ 193, 163 และ 244 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่กรด 0.5 % ให้ค่าบีเอ็มพีที่สูงขึ้นเนื่องจากมีปริมาณชีโอดีสูง ทำให้ปริมาณของเสียที่ใส่ลงในขวดหมักนั้นน้อยกว่าที่น้ำกลั่นและกรด 0.125 % ถึงแม้ว่ามีส่วนความเป็นพิษที่สูงแต่เป็นปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับกรด 0.125 % ที่ต้องเติมของเสียลงไปมาก

รูปที่ 4.22(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนกากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากการใช้กากลั่นและกรด 0.5 % พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เท่ากับ 226 และ 234 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนที่ 70 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าลดลง เท่ากับ 247, 240 และ 237 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ซึ่งมีค่าลดลงเนื่องจากที่กรดสูงนั้นสามารถแยกสลายกากเป็นชีโอดีได้ดี โดยทำให้เหลือส่วนที่ย่อยสลายได้ยากมากกว่าที่กรดต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณชีโอดีเท่ากัน

รูปที่ 4.22(C) แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกรดต่อค่าบีเอ็มพีรวม พบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยจากน้ำกลั่นมีค่าเท่ากับ 226 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนกรด 0.5 % มีค่าเท่ากับ 231 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ซึ่งค่าบีเอ็มพีรวมส่วนใหญ่นี้มาจากส่วนของกากถึงร้อยละ 93 และ 94 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากการใช้กากลั่น กรดซัลฟิวริก 0.125 และ 0.5 % มีค่าบีเอ็มพีรวม 245, 232 และ 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ โดยค่าบีเอ็มพีรวมมาจากส่วนของเหลว 7, 21 และ 49 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) โดยที่กรด 0.125 % มีค่าบีเอ็มพีจากส่วนของเหลวที่ได้นี้น้อย จึงเป็นสาเหตุให้ค่าบีเอ็มพีรวมลดลง



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ  
การบำบัดเบื้องต้น 55 และ 70 องศาเซลเซียส  
(A) ของผลจากการบำบัดเบื้องต้น  
(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น  
(C) บีเอ็มพีรวม

จากค่าค่าบีเอ็มพีที่ได้จากส่วนของเหลว พบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดสูงขึ้นมีค่าบีเอ็มพีลดลงเนื่องจากการปรับพีเอช โดยที่การปรับพีเอชนั้นทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น ค่าทีดีเอสจึงสูงขึ้น โดยที่กรด 0.0625 % มีค่าทีดีเอสประมาณ 1,00 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่กรด 0.125 % มีค่าประมาณ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่กรด 0.5 % เพิ่มสูงถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการที่มีค่าทีดีเอสสูงแสดงถึงปริมาณเกลือที่สูงทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย โดยที่ค่าทีดีเอสสูงเซลล์แบคทีเรียเกิดการสูญเสียเนื่องจากแรงดันออสโมติก โดยในการทดลองครั้งนี้เป็นเกลือของแคลเซียม งานวิจัยของ Kugelman และ McCarty (1964) พบว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นอาหาร ค่าแคลเซียมที่เหมาะสมคือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีระดับการยับยั้งปานกลางเมื่อค่าแคลเซียมเท่ากับ 2,500 – 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ระดับการยับยั้งรุนแรงเมื่อมีค่าเท่ากับ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และอีกส่วนหนึ่งคือสารพิษที่เกิดจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดที่อุณหภูมิสูง โดยงานวิจัยของ Antonopoulou, et.al. (2010) พบว่าจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงนั้นให้สัทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนต่ำลง เนื่องจากสารประกอบที่เป็นพิษระหว่างการบำบัดเบื้องต้น

ส่วนบีเอ็มพีจากส่วนของกากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดสูงขึ้นมีค่าบีเอ็มพีลดลงเนื่องจาก ที่กรดความเข้มข้นสูงนั้นมีประสิทธิภาพการแยกสลายกากมันสำปะหลังให้เป็นซีโอดีละลายน้ำได้ดี ทำให้ส่วนของกากนั้นเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย โดยเมื่อเทียบกับที่กรดความเข้มข้นต่ำแล้วจะมีส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่มากกว่า

ค่าบีเอ็มพีรวมนั้นรวมกันพบว่า จากการใช้กรดความเข้มข้นสูงนั้นสัทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนรวมส่วนใหญ่มาจากค่าบีเอ็มพีของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น สังเกตได้จากค่าน้ำหนักในตารางที่ 4.7 ซึ่งทำให้ค่าบีเอ็มพีรวมลดลงตามการลดลงของบีเอ็มพีที่ได้จากของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่าจากการใช้น้ำกลั่นมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้กรด เนื่องจากไม่มีส่วนของสารยับยั้งที่มาจากกรปรับพีเอช โดยจากการทดลองของ Zhang, et.al.(2011) พบว่าจากการใช้แบบจำลองหาสัทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากเศษมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจากข้อมูลพบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกต่ำกว่า 3.0 % (w/w) มีอัตราการการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น และอัตราการการผลิตก๊าซมีเทนลดลงเมื่อความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกสูงกว่า 3.0 % (w/w)

## 4.2.3 ผลระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพี

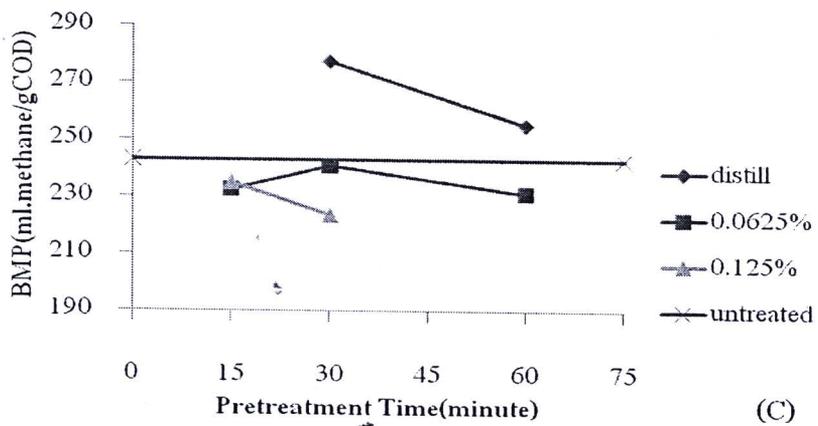
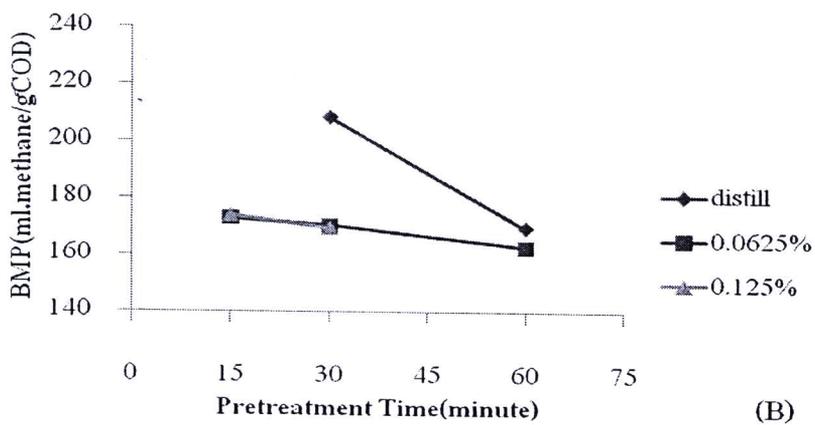
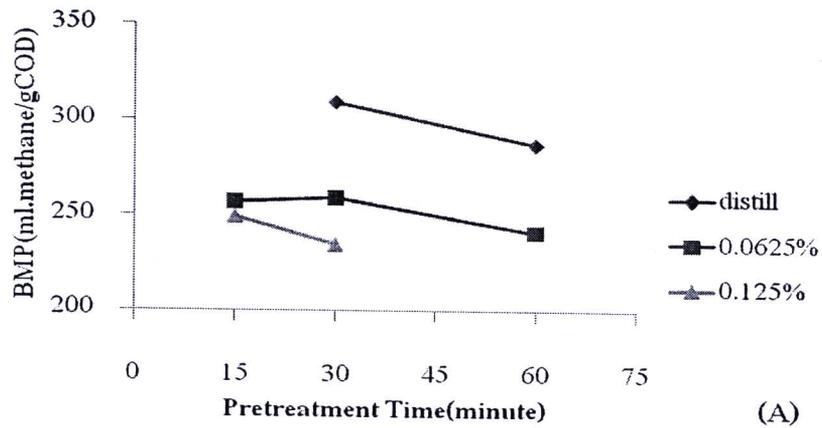
### 4.2.3.1 ที่อุณหภูมิกการบำบัดเบื้องต้น 121 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.23(A) - 4.23(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และบีเอ็มพีรวม (Total BMP) จากการบำบัดเบื้องต้นด้วยน้ำกลั่น กรดซัลฟิวริก 0.0625 % และ 0.125%

รูปที่ 4.23(A) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่มาจากจากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าเมื่อระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าบีเอ็มพีลดลง โดยจากน้ำกลั่นที่ระยะเวลา 30 และ 60 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 309 และ 287 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนจากการใช้กรด 0.0625 % ที่ระยะเวลา 15 นาที มีค่าบีเอ็มพี 257 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่ 30 นาทีมีค่าเท่ากับ 259 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และที่ 60 นาที มีค่าเท่ากับ 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี สุดท้ายกรด 0.125 % ระยะเวลา 15 และ 30 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 249 และ 234 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.23(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของกากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่าเมื่อระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นสูงขึ้นให้ค่าบีเอ็มพีที่ต่ำลง เนื่องจากระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้มีการละลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้นและเหลือส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก ส่วนที่ระยะเวลาสั้นนั้นมีส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่มากกว่า ที่น้ำกลั่นระยะเวลา 30 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 209 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่ 60 นาที มีค่า 170 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี จากการใช้กรด 0.0625 % ที่ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 173, 170 และ 163 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ ส่วนที่กรด 0.125 % ที่ระยะเวลา 15 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 174 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และลดลงเท่ากับ 170 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่ระยะเวลา 30 นาที

รูปที่ 4.23(C) แสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อค่ามีเทนรวม พบว่าจากการใช้น้ำกลั่นที่ระยะเวลา 30 และ 60 นาที มีค่ามากกว่ากากที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น โดยค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 278 และ 255 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนการใช้กรด 0.0625 % สำหรับระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 233, 241 และ 231 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับกากที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น และที่กรด 0.125 % ระยะเวลา 15 และ 30 นาที มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 235 และ 223 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากากที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ  
การบำบัดเบื้องต้น 121 องศาเซลเซียส  
(A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น  
(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น  
(C) บีเอ็มพีรวม

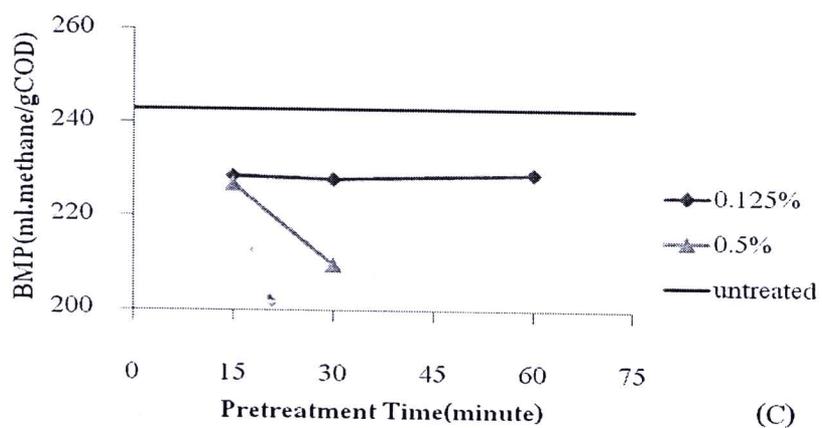
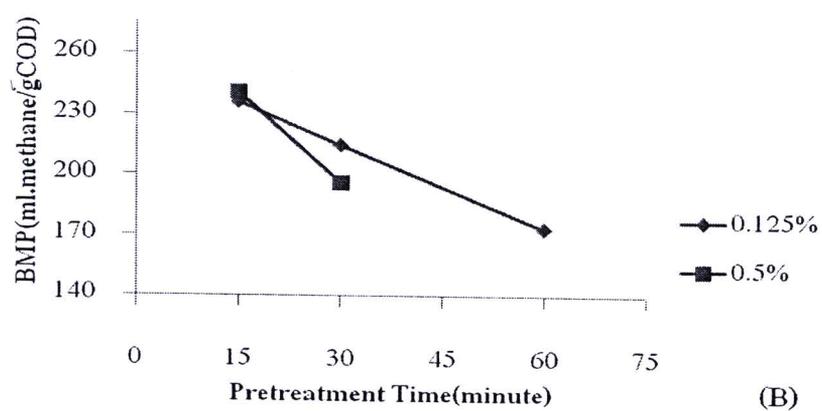
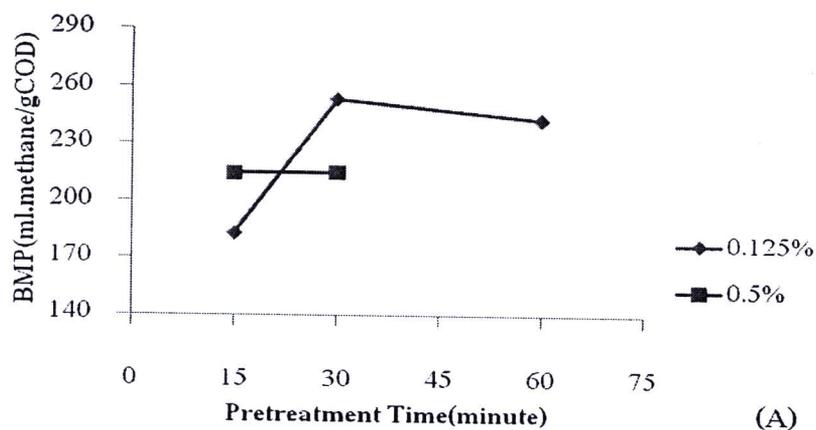
#### 4.2.3.2 ที่อุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้น 90 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.24(A) - 4.24(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบำบัดเบื้องต้นต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของเหลวที่ได้จากการบำบัดเบื้องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (solid residue) และศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนรวม (Total BMP) จากการบำบัดเบื้องต้นด้วยน้ำกลั่น กรดซัลฟิวริก 0.125% และ 0.5%

รูปที่ 4.24(A) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่มาจากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าจากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.125 % ที่ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 183, 253 และ 243 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 15 นาทีนั้นมีค่าบีเอ็มพีน้อยเนื่องจากมีปริมาณของเสียที่เติมลงไปมากซึ่งทำให้ส่วนของเกื่อนั้นลงไปมากเช่นกัน แต่ที่ระยะเวลา 60 นาทีนั้นเกิดจากส่วนของความเป็นพิษที่เกิดจากการบำบัดเบื้องต้น เช่น เฟอร์ฟิวรัล และ ลิกนินละลายน้ำ ส่วนจากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.5 % ที่ระยะเวลา 15 และ 30 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากันทั้งสองระยะเวลา มีค่าเท่ากับ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.24(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่มาจากการบำบัดเบื้องต้น พบว่าจากการบำบัดเบื้องต้นที่ระยะเวลาสูงขึ้นนั้นมีค่าบีเอ็มพีลดลง เนื่องจากที่ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นสูงขึ้นทำให้ส่วนที่ย่อยง่ายละลายน้ำและเหลือส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก โดยที่กรดซัลฟิวริก 0.125 % ระยะเวลา 15 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 236 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 215 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และที่ 60 นาที มีค่าเท่ากับ 173 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนที่กรดซัลฟิวริก 0.5 % ที่ระยะเวลา 15 และ 30 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 241 และ 196 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ

รูปที่ 4.24(C) แสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาต่อบีเอ็มพีรวม พบว่าที่ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้น 15, 30 และ 60 นาที ด้วยกรดซัลฟิวริก 0.125 % มีค่าบีเอ็มพีรวมนั้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 229, 228 และ 229 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ ส่วนที่กรด 0.5 % ที่ระยะเวลา 15 นาที มีค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 227 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และที่ระยะเวลา 30 นาที มีค่าเท่ากับ 210 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ  
การบำบัดเบื้องต้น 90 องศาเซลเซียส  
(A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น  
(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น  
(C) บีเอ็มพีรวม

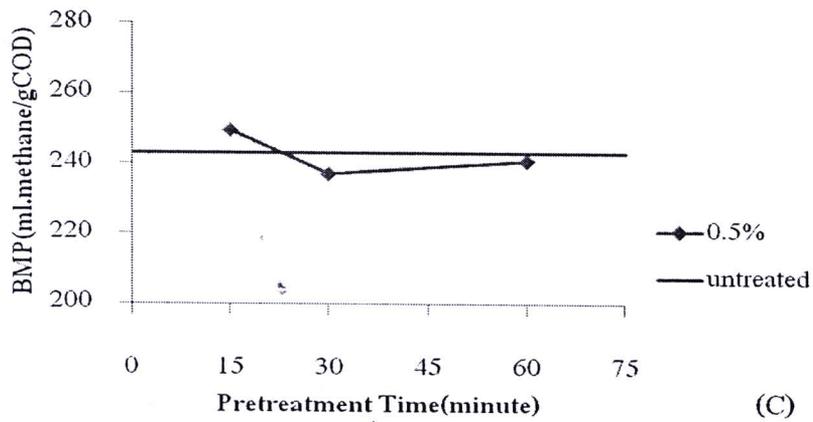
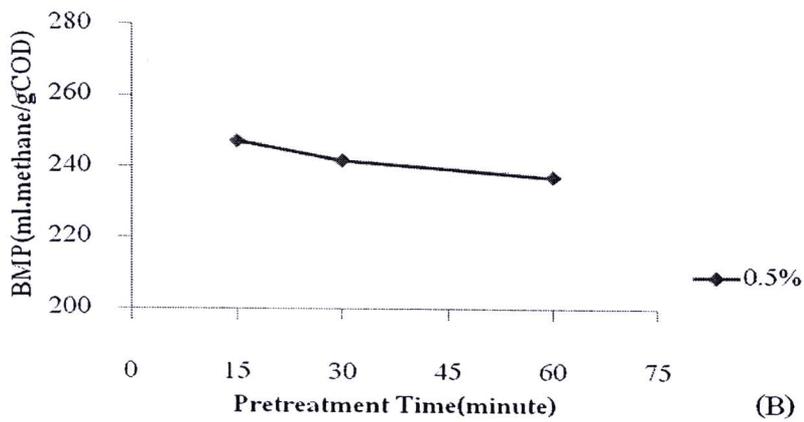
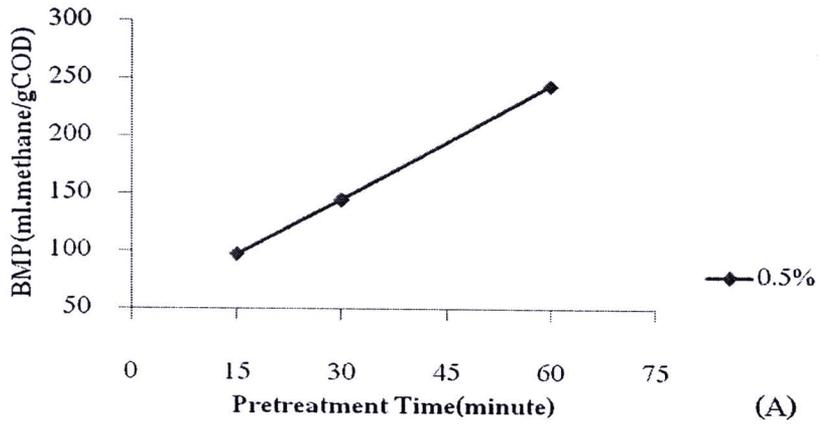
#### 4.2.3.2 ที่อุณหภูมิกำบับัดเบื่องต้น 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.25(A) - 4.25(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการกำบับัดเบื่องต้นต่อบีเอ็มพีจากของเหลวที่ได้จากการกำบับัดเบื่องต้น (hydrolysate) กากที่ผ่านการกำบับัดเบื่องต้น (solid residue) และบีเอ็มพีมีเทนรวม (Total BMP) จากการกำบับัดเบื่องต้นด้วยน้ำกลั่น กรดซัลฟิวริก 0.5 %

รูปที่ 4.25(A) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของเหลวที่มาจากจากการกำบับัดเบื่องต้น พบว่าจากการกำบับัดเบื่องต้นด้วยกรดซัลฟิวริก 0.5 % ค่าบีเอ็มพีจากส่วนของเหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 15 นาที มีค่าเท่ากับ 98 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 145 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และที่ 60 นาที มีค่าเท่ากับ 244 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.25(B) แสดงความสัมพันธ์จากส่วนของกากที่ผ่านการกำบับัดเบื่องต้น พบว่าจากระยะเวลาการกำบับัดเบื่องต้นเพิ่มขึ้นมีส่วนทำให้ค่าบีเอ็มพีลดลงเมื่อระยะเวลาการกำบับัดเบื่องต้นนานขึ้น จากการใช้กรดซัลฟิวริก 0.5 % ที่ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที มีค่าบีเอ็มพีเท่ากับ 247, 242 และ 237 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี

รูปที่ 4.25(C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการกำบับัดเบื่องต้นต่อค่าบีเอ็มพีรวม พบว่าบีเอ็มพีรวมมีค่าเทียบเคียงกับกากที่ไม่ผ่านการกำบับัดเบื่องต้น ระยะเวลา 15 นาที มีค่าเท่ากับ 249 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ที่ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 237 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี และที่ระยะเวลา 60 นาที ค่าบีเอ็มพีรวมเท่ากับ 241 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ซึ่งกากที่ไม่ผ่านการกำบับัดเบื่องต้นมีค่าเท่ากับ 243 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ  
การบำบัดเบื้องต้น 70 องศาเซลเซียส  
(A) ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้น  
(B) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น  
(C) บีเอ็มพีรวม

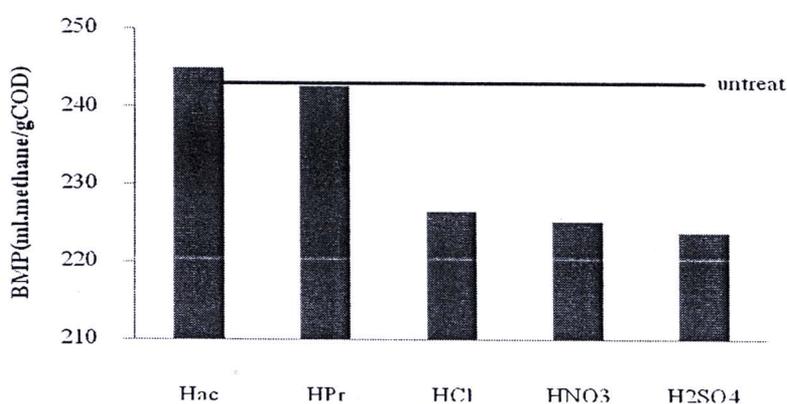
ผลจากระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อค่าบีเอ็มพีจากส่วนของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้นนั้น มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นที่สูงขึ้นเป็นการเพิ่มระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่นานขึ้น ทำให้มีส่วนของสารพิษ เช่น เฟอร์ฟูรัล (Furfural) และ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (HMF) มากกว่าที่ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นที่สั้น Zhang, et.al. (2011) พบว่าจากการนำเศษมันสำปะหลังที่อุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 2% (w/w) ระยะเวลา 10 นาทีที่มีส่วนของ เฟอร์ฟูรัล เท่ากับ 0.64 กรัมต่อลิตร แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 30 นาทีพบว่ามีส่วนของ เฟอร์ฟูรัล เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.25 กรัมต่อลิตร ทำให้เกิดการยับยั้งต่อการผลิตก๊าซมีเทน และอีกส่วนหนึ่งคือทีดีเอส เนื่องจากการทดลองบางกรณีนั้นมีความซีโอดีต่ำทำให้ต้องเติมปริมาณของเสียมาก ซึ่งปริมาณทีดีเอสก็จะมากขึ้นเช่นกัน

ค่าบีเอ็มพีจากส่วนของกากนั้นมีการลดลงในทุกกรณี เนื่องจากระยะเวลาที่นานขึ้นนั้นส่งผลทำให้มีส่วนของซีโอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้น หมายถึงมีการละลายออกจากส่วนของกากมากขึ้น ทำให้ส่วนของกากนั้นอยู่ในรูปที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายน้อย เมื่อเทียบกับที่ระยะเวลาสั้นนั้นจะมีส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่สูง

ส่วนค่าบีเอ็มพีรวมนั้นมีค่าที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนั้นเมื่อระยะเวลาที่นานขึ้นมีค่าบีเอ็มพีลดลง เนื่องจากค่าบีเอ็มพีรวมส่วนใหญ่มาจากส่วนของเหลวซึ่งมีส่วนของสารประกอบ เฟอร์ฟูรัล (Furfural) และ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (HMF) ที่มาจากการบำบัดเบื้องต้นนั้นที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้ยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน โดยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีลักษณะเช่นเดียวกัน ส่วนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าเทียบเท่ากับกากที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น

#### 4.2.4 ผลจากชนิดของกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน

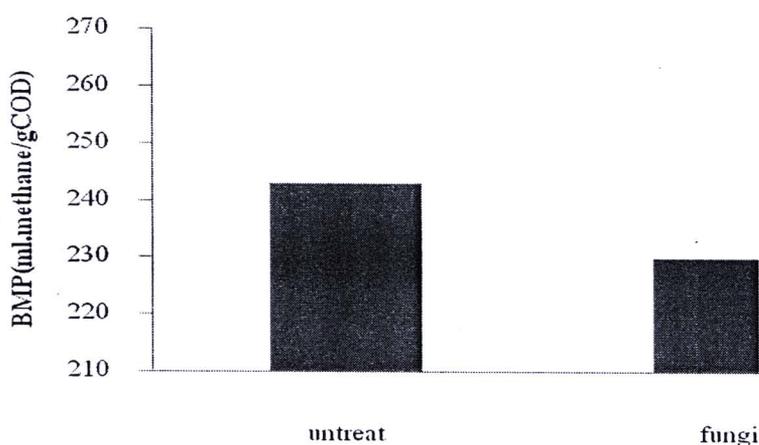
จากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นด้วยอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที ด้วยกรดอะซิติก กรดโพโรไฟออนิก กรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก 0.045 โมลาร์ (เทียบเท่ากับกรดซัลฟิวริก 0.25 %) แสดงรูปที่ 4.18 พบว่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดกรดอะซิติก ให้ค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 245 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี โดยที่กรดโพโรไฟออนิก มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนใกล้เคียงเช่นกัน 243 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ส่วนกรดไฮโดรคลอริก ไนตริก และซัลฟิวริก มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันคือ 226, 225 และ 224 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ซึ่งจากการใช้กรดอะซิติก และ กรดโพโรไฟออนิก นั้นสามารถเป็นสารอาหารต่อแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทน โดยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 395 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี แต่ส่งผลกระทบต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อเทียบกับชีโอดีจากกากมันสำปะหลัง ส่วนจากการใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และซัลฟิวริก พบว่ามีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนน้อยเนื่องจากผลจากการปรับค่าพีเอชด้วยด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ค่าทีดีเอสสูงขึ้นโดยเท่ากับ 2,108 1,988 และ 2,235 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับของกรดที่กล่าวข้างต้น



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดอะซิติก โพโรไฟออนิก ไนตริก และไฮโดรคลอริก ในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีรวม

#### 4.2.5 ผลจากเชื้อราต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน

จากการนำส่วนของกากมันสำปะหลังที่มีเชื้อราบนผิวหน้ามาทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน แสดงที่รูปที่ 4.19 พบว่ามีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 230 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี โดยที่กากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 243 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี ซึ่งจากกากมันสำปะหลังที่มีเชื้อราขึ้นพบว่ามีความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนน้อยกว่า เนื่องจากส่วนของเชื้อราอาจใช้ส่วนของแป้งซึ่งย่อยได้ง่ายเป็นสารอาหารมากกว่าส่วนของเยื่อใย ทำให้เหลือส่วนที่ย่อยสลายได้ยากกว่าในมวลที่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการทดลองใช้เชื้อ *P.florida* มาทดลองในการบำบัดเบื้องต้นในงานวิจัยของ Zhong, et.al. (2011) พบว่าฟางข้าวโพดมีส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 44.8 28.1 และ 7.5 % โดยนำเชื้อ *P.florida* มาเลี้ยง ระยะเวลา 30 วันมีสัดส่วนลดลงและลดลงยิ่งขึ้นเมื่อระยะเวลาเท่ากับ 60 วันมีค่าเท่ากับ 36.6 15.2 และ 4.6 % และเมื่อทดลองในระบบไร้อากาศแล้วพบว่ามีความเพิ่มชีวมวลเพิ่มขึ้น 156 % เมื่อเทียบกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบบีเอ็มพีจากกากมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังมีเชื้อรา

#### 4.2.6 การเปรียบเทียบผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 4.9 แสดงผลงานวิจัยนี้เมื่อเทียบกับงานวิจัยของท่านอื่น พบว่างานวิจัยนี้มีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงขึ้น 14 % จากการใช้น้ำกลั่นในการบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที เมื่อเทียบกับกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ส่วนจากการใช้กรดพบว่ามีความต่ำกว่าการใช้น้ำกลั่นเนื่องจากมีส่วนความเป็นพิษจากการปรับพีเอชและความเป็นพิษที่เกิดจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดที่อุณหภูมิสูง โดยผลงานของ Zhang, et.al. (2011) พบว่าจากการบำบัดเบื้องต้น 150 - 170 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 - 20 นาที อัตราส่วน 1:10 (w/v) กรดซัลฟิวริก 1.32 - 4.68 % (w/w) เมื่ออุณหภูมิ ความเข้มข้นกรดสูงและระยะเวลาสั้นให้ค่าซีโอดีละลายน้ำที่สูงขึ้น จากนั้นจึงมาหาค่าที่เหมาะสมด้วยแบบจำลองพบว่าที่อุณหภูมิ 158 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที ด้วยกรดซัลฟิวริก 3 % (มวลต่อมวล) พบว่ามีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นถึง 56.96 % โดยจากแบบจำลองให้ค่าเท่ากับ 56.53 % โดยเมื่อเทียบกับผลงานนี้แล้วพบว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าและความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกน้อย อีกทั้งเมื่อเข้าสู่ปฏิกรณ์ไร้อากาศแล้ว ไม่ต้องปรับพีเอชด้วยด่างแก่ จึงส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากกรดสูงเมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ที่ต้องใช้ด่างแก่ในการปรับพีเอชทำให้เกิดผลยับยั้งต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ผลงานของ Xiao และ Clarkson (1997) พบว่าจากการใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 80 % ไม่สามารถแยกสลายหนังสือพิมพ์ได้ ซึ่งจากการใช้กรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพน้อยกว่ากรดไนตริกเนื่องจากกรดไนตริกเป็นกรดออกซิไดซ์ทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่า จากการใช้กรดอะซิติกผสมกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 35 % และ 2 % พบว่ามีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงถึง 270 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมวีเอส โดยหนังสือพิมพ์ที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมวีเอส ส่วนผลงานของ Zhao, et.al. (2010) เป็นการทดลองนำกรดอะซิติกมาผสมกรดโพโรไพออนิก ในการบำบัดเบื้องต้น พบว่าปริมาณไอออนบวกคือสาเหตุหลักในการแยกสลายฟางข้าว โดยที่ระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นมีผลเพียงเล็กน้อย และจากอัตราส่วนพบว่าที่ 1:20 ดีกว่า 1:10 เนื่องจากปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นหมายถึงมีปริมาณไอออนบวกมากขึ้น พบว่าสถานะที่เหมาะสมคือ กรดอะซิติกผสมกรดโพโรไพออนิก 0.75 โมลาร์ ระยะเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:20 พบว่ามีผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 35.84 % เมื่อเทียบกับฟางที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น อีกทั้งกรดอะซิติกและกรดโพโรไพออนิก ยังเป็นสารอาหารต่อแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทน ส่วนจากผลงานของ Antonopoulou, et.al. (2004) ใช้ดินทานตะวันมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้น จากการใช้อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 5 % (w/v) ระยะเวลา 60 นาที ด้วย กรดซัลฟิวริก 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 % (w/v) พบว่ามีคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้นเมื่อใช้กรดความเข้มข้นสูง โดยที่กรด 1.5 % ให้ค่าสูงที่สุด 175 กรัมต่อกรัมกลีโคกรัมดินทานตะวัน แต่เมื่อเข้าสู่การหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนแล้วที่ความเข้มข้นสูงกลับมีค่าต่ำลง เนื่องจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดที่อุณหภูมิสูงนั้นมีส่วนของเฟอร์ฟูรัล (Furfural) และ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (HMF) เกิดขึ้นซึ่งยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน แต่การใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิสูงนั้นมีค่าสูงกว่าการใช้กรด โดยมีการใช้ไมโครเวฟมาบำบัดเบื้องต้นแทนการใช้การ

ดัมเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดย Liu และ Cheng (2010) ได้ทดลองเปรียบเทียบระหว่างการดัมและการใช้ไมโครเวฟพบว่าจากการใช้ไมโครเวฟมีประสิทธิภาพดีกว่าการดัม โดยเมื่อเปรียบเทียบน้ำตาลที่ละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่ระยะเวลา 5, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที พบว่าจากการใช้ไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 5.9, 7.0, 8.9, 11.4, 11.7 และ 12.3 กรัมต่อลิตรส่วนที่การดัมนั้นมีเท่ากับ 5.5, 5.9, 6.6, 7.2, 7.6 และ 8.1 กรัมต่อลิตร ทำให้เห็นว่าการใช้เวลานานนั้นมีส่วนทำให้เกิดน้ำตาลละลายน้ำสูงขึ้น เมื่อนำส่วนของเสียที่ระยะเวลา 90 นาที มาผลิตก๊าซไฮโดรเจน พบว่า จากการดัมและไมโครเวฟ ให้ก๊าซไฮโดรเจนสะสมสูงที่สุด เท่ากับ 140 และ 168 มิลลิลิตรไฮโดรเจน ตามลำดับ ส่วนฟางข้าวโพดที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นนั้นมีค่าเท่ากับ 102 มิลลิลิตรไฮโดรเจน แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไมโครเวฟนั้นต้องการพลังงานที่สูงมาก ส่วน Climent, et.al. (2007) ได้ทดลองที่ความร้อนต่ำเพื่อลดการเกิดสารที่เป็นพิษ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 9, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยใช้ตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียเป็นวัตถุดิบ พบว่าที่ระยะเวลา 9 ชั่วโมงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 0.52 ลิตร และลดลงเท่ากับ 0.46, 0.46 และ 0.29 ลิตร ตามลำดับ โดยตะกอนที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมีค่า 0.33 ลิตร ซึ่งได้มีแนวคิดในการใช้กระบวนการชีวภาพมาบำบัดเบื้องต้นซึ่งต้องใช้เวลาแต่ค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียก็น้อยลงแล้วยังไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยผลงานจาก Zhong, et.al. (2011) ทดลองนำเชื้อ P.florida มาบำบัดเบื้องต้น พบว่าระยะเวลาในการเลี้ยงเชื้อ 30 และ 60 วันให้ปริมาณก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ระยะเวลาจะนานขึ้นก็ไม่ส่งผลต่อผลผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีอย่างโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้ว พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณก๊าซที่ผลิตได้สูงกว่าเพียง 16.58 % โดยเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อราอย่างกากมันสำปะหลังในงานวิจัยนี้แล้ว พบว่าการใช้เชื้อราให้ผลทำให้ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนลดลง

ยังมีวิธีการบำบัดเบื้องต้นอีกหลายวิธีที่ทำให้คุณสมบัติของชีวมวลมีการเปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามชีวมวลแต่ละชนิดย่อมมีความแตกต่างกันทางคุณสมบัติ ดังนั้นการบำบัดเบื้องต้นที่เหมาะสมจากชีวมวลประเภทหนึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับชีวมวลอีกประเภทหนึ่ง อีกทั้งปัจจัยต่อการบำบัดเบื้องต้นบำบัดเบื้องต้นเพื่อหาค่าที่เหมาะสมนั้นมีหลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลา อัตราส่วนความเข้มข้นสารเคมี และอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องมีการวิจัยเพื่อพัฒนาต่อไป เหตุผลสำคัญที่ขาดไม่ได้ต่อการบำบัดเบื้องต้นคือ ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออย่างมากเมื่อต้องการใช้การบำบัดเบื้องต้นในระดับอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีวมวล (biomass)	วิธีการบำบัดเบื้องต้น	ผลการทดลอง		งานวิจัย
		การบำบัดเบื้องต้น	การผลิตก๊าซชีวภาพ	
กากมัน สำปะหลัง	121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา60นาที อัตราส่วน 1:10(w/v) ด้วย น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริก 0.0625-0.5% (w/v)	การใช้อุณหภูมิ ความ เข้มข้นกรดสูง และ ระยะเวลานาน ให้ค่าซี โอดีละลายน้ำสูง	จากการใช้น้ำกลั่นมี บีเอ็มพีเพิ่มขึ้น14% ส่วนจากการใช้กรด มีค่าลดลง	
เศษมัน สำปะหลัง	150-170 องศาเซลเซียส ระยะเวลา10-20นาที อัตราส่วน 1:10(w/v) กรดซัลฟิวริก 1.32 - 4.68%(w/w)	SCOD เพิ่มขึ้นอย่าง ชัดเจนที่ความเข้มข้น กรด อุณหภูมิสูง และ ระยะเวลานาน และใช้ แบบจำลอง RSM หา ค่าที่เหมาะสม	อัตราการผลิตก๊าซ มีเทนเพิ่มขึ้น56.96% จากเศษมันที่ไม่ผ่าน การบำบัดเบื้องต้น ส่วนแบบจำลองหา ค่าได้ 56.53%	Zhang, et.al. (2011)
หนังสือ พิมพ์	Thermal(waterbath) ระยะเวลา30นาที อะซิดิก+ไนตริก และไฮโดรคลอริก	อะซิดิก35%+ไนตริก 2% เป็นค่าที่เหมาะสม ในการบำบัดเบื้องต้น โดยกรดไฮโดรคลอริก มีความสามารถน้อยกว่ากรดไนตริก	ผลผลิตก๊าซมีเทน จากหนังสือพิมพ์ที่ ผ่านและไม่ผ่านการ บำบัดเบื้องต้น เท่ากับ 270 และ 100 มิลลิลิตรมีเทนต่อ กรัมวีเอส	Xiao และ Clarkson (1997)
ฟางข้าว	121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา0.5-2ชั่วโมง อัตราส่วน 1:10-1:20 , Hac+HPr =0.075-0.75M	ค่าที่ให้ประสิทธิภาพ สูงที่สุดคือ 0.75 M ระยะเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วน 1:20 มีการ กำจัดคลอรีน 16.88%	ผลผลิตก๊าซมีเทน เพิ่มขึ้น35.84%เมื่อ เทียบกับฟางที่ไม่ ผ่านการบำบัด เบื้องต้น	Zhao, et.al. (2010)
ต้น ทานตะวัน	ที่อุณหภูมิ 121 องศา เซลเซียส อัตราส่วน 5%(w/v) ระยะเวลา 60 นาที ด้วย กรดซัลฟิวริก 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5%(w/v)	มีการไฮโดรไลซิสสูง ขึ้นเมื่อใช้กรดความเข้มข้น สูง โดยที่กรด 1.5% ให้ ค่าสูงที่สุด 175 กรัมต่อ กรัมกิโลกรัม ทานตะวัน	บีเอ็มพีจากการใช้ กรด 0.1 – 1.5% มีค่า ต่ำกว่าทานตะวันที่ไม่ ผ่านการบำบัด เบื้องต้นแต่จากการ ใช้น้ำพบว่าบีเอ็มพี เพิ่มขึ้น	Antonopoulou et.al. (2004)

ตารางที่ 4.9(ต่อ) การเปรียบเทียบผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีวมวล (biomass)	วิธีการบำบัดเบื้องต้น	ผลการทดลอง		งานวิจัย
		การบำบัดเบื้องต้น	การผลิตก๊าซชีวภาพ	
ฟาง ข้าวโพด	ที่อุณหภูมิสูงโดยการต้ม และไมโครเวฟ ใช้กรด ซัลฟิวริก 0.2 นอร์มัล ระยะเวลา 5, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที	มีค่าน้ำตาลจากการต้ม เท่ากับ 5.5, 5.9, 6.6, 7.2, 7.6 และ 8.1 กรัม ต่อลิตร จากการใช้ ไมโครเวฟมีค่า 5.9, 7.0, 8.9, 11.4, 11.7 และ 12.3กรัมต่อลิตร	ที่ระยะเวลา 90 นาที จากการต้มและ ไมโครเวฟ ให้ก๊าซ ไฮโดรเจนสะสมสูง ที่สุด เท่ากับ 140 และ 168 มิลลิลิตร ตามลำดับ	Liu และ Cheng (2010)
ตะกอน โรงบำบัด น้ำเสีย	ให้ความร้อนที่ 70 องศา เซลเซียส ระยะเวลา 9, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง	มีค่าของแข็งระเหยง่าย กรอง(FVS)ต่อของแข็ง ระเหยง่ายทั้งหมด (TVS) เท่ากับ 751, 817, 771 และ 583 (%ที่ เพิ่มขึ้น)	ค่าผลผลิตก๊าซชีวภาพ ลดลงเท่ากับ 0.52, 0.46, 0.46 และ 0.29 ลิตร ตามลำดับ โดย ตะกอนที่ไม่ผ่านการ บำบัดเบื้องต้นมีค่า 0.33 ลิตร	Climent, et.al. (2007)
ฟาง ข้าวโพด	121 องศาเซลเซียส 120 นาทีก่อนเลี้ยงด้วย P.florida	ที่ระยะเวลา 60 วัน เกิด โคโลนีของ เชื้อ P.florida สูง โดยมี ปริมาณเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนินจาก 28, 45และ 8% เป็น 15, 37และ5%	ปริมาณก๊าซชีวภาพ เพิ่มขึ้น156%เมื่อเทียบ ชีวมวลไม่ผ่านการ บำบัดเบื้องต้น	Zhong, et.al. (2011)