



ตารางภาคผนวกที่ 1 Analysis of Variance of cubic regression on generator

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.63773	0.21258	61.59	<.0001
Error	28	0.09663	0.00345		
Corrected Total	31	0.73436			
Root MSE	0.05875		R-Square	0.8684	
Coeff Var	4.03387				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	1.18235	0.03804	31.08	<.0001
watt	1	0.00029854	0.00016903	1.77	0.0883
wattsq	1	2.845707E-8	2.098361E-7	0.14	0.8931
wattqb	1	-3.026E-11	7.3303E-11	-0.41	0.6829
Wattsq = watt*watt					
Wattqb = watt*watt*watt					

ตารางภาคผนวกที่ 2 Analysis of Variance of quadratic regression on generator

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.63714	0.31857	95.02	<.0001
Error	29	0.09722	0.00335		
Corrected Total	31	0.73436			
Root MSE	0.05790		R-Square	0.8676	
Coeff Var	3.97576				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	1.17332	0.03068	38.25	<.0001
watt	1	0.00036139	0.00007235	5.00	<.0001
wattsq	1	-5.68289E-8	3.61885E-8	-1.57	0.1272

ตารางภาคผนวกที่ 3 Analysis of Variance of linear regression on generator

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.62887	0.62887	178.84	<.0001
Error	30	0.10549	0.00352		
Corrected Total	31	0.73436			
Root MSE	0.05930		R-Square	0.8564	
Coeff Var	4.07174				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	1.20877	0.02127	56.82	<.0001
watt	1	0.00025150	0.00001881	13.37	<.0001

ตารางภาคผนวกที่ 4 Analysis of Variance of cubic regression on 1 inch water pump

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.23711	0.07904	14.40	0.0001
Error	14	0.07686	0.00549		
Corrected Total	17	0.31397			
Root MSE	0.07409		R-Square	0.7552	
Coeff Var	6.12859				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	12.15677	10.12673	1.20	0.2499
pc	1	-0.32179	0.30770	-1.05	0.3134
pcsq	1	0.00303	0.00309	0.98	0.3430
pccb	1	-0.00000914	0.00001023	-0.89	0.3869

ตารางภาคผนวกที่ 5 Analysis of Variance of quadratic regression on 1 inch water pump

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.23273	0.11637	21.49	<.0001
Error	15	0.08124	0.00542		
Corrected Total	17	0.31397			
Root MSE	0.07359		R-Square	0.7413	
Coeff Var	6.08714				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	3.16840	1.12319	2.82	0.0129
pc	1	-0.04770	0.02240	-2.13	0.0502
pcsq	1	0.00027458	0.00011023	2.49	0.0249

ตารางภาคผนวกที่ 6 Analysis of Variance of cubic regression on 2 inch water pump

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.08751	0.02917	16.59	0.0003
Error	10	0.01758	0.00176		
Corrected Total	13	0.10509			
Root MSE	0.04193		R-Square	0.8327	
Coeff Var	2.95259				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	20.30313	38.56574	0.53	0.6100
pc	1	-0.65347	1.31438	-0.50	0.6298
pcsq	1	0.00738	0.01487	0.50	0.6303
pccb	1	-0.00002722	0.00005579	-0.49	0.6361

ตารางภาคผนวกที่ 7 Analysis of Variance of quadratic regression on 2 inch water pump

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.08709	0.04355	26.62	<.0001
Error	11	0.01800	0.00164		
Corrected Total	13	0.10509			
Root MSE	0.04045		R-Square	0.8287	
Coeff Var	2.84850				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	1.50359	1.64786	0.91	0.3811
pc	1	-0.01239	0.03672	-0.34	0.7422
pcsq	1	0.00012682	0.00020345	0.62	0.5458

ตารางภาคผนวกที่ 8 Analysis of Variance of linear regression on 2 inch water pump

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.08646	0.08646	55.68	<.0001
Error	12	0.01863	0.00155		
Corrected Total	13	0.10509			
Root MSE	0.03940		R-Square	0.8227	
Dependent Mean	1.42000		Adj R-Sq	0.8079	
Coeff Var	2.77498				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	0.47960	0.12647	3.79	0.0026
pc	1	0.01048	0.00140	7.46	<.0001

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนผ่านชุดดูดซับของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ (ppm)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	2475	2500	2450	2475
100 cm	2460	2430	2400	2430
150 cm	2400	2430	2460	2430

ตารางผนวกที่ 10 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนผ่านชุดดูดซับของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	8550.00000	4275.00000	2.62	0.1523
Error	6	9800.00000	1633.33333		
Corrected Total	8	18350.00000			

CV; Sum of Squares = 1.65

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับก่อนใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	100	100	100	100
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 12 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับก่อนใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ (ที่ชั่วโมง 0)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0	0		
Error	6	0	0		
Corrected Total	8	0			

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับในการใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์นาน 1 ชั่วโมง (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	100	100	100	100
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 14 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับในการใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์นาน 1 ชั่วโมง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0	0		
Error	6	0	0		
Corrected Total	8	0			

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับในการใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์นาน 2 ชั่วโมง (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	99.90	99.52	99.80	99.74
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 16 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับในการใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์นาน 2 ชั่วโมง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.1352	0.0676	5.23	0.05
Error	6	0.0776	0.0129		
Corrected Total	8	0.2128			

CV; Sum of Squares = 0.11

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับในการใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์นาน 3 ชั่วโมง (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	99.68	99.40	99.76	99.61
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 18 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับในการใช้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์นาน 3 ชั่วโมง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.2990	0.1495	12.55	0.007
Error	6	0.0714	0.0119		
Corrected Total	8	0.3704			

CV; Sum of Squares = 0.10

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนผ่านชุดดูดซับของเครื่องยนต์ปั้มน้ำแรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า (ppm)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	2475	2500	2450	2475
100 cm	2460	2430	2400	2430
150 cm	2400	2430	2460	2430

ตารางผนวกที่ 20 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนผ่านชุดดูดซับของเครื่องยนต์ปั้มน้ำแรงดันสูงขนาด 6.5 แรงม้า

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	9800.00000	4900.0000	0.36	0.71
Error	6	82800.0000	13800.0000		
Corrected Total	8	92600.0000			

CV; Sum of Squares = 4.78

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับก่อนใช้เครื่องยนต์ปั้มน้ำ
แรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า หรือชั่วโมงที่ 0 (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	100	100	100	100
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 22 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับก่อนใช้
เครื่องยนต์ปั้มน้ำแรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า หรือชั่วโมงที่ 0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0	0		
Error	6	0	0		
Corrected Total	8	0			

ตารางผนวกที่ 23 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับหลังใช้เครื่องยนต์ปั้มน้ำ
แรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า นาน 1 ชั่วโมง (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	100	100	100	100
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 24 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับหลังใช้
เครื่องยนต์ปั้มน้ำแรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า นาน 1 ชั่วโมง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0	0		
Error	6	0	0		
Corrected Total	8	0			

ตารางผนวกที่ 25 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับหลังใช้เครื่องยนต์ปั้มน้ำ
แรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า นาน 2 ชั่วโมง (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	99.81	99.88	99.82	99.83
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 26 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับหลังใช้เครื่องยนต์
ปั้มน้ำแรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า นาน 2 ชั่วโมง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.0533	0.0266	55.84	0.0001
Error	6	0.0028	0.0004		
Corrected Total	8	0.0562			

CV; Sum of Squares = 0.02

ตารางผนวกที่ 27 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับหลังใช้เครื่องยนต์ปั้มน้ำ
แรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า นาน 3 ชั่วโมง (%)

ความยาวท่อดูดซับ	ซ้ำ			เฉลี่ย
	1	2	3	
50 cm	99.42	99.50	99.59	99.51
100 cm	100	100	100	100
150 cm	100	100	100	100

ตารางผนวกที่ 28 ANOVA: ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงหลังผ่านชุดดูดซับหลังใช้
เครื่องยนต์ปั้มน้ำแรงดันสูง ขนาด 6.5 แรงม้า นาน 3 ชั่วโมง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.4933	0.2466	102.31	<0.0001
Error	6	0.0144	0.0024		
Corrected Total	8	0.5078			

CV; Sum of Squares = 0.04



การทำเม็ดดูดซับและชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทำเม็ดดูดซับ

วัสดุและอุปกรณ์

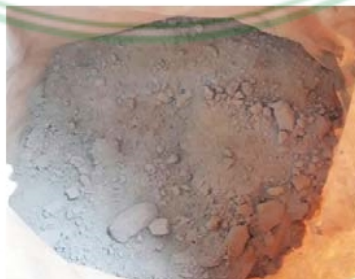
- ถาดเพาะกล้านาโยน เป็นหลุมแบบกรวย ปากหลุมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. ลึก 1 ซม.



- ทรายละเอียด



- ปูนซีเมนต์



ขั้นตอนการทำเม็ดดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

1.การปั้นเม็ด

ผสมทรายกับปูน อัตราส่วน 2:1 ผสมน้ำพอปั้นเม็ดได้ นำส่วนผสมลงในหลุมลาดเพาะกล้า ปาดผิวหน้าให้เรียบ ใช้ไม้เสียบลูกชิ้นเจาะรูตรงกลาง ทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ปูนแข็งตัว และสามารถแกะเม็ดปูนออกจากถาดได้



2.การเตรียมสารเพื่อชุบเม็ดดูดซับ

-เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ใช้จำนวน 156 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร ต่อมัดปูนจำนวน 250 เม็ด

-เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ ใช้จำนวน 219 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร ต่อมัดปูนจำนวน 250 เม็ดเช่นกัน

3.การชุบเม็ดดูดซับ

-นำเม็ดปูนที่ได้ (จำนวนประมาณ 250 เม็ด) แช่ในสารละลาย FeCl_3 นาน 20 นาที

-นำเม็ดที่แช่ในสารละลาย FeCl_3 แล้ว ไปแช่ต่อในสารละลายโซดาไฟ (สาร NaOH) นาน 20 นาที จากนั้นนำไปผึ่งลมให้แห้ง



การทำชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

อุปกรณ์

1. ท่อพีวีซี ขนาด 6 นิ้ว (ความสูง 50, 100 และ 150 ซม.)
2. ฝาปิดท่อพีวีซี ขนาด 6 นิ้ว
3. เกลียวนอกท่อพีวีซี ขนาด ½ นิ้ว
4. เกลียในท่อพีวีซี ขนาด ½ นิ้ว
5. สามทางหรือข้องอพีวีซี ขนาด ½ นิ้ว
6. วาล์วพีวีซี ขนาด ½ นิ้ว



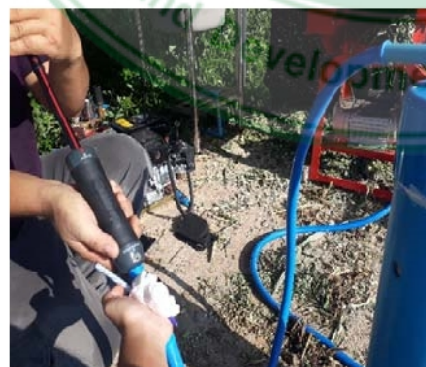
นำอุปกรณ์ประกอบเป็นทางเข้าของก๊าซชีวภาพตรงด้านล่างของถัง ซึ่งก๊าซจะไหลเข้าไปในถังผ่านเม็ดดูดซับ และให้ทำทางออกของก๊าซชีวภาพที่สะอาดแล้ว ที่ด้านบนของตัวถัง ทางเข้าและทางออกให้เพิ่มวาล์ว สำหรับปล่อยในอากาศเข้าออกผ่านตัวเม็ดดูดซับ เมื่อต้องการให้เม็ดดูดซับคืนสภาพหลังการใช้งานไปแล้ว





การนำพลังงานก๊าซชีวภาพไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

การทดลองที่ 1: การศึกษาสัดส่วนของอากาศและก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีน ขนาด 7.5 แรงม้า สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซขนาด 8 ลบ.ม. ของฟาร์มปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง



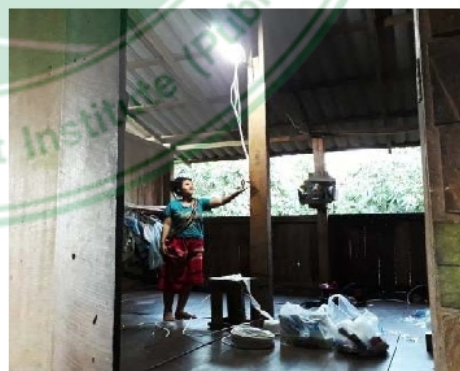
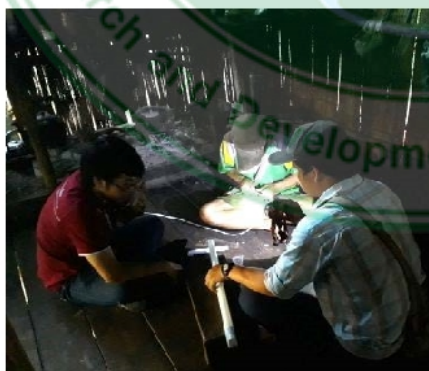
การทดลองที่ 2: การศึกษาปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า
ขนาด 3 กิโลวัตต์ รวมทั้งหาขนาดบ่อและปริมาณสัตว์เลี้ยงบนพื้นที่สูงที่เหมาะสม



การทดลองที่ 3: การศึกษาขนาดชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีน
ขนาด 7.5 แรงม้า และระยะเวลาที่ใช้งาน



การทดลองที่ 4: การศึกษาการใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (ปรับจากเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีน ขนาด 7.5 แรงม้า) สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์ ณ บ้านห้วยแห้ง ตำบลแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน





การนำพลังงานก๊าซชีวภาพไปประยุกต์ใช้กับเครื่องปั๊มน้ำขนาดเล็ก

การทดลองที่ 1: การศึกษาสัดส่วนของอากาศและก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีน ขนาด 6.5 แรงม้า ใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อก๊าซชีวภาพขนาด 1,500 ลบ.ม. ของฟาร์มสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



การทดลองที่ 2: การศึกษาปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมงสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีน 6.5 แรงม้า รวมทั้งหาขนาดบ่อและปริมาณสัตว์เลี้ยงบนพื้นที่สูงที่เหมาะสม



การทดลองที่ 3: การศึกษาขนาดชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีน ขนาด 6.5 แรงม้า และระยะเวลาที่ใช้งาน



การทดลองที่ 4: การศึกษาการใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (ปรับจากเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีนขนาด 6.5 แรงม้า) สำหรับใช้กับเครื่องปั้มน้ำขนาดเล็ก (ขนาด 1-2 นิ้ว ไม่น้อยกว่าวันละ 3-4 ชั่วโมง)

1. ฟาร์มสุกร ณ สถานีวิจัยโครงการหลวงแม่หลอด อ. แม่แตง จ. เชียงใหม่



2. ฟาร์มสุกร ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว อ. เชียงดาว จ. เชียงใหม่



3. ฟาร์มกระป๋องนม บ้านนายธเนศ ใจพันธ์ ที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ ตำบลทาเหนือ อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่



ภาพกิจกรรม

การใช้เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า



การสตาร์ทเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า



2.เปิดใช้ค

1.สตาร์ท

3.ปรับวาล์วแก๊ส

การใช้เครื่องปั้มน้ำ



การสตาร์ทเครื่องปั้มน้ำ

3.เปิดวาล์วแก๊ส

1.ปิดไคค

2.เปิดก๊อกน้ำมัน 5 วินาที แล้วปิด



4.สตาร์ทเครื่องยนต์ เมื่อ
เครื่องติดให้เปิดไคค



ภาคผนวก ง

การเผยแพร่เทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

การเผยแพร่เทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

นำเสนอผลงานในงานประชุมทางวิชาการประจำปีของมูลนิธิโครงการหลวง และสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ในวันที่ 14 กันยายน 2561 ณ อุทยานหลวงราชพฤกษ์ เชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่





นำเสนอในที่ประชุมคณะกรรมการทำงานของงานพัฒนาและส่งเสริมปศุสัตว์มูลนิธิโครงการหลวง ครั้งที่ 10/2561 เมื่อวันที่ 3 ธันวาคม 2561 โดยมีผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วย นักวิชาการที่รับผิดชอบงานปศุสัตว์จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงต่างๆ นักวิชาการจากสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดเชียงใหม่ และสำนักงานปศุสัตว์เขต 5 รวมทั้งนักวิชาการของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) และของมูลนิธิโครงการหลวง



เอกสาร “รายงานวิจัย”

การพัฒนาบบก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าและปั้มน้ำบนพื้นที่สูง Biogas System Development as a Renewable Energy Source for Producing Electricity and Pumping Water on highland Area

สุชน ตั้งทวีพัฒน์^{1,2,*} อองอาจ ส่องสี¹ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล¹ กัญญารัตน์ พวงเจริญ¹
วิไลพร ทันทะรักษ์² และณัฐนา อินต๊ะ¹ และคาซุทาเกะ อุเมทสุ³
Suchon Tangtaweewipat^{1,2,*} Ongart Songsi¹, Boonlom Cheva-Isarakul¹, Kanyarat
Puakchareon¹
Wilaiporn Thantharak², Natchana Intip¹ and Kazutaka Umetsu³

*Corresponding Author, E-mail: agani002@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำก๊าซชีวภาพมาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้ปั้มน้ำขนาดเล็กบนพื้นที่สูง ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 หาอัตราส่วนของอากาศกับก๊าซชีวภาพ โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรของมูลนิธิโครงการหลวง นำมาผ่านชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ก่อนปล่อยเข้าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาด 6.5 และ 7.5 แรงม้า ผลปรากฏว่า สัดส่วนของอากาศและก๊าซชีวภาพที่ทำให้เครื่องยนต์จุดติด คือ 2:1 ถึง 4:1 หรือเทียบเท่ากับมีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในช่วง 12.6±1.25 ถึง 21.0±2.06% การทดลองที่ 2 ศึกษาอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาด 7.5 และ 6.5 แรงม้า สำหรับใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้ปั้มน้ำ ตามลำดับ โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,500 ลูกบาศก์เมตรของภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผลปรากฏว่า เมื่อใช้เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 100 และ 3,000 วัตต์ มีอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.03 และ 1.96 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่เครื่องยนต์ปั้มน้ำแบบ 3 กระบอกสูบที่มีท่อสูบน้ำขนาด 1 นิ้ว เมื่อใช้อัตราความเร็วรอบ 80-100% ของเครื่องยนต์ มีอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพ 1.06 -1.11 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนเครื่องปั้มน้ำแบบหอยโข่งที่มีท่อสูบน้ำขนาด 2 นิ้ว เมื่อใช้อัตราความเร็วรอบ 70-100% ของเครื่องยนต์ มีอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.21- 1.53 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากข้อมูลข้างต้น

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

(Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, 50200, Thailand)

² มูลนิธิโครงการหลวง (Royal Project Foundation)

³ Graduate school of Animal and Food Hygiene, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Japan

สามารถประมาณการจำนวนสัตว์เลี้ยง และขนาดบ่อผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับครัวเรือนเกษตรกรบนพื้นที่สูงได้ ซึ่งจะเพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และการปั้มน้ำตามจำนวนที่ใช้จริงในแต่ละครัวเรือนหรือในแต่ละพื้นที่ได้

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ พลังงานทดแทน เครื่องยนต์ขนาดเล็ก กระแสไฟฟ้า ปั้มน้ำ พื้นที่สูง

Abstract

This study aimed to apply biogas with engine motor for producing electricity and to drive a small water pump on highland. Two experiments were conducted. Exp. 1 investigated the optimum ratio of air and biogas. The gas which was produced from 8 m³ biogas unit in Royal Project Foundation was passed through hydrogen sulfide (H₂S) filter before using with 6.5 and 7.5 hp. gasoline engine pump. The result revealed that the optimum ratio of air to biogas for engine ignition was 2:1 to 4:1. It was equal to the concentration of methane gas at 12.6±1.25 to 21.0±2.06%. Experiment 2 investigated the volume of biogas needed to drive 7.5 and 6.5 hp. gasoline engines for producing electricity and for water pumping, respectively. The biogas plant, 1,500 m³ in swine farm, Department of Animal and Aquatic Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University was used in the experiment. The result revealed that the volume of biogas needed to produce 100 and 3,000 watt of electricity was 1.03 and 1.96 m³/ hr. respectively. The triple piston axial (3-cylinder) high pressure water pump with 1 inch diameter pipe needed 1.06 - 1.11 m³/ hr. of biogas when the speed of the engine was 80-100%. The centrifugal pump with 2 inch diameter pipe needed 1.21- 1.53 m³/ hr. of biogas when the speed of the engine was 70-100%. These data are useful for estimating the appropriated number of animals and the size of biogas unit to fit the need of electricity and to pump water for each highland farm.

Key words: Biogas, Alternative energy, Small engine, Electricity, Water pump, Highland

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในพื้นที่สูง มูลนิธิโครงการหลวง นับว่าเป็นวิถีชีวิตของเกษตรกรที่ปฏิบัติกันมาช้านาน ที่ผ่านมานงานพัฒนาและส่งเสริมปศุสัตว์ได้ส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นอาชีพเสริมและเพิ่มรายได้ เช่น ไก่เบรส ไก่ฟ้า ไก่กระดูกดำ สุกร ควายนม และแพะนม ซึ่งประสบผลสำเร็จในการเพิ่มรายได้ระดับหนึ่ง ปัญหาสำคัญที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ คือ ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น น้ำเสีย และมูลสัตว์ที่ปนไปบริเวณเพื่อนบ้าน งานพัฒนาและส่งเสริมปศุสัตว์จึงได้สนับสนุนให้เกษตรกรจัดทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) เพื่อลดมลภาวะควบคู่ไปด้วย รวมทั้งยังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในการหุงต้มของ

ครัวเรือน และใช้กากตะกอนที่ล้นออกจากบ่อเป็นปุ๋ยทดแทนปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นผลพลอยได้ ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนและลดปัญหามลภาวะทางกลิ่นได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสีย เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงฆ่าสัตว์ และขยะจากชุมชนหรือจากร้านค้า ภัตตาคาร รวมถึงของเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมจะได้ก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อน หรือพลังงานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556) จากการผลิตก๊าซชีวภาพแบบบุงพลาสติกพื้อขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถผลิตและกักเก็บก๊าซชีวภาพไว้ได้ไม่น้อยกว่าวันละ 1.9 ลูกบาศก์เมตร จะนำก๊าซชีวภาพไปพุงต้มได้วันละ 1-2 ชั่วโมง หรือเทียบเท่ากับทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม (ถังขนาด 15 กก.) ได้เดือนละ 1 ถัง หรือทดแทนการใช้ฟืน/ถ่านได้ 60-180 บาทต่อเดือน (สุชีพ และคณะ, 2557) การผลิตก๊าซชีวภาพแบบบุงพลาสติกที่มีความยาว 6 เมตร เส้นรอบวง 5.25 เมตร (ขนาดบ่อกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร ลึก 1 เมตร) มีปริมาตรความจุรวม 8 ลูกบาศก์เมตร แยกเป็นส่วนหมัก (ของเหลว) 5 ลูกบาศก์เมตร ส่วนเก็บก๊าซ 3 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันได้ประมาณ 35% ของของเหลว หรือเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้กับเตาพุงต้มจำนวน 2 เตา (ใช้ก๊าซ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง; สุขชนและคณะ, 2561) หรืออาจเพียงพอต่อการใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาด 5.5 แรงม้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 3 กิโลวัตต์ หรือเครื่องยนต์สูบน้ำ ซึ่งพบว่าจะใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.2-1.4 และ 0.8-1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (องอาจ, 2555)

สุขชนและคณะ (2554) รายงานว่า การใช้บุงผลิตก๊าซชีวภาพแบบอลูมิเนียมที่มีขนาด 5, 7.5 และ 10 ลูกบาศก์เมตร เพื่อหาปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพบนพื้นที่สูงระดับต่างๆ กล่าวคือ ที่ความสูงจากน้ำทะเลระดับ <800, 800-1,000 และ >1,000 เมตร พบว่า ในสภาพแสงแดดปกติ จะผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 0.16, 0.37 และ 0.41 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนที่ความสูงจากน้ำทะเลระดับต่างๆ พบว่า มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเก็บข้อมูลของทุกพื้นที่ระดับความสูงมีแสงแดดและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

จากข้อมูลการสำรวจของงานพัฒนาและส่งเสริมปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง พบเกษตรกรส่วนหนึ่งมีการเลี้ยงสัตว์ เช่น สุกร หรือโคกระบือ จำนวนมากกว่า 20 ตัวต่อครัวเรือน ทำให้มีผลผลิตก๊าซชีวภาพเหลือใช้จากการพุงต้มประจำวัน ในขณะเดียวกัน เกษตรกรเหล่านี้ก็ยังมีต้นทุนการผลิตทางการเกษตรที่สูง เช่น มีค่าใช้จ่ายด้านค่าเชื้อเพลิง และค่าไฟฟ้าสำหรับใช้สูบน้ำมาใส่แปลงพืชผล เป็นต้น นอกจากนี้ ในบางชุมชนบนพื้นที่สูงยังขาดระบบสาธารณสุขที่ดีและมีไม่ทั่วถึง ส่งผลให้เกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าวไม่มีไฟฟ้าใช้ ไม่มีแสงสว่างยามค่ำคืน เกษตรกรกลุ่มนี้ต้องการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น ต้องการใช้เพื่อการสูบน้ำ หรือเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าใช้ในครัวเรือน และอาจรวมถึงใช้ในแปลงเกษตร ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสในการพัฒนาระบบก๊าซชีวภาพมาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กตามที่กล่าวมาข้างต้น ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อทุกภาคส่วน

ดังนั้นในปี พ.ศ.2561 คณะผู้วิจัยฯ จึงได้ศึกษาหาอัตราส่วนผสมของอากาศและก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมต่อการจุดติด (การระเบิด) ของเครื่องยนต์ และหาอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาด 6.5 และ 7.5 แรงม้า ต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า 2-3 กิโลวัตต์ และการปั้มน้ำด้วยเครื่องยนต์ขนาดเล็กแบบกระบอกสูบและแบบหอยโข่ง ตลอดจนหาขนาดของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ และจำนวนสัตว์เลี้ยงที่เหมาะสมสำหรับใช้บนพื้นที่สูง

วิธีการวิจัย

ใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 8 และ 1,500 ลูกบาศก์เมตรของมูลนิธิโครงการหลวง และฟาร์มสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (การทดลองที่ 1 และ 2) ตามลำดับ ก่อนปล่อยก๊าซชีวภาพเข้าเครื่องยนต์ ให้ก๊าซผ่านชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า เพื่อลดปริมาณให้เหลือน้อยที่สุดก่อน แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพที่เครื่องยนต์สามารถจุดติด (จุดระเบิด) ใช้เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาดมอเตอร์ 7.5 แรงม้า ยี่ห้อ HYNOL LT-4000E generator (Gasoline generator) ส่วนการปั้มน้ำใช้เครื่องปั้มน้ำขนาดเล็ก (3 สูบ ขนาดท่อ 1 นิ้ว) ยี่ห้อ Bison water pump รุ่น HPW-30C ขนาดมอเตอร์ 6.5 แรงม้า และเครื่องปั้มน้ำแบบหอยโข่ง ขนาดท่อ 2 นิ้ว ยี่ห้อ NASH water pump รุ่น SC-20 ขนาดมอเตอร์ 6.5 แรงม้า มีความเร็วรอบ 3,600 rpm ในการหาอัตราส่วนอากาศต่อก๊าซชีวภาพ ได้กำหนดสัดส่วนไว้ที่ 16:1, 14:1, 12:1, 10:1, 8:1, 6:1, 4:1, 2:1 และ 1:1 ทำการทดสอบ สัปดาห์ละ 10 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ใช้สัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด โดยใช้ชุดวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Digital Tachometer รุ่น DT2236B) ทำการวัดรอบในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานสม่ำเสมอ บันทึกข้อมูล จากนั้นนำผลที่ได้เมื่อใช้ส่วนผสมที่มีก๊าซชีวภาพน้อยที่สุดมาพัฒนาชุดผสมระหว่างอากาศกับก๊าซชีวภาพ (Mixer) ตามที่รายงานไว้โดยองอาจ (2555) ซึ่งใช้หลักการไหลของก๊าซชีวภาพเข้าห้องเผาไหม้ด้วยแรงดันจากถังหมักและแรงดูดจากเครื่องยนต์ โดยควบคุมแรงดันด้วยชุดไฟฟ้า (Microcontroller)

การทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการปั้มน้ำ รวมทั้งหาขนาดบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ และปริมาณสัตว์เลี้ยงบนพื้นที่สูงที่เหมาะสม

2.1 การผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้เครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ (kw) ยี่ห้อ HYNOL LT-4000E generator (Gasoline generator) ทำการทดสอบอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพที่ระดับ 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70% ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยการต่อหลอดไฟฟ้าขนาดหลอดละ 100 วัตต์ ตามระดับทดสอบข้างต้น (300, 600, 900, 1,200, 1,500, 1,800 และ 2,100 วัตต์ ตามลำดับ จำนวน 4 ชั่วโมง)

ต่อระดับ บันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพต่อชั่วโมง วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ผลด้วยสมการถดถอย (Regression method) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาขนาดบ่อผลิตก๊าซชีวภาพและจำนวนสัตว์เลี้ยงที่เหมาะสม

2.2 การปั้มน้ำ ใช้เครื่องยนต์ 2 ชนิด คือ เครื่องปั้มน้ำขนาดเล็กแบบ 3 กระบอกสูบ ขนาดท่อ 1 นิ้ว (ยี่ห้อ Bison water pump รุ่น HPW-30C ขนาด 6.5 แรงม้า) และเครื่องปั้มน้ำแบบหอยโข่ง ขนาดท่อ 2 นิ้ว (ยี่ห้อ NASH water pump รุ่น SC-20 ขนาด 6.5 แรงม้า มีความเร็วรอบ 3,600 rpm) ทำการทดสอบ อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพที่ระดับ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90% ของความเร็วรอบสูงสุด ทำการศึกษา จำนวน 4 ซ้ำต่อระดับ บันทึกข้อมูลปริมาณการก๊าซใช้ก๊าซชีวภาพ ปริมาณน้ำที่สูบได้ จากนั้นวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ผลด้วย Regression method

นำข้อมูลจากข้อ 2.1) และ 2.2) มาคำนวณหาขนาดบ่อก๊าซชีวภาพ และจำนวนสัตว์เลี้ยงที่เหมาะสม

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การหาสัดส่วนของอากาศและก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับการจุดติดของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ขนาด 6.5 และ 7.5 แรงม้า

การหาสัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพจำนวน 9 สัดส่วน คือ 1:1, 2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1, 12:1, 14:1 และ 16:1 โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรของมูลนิธิโครงการหลวง พบว่า ค่าความเข้มข้นก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่าเท่ากับ 63% เมื่อทดสอบการจุดติดเครื่องยนต์สัดส่วนละ 10 ซ้ำ ได้ค่าสัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพที่ทำให้เครื่องยนต์จุดติดอยู่ระหว่าง 2:1- 4:1 และมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในช่วง 12.6 ± 1.25 - $21.0 \pm 2.06\%$ (ตารางที่ 1) จะเห็นว่าที่สัดส่วน 1:1 วัดความเข้มข้นของก๊าซมีเทนได้ $31.5 \pm 2.65\%$ ซึ่งมีก๊าซมีเทนมากเกินไป ทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถจุดติด ในขณะที่สัดส่วน 6:1- 16:1 มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนลดลงตามลำดับ ไม่สามารถทำให้เครื่องยนต์จุดติดได้เช่นกัน ดังนั้นสัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพ และปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีผลต่อการจุดติดของเครื่องยนต์ โดยระดับที่เหมาะสม คือ 2:1 ถึง 4:1 และมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในช่วง 12.6 ± 1.25 ถึง $21.0 \pm 2.06\%$ นำผลข้อมูลนี้ไปทำชุดผสม (Mixer) ต่อไป ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Mihic (2004) ที่ระบุว่า การจุดระเบิด (จุดติด) ของเครื่องยนต์ต้องมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนในช่วง 5-15% อย่างไรก็ดี ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีสัดส่วนของอากาศน้อยกว่าการศึกษาของ Ayade and Latey (2016) ที่รายงานว่า อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง (Air fuel ratio) หรือสัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้การสันดาปหรือการระเบิดในกระบอกสมบูรณ์ที่สุด มีค่าเท่ากับ 14.5:1 นั่นคือ มีมวลอากาศ 14.5 กรัมต่อมวลน้ำมัน 1 กรัม ส่วนก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 10:1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพ และความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (CH_4) ที่มีผลต่อการจุดติดของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาด 6.5 และ 7.5 แรงม้า

สัดส่วนอากาศต่อก๊าซชีวภาพ	ความเข้มข้นของ ก๊าซมีเทน (%)	การจุดติดเครื่องยนต์ (จำนวนซ้ำ)										สรุป
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1:1	31.5±2.65	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2:1	21.0±2.06	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4:1	12.6±1.25	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
6:1	9.0±0.84	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8:1	7.0±1.02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10:1	5.7±0.94	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12:1	4.8±0.78	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
14:1	4.2±0.34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
16:1	3.7±0.52	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

x = เครื่องยนต์จุดไม่ติด

/ = เครื่องยนต์จุดติด

การทดลองที่ 2 การหาปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการปั้มน้ำ รวมทั้งหาขนาดบ่อก๊าซชีวภาพ และปริมาณสัตว์เลี้ยงบนพื้นที่สูงที่เหมาะสม

2.1 การผลิตกระแสไฟฟ้า

ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพหรืออัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพเมื่อใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดสูงสุด 3 กิโลวัตต์ พบว่า อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพจะแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของการผลิตกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อมีการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 0, 300, 600, 900, 1,200, 1,500 และ 1,800 วัตต์ เครื่องยนต์จะใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.25, 1.31, 1.36, 1.48, 1.57, 1.63 และ 1.64 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานขององอาจ (2555) ที่ระบุว่า เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาด 5.5 แรงม้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 3 กิโลวัตต์ จะใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนการใช้ก๊าซโซลีนเท่ากับ 1.2- 1.4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้เมื่อเพิ่มการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็น 2,100 วัตต์ หรือ 70% ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องยนต์จะดับ (จุดไม่ติด) ทันที ดังนั้นการใช้เครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 1,800 วัตต์

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 2 ไปคำนวณโดยสมการถดถอย (Regression analysis) เพื่อประเมินอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพที่อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าระดับต่างๆ ได้สมการแบบเส้นตรง ดังนี้

$$Y = 1.20877 + 0.00025150X$$

เมื่อ Y = ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)

X = ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า (วัตต์)

$$r^2 = 0.86$$

ตารางที่ 2 อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ของเครื่องยนต์ 7.5 แรงม้า ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 กิโลวัตต์

การผลิตกระแสไฟฟ้า		ชั่วโมง				ค่าเฉลี่ย
(% ของเครื่องกำเนิด)	(วัตต์)	1	2	3	4	
0	0	1.380	1.120	1.180	1.320	1.250
10	300	1.267	1.336	1.318	1.310	1.308
20	600	1.361	1.404	1.353	1.336	1.364
30	900	1.481	1.490	1.473	1.455	1.475
40	1,200	1.558	1.575	1.550	1.592	1.569
50	1,500	1.652	1.635	1.627	1.610	1.631
60	1,800	1.661	1.644	1.635	1.620	1.640

เครื่องยนต์จะดับ (จุดไม่ติด) เมื่อใช้กระแสไฟฟ้า 2,100 วัตต์ หรือที่ 70% ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลังจากได้สมการ $Y = 1.20877 + 0.00025150X$ แล้ว นำไปคำนวณค่าอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพของเครื่องยนต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ระดับ 100 วัตต์ หรือเทียบเท่ากับการใช้หลอดไฟให้แสงสว่างขนาดหลอดละ 20 วัตต์ จำนวน 5 หลอด ไปจนถึงระดับ 1,000 วัตต์หรือเท่ากับใช้หลอดไฟจำนวน 50 หลอด (หลอดละ 20 วัตต์) เมื่อเปิดใช้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของครัวเรือนคนไทยทั่วไป (อุมาพรและอภิชาติ, 2559) พบว่า จะใช้ก๊าซชีวภาพตั้งแต่ 6.15 ลูกบาศก์เมตร ขึ้นไปจนถึง 7.30 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับการทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบบอลลูนพลาสติกตามที่รายงานไว้โดย สุขนและคณะ (2561) ขนาด 16-20 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกษตรกรบนพื้นที่สูงต้องมีสัตว์เลี้ยงประเภทสุกร โคกระบือ หรือสัตว์ปีก จำนวนไม่น้อยกว่า 30, 20 และ 200 ตัว ตามลำดับ ทั้งนี้จำนวนสัตว์เลี้ยงดังกล่าว จะผันแปรตามสายพันธุ์ การให้อาหาร และวิธีการจัดการมูลสัตว์ของเกษตรกรบนพื้นที่สูงด้วย

2.2 การป้อนน้ำ

2.2.1 เครื่องป้อนน้ำแบบ 3 กระบอกสูบ และมีท่อดูดน้ำขนาด 1 นิ้ว

ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพของเครื่องป้อนน้ำแบบ 3 กระบอกสูบ ขนาดท่อดูดน้ำ 1 นิ้ว พบว่าอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพจะแปรผันตามรอบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ เมื่อใช้ความเร็วรอบที่ 80, 90, 100,

110 และ 120% ของเครื่องยนต์ จะใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.08, 1.08, 1.19, 1.25 และ 1.44 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยจะสูบน้ำได้ 2.0-2.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ตารางที่ 3) แต่เมื่อลดความเร็วรอบลงเหลือน้อยกว่า 80% หรือเพิ่มมากกว่า 120% พบว่า เครื่องยนต์จะดับทันที เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3 ไปคำนวณโดยสมการถดถอย เพื่อประเมินอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพของปั้มน้ำระดับต่างๆ ได้สมการ ดังนี้

$$Y = 3.16840 - 0.04770X + 0.00027458 X^2$$

เมื่อ Y = ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)

X = ความเร็วรอบของเครื่องของปั้มน้ำ (%)

$$r^2 = 0.73$$

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง) ของปั้มน้ำ 6.5 แรงม้าแบบ 3 สูบ ขนาดท่อ 1 นิ้ว

อัตรากำลังเครื่องยนต์ (รอบ/นาที) (%)	ชั่วโมง					ปริมาณน้ำเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)
	1	2	3	4	เฉลี่ย	
2,880 80	1.023	1.023	1.250	1.023	1.080	2.025±0.232
3,240 90	1.080	1.080	1.080	1.080	1.080	2.077±0.136
3,600 100	1.193	1.193	1.193	1.193	1.193	2.267±0.061
3,960 110	1.307	1.250	1.250	1.250	1.264	2.418±0.085
4,320 120	1.420	1.420	1.477	1.420	1.435	2.475±0.103

ผลอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีปริมาณสูงกว่ารายงานขององอาจ (2555) เล็กน้อย (1.08-1.44 vs. 0.8-1.0 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้มีกำลังต่างกัน

หลังจากได้สมการแล้ว นำไปประมาณอัตราการใช้น้ำ โดยกำหนดไว้ที่ 4-5 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 4,000-5,000 ลิตรต่อการใช้ของครัวเรือนในแต่ละวัน ซึ่งจะเท่ากับเปิดใช้เครื่องปั้มน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากการคำนวณแล้ว พบว่า เครื่องปั้มน้ำจะใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 5.68 ถึง 6.10 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับการทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบบอลูนขนาด 16 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งต้องมีสัตว์เลี้ยงประเภทสุกร โค กระบือ หรือสัตว์ปีก จำนวนไม่น้อยกว่า 30, 20 และ 200 ตัว ตามลำดับ เช่นเดียวกับการผลิตกระแสไฟฟ้า (สุชนและคณะ, 2561)

2.2.2) เครื่องปั้มน้ำแบบหอยโข่ง และมีขนาดท่อต่อน้ำขนาด 2 นิ้ว

ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพของเครื่องปั้มน้ำแบบหอยโข่ง ขนาดท่อดูดน้ำ 2 นิ้ว พบว่า อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพจะแปรผันตามรอบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ เมื่อใช้ความเร็วรอบที่ 78, 85, 90 และ 100% ของเครื่องยนต์ จะใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.31, 1.37, 1.44 และ 1.56 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยจะสูบน้ำได้ 23.3- 28.4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ตารางที่ 4) แต่เมื่อลดความเร็วรอบมาที่ 70% หรือเพิ่มไปที่ 120% เครื่องยนต์จะดับทันที เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4 ไปคำนวณโดยสมการถดถอย เพื่อประเมินอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพที่กำลังเครื่องยนต์ของปั้มน้ำระดับต่างๆ ได้สมการ ดังนี้

$$Y = 0.47960 + 0.01048X$$

เมื่อ Y = ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)

X = ความเร็วรอบของเครื่องของปั้มน้ำ (%)

$$r^2 = 0.7313$$

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ของปั้มน้ำแบบหอยโข่งขนาด 6.5 แรงม้า มีท่อขนาด 2 นิ้ว

อัตรากำลังเครื่องยนต์ (รอบ/นาที)	(%)	ชั่วโมง					ปริมาณน้ำเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)
		1	2	3	4	เฉลี่ย	
2,442	78	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313	23.298± 1.393
2,661	85	1.375	1.375	1.375	1.375	1.375	24.904± 3.538
2,825	90	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	25.027 ±3.019
2,900	100	1.563	1.563	1.563	1.563	1.563	28.376± 4.222

หลังจากได้สมการแล้ว นำไปประมาณอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพ โดยกำหนดเปิดปั้มน้ำเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะสูบน้ำได้ 11.6- 14.1 ลูกบาศก์เมตร หลังจากคำนวณแล้ว เครื่องปั้มน้ำแบบหอยโข่งนี้จะใช้ก๊าซชีวภาพ 0.66- 0.78 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับการทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบบอลูนขนาดประมาณ 4 ลูกบาศก์เมตร หรือต้องมีสัตว์เลี้ยงประเภทสุกร โคกระบือ หรือสัตว์ปีก จำนวนไม่น้อยกว่า 7, 5 และ 50 ตัวตามลำดับ (สุชนและคณะ, 2561)

จากข้อมูลผลการศึกษาและหลักการทำงานของปั้มน้ำทั้งสองประเภทข้างต้น การใช้เครื่องปั้มน้ำประเภทหอยโข่งมีข้อดีตรงที่สามารถสูบน้ำไปในแนวราบได้ปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งต่างกับปั้มน้ำแบบกระบอกสูบ โดยปั้มน้ำแบบกระบอกสูบจะมีแรงดันน้ำที่สามารถส่งน้ำขึ้นไปบนพื้นที่หรือไปใส่ในถังค์ที่อยู่สูงจากระดับที่ตั้งปั้มน้ำได้สูงกว่าปั้มน้ำแบบแรกมาก

สรุปผลการทดลอง

จากการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ และเพื่อปั้มน้ำขนาด 6.5 แรงม้าทั้งแบบปั้มชัก (กระบอกสูบ) และแบบหอยโข่ง สรุปได้ดังนี้

สัดส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่องปั้มน้ำ คือ 2:1 - 4:1 โดยอัตราส่วนดังกล่าว จะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในช่วง 12.6 ± 1.25 - $21.0 \pm 2.06\%$

อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 100 และ 3,000 วัตต์ เท่ากับ 1.03 และ 1.96 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่เครื่องยนต์ปั้มน้ำแบบ 3 กระบอกสูบ (ท่อสูบน้ำขนาด 1 นิ้ว) เมื่อใช้อัตราความเร็วรอบ 80-100% ของเครื่องยนต์ และเครื่องปั้มน้ำแบบหอยโข่ง (ท่อสูบน้ำ 2 นิ้ว) ที่ความเร็วรอบ 70-100% ของเครื่องยนต์ มีอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพ 1.06 -1.11 และ 1.21- 1.53 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

เมื่อประมาณการให้ครัวเรือนเกษตรกรบนพื้นที่สูงใช้กระแสไฟฟ้าจำนวน 100- 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง/วัน และใช้ปั้มน้ำแบบ 3 กระบอกสูบ เปิดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือเท่ากับสูบน้ำได้ 4-5 ลูกบาศก์เมตร จะใช้ก๊าซชีวภาพจำนวน 6.15- 7.30 และ 5.68- 6.10 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับการทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบบอลูนขนาดไม่น้อยกว่า 16 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งต้องมีสัตว์เลี้ยงประเภทสุกร โคกระบือ หรือสัตว์ปีก จำนวนไม่น้อยกว่า 30, 20 และ 200 ตัว ตามลำดับ ส่วนการใช้ปั้มน้ำแบบหอยโข่ง เปิดเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะสูบน้ำได้ 11.6- 14.1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้ก๊าซชีวภาพไม่น้อยกว่า 0.66 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ 4 ลูกบาศก์เมตร และมีสัตว์เลี้ยงประเภทสุกร โคกระบือ หรือสัตว์ปีก จำนวนไม่น้อยกว่า 7, 5 และ 50 ตัว ตามลำดับ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ชุดเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพขนาดเล็กต้นแบบนี้ สามารถนำไปใช้ในพื้นที่สูงต่างๆ ได้ ทั้งในรูปแบบการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือปั้มน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน แก้ปัญหามลภาวะจากการเลี้ยงสัตว์ และช่วยลดแรงงานในการขนน้ำ รวมถึงพัฒนาระบบการให้น้ำในแปลงเกษตร เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถนำไปเผยแพร่เป็นผลงานทางวิชาการระดับชาติ หรือถ่ายทอดให้กับเกษตรกรในภูมิภาคอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณฟาร์มปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง และฟาร์มสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ใช้บ่อผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556. รายงาน การอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย ปี 2556. จัดทำโดยศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 42 หน้า.
- สุชีพ ไชยมณี อังคนาภรณ์ พงษ์ด้วง ประสงค์ แซ่เผ่า สำอาง จิราภรณ์อนงค์ และเสน่ห์ พงษ์กาสอ. 2557. การพัฒนาระบบการผลิตพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมบนพื้นที่สูง: กรณีศึกษาก๊าซชีวภาพ. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงและสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557, หน้า 764-767, มูลนิธิโครงการหลวง เชียงใหม่.
- สุชน ตั้งทวีวัฒน์ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล องอาจ ส่องสี วิไลพร ทัฒทะรักษ์ และกัญญารัตน์ พวกเจริญ. 2561. เอกสารเผยแพร่ การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะและเป็นสำหรับใช้ในครัวเรือน. พิมพ์ครั้งที่ 7. จัดพิมพ์โดยคลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 25 หน้า.
- สุชน ตั้งทวีวัฒน์ องอาจ ส่องสี บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และอภิชาติ ศรีภักย์. 2554. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติเครือข่ายภาคเหนือ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 56 หน้า.
- สุชน ตั้งทวีวัฒน์, องอาจ ส่องสี และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2555. การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน. *แก่นเกษตร*, 40 (ฉบับพิเศษ 2): 201-204.
- สุชน ตั้งทวีวัฒน์, องอาจ ส่องสี, บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, พรทิพย์ ผลเพิ่ม และสุชีพ ไชยมณี. 2554. การวิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับครัวเรือนเกษตรกรบนพื้นที่สูง. *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)*, 88 หน้า.
- องอาจ ส่องสี. 2555. การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เล็กเพื่อการเกษตรสำหรับเกษตรกรรายย่อย. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านน่าน จ.น่าน 77 หน้า.
- อุมาพร สุภาวงศ์และอภิชาติ เทิดโยธิน. 2559. ศักยภาพของการลดการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากการส่งเสริมการใช้หลอดไฟแอลอีดีของบ้านอยู่อาศัยในเขตความรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 191-198.
- Ayade, M. and A.A. Latey. 2016. Performance and emission characteristics of biogas petrol dual fuel in Si Engine, *Int. J. of Mechanical Engineering Technol.* P 45-54.
- Mihic, S. 2004. Biogas fuel for internal combustion engines. *Annals of the faculty of engineering hunedoara. Tome II, Fascicule 3.* P 179-190.