บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลการผลิตกาซชีวภาพ

มูลสัตว์และปัสสาวะที่ได้จากการเลี้ยงของเกษตรกรแต่ละราย ซึ่งมีปริมาณไม่มาก (ตารางที่ 1) สามารถกำจัดออกไปด้วยระบบการหมักภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศ เพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่ง Landahl (2003) ได้กล่าวว่า ก๊าซชีวภาพเกิดจากขบวนการหมักอินทรียวัตถุ (Biomass มูล ปัสสาวะ น้ำเสีย เศษซากพืชซากสัตว์)ในสภาพไร้อากาศ ซึ่งจะประกอบด้วยมีเทน (CH_4) 50–80%, CO_2 15–45%, H_2S 0-2% และน้ำ 5% โดย Kristoferson and Bokalders (1991) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีคุณค่าเท่ากับหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างขนาด 60–100 วัตต์ นาน 6 ชั่วโมง ใช้ประกอบอาหารสำหรับครอบครัว 5–6 คนได้ 3 มื้อ ทดแทนน้ำมันเบนซินได้ 0.7 กิโลกรัม ขับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าได้นาน 2 ชั่วโมง และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง การนำก๊าซชีวภาพจากการผลิตโดยเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่ต่างๆ ด้วยการใช้มูลสัตว์ จำพวกสุกร โคเนื้อ โคนม โคขุน หรือสัตว์ปีก เช่น ไก่ไข่ จำนวน 10-15, 5-10, 3-5, 3-5 หรือ 100-200 ตัว ตามลำดับ จะผลิตก๊าซชีวภาพได้วันละประมาณ 2 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 2) สามารถนำไปใช้หุงต้มแทนก๊าซ LPG ได้เดือนละ 1-2 ถัง ขนาดถังละ 15 กิโลกรัม ซึ่งมีความเหมาะสมกับครัวเรือนเกษตรกรรายย่อยในชุมชนต่างๆ (สุชนและคณะ, 2552)

2.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า

Persson (2007) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน (gasoline) ต้องมี CO_2น้อยกว่า 20% ซัลเฟอร์ต่ำกว่า 23 mg/Nm^3 มีฝุ่นละอองต่ำกว่า 1 µm น้ำน้อยกว่า 32 mg/Nm^3 ออกซิเจนต่ำกว่า 1 Vol% และ CH_4 มากกว่า 92%

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นสารที่มีพิษ หรือก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ที่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนโลหะและมีกลิ่นเหม็น การขจัดทำได้หลายวิธี เช่น การให้ก๊าซไหลผ่านฝอยเหล็ก (Iron sponge bed) ซึ่งปัญหาของการใช้ตัวกรองที่ผ่านมา ก็คือ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากมีความสามารถในการกักเก็บซัลเฟอร์ได้น้อย ตัวกรองบางชนิดนอกจากนำกลับคืนมาใช้ใหม่ไม่ได้แล้วยังเกิดของเสียที่เป็นอันตรายอีกด้วย

การใช้ตัวกรองที่ได้จาก Ferric ions จับกับ Calcined diatomite สามารถลดปริมาณ H_2S ที่มีในก๊าซชีวภาพจาก 30,000 ppm ให้เหลือน้อยกว่า 0.2 ppm ในการกรองผ่าน 1 ตัวกรอง และ

เมื่อตัวกรองอิ่มตัวด้วย sulfides สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยการเป่าลมผ่านตัวกรองนี้ ซึ่งสามารถดูดซับ H_2S ได้เฉลี่ย 32 mg/g ของตัวกรองต่อหนึ่งรอบการกรอง ข้อดีของตัวกรองชนิดนี้ คือ ไม่ติดไฟ ไม่เสี่ยงอันตรายจากการเผาไหม้ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสามารถนำกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ด้วยการเป่าลมผ่านเม็ด Ferric hydroxide ดังที่ได้กล่าวข้างต้น

ตารางที่ 1 ปริมาณมูลสดของสัตว์ที่เลี้ยงโดยเกษตรกรรายย่อยในชุมชน

ชนิดสัตว์	มูลสด (กิโลกรัม/ตัว/วัน)
โค-กระบือ(ปล่อยเล็มหญ้า ขังคอกกลางคืน) [1/]	4-5
สุกร	4
ไก่ไข่ / ไก่สามสายเลือด / ไก่ชน	0.03
โคนม / โคขุน	8

[1/]ปริมาณมูลที่เก็บจากคอกนอน ช่วงกลางคืน

ตารางที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลสัตว์ที่เลี้ยงโดยเกษตรกรรายย่อยในชุมชน (คำนวณโดยคณะผู้วิจัย)

ชนิดสัตว์	จำนวนสัตว์ที่เลี้ยง[1/]	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร) ต่อ		
	(ตัว)	กก. ของมูล	ตัว/วัน	วัน
โค-กระบือ[2/]	5 - 10	0.1 – 0.3	0.16	0.8 – 1.6
สุกร	10 - 15	0.4 – 0.5	0.18	1.8 – 2.7
ไก่ไข่ / ไก่สามสายเลือด / ไก่ชน	100 - 200	0.3 – 0.6	0.014	1.4 – 2.8
โคนม / โคขุน	3 - 5	0.4 – 0.5	0.36	1.1 – 1.8

[1/] ค่าเฉลี่ยโดยการประมาณ

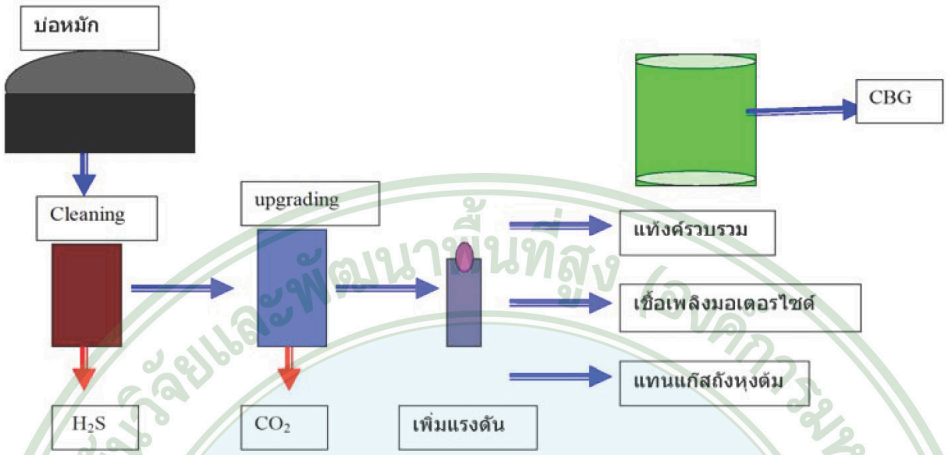
[2/] เลี้ยงแบบปล่อยแทะเล็มหญ้าในช่วงกลางวัน ส่วนช่วงกลางคืนนำมาขังคอก

Thirunavukkarasu*et al.* (2003) รายงานว่า Granular ferric hydroxide (GFH) ที่ผลิตจากสารละลาย Ferric chloride โดยวิธี neutralization และ precipitation ด้วย Sodium hydroxide ทำให้ตกตะกอนโดยการปั่นเหวี่ยง และทำให้เป็นเม็ดด้วยขบวนการอัดแรงดันสูง GFH ที่ได้นี้จะประกอบด้วย Ferric oxihydroxide ปริมาณ 52-57% โดยน้ำหนัก ความชื้น 43-48% grain porosity 72-77% (Driehaus*et al.,* 1998) และขนาดของ GFH ที่เหมาะสม คือ 0.8–1.2 mm นอกจากนี้ การใช้ $Fe(NO_3)_3$ 180 กรัม และ NaOH 28 กรัม ทำปฏิกิริยากันในน้ำเดือด 500 มล pH

8.0 จะได้ $Fe(OH)_3$ 50 กรัม (Brad, 1997) อย่างไรก็ดี Zicari (2003) รายงานว่า การใช้มูลโคแห้งบรรจุในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4–6 นิ้ว ยาว 50 ซม. สามารถลด H_2S ได้ 80–90%

ดินเบา (Diatomaceous earth) เป็นวัตถุดิบที่ได้จากการทับถมของซากสัตว์ชนิดไดอะตอม ประกอบด้วยซิลิกา ดินเบาจากจังหวัดลำปาง ซึ่งมีซิลิกาในรูปไดอะตอมปริมาณ 30–50% มีผิวเป็นประจุลบ จะสามารถจับกับ $Fe(OH)_3$ ที่มีประจุเป็นบวกได้ดี (วิชัย, 2529)

สุชนและคณะ (2554) ได้พัฒนากระบวนการผลิตสารตัวกลางในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เคลือบด้วย Ferric hydroxide และพัฒนาชุดกำจัดก๊าซ CO_2เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนให้สูงกว่า 92% (ดังภาพที่ 1) ด้วยการผลิตเม็ด Ferric hydroxide ที่ได้จากการใช้วัสดุตัวกลางต่างกัน คือ ดินเบาและทราย เปรียบเทียบกับฝอยเหล็ก พบว่า ทรายมีประสิทธิภาพดีกว่าอีกสองชนิด เมื่อนำเม็ดที่ผลิตได้นี้ไปใส่ในชุดตัวกรองดูดซับ (ท่อ) ที่มีความยาวต่างกัน (50, 75 และ 100 ซม.) ท่อที่มีความยาว 100 ซม. สามารถดูดซับ H_2S ดีกว่าท่อที่มีความยาว 75 และ 50 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ 4) จากนั้นได้ทำชุดดูดซับแบบท่อคู่ขนาดผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1 เมตร ปรากฏว่าเหมาะสมกับระบบครัวเรือน ทั้งนี้เพราะสามารถลดกลิ่นเหม็นจาก H_2S ได้เกือบ 100% ประกอบกับเมื่อนำไปใช้งานจะใช้เพียงครั้งละ 1 ท่อ ใช้จนกระทั่งตัวกลางดูดซับตรงช่องด้านบน (สำหรับไว้สังเกต) เปลี่ยนเป็นสีดำแล้วจึงสลับไปใช้อีกท่อหนึ่ง คือ ท่อที่ 2 ขณะเดียวกันให้เปิดวาล์วอากาศเข้าและออกของชุดเดิม (ท่อที่ 1) ไว้เพื่อให้ออกซิเจนช่วยทำปฏิกิริยา oxidation เปลี่ยนตัวกลางดูดซับให้กลับสู่สภาพเดิม ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้งหนึ่ง วิธีนี้จะทำให้ตัวกลางดูดซับมีสภาพพร้อมใช้งานได้ใหม่ โดยไม่ต้องนำออกมาตากแดดหรือสัมผัสอากาศภายนอกท่อ การทำงานก็จะหมุนเวียนกันไปเรื่อยๆ มีความสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ต้องเสียเวลา แรงงาน และไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม ทั้งนี้ ชุดดูดซับดังกล่าวมีต้นทุนต่ำมาก ราคาจำหน่ายไม่เกิน 2,000 บาท/ชุด ส่วนการผลิตชุดกรอง CO_2 ได้ใช้แบบสเปรย์น้ำหมุนเวียนใน Column ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 1.80 เมตร ภายในบรรจุตาข่ายพลาสติกเป็นสื่อเพิ่มการกระจายของละอองน้ำให้สัมผัสกับก๊าซมากที่สุด และทำการแยก CO_2 ออกจากน้ำด้วยการพ่นน้ำเป็นละอองไหลผ่านอากาศในท่อเปิด หมุนเวียนกลับมาเข้าสู่ระบบด้วยปั๊มน้ำแบบแช่ขนาด 3/4 นิ้ว (ภาพที่ 2) เมื่อนำไปทดสอบกับก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสุกรแม่พันธุ์ จะช่วยลดได้ 17.7% จาก 74.5% กล่าวคือ สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนขึ้นเป็น 92.2%



ภาพที่ 1 การกำจัด H_2S และ CO_2และแนวทางการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 3 ผลของชนิดสารตัวกลางต่อการดูดซับ H_2S ในก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ต่างชนิดกัน

	แม่พันธุ์	สุกรขุน	นกกระทาไข่
ปริมาณ H_2S (ppm)			
ก่อนผ่านตัวกรอง	480.00	1,773.33	3,508.67
หลังผ่านตัวกรอง ยาว 50 ซม.			
ดินเบาผสมปูนซีเมนต์เทา	101.67	408.33	913.33
ทรายผสมปูนซีเมนต์เทา	3.67	24.33	93.33
ฝอยเหล็ก	146.67	668.33	1,750.00
H_2S ที่ลดลง (%)			
ดินเบาผสมปูนซีเมนต์เทา	77.95^{b}	77.30^{b}	74.02^{bc}
ทรายผสมปูนซีเมนต์เทา	99.25^{a}	98.58^{a}	97.33^{a}
ฝอยเหล็ก	69.44^{c}	62.51^{d}	49.93^{e}

$^{a-c}$ Means with the same letter are not significantly different ($P<0.01$)

ตารางที่ 4 ผลของความยาวชุดดูดซับที่ทำด้วยทรายผสมปูนซีเมนต์เทาในการลด H_2S ในก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ต่างชนิดกัน

	สุกรแม่พันธุ์	สุกรขุน	นกกระทาไข่
ปริมาณ H_2S (ppm)			
ก่อนผ่านตัวกรอง	480.00	1,773.33	3,508.67
หลังผ่านชุดกรอง 50 ซม.	3.67	24.33	93.33
หลังผ่านชุดกรอง 75 ซม.	1.33	18.33	36.00
หลังผ่านชุดกรอง 100 ซม.	0.00	7.67	14.00
H_2S ที่ลดลง (%)			
หลังผ่านชุดกรอง 50 ซม.	99.25^{abc}	98.58^{c}	97.32^{d}
หลังผ่านชุดกรอง 75 ซม.	99.79^{a}	98.93^{bc}	98.98^{bc}
หลังผ่านชุดกรอง 100 ซม.	100.00^{a}	99.56^{ab}	99.60^{ab}

$^{a-d}$ Means with the same letter are not significantly different ($P<0.01$)

ภาพที่ 2 ชุดดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 และ 8 นิ้ว

2.3 การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าและปั๊มน้ำ

การใช้ชุดผสมก๊าซชีวภาพที่ทำด้วยพีวีซี สวมเข้าช่องไอดีของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 5.5 แรงม้า จะใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.8–1.0 ลูกบาศก์เมตร ในการสูบน้ำ และ 1.2–1.4 ลูกบาศก์เมตร ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 3 กิโลวัตต์ (องอาจ, 2555) และปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดสูงสุด 3 กิโลวัตต์ จะแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 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 (สุชนและคณะ, 2561) โดยที่เครื่องยนต์ขนาด 2 แรงม้าสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ จะใช้ ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (Bui Van Ga *et al.*, 2008) โดยที่เครื่องยนต์ขนาดใหญ่สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจะใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.71-1.4 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 kWh (ปริพัฒน์ และสุภวัฒน์, 2555); Souza *et al.*, 2016)

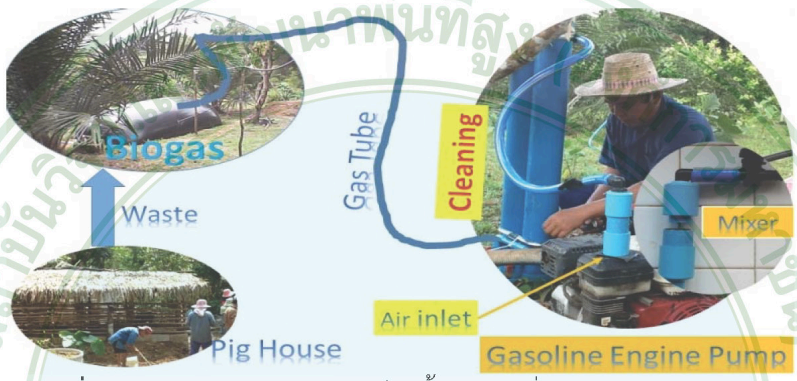
Surata*et al.* (2014) ทำการศึกษาการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เล็กสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าโดยได้กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยฝอยเหล็กอัดแน่นในท่อ พบว่า การใช้ก๊าซชีวภาพ 100% ขณะที่เครื่องเดินเรียบจะมีความเร็วรอบเท่ากับ 1,500 rpm เมื่อทำการผสมก๊าซ LPG 5,10,15 และ 20% จะทำให้เครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูงขึ้นเท่ากับ 1,600, 1,750, 2,600 และ 3,600 rpm ตามลำดับ และเครื่องยนต์ดีเซลที่ให้กำลังสูงสุด 8.5 kW เมื่อดัดแปลงเครื่องยนต์ (SI) มาใช้ก๊าซชีวภาพ 100% โดยที่ก๊าซชีวภาพมีปริมาณก๊าซมีเทน 60% และคาร์บอนไดออกไซด์ 40% เครื่องยนต์จะให้กำลังที่ 7 kW ซึ่งมีประสิทธิภาพลดลง 17.64% (Gomez Montoya, J.P. *et al.*, 2015)

อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง (Air Fuel Ratio) สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้การสันดาปหรือการระเบิดในกระบอกนั้นสมบูรณ์ที่สุดของน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 14.5:1 นั่นคือมวลอากาศ 14.7 กรัมต่อมวลน้ำมัน 1 กรัมส่วนก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 10:1 (Ayade and Latey, 2016) ซึ่งมีค่าสูงกว่าการศึกษาของ สุชนและคณะ (2561) พบว่าการจุดติดของเครื่องยนต์ขนาด 6.5-7 แรงม้าสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและสูบน้ำจะใช้ก๊าซชีวภาพที่มีความเข้มข้นก๊าซมีเทน (CH_4) 63% 1 ส่วนต่ออากาศ 2-4 ส่วน ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับ Irvan *et al.* (2016) ที่ได้รายงานว่า อัตราส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพ สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 1 กิโลวัตต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 5 หลอด มีค่าเทากับ 4.5:1 โดยวัดกำลังไฟฟ้าได้ 424.74 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 3,898.5 rpm เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันจะใช้อากาศ 13 ส่วน

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟในก๊าซชีวภาพที่ใช้กับเครื่องยนต์ต้องมีค่าน้อยกว่า 500 ppm และการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ต้องมีสัดส่วนของก๊าซมีเทน 5-15%; Mihic (2004), 12.6±1.25-21.0±2.06%; สุชนและคณะ (2561)

การใช้ก๊าซชีวภาพของเครื่องปั้มน้ำแบบ 3 กระบอกสูบ มีขนาดท่อดูดน้ำ 1 นิ้ว มีอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพแปรผันตามรอบของเครื่องยนต์ 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 และปั้มน้ำแบบหอยโข่ง ขนาดท่อดูดน้ำ 2 นิ้ว อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพจะแปรผันตามรอบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ เมื่อใช้ความเร็วรอบที่ 80, 85, 90 และ 100% ของเครื่องยนต์ จะใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.31, 1.37, 1.44 และ 1.56 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยจะสูบน้ำได้ 23.3- 28.4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (สุชนและ

คณะ, 2561) สอดคล้องกับ Abdel-Galil *et al.* (2008) ที่ได้รายงานว่าเครื่องยนต์ขนาด 149 ซีซี ให้กำลังสูงสุด 3.3 แรงม้า และ ให้กำลังในการทำงานต่อเนื่อง 1.9 แรงม้า (1.425 kW) ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm เพื่อปั๊มน้ำในการเกษตรจะใช้ก๊าซชีวภาพประมาณ 1.18 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพของปั๊มน้ำ 58%



ภาพที่ 3 ขบวนการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ (องอาจ, 2555)

Highland Research and Development Institute (Public Organization)