การศึกษาความเป็นไปได้ของหญ้าเขียวสยามเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าชีวมวลอย่างยั่งยืน

A FEASIBILITY STUDY OF KIEW SIAM GRASS AS FUEL ON THE SUSTAINABLE ELECTRICITY BIOMASS GENERATION

สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์[1*] ธัญกร คำแวง[2] และ เพ็ญประภา สุวรรณะ[3]

[1,2,3] สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงอนุสาวรีย์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

*ผู้ติดต่อ: somkiat.kr@spu.ac.th, โทรศัพท์ 0646979982

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลผลิต ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ชีวมวลอัดเม็ด และชีวมวลที่ผลิตจากหญ้าเนเปียร์เขียวสยาม (pennisetum purpureum Schumach) จุดประสงค์หลักทั้งหมดเพื่อผลิตวัสดุพลังงานเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าชีวมวลอย่างยั่งยืน ซึ่งประการแรกหญ้าเขียวสยามให้ผลผลิตสูงสุดถึง 105 ตันต่อไร่ต่อปี ประการที่สองมีการวิเคราะห์การทดลองนี้ด้วยวิธี VDI 4630 โดยแสดงศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพได้ 456 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของวัตถุอินทรีย์แห้ง หรือ 144 ลูกบาศก์เมตรต่อตันหญ้าสด อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่าหญ้าสดมีศักยภาพในการผลิตแก๊สมีเทน 257 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของวัตถุอินทรีย์แห้ง หรือ 81 ลูกบาศก์เมตรต่อตันหญ้าสด ประการที่สามการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าในช่วงอายุ 120 วัน ผลการวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐาน ASTM D7582-15 พบว่าค่า Gross Calorific Value และ Net Calorific Value คือ 4,137.9 และ 3,815.0 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีความชื้นรวมเท่ากับร้อยละ 10.10 และความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1,222.73 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประการสุดท้ายหญ้านี้ก็ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยช่วงการตัดที่อายุ 120 วัน ผลการวิเคราะห์โดยวิธี ASTM D5865-11a พบว่าค่า Gross Calorific Value และ Net Calorific Value ที่น้ำหนักแห้ง เท่ากับ 4,406 และ 4,109 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม หรือ 18.44 และ 17.19 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

คำหลัก: หญ้าเนเปียร์; ไบโอแก๊ส; ชีวมวลอัดเม็ด; ชีวมวล

ABSTRACT

The objectives of this research were to study on yield, biogas production potential, grass pellet, and biomass were produced from Napier Kiew Siam grass (pennisetum purpureum Schumach). All of main points need to be produced energy material as fuel on the sustainable electricity biomass generation. The first result gave the maximum yield of the grass at 105 tons/rai/year. The second, this experiments by analysis VDI 4630 test method were shown biogas production potential at 456 m^3/ton ODS or 144 m^3/ton fresh grass. However, the result found that the fresh grass had the potential to produce the specific methane yield at 257 m^3 CH_4/ton ODS or 81 CH_4/ton fresh grass. The third, grass pellet was produced from the

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

grass was cutting interval at 120 days. The analysis results were found by ASTM D7582-15 standard method showed that the Gross Calorific Value and Net Calorific Value as received basis and as determined basis were 4,137.9 and 3,815.0 kcal/kg respectively. In addition, the total moisture was 10.10% and the bulk density was 1222.73 kg/m^3. Finally, this grass was used as fuel on biomass power plant was cutting interval at 120 days. The analysis results by ASTM D5865-11a method showed that the Gross Calorific Value and the Net Calorific Value as dry basis were 4,406 and 4,109 kcal/kg or 18.44 and 17.19 MJ/kg respectively.

Keywords: Napier Grass; Biogas; Grass Pellet; Biomass

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ ด้านอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะด้านพลังงานมีการนำพลังงานมาใช้ทุกรูปแบบประกอบด้วย พลังงานจากถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ พลังงานจากชีวมวล เช่น ฟืน ถ่าน และ ไบโอแก๊ส พลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานจากลม กระแสน้ำจากเขื่อนเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า พลังงานจากแสงแดด พลังงานจากสิ่งเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ชานอ้อย ขี้เลื่อย รวมถึงพลังงานจากนิวเคลียร์ พลังงานเหล่านี้มีข้อจำกัดในการนำมาใช้ประโยชน์ และนับวันจะหมดไปจากโลก รวมทั้งต้นทุนต่อหน่วยมีราคาแตกต่างกันมาก ตลอดจนเทคโนโลยีในการนำพลังงานมาใช้ก็มีต้นทุนที่แตกต่างกัน มีทั้งประโยชน์และโทษแตกต่างกัน บางอย่างผลิตได้เองในประเทศบางอย่างก็ผลิตไม่ได้ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ

การสร้างความมั่นคงด้านพลังงานชีวภาพ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาประเทศและความเข้มแข็งภาคเกษตร มีแนวทางการดำเนินงานในการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากพืชพลังงาน โดยการวิจัยและพัฒนาพันธุ์พืชพลังงานที่เหมาะสมกับประเทศและให้ผลผลิตสูง และการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้น รวมทั้งศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตพลังงานจากพืช เพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้นในปริมาณพืชเท่าเดิม ตลอดจนส่งเสริมการวิจัยพืชพลังงานอื่นที่ไม่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหาร ทั้งนี้ก็เพื่อลดปัญหาภาวะขาดแคลนในพืชที่ใช้เป็นทั้งวัตถุดิบในการผลิตอาหารและพลังงาน แนวทางหนึ่งที่หลายประเทศกำลังดำเนินการอยู่ในเวลานี้ คือการนำพืชผลทางการเกษตรซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีในประเทศมาผลิตให้เกิดเป็นพลังงานทดแทน

ซึ่งนอกจากช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศลงได้แม้เป็นเพียงบางส่วน แต่ก็นับว่าเป็นประโยชน์มหาศาลกับประเทศ เพราะแทนที่จะสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศทั้งหมดแต่กลับนำเงินนั้นมาเป็นแหล่งรายได้หมุนเวียนให้กับเกษตรกรในประเทศ ช่วยให้มีวิถีทางเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพืชผลทางการเกษตรที่มีราคาตกต่ำและล้นตลาด ทั้งยังช่วยลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่ง สถานการณ์พลังงานในปัจจุบันที่นับวันจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอกมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นความผันผวนของภาวะเศรษฐกิจและการเงินโลก ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก การพัฒนาแหล่งพลังงานและเทคโนโลยีใหม่ๆ ทิศทางการกำหนดนโยบายของทั่วโลก หรือแม้กระทั่งการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน [1]

หญ้าเนเปียร์เขียวสยาม (*pennisetum purpureum Schumach)* เป็นพันธุ์หญ้าเนเปียร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับด้านพลังงานในครั้งนี้ ซึ่งเป็นพันธุ์เนเปียร์ที่ถูกปรับปรุงพันธุ์และจดทะเบียนคุ้มครองพันธุ์พืชใหม่โดยบริษัท เอ็นไวร์ ควอลิตี้ จำกัด เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 โดยหญ้าเขียวสยามปลูกและดูแลง่ายไม่มีปัญหาเรื่องโรคแมลงและเป็นพืชที่โตเร็วสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งซึ่งปลูกพืชชนิดอื่นที่เกษตรกรนิยมปลูก

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

เช่น มันสำปะหลังและหรืออ้อยแล้วไม่ได้ผล ทั้งนี้หญ้าเขียวสยามยังให้ผลผลิตได้สูงถึง 105 ตันต่อไร่ต่อปี ถ้าตัดที่อายุ 6 เดือนต่อครั้ง สามารถใช้ในกรณีนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (grass pellet) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) แบบเผาตรงในโรงไฟฟ้าชีวมวล (direct combustion) สำหรับหญ้าเขียวสยามที่อายุประมาณ 3-4 เดือน ก็ยังเหมาะสำหรับที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักเป็นแก๊สชีวภาพ (biogas) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าได้ด้วยเช่นกัน แต่ไม่พบงานวิจัยที่ใช้หญ้าเนเปียร์เป็นเชื้อเพลิงไปใช้จริงในโรงไฟฟ้าชีวมวลและแก๊สชีวภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อเป็นต้นแบบในการเพิ่มมูลค่าพืชท้องถิ่นที่ไม่สามารถทำรายได้หรือสร้างรายได้ต่ำให้แก่เกษตรกรโดยการแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนที่มีตลาดรับซื้อยั่งยืน

2.2 เพื่อเป็นต้นแบบในการแก้ปัญหาการขาดความมั่นคงในเชิงปริมาณ คุณภาพ และราคาของวัตถุดิบแก่โรงไฟฟ้าชีวมวล

3. ประโยชน์การวิจัย

3.1 ได้รูปแบบแนวทางการผลิตวัตถุดิบชีวมวล (พืชพลังงานเขียวสยาม) เพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมายในการแก้ปัญหาการขาดวัตถุดิบที่ใช้เป็นชีวมวล

3.2 เป็นการนำเสนอแนวทางการจัดการผลิตพืชพลังงานแบบยั่งยืน โดยการวิจัยทดลองและการวิเคราะห์วัตถุดิบในพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในกระบวนการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลและโรงไฟฟ้าไบโอแก๊ส

4. คำถามการวิจัย

การพิจารณาถึงข้อจำกัดของการปลูกพืชโตเร็ว เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตอบข้อซักถามของผู้เกี่ยวข้องว่าข้อจำกัดของพืชโตเร็วหลายชนิดเมื่อนำมาใช้เป็นพืชพลังงาน (เชื้อเพลิง) เทียบกับหญ้าเนเปียร์ ได้ดังนี้

1. ใช้ได้เฉพาะเป็นวัตถุดิบในการผลิตชีวมวลอัดเม็ด (wood pellet) เผาตรง (biomass) แต่ใช้ในการผลิตไบโอแก๊ส (biogas) ไม่ได้ ซึ่งถ้าเป็นหญ้าเนเปียร์สามารถทำได้ทั้งหมดที่กล่าวมา

2. ถ้าใช้พืชโตเร็วเป็นวัตถุดิบในการทำเป็นเชื้อเพลิง biomass เพื่อป้อนโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเท่าไรก็ตามจะต้องใช้จำนวนพื้นที่เพาะปลูกมากกว่าการใช้หญ้าเนเปียร์เป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เพราะรอบการตัดของพืชโตเร็วต้องใช้เวลานานกว่าหญ้าเนเปียร์

3. เนื่องจากอายุของพืชโตเร็วตั้งแต่ปลูกจนถึงการตัดเพื่อนำมาใช้งานใช้เวลานาน 2 – 7 ปี ทำให้ผู้ลงทุนโดยเฉพาะเกษตรกรต้องขาดสภาพคล่องไม่มีเงินทุนหมุนเวียนในการดำเนินการ ต้องรอรายได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้เกิดปัญหาการกู้ยืมเงินนอกระบบซึ่งมีผลกระทบตามมาอีกมากมาย

4. การเก็บเกี่ยวผลผลิตต้องมีค่าใช้จ่ายที่แพงมากทั้งโดยใช้แรงงานคนและหรือใช้เครื่องจักร แรงงานคนก็หายาก ส่วนเครื่องจักรเกษตรกรไม่สามารถจัดซื้อด้วยตนเองเพราะมีราคาแพง

5. ผลผลิตต่อไร่ต่อปีก็ไม่เกิดแรงจูงใจให้เกษตรกรลงทุนเพื่อไปทำการเพาะปลูก

6. พืชโตเร็วบางชนิดได้รับการทดสอบจากเกษตรกรมาแล้วหลายปีและไม่ค่อยประสบความสำเร็จ เช่น กระถินยักษ์ ยูคาลิปตัส พบว่ามีเกษตรกรหลายรายได้ทำการรื้อแปลงปลูกที่ปลูกพืชชนิดอื่นมามากแล้ว ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อการนี้เป็นจำนวนมาก

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

5. วิธีดำเนินการวิจัย

ตามที่หญ้าเนเปียร์พันธุ์เขียวสยามเป็นพืชพลังงานที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเชื้อเพลิง เพื่อเตรียมใช้เป็นพลังงานทางเลือกในการนำไปใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลต่อไปนี้

5.1. ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ (biogas)

เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์และสายพันธุ์ที่รู้จักกันดีที่มีมาก่อนพันธุ์เขียวสยาม คือพันธุ์ปากช่อง 1 โดยในเบื้องต้นได้มีการปรับปรุงพันธุ์ให้เป็นพันธุ์ใหม่เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ [2] ซึ่งหญ้าเนเปียร์แต่ละสายพันธุ์ก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดทางเลือกในการพิจารณาจึงได้นำสายพันธุ์ปากช่อง 1 ที่มีคนรู้จักและทำการทดสอบก่อนนี้แล้วมาทดสอบเปรียบเทียบกับพันธุ์เขียวสยาม โดยวิธีการเดียวกันคือการใช้ถังกวนแบบต่อเนื่อง (CSTR) ซึ่งภายในระบบมีอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้จุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic ที่เจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิ 52-55 องศาเซลเซียส อายุของหญ้า 4 เดือนเท่ากันทั้งสองชนิด โดยใช้หญ้าสับที่มีความยาว 1- 2 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ผลโดยวิธี VDI 4630

ภาพที่ 1 การตัดสับหญ้าเนเปียร์ อายุ 4 เดือน เพื่อนำไปทำการทดสอบผลิตแก๊สชีวภาพ

5.2 ศักยภาพการผลิตชีวมวลอัดเม็ด (grass pellet)

นำหญ้าเนเปียร์เขียวสยามมาสับด้วยเครื่องหั่นย่อยซึ่งมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 80-85 แล้วนำหญ้าที่สับละเอียดแล้วไปตากแดดและวัดความชื้นจนกระทั่งได้ความชื้นในช่วงที่ต้องการ แล้วนำมาอัดเม็ดแบบอัดเย็น โดยไม่ใช้ตัวประสาน พบว่า หญ้าเนเปียร์สามารถอัดเป็นเม็ดเองได้ ทั้งนี้ต้องนำหญ้าเนเปียร์ที่สับละเอียดแล้วตากแดดประมาณ 1-2 วัน เพื่อให้ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 10-15 แล้วจึงนำมาอัดด้วยเครื่องอัดเม็ดมีกำลังมอเตอร์ 30 กิโลวัตต์ ปริมาณการอัดเม็ด 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังภาพที่ 2

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

5.3 ศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass)

นำหญ้าพันธุ์เขียวสยามมาเป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อทดสอบเผาที่โรงไฟฟ้าชีวมวล ขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ของบริษัท มหาชัยกรีนเพาเวอร์ จำกัด ตำบลชัยมงคล อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร เมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม 2560 มีรายละเอียดดังนี้

ภาพที่ 2 แสดงการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์เขียวสยาม

5.3.1 พืชพลังงานเขียวสยามตัดสับมีความยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร ความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 40-45 ของน้ำหนัก ค่าความชื้นโดยรวมของเขียวสยามสับที่วัดได้บางส่วนที่อยู่รอบกองไม่เกิดการทับถม มีความชื้นจะไม่เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แต่ส่วนที่อยู่บริเวณกลางกองนั้นมีการทับถมก็จะเกิดความร้อนสะสมและเกิดการคายน้ำทำให้ความชื้นที่วัดได้เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แต่เนื่องจากหญ้าเขียวสยามที่ได้ส่งมามีการตากแห้งจนความชื้นก่อนที่จะส่งมาที่โรงไฟฟ้าเพื่อทดสอบมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนักอยู่แล้ว และเมื่อลองโปรยหญ้าเขียวสยามสับดูก็ยังมีการร่วนไม่ติดมือ ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลำเลียงแบบที่จะไม่ติดในระบบ

5.3.2 ทางโรงไฟฟ้าได้ใช้สูตรการผสมเชื้อเพลิงสำหรับการเผาหญ้าเขียวสยาม 2 สูตรต่อไปนี้ คือสูตรที่ 1: ไม้สับผสมกับหญ้าเขียวสยามสับในสัดส่วนที่เท่าๆกัน คือ 1:1 โดยปริมาตร สูตรที่ 2: ใช้หญ้าเขียวสยามสับเผาเป็นเชื้อเพลิงร้อยละ 100 ระยะเวลาการทดลองนั้น ได้นับเริ่มต้นจากการลำเลียงเชื้อเพลิงสูตรที่ 1 เข้าระบบโดยนำเข้าสู่ห้องเผาและเดินระบบใช้เวลาเพียง 30 นาที เชื้อเพลิงจึงเต็มสายพาน จนระยะเวลาในการเผาเชื้อเพลิงสูตรที่ 1 นั้นใช้เวลาประมาณ 20 นาที และจึงได้ทำการลำเลียงเชื้อเพลิงสูตรที่ 2 เข้าห้องเผาไหม้ และทำการเผาต่อเนื่องรวมระยะเวลาการเผาเชื้อเพลิงสูตรที่ 2 ทั้งสิ้นประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที [3]

6. ผลวิจัย

6.1 ผลวิจัยศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ

การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ได้จากการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างเนเปียร์เขียวสยามและปากช่อง 1 โดยวิธี VD4630 ได้ผลดังนี้คือ ตารางที่ 1 พบว่าปริมาณเฉลี่ยไบโอแก๊สต่อตันสดและปริมาณแก๊สมีเทนเฉลี่ยของพันธุ์เขียวสยาม 144 และ 81 ลูกบาศก์เมตรต่อตันสด ตามลำดับ ส่วนผลผลิตแก๊สเฉลี่ยที่ได้จากพันธุ์ปากช่อง 1 คือ 94 และ 53 ลูกบาศก์เมตรต่อตันสด ตามลำดับ ในกรณีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเป็น

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

แก๊สพิษและกัดกร่อนระบบต้องกำจัดทิ้งนั้น ปรากฏว่าแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากพันธุ์เขียวสยามมีปริมาณน้อยกว่าที่เกิดจากพันธุ์ปากช่อง 1 สำหรับตารางที่ 2 เป็นการแสดงผลถึงร้อยละของวัตถุดิบแห้งที่ประกอบด้วยสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์โดยเฉพาะองค์ประกอบที่สารอินทรีย์แห้ง (ODM) ที่เป็นสารที่จะถูกสลายกลายเป็นแก๊สมีเทนก็พบในวัตถุดิบที่ได้จากพันธุ์เขียวสยามเฉลี่ยถึงร้อยละ 31.5 และในตารางที่ 3 แสดงถึงร้อยละที่เท่ากันของวัตถุแห้งที่ได้จากทั้งสองสายพันธุ์ พบว่าปริมาณไบโอแก๊สเป็นลูกบาศก์เมตรต่อตันสดที่ได้จากพันธุ์เขียวสยามมีปริมาณมากกว่าไบโอแก๊สที่ได้จากพันธุ์ปากช่อง 1

ตารางที่ 1 ผลของปริมาณแก๊สที่ได้เปรียบเทียบระหว่างพันธุ์เขียวสยามกับพันธุ์ปากช่อง 1

ลักษณะเฉพาะ องค์ประกอบภายในของหญ้า	พันธุ์เขียวสยาม ค่าเฉลี่ย/ค่าสูงสุด	พันธุ์ปากช่อง 1 ค่าเฉลี่ย/ค่าสูงสุด
Biogas yield / ton fresh matter	144/147 (Nm^3/Ton_{FM})	94/ 95 (Nm^3/Ton_{FM})
Methane yield /ton fresh matter	81/83 (Nm^3/Ton_{FM})	53/54 (Nm^3/Ton_{FM})
Methane content in biogas (%)	56	56
H_2S content in biogas (ppm)	110/ 185 (ppm)	289/ 302 (ppm)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบองค์ประกอบของวัตถุแห้งระหว่างพันธุ์เขียวสยามกับพันธุ์ปากช่อง 1

ลักษณะเฉพาะองค์ประกอบภายใน (ร้อยละ)	พันธุ์เขียวสยาม ค่าเฉลี่ย/ค่าสูงสุด	พันธุ์ปากช่อง 1 ค่าเฉลี่ย/ค่าสูงสุด
Dry Matter Content (DM)	32.3/ 34	20.8/ 21.5
Organic Dry Matter Content of DM	97.5/ 98	95.6/ 96.5
Organic Dry Matter Content (ODM)	31.5/ 33	19.9/ 21

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณของไบโอแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างพันธุ์เขียวสยามกับพันธุ์ปากช่อง 1 เนื่องมาจากองค์ประกอบของวัตถุแห้งที่เท่ากัน

องค์ประกอบวัตถุแห้ง ร้อยละ	พันธุ์เขียวสยาม ไบโอแก๊สต่อตันหญ้าสด	พันธุ์ปากช่อง 1 ไบโอแก๊สต่อตันหญ้าสด
15	74 (Nm^3/Ton_{FM})	68 (Nm^3/Ton_{FM})
20	104 (Nm^3/Ton_{FM})	90 (Nm^3/Ton_{FM})
25	130 (Nm^3/Ton_{FM})	112 (Nm^3/Ton_{FM})
28	146 (Nm^3/Ton_{FM})	126 (Nm^3/Ton_{FM})

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

6.2. ผลวิจัยศักยภาพการผลิตชีวมวลอัดเม็ด

พิจารณาลักษณะทางกายภาพจากผลการทดลองจะได้เม็ดเชื้อเพลิงที่มีสีน้ำตาล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร และมีความยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 2.69 กรัมต่อเม็ด และได้ชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าเขียวสยามทั้งหมดจำนวน 42 กิโลกรัม จากน้ำหนักสด 220 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 19.09 ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าพันธุ์เขียวสยาม

การวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าเนเปียร์เขียวสยามในการวิเคราะห์ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ได้จากเครื่องวิเคราะห์ทางกายภาพ Leco TGA701 ตามมาตรฐาน ASTM D7582-15 และการวิเคราะห์หาค่าความร้อนต่ำสุด ค่าความร้อนสูงสุด ได้จากเครื่องมือที่เรียกว่าบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ IKA Model C 5000 PKG โดยผลวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้จากการส่งชีวมวลตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี [4] ดังแสดงผลในตารางที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัตถุดิบที่เป็นชีวมวลต่างชนิดกัน

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบในการใช้วัตถุดิบต่างชนิดที่นำมาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ด

การทดสอบ	หน่วย	เปลือกยูคา	ไม้ + เปลือกยูคา	ชานอ้อย+ เปลือกยูคา	แกลบ	ขี้เลื่อย	ทะลายปาล์ม	เขียวสยาม
ความชื้น	ร้อยละ	10.6	10.4	9.3	7.7	9.1	13.2	10.10
เถ้า	ร้อยละ	14	4.7	4.8	17.8	2.5	7.6	7.82
สารที่ระเหยได้	ร้อยละ	59.6	67.5	69.9	59.6	74.7	63.9	67.14
คาร์บอนคงตัว	ร้อยละ	15.8	17.4	16	14.9	13.7	15.3	14.94
ค่าความร้อน	Cal/g	3,302	3914	4099	3493	4118	3780	4137.90
แบบ gross	MJ/kg	13.82	16.38	17.15	14.62	17.23	15.82	17.31

หมายเหตุ : ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 7582-10 $^{\varepsilon 1}$, ASTM D 5373-08, ASTM D 3179-02$^{\varepsilon 1}$, ASTM D 3177-02 (2007), ASTM D 3176-09 และ ASTM D 5865-11a

6.3 ผลวิจัยศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล

จากผลการวิจัยที่ต้องการทราบถึงศักยภาพหรือความเป็นไปได้ในการใช้หญ้าเนเปียร์เขียวสยามเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เป็นแบบเผาตรง ให้ผลที่มีความเป็นไปได้คือ

6.3.1 ผลการการลำเลียงเพื่อเผาเชื้อเพลิงทั้ง 2 สูตร ในการลำเลียงเชื้อเพลิงทั้ง 2 สูตรเข้าระบบนั้นมีผลดังต่อไปนี้คือเชื้อเพลิงสูตรที่ 1: หญ้าเขียวสยามสับผสมกับไม้สับอย่างละเท่าๆกันและมีการลำเลียงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยผ่านส่วนระบบลำเลียง ตั้งแต่การตักเข้า Hopper นำลงมาสู่ Belt Conveyor รวมถึงการไหลเข้าไปในห้องเผาไหม้ ไม่มีการติดขัดแต่อย่างใด สำหรับเชื้อเพลิงสูตรที่ 2: เขียวสยามสับร้อยละ 100 มีการการลำเลียงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ผ่านส่วนระบบลำเลียงตั้งแต่การตักเข้า Hopper นำลงมาสู่ Belt Conveyor รวมถึงการไหลเข้าในห้องเผาไหม้ ไม่มีการติดขัดเลย สรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องการลำเลียงเข้าสู่ห้องเผาไหม้สำหรับการใช้สูตรการเผาเชื้อเพลิงทั้งสองสูตร

6.3.2 ผลของการให้ค่าความร้อนและให้กระแสไฟฟ้าในการเผาเชื้อเพลิงทั้ง 2 สูตร พบว่าความร้อนในห้องเผาไหม้และการผลิตไฟฟ้าของการเผาเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นเป็นไปได้ด้วยดีทั้งการเผาไหม้ ทั้งการลำเลียง การให้ค่าความร้อนและการผลิตไฟฟ้าไม่แตกต่างจากการใช้ไม้สับเพียงอย่างเดียวหรือผสมกัน โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้คือเชื้อเพลิงสูตรที่ 1: ความร้อนในห้องเผาไหม้และลักษณะการเคลื่อนที่รวมถึงการปรับตั้งค่าต่างๆมีการปรับตั้งแตกต่างจากเดิมไม่มาก ระดับการผลิตไฟฟ้าได้ถึง 9.1-9.3 เมกะวัตต์ โดยไม่ตกสามารถรักษากำลังการผลิตไฟฟ้าได้อยู่ในระดับ 9.0-9.3 เมกะวัตต์ ไปจนถึงช่วงเปลี่ยนเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงสูตรที่ 2: ความร้อนในห้องเผาไหม้และลักษณะการเคลื่อนที่รวมถึงการปรับตั้งค่าต่างๆมีการปรับตั้งแตกต่างจากเดิมไม่มาก โดยมีการลดลมตรงช่วงแรกลงเล็กน้อยเพื่อไม่ให้หญ้าเขียวสยามปลิว และได้มีการควบคุมโดยรักษาระดับความดันไอน้ำให้อยู่ในช่วง 91-93 บาร์ โดยระดับการผลิตไฟฟ้า 9.1-9.3 เมกะวัตต์ต่อเนื่องโดยไม่ตก สามารถรักษากำลังการผลิตไฟฟ้าได้ อยู่ในระดับ 9.0-9.3 เมกะวัตต์ อย่างเสถียรไปจนถึงช่วงเปลี่ยนเชื้อเพลิง จากการนำหญ้าเขียวสยามที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินการนำไปใช้จริงในการวางแผนการผลิตในเงื่อนไขต่างๆที่เกี่ยวกับความชื้น จำนวนตันต่อเมกะวัตต์ของโรงไฟฟ้าที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 5 [5]

ตารางที่ 5 ค่าความร้อน (Heating Value) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์เขียวสยามที่ความชื้นแตกต่างกัน

ความชื้น (ร้อยละ)	น้ำหนักเขียวสยาม (ร้อยละ)	ค่าความร้อนสูงสุด (kcal/kg)	ค่าความร้อนต่ำสุด (kcal/kg)	ปริมาณหญ้า Ton/MW
15	33	3,745.21	3,406.31	18.8
30	45	3,084.42	2,703.62	23.6
40	65	2,643.92	2,235.16	28.8
45	75	2,423.64	2,000.93	32.0
50	83	2,203.37	1,766.70	36.20
67-70	100	1,454.48	9,70.32	65.98

7. อภิปรายผล

กรณีที่ 1: ใช้หญ้าเขียวสยามเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอแก๊สนั้นช่วงอายุหญ้าที่เหมาะสมคือ 3–4 เดือน ดังนั้นในรอบ 1 ปี จึงตัดได้ถึง 3 ครั้งมีผลผลิตประมาณ 60-75 ตันต่อไร่ต่อปี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และการดูแลให้น้ำ การคำนวณน้ำหนักพืชพลังงานที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อปีสำหรับโรงไฟฟ้าไบโอแก๊สเพื่อเป็นข้อมูลในการเตรียม

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

จัดหาวัตถุดิบหลักคือปริมาณของหญ้าเนเปียร์เขียวสยามให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งานได้ตลอดทั้งปี ปริมาณของไบโอแก๊สต่อตันสดของพืชพลังงานเขียวสยามนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบวัตถุแห้งของหญ้าเขียวสยามหรือหญ้าเนเปียร์อื่นขณะที่เก็บเกี่ยวเราสามารถคำนวณหาปริมาณไบโอแก๊สจากน้ำหนักตันสดของหญ้าเขียวสยามโดยอ้างอิงที่องค์ประกอบของวัตถุแห้งร้อยละ 25 ปริมาณไบโอแก๊สที่เกิดขึ้นคือ 130 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของหญ้าสด อ้างอิงที่องค์ประกอบของวัตถุแห้งร้อยละ 28 ปริมาณไบโอแก๊สที่เกิดขึ้นคือ 146 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของหญ้าสด ถ้าเป็น Biogas Plant ในเชิงพาณิชย์ภายใต้กระบวนการ thermophilic โดยใช้เทคโนโลยีของ Germany/NORTH TEC technology จุดคุ้มค่าสูงสุดคือโรงไฟฟ้าขนาด 3.0 เมกะวัตต์ Biogas Plant ที่ใช้หญ้าเขียวสยามที่มีวัตถุแห้ง ร้อยละ 25-28 ใช้ถัง CSTR เพียง 1 ถัง โดยป้อนหญ้าเขียวสยามเป็นวัตถุดิบจำนวน 260 - 280 ตันสดต่อวัน [6]

กรณีที่ 2: การผลิตชีวมวลอัดเม็ดก็มีขึ้นในประเทศไทยมาเป็นเวลานานพอสมควรโดยใช้วัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นไม้เบญจพรรณที่มีราคาไม่แพงมากนัก รวมถึงวัตถุดิบที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น ทะลายปาล์ม ขี้เลื่อย ชานอ้อย เปลือกไม้ เป็นต้น แต่ปัญหาหลักคือวัตถุดิบหลักที่ได้จากไม้เบญจพรรณซึ่งนำไปใช้เป็นไม้สับเป็นที่ต้องการของโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาตรงจนแทบไม่มีเหลือมาให้ใช้ในการผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ดในเชิงพาณิชย์ สำหรับวัตถุดิบอื่นๆที่ได้กล่าวมาแล้วแม้ว่าสามารถที่จะผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้เช่นเดียวกัน ในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมก็มีวัตถุดิบส่งป้อนไม่เพียงพอและสม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหาขาดแคลน ดังนั้นหญ้าเนเปียร์เขียวสยามซึ่งสามารถผลิตได้เพียงพอต่อการใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการนี้ โดยมีค่าความร้อนเมื่อนำมาเปรียบเทียบในตารางที่ 4 ที่เป็นข้อมูลจากโครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต [7] ปรากฏว่าให้ค่าความร้อนแบบ Gross ของหญ้าเขียวสยามสูงถึง 4137.90 Cal/g หรือ 17.31 MJ/kg ซึ่งสามารถนำมาแก้ปัญหาแทนเชื้อเพลิงอื่นๆจากตารางที่ 4 ได้ด้วย

กรณีที่ 3: ผลการทดลองเผาหญ้าเขียวสยามสับที่ความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 40-45 ให้ผลดีมากใกล้เคียงกับที่ใช้ไม้สับเพียงอย่างเดียว โดยโรงไฟฟ้าสามารถใช้หญ้าเขียวสยามสับเป็นเชื้อเพลิงในปริมาณที่น้อยกว่าการไม้สับเมื่อเทียบกันกับเขียวสยามเป็นเชื้อเพลิงร้อยละ 100 จะใช้ประมาณ 200-220 ตันต่อวันเท่านั้น จากข้อมูลของโรงไฟฟ้าจะใช้ไม้สับอยู่ประมาณ 12 ตันต่อชั่วโมงหรือประมาณ 288 ตันต่อวัน ในขณะที่ใช้หญ้าเขียวสยามสับร้อยละ 100 เป็นเชื้อเพลิงเพียง 9 ตันต่อชั่วโมงหรือ 216 ตันต่อวันเท่านั้นทำให้เกิดการลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิงลงไปได้มากอย่างเห็นได้ชัด จึงสรุปได้ว่าหากใช้เขียวสยามสับที่ความชื้นเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 40 ผสมกับไม้สับหรือใช้เขียวสยามสับร้อยละ 100 ทำให้ผลิตไฟฟ้าอย่างเสถียรดังเดิมแต่มีการใช้เชื้อเพลิงที่น้อยลง จึงทำให้เกิดการลดต้นทุนได้อย่างเป็นนัยยะสำคัญ ขี้เถ้าที่ออกมาจาก Grate มีปริมาณร้อยละ 4-5 โดยมีลักษณะที่แตกต่างจากการใช้ไม้สับคือมีลักษณะเป็นถ่าน (carbon) ที่ยังเผาไหม้ไม่หมดซึ่งอาจเกิดจากการปรับตั้งค่าต่างๆยังไม่ได้เหมาะสมที่สุดสำหรับการเผาไหม้ด้วยหญ้าเขียวสยามสามารถนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงต่อได้ ซึ่งหากได้ทำการเผาจริงเป็นระยะยาวและได้ลองตั้งค่าที่เหมาะสมแล้วน่าจะทำให้ใช้เชื้อเพลิงลดลงได้จากการทดสอบครั้งนี้ลงได้อีก

8. ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าพืชพลังงานที่เป็นเนเปียร์จะมีข้อได้เปรียบพืชโตเร็วชนิดอื่นอยู่หลายประเด็นแต่พืชโตเร็วก็สามารถที่จะเข้ามาเสริมให้ความมั่นคงของพลังงานชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกให้เกิดความมั่นคงยั่งยืนอยู่เหมือนกัน โดยข้อดีของพืชโตเร็วบางชนิดในการนำไปใช้เป็นพืชพลังงานคือ

1. พืชโตเร็วบางชนิด เช่น เสม็ดขาว ซึ่งเป็นพืชโตเร็วที่สามารถทนต่อสภาพดินเค็ม ดินเป็นกรด หรือน้ำท่วมขังในสภาพที่เป็นป่าพรุได้ ซึ่งกรณีนี้ถ้าใช้เป็นพื้นที่ปลูกหญ้าเนเปียร์จะไม่ได้ผล

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

2. พืชโตเร็วบางชนิด เช่น ไผ่ อาจมีมูลค่าสูงกว่านำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น เช่น ถ่านชาร์ เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ

3. พืชโตเร็วหลายชนิดสามารถนำไปปลูกแทรกตามพื้นที่ต่างๆได้ เช่น เชิงเขาที่มีความลาดชันที่มีหินก้อนโตๆ กระจายอยู่เต็มพื้นที่ แต่ถ้าจะปลูกในเชิงอุตสาหกรรมเป็นพืชเชิงเดี่ยวก็จะมีข้อจำกัดดังที่กล่าวมาข้างต้น

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ของหญ้าพันธุ์เขียวสยาม เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าชีวมวลอย่างยั่งยืนฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือด้านห้องปฏิบัติการและการทดสอบจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี Dr.Nils Rottmann (BIOENERGY Germany) และบริษัท มหาชัยกรีนเพาเวอร์ จำกัด ที่ได้สนับสนุนการทดสอบจริงในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

10. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. (2557). *สัมมนาเชิงวิชาการเพื่อระดมความคิดเห็นในการศึกษา ภาพอนาคตพลังงานไทย 2558.* สืบค้น 3 พฤษภาคม 2565. จาก http://www.eri.chula.ac.th/eri-main/wp-content/uploads/2014/08/PP-Discuss-on-Thailand-Energy-Scenario-17-7-14.pdf

[2] ไกรลาส เขียวทอง. (2556). *คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1.* (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครราชสีมา: หจก. มิตรภาพการพิมพ์ 1995.

[3] สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์. (2560). *การนำหญ้าเนเปียร์เขียวสยามเป็นวัตถุดิบทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อการทดสอบเผาตรงที่โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์.* กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอ็นไวร์ควอลิตี้ จำกัด. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

[4] ฤชากร พรมศิริ. (2561). *การศึกษาสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าเนเปียร์.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[5] พล คงเสือ, กรรมการบริหาร บริษัท เพาเวอร์โฮลดิ้ง จำกัด มหาชน. *ค่าความร้อนของหญ้าเนเปียร์พันธุ์เขียวสยามที่ความชื้นแตกต่างกัน*. สัมภาษณ์. 7 ธันวาคม 2563.

[6] Nils Rottmann. (2021). *Gas yield test of napier grass in accordance to VDI 4630*. Bangkok: Bio Energy Co., Ltd. (Unpublished Manuscript)

[7] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต.* กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555.

“บทความเผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”