

ศักยภาพการแปรรูปหญ้าเนเปียร์ไปเป็นพลังงาน

สุริยะ สมศิริ^{1,*} และ สุวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Email : yha435@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการแปรรูปหญ้าเนเปียร์ไปเป็นพลังงาน 3 รูปแบบคือ แก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอล จากพื้นที่การเพาะปลูกต่อไร่ในระยะเวลา 1 ปี ที่เท่ากัน โดยใช้วิธีการศึกษา 2 วิธี คือ ใช้สมการทางเคมีหรือค่าทางทฤษฎีและใช้ผลการทดลองจากงานวิจัย โดยทั้ง 2 วิธี พิจารณาการเปลี่ยนเป็นพลังงานทั้ง 3 รูปแบบ แล้วนำมาคำนวณหาพลังงานที่ได้ ผลการศึกษาพบว่า แก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการที่สามารถแปรรูปหญ้าเนเปียร์ไปเป็นพลังงานได้มากที่สุดคือ 304.92 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี(กรณีคำนวณทางทฤษฎี) และ 203.01 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี (กรณีคำนวณจากผลการทดลอง) รองลงมาคือ การแปรรูปเป็นแก๊สชีวภาพ มีค่าพลังงานที่ได้จากทางทฤษฎีและจากผลการทดลองเป็น 158.70 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี และ 88.66 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ ส่วนการแปรรูปเป็นไบโอเอทานอลมีค่าพลังงานที่ได้ต่ำที่สุดคือ 103.15 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี และ 84.8 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี จากวิธีทางทฤษฎีและจากผลการทดลองตามลำดับ

คำสืบค้น

แก๊สซิฟิเคชัน, แก๊สชีวภาพ, ไบโอเอทานอล, หญ้าเนเปียร์

Potentials of Transforming Napier Grass to Energy

Suriya Somsiri^{1,} and Supawat Vivanpatarakij²*

¹Energy Technology and Management, Graduate School-Interdisciplinary Program, Chulalongkorn University.

²Energy Research Institute, Chulalongkorn University.

**Email : yha435@gmail.com*

ABSTRACT

Potentials of transforming napier grass to energy, per Rai per year, were comparatively studied among the following 3 transforming technologies : gasification, digestion to biogas, and fermentation to bioethanol. The study was divided to 2 methods, theoretical and experimental methods. Theoretical method used chemical equation or theoretical value to calculate the energy from each transforming technology. Experimental method used the result of experiment from research to calculate the energy from each transforming technology. The study found that gasification exhibited the highest transforming potential of 304.92 gigajoules per Rai per year (by theoretical method) and 203.01 gigajoules per Rai per year (by experimental method). The second was biogas of which 158.70 gigajoules per Rai per year from theoretical method and 88.66 gigajoules per Rai per year from experimental method. The lowest potential was obtained from bioethanol of which 103.15 and 84.8 gigajoules per Rai per year from theoretical and experimental method, respectively.

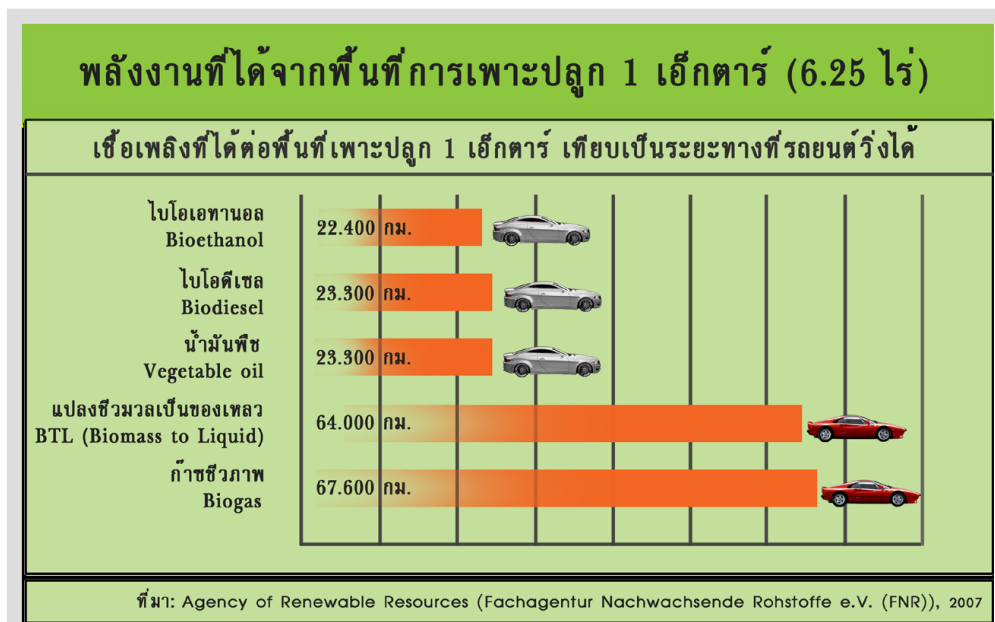
Keywords

Gasification, Biogas, Bioethanol, Napier Grass

1. บทนำ

สืบเนื่องจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น พลังงานหมุนเวียนจึงมีบทบาทมากขึ้น ทั่วโลกให้ความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่หลายประเทศให้การยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย มีปริมาณกักตุนต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล และใช้แล้วไม่หมดไป ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีความสำคัญกับพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น โดยมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทน (AEDP 2012-2021) ซึ่งให้ความสำคัญกับพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะพลังงานจากชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีปริมาณชีวมวลจากสิ่งเหลือใช้ทางการเกษตรค่อนข้างมาก ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีศักยภาพในการเพาะปลูกพืชพลังงาน โดยพืชพลังงานที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากมีศักยภาพสูงและต้นทุนต่ำคือหญ้าเนเปียร์

ปัจจุบันกระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานมีหลากหลายรูปแบบ เช่น กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ แก๊สซิฟิเคชัน การแปลงชีวมวลเป็นของเหลว(BTL) ไบโอดีเซล ไบโเอทานอล เป็นต้น จากรูปที่ 1 แสดงถึงการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากการเพาะปลูก 1 เฮกตาร์ หรือ 6.25 ไร่ ของกระบวนการต่างๆ โดยเทียบเป็นระยะทางที่รถวิ่งได้ ซึ่งตารางนี้ทำให้เกิดแรงจูงใจในงานวิจัยที่ว่าถ้าหากใช้หญ้าเนเปียร์มาวิเคราะห์หาพลังงานที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ผลที่ได้จะเป็นอย่างไรและสอดคล้องกับผลในตารางหรือไม่ โดยที่การศึกษานี้จะทำการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากการแปรรูปหญ้าเนเปียร์เป็นพลังงานด้วยเทคโนโลยี 3 รูปแบบ ได้แก่ แก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพ และไบโเอทานอล



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากการเพาะปลูก 1 เฮกตาร์ หรือ 6.25 ไร่ [1]

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของหญ้าเนเปียร์

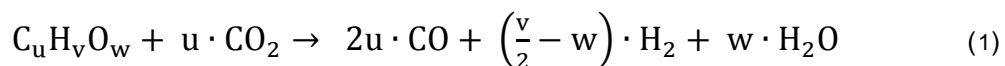
2.2 ศึกษาเงื่อนไขและปัจจัยของหญ้าเนเปียร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตเป็นแก๊สซิฟเคชัน แก๊สชีวภาพ และไบโอเอทานอล

2.3 วิเคราะห์หาปริมาณแก๊สซิฟเคชัน แก๊สชีวภาพ และไบโอเอทานอลจากหญ้าเนเปียร์ที่ได้จากพื้นที่การเพาะปลูกต่อไร่ในระยะเวลา 1 ปี

สำหรับแนวทางการวิเคราะห์ จะทำการวิเคราะห์ 2 แนวทางคือ ทางทฤษฎี และจากข้อมูลผลการทดลอง โดยการวิเคราะห์ทางทฤษฎี จะใช้สมการเคมีหรือค่าทางทฤษฎี มาคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ได้ ส่วนการวิเคราะห์จากผลการทดลอง เป็นการนำผลการทดลองจากงานวิจัยของแต่ละรูปแบบ มาคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ได้ หลังจากนั้นจะนำค่าจากผลการทดลอง มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎี ในรูปแบบเชิงประสิทธิภาพ

2.3.1 วิเคราะห์หาปริมาณแก๊สซิฟเคชันจากทางทฤษฎี

ใช้สมการเคมีของแก๊สซิฟเคชันด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังสมการที่ 1 [5] ในการคำนวณหาปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2)



โดยที่ขั้นต้นแรก จะคำนวณหาจำนวนอะตอมต่อโมล (u , v และ w) โดยให้อยู่ในรูปของสูตรโมเลกุลอย่างง่าย ที่มีจำนวนอะตอมต่อโมลของคาร์บอนเท่ากับ 1 โดยใช้ข้อมูล Elemental analysis จากตารางที่ 1 แล้วคำนวณหามวลโมเลกุลของหญ้าเนเปียร์ ดังแสดงผลในตารางที่ 1 หลังจากนั้นคำนวณหาโมล (kmol) ต่อไร่ต่อปีของหญ้าเนเปียร์ โดยใช้สูตร กิโลโมล = น้ำหนักหญ้าเนเปียร์ (14 ตันต่อไร่ต่อปี) / มวลโมเลกุลของหญ้าเนเปียร์ แล้วนำกิโลโมลต่อไร่ต่อปีหญ้าเนเปียร์ที่ได้ รวมถึง u , v และ w แทนค่าลงในสมการที่ 1 เพื่อหาปริมาณ CO และ H_2 ในหน่วยกิโลโมลต่อไร่ต่อปี ดังผลการคำนวณในตารางที่ 2 หลังจากนั้นแปลงหน่วยกิโลโมลต่อไร่ต่อปีของ CO และ H_2 เป็นกิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และแปลงเป็นพลังงานในหน่วยจิกะจูลต่อไร่ต่อปี โดยที่ค่าพลังงาน CO และ H_2 เท่ากับ 10.1 MJ/kg(HHV) และ 142 MJ/kg(HHV) ตามลำดับ ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณหาสูตรโมเลกุลอย่างง่ายและมวลโมเลกุลของหญ้าเนเปียร์

ธาตุ	ร้อยละ	จำนวนโมล	สูตรโมเลกุลอย่างง่าย	มวลโมเลกุล
Carbon	42.40 (wt%)	3.53 (42.4/12)	1 (3.53/3.53)	12 (1*12)
Hydrogen	5.96 (wt%)	5.96 (5.96/1)	1.69 (5.96/3.53)	1.69 (1.69*1)
Oxygen	45.32 (wt%)	2.83 (45.32/16)	0.80 (2.83/3.53)	12.83 (0.80*16)

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณหาปริมาณของ CO และ H₂

สมการ	$C_uH_vO_w +$	$u*CO_2 \rightarrow$	$2u*CO +$	$((v/2)-w)*H_2 +$	$w*H_2O$
จำนวนโมล	1	1	2 (2*1)	0.04 ((1.69/2)-0.8)	0.8
กิโลโมลต่อไร่ต่อปี	528.04 (14000/26.51)	528.04	1056.08 (528.04*2)	22.04 (528.04*0.04)	423.3 (528.04*0.8)

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณหาค่าพลังงานของ CO และ H₂ ที่ได้จากทางทฤษฎี

ผลที่ได้	CO	H ₂	รวม
กิโลโมลต่อไร่ต่อปี	1056.08	22.04	1078.12
กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี	29570.18 (1056.08*(12+16))	44.09 (22.04*2)	29614.25
จิกะจูลต่อไร่ต่อปี	298.66	6.26	304.92

2.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณแก๊สซีพีเคชันจากข้อมูลผลการทดลอง

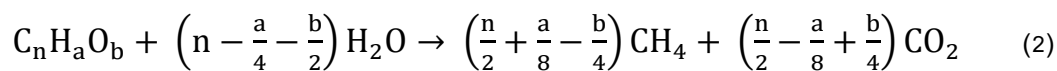
จากการศึกษาไม่พบผลการทดลองการผลิตแก๊สซีพีเคชันจากหญ้าเนเปียร์ ดังนั้นจึงใช้ผลการทดลองจากหญ้าที่มีคุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกันคือ หญ้า Switchgrass โดยมีอัตราการผลิต CO, H₂ และแก๊สมีเทน (CH₄) มีค่าเท่ากับ 0.63, 0.03 และ 0.07 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมชีวมวล ตามลำดับ [6] แล้วนำอัตราการผลิตมาคูณกับน้ำหนักหญ้าเนเปียร์ (14 ตันต่อไร่ต่อปี) เพื่อหาปริมาณ CO, H₂ และ CH₄ ในหน่วยกิโลกรัมต่อไร่ต่อปีแล้วแปลงเป็นหน่วยพลังงานจิกะจูลต่อไร่ต่อปี ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณหาค่าพลังงานของ CO, H₂ และ CH₄ ที่ได้จากการทดลอง

ผลที่ได้	CO	H ₂	CH ₄	รวม
อัตราการผลิตแก๊ส (กิโลกรัมต่อกิโลกรัมชีวมวล)	0.63	0.03	0.07	0.73
กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี	8820 (14000*0.63)	420 (14000*0.03)	980 (14000*0.07)	10220
จิกะจูลต่อไร่ต่อปี	89.08	59.64	54.29	203.01

2.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณแก๊สชีวภาพจากทางทฤษฎี

ใช้สมการเคมีของแก๊สชีวภาพ ดังสมการที่ 2 [7] ในการคำนวณหาปริมาณ CH_4



โดยที่ขั้นตอนแรกจะคำนวณหาน้ำหนัก Volatile Solid (VS) ต้นต่อไร่ต่อปี จากน้ำหนักแห้ง 11.61 ต้นต่อไร่ต่อปี โดยใช้ข้อมูลของ Proximate analysis จากตารางที่ 11 หักความชื้น (Moisture) ออก จะได้ % น้ำหนัก VS เท่ากับ $80.10\% (100 \times 72.85 / [72.58 + 9.68 + 8.35])$ แล้วนำไปคูณกับ 11.61 จะได้น้ำหนัก VS เท่ากับ 9.3 ต้นต่อไร่ต่อปี จากนั้นคำนวณหาโมลต่อไร่ต่อปีของน้ำหนัก VS โดยใช้มวลโมเลกุลของหญ้าเนเปียร์ที่หาได้ในข้อ 1 แล้วนำโมลต่อไร่ต่อปีของน้ำหนัก VS ที่ได้ รวมถึง n , a และ b (เท่ากับ u , v และ w ที่หาได้ในข้อ 1) แทนค่าลงในสมการที่ 1 เพื่อหาปริมาณ CH_4 แล้วแปลงเป็นหน่วยพลังงานจิกะจูลต่อไร่ต่อปี ผลการคำนวณหาโมลและพลังงานของ CH_4 เป็นดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณหาโมลของ CH_4

สมการ	$\text{C}_n\text{H}_a\text{O}_b +$	$(n - (a/4) - (b/2)) * \text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$((n/2) + (a/8) - (b/4)) * \text{CH}_4 +$	$((n/2) - (a/8) + (b/4)) * \text{CO}_2$
จำนวนโมล	1	0.18	0.51	0.49
กิโลโมลต่อไร่ต่อปี	350.75 (9300/26.51)	62.25	179.04	171.72

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณหาพลังงานของ CH_4 ที่ได้จากทางทฤษฎี

ผลที่ได้	ค่า
กิโลโมลต่อไร่ต่อปี	179.04
ปริมาณ CH_4 ที่ได้ (กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี)	2864.60 (179.04 * (12+4))
ค่าพลังงานของ CH_4 ที่ได้ (จิกะจูลต่อไร่ต่อปี)	158.70

2.3.4 วิเคราะห์หาปริมาณแก๊สชีวภาพจากข้อมูลผลการทดลอง

ใช้ข้อมูลอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพหรือ CH_4 คือ $0.24 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{kgVS}$ [8] โดยการคูณกับน้ำหนัก VS ที่ได้จากข้อ 2.2.3 จะได้ปริมาตร CH_4 ในหน่วยของลูกบาศก์เมตร (m^3) ต่อไร่ต่อปี หลังจากนั้นแปลงเป็นหน่วยกิโลกรัมต่อไร่ต่อปีโดยนำไปคูณกับความหนาแน่นของ CH_4 (0.717 kg/m^3) แล้วแปลงเป็นหน่วยพลังงานจิกะจูลต่อไร่ต่อปีโดยนำไปคูณกับค่าพลังงานของ CH_4 ซึ่งมีค่าเป็น 55.4 MJ/kg (HHV) ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณหาค่าพลังงานของ CH_4 ที่ได้จากการทดลอง

ผลที่ได้	ค่า
อัตราการผลิตแก๊ส ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kgVS}$)	0.24
ปริมาณ CH_4 ที่ได้ (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี)	2231.91 (0.24×9300)
ปริมาณ CH_4 ที่ได้ (กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี)	1600.28
ค่าพลังงานของ CH_4 ที่ได้ (จิกะจูลต่อไร่ต่อปี)	88.66

2.3.5 วิเคราะห์หาปริมาณไบโอเอทานอลจากทางทฤษฎี

ขั้นตอนแรก คำนวณหาปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของน้ำหนักแห้ง โดยใช้ข้อมูลของปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จากตารางที่ 3 ซึ่งมีค่าเป็น 43.34% และ 20.38% ตามลำดับคูณกับน้ำหนักแห้ง 14 ตันต่อไร่ต่อปี หลังจากนั้นคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ จากผลการทดลองคือ 76.19% [9] แล้วคำนวณหาปริมาณเอทานอลโดยใช้ข้อมูลอัตราการผลิตเอทานอลทางทฤษฎีคือ 0.511 กรัมต่อกรัมน้ำตาลรีดิวซ์ [9] หลังจากนั้นแปลงปริมาณเอทานอลที่ได้จากหน่วยกิโลกรัมต่อไร่ต่อปีเป็นหน่วยพลังงานจิกะจูลต่อไร่ต่อปีโดยที่ค่าพลังงานของเอทานอลเท่ากับ 29.7 MJ/kg (HHV) ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณหาค่าพลังงานของเอทานอลที่ได้จากทางทฤษฎี

ผลที่ได้	ค่า
ปริมาณรวมเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี)	8920.8
เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์	76.19%
น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ (กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี)	6796.76
อัตราการผลิตเอทานอลทางทฤษฎี (กรัมต่อกรัมน้ำตาลรีดิวซ์)	0.511
ปริมาณเอทานอลที่ได้ (กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี)	3473.14
ค่าพลังงานของเอทานอลที่ได้ (จิกะจูลต่อไร่ต่อปี)	103.15

2.3.6 วิเคราะห์หาปริมาณไบโอเอทานอลจากข้อมูลผลการทดลอง

ใช้ข้อมูลอัตราผลิตเอทานอลคือ 0.204 กรัมต่อกรัมน้ำหนักชีวมวลแห้ง [10] มาคำนวณหาปริมาณเอทานอลในหน่วยของกิโลกรัมต่อไร่ต่อปี โดยการคูณกับน้ำหนักแห้ง 14 ตันต่อไร่ต่อปี หลังจากนั้นแปลงปริมาณเอทานอลที่ได้เป็นหน่วยพลังงานจะจุลต่อไร่ต่อปี ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณหาค่าพลังงานของเอทานอลที่ได้จากผลการทดลอง

ผลที่ได้	ค่า
ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี)	14000
อัตราการผลิตเอทานอล (กรัมต่อกรัมน้ำหนักชีวมวลแห้ง)	0.204
ปริมาณเอทานอลที่ได้ (กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี)	2855.12
ค่าพลังงานของเอทานอลที่ได้ (จิกะจุลต่อไร่ต่อปี)	84.8

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

3.1 ข้อมูลหญ้าเนเปียร์

3.1.1 ข้อมูลพื้นฐาน การเพาะปลูกและผลผลิตที่ได้ของหญ้าเนเปียร์

จากการศึกษาข้อมูลการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อปีจะแตกต่างกันตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าความถี่ในการตัดที่น้อยที่สุดคือ 5 สัปดาห์ จะได้น้ำหนักแห้งรวมน้อยที่สุดคือ 10.62 ตันต่อไร่ต่อปี เมื่อความถี่ในการตัดเพิ่มขึ้น น้ำหนักแห้งรวมต่อไร่ต่อปี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นความถี่ในการตัดที่ 7 สัปดาห์ มีน้ำหนักแห้งรวมน้อยกว่าความถี่ในการตัด 6 สัปดาห์เล็กน้อย โดยที่ความถี่ในการตัด 8 สัปดาห์จะมีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุดคือ 14 ตันต่อไร่ต่อปี

ตารางที่ 10 ผลของความถี่ของการตัดต่อผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ [2]

ความถี่ในการตัด (สัปดาห์)	น้ำหนักแห้งรวม (ตัน/ไร่/ปี)
5	10.62
6	11.61
7	11.35
8	14.00

3.1.2 ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของหญ้าเนเปียร์

จากการศึกษาข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ พบว่าหญ้าเนเปียร์มีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 11 และมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวดังตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ [3]

Property	Value
Proximate analysis	
Moisture (wt%)	9.43
Volatile solid (VS) (wt%)	72.58
Ash (wt%)	9.68
Fixed carbon (wt%)	8.35
Elemental analysis	
Carbon (wt%)	42.4
Hydrogen (wt%)	5.96
Oxygen (wt%)	45.32
Nitrogen (wt%)	1.71
Sulfur (wt%)	0.09
Organic chlorine (wt%)	0.24

ตารางที่ 12 คุณลักษณะของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 [4]

หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1	ระยะเวลาในการตัด (วัน)		
	30	40	60
Moisture (wt.%)	89.77	87.68	76.05
Hemicellulose (db.%)	24.61	23.76	20.38
Cellulose (db.%)	31.32	39.11	43.34
Lignin (db.%)	2.03	4.14	10.27

จากตารางที่ 12 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการตัดเพิ่มขึ้น ความชื้น (Moisture) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จะมีค่าลดลง โดยที่ระยะเวลาในการตัด 60 วัน มีค่าความชื้นและเฮมิเซลลูโลสน้อยที่สุดคือ 76.05% และ 20.38% ตามลำดับ ส่วนเซลลูโลส (Cellulose) และลิกนิน (Lignin) จะมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตัดเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา

ในการตัด 60 วัน มีเซลลูโลสและลิกนินมากที่สุดคือ 43.34% และ 10.27% ตามลำดับ อีกทั้งที่ระยะเวลาในการตัด 60 วัน มีปริมาณรวมของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสและลิกนิน มากที่สุดคือ 73.99% (ผลรวมของ 20.38%, 43.34% และ 10.27%)

3.2 เงื่อนไขและปัจจัยของหญ้าเนเปียร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตเป็นแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพ และไบโอเอทานอล

จากการศึกษา ไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการผลิตเป็นแก๊สซิฟิเคชันที่ระยะเวลาการตัดหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลของระยะเวลาการตัดที่ 8 สัปดาห์ หรือประมาณ 60 วันดังตารางที่ 10 มาใช้ในการคำนวณหาการผลิตเป็นแก๊สซิฟิเคชัน เนื่องจากมีปริมาณน้ำหนักแห้งรวมต่อไร่ต่อปีมากที่สุดคือ 14 ตัน ส่วนแก๊สชีวภาพ พบว่า หญ้าเนเปียร์ที่ระยะเวลาการตัด 45 วัน มีค่าอัตราการผลิตแก๊สมีเทนมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลของระยะเวลาการตัดที่ 6 สัปดาห์ หรือประมาณ 45 วัน สำหรับไบโอเอทานอล เลือกใช้ข้อมูลของระยะเวลาการตัดที่ 8 สัปดาห์ หรือประมาณ 60 วัน เนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมากที่สุด ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอเอทานอล

3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สที่ได้ของแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอลจากการแปรรูปหญ้าเนเปียร์

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สที่ได้ของแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอลจากการแปรรูปหญ้าเนเปียร์ดังตารางที่ 13 พบว่า CO ที่ได้ของแก๊สซิฟิเคชันมีปริมาณมากที่สุดทั้งที่ได้จากทางทฤษฎีและจากผลการทดลอง คือ 29.57 ตันต่อไร่ต่อปี และ 8.82 ตันต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ รองลงมาคือ C_2H_5OH ของไบโอเอทานอล และ CH_4 ของแก๊สชีวภาพ โดยที่ C_2H_5OH ของไบโอเอทานอลมีปริมาณมากกว่า CH_4 ของแก๊สชีวภาพทั้งจากทางทฤษฎีและจากข้อมูลผลการทดลอง ส่วน H_2 และ CH_4 ที่ได้ของแก๊สซิฟิเคชันมีปริมาณน้อยที่สุด

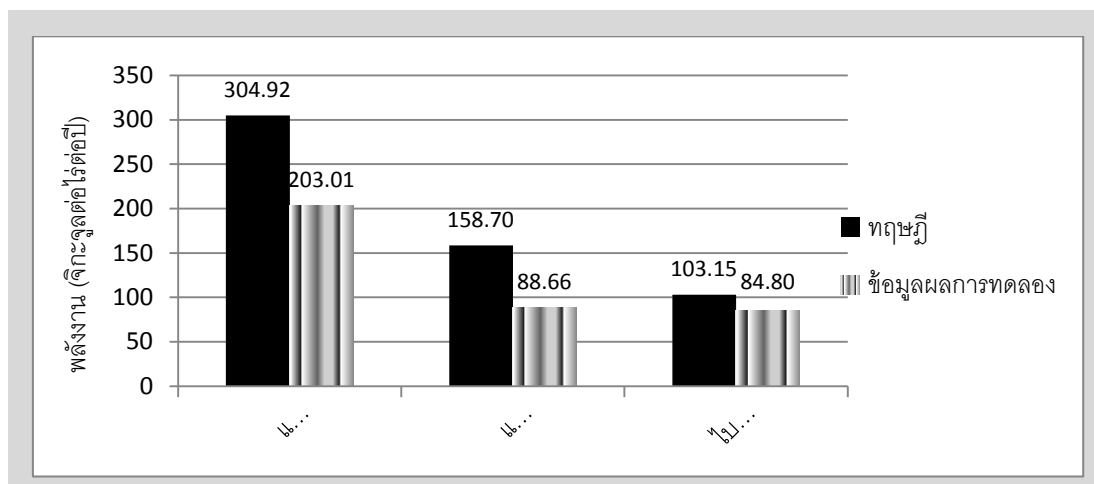
ตารางที่ 13 ปริมาณแก๊สที่ได้ของแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอลจากการแปรรูปหญ้าเนเปียร์

กระบวนการแปรรูป	ชนิดของแก๊ส	ปริมาณแก๊สที่ได้ทางทฤษฎี (ตันต่อไร่ต่อปี)	ปริมาณแก๊สที่ได้จากผลการทดลอง (ตันต่อไร่ต่อปี)
แก๊สซิฟิเคชัน	CO	29.57 ¹	8.82
	H ₂	0.04 ¹	0.42
	CH ₄	-	0.98
แก๊สชีวภาพ	CH ₄	2.86	1.60
ไบโอเอทานอล	C ₂ H ₅ OH	3.47	2.86

ปริมาณที่ได้จากแก๊สซิฟิเคชันด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

3.4 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพลังงานแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอลที่ได้จากการแปรรูปหญ้าเนเปียร์จากทางทฤษฎีและจากข้อมูลผลการทดลอง

จากรูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาพลังงานที่ได้ทางทฤษฎี พบว่าพลังงานแก๊สซิฟิเคชันที่ได้มีค่ามากที่สุดคือ 304.92 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี รองลงมาคือ แก๊สชีวภาพ ซึ่งมีค่าพลังงานเป็น 158.70 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี คิดเป็น 52.05% ของพลังงานแก๊สซิฟิเคชัน ส่วนไบโอเอทานอลมีค่าพลังงานน้อยที่สุด คือ 103.15 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี คิดเป็น 33.83% ของพลังงานแก๊สซิฟิเคชัน ส่วนผลการวิเคราะห์หาพลังงานที่ได้จากข้อมูลผลการทดลองพบว่าพลังงานแก๊สซิฟิเคชันมีค่ามากที่สุดคือ 203.01 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี รองลงมาคือ แก๊สชีวภาพ ซึ่งมีค่าพลังงานเป็น 88.66 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี คิดเป็น 43.67% ของพลังงานแก๊สซิฟิเคชัน ส่วนไบโอเอทานอล มีค่าพลังงานน้อยที่สุดและมีค่าพลังงานน้อยกว่าแก๊สชีวภาพเล็กน้อย คือ 84.80 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี คิดเป็น 41.77% ของพลังงานแก๊สซิฟิเคชัน



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพลังงานแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอลที่ได้จากทางทฤษฎีและจากข้อมูลผลการทดลอง [6], [8], [10]

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า แก๊สซิฟิเคชันมีศักยภาพในการแปรรูปหญ้าเนเปียร์ไปเป็นพลังงานมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอล โดยพลังงานแก๊สซิฟิเคชันที่ได้ คือ 304.92 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี จากทางทฤษฎี และ 203.01 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี จากข้อมูลผลการทดลอง มีค่ามากกว่าพลังงานแก๊สชีวภาพและไบโอเอทานอลที่ได้จากทางทฤษฎีและข้อมูลผลการทดลองทั้งหมด แก๊สชีวภาพมีศักยภาพรองลงมาจากแก๊สซิฟิเคชัน โดยมีค่าพลังงานที่ได้จากทางทฤษฎีและจากข้อมูลผลการทดลองเป็น 158.70 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี และ 88.66 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ ส่วนไบโอเอทานอลมีศักยภาพต่ำที่สุด โดยมีค่าพลังงานที่ได้จากทางทฤษฎีเป็น 103.15 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี และมีค่าพลังงานที่ได้จากข้อมูลผลการทดลองซึ่งมีค่าน้อยกว่าพลังงานแก๊สชีวภาพจากข้อมูลผลการทดลองเล็กน้อย คือ 84.8 จิกะจูลต่อไร่ต่อปี

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

บรรณานุกรม

- [1] พิชัย ถิ่นสันติสุข, "Energy Saving," สมาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2553
- [2] สมพงษ์ เทศประสิทธิ์ และ Buelon R. (Pete) Moss, "อิทธิพลของความถี่ในการตัดต่อผลผลิตและคุณค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์เขตร้อน," ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2542
- [3] Mei-Kuei Lee, Wen-Tien Tsai, Yi-Lin Tsai, Sheau-Horng Lin, "Pyrolysis of napier grass in an induction-heating reactor," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 88 : 110–116, 2010
- [4] Jirapat Chuchottaworn and Pruk Aggarangsi, "Heat production of Napier Pakchong1 grass pellet from gasification process," Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University, 2014
- [5] Sunggyu Lee and Y. T. Shah, "Biofuels and Bioenergy : Process and Technologies," Taylor & Francis Group, 2013
- [6] Madhura Sarkar, Ajay Kumar, Jaya Shankar Tumuluru, Krushna N. Patil, Danielle D. Bellmer, "Gasification performance of switchgrass pretreated with torrefaction and densification," *Applied Energy* 127 : 194-201, 2014
- [7] Arthur Wellinger, Jerry Murphy and David Baxter, "The biogas handbook : Science production and application," Woodhead Publishing Limited, 2013
- [8] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, "โครงการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพจากหญ้าชนิดต่างๆ ในประเทศไทย," 2555
- [9] Jinaporn Wongwatanapaiboon, Kunn Kangvansaichol, Vorakan Burapatana, Ratanavalee Inochanon, Pakorn Winayanuwattikun, Tikamporn Yongvanich, and Warawut Chulalaksananukul, "The potential of cellulosic ethanol production from grasses in thailand," *journal of biomedicine and biotechnology*, Hindawi Publishing Corporation, 2012
- [10] Masahide Yasuda, Hayato Nagai, Keisuke Takeo, Yasuyuki Ishii and Kazuyoshi Ohta, "Bio-ethanol production through simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of a low-moisture anhydrous ammonia (LMAA)-pretreated napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach)," Yasuda et al. SpringerPlus, 2014