

Research Article

การสร้างสมการพยากรณ์สำหรับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี :

กรณีศึกษา วัชพืชบริเวณเขตอำเภอเมือง จังหวัดตาก

The Equation for the Theoretical Ethanol Yield:

A Case Study of Weed in Muang District, Tak Province

บุญทรริก รอดบำรุง^a และ เนรัญชรา เกตุมี^{b*}Boondarick Rodbumrung^a and Narunchara Katemee^{b*}^a กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000^a Department of Sciences, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak 63000, Thailand.^b กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000^b Department of Mathematics, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak 63000, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2023-11-24

Revised: 2024-03-07

Accepted: 2024-05-13

Keywords:

weed;

cellulose;

ethanol;

multiple regression;

forecasting of the theoretical ethanol yield

This research studied the diversity of weed species, the chemical compositions of weeds and the theoretical ethanol yields. The weed samples were collected in Muang District, Tak Province, by the quadrat sampling method. Data on the chemical compositions of weeds were used to evaluate the correlation for the equation of the theoretical ethanol yield forecast by multiple regression analysis. The result showed that Fabaceae was the family with the largest number of weeds in this area. The chemical composition analysis showed that *Physalis angulata* L. had the highest moisture and ash content. *Phragmites karka* (Retz.) Trin. ex Steud. had the highest cellulose content and theoretical ethanol yield, while *Cyperus pilosus* Vahl and *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit had the highest hemicellulose and lignin content, respectively. The results of the study on the correlation between the chemical composition of weeds and the theoretical ethanol yields showed that cellulose content was the best indicator for all the chemical compositions of weeds. The equation for the theoretical ethanol yields had a coefficient of determination (R^2) value of 80.7%.

* Corresponding author.

E-mail address: narunchara.ket@gmail.com

Cite this article as:

Rodbumrung, B. and Katemee, N. 2025. The Equation for the Theoretical Ethanol Yield: A Case Study of Weed in Muang District, Tak Province. **Recent Science and Technology** 17(2): 261341.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสำรวจความหลากหลายชนิดของวัชพืชของค์ประกอบทางเคมีในวัชพืชและปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี โดยทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง ประเมินความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีในวัชพืช เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ผลการวิจัยพบว่า วัชพืชที่พบมากที่สุดคือ วงศ์ Fabaceae เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัชพืช พบว่า *Physalis angulata* L. ให้ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าสูงสุด *Phragmites karka* (Retz.) Trin. ex Steud. ให้ปริมาณเซลลูโลสและปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงสุด สำหรับ *Cyperus pilosus* Vahl และ *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit ให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและปริมาณลิกนินสูงสุด ตามลำดับ จากการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีในวัชพืชและปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี พบว่าปริมาณเซลลูโลสมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีมากที่สุด เมื่อนำมาสร้างสมการพยากรณ์ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูงถึงร้อยละ 80.7

คำสำคัญ: วัชพืช, เซลลูโลส, เอทานอล, การถดถอยพหุคูณ, การพยากรณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

1. บทนำ

การใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะพลังงานเชื้อเพลิงในระบบขนส่งมวลชนและภาคอุตสาหกรรม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกประเทศรวมทั้งประเทศไทย ส่งผลให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อน (Global Warming) จากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศโลกเป็นจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นในการหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว (Broda *et al.*, 2022) เอทานอลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่น่าสนใจสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงานและอุตสาหกรรมต่าง ๆ การนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงจะช่วยเพิ่มค่าออกเทนทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรสออกไซด์ลดลง (Pacheco and Silva, 2019) เอทานอลยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมสำหรับผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ (Bio Plastic) ทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Abe *et al.*, 2021) เอทานอลผลิตได้จากวัตถุดิบ 3 ประเภท ได้แก่ 1) วัตถุดิบที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น อ้อย เป็นต้น 2) วัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และพืชตระกูลหัว เป็นต้น และ 3) วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic Material) เช่น ฟางข้าว หนุ่ย และไม้ เป็นต้น (Barros-Rios *et al.*, 2015) วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมและน่าสนใจในการนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบเอทานอลและการผลิตพลาสติกชีวภาพเพราะไม่ใช่พืชอาหาร (Food Crop) และมีราคาถูก (Broda *et al.*, 2022) อีกทั้งยังเป็น

การช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาทำลายวัชพืช และในปี 2566 คณะกรรมการบริหารการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียวมีมติส่งเสริมการนำเอทานอลไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นนอกเหนือจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพและการผลิตสุรา (The Secretariat of the Cabinet, 2023) ลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งปริมาณขององค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและความหลากหลายทางสายพันธุ์ (Fatma *et al.*, 2018) วัชพืช (Weed) เป็นวัชพืชประเภทลิกโนเซลลูโลสชนิดหนึ่งที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบประมาณ 25-40% เฮมิเซลลูโลส 25-50% และลิกนิน 10-30% (Howard *et al.*, 2003) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยอาศัยการปรับสภาพ (Pretreatment) วัตถุดิบ ไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและการหมัก (Fermentation) เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล (Premjet, 2019) โดยมีรายงานการศึกษาของ Prasertwasu *et al.* (2014) ได้ผลิตเอทานอลจากวัชพืช *Pennisetum polystachion* (L.) Schult. โดยผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยต่างและใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5596 ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ผลผลิตเอทานอลเท่ากับ 16 กรัมต่อลิตร ภายใน 24 ชั่วโมง สำหรับวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเอทานอลควรมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงและปริมาณลิกนินต่ำ (Ahorsu *et al.*, 2018) โดยวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสที่ให้ผลผลิตน้ำตาลกลูโคสสูงคือ วัตถุดิบที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดสำหรับการนำมาผลิตเอทานอล นอกจากนี้ผลผลิตเอทานอลยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเซลลูโลส โดยปริมาณเซลลูโลสสูงจะให้ผลผลิตเอทานอลสูง (Kikas *et al.*, 2016; Raud and Kikas, 2020) อีกทั้งยังมีรายงานการศึกษาของ Premjet *et al.* (2013) ได้ทำการสำรวจวัชพืชที่มีศักยภาพสำหรับผลิต

เอทานอลและจากการประมาณค่าปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี พบว่าวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงทำให้ผลผลิตเอทานอลทางทฤษฎีสูง โดยผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี หมายถึง ผลผลิตขั้นต้นที่ได้จากการคำนวณตามสมการเคมีซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ รวมถึงการศึกษาของ Kikas et al. (2016) ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของ *Helianthus tuberosus* L., *Cannabis sativa* L., *Helianthus annuus* L. และวัชพืช *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. & Hook.f. ex Franch. สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่า *H. tuberosus* L. ที่มีปริมาณเซลลูโลสต่ำที่สุดจะให้ผลผลิตเอทานอลต่ำที่สุดในขณะที่ *C. sativa* L. มีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดจะให้ผลผลิตเอทานอลสูงที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่าผลผลิตเอทานอลกับปริมาณลิกนินไม่มีสหสัมพันธ์กัน แต่ผลผลิตเอทานอลกับปริมาณเซลลูโลสมีสหสัมพันธ์ทางบวก

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่ามีการศึกษาถึงสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีในวัตถุดิบประเภทลิกนินเซลลูโลสที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอลซึ่งพบทั้งผลการทดลองที่มีสหสัมพันธ์ทางบวก และไม่มีสหสัมพันธ์ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการสำรวจวัชพืชบริเวณเขตอำเภอเมือง จังหวัดตาก ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในวัชพืช และนำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีในวัชพืช เพื่อใช้สร้างสมการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีจากวัตถุดิบประเภทลิกนินเซลลูโลส

วัชพืชเป็นวัตถุดิบประเภทลิกนินเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลักสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยอาศัยการปรับสภาพวัตถุดิบไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและการหมักน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวไปเป็นเอทานอล (Premjet, 2019) โดยเซลลูโลสประกอบไปด้วยน้ำตาลเฮกโซส (HEXT) และเฮมิเซลลูโลสประกอบไปด้วยน้ำตาลเพนโทส (PENT) เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อทำการย่อยสลายวัตถุดิบประเภทลิกนินเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟิวริกจะทำให้น้ำตาลเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมา กระบวนการย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจนได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวให้คิดเป็น 100% ตามทฤษฎี ดังนั้นปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของวัชพืชแต่ละชนิดจะถูก

นำมาใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส สำหรับผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลเฮกโซส (HEXTEL) และน้ำตาลเพนโทส (PENTEL) ให้คิดเป็น 100% ตามทฤษฎี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการนำน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเพนโทสมาใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณ ดังนั้นการคำนวณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสามารถคำนวณตามสมการของ Premjet et al. (2013)

$$\text{HEXT} = b \times Y_h \times \text{HEX} \quad \text{Kg/Ton (substrate)} \quad (1)$$

$$\text{PENT} = b \times Y_p \times \text{PEN} \quad \text{Kg/Ton} \quad (2)$$

$$\text{HEXTEL} = \text{HEXT} \times Y_{eh} \quad \text{Kg/Ton} \quad (3)$$

$$\text{PENTEL} = \text{PENT} \times Y_{ep} \quad \text{Kg/Ton} \quad (4)$$

$$\text{ETOHTLT} = (\text{HEXTEL} + \text{PENTEL})/d \quad \text{L/Ton} \quad (5)$$

เมื่อ HEX คือ ผลผลิตน้ำตาลเฮกโซสหรือน้ำตาลกลูโคส ซึ่งได้จากกระบวนการย่อยสลายเฮกโซแซนตามทฤษฎี (1.111) PEN คือ ผลผลิตน้ำตาลเพนโทสหรือน้ำตาลไซโลส ซึ่งได้จากกระบวนการย่อยสลายเพนโทแซนตามทฤษฎี (1.136) b คือ น้ำหนักของวัตถุดิบ (1,000 กิโลกรัม) Y_h คือ เปอร์เซนต์เซลลูโลสในตัวอย่างวัชพืช Y_p คือ เปอร์เซนต์เฮมิเซลลูโลสในตัวอย่างวัชพืช Y_{eh} คือ ผลผลิตเอทานอลที่ได้จากน้ำตาลกลูโคสตามทฤษฎี (0.511) Y_{ep} คือ ผลผลิตเอทานอลที่ได้จากน้ำตาลไซโลสตามทฤษฎี (0.511) HEXTEL คือ ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลเฮกโซส PENTEL คือ ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลเพนโทส d คือ ความหนาแน่นของเอทานอล (0.789 กิโลกรัม/ลิตร)

2. การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (X) จำนวนตั้งแต่ 2 ตัว ขึ้นไป และสร้างสมการพยากรณ์ตัวแปรตาม (Y) จำนวน 1 ตัว รูปแบบของการสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Vanichbuncha, 2018) แสดงดังนี้

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (6)$$

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณจำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation Coefficient) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยมีสูตรในการคำนวณ (Pearson, 1920) ดังนี้

$$r_{xy} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (7)$$

1) การคำนวณปริมาณเอมิเซลลูโลส :
 $\% \text{ เอมิเซลลูโลส} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF}$ (8)

2) การคำนวณปริมาณเซลลูโลส :
 $\% \text{ เซลลูโลส} = \% \text{ ADF} - \% \text{ ADL}$ (9)

3) การคำนวณปริมาณลิกนิน :
 $\% \text{ ลิกนิน} = \% \text{ ADL}$ (10)

2.2.2 การศึกษาแนวทางการหาปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

เป็นการคำนวณหาปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีจากวัชพืชจากสมการของ Premjet *et al.* (2013) โดยกำหนดให้น้ำตาลเฮกโซส (HEXT) และน้ำตาลเพนโทส (PENT) คือ องค์ประกอบหลักที่ได้จากการย่อยสลายเซลลูโลสและเอมิเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟิวริกจนได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคิดเป็น 100% ตามทฤษฎี สำหรับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลเฮกโซส (HEXTEL) และกระบวนการหมักน้ำตาลเพนโทส (PENTEL) คือ กระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเพนโทสไปเป็นผลผลิตเอทานอลคิดเป็น 100% ตามทฤษฎี ดังนั้นการหาปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสามารถคำนวณได้ ดังนี้

1) ทำการคำนวณหาปริมาณน้ำตาลเฮกโซส (HEXT) และปริมาณน้ำตาลเพนโทส (PENT) จากปริมาณเซลลูโลสและปริมาณเอมิเซลลูโลสของวัชพืชแต่ละชนิด (Rodbumrung, 2019)

2) ทำการคำนวณหาปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีจากปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลเฮกโซส (HEXTEL) และปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลเพนโทส (PENTEL) ของวัชพืชแต่ละชนิด (Rodbumrung, 2019)

2.3 การสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

2.3.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ศึกษาปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีเป็นการหาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี จาก การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณลิกนิน ปริมาณเอมิเซลลูโลส และปริมาณเซลลูโลส และค่าที่ได้จากการคำนวณปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี โดยกำหนดให้

1) ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (X) คือ ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี ได้แก่ X_1 คือ ปริมาณความชื้น X_2 คือ ปริมาณเถ้า X_3 คือ ปริมาณลิกนิน X_4 คือ ปริมาณเอมิเซลลูโลส และ X_5 คือ ปริมาณเซลลูโลส

2) ตัวแปรตาม (Y) คือ ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี หมายถึง ข้อมูลที่ถูกระบุหรือวัดตามสมการ ด้วยหลักการทดสอบความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS version 21 serial 4e5042aefdea71686ee

2.3.2 การสร้างสมการพยากรณ์และการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสม

การสร้างสมการพยากรณ์โดยการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ทำการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกตัวแปรที่คาดว่าจะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS มาช่วยในการสร้างสมการพยากรณ์และคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสม สามารถสร้างสมการพยากรณ์ได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (11)$$

เมื่อ ค่า Y คือ ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

ค่า X_1, X_2, \dots, X_k คือ ตัวแปรอิสระที่ 1, 2, ..., k

ค่า a คือ ค่าคงที่

ค่า b คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรแต่ละตัว

การเลือกตัวแปรต้นเพื่อนำมาใช้ในแบบจำลองใช้วิธีการเลือกตัวแปรแบบลำดับขั้น (Stepwise Selection) ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ เพื่อใช้ในการสร้างสมการสำหรับคาดการณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีที่ได้ต่อไปในอนาคต

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 การสำรวจและการจัดจำแนกวัชพืชบริเวณอำเภอเมืองจังหวัดตาก

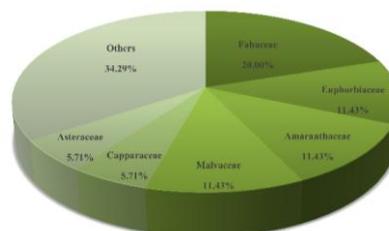


Figure 2 Proportion of weed species in each family presented as percentage to the total species collected in Muang District, Tak Province

จากภาพที่ 2 แสดงการจำแนกวัชพืชตามวงศ์ จากการสุ่มสำรวจวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก พบวัชพืช 18 วงศ์ จัดอยู่ใน 33 สกุล จำนวน 35 ชนิด วัชพืชส่วนใหญ่ที่พบจัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae คิดเป็น ร้อยละ 20.00 จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ *Senna occidentalis* (L.) Link, *Stylosanthes hamata* (L.) Taub., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Mimosa pigra* L., *Sesbania javanica* Mig., *Crotalaria impressa* Nees ex Walp. และ *Tephrosia purpurea* (L.) Pers. รองลงมาคือ วงศ์ Amaranthaceae วงศ์ Euphorbiaceae และ วงศ์ Malvaceae คิดเป็นร้อยละ 11.43 โดยวงศ์ Amaranthaceae จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Celosia argentea* L., *Achyranthes aspera* L., *Amaranthus blitum* subsp. *blitum* และ *A. spinosus* L. วงศ์ Euphorbiaceae จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Acalypha poiretii* Spreng., *Croton hirtus* L'Hér., *Jatropha gossypifolia* L. และ *Ricinus communis* L. และวงศ์ Malvaceae 4 ชนิด ได้แก่ *Abutilon indicum* (L.) Sweet, *Sida acuta* Burm. f., *Urena lobata* L. และ *Waltheria indica* L. นอกจากนี้ยังพบวงศ์ Capparaceae และวงศ์ Asteraceae คิดเป็นร้อยละ 5.71 โดยวงศ์ Capparaceae จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ *Cleome gynandra* L. และ *C. viscosa* L. และวงศ์ Asteraceae จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ *Chromolaena odorata* (L.) R.M.King & H.Rob. และ *Praxelis clematidea* (Hieron. ex Kuntze) R.M.King & H.Rob. และยังพบวัชพืชอีก 12 วงศ์ ๆ ละ 1 ชนิด คิดเป็นร้อยละรวม 34.29 ดังนี้ วงศ์ Acanthaceae (*Ruellia tuberosa* L.) วงศ์ Araceae (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) วงศ์ Asclepiadaceae (*Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton) วงศ์ Cyperaceae (*Cyperus pilosus* Vahl) วงศ์ Lamiaceae (*Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze) วงศ์ Moraceae (*Broussonetia papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent.) วงศ์ Nyctaginaceae (*Boerhavia coccinea* Mill.) วงศ์ Poaceae (*Phragmites karka* (Retz.) Trin. ex Steud.) วงศ์ Plantaginaceae (*Scoparia dulcis* L.) วงศ์ Solanaceae (*Physalis angulata* L.) วงศ์ Typhaceae (*Typha angustifolia* L.) และวงศ์ Verbenaceae (*Lantana camara* L.) โดยวัชพืชที่พบส่วนใหญ่จากการสุ่มสำรวจพบการกระจายพันธุ์บริเวณภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Premjet *et al.* (2013) ได้ทำการสำรวจวัชพืชสำหรับพลังงานชีวมวลและการผลิตเอทานอลบริเวณภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย พบวัชพืช 25 วงศ์ จัดอยู่ใน 62 สกุล จำนวน 74 ชนิด วงศ์พืชที่พบวัชพืชมากที่สุด ได้แก่ Poaceae และ Asteraceae

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของวัชพืช และปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

จากการสำรวจตัวอย่างวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก โดยการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าวัชพืชมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 4.51-24.18% วัชพืชที่มีปริมาณความชื้นสูงสุด คือ *P. angulata* L. (24.18±0.32%) รองลงมา คือ *C. esculenta* (L.) Schott (16.88±0.71%) และ *R. tuberosa* L. (14.87±0.72%) วัชพืชที่มีความชื้นต่ำสุด คือ *T. angustifolia* L. (4.51±0.57%) และพบวัชพืช 4 ชนิด ที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10% คือ *T. angustifolia* L., *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud., *S. javanica* Mig. และ *C. pilosus* Vahl (4.51-5.99 %) โดยเชื้อเพลิงชีวภาพจากไม้ต้องมีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ซึ่งปริมาณความชื้นของชีวมวลส่งผลเสียต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพอัดแท่งหากเกิน 8-10% (Shojaeiarani *et al.*, 2019)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า พบว่าวัชพืชมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 4.33-22.22% วัชพืชที่มีปริมาณเถ้าสูงสุด คือ *P. angulata* L. (22.22±0.57%) รองลงมา คือ *R. tuberosa* L. (19.79±0.65%) และ *A. spinosus* L. (17.15±0.74%) และ *B. papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent. (17.15±0.32%) วัชพืชที่มีเถ้าต่ำสุด คือ *C. impressa* Nees ex Walp. (4.33±0.29%) และพบวัชพืช 5 ชนิด ที่มีปริมาณเถ้าต่ำกว่าหรือเท่ากับ 7% คือ *C. impressa* Nees ex Walp., *W. indica* L., *S. hamata*, (L.) Taub. *T. purpurea* (L.) Pers. และ *M. pigra* L. (4.33-7.38%) Jasinskas *et al.* (2022) พบว่าวัชพืช *Sida* sp. มีปริมาณเถ้า 6.07% เป็นวัชพืชที่เหมาะสมสำหรับทำเชื้อเพลิงชีวภาพอัดแท่ง โดยข้อกำหนดของมาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพจากไม้ต้องมีเถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.5% และสำหรับไม้ล้มลุกต้องไม่เกิน 7%

จากการวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน พบว่าวัชพืชมีปริมาณลิกนินอยู่ระหว่าง 4.52-16.94% วัชพืชที่มีปริมาณลิกนินสูงสุด คือ *L. leucocephala* (Lam.) de Wit (16.94±0.44%) รองลงมา คือ *S. dulcis* L. (12.89±0.28%) และ *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud. (12.75±0.47%) วัชพืชที่มีลิกนินต่ำสุด คือ *R. tuberosa* L. (4.52±0.59%) วัตถุประสงค์ประเภทลิกโนเซลลูโลสมีลิกนินทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกัน ซึ่งลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายมากจึงเป็นอุปสรรคต่อการผลิตเอทานอล (Polprasert, 2014) โดย Kongkeitkajorn *et al.* (2020) ทำการผลิตเอทานอลจาก *Pennisetum purpureum* Schumach. ได้ปริมาณเอทานอล 44.7 กรัมต่อลิตร โดย *P. purpureum* Schumach. มีปริมาณลิกนินก่อนการปรับสภาพ 19.4% ซึ่ง

จากการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของวัชพืชทั้งหมด พบว่ามีปริมาณลิกนินต่ำกว่า *P. purpureum* Schumach.

จากการวิเคราะห์ปริมาณเฮมิเซลลูโลส พบว่าวัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 4.83-27.05% วัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงสุด คือ *C. pilosus* Vahl (27.05±0.25%) รองลงมา คือ *C. impressa* Nees ex Walp. (22.33±0.33%) และ *A. aspera* L. (22.11±0.42%) วัชพืชที่มีเฮมิเซลลูโลสต่ำสุด คือ *A. poiretii* Spreng. (4.83±0.17%) เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่ครอบคลุมเซลลูโลส เปรียบเสมือนเกาะป้องกันทางกายภาพ ทำให้กีดขวางการเข้าทำงานของเอนไซม์ในการย่อยสลายเซลลูโลส (Sun *et al.*, 2021) Raud and Kikas (2020) ทำการผลิตเอทานอลจากวัชพืชผสม *Trifolium pratense* L. และ *Phleum pratense* L. โดยวัชพืชผสมมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสก่อนการปรับสภาพ 18.4% และหลังการปรับสภาพ พบว่าสามารถผลิตเอทานอลได้ 3.3-4.0 กรัมเอทานอลจาก 100 กรัมชีวมวล ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากวัชพืชทั้งหมดพบวัชพืช 4 ชนิด ได้แก่ *C. pilosus* Vahl, *C. impressa* Nees ex Walp., *A. aspera* L. และ *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud. ที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าวัชพืช *P. purpureum* Schumach.

จากการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส พบว่าวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 13.41-44.69% วัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงสุด คือ *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud. (44.69±0.32%) รองลงมา คือ *T. angustifolia* L. (42.06±0.15%) และ *W. indica* L. (41.49±0.13%) วัชพืชที่มีเซลลูโลสต่ำสุด คือ *A. poiretii* Spreng. (13.41±0.29%) เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของวัตถุติบประเภทลิกนิน เซลลูโลส สามารถถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นเอทานอล (Premjet, 2019) Campos *et al.* (2019) ทำการผลิตเอทานอลจากวัชพืช *P. purpureum* Schumach. ได้ปริมาณเอทานอล 45.5 กรัมต่อลิตร โดยวัชพืช *P. purpureum* Schumach. มีปริมาณเซลลูโลสก่อนการปรับสภาพและหลังการปรับสภาพ 38% และ 76.30% ตามลำดับ ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลเพราะมีปริมาณของเซลลูโลสสูงจึงนำไปสู่การปลดปล่อยกลูโคสได้สูง ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสจากวัชพืชทั้งหมดพบวัชพืช 5 ชนิด ได้แก่ *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud., *T. angustifolia* L., *W. indica* L., *S. acuta* Burm.f. และ *L. Leucocephala* (Lam.) de Wit ที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าวัชพืช *P. purpureum* Schumach.



Figure 3 Average theoretical ethanol yield (L/Ton) of the top 10 from classification of weed species in Muang District, Tak Province

จากภาพที่ 3 แสดงสัดส่วนปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี (ลิตรต่อตัน) มากที่สุด 10 อันดับแรกจากการจัดจำแนกชนิดวัชพืช บริเวณอำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก จากการคำนวณปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีของวัชพืช พบว่ามีปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีอยู่ระหว่าง 131.99-480.41 ลิตรต่อตัน โดยวัชพืชที่มีปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีเรียงลำดับจากมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud. (480.41±0.05 ลิตรต่อตัน) *T. angustifolia* L. (432.46±5.44 ลิตรต่อตัน) *C. impressa* Nees ex Walp. (422.61±1.37 ลิตรต่อตัน) *A. aspera* L. (401.85±0.68 ลิตรต่อตัน) *C. pilosus* Vahl (399.84±3.40 ลิตรต่อตัน) *S. acuta* Burm.f. (394.85±0.18) *W. indica* L. (352.21±2.15 ลิตรต่อตัน) *L. camara* L. (346.50±2.52 ลิตรต่อตัน) *L. leucocephala* (Lam.) de Wit (333.09±0.46 ลิตรต่อตัน) และ *S. hamata* (L.) Taub. (305.89±2.70 ลิตรต่อตัน) สำหรับวัชพืชที่มีปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีต่ำสุดคือ *A. poiretii* Spreng. (131.99±0.84 ลิตรต่อตัน) Kikas *et al.* (2016) พบว่าปริมาณผลผลิตเอทานอลขึ้นอยู่กับปริมาณของเซลลูโลสหากปริมาณของเซลลูโลสสูงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเอทานอลสูง เนื่องจากปริมาณผลผลิตเอทานอลต่อกิโลกรัมของชีวมวลชีวภาพเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเซลลูโลส ซึ่งปริมาณผลผลิตเอทานอลจาก *C. sativa* L., *M. sacchariflorus* (Maxim.) Benth. & Hook.f. ex Franch., *H. annuus* L. และ *H. tuberosus* L. เท่ากับ 83.40 76.67 38.13 และ 37.76 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีปริมาณเซลลูโลสก่อนการปรับสภาพเท่ากับ 53.86% 42.00% 34.06% และ 25.99% ตามลำดับ Amirta *et al.* (2016) พบว่า *Macaranga gigantea* (Rchb.f. & Zoll.) Müll.Arg. สามารถใช้เป็นวัตถุติบในการผลิตเอทานอลได้ โดยให้ปริมาณน้ำตาล 44.22% และให้ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี 273 ลิตรต่อตัน ซึ่งจากการคำนวณ

ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีพบวัชพืช 14 ชนิด ได้แก่ *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud., *T. angustifolia* L., *C. impressa* Nees ex Walp., *A. aspera* L., *C. pilosus* Vahl, *S. acuta* Burm.f., *W. indica* L., *L. camara* L., *L. Leucocephala* (Lam.) de Wit, *S. hamata* (L.) Taub., *S. dulcis* L., *U. lobata* L., *T. purpurea* (L.) Pers. และ *C. odorata* (L.) R.M.King & H.Rob. มีปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงกว่าวัชพืช *M. gigantea* (Rchb.f. & Zoll.) Mull.Arg.

3.3 การสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

3.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ศึกษาปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีกับตัวแปร

องค์ประกอบหลักทางเคมี ได้แก่ X1 คือ ปริมาณความชื้น (Moisture Content) X2 คือ ปริมาณเถ้า (Ash Content) X3 คือ ปริมาณลิกนิน (Lignin Content) X4 คือ ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose Content) และ X5 คือ ปริมาณเซลลูโลส (Cellulose Content) แสดงด้วยแผนภาพการกระจายของข้อมูลในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก พบวัชพืช 18 วงศ์ จัดอยู่ใน 33 สกุล จำนวน 35 ชนิด พบว่าระหว่างปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีกับตัวแปรองค์ประกอบหลักทางเคมีมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.01$) แสดงดังภาพที่ 4

ต่อจากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรองค์ประกอบหลักทางเคมีของวัชพืช ทั้ง 5 ตัวแปร กับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 2

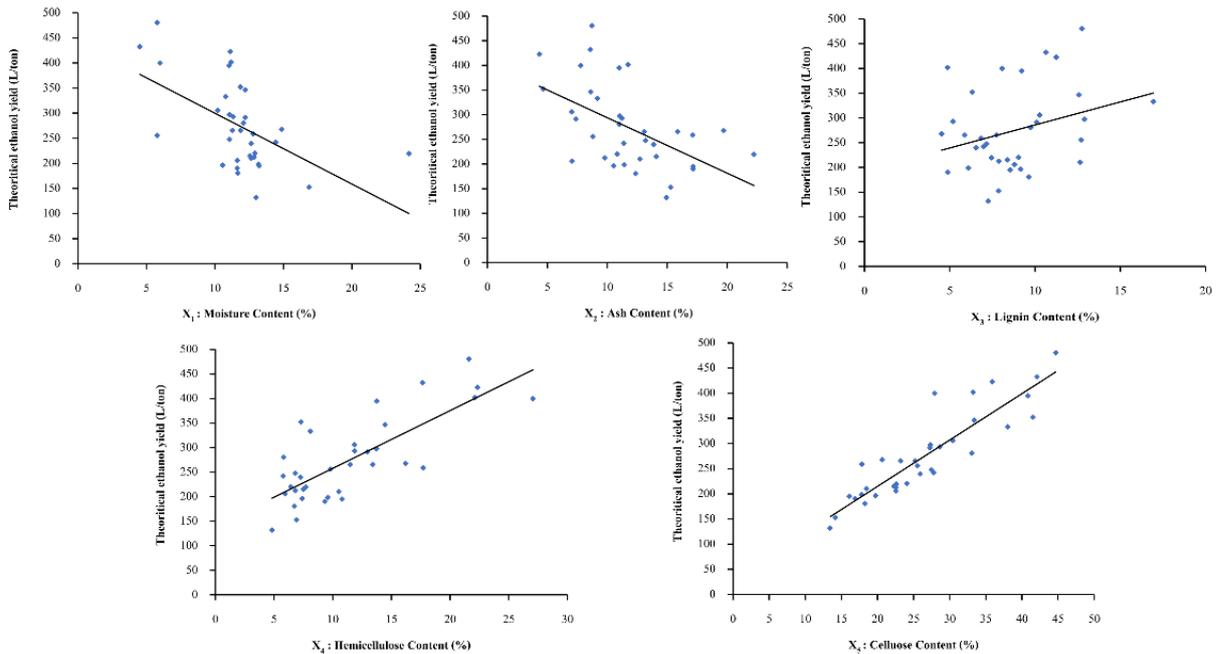


Figure 4 Scatter plot of the relationship between the moisture content, ash content, lignin content, hemicellulose content, cellulose content and theoretical ethanol yield

Table 2 Correlation coefficient between the chemical compositions of weeds and theoretical ethanol yields

Theoretical ethanol yield (L/Ton)			Theoretical ethanol yield (L/Ton)		
X ₁ : Moisture Content (%)	Pearson Correlation	-0.548**	X ₄ : Hemicellulose Content (%)	Pearson Correlation	0.768**
	Sig. (2-tailed)	0.001		Sig. (2-tailed)	0
X ₂ : Ash Content (%)	Pearson Correlation	-0.531**	X ₅ : Cellulose Content (%)	Pearson Correlation	0.899**
	Sig. (2-tailed)	0.001		Sig. (2-tailed)	0
X ₃ : Lignin Content (%)	Pearson Correlation	0.304			
	Sig. (2-tailed)	0.075			

**Correlation is significant at the 0.01 ($P \geq 0.01$)

Table 3 Correlation coefficient among the chemical compositions of weeds and theoretical ethanol yields for the study

	X ₁ : Moisture Content (%)	X ₂ : Ash Content (%)	X ₃ : Lignin Content (%)	X ₄ : Hemi- cellulose Content (%)	X ₅ : Cellulose Content (%)	Y: Theoretical ethanol yield (L/Ton)
X ₁ : Moisture Content (%)	1.000	.620**	-.352 [*]	-.454**	-.470**	-.548**
X ₂ : Ash Content (%)		1.000	-.453**	-.210 ^{ns}	-.613**	-.531**
X ₃ : Lignin Content (%)			1.000	.076 ^{ns}	.382 [*]	.304 ^{ns}
X ₄ : Hemicellulose Content (%)				1.000	.409 [*]	.768**
X ₅ : Cellulose Content (%)					1.000	.899**
Y: Theoretical ethanol yield (L/Ton)						1.000

**Correlation is significant at the 0.01 ($P \geq 0.01$); *Correlation is significant at the 0.05 ($P \geq 0.05$); ns is non-significant ($P > 0.05$)

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่า P-Value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และปริมาณเซลลูโลส มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยทางสถิติกับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี ($p < 0.01$) เว้นแต่ ปริมาณลิกนินที่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาค่า P-Value ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่าตัวแปรองค์ประกอบหลักทางเคมีของวัชพืชทุกตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เว้นแต่ X₂: ปริมาณเถ้ากับ X₄: ปริมาณเฮมิเซลลูโลส X₃: ปริมาณลิกนินกับ X₄: ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และ X₃: ปริมาณลิกนินกับ Y: ปริมาณผลผลิต

เอทานอลตามทฤษฎี ที่ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างน้อยมีนัยสำคัญทางสถิติ (สำหรับค่า X₁: ปริมาณความชื้นไม่ได้นำมาวิเคราะห์เนื่องจากไม่มีผลต่อองค์ประกอบหลักทางเคมีในวัชพืชที่จะนำไปผลิตเป็นเอทานอล) จากผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณด้วยวิธี Stepwise พบว่ามีตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าสู่สมการ ได้แก่ X₄: ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และ X₅: ปริมาณเซลลูโลส และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสและตัวแปรองค์ประกอบหลักทางเคมีของวัชพืชอื่น ๆ พบว่าทุกตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง Y: ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีและตัวแปรหลัก

องค์ประกอบทางเคมีของพืชชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้อาจเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรขึ้นไป (Multicollinearity Problem) ภายใต้ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการนำตัวแปรองค์ประกอบหลักทางเคมีของพืชดังกล่าว มาใช้ร่วมกันในสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี จากเหตุผลดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ X_5 : ปริมาณเซลลูโลสเป็นตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวที่ใช้ในสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีมากที่สุด (0.899)

3.3.2 การสร้างสมการพยากรณ์การวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง X_5 : ปริมาณเซลลูโลสและ Y : ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีการคัดเลือกตัวแปรโดยใช้วิธีไล่ขั้นตอนด้วยการวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS

1) ผลการทดสอบสมมุติฐาน (Assumption) เบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสและปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี ต้องทำการทดสอบความเหมาะสมของสมการพยากรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความเหมาะสมของตัวแปรที่ใช้ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ด้วยการหา (1) การตรวจสอบความผิดปกติทางสถิติของข้อมูล (Outlier) (2) ตัวแปรตามและค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Test of Normality) (3) ค่าแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า (Homoscedasticity) (4) ค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าเป็นอิสระกัน (Autocorrelation) และ (5) ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน (Multicollinearity) ได้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4 ดังนี้

Table 4 Results of testing the suitability of the forecast equations

Meaning of the forecast equation	Results of data analysis
Outlier	it was found that data analysis of Cook's Distance value used was between 0-0.206 which was less than 1. It can be concluded that it was no abnormalities in the data used in the analysis.
Test of Normality	From the Boxplot and Scatter Plot, it was found that the error and dependent variables was normally distributed variables.
Homoscedasticity	It was found that the error was distributed in a constant manner from the Histogram diagram.
Autocorrelation	The Durbin-Watson value was 1.362 which was less than 1.5 indicating that autocorrelation has occurred. The independent variable used in the test had own internal relationship.
Multicollinearity	The equation had only one independent variable therefore it was no problem of multicollinearity.

Table 5 Result of multiple regression analysis

Model	R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate
1	0.899 ^a	0.807	0.802	38.0122

Table 6 The independent variable that is related to theoretical ethanol yield

	Unstandardized		Standardized	t	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	30.599	21.699		1.410	0.168
Cellulose	9.211	0.783	0.899	11.764	0.000

การคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการพยากรณ์ ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีของวัชพืช มี รายละเอียดที่แสดงค่าต่าง ๆ คือ R² B Std. error beta t และ Sig. แสดงดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ซึ่งค่าต่าง ๆ มีความหมายดังนี้ ค่า R² หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งจะแสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) ที่มีต่อ ตัวแปรตาม (Y) B หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของ ตัวแปรอิสระ พร้อมทั้งค่าคงที่ในการนำมาใช้สร้างสมการ พยากรณ์ Std. error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อน มาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ ในภาพคะแนนมาตรฐาน สำหรับสร้างสมการพยากรณ์ใน ภาพของคะแนนมาตรฐาน t และ Sig. หมายถึง ค่าสถิติที่ และค่าความน่าจะเป็นของการทดสอบที่ (t-test) สำหรับ ทดสอบตัวแปรอิสระว่าตัวใดสามารถนำไปใช้ในสมการ พยากรณ์ได้ (Intarapanich and Mungkalasiri, 2017) ใน งานวิจัยนี้กำหนดระดับนัยสำคัญไว้ที่ 0.05 ซึ่งหมายความว่า ย่อมไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อน 5% หรือมีระดับความ เชื่อมั่น 95%

2) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร อิสระและปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

ในตารางที่ 6 พบว่าสมการพยากรณ์ที่ได้จาก การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสและ ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี โดยระหว่างตัวแปรทั้ง สองมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ จากค่า สัมประสิทธิ์การถดถอยปริมาณเซลลูโลสอยู่ที่ระดับ 9.211 และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนด หรือค่า R² จาก สมการพยากรณ์พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.807 อธิบายได้ว่า ความสามารถของตัวแปรปริมาณเซลลูโลส ซึ่งเป็นตัวแปร อิสระนั้น สามารถอธิบายปริมาณผลผลิตเอทานอลตาม ทฤษฎีซึ่งเป็นตัวแปรตามได้ร้อยละ 80.7 โดยสามารถเขียน ในรูปแบบสมการได้ ดังนี้

$$Y = 30.599 + 9.211 (X) \quad (12)$$

เมื่อ X = ปริมาณเซลลูโลส

4. สรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสำรวจวัชพืช องค์ประกอบ ทางเคมี และปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี เพื่อนำ ข้อมูลที่ได้มาศึกษาหาความสัมพันธ์ โดยการวิเคราะห์ค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณ ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีด้วยการวิเคราะห์การถดถอย พหุคูณ ผลการวิจัยพบวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัด ตาก 18 วงศ์ ใน 33 สกุล จำนวน 35 ชนิด วัชพืชที่พบจัด อยู่ในวงศ์ Fabaceae มากที่สุด วัชพืชที่ให้ปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้าสูงสุดคือ *P. angulata* L. วัชพืชที่ให้ปริมาณ เซลลูโลสและปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงสุดคือ *P. karka* (Retz.) Trin. ex Steud. วัชพืชที่ให้ปริมาณเฮมิ เซลลูโลสและปริมาณลิกนินสูงสุดคือ *C. pilosus* Vahl และ *L. leucocephala* (Lam.) de Wit ตามลำดับ จากการ วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรองค์ประกอบหลักทางเคมีของวัชพืชทั้ง 5 องค์ประกอบกับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี พบว่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และปริมาณเซลลูโลส มีความความสัมพันธ์กันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณลิกนินไม่มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี เมื่อพิจารณาการ ทดสอบสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ พบว่าตัวแปร องค์ประกอบหลักทางเคมีของวัชพืชทุกตัวมีความสัมพันธ์ กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เว้นแต่ ปริมาณเถ้ากับ ปริมาณเฮมิเซลลูโลส ปริมาณลิกนินกับปริมาณ เฮมิเซลลูโลส และปริมาณลิกนินกับปริมาณผลผลิตเอทานอล ตามทฤษฎี ที่ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเซลลูโลสและตัวแปรองค์ประกอบหลักทางเคมีของ

วิชาชีพอื่น ๆ พบว่าทุกตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ใช้ปริมาณเซลลูโลสเป็นตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวที่ใช้ในสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีมากที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรขึ้นไป เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์สมการพยากรณ์ที่ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสและปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี พบว่าความสามารถของตัวแปรปริมาณเซลลูโลส สามารถอธิบายปริมาณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีซึ่งเป็นตัวแปรตามได้ร้อยละ 80.7 โดยสามารถเขียนในรูปแบบสมการได้ ดังนี้ $Y = 30.599 + 9.211 (X)$; เมื่อ $X =$ ปริมาณเซลลูโลส

5. เอกสารอ้างอิง

- Abe, M. M., Martins, J. R., Sanvezzo, P. B., Macedo, J.V., Branciforti, M.C., Halley, P., Botaro, V.R. and Brienzo, M. 2021. Advantages and disadvantages of bioplastics production from starch and lignocellulosic components. **Polymers** 13: 2484.
- Ahorsu, R., Medina, F. and Constanti, M. 2018. Significance and challenges of biomass as a suitable feedstock for bioenergy and biochemical production: A review. **Energies** 11(12): 3366.
- Amirta, R., Mukhdor, A., Mujiashi, D., Septia, E., Supriadi, S. and Susanto, D. 2016. Suitability and availability analysis of tropical forest wood species for ethanol production: a case study in East Kalimantan. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity** 17(2): 544-552.
- Barros-Rios, J., Romani, A., Garrote, G. and Orda, B. 2015. Biomass, sugar, and bioethanol potential of sweet corn. **GCB Bioenergy** 7: 153-160.
- Broda, M., Yelle, D. J. and Serwanska, K. 2022. Review: Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass-Challenges and Solutions. **Molecules** 27(24): 8717.
- Campos, B.B., Diniz, R.H.S., Silveira, F.A.da., Ribeiro, J.I., Fietto, L.G., Machado, J.C. and Silveira, W.B.da. 2019. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) is a promising feedstock for ethanol production by the thermotolerant yeast *Kluyveromyces marxianus* CCT 7735. **Brazilian Journal of Chemical Engineering** 36(1): 43-49.
- Fatma, S., Hameed, A., Noman, M., Ahmed, T., Shahid, M., Tariq, M., Sohail, I. and Tabassum, R. 2018. Lignocellulosic Biomass: A Sustainable Bioenergy Source for the Future. **Protein & Peptide Letters** 25(2): 1-16.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. **USDA-ARS Agriculture Handbook 379 Forage Fiber Analyses: apparatus, reagent, procedures and some application**. United State Department of Agriculture Research Service, Washington, D.C.
- Howard, R. L., Abotsi, E., Jansen van Rensburg, E. L. and Howard, S. 2003. Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. **African Journal of Biotechnology** 2(12) : 602-619.
- Intarapanich, R. and Mungkalasiri, W. 2017. The equation of energy forecasting by statistical process control analysis: Case study of car audio industry. **Thai Science and Technology Journal** 25(5): 893-905. (in Thai)
- Jasinskas, A., Kleiza, V., Streikus, D., Domeika, R., Vaiciukevicius, E., Gramauskas, G. and Valentin, M.T. 2022. Assessment of Quality Indicators of Pressed Biofuel Produced from Coarse Herbaceous Plants and Determination of the Influence of Moisture on the Properties of Pellets. **Sustainability** 14(3): 1068.
- Kikas, T., Tutt, M., Raud, M., Alaru, M., Lauk, R. and Olt, J. 2016. Basis of energy crop selection for biofuel production: Cellulose vs. lignin. **International Journal of Green Energy** 13(1): 49-54.
- Kongkeitkajorn, M. B., Sae-Kuay, C. and Reungsang, A. 2020. Evaluation of Napier Grass for Bioethanol Production through a Fermentation Process. **Processes** 8(5): 567.
- Noda, K., Teerawatsakul, M., Prakongvongs, C. and Chaiwiratnukul, L. 1994. **Project Manual no.1 Major weeds in Thailand: Illustrated by color** (3rded). National Weed Science Research Institute Project. Japan International Cooperation

- Agency and Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Mass Medias, Bangkok.
- Pacheco, R. and Silva, C. 2019. Global warming potential of biomass-to-ethanol: Review and sensitivity analysis through a case study. **Energies** 12: 2535.
- Pearson, K. 1920. Notes on the history of correlation. **Biometrika** 13(1): 25-45.
- Polprasert, S. 2014. Pretreatment of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production. **Thai Science and Technology Journal** 25(5): 641-649. (in Thai)
- Prasertwasu, S., Khumsupan, D., Komolwanich, T., Chaisuwan, T., Luengnaruemitchai, A., Wongkasemjit, S. 2014. Efficient process for ethanol production from Thai Mission grass (*Pennisetum polystachion*). **Bioresource Technology** 163: 152-159.
- Premjet, S. 2019. Potential of Weed Biomass for Bioethanol Production, pp.83-98. In Peixoto Basso T. and Carlos Basso, L., eds. **Fuel Ethanol Production from Sugarcane**. IntechOpen, UK.
- Premjet, S., Pumira, B. and Premjet, D. 2013. Determining the potential of inedible weed biomass for bio-energy and ethanol production. **Bioresources** 8(1): 701-716.
- Raud, M. and Kikas, T. 2020. Perennial grasses as a substrate for bioethanol production. **Environmental and Climate Technologies** 24(2): 32-40.
- Rodbumrung, B. 2019. Diversity of Weed for Ethanol Production in Muang District Area, Tak Province. **Science and Technology RMUTT Journal** 9(2): 107-124. (in Thai)
- Shojaeiarani, J., Bajwa, D.S. and Bajwa S.G. 2019. Properties of densified solid biofuels in relation to chemical composition, moisture content, and bulk density of the biomass. **BioResources** 14(2): 4996-5015.
- Sun, S.F., Yang, J., Wang, D.W., Yang, H.Y., Sun, S.N. and Shi, Z.J. 2021. Enzymatic response of ryegrass cellulose and hemicellulose valorization introduced by sequential alkaline extractions. **Biotechnology for Biofuels and Bioproducts** 14: 72.
- The Secretariat of the Cabinet. 2023. **Guidelines for promoting use ethanol in other industries in addition to biofuels and liquor production: Resolution from executive committee of the Bio-Circular-Green Economy 2/2566**. The Secretariat of the Cabinet. Available Source: https://resolution.soc.go.th/PDF_UPLOAD/2566/P_408955_1.pdf, November 22, 2023. (in Thai)
- Vanichbuncha, K. 2018. **Statistics for research: Principles for selecting statistical techniques in research and description from SPSS (12thed)**. 3 Lada Limited Partnership, Bangkok. (in Thai)