



การเลือกวัตถุดิบที่มีความหลากหลายและราคาแตกต่างกัน เพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด โดยใช้กรณีศึกษาการผลิตเอทานอล

Selection of Raw Material with Variation and Price Difference in Obtaining Lowest Costs using A Case Study of Ethanol Production

พิทยา หายักวงษ์^{1,*} และ ศีขรินทร์ สุขโต¹

Pittaya Hayakwong^{1,*} and Seekharin Sukto¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
123 หมู่ 16 ถนน มิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง ขอนแก่น 40002

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
123 Moo 16 Mittraphap Rd., Nai-Muang, Muang District, Khon Kaen 40002, Thailand

* E-mail: Pittaya.h@kkumail.com, Tel: 0-4300-9700, Fax: 0-4320-2216

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการเลือกวัตถุดิบจากโรงงานน้ำตาลที่มีความหลากหลายและมีความแตกต่างกันด้านราคา คุณภาพและปริมาณ ซึ่งทำให้ต้นทุนด้านวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอลที่ต่ำสุด ด้วยการศึกษาปัจจัยทางทฤษฎี การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล การรวบรวมข้อมูลคุณภาพวัตถุดิบ ราคาสัญญาจากน้ำตาล C และการคาดการณ์ราคาน้ำตาลตลาดโลกด้วยการพยากรณ์อนุกรมเวลาตัวแบบ Box-Jenkin's (Auto-Regressive Integrated Moving Average; ARIMA) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาต้นทุนด้านวัตถุดิบที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการพยากรณ์ด้วยตัวแบบ ARIMA(1,2,1) นั้น พบว่าราคาน้ำตาลตลาดโลกในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ปรับตัวสูงขึ้นเป็น 12,131 บาทต่อตันหรือ 17.75 เซนต์ต่อปอนด์ ส่งผลให้วัตถุดิบที่มีสัดส่วนของน้ำตาลในวัตถุดิบมีราคาสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นเข้าสู่กระบวนการเลือกวัตถุดิบอย่างมีขั้นตอน โดยการหาสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลในวัตถุดิบ ด้วยสมการ SJM Formula จากนั้นทำการวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิด เพื่อจัดเรียงลำดับต้นทุนและปริมาณวัตถุดิบให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการเลือกใช้น้ำเชื่อมในช่วงฤดูการผลิตของโรงงานน้ำตาล เข้าสู่กระบวนการผลิตจะช่วยลดการนำเข้ากากน้ำตาลจากต่างประเทศและไม่นำกากน้ำตาล B ที่มีต้นทุนสูงเข้าสู่กระบวนการผลิตเอทานอล ซึ่งจะทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ จากสถานการณ์จำลองสามารถลดต้นทุนด้านวัตถุดิบได้ 3.14% หรือประมาณ 94.7 ล้านบาทต่อปี

คำสำคัญ: การพยากรณ์อนุกรมเวลา; วิธีบ็อก-เจนกินส์; การผลิตเอทานอล; การเลือกวัตถุดิบ; กระบวนการตัดสินใจ

ABSTRACT

This research aims to select raw materials from various kind of sugar mills with different prices, quality and quantity for obtaining the lowest raw material costs in ethanol production. Studying issue are the theoretical factors of converting sugar to ethanol, raw material, quality data collection, molasses C contract price and world sugar price forecast via Box-Jenkin's Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) that is time-series forecast) to analyze the lowest of raw material costs. The results of this research concluded that the ARIMA model (1,2,1) forecast showed that the market sugar price in July 2021 rose to 12,131 baht per ton or 17.75. Cents per pound. As a result, the price of raw materials with the proportion of sugar in raw materials is significantly higher. Then, the process of raw material selection is start with calculation the cost of each raw material the SJM Formula to evaluate the concentration of sugar and molasses. Then the cost and amount of raw materials are sorted to meet customer demands. Therefore, the syrup selection during the sugar mill production period into the production process could be reduced the import of molasses from abroad and molasses B with high cost. The ethanol production process total cost is minimum total cost compare with other conditions. From the simulation scenario, the cost of raw materials can be reduced by 3.14%, or approximately 94.7 million baht per year.

Keywords: Time Series Forecasting; Box-Jenkin's Method; Bioethanol Production; Raw Materials Selection; Decision Making

1. บทนำ

การเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในแต่ละประเทศอย่างยั่งยืนจำเป็นต้องมีความมั่นคงทางด้านพลังงาน [1] ซึ่งการจัดการระบบเศรษฐกิจให้มีความยั่งยืนในอนาคตนั้น เชื้อเพลิงจากวัตถุดิบชีวภาพจำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาแนวคิดใหม่ ๆ [2] เพื่อลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบชีวภาพ ซึ่งการผลิตเอทานอล สามารถนำวัตถุดิบจากโรงงานน้ำตาลมาผลิตได้หลากหลาย เช่น น้ำตาลทรายดิบ น้ำเชื่อม และกากน้ำตาลชนิดต่างๆ เข้าสู่กระบวนการหมักทางชีวภาพ [3] ซึ่งต้นทุนการผลิตเอทานอลมีสัดส่วน 89 เปอร์เซ็นต์มาจากวัตถุดิบ ซึ่งจะแปรผันกับราคาของวัตถุดิบเป็นหลัก โดยราคาของวัตถุดิบนั้นเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อราคาค่าต้นทุนการผลิตเอทานอล [4] ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความหลากหลายจึงเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินให้ธุรกิจน้ำตาลและเอทานอลอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิผล ซึ่งในสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันความสามารถในการแข่งขันในด้าน

ต้นทุนการผลิตและประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเอทานอลเป็นปัจจัยสำคัญในการแข่งขันทางด้านกลุ่มธุรกิจน้ำตาลและเอทานอล [5]

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความหลากหลายจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลเพื่อนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลได้อย่างเพียงพอ โดยคำนึงถึงราคาราคาวัตถุดิบ ปริมาณและคุณภาพของวัตถุดิบในแต่ละชนิด ผู้วิจัยจึงได้ทำการพยากรณ์ราคาน้ำตาลตลาดโลกด้วยเทคนิคการพยากรณ์ โดยใช้ อ นุ กร ม เ ว ล า Box-Jenkins' Autoregressive Integrated Moving Average ; ARIMA และวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ (Forecast Error) [6] และหาต้นทุนด้านวัตถุดิบที่นำมาผลิตเอทานอลที่เหมาะสมที่สุดจากการคำนวณสัดส่วนของน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการนำกากน้ำตาลปีและการคำนวณน้ำเชื่อมด้วยสมการ SJM โดยคำนึงถึงต้นทุนวัตถุดิบและปริมาณวัตถุดิบที่เพียงพอต่อความต้องการเอทานอลของลูกค้า

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพและน้ำตาลอินเวิร์ตในวัตถุดิบแต่ละชนิด

วัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเอทานอลมีคุณภาพที่แตกต่างกัน โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดจะประกอบไปด้วยความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย (Brix) ค่าความหวาน (Polarization ; Pol.) หรือเทียบได้กับสัดส่วนของน้ำตาลซูโครส (Sucrose) ในวัตถุดิบ น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar ; RS) หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ซึ่งประกอบไปด้วย น้ำตาลกลูโคส (Glucose) ฟรักโทส (Fructose) ที่สามารถวัดได้จากเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography ; HPLC) อย่างไรก็ตาม ค่าความบริสุทธิ์ (Purity) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$P_{a \rightarrow f} = \left(\frac{Pol_a}{Bx_a} \right), \dots, \left(\frac{Pol_f}{Bx_f} \right) \quad (1)$$

โดยที่ P_i คือ ค่าความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบ
 Pol_i คือ ค่าความหวาน (%Pol.)
 Bx_i คือ ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย

น้ำตาลอินเวิร์ต (Total Sugars as Invert ; TSAI) หรือโดยทั่วไปอาจถูกเรียกว่าน้ำตาลที่สามารถนำไปหมักเป็นเอทานอลได้ (Fermentable Sugars ; %FS) ของวัตถุดิบแต่ละชนิดคำนวณตามสมการที่ 2 [7]

$$W_{TSAI, a \rightarrow h} = \left[\frac{Pol_a}{0.95} + W_{RS, a} \right], \dots, \left[\frac{Pol_h}{0.95} + W_{RS, h} \right] \quad (2)$$

โดยที่ $W_{TSAI, i}$ คือ ค่าน้ำตาลอินเวิร์ต
 $W_{RS, i}$ คือ ค่าน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar)

2.2 การคำนวณปริมาณสัดส่วนน้ำตาลซูโครสและกากน้ำตาลที่ผลิตได้จากกากน้ำตาล

โดยทั่วไปการคำนวณผลผลิตน้ำตาลซูโครสที่ควรผลิตได้ (Sucrose Recovery) ซึ่งวัตถุดิบ 1 กิโลกรัม ความบริสุทธิ์

ของน้ำเชื่อม กากน้ำตาลของแข็งละลายน้ำมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสามารถที่จะคำนวณได้ตามสมการ SJM Formula ตามสมการที่ 3 [8,9]

$$R_{b \rightarrow e}^{Suc} = \frac{P_{Sugar} \cdot (P_{Juice} - P_{Mol})}{P_{Juice} \cdot (P_{Sugar} - P_{Mol})} \cdot 100 \quad (3)$$

โดยที่ R_i^{Suc} คือ Sucrose Recovery ของวัตถุดิบแต่ละชนิด

P_{Sugar} คือ ความบริสุทธิ์ของน้ำตาลทราย

P_{Juice} คือ ความบริสุทธิ์ของกากน้ำตาลบี

P_{Mol} คือ ความบริสุทธิ์ของกากน้ำตาล

2.3 ปัจจัยทางทฤษฎีการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล

สมการชีวเคมีสามารถแสดงปริมาณความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาการหมักเอทานอลจากกลูโคสโดยอาศัยยีสต์จากทฤษฎีของ Gay-Lussac แสดงปฏิกิริยาการหมักจากน้ำตาลโมเลกุลคู่และโมเลกุลเดี่ยวตามสมการที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



ดังนั้นการหมักเอทานอลโดยมีปริมาณของกลูโคสอัตราส่วนเท่ากับ 100 ส่วน มีมวลของเอทานอล 51.14 ส่วน มวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 48.9 ส่วน และมีพลังงานความร้อนจากการหมักเอทานอลเท่ากับ 43-66 เมกะจูล

การคำนวณผลผลิตของเอทานอลในทางทฤษฎี (Stoichiometric) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นเอทานอลสูงสุดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6 และการคำนวณผลผลิตของเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบ ดังสมการที่ 7 [7, 10]

$$CF = \frac{m_{EtOH}^{Mole}}{\rho_{EtOH}} \quad (6)$$

โดยที่ CF คือ ผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อ น้ำหนักน้ำตาลกลูโคส (l/ton FS)
 m_{EtOH}^{Mole} คือ ผลผลิตน้ำหนักเอทานอลต่อ น้ำหนักน้ำตาลกลูโคส (kg/ton FS)
 ρ_{EtOH} คือ ความหนาแน่นของเอทานอล เท่ากับ 0.789 kg/m³

$$Y_{a \rightarrow h} = (CF \cdot W_{TSAI,i}) \quad (7)$$

โดยที่ Y_i คือ ผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อ น้ำหนักวัตถุดิบ(ลิตรต่อตัน)

$$i = [a,h]$$

ตารางที่ 1 ผลผลิตเอทานอลจากการคำนวณประสิทธิภาพของการหมักบนพื้นฐานของสโตยชิโอเมทรี

Overall Stoichiometric efficiency (%)	fermentation of sugars to ethanol mass balance (%)	Conversion factors in liter EtOH per tons fermentable sugar feed
100	51.14	648
94.6	48.38	613
94.0	48.07	609
92.0	47.05	596
90.0	46.03	583
88.0	45.00	570
86.0	43.98	557
84.0	42.96	544

ปริมาณผลผลิตถูกคำนวณโดยมีค่าความหนาแน่นของเอทานอลเท่ากับ 0.78934 กิโลกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 °C และประสิทธิภาพในการกลั่นอยู่ที่ 99%

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการหมักเอทานอลน้ำตาลกลูโคสจะถูกยีสต์ใช้สำหรับการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ อย่างอื่น เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) กรดซักซินิก

(Succinic acid) กรดแอสติก (Acetic acid) และอะซีตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) เป็นต้น โดยทั่วไปในทางปฏิบัติผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีเท่ากับ 94.6 % ซึ่งผลผลิตเอทานอลที่อยู่ระหว่าง 88% ถึง 92% ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยที่การคำนวณปริมาณเอทานอลกำหนดให้ความหนาแน่นของเอทานอลเท่ากับ 789.34 ตันต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพการกลั่นเท่ากับ 99% ผลการคำนวณตามตารางที่ 1 [2, 3]

2.4 การพยากรณ์อนุกรมเวลาตัวแบบ Box-Jenkin's (Auto Regressive Integrated Moving Average; ARIMA)

รูปแบบหนึ่งที่มีการนำมาใช้มากและเป็นที่ยอมรับซึ่งมีความสอดคล้องกับอนุกรมเวลา โดยการพยากรณ์แบบ ARIMA ได้ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ราคาและความต้องการใช้วัตถุดิบของวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามตัวแบบ ARIMA มีการรวบรวมและให้ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลทั้งหมดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ โดยที่ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ผ่านมารวมถึงค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์นั้น จะถูกนำมาวิเคราะห์ต้องมีค่าเฉลี่ยคงที่และความแปรปรวนคงที่ และจะถูกจัดอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้น [11]

ลักษณะของตัวแบบ ARIMA ได้มีองค์ประกอบผสมผสานกันอยู่ 3 ส่วนคือ ตัวแบบการถดถอยนำข้อมูลอนุกรมเวลามาทำการพยากรณ์อยู่ในรูปสมการเชิงถดถอยซึ่งในตัว Autoregressive Models – AR แทนสัญลักษณ์ด้วย p หมายถึง จำนวนสัมประสิทธิ์ของตัวแบบ AR ส่วนถัดมาคือ Integrated – I แทนสัญลักษณ์ด้วย d คือค่าความแตกต่างของข้อมูล 2 ค่า ที่มีความต่อเนื่องกัน นำมาหักลบกันและเมื่อมีการพิจารณาถึงข้อมูลที่เป็นอนุกรมเวลาควรเป็นไปตามกระบวนการคงที่ และตัวแบบสุดท้ายคือค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ Moving Average Models – MA ซึ่งมีการใช้สัญลักษณ์ด้วย q ซึ่งหมายถึงการใช้ค่าอนุกรมเวลาในอดีตมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อพยากรณ์ค่าในอนาคตหรือจำนวนสัมประสิทธิ์ตัวแบบ MA โดยตัวแบบทั้งหมดสามารถเขียนในรูปสมการองค์ประกอบต่างๆ ของตัวแบบ ARIMA ดังสมการที่ 8

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i B^i\right) (1-B)^d y_t = \zeta + \left(1 + \sum_{j=1}^q \theta_j B^j\right) \varepsilon_t \quad (8)$$

- โดยที่ y_t คือ ค่าของข้อมูลอนุกรมเวลา
 B คือ ตัวดำเนินการช่วงเวลาที่ช้ากว่ากัน (Lag Operator)
 ζ คือ ค่าจุดตัดของแกน (Intercept)
 ϕ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนัก AR
 θ คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก MA

อย่างไรก็ตามจากสมการที่ 6 สามารถนำมาประยุกต์ใช้สร้างตัวแบบย่อยได้ เช่น Autoregressive moving average (ARMA) และ Integrated moving average (IMA) [12-14]

การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์คือการวัดความแม่นยำของการพยากรณ์ในช่วงระยะเวลา t ใดๆ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ดังสมการที่ 9-12 [15]

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2}{n} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - F_t|}{n} \quad (11)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right|}{n} \times 100\% \quad (12)$$

- โดยที่ Y_t คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริง ณ เวลา t
 F_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + 1$
 n คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาประเมินค่าความคลาดเคลื่อน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่า Harlianingtyas et al. [16] กล่าวว่า การพยากรณ์การผลิตน้ำตาลได้ถูกใช้มาตั้งแต่ปี 1978 ถึง 2018 ซึ่งได้มาจากข้อมูลทุติยภูมิ โดยงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการพยากรณ์ Box-Jenkins ARIMA และการพยากรณ์ด้วยวิธีอนุกรมเวลาในรูปแบบต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับ การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ สรุปได้ว่าการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์การผลิตน้ำตาลคือแบบจำลอง ARIMA (1,1,1) เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์น้อยกว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีอนุกรมเวลา และ İşçiçok, Öz and Tarkun [13] กล่าวว่า การพยากรณ์การเปรียบเทียบทางเทคนิคของอัตราเงินเฟ้อในประเทศตุรกี ซึ่งมีการคาดการณ์อัตราเงินเฟ้อ (Rates of inflation) ในอนาคตของประเทศนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก การพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและเชื่อถือสามารถเป็นตัวกำหนดนโยบายที่จะนำไปใช้โดยผู้มีอำนาจตัดสินใจในระบบเศรษฐกิจในระดับประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการพยากรณ์ Box-Jenkins ARIMA และการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) พยากรณ์อัตราเงินเฟ้อ และนำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ เป็นที่สังเกตว่าความแม่นยำของการพยากรณ์ที่ได้รับจากทั้งสองเทคนิคไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยการพยากรณ์ราคาถ่านหินเพื่อการตัดสินใจในการลงทุน ซึ่งสามารถคาดการณ์ความไม่แน่นอนของราคาถ่านหินในอนาคตที่มีลักษณะข้อมูลเป็นแบบฤดูกาล โดยใช้รูปแบบการพยากรณ์ ARIMA, Generalized regression neural networks (GRNNs) และ Multi-layer feedforward networks (MLFNs) คาดการณ์ราคาถ่านหินจากนั้นทำการเปรียบเทียบ

ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและอื่น ๆ จากการวิจัยสรุปได้ว่าการพยากรณ์ในรูปแบบ Full time series การพยากรณ์แบบ GRNNs ให้ค่าความแม่นยำมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อการพยากรณ์ในรูปแบบ Transgenic time series การพยากรณ์ตัวแบบ ARIMA มีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์น้อยที่สุด [11]

Kwon, Do and Kim [17] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับกรอบการตัดสินใจและการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีภายใต้ความผันผวนของราคารูปแบบการตัดสินใจของงานวิจัยพิจารณาเกี่ยวกับการคาดการณ์ราคาวัตถุดิบ การซื้อขาย และการวางแผนการผลิต ซึ่งทั้งหมดนี้ใช้วิธีการพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกัน ดังนี้ แบบจำลองพลวัตระบบ (System dynamics ; SD) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression; MLR) และการพยากรณ์โดยใช้ใยประสาทเทียม จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ นำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับใช้กับแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมเพื่อกำหนดกลยุทธ์การดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุดในเรื่องของความสามารถในการทำกำไรสูงสุดจากการแก้ไขปัญหาด้วยการตัดสินใจในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่นการควบคุมการส่งซื้อวัตถุดิบ การขายผลิตภัณฑ์ การจัดการสินค้าคงคลัง การบริหารจัดการความเสี่ยงทางการเงิน และอื่น ๆ ซึ่งผลที่ตามมาจากการวางแผนการผลิตที่ดี ทำให้ยอดขายรวมเพิ่มขึ้น 5.5% และกำไรจากการดำเนินงานเพิ่มขึ้น 13.8% เมื่อเทียบกับกรณีศึกษา เช่นเดียวกันกับ Mandade and Shastri [18] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเอาวัตถุดิบหลากหลายที่ส่วนมีผสมของน้ำตาลและสามารถนำมาผลิตเอทานอลได้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมทางการเกษตรต่าง ๆ อย่างไรก็ตามยังพบว่าปัญหาในการตัดสินใจนำวัตถุดิบที่มีความหลากหลายมาผสมกันให้ได้สัดส่วนสำหรับการผสมที่เหมาะสมและต้นทุนต่ำที่สุดงานวิจัยนี้จึงนำวิธีการการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นแบบหลายเงื่อนไข มาช่วยในการวิเคราะห์สถานการณ์สำหรับการตัดสินใจเลือกสัดส่วนวัตถุดิบสำหรับใช้ผลิตเอทานอล

สรุปได้ว่าวัตถุดิบที่มาจากอ้อยนั้นมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการผลิตเอทานอล อย่างไรก็ตามจะมีผลขึ้นอยู่กับการใช้สถานการณ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูล

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลและเอทานอลมีความเชื่อมโยงกันในเรื่องของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการพยากรณ์วัตถุดิบแต่ละชนิดมีความผันผวนของราคาราคานั้นถือเป็นต้นทุนหลักของอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล ซึ่งการตัดสินใจในการเลือกใช้จึงส่งผลกระทบต่อประกอบการของธุรกิจเอทานอลและธุรกิจน้ำตาล

อย่างไรก็ตามงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาจากผู้วิจัยตระหนักถึงการนำผลของการพยากรณ์ตัวแบบ ARIMA นำไปใช้ในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการกำหนดรูปแบบเงื่อนไขประกอบการตัดสินใจบนพื้นฐานของราคาวัตถุดิบและราคาของน้ำตาลตลาดโลก โดยนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจด้วยกระบวนการเลือกวัตถุดิบอย่างมีขั้นตอน โดยการหาสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลในวัตถุดิบ การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิดเพื่อจัดเรียงลำดับต้นทุนและปริมาณวัตถุดิบให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกกว่าการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งสามารถปรับแผนการดำเนินธุรกิจได้อย่างเหมาะสมและรวดเร็วในสถานะเศรษฐกิจที่มีการแข่งขันสูงในปัจจุบัน

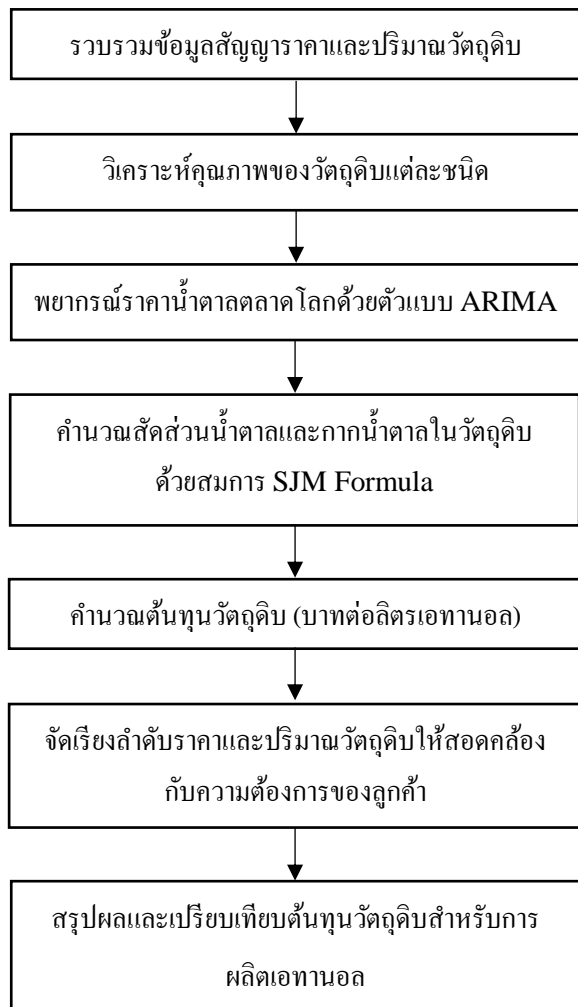
3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการบริหารจัดการวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้อย่างเพียงพอและมีต้นทุนที่ต่ำ โดยมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของวัตถุดิบได้แก่ คุณภาพ ราคาากากน้ำตาล ราคาน้ำตาลตลอดโลกและปริมาณของวัตถุดิบ ซึ่งสามารถสรุปเป็นลำดับขั้นตอนดังรูปที่ 1

3.1 รวบรวมข้อมูลสัญญาาราคาและปริมาณกากน้ำตาล

การซื้อขายกากน้ำตาลมีการซื้อขายแบบทำสัญญาซื้อขายทั้งในประเทศและต่างประเทศ อย่างไรก็ตามราคาและปริมาณกากน้ำตาลจะแปรผันตามปริมาณอ้อยเข้าหีบในแต่ละปี ดังนั้นราคาน้ำตาลของตลาดโลกจึงไม่มีนัยสำคัญ

ต่อราคากากน้ำตาล โดยราคากากน้ำตาลในปี 2564 ดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเลือกวัตถุดิบที่มีความหลากหลายและราคาแตกต่างกันให้ต้นทุนต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 สัญญาของราคากากน้ำตาลแต่ละแหล่งที่มา

แหล่งที่มาของกากน้ำตาล	ราคา (บาทต่อตัน)
กากน้ำตาลในเครือ	5,100
กากน้ำตาลนอกเครือ	5,500
กากน้ำตาลนำเข้าจากต่างประเทศ	5,800

จากการสำรวจปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดจากแหล่งวัตถุดิบของโรงงาน รวมถึงการรับวัตถุดิบจากโรงงานนอกเครือและต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเอทานอลในปี 2564

ประเภทของวัตถุดิบ	ปริมาณ (ตัน)
a) น้ำตาลทรายดิบ	60,000
b) น้ำเชื่อม	64,000
c) กากน้ำตาล W	9,000
e) กากน้ำตาล B	*100,000
f) กากน้ำตาล C ในเครือ	*120,000
g) กากน้ำตาล C นอกเครือ	150,000
h) กากน้ำตาล C ต่างประเทศ	150,000

* กรณีที่โรงงานน้ำตาลในเครือเลือกผลิตกากน้ำตาล B ในฤดูกาลผลิต โรงงานจะไม่ทำการผลิตกากน้ำตาล C

3.2 วิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบแต่ละชนิด

ดำเนินการวัดค่าคุณภาพของวัตถุดิบแต่ละชนิด ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายหรือค่าบริกซ์ด้วยเครื่อง Refractometer ค่าความหวานและน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) เมื่อได้ค่าความหวานและค่าบริกซ์ สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความบริสุทธิ์และน้ำตาลอินเวิร์ตตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งผลจากการวัดและผลการคำนวณน้ำตาลอินเวิร์ตหรือน้ำตาลที่สามารถนำไปหมักเป็นเอทานอล แสดงดังตารางที่ 4 อย่างไรก็ตามเมื่อคุณภาพของวัตถุดิบมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีสาเหตุจากการจัดเก็บเป็นระยะเวลาสั้น ค่าบริกซ์น้อยกว่า 80 %Brix ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ลดต่ำลง และอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการปนเปื้อนจากเชื้อแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัส (Lactobacilli) จะส่งผลให้น้ำตาลอินเวิร์ตกับน้ำตาลรีดิวซ์ในวัตถุดิบลดลง รวมถึงประสิทธิภาพของกระบวนการหมักลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [19]

ดังนั้นเมื่อมีการตัดสินใจในการเลือกใช้วัตถุดิบจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพและสมบัติของวัตถุดิบแต่ละชนิดทุกครั้งก่อนทำการตัดสินใจเลือกใช้วัตถุดิบ ในการผลิตเอทานอล เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีค่าความบริสุทธิ์และค่าบริกซ์ที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลกับการลดลงของน้ำตาลอินเวิร์ตในวัตถุดิบแต่ละชนิดไม่เท่ากัน

ตารางที่ 4 คุณภาพและสมบัติของวัตถุดิบ

ประเภทของวัตถุดิบ	Bx_i (%)	P_i (%)	Pol_i (%)	$W_{RS,i}$ (%)	$W_{TSAI,i}$ (%)
a) น้ำตาลทรายดิบ	99.7	99.3	99.0	0.0	104.21
b) น้ำเชื่อม	69.0	84.1	58.0	3.0	64.05
c) กากน้ำตาล W	69.0	82.6	57.0	3.0	63.00
d) กากน้ำตาล A	74.0	68.6	50.8	4.0	57.43
e) กากน้ำตาล B	83.5	55.7	46.5	6.0	54.95
f) กากน้ำตาล C ในเครือ	85.5	33.3	28.5	18.4	48.40
g) กากน้ำตาล C นอกเครือ	85.5	33.3	28.5	18.4	48.40
h) กากน้ำตาล C ต่างประเทศ	85.5	33.3	28.5	18.4	48.40

3.3 พยากรณ์ราคาน้ำตาลตลาดโลก (US Sugar #11) ด้วยตัวแบบ ARIMA

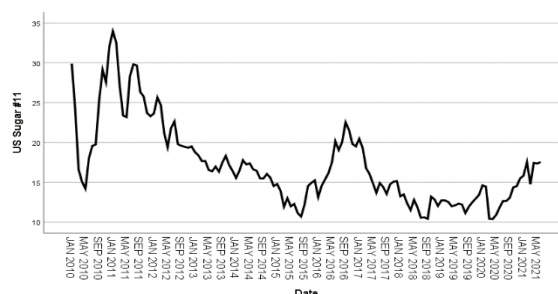
คาดการณ์ราคาของน้ำตาลตลาดโลกจากการพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลา ARIMA โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ IBM SPSS Statistics 26 ซึ่งข้อมูลที่น่ามาพยากรณ์นั้นอยู่ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

รวบรวมข้อมูลอนุกรมเวลาของราคาน้ำตาลตลาดโลกเพื่อสังเกตว่ามีค่าเฉลี่ยคงที่ (Stationary) หรือมีแนวโน้มโน้มของข้อมูลไม่คงที่ (Nonstationary)

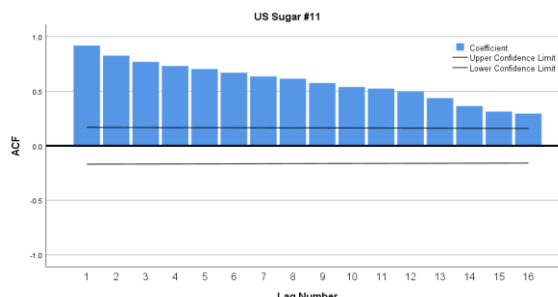
จากการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของราคาน้ำตาลตลาดโลกดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นมีแนวโน้มโน้มของข้อมูลไม่คงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงช่วงราคาที่ปรับตัวสูงสุดถึง 33.97 เซนต์ต่อปอนด์ ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 และต่ำสุดที่ราคา 10.42 เซนต์ต่อปอนด์ ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 [20] ซึ่งมีแนวโน้มของราคาตกต่ำลงอย่างต่อเนื่อง สังเกตจากกราฟ ACF (Autocorrelation function) แสดงให้เห็นว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีลักษณะเป็นไปตามตัวแบบการถดถอยในตัว ค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนัก ϕ_1 เท่ากับ 0.919 มีค่าเป็นบวก ($0 < \phi_1 < 1$) โดยที่ค่า ACF จะค่อยๆ ลดลงตามรูปแบบของฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียลเมื่อ Lag number มีค่ามากขึ้น ดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 4 พบว่าอนุกรมเวลามีค่าไม่คงที่จึงปรับ

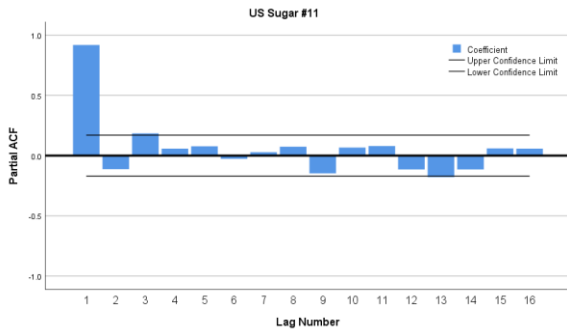
ข้อมูลให้มีค่าคงที่แล้วจึงนำไปเขียนกราฟแสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวส่วนย่อย (PACF) ด้วยวิธีการหาผลต่าง (Difference) ดังรูปที่ 5 ซึ่งได้จากการคำนวณค่าความแตกต่างของข้อมูล 2 ค่าที่อยู่ต่อเนื่องกัน ในรูปแบบผลต่างอันดับที่ 2 (Second order differencing) แทนค่าผลต่างด้วย Non-Seasonal Differencing เท่ากับ 2



รูปที่ 2 การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของราคาน้ำตาลตลาดโลก (US Sugar #11) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

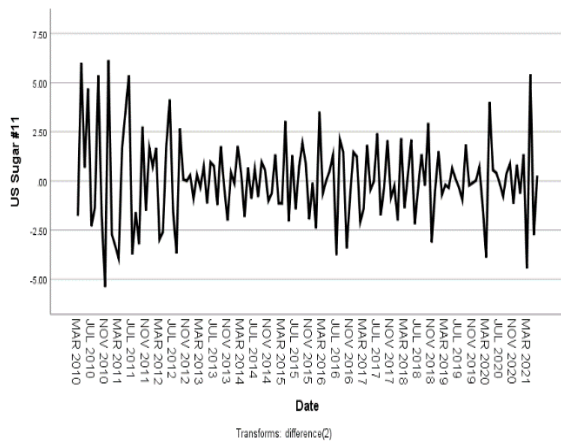


รูปที่ 3 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF)

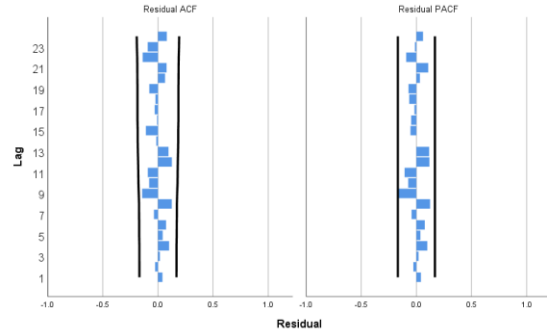


รูปที่ 4 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF)

จากการหาค่าผลและการวิเคราะห์กราฟ ACF และ PACF ตามรูปที่ 4 พบว่ากราฟแท่งที่ 1 ยื่นออกมาเหนือเส้นขีดจำกัดความเชื่อมั่นบน (Upper Confidence Limit) จึงได้กำหนดตัวแบบการพยากรณ์ AR(1) และ MA(1) ส่วนของค่าความแตกต่างของข้อมูล I(2) เนื่องจากอนุกรมเวลาไม่คงที่ โดยอนุกรมเวลามีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม ดังนั้นจึงได้ตัวแบบอนุกรมเวลา ARIMA (1,2,1) อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการพยากรณ์ในช่วงความน่าเชื่อถือในร้อยละ 95 ของ Residual ACF และ Residual PACF แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทุก Lag ไม่มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ตามรูปที่ 6



รูปที่ 5 รูปแบบผลต่างอันดับที่ 2



รูปที่ 6 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของ Residual ACF และ Residual PACF

พารามิเตอร์ของรูปแบบการพยากรณ์ตัวแบบ ARIMA (1,2,1) ซึ่งรูปสมการองค์ประกอบต่างๆ ของตัวแบบ ARIMA ตามสมการที่ 8 โดยค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบพยากรณ์แสดงดังตารางที่ 5 ผลจากการพยากรณ์ตัวแบบ ARIMA (1,2,1) พบว่ามีแนวโน้มที่ราคาน้ำตาลตลาดโลกจะปรับตัวสูงขึ้นตามตารางที่ 6 ซึ่งพยากรณ์ล่วงหน้าไป 6 เดือนของปี 2564

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์ของตัวแบบ ARIMA (1,2,1)

Model	Estimate	SE	t-value	Sig.
ค่าคงที่	0.005	0.006	0.816	0.416
AR (1)	0.300	0.091	3.303	0.001
Diff.	2			
MA (1)	0.997	0.548	1.821	0.071

ตารางที่ 6 ผลการพยากรณ์ ARIMA (1,2,1)

เดือน	การพยากรณ์ราคาน้ำตาลตลาดโลก	
	(เซนต์ต่อปอนด์)	(บาทต่อตัน)
ก.ค.	17.75	12,131
ส.ค.	17.96	12,274
ก.ย.	18.18	12,425
ต.ค.	18.40	12,575
พ.ย.	18.62	12,726
ธ.ค.	18.85	12,883

จากการประเมินผลความแม่นยำของการพยากรณ์ในตัวแบบ ARIMA (1,2,1) ความสัมพันธ์ระหว่าง MAPE กับระดับความแม่นยำของลิวอิส [14] การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ดังตารางที่ 7 ระดับความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่สูง สืบเนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) มีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7 ค่าความคลาดเคลื่อนและแบบจำลองทางสถิติของการพยากรณ์ราคาน้ำตาลตลาดโลก ARIMA (1,2,1)

เกณฑ์การวัดความแม่นยำของการพยากรณ์	ผลลัพธ์
Stationary R-squared	0.291
R-squared	0.873
MSE	3.353
RMSE	1.831
MAPE	7.412
MAE	1.270
Normalized BIC	1.318

3.4 **คำนวณสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลในวัตถุดิบด้วยสมการ SJM Formula**

การคำนวณสัดส่วนของน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการนำกากน้ำตาลปีและการคำนวณน้ำเชื่อมเพื่อนำไปแปลงค่ากลับเป็นน้ำตาลทรายดิบและกากน้ำตาล อย่างไรก็ตามการคำนวณสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลในวัตถุดิบจำเป็นต้องมีข้อมูลประกอบการคำนวณจากผลวิเคราะห์เฉลี่ยคุณภาพของน้ำตาล กากน้ำตาลปีและกากน้ำตาลแสดงดังตารางที่ 4 จากนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 โดยปริมาณสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลในวัตถุดิบแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในวัตถุดิบแต่ละชนิดที่มีค่าความบริสุทธิ์สูงและต่ำ จะผันแปรไปตามปริมาณสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลในเนื้อของวัตถุดิบนั้นๆ โดยประกอบไปด้วย ค่าความหวานและความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย

ตารางที่ 8 สัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลที่เท่ากัน

ประเภทของวัตถุดิบ	สัดส่วนของน้ำตาล	สัดส่วนของกากน้ำตาล
a) น้ำตาลทรายดิบ	100.0	0
b) น้ำเชื่อม	53.2	15.8
c) กากน้ำตาล W	51.7	17.5
d) กากน้ำตาล A	39.7	41.4
e) กากน้ำตาล B	28.4	64.5
f) กากน้ำตาล C ในเครือ	0	100
g) กากน้ำตาล C นอกเครือ	0	100
h) กากน้ำตาล C ต่างประเทศ	0	100

3.5 **คำนวณต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำไปผลิตเป็นเอทานอล**

การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิดอันดับแรกจำเป็นคำนวณราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิดก่อน ซึ่งหาได้จากการนำสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลมาคำนวณกับราคาของน้ำตาลตลาดโลกที่ได้จากการพยากรณ์และสัญญาณราคากากน้ำตาล สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 13

$$P_{a \rightarrow h} = (P_{Sugar} \cdot SR_i) + (P_{Mol} \cdot MR_i) \quad (13)$$

- โดยที่
- $P_{a \rightarrow h}$ คือ ราคาของวัตถุดิบ a ถึง b (บาทต่อตัน)
 - P_{sugar} คือ ราคาน้ำตาลตลาดโลกจากการพยากรณ์ (บาทต่อตัน)
 - P_{Mol} คือ สัญญาณราคากากน้ำตาล (บาทต่อตัน)
 - SR_i คือ สัดส่วนน้ำตาล (%)
 - MR_i คือ สัดส่วนกากน้ำตาล (%)
- $i = [a,h]$

$$C_i = \frac{P_i}{Y_i} \quad (14)$$

โดยที่ C_i คือ ต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิด (บาทต่อลิตร)
 P_i คือ ราคาวัตถุดิบแต่ละชนิด (บาทต่อตัน)
 Y_i คือ ผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อ น้ำหนักวัตถุดิบ (ลิตรต่อตัน)
 $i = [a,h]$

อย่างไรก็ตามการคำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิด ตัวแปรที่สำคัญนอกจากราคาวัตถุดิบแล้วยังขึ้นอยู่กับผลผลิต

ปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบ โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 7 โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดประสิทธิภาพของการหมักบนพื้นฐานของสตอยซิโอเมทรี อยู่ที่ 92% และกระบวนการกลั่นอยู่ที่ 99% ดังตารางที่ 1 ผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักน้ำตาลกลูโคส (Conversion factors) ใช้สำหรับการคำนวณผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 596 ลิตรต่อตัน FS เมื่อได้ราคาวัตถุดิบและผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบ สามารถที่จะคำนวณต้นทุนวัตถุดิบได้ดังสมการที่ 14 ซึ่งผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบราคาวัตถุดิบแต่ละชนิดและต้นทุนวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบ ราคาและต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิด

ประเภทของวัตถุดิบ	Y_i (ลิตรต่อตัน)	P_i (บาทต่อตัน)	C_i (บาทต่อลิตร)
a) น้ำตาลทรายดิบ	621.09	12,131	19.53
b) น้ำเชื่อม	381.75	7,262	19.02
c) กากน้ำตาล W	375.48	7,161	19.07
d) กากน้ำตาล A	342.29	6,923	20.23
e) กากน้ำตาล B	327.49	6,729	20.55
f) กากน้ำตาล C ในเครือ	288.46	5,090	17.65
g) กากน้ำตาล C นอกเครือ	288.46	5,200	18.03
h) กากน้ำตาล C ต่างประเทศ	288.46	5,500	19.07

ตารางที่ 10 ลำดับความต้องการวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

ลำดับ	ประเภทของวัตถุดิบ	ปริมาณ (ตัน)
1	f) กากน้ำตาล C ในเครือ	120,000
2	b) น้ำเชื่อม	64,000
3	g) กากน้ำตาล C นอกเครือ	150,000
4	c) กากน้ำตาล W	9,000
5	a) น้ำตาลทรายดิบ	60,000
6	h) กากน้ำตาล C ต่างประเทศ	49,356
7	d) กากน้ำตาล A	0
8	e) กากน้ำตาล B	0

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบเงินไขการเลือกวัตถุดิบแต่ละชนิดและต้นทุนสำหรับการผลิตเอทานอล

ประเภทของวัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบสำหรับการผลิต (ตัน)		ต้นทุนการผลิตด้านวัตถุดิบ (บาทต่อปี)	
	เงินไขที่ 1	เงินไขที่ 2	เงินไขที่ 1	เงินไขที่ 2
a) น้ำตาลทรายดิบ	60,000	60,000	727,860,000	727,860,000
b) น้ำเชื่อม	-	64,000	-	464,768,000
c) กากน้ำตาล W	9,000	9,000	64,449,000	64,449,000
d) กากน้ำตาล A	-	-	-	-
e) กากน้ำตาล B	91,655	-	616,746,495	-
f) กากน้ำตาล C ในเครือ	-	120,000	-	610,800,000
g) กากน้ำตาล C นอกเครือ	150,000	150,000	780,000,000	780,000,000
h) กากน้ำตาล C ต่างประเทศ	150,000	49,356	825,000,000	271,458,000
รวม	76,775	75,392	3,014,055,495	2,919,335,000

$$\sum_{i=a}^h RM_i \cdot Y_i = EAD \quad (15)$$

โดยที่ EAD คือ ความต้องการเอทานอลของลูกค้า (ลิตร)

RM_i คือ ปริมาณวัตถุดิบ (ตัน)

$i = [a, h]$

ดังนั้นเมื่อทราบลำดับความต้องการวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าและต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลดังตารางที่ 10 สามารถหาต้นทุนด้านวัตถุดิบรวมดังสมการที่ 16 ดังนั้นเมื่อทราบลำดับความต้องการวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

$$Z = \sum_{i=a}^h RM_i \cdot C_i \quad (16)$$

โดยที่ Z คือ ต้นทุนวัตถุดิบรวม

i เรียงลำดับจากต้นทุนวัตถุดิบจากน้อยไปหามาก $[a, h]$

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต้นทุนทางด้านวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุดิบที่หลากหลายในโรงงานน้ำตาล โดยมีต้นทุนต่ำที่สุดในการนำมาผลิตเอทานอล ซึ่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ ราคาน้ำตาลตลาดโลก ราคากากน้ำตาล คุณภาพวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบ และผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบ (Yield) ซึ่งประสิทธิภาพของโรงเอทานอลแต่ละโรงงานนั้น มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลและคุณภาพวัตถุดิบแตกต่างกัน รวมถึงราคาน้ำตาลตลาดโลกที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตเอทานอล จากการเคลื่อนไหวของราคาตามสภาวะเศรษฐกิจ ดังนั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลด้านคุณภาพวัตถุดิบจากโรงงานน้ำตาลเพื่อนำมาคำนวณหาสัดส่วนน้ำตาลและกากน้ำตาลในวัตถุดิบแต่ละชนิดด้วยสมการ SJM จากนั้นสำรวจราคาสัญญาณกากน้ำตาลในเครือ นอกเครือและกากน้ำตาลนำเข้าจากต่างประเทศและทำการพยากรณ์ราคาน้ำตาลตลาดโลก นำมาใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณเพื่อหา

ราคาวัตถุดิบด้วยการพยากรณ์อนุกรมเวลาตัวแบบ ARIMA(1,2,1)

เมื่อได้ราคาวัตถุดิบแต่ละชนิดแล้วทำการคำนวณหาต้นทุนจากราคาวัตถุดิบต่อผลผลิตปริมาณเอทานอลต่อน้ำหนักวัตถุดิบ สุดท้ายทำการจัดเรียงลำดับต้นทุนและปริมาณวัตถุดิบให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

จากการพยากรณ์ด้วยตัวแบบ ARIMA (1,2,1) พบว่าราคาน้ำตาลตลาดในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ปรับตัวสูงขึ้นเป็น 12,131 บาทต่อตัน หรือ 17.75 เซนต์ต่อปอนด์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ตลาดเคลื่อนไหวสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 7.412% โดยอยู่ในระดับความแม่นยำในเกณฑ์ที่สูง ซึ่งผลการวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิดพบว่าต้นทุนของกากน้ำตาล B สูงที่สุด 20.55 บาทต่อตัน ในส่วนของของต้นทุนกากน้ำตาลในเครือ C มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่ากรณีที่ราคาน้ำตาลตลาดโลกปรับตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในเดือนกรกฎาคมจนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 ควรที่จะนำกากน้ำตาล C ในเครือ นำมาผลิตเอทานอลเป็นอันดับแรกซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนด้านวัตถุดิบโดยมีเงื่อนไขที่ 1 เป็นกรณีศึกษาเมื่อโรงงานน้ำตาลในเครือผลิตเฉพาะกากน้ำตาล B ในฤดูกาลผลิต ซึ่งถือเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิต

เอทานอลโดยมีปริมาณทั้งหมด 91,655 ตันและใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ และเงื่อนไขที่ 2 เป็นนำกระบวนการเลือกใช้วัตถุดิบอย่างมีขั้นตอนมาประยุกต์ใช้งาน พบว่าวิธีการนี้เลือกใช้กากน้ำตาล C และวัตถุดิบอื่นๆ มาผลิตเอทานอลโดยที่ไม่ใช้กากน้ำตาล B มาผลิต ตามความต้องการเอทานอล 157 ล้านลิตรต่อปี ดังตารางที่ 11

ดังนั้นสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ 2 มีต้นทุนต่ำกว่าเงื่อนไขที่ 1 ซึ่งเงื่อนไขที่ 2 มีต้นทุนด้านวัตถุดิบที่ต่ำกว่า 3.14% หรือคิดเป็นมูลค่า 94,720,495 บาท มีผลมาจากราคากากน้ำตาล B ที่สูงและไม่ได้เลือกใช้น้ำเชื่อมในช่วงฤดูกาลผลิตของโรงงานน้ำตาล นำเข้ามาผลิตเอทานอลส่งผลให้มีการนำเข้ากากน้ำตาลจากต่างประเทศเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการเอทานอลของลูกค้า และงานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ พบว่าค่าน้ำตาลอินเวิร์ตและค่าน้ำตาลรีตีวซีในวัตถุดิบแต่ละชนิด มีการลดลงจากปฏิกิริยาเคมีและชีวภาพ โดยที่มีอุณหภูมิและเวลาเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ เพื่อการคาดการณ์ต้นทุนด้านวัตถุดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในอนาคตควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีของการลดลงของค่าน้ำตาลอินเวิร์ตและค่าน้ำตาลรีตีวซีจากการจัดเก็บ [21]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Arshad, M., Abbas, M. and Iqbal, M. (2019). Ethanol production from molasses: Environmental and socioeconomic prospects in Pakistan: Feasibility and economic analysis, *Environmental Technology and Innovation*, vol. 14, February 2019, pp. 100317
- [2] Naik, S. N. et al. (2010). Production of first- and second-generation biofuels: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14(2), October 2009, pp. 578–597.
- [3] García-Bustamante, C. A. et al. (2018). Development of indicators for the sustainability of the sugar industry, *Environmental and Socio-Economic Studies*, vol. 6(4), November 2018, pp. 22–38.
- [4] Ihwah, A. and Viandini, U. H. (2020). Forecasting of purchasing quantity of Manalagi apple for apple juice drink production in PT XYZ Malang, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 475(012054), International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy

- [5] Bhatti, Z. A., Rajput, M.-H. and Maitlo, G. (2019). Impact of Storage Time, Rain and Quality of Molasses in the Production of Bioethanol, *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 38(4), October 2019, pp. 1021–1032.
- [6] Zhang, P. G. (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model, *Neurocomputing*, vol. 50, November 2001, pp. 159–175.
- [7] Wright, P. G., Fernandes, A. C., and Zarpelon, F. (2007). Control Calculations for Factories Producing Both Sugar and Alcohol, *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol*, vol. 29(1-13).
- [8] Borges, E. P. et al. (2015). The benefits of applied research: 37 years of discoveries, adaptations and solutions, *Sugar Industry*, vol. 6, April 2015, pp. 209–216.
- [9] Ahmad, S. et al. (2019). Study of morphological and qualitative plant traits against the infestation of chilo infuscatellus L. (pyralidae, lepidopetra), *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17(3), April 2019, pp. 7057–7065.
- [10] อึ้งหังส์ โจ้ว และวิเชียร กิจปรีชาวนิช. กระบวนการผลิตเอทานอลจากโมลาส, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560
- [11] Matyjaszek, M. et al. (2019). Forecasting coking coal prices by means of ARIMA models and neural networks, considering the transgenic time series theory, *Resources Policy. Elsevier Ltd*, vol. 61, December 2018, pp. 283–292.
- [12] Sujjaviriyasup, T. and Pitiruek, K. (2018). A comparison between MODWT-SVM-DE hybrid model and ARIMA model in forecasting primary energy consumptions, *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, December 2017, pp. 799–802.
- [13] İşçiçok, E., Öz, R. and Tarkun, S. (2007). Forecasting and Technical Comparison of Inflation in Turkey with Box-Jenkins (ARIMA) Models and the Artificial Neural Network, *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, vol. 9(4), October 2020, pp. 84–103.
- [14] กรินทร์ กาญจนานนท์. การพยากรณ์ทางสถิติ. ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2561 หน้า 147-173.
- [15] Chiewchanchairat, K., Bumroongsri, P. and Kheawhom, S. (2013). Role of hybrid forecasting techniques for transportation planning of broiler meat under uncertain demand in thailand, *KKU Engineering Journal*, vol. 40, March 2015, pp. 131–138.
- [16] Harlianingtyas, I., Salim, A., Hartatie, D., & Supriyadi, S. (2020). Forecasting sugarcane production in the Asembagus sugar factory, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 411(1), January 2020.
- [17] Kwon, H., Do, T. N. and Kim, J. (2020). Comprehensive Decision Framework Combining Price Prediction and Production-Planning Models for Strategic Operation of a Petrochemical Industry, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 59(25), June 2020, pp. 11610-11620.
- [18] Mandade, P. and Shastri, Y. (2019). Multi-objective optimization of lignocellulosic feedstock selection for ethanol production in India, *Journal of Cleaner Production*, vol. 231, May 2019, pp. 1226-1234.
- [19] Thulasizwe T. Ngwenya. (2012). An industrial perspective of factors affecting molasses fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*, *Journal of Brewing and Distilling*, vol. 3(2), March 2012, pp. 23–28.

[20] US Sugar #11 Futures, United States (2021). *Statistic Data*, available online:

<https://th.investing.com/commodities/us-sugar-no11>

[21] บริษัท มิตรผลวิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาลจำกัด (2556). รายงานโครงการศึกษาอุนหภูมิที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของกากน้ำตาลในระหว่างจัดเก็บ, *รายงานโครงการศึกษาอุนหภูมิที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของกากน้ำตาลในระหว่างจัดเก็บ*, หน้า 9 – 1