



## วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

### การคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อยโดยใช้วิธีการ TOPSIS และ ROC

### Selection the suitable material for making base-cutter blades in sugarcane harvester using TOPSIS and ROC method

มนตรี วิมล\*

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Montri Wimol\*

Department of Production Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University Phitsanulok 65000

\* Corresponding author.

E-mail: montri.m@psru.ac.th; Telephone: 0 8460 88299

วันที่รับบทความ 27 กรกฎาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 24 พฤศจิกายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 5 มกราคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 19 มีนาคม 2566

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย ด้วยวิธีการ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) และวิธีการ Rank Order Centroid (ROC) โดยวิธีการ ROC ถูกนำมาใช้คำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ (Criteria) ภายใต้เกณฑ์ในการตัดสินใจจำนวนทั้งหมด 8 เกณฑ์ ดังนี้ 1) โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น 2) ความสามารถในการแปรรูปทางกล 3) ความแข็ง 4) ความเหนียว 5) ความสามารถในการชุบแข็ง 6) ความต้านทานต่อการสึกหรอ 7) การบิดเบี้ยว และ 8) ต้นทุนการวัสดุ ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการคัดเลือกวัสดุในกลุ่มเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อยเพื่อเป็นทางเลือกการตัดสินใจ ซึ่งพบว่ามีเหล็กกล้า 5 ประเภท ได้แก่ เหล็กกล้าสปริง (AISI 5160) เหล็กกล้าผสม (AISI 4140) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1045) เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยน้ำ (AISI W1) และเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง (AISI D2) สุดท้ายคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเพื่อนำมาใช้จัดลำดับทางเลือกในการตัดสินใจตามวิธีการ TOPSIS ผลการวิจัยพบว่า เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง (AISI D2) มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย ส่วนเหล็กกล้าประเภทอื่นถูกเรียงลำดับจากมากไปน้อยตามค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ

#### คำสำคัญ

การคัดเลือกวัสดุ การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ rank order centroid

#### Abstract

This research study purposed to select appropriate material for making base-cutter blades in sugarcane harvester using technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) and rank order centroid (ROC) method. The eight criterions affecting material decision were weighted importance using ROC method, which were 1) modulus of elasticity 2) machinability 3) hardness 4) toughness 5) harden ability 6) wear resistance 7) non-deforming properties 8) cost, respectively. After that materials in the steel group which have suitable properties for making base-cutter blades in sugarcane harvester were considered for alternative decisions. It was found that there were 5 types namely spring steel

(AISI 5160), alloy steel (AISI 4140), medium carbon steel (AISI1045), water-hardening tool steel (AISI W1) and high-carbon high-chrome air-hardening steel (AISI D2). Finally, the closeness coefficient was computed to be used to rank alternative decisions with the TOPSIS method. The results showed that high-carbon high-chrome air-hardening steel (AISI D2) was the most suitable material for making base-cutter blades in sugarcane harvester. On the other hand, the other steel was arranged in descending order based on their closeness coefficient value.

### Keywords

material selection; multiple criteria decision-making; technique for order of preference by similarity to ideal solution; rank order centroid

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันว่าวัสดุมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการออกแบบทางด้านวิศวกรรม การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมจะนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนและยังอาจส่งผลต่อความสำเร็จและความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจของผู้ประกอบกิจการ [1] แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกวัสดุสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมจำเป็นต้องมีความเข้าใจอย่างชัดเจนเกี่ยวกับข้อกำหนดการใช้งานสำหรับแต่ละส่วนประกอบรวมถึงเกณฑ์หรือคุณสมบัติที่สำคัญต่าง ๆ จำเป็นต้องถูกนำมาพิจารณา [2] คุณลักษณะของการเลือกวัสดุจะถูกกำหนดจากสมบัติที่มีอิทธิพลต่อการนำไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล สมบัติในการผลิต (ความสามารถการขึ้นรูป การแปรรูป การหล่อ การเชื่อม การอบชุบด้วยความร้อน ฯลฯ) ต้นทุนของวัสดุ รูปร่างผลิตภัณฑ์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และรวมถึงการรีไซเคิล เป็นต้น [3] นอกจากนี้วัสดุดั้งเดิมจำนวนมากที่ใช้ในงานวิศวกรรมเป็นเวลานานกำลังจะถูกแทนที่ด้วยวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติเฉพาะแตกต่างกัน [4] ซึ่งอาจทำให้ตัดสินใจได้ยากและมีความซับซ้อนมากกว่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีแนวทางที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพในการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานทางวิศวกรรม

การคัดเลือกวัสดุสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อยเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและยากต่อการตัดสินใจ เนื่องจากโดยทั่วไปใบมีดตัดโคนผลิตจากกระบวนการชุบแข็งจึงทำให้วัสดุที่นำมาใช้ต้องมีสมบัติที่สำคัญหลากหลาย [5, 6] ได้แก่ ความต้านทานการเสียดสีบด การสึกกร่อน ความสามารถในการชุบแข็ง การบิดเบี้ยว ความแข็ง ความเหนียว ความสามารถในการแปรรูปทางกล ความต้านทานต่อการสึกหรอ เป็นต้น อีกทั้งในการคัดเลือก

วัสดุยังควรคำนึงถึงต้นทุนของวัสดุ [7] เพราะเป้าหมายหลักส่วนใหญ่ของผู้ออกแบบคือต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนที่ต่ำและยังมีประสิทธิภาพมากที่สุด [8] ดังจะเห็นได้ว่าปัญหาลักษณะนี้เป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) ที่ประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ซึ่งเป็นจุดสำคัญของงานวิจัยนี้

วิธีการ MCDM เป็นเครื่องมือที่ช่วยจัดการกับปัญหาการตัดสินใจที่มีหลายเกณฑ์หรือหลายทางเลือกในการตัดสินใจ โดย ผู้ตัดสินใจประเมินเกณฑ์การตัดสินใจและจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก [9] แต่ในขณะเดียวกันวิธีการ MCDM มีหลากหลายเทคนิค และแต่ละเทคนิคเหล่านี้ล้วนมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน จึงอาจจะต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับปัญหาที่นำไปประยุกต์ใช้ ดังเช่นการศึกษานี้ได้นำเกณฑ์เชิงคุณภาพมาพิจารณาร่วมด้วย ส่งผลให้ต้องแปลงจากค่าเชิงคุณภาพเป็นค่าเชิงปริมาณ ตลอดจนเกณฑ์การตัดสินใจที่มีจำนวนมากซึ่งยากต่อการกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้แต่ละเกณฑ์ และอาจทำให้ผู้ตัดสินใจเกิดความยุ่งยากหรือความสับสนในการตัดสินใจ [10] ตามการทบทวนวรรณกรรม พบว่า เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSIS) เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้ตัดสินใจได้อย่างมีเหตุผล มีขั้นตอนการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจจำนวนมาก อีกทั้งสามารถใช้ตัดสินใจได้ทั้งเกณฑ์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งตรงกับรูปแบบของปัญหาการศึกษานี้

จากสาเหตุที่กล่าวมาในข้างต้นจึงทำให้การศึกษานี้มีแนวคิดที่จะนำเสนอการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย โดยประยุกต์ใช้วิธีการ

TOPSIS และวิธีการ Rank Order Centroid (ROC) ร่วมกัน เมื่อวิธีการ ROC ถูกนำมาใช้คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ หลังจากนั้นในแต่ละทางเลือกการตัดสินใจ ถูกนำมาเรียงลำดับความสำคัญโดยวิธีการ TOPSIS ซึ่งแนวคิดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมในด้านอื่นได้เช่นกัน

## 2. การทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกวัสดุพบว่า มีบทความวิจัยปริทัศน์จำนวนหนึ่งที่ได้รวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างเช่น Zavadskas, Turskis และ Kildiene [11] Emoven และ Oghenenyero who [12], Rahim และคณะ [13], Jahan และ Edwards [14], พบว่าวิธีการ MCDM มักจะถูกนำไปใช้แก้ไขปัญหาการเลือกวัสดุเนื่องจากสามารถจัดการกับความขัดแย้งที่เกิดขึ้นจากเกณฑ์การตัดสินใจ และผู้ตัดสินใจได้เป็นอย่างดี เช่น งานวิจัยของ Maitya และ Chakraborty [15] ประยุกต์ใช้วิธีการ Fuzzy TOPSIS เพื่อเลือกวัสดุชุดสีสำหรับการผลิตล้อหินเจียรใน โดยประเมินจากเกณฑ์ด้านสมบัติเชิงกลและทางกายภาพ Mansor et al. [16] นำวิธีการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) มาใช้เลือกเส้นใยธรรมชาติที่เหมาะสมเพื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยใยแก้ว ด้วยเกณฑ์ตัดสินใจด้านสมรรถนะของการทำงาน น้ำหนัก และต้นทุน Anojkumar, langkumaran และ Sasirekha [17] นำเสนอวิธีแก้ปัญหาการเลือกวัสดุท่อในอุตสาหกรรมน้ำตาลด้วยวิธี MCDM เพื่อค้นหาวัสดุทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากความแข็งแรงความแข็งแรงคราก ความต้านทานแรงดึงสูงสุด เปอร์เซ็นต์การยืดตัว อัตราการผุกร่อน อัตราการสึกหรอ และต้นทุนของวัสดุ Mathiyazhagan, Gnanavelbabu และ Prabhuraj [18] ค้นหาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ภายใต้มุมมองทางด้านเศรษฐศาสตร์สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธี Fuzzy TOPSIS Tian et al. [19] ประยุกต์ใช้วิธีการ MCDM แบบผสมผสานเพื่อคัดเลือกวัสดุไม้ธรรมชาติสำหรับการออกแบบภายในอาคาร ภายใต้

เกณฑ์ด้านความสะอาดสบายทางสรีรวิทยา ความพึงพอใจด้านจิตวิทยา และผลกระทบของสิ่งแวดล้อมภายใน Singh et al. [20] ศึกษาการคัดเลือกวัสดุดิบเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษด้วยวิธีการ FTOPSIS และ Modified TOPSIS โดยพิจารณาจากคุณสมบัติด้านเคมี ด้านสัณฐานวิทยา และด้านกายภาพ

จากการศึกษางานวิจัยในช่วงต้นพบว่าวิธีการ TOPSIS เป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจที่นิยมถูกนำไปใช้ แต่ในทางตรงกันข้ามวิธีการ TOPSIS นั้นมักถูกนำไปผสมผสานกับวิธีการอื่น ๆ [21] ได้แก่ AHP, PROMETHEE, VIKOR และรวมถึงตรรกศาสตร์คลุมเครือหรือฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นต้น เพื่อลดจุดด้อยและข้อจำกัดของวิธีการเหล่านี้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการ TOPSIS แบบผสมผสานนั้นมีการคำนวณค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อนกว่าวิธีการ TOPSIS แบบปกติที่สามารถใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน และมีความชัดเจนในการหาคำตอบจากการตัดสินใจเพียงครั้งเดียว [22] แต่ทว่าวิธีการ TOPSIS ยังมีจุดสำคัญอีกประการหนึ่งคือในการกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์ ผู้ตัดสินใจจะเป็นผู้กำหนดค่าน้ำหนักของเกณฑ์ด้วยตนเอง ซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่แน่ใจในการกำหนดค่าน้ำหนักเป็นตัวเลขที่แน่นอน แต่จากงานวิจัยของ Sureeyatanapas et al. [23] ได้ให้ข้อสังเกตว่าวิธีการกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์โดยอาศัยอันดับความสำคัญของเกณฑ์ เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายและค่าน้ำหนักที่ได้นั้นมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการ TOPSIS ร่วมกับ ROC เพื่อใช้คัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำไบโอมัดตัดโคนในรถตัดอ้อย

## 3. วิธีการวิจัย

### 3.1 กำหนดเกณฑ์และทางเลือกการตัดสินใจ

ในปัญหาการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสม แม้ว่าจะมีการนำวิธีการ TOPSIS มาใช้แก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ แต่ปัญหาของงานวิจัยนี้มีทั้งเกณฑ์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ตลอดจนทางเลือกการตัดสินใจที่มีจำนวนหลายทางเลือก ดังนั้นเพื่อประยุกต์ใช้วิธีการ TOPSIS ในการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องคัดเลือกเกณฑ์การตัดสินใจที่สอดคล้องกับปัญหาของงานวิจัย ซึ่งเกณฑ์การตัดสินใจได้รับจากการทบทวน

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และคู่มือมาตรฐานของวัสดุ [24, 25] อีกทั้งยังได้รับการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ทำงานไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานชุบโลหะ นักวิชาการด้านกรรมวิธีการผลิต และนักวิชาการด้านโลหะวิทยา ดังแสดงในตารางที่ 1

สำหรับการพิจารณาคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำไบเมตต์โคโคนโรดตัดอ้อย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวัสดุต่าง ๆ ตามเกณฑ์การตัดสินใจในตารางที่ 1 พบว่า เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 0.3% ในขณะการชุบแข็งจะสามารถ

ทำได้ง่าย ความแข็งของเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และถ้ามีธาตุอิทธิพลอื่นผสมอยู่ด้วยจะทำให้มีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอ การเสียดสีได้ดีส่งผลให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามธาตุเหล่านี้หากมีปริมาณผสมมากเกินไป อาจทำให้ความเหนียวและความสามารถในการแปรรูปทางกลลดลง [26-28] ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงสามารถคัดเลือกวัสดุที่ใช้เป็นทางเลือกการตัดสินใจได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เกณฑ์การตัดสินใจในการคัดเลือกวัสดุ

| เกณฑ์การตัดสินใจ                  | คำอธิบาย                                                                                                                                   |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) ความสามารถในการชุบแข็ง         | สมบัติที่แสดงถึงความสามารถของเหล็กกล้าในการเพิ่มความแข็งได้ถึงค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ และการกระจายตัวของค่าความแข็งตลอดทั้งความหนาของชิ้นงาน |
| 2) การบิดเบี้ยว                   | สมบัติที่ทำให้ไม่เกิดการเสียรูปของชิ้นงานเมื่อผ่านการชุบแข็งด้วยสารตัวกลาง                                                                 |
| 3) โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (GPa)   | สมบัติการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเหล็กกล้าตามแนวก้น เมื่อมีแรงมากระทำที่แกนนั้น                                                               |
| 4) ความแข็ง (HRC)                 | สมบัติความต้านทานของเหล็กกล้าที่ทนต่อการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร                                                                            |
| 5) ความสามารถในการแปรรูปทางกล (%) | ความสามารถของเหล็กกล้าในแปรรูปด้วยกรรมวิธีทางกลต่าง ๆ เพื่อให้มีรูปร่างและขนาดตามที่กำหนดไว้                                               |
| 6) ความต้านทานต่อการสึกหรอ        | ความสามารถของเหล็กกล้าในการต้านทานความสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีหรือการขัดสี                                                               |
| 7) ความเหนียว (J)                 | ความสามารถในการรับพลังงานของเหล็กกล้าก่อนที่จะเกิดการแตกหัก                                                                                |
| 8) ต้นทุน (บาท/กิโลกรัม)          | ราคาโดยประมาณของเหล็กกล้า ณ ปัจจุบัน                                                                                                       |

ตารางที่ 2 ทางเลือกการตัดสินใจในการคัดเลือกวัสดุ

| วัสดุ                                                              | สัญลักษณ์ |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| เหล็กกล้าสปริง (AISI 5160)                                         | $A_1$     |
| เหล็กกล้าผสม (AISI 4140)                                           | $A_2$     |
| เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1045)                                | $A_3$     |
| เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยน้ำ (AISI W1)                        | $A_4$     |
| เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง (AISI D2) | $A_5$     |

### 3.2 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

วิธีการ TOPSIS เป็นวิธีการจัดลำดับทางเลือกแบบง่าย ๆ ในด้านแนวคิดและการนำไปใช้งาน หลักการของ TOPSIS คือ การพยายามเลือกทางเลือกที่มีผลลัพธ์โดยรวมของระยะห่างไกลที่สุดจากโซลูชันในอุดมคติเชิงบวก และระยะห่างที่ไกลที่สุดจากโซลูชันในอุดมคติเชิงลบของแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจพร้อมกัน [29] ในการประยุกต์ใช้วิธีการนี้ ค่าคุณลักษณะต้อง

เป็นตัวเลข ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับทางเดียว และมีหน่วยที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งขั้นตอนการคำนวณของวิธีการ TOPSIS มีดังนี้ [30]

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจ โดยโครงสร้างของเมทริกซ์การตัดสินใจสามารถแสดงได้ดังนี้

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \cdots & X_j & \cdots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

เมื่อ  $A_i$  คือ การตัดสินใจทางเลือก  $i^{th}$

$x_{ij}$  คือ ผลลัพธ์เชิงตัวเลขของการตัดสินใจทางเลือกที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์  $j^{th}$

ขั้นตอนที่ 2 ปรับเมทริกซ์การตัดสินใจเป็นปกติมาตรฐาน โดยใช้สมการที่ (1)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}, \quad j=1, \dots, n, i=1, \dots, m. \quad (1)$$

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปกติมาตรฐานแบบถ่วงน้ำหนัก โดยคูณเมทริกซ์การตัดสินใจปกติมาตรฐานด้วยน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ ค่าปกติมาตรฐานแบบถ่วงน้ำหนัก  $v_{ij}$  ถูกคำนวณด้วยสมการที่ (2)

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}, \quad j=1, \dots, n, i=1, \dots, m. \quad (2)$$

กรณีของงานวิจัยนี้  $w_j$  คือน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจที่คำนวณได้จากวิธีการ ROC โดยรายละเอียดจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อ 3.3 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าโซลูชันในอุดมคติเชิงบวก (Positive Ideal Solution: PIS) ค่าโซลูชันในอุดมคติเชิงลบ (Negative Ideal Solution: NIS) โดย PIS เท่ากับ  $A^+$  และ NIS เท่ากับ  $A^-$  ด้วยสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij}, j \in J) \quad (3)$$

$$(\min_i v_{ij}, j \in J')\}, \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij}, j \in J) \quad (4)$$

$$(\max_i v_{ij}, j \in J')\}, \quad i=1, 2, \dots, m$$

เมื่อ  $J$  คือ ผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์เชิงบวก  
 $J'$  คือ ผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์เชิงลบ

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณระยะห่างของค่าโซลูชันในอุดมคติ โดยระยะห่างของแต่ละทางเลือกการตัดสินใจ สามารถคำนวณได้จาก PIS และ NIS ด้วยสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i=1, \dots, m \quad (5)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i=1, \dots, m \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ที่เข้าใกล้กับโซลูชันในอุดมคติ (Closeness Coefficient:)  $CC_i$  จากสมการที่ (7)

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ - S_i^-}, \quad i=1, \dots, m \quad (7)$$

ขั้นตอนที่ 7 จัดลำดับทางเลือกในการตัดสินใจตามค่า  $CC_i$  จากมากไปหาน้อย โดยทั่วไปจะเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดจากค่า  $CC_i$  ที่สูงสุด

### 3.3 Rank Order Centroid (ROC)

การถ่วงน้ำหนักของ ROC นั้นถูกกำหนดตามของค่าเกณฑ์การตัดสินใจที่สำคัญสุด ตามงานวิจัยของ Ahn และ Park [31] ในวิธีการ ROC น้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ถูกกำหนดโดยพิจารณาจากเกณฑ์ที่มีลำดับความสำคัญมากที่สุดต่อเนื่องจนกระทั่งถึงเกณฑ์ที่มีความสำคัญน้อยที่สุด โดยทั่วไปเขียนได้เป็นสัญลักษณ์  $C1 \geq C2 \geq C3 \geq \dots \geq Cn$  หมายความว่าเกณฑ์ที่ 1 มีความสำคัญกว่าเกณฑ์ที่ 2 เกณฑ์ที่ 2 มีความสำคัญกว่าเกณฑ์ที่ 3 และต่อเนื่องจนถึงเกณฑ์ที่  $n$  และในทำนองเดียวกันเพื่อกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์การตัดสินใจจะได้ว่า

$$W1 \geq W2 \geq W3 \geq \dots Wn \quad (8)$$

ดังนั้นการถ่วงน้ำหนักโดยใช้วิธี ROC สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (9)

$$W_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{i} \right) \quad (9)$$

เมื่อ  $k$  คือ จำนวนของเกณฑ์การตัดสินใจ

## 4. ผลการวิจัย

จากวิธีการ ROC ที่ถูกนำมาใช้ในการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจของการคัดเลือกว่าวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำไบโอมัดตัดโคนในรถตัดอ้อย โดยผู้วิจัยได้นำ

เกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด 8 เกณฑ์ มาให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานชลประทาน นักวิชาการด้านกรรมวิธีการผลิต และนักวิชาการด้านโลหะวิทยา เรียงลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจจากเกณฑ์ที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญมากที่สุด จนถึงเกณฑ์ที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญน้อยที่สุด โดยใช้สมการที่ (9)

ผลการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจสามารถจัดเรียงได้ดังนี้ 1) มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น 2) ความสามารถในการแปรรูปทางกล 3) ความแข็ง 4) ความเหนียว 5) ความสามารถในการชุบแข็ง 6) ความต้านทานต่อการสึกหรอ 7) การบิดเบี้ยว และ 8) ต้นทุนของวัสดุ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ

| เกณฑ์การตัดสินใจ                     | ค่าน้ำหนัก |
|--------------------------------------|------------|
| มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ( $C_1$ )     | 0.340      |
| ความสามารถในการแปรรูปทางกล ( $C_2$ ) | 0.215      |
| ความแข็ง ( $C_3$ )                   | 0.152      |
| ความเหนียว ( $C_4$ )                 | 0.111      |
| ความสามารถในการชุบแข็ง ( $C_5$ )     | 0.079      |
| ความต้านทานต่อการสึกหรอ ( $C_6$ )    | 0.054      |
| การบิดเบี้ยว ( $C_7$ )               | 0.033      |
| ต้นทุนของวัสดุ ( $C_8$ )             | 0.016      |

หลังจากนั้นทำการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้วิธีการ TOPSIS ซึ่งผู้ตัดสินใจที่เป็นผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้ประเมินทางเลือกการตัดสินใจภายใต้ในแต่ละเกณฑ์ โดยสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแล้วใช้สมการที่ (1) ปรับเมทริกซ์การตัดสินใจให้เป็นปกติมาตรฐาน ดังตารางที่ 4

จากนั้นนำเมทริกซ์การตัดสินใจปกติมาตรฐาน ( $r_j$ ) คูณด้วยน้ำหนักความสำคัญ ( $w_j$ ) ที่ได้รับจากวิธีการ ROC โดยใช้สมการที่ (2) ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบปกติมาตรฐาน

|       | $A_1$  | $A_2$  | $A_3$  | $A_4$  | $A_5$  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $C_1$ | 0.4454 | 0.4498 | 0.4520 | 0.4498 | 0.4389 |
| $C_2$ | 0.3028 | 0.2650 | 0.4164 | 0.7570 | 0.3028 |
| $C_3$ | 0.3556 | 0.1606 | 0.1147 | 0.5735 | 0.7111 |
| $C_4$ | 0.4979 | 0.4446 | 0.5335 | 0.3201 | 0.4090 |
| $C_5$ | 0.5092 | 0.3637 | 0.3637 | 0.2182 | 0.6547 |
| $C_6$ | 0.4796 | 0.4796 | 0.2056 | 0.3426 | 0.6167 |
| $C_7$ | 0.2526 | 0.4211 | 0.4211 | 0.7579 | 0.0842 |
| $C_8$ | 0.3646 | 0.3070 | 0.2815 | 0.3518 | 0.7548 |

ตารางที่ 5 เมทริกซ์การตัดสินใจปกติมาตรฐานแบบถ่วงน้ำหนัก

|       | $A_1$  | $A_2$  | $A_3$  | $A_4$  | $A_5$  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $C_1$ | 0.1514 | 0.1529 | 0.1537 | 0.1529 | 0.1492 |
| $C_2$ | 0.0651 | 0.0570 | 0.0895 | 0.1628 | 0.0651 |
| $C_3$ | 0.0540 | 0.0244 | 0.0174 | 0.0872 | 0.1081 |
| $C_4$ | 0.0553 | 0.0493 | 0.0592 | 0.0355 | 0.0454 |
| $C_5$ | 0.0402 | 0.0287 | 0.0287 | 0.0172 | 0.0517 |
| $C_6$ | 0.0259 | 0.0259 | 0.0111 | 0.0185 | 0.0333 |
| $C_7$ | 0.0083 | 0.0139 | 0.0139 | 0.0250 | 0.0028 |
| $C_8$ | 0.1514 | 0.1529 | 0.1537 | 0.1529 | 0.1492 |

คำนวณหาค่าโซลูชันในอุดมคติเชิงบวก ( $A^+$ ) และเชิงลบ ( $A^-$ ) ด้วยสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$A^+ = \{0.1537, 0.1628, 0.1081, 0.0592, 0.0517, 0.0333, 0.0028, 0.0045\}$$

$$A^- = \{0.1492, 0.0570, 0.0174, 0.0355, 0.0172, 0.0111, 0.0250, 0.0121\}$$

นำค่าโซลูชันในอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบที่ได้มาคำนวณหาระยะห่างของค่าโซลูชันในอุดมคติเชิงบวก ( $S_i^+$ ) และเชิงลบ ( $S_i^-$ ) ด้วยสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 6 และใช้สมการที่ (7) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้กับโซลูชันในอุดมคติ เพื่อจัดลำดับวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการไปมิดตัดโคนในรถตัดอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ระยะห่างของค่าโซลูชันในอุดมคติ

|         | $A_1$  | $A_2$  | $A_3$  | $A_4$  | $A_5$  |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $S_i^+$ | 0.0127 | 0.0190 | 0.0147 | 0.0029 | 0.0098 |
| $S_i^-$ | 0.0015 | 0.0007 | 0.0009 | 0.0002 | 0.0023 |

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้กับโซลูชันในอุดมคติ

|        | $A_1$  | $A_2$  | $A_3$  | $A_4$  | $A_5$  |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $CC_i$ | 0.1031 | 0.0370 | 0.0572 | 0.0537 | 0.1883 |
| ลำดับ  | 2      | 5      | 3      | 4      | 1      |

ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้กับโซลูชันในอุดมคติในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง (AISI D2) เป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย  $CC_5 = 0.1883$  รองลงมาคือ เหล็กกล้าสปริง (AISI 5160)  $CC_1 = 0.1031$  เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1045)  $CC_3 = 0.0572$  เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยน้ำ (AISI W1)  $CC_4 = 0.0537$  และเหล็กกล้าผสม (AISI 4140)  $CC_2 = 0.0370$

## 5. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวคิดการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียงลำดับความสำคัญโดยเทียบกับโซลูชันในอุดมคติ ผลการวิจัยพบว่าเกณฑ์การตัดสินใจในการพิจารณาคัดเลือกวัสดุสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อยที่มีความสำคัญมากที่สุด โดยเรียงลำดับจากน้ำหนักความสำคัญด้วยวิธีการ ROC ได้แก่ 1) มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น 2) ความสามารถในการแปรรูปทางกล 3) ความแข็งแรง 4) ความเหนียว 5) ความสามารถในการชุบแข็ง 6) ความต้านทานต่อการสึกหรอ 7) การบิดเบี้ยว และ 8) ต้นทุน ซึ่งผลการจัดลำดับนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Maity and Chakraborty [26] ที่ได้ศึกษาการคัดเลือกวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือที่เหมาะสม ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ พบว่าผู้ตัดสินใจได้ให้ความสำคัญกับเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้ 1) มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น 2)

ความสามารถในการแปรรูปทางกล 3) ความแข็งแรง และ 4) ความเหนียว เนื่องจากว่าในระหว่างการเก็บเกี่ยวอ้อยจำนวนมาก ใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อยต้องรับแรงกระทำต่าง ๆ ซึ่งอาจส่งผลให้ใบมีดเสียรูป หรือทำให้อายุการใช้งานลดต่ำลง ผู้ตัดสินใจจึงให้ความสำคัญกับสมบัติทางกลเหล่านี้ แต่ในทางตรงกันข้าม กระบวนการผลิตใบมีดตัดโคนต้องผ่านกระบวนการแปรรูปทางกล เพื่อสร้างคมตัดสำหรับการตัดเฉือน ดังนั้นจึงให้ความสำคัญกับสมบัตินี้เป็นลำดับรองลงมา จากนั้นจึงจะให้ความสำคัญที่ความแข็งแรง และความเหนียว ตามลำดับ นอกจากนี้เพื่อเพิ่มสมบัติเหล่านี้ให้ดีขึ้นจำเป็นต้องใช้กระบวนการชุบแข็งและการอบคืนแก๊วสุ ซึ่งส่งผลให้พิจารณาความสามารถในการชุบแข็งเป็นลำดับที่ 5 ส่วนความต้านทานต่อการสึกหรอและการบิดเบี้ยว นั้น มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันจากเกณฑ์การตัดสินใจก่อนหน้านี้จึงถูกให้ความสำคัญเป็นลำดับที่ 6 และ 7 สำหรับเกณฑ์ตัดสินใจลำดับที่ 8 ผู้ตัดสินใจให้ความเห็นว่าเมื่อใบมีดตัดโคนมีสมบัติโดยรวมอยู่ในระดับที่เหมาะสมจะส่งผลให้การใช้งานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจึงจัดลำดับต้นทุนของวัสดุเป็นเกณฑ์ตัดสินใจที่มีความสำคัญเป็นลำดับสุดท้าย

จากผลการจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ นั้น นำไปสู่การจัดลำดับวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย โดยผลการวิเคราะห์จากวิธีการ TOPSIS พบว่า เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง (AISI D2) มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้กับโซลูชันในอุดมคติมากที่สุด  $C_5 = 0.1883$  ซึ่งแสดงว่าเหล็กกล้า AISI D2 เป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย เนื่องจากว่า เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง AISI D2 มีค่าความแข็งแรงที่สูง มีความต้านทานต่อการสึกหรอที่ดีมาก และมีความสามารถในการชุบแข็งอยู่ในระดับที่ดีมาก อีกทั้งเมื่อผ่านกระบวนการชุบแข็งแล้วยังเกิดการบิดเบี้ยวน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าทั้งหมดจากทางเลือกการตัดสินใจ แต่หากพิจารณาถึงมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ความสามารถในการแปรรูปทางกล และความเหนียว ของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง AISI D2 จะมีค่าอยู่ในระดับกลางแต่ไม่ได้แตกต่างจากเหล็กกล้าเหล่านั้นจนเห็นได้ชัด นอกเหนือจากต้นทุนของวัสดุที่มีราคาค่อนข้างสูงกว่า ในทางตรงกันข้าม ผล

การศึกษาวิจัยนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ ถ้านักนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจนั้นต่างไปจากเดิม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย โดยการประยุกต์ใช้วิธีการ TOPSIS และ ROC ผลที่ได้คือ เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นประเภทคาร์บอนสูงและโครเมียมสูง AISI D2 มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำใบมีดตัดโคนในรถตัดอ้อย ซึ่งวิธีการที่นำเสนอเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้ตัดสินใจได้อย่างมีเหตุผล มีขั้นตอนการคำนวณที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจจำนวนมาก และตัดสินใจได้ทั้งเกณฑ์เชิงคุณภาพและเชิงคุณภาพ สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Zavadskas, Turskis และ Kildiene [11], Emoven และ Oghenenyero [12], Rahim และคณะ [13], Jahan และ Edwards [14] ที่พบว่าปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์สามารถจัดการได้โดยวิธีการ TOPSIS อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานศึกษาวิจัยของ Behzadian, Otaghsara, Yazdani และ Ignatius [21] ที่พบว่าวิธีการ TOPSIS สามารถนำไปใช้ร่วมกับวิธีการอื่นได้ เพื่อลดจุดด้อยและข้อจำกัดของวิธีการนี้ ดังเช่น การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้นำวิธีการ ROC มาช่วยในการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ

## 6. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคตอาจจะนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้กับการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับด้านอื่น ๆ ได้ หรือประยุกต์ใช้แนวคิดของฟัซซี่ลอจิก เพื่อลดความคลุมเครือของความคิดเห็นที่ได้จากผู้ตัดสินใจ และอาจนำวิธีการ AHP มาช่วยหาน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ นอกเหนือจากนี้สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดของการศึกษาวิจัยนี้กับปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ลักษณะต่าง ๆ เช่น การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบ การเลือกเส้นทางขนส่งสินค้า การเลือกทำเลที่ตั้ง และการเลือกกลยุทธ์ดำเนินงาน เป็นต้น

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้ความสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Deng Y, Edwards K. The role of materials identification and selection in engineering design. *Materials and Design*. 2007;28(1): 131-139.
- [2] Rao R, Davim J. A decision-making framework model for material selection using a combined multiple attribute decision-making method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2008;35(1): 751-760.
- [3] Rao R. A decision making methodology for material selection using an improved compromise ranking method. *Materials and Design*. 2008;29(10): 1949-1954.
- [4] Edwards KL. Materials influence on design: A decade of development. *Materials and Design*. 2011;32(3): 1073-1080.
- [5] Wichan C, Srijaroenpramong L, Pinpradub D. The effects of heat treatment on microstructure and mechanical properties of AISI 4140 for base cutter cane harvester. *Advanced Materials Research*. 2013;774: 1059-1067.
- [6] Qiu M, Meng Y, Li Y, Shen X. Sugarcane stem cut quality investigated by finite element simulation and experiment. *Biosystems Engineering*, 2021;206: 135-149.
- [7] Sakundarini N, Taha Z, Abdul-Rashid S, Ghazila R. Optimal multi-material selection for lightweight design of automotive body assembly incorporating recyclability. *Materials and Design*, 2013;50: 846-857.
- [8] Ghaleb A, Kaid H, Alsamhan A, Mian S, Hidri L. Assessment and comparison of various MCDM approaches in the selection of manufacturing process. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020;2020: 1-16.



- [9] วลัยลักษณ์ อัคริรวงศ์. การจัดลำดับประเทศที่เหมาะสมสำหรับการลงทุนในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. *วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 2564;31(1): 71-81.
- [10] กวินภพ ศรีพัฒนานุศาสตร์, ปณิทัศน์ สุริยธนาภาส. การคัดเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบโดยใช้วิธีการ TOPSIS และ ROC : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมร้านอาหาร. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 2560;40(3): 385-403
- [11] Zavadskas EK, Turskis Z, Kildiene S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*. 2014;20(1): 165-179.
- [12] Emovon I, Ogheniyerovwho OS. Application of MCDM method in material selection for optimal design: A Review. *Results in Materials*. 2020;7: 1-21
- [13] Rahim AA, Musa SN, Ramesh S, Lim MK. A systematic review on material selection methods. *Journal of Materials: Design and Applications*. 2020;234(7): 1032-1059.
- [14] Jahan. A, Edwards KL. A state of the art survey on the influence of normalization techniques in ranking: Improving the materials selection process in engineering design. *Materials & Design*. 2014;65: 335-342.
- [15] Maity SR, Chakraborty S. Grinding wheel abrasive material selection using fuzzy TOPSIS method. *Materials and Manufacturing Processes*. 2013;28(4): 408-417.
- [16] Mansor MR, Sapuan SM, Zainudin ES, Nuraini AA, Hambali A. Hybrid natural and glass fibers reinforced polymer composites material selection using analytical hierarchy process for automotive brake lever design. *Materials & Design*. 2013;51: 484-492.
- [17] Anojkumar L, Ilangkumaran M, Sasirekha V. Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. *Expert Systems with Applications*. 2014;41(6): 2964-2980.
- [18] Mathiyazhagan K, Gnanavelbabu A, Prabhuraj BL. A sustainable assessment model for material selection in construction industries perspective using hybrid MCDM approaches. *Journal of Advances in Management Research*. 2018; 16(2): 234-259.
- [19] Tian G, Zhang H, Feng Y, Wang D, Peng Y, Jia H. et al. Green decoration materials selection under interior environment characteristics: A grey-correlation based hybrid MCDM method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;81: 682-692.
- [20] Singh M, Pant M, Godiyal RD, Sharma AK. MCDM approach for selection of raw material in pulp and papermaking industry. *Materials and Manufacturing Processes*. 2020;35(3): 241-249.
- [21] Behzadian M, Otaghsara SK, Yazdani M, Ignatius J. A state of the art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*. 2012;39(17): 13051-13069.
- [22] นิธิเดช คุณาทองสัมฤทธิ์, วาสนา จันทรขา, สุชาติ หัตถ์สุวรรณ. การจัดลำดับความเสี่ยงของการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ โดยใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบผสมผสาน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. 2564;23(3): 12-24.
- [23] Panitas S, Kawinpob S, Thanawath N, Weerapat S, Sirawadee A. Supplier selection towards uncertain and unavailable information: An extension of TOPSIS method. *Operations Research Perspectives*. 2018;5: 69-79.
- [24] Dossett JL, Totten GE, editor. *ASM handbook: steel heat treating fundamentals and processes*. Volume 4A. ASM International; 2013.
- [25] Davis JR, editor. *ASM specialty handbook: tool materials*. ASM International; 1995.
- [26] Maity SR, Chatterjee P, Chakraborty S. Cutting tool material selection using grey complex proportional assessment method. *Materials & Design*. 2012;36: 372-378.

- [27] Maity SR, Chakraborty S. Tool steel material selection using PROMETHEE II method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015;78(9): 1537-1547.
- [28] Niu J, Huang C, Li C, Zou B, Xu L, Wang J, et al. A comprehensive method for selecting cutting tool materials. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020; 110(1): 229-240.
- [29] Tsaur SH, Chang TY, Yen CH. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. *Tourism management*. 2002;23(2): 107-115.
- [30] García-Cascales MS, Lamata MT. On rank reversal and TOPSIS method. *Mathematical and Computer Modelling*. 2012;56: 123-132.
- [31] Ahn BS, Park KS. Comparing methods for multi-attribute decision making with ordinal weights. *Computers & Operations Research*. 2008;35(5): 1660-1670.