

การคัดเลือกไกด์พินที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

A Selection of Guide Pin for an Automobile Part Manufacturing Process by Using Analytic Hierarchy Process

วรพจน์ มีถม¹, ญาณิศา ศรีรัตน์², นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์^{3*}
Warapoj Meethom¹, Yanisa Srirat¹, Nitidetch Koothongsumrit^{2*}

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

^{1,2} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North
Bangkok, Thailand

³ Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 0 2310 8396, E-mail: Nitidetch.k@rumail.ru.ac.th

บทคัดย่อ

ไกด์พินมีความสำคัญในระบบการผลิตเพราะเป็นสิ่งที่สามารถบังคับให้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องในกระบวนการผลิต แต่การเลือกไกด์พินนั้นเป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple criteria decision-making, MCDM) เนื่องจากเกี่ยวข้องกับเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกจำนวนมาก ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการตัดสินใจเลือกไกด์พินที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การศึกษาวิจัยนี้เริ่มจากกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยต่าง ๆ และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ทำงานและมีความรับผิดชอบในกระบวนการผลิตไม่ต่ำกว่า 10 ปี จากนั้นสร้างแบบสอบถามโดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างเกณฑ์กับวัตถุประสงค์ (Index of item-objective congruence, IOC) เพื่อระบุเกณฑ์การตัดสินใจที่เหมาะสมต่อการตัดสินใจเลือกไกด์พิน โดยพบว่าเกณฑ์การตัดสินใจที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกไกด์พิน ประกอบไปด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ได้แก่ ต้นทุน อายุการใช้งาน คุณภาพผลิตภัณฑ์ และรูปทรง หลังจากนั้นใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic hierarchy process, AHP) เพื่อการตัดสินใจเลือกไกด์พิน ผลการวิจัยพบว่า ไกด์พินที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ ไกด์พินเซรามิก มีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.564 ตามด้วยไกด์พินโพลีเอทิลีนและเคซีเอฟ มีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.259 และ 0.177 ตามลำดับ เมื่อนำไกด์พินเซรามิกไปใช้งานเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าไกด์พินดังกล่าวสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตภาพในเวลาเดียวกัน เนื่องจากจำนวนของไกด์พินที่ใช้ในกระบวนการผลิต ต้นทุนไกด์พิน และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานลดลงร้อยละ 89.19, 50.00 และ 97.25 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ไกด์พิน เกณฑ์การตัดสินใจ

Received 07-10-2020

Revised 20-12-2020

Accepted 24-12-2020

Abstract

A guide pin is important for a production system because it can force the workpiece to be in the correct position in a manufacturing process but the selection of guide pin is based on a multiple criteria decision-making problem due to involving a large number of criteria and alternatives. Therefore, the objective of this study was to select the most appropriate guide pin for an automotive manufacturing process. The research was started by collecting decision criteria from various studies and interviewing experts with more than 10 years of working experience and responsibility in the manufacturing process. Next, a questionnaire based-item-objective congruence (IOC) was designed to identify the decision criteria for selecting the guide pin. It was found that decision criteria include quantitative and qualitative decision criteria: cost, durability, quality, and shape. Then, the analytic hierarchy process (AHP) was employed to select the guide pin. The result showed that the most appropriate guide pin was a ceramic guide pin with the weight at 0.564, followed by polyurethane and KCF guide pins with the weights at 0.259 and 0.177, respectively. The ceramic guide pin was used for six months and found that using the guide pin can simultaneously decrease total production costs and increase productivity due to the number of guide pins used in the manufacturing processes, the costs of guide pins, and the number of defects were reduced at 89.19, 50.00 and 97.25 percent, respectively.

Keywords: Multiple criteria decision-making, Analytic hierarchy process, Guide pin, Decision criteria

1. บทนำ

อุตสาหกรรมรถยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่หน่วยงานภาครัฐให้การส่งเสริมอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ภายใต้สถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (Coronavirus disease 2019) ที่ลุกลามไปทั่วโลก ส่งผลให้ปริมาณการผลิตรถยนต์ลดลงและห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมรถยนต์เกิดการหยุดชะงัก แต่จากการคาดการณ์ปริมาณการผลิตรถยนต์ในปี 2563 - 2565 นั้น ปริมาณการผลิตรถยนต์มีแนวโน้มที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 3 - 4% เมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตรถยนต์ในปี 2561 เนื่องจากการขยายตัวของการส่งออกชิ้นส่วนเพื่อการประกอบรถยนต์จากองค์กรที่มีงานออกแบบเป็นของตนเอง

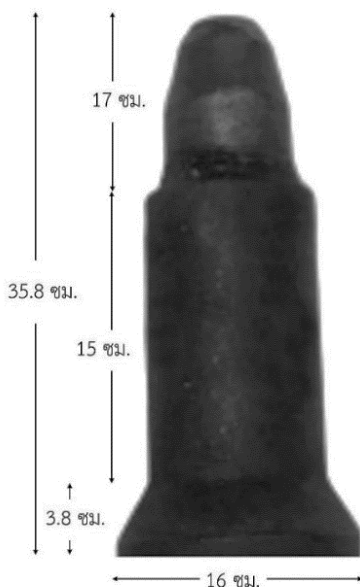
จากเหตุผลในข้างต้น เป็นผลทำให้การดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นส่วนเพื่อการประกอบรถยนต์เกิดการแข่งขันทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก [1]

บริษัทเกรนิศึกษาซึ่งเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ มีนโยบายต้องการลดต้นทุนการผลิตแต่ยังคงรักษาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยการศึกษาวิจัยนี้ศึกษาผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ รหัส 61178-KK010 และรหัส 61179-KK010 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับชุดเกียร์ (Transmission) แสดงดังภาพที่ 1 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์หลักของบริษัทเกรนิศึกษาและมีปริมาณการผลิตสูงที่สุด จากการรวบรวมข้อมูลเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณการผลิตเท่ากับ 568,113 ชิ้น



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์รหัส 61178-KK010 และรหัส 61179-KK010

โดยกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่น ต้องใช้ไกด์พิน (Guide pin) ซึ่งเป็นชิ้นส่วน หรือหมุด นำ มีลักษณะเป็นแบบสลักเกลียวที่มีปลายเรียว ทำขึ้นจากวัสดุชนิดต่าง ๆ เพื่อช่วยในกระบวนการผลิตที่ต้องการความแม่นยำ หรือความสม่ำเสมอในการเคลื่อนที่เข้า ๆ กัน โดยใช้เป็นเครื่องมือที่ทำให้ชิ้นงาน ที่ทำการผลิตซ้อนกันในแต่ละตำแหน่งที่ต้องการ ตัวอย่าง ไกด์พินเคซีเอฟ (KCF guide pin) ซึ่งเป็นไกด์พินที่ทำจากเหล็กกล้า แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างไกด์พินเคซีเอฟ

บริษัท ทรนศึกษาได้นำไกด์พินเคซีเอฟช่วย ในกระบวนการเชื่อมแบบจุด (Spot welding) โดยการวางชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมเข้าด้วยกันให้ตรงกับ ไกด์พินจากนั้นจึงทำการเชื่อมชิ้นงานเข้าด้วยกัน โดยการเชื่อมลักษณะนี้ให้หลักการความร้อนกับชิ้นงาน ในบริเวณที่จะทำการเชื่อมและใช้แรงอัดส่วนที่หลอม ละลายจนกระทั่งชิ้นงานติดกันเป็นจุดหรือเกิดแนว ความร้อนที่ใช้ได้จากความต้านทานไฟฟ้า การเชื่อม ลักษณะนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับ กระบวนการผลิตอุตสาหกรรมรถยนต์ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลด้านการผลิตตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 พบว่าทางบริษัท ทรนศึกษาประสบปัญหาเกี่ยวกับต้นทุนการผลิตสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นจาก ปริมาณการใช้ไกด์พินเคซีเอฟในการผลิตเท่ากับ 222 หัว หรือคิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 37 หัวต่อเดือน ต้นทุน จากการสั่งซื้อไกด์พินเท่ากับ 111,000 บาท หรือคิด เป็นต้นทุนการสั่งซื้อไกด์พินเฉลี่ย 18,500 บาท ต่อเดือน นอกจากนี้ไกด์พินดังกล่าวยังส่งผลให้เกิด ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่เกิดจาก การเคลื่อนที่ของตำแหน่งเชื่อมชิ้นงานด้วยการใช้ไกด์ พินช่วยจำนวน 63,571 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 11.19 ของปริมาณการผลิต แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้ไกด์พินแบบเคซีเอฟระหว่าง เดือนเมษายน ถึงกันยายน พ.ศ. 2562

เดือน	จำนวน ไกด์พินที่ใช้	ต้นทุนไกด์พิน ต่อเดือน	จำนวนผลิตภัณฑ์ ที่ไม่ได้มาตรฐาน
เม.ย.	36	18,000	9,649
พ.ค.	38	19,000	15,212
มิ.ย.	36	18,000	11,331
ก.ค.	38	19,000	10,205
ส.ค.	39	19,500	11,053
ก.ย.	35	17,500	6,121
รวม	222	111,000	63,571

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษา จึงจำเป็นต้องคัดเลือกโกด์พินที่เหมาะสมชนิดอื่นมาใช้ในกระบวนการผลิตแทนโกด์พินเคซีเอฟ โดยปัญหาการคัดเลือกโกด์พินเป็นรูปแบบปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple criteria decision-making, MCDM) ประกอบไปด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจำนวนมากที่มีความขัดแย้งกัน ดังนั้นจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเหล่านี้เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

นอกจากนี้เมื่อศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ช่วยกระบวนการผลิตด้วยวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ เช่น งานวิจัยของ Ayag และ Özdemir [2] เสนอวิธีการตัดสินใจเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานอุตสาหกรรมให้เป็นรูปร่างจากน้ำหนักรความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ งานวิจัยของ Taha และ Rostam [3] ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเครื่องมือช่วยการผลิตในระบบหน่วยการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจกับวิธีการจัดลำดับทางเลือกด้วยการประเมินคุณค่า งานวิจัยของ Nguyen และคณะ [4] ประเมินเครื่องมือที่ใช้กระบวนการควบคุมแรงตึงสำหรับเครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการไฮบริดแบบคลุมเครือ งานวิจัยของ Kumru และ Kumru [5] ประยุกต์กระบวนการโครงข่ายเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือเพื่อคัดเลือกเครื่องวัดขนาดผลิตภัณฑ์แบบสามมิติ งานวิจัยของ Nguyen และคณะ [6] ใช้กระบวนการโครงข่ายเชิงวิเคราะห์และวิธีการประเมินทางเลือกตามสัดส่วนแบบเกรย์เพื่อเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติ งานวิจัยของ Wu และคณะ [7]

ใช้การตัดสินใจเลือกเครื่องมือที่ใช้ในเครื่องจักรสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยการตัดสินใจแบบกลุ่มและวิธีไวเกอร์ (VIKOR) งานวิจัยของ Ding และคณะ [8] ได้ออกแบบกรอบแนวคิดเพื่อตัดสินใจเลือกคานทางวิ่งเพื่อใช้ในการออกแบบสายการผลิตที่เหมาะสม งานวิจัยของ Li และคณะ [9] ศึกษาการเลือกเครื่องมือที่ช่วยในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปั้นที่เหมาะสมด้วยวิธีการไฮบริดซึ่งพัฒนาจากวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าม้งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการคัดเลือกเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยในกระบวนการผลิตจำนวนมาก แต่ยังไม่ม้งานวิจัยที่ศึกษาปัญหาการคัดเลือกโกด์พินที่เหมาะสม

จากปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้ต้องการเสนอวิธีการคัดเลือกโกด์พินที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษาโดยประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic hierarchy process, AHP) ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบจากปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ด้วยการเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีความสอดคล้องกัน ประโยชน์จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลิตภาพให้กับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมที่ต้องการพัฒนาธุรกิจให้มีขีดความสามารถในการแข่งขันและยกระดับการผลิตสู่อุตสาหกรรม 4.0

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การศึกษาสมบัติของโกด์พิน

การศึกษาสมบัติของโกด์พินที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและโกด์พินที่จะนำมาทดแทนเพื่อกำหนด

เป็นทางเลือก โกด์พินที่ใช้ในปัจจุบันคือโกด์พินเคซีเอฟซึ่งเป็นโกด์พินที่ทำจากเหล็กกล้ากลุ่มเฟอร์ริติกที่ผสมกับองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น โครเมียม อะลูมิเนียมและผ่านการอบชุบเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของเหล็กกล้า พร้อมเคลือบผิวด้วยฉนวนกันความร้อนแบบพิเศษ โดยผู้บริหารของทางบริษัท ทรนศึกษาได้กำหนดโกด์พินที่คาดว่าจะนำมาใช้แทน 2 ประเภท ซึ่งมีขนาดเท่ากับโกด์พินเคซีเอฟ ได้แก่ 1) โกด์พินเซรามิก (Ceramic guide pin) ซึ่งเป็นโกด์พินที่ทำจากเซรามิกประเภทซิลิคอนไนไตรท์ มีความแข็งแรงทางกลสูงที่อุณหภูมิสูงและมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบฉับพลันตอบสนองต่อการนำความร้อนต่ำ ด้านทานการกัดกร่อน และมีความทนทานสูง 2) โกด์พินโพลียูรีเทน (Polyurethane guide pin) ซึ่งเป็นโกด์พินที่ทำจากโพลียูรีเทนมีแข็งแรง เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าโกด์พินเคซีเอฟและเซรามิก มีความทนทานต่อแรงดึงและการกัดกร่อนสารเคมี อีกทั้งโกด์พินโพลียูรีเทนยังมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าได้อีกด้วย โดยสมบัติของโกด์พินทุกประเภท แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมบัติของโกด์พินต่าง ๆ

ประเภท	อุณหภูมิในการ ความแข็งแรงต่อ ราคา		
	ทำงาน (องศา เซลเซียส)	แรงกด (เมกะ ปาสกาล)	(บาท ต่อชิ้น)
เคซีเอฟ	1,000-1,200	1,040	500
โพลียูรีเทน	800-1,000	846	1,200
เซรามิก	1,200-1,800	2,200	2,200

2.2 การรวบรวมเกณฑ์การตัดสินใจ

การรวบรวมเกณฑ์การตัดสินใจที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกโกด์พินที่เหมาะสม สามารถรวบรวมได้

จากการรวบรวมข้อมูล การทบทวนวรรณกรรม และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญของบริษัท ทรนศึกษา ดังนี้

2.2.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าเกณฑ์การตัดสินใจที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกโกด์พินสามารถสรุปเบื้องต้น ได้แก่ 1) ต้นทุน 2) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ 3) ประสิทธิภาพของเครื่อง 4) การบริการ 5) เวลา 6) การรับประกัน 7) รูปทรง 8) อายุการใช้งาน 9) ค่าบำรุงรักษา และ 10) ความปลอดภัย ตามลำดับ [10-12]

2.2.2 การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญของบริษัท ทรนศึกษา พบว่าเกณฑ์ที่ผลต่อการตัดสินใจเลือกโกด์พิน ได้แก่ 1) ต้นทุน 2) รูปทรง 3) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ 4) เวลาในการเปลี่ยนโกด์พิน และ 5) ความทนทาน

2.2.3 การสืบค้นข้อมูลจากเว็บไซต์ที่เสนอข้อมูลของโกด์พิน ได้แก่ 1) ความต้านทานออกซิเดชัน 2) ความต้านทานการกัดกร่อน 3) ความต้านทานการแตกหัก และ 4) ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกะทันหัน ตามลำดับ [13]

2.3 การคัดกรองเกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดที่รวบรวมได้สร้างแบบสอบถาม เพื่อเป็นการยืนยันโดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามและวัตถุประสงค์ในการคัดเลือกเกณฑ์การตัดสินใจที่เหมาะสมซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจเลือกโกด์พินจากผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ ที่มีประสบการณ์การทำงานในโรงงานไม่ต่ำกว่า 10 ปี และมีความรับผิดชอบในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยพิจารณาเกณฑ์การตัดสินใจที่มีผลต่อการเลือกโกด์พินที่มีความเหมาะสมต้องมีค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้ไม่ต่ำกว่า 0.50 แต่หากค่าดัชนี

ความสอดคล้องมีค่าต่ำกว่า 0.50 เกณฑ์การตัดสินใจดังกล่าวจะถูกตัดทิ้งจากการวิจัย เนื่องจากเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ไม่มีผลต่อการคัดเลือกโค้ดพิน

2.4 การพิจารณาโค้ดพินที่มีความเหมาะสม

การพิจารณาโค้ดพินที่มีความเหมาะสมมากที่สุดใช้ AHP ซึ่งเป็นกระบวนการตัดสินใจที่ใช้ในการวิจัยเพื่อหาเหตุผล ถูกคิดค้นเมื่อประมาณปลายทศวรรษที่ 1970 จากพื้นฐานความรู้ด้านคณิตศาสตร์และจิตวิทยา [14-15] โดย AHP เป็นหนึ่งในวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่มีโครงสร้างเลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์ด้วยการแยกองค์ประกอบปัญหาให้มีความสัมพันธ์ในรูปแบบลำดับชั้น จุดเด่นของวิธีการนี้คือสามารถใช้ได้เป็นอย่างดีกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ [16] อีกทั้งสามารถเรียงลำดับโค้ดพินที่มีความสำคัญมากที่สุดจากน้ำหนักความสำคัญ [17] การพิจารณาโค้ดพินที่มีความเหมาะสมด้วย AHP มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 เมทริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์

การตัดสินใจเป็นรายคู่ (Pairwise comparison matrix) เป็นการเปรียบเทียบความสำคัญเป็นรายคู่ [18] ผู้ตัดสินใจ หรือผู้เชี่ยวชาญแต่ละรายซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์การทำงานในโรงงานไม่ต่ำกว่า 10 ปี และมีความรับผิดชอบในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ต้องสร้างเมทริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ของตนเอง โดยเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลัก เกณฑ์การตัดสินใจรอง เกณฑ์การตัดสินใจย่อย และทางเลือกในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด [19] ด้วยระดับความสำคัญสำหรับเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงดังตารางที่ 3 [20]

อย่างไรก็ตามสำหรับจำนวนของผู้ตัดสินใจ หรือผู้เชี่ยวชาญ ที่แสดงความเห็นเปรียบเทียบระดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่สำหรับการวิจัยด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์นั้น ไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอนว่าต้องเป็นจำนวนเท่าไร แต่จำนวนของผู้ตัดสินใจ หรือผู้เชี่ยวชาญขึ้นอยู่กับผู้ที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ซึ่งต้องเป็นผู้ซึ่งมีความรู้และประสบการณ์ในเรื่องที่ต้องการศึกษาอย่างแท้จริง

ตารางที่ 3 ระดับความสำคัญสำหรับเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจ

ระดับ	ความหมาย
1	มีความสำคัญเท่ากัน
3	มีความสำคัญปานกลาง
5	มีความสำคัญค่อนข้างมาก
7	มีความสำคัญมากกว่า
9	มีความสำคัญมากที่สุด
2, 4, 6, 8	มีความสำคัญที่อยู่ระหว่างแต่ละระดับ

2.4.2 น้ำหนักความสำคัญของทางเลือก
ในขั้นตอนนี้เมื่อได้ระดับความสำคัญจากการเปรียบเทียบครบทุกคู่แล้ว ต้องทำการสังเคราะห์องค์ประกอบทั้งหมด โดยนำเอาลำดับความสำคัญในระดับล่างมาถ่วงน้ำหนักกับลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจที่อยู่ลำดับถัดขึ้นไป โดยขั้นตอนนี้สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกได้

2.4.3 ค่าความสอดคล้องของการตัดสินใจ
เพื่อทดสอบการวินิจฉัยของผู้ตัดสินใจว่าสมเหตุสมผลหรือไม่ ทั้งนี้การตรวจสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจจะพิจารณาโดยใช้ค่าไอเกนเวกเตอร์ (Eigen vector) ซึ่งสามารถนำมาคำนวณอัตราส่วน

ความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency ratio, CR) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency index, CI) และค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลเชิงสุ่ม (Random consistency index, RI) แสดงดังสมการที่ 1 [21]

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

เมื่อ CI เป็นค่าดัชนีความสอดคล้องที่วัดจากความแปรปรวนของ λ_{max} และจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจ ส่วนค่าดัชนีเชิงสุ่มได้มาจากการทดลองซึ่งกำหนดได้จากการพิจารณาจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจ หรือขนาดของตารางเมทริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ แสดงดังตารางที่ 4 โดยการคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล แสดงดังสมการที่ 2

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีเชิงสุ่มที่ขึ้นอยู่กับจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจ

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n(n-1)} \quad (2)$$

เมื่อ λ_{max} คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างผลรวมของสมาชิกในแต่ละหลักของเมทริกซ์กับน้ำหนักความสำคัญ

n คือ จำนวนเกณฑ์การตัดสินใจ

ทั้งนี้ค่าอัตราส่วนค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลที่ยอมรับได้นั้น มีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเมทริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ ได้แก่ 0.05 สำหรับเมทริกซ์ขนาด 3×3, 0.08 สำหรับเมทริกซ์ขนาด 4×4 และ 0.10 สำหรับเมทริกซ์ขนาด 5×5 หรือมากกว่า [22-23] โดยหากค่าอัตราส่วนค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลที่คำนวณได้ไม่เกินกว่าค่าอัตราส่วนค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลที่กำหนด แสดงว่าความคิดเห็น หรือดุลยพินิจของผู้ตัดสินใจมีความสอดคล้องกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามหากค่าอัตราส่วนค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลที่คำนวณได้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ผู้ตัดสินใจต้องเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่อีกครั้ง จนกว่าค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลเป็นไปตามเงื่อนไข [24-27]

เมื่อคำนวณน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกและค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว สามารถพิจารณาโหนดที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจากน้ำหนักความสำคัญของโหนด (หรือทางเลือก) แต่ละชนิด โดยโหนดที่มีน้ำหนักความสำคัญสูงสุดถือว่าเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนโหนดชนิดอื่นจะมีความเหมาะสมลดลงมาตามระดับน้ำหนักความสำคัญ

2.5 การทดสอบการใช้งานของโหนดพิน

โหนดพินที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจะถูกนำไปใช้งานจริงในบริษัทกรณีศึกษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563)

พร้อมรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่ จำนวนโกด์พินที่ใช้ ต้นทุนโกด์พิน และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานต่อเดือน โดยเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงต้นด้วย การทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยสถิติทดสอบที (T-Test) ในกรณีประชากร 2 กลุ่มเป็นอิสระกัน ทั้งนี้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตภาพให้กับภาคอุตสาหกรรม

3. ผลการดำเนินการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 เกณฑ์การตัดสินใจที่มีผลต่อการเลือกโกด์พินที่มีความเหมาะสม

การคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามและวัตถุประสงค์ของเกณฑ์การตัดสินใจที่รวบรวมได้ทั้งหมด พบว่ามีเกณฑ์การตัดสินใจที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามและวัตถุประสงค์มากกว่า 0.50 ดังนี้

3.1.1 เกณฑ์การตัดสินใจด้านต้นทุน (Cost, C_1) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้โกด์พินในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สำคัญหนึ่งประการในการพิจารณาเนื่องจากต้นทุนที่เกิดขึ้นในโรงงานส่งผลต่อความอยู่รอดทางธุรกิจหรือความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ หากต้องการเพิ่มผลกำไรให้บริษัทเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันต้นทุนในการผลิตจึงเป็นอย่างหนึ่งที่ส่งต่ออย่างยิ่ง ดังนั้นต้นทุนที่เกิดจากโกด์พินจึงเป็นสิ่งสำคัญ

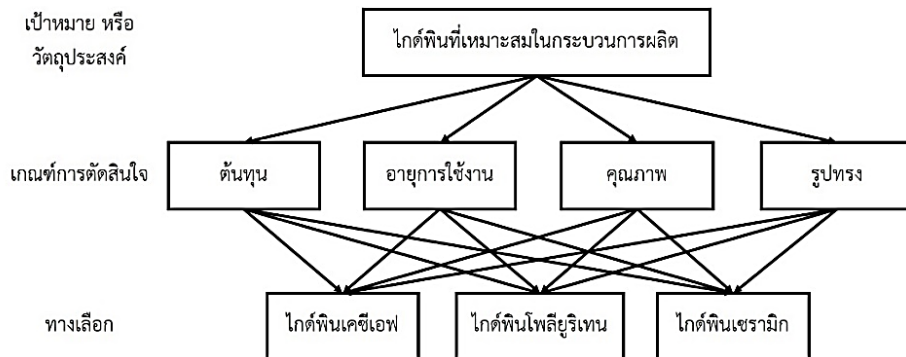
เพราะจะส่งผลต่อต้นทุนของกระบวนการตัวชี้วัดของ C_1 คือ ต้นทุนการซื้อโกด์พินต่อเดือน

3.1.2 เกณฑ์การตัดสินใจด้านอายุการใช้งาน (Durability, C_2) หมายถึง ความทนทานของโกด์พินตั้งแต่เริ่มใช้โกด์พินจนเกิดการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่ต้องการ หรือตำแหน่งที่ต้องการเชื่อมไม่ตรงกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการสึกหรอของโกด์พิน โดยโกด์พินที่ดีจำเป็นต้องมีความทนทานต่อการใช้งานและไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน ตัวชี้วัดเกณฑ์การตัดสินใจนี้ คือ จำนวนครั้งในการใช้โกด์พินในการผลิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เริ่มใช้โกด์พินจนเปลี่ยนโกด์พินใหม่

3.1.3 เกณฑ์การตัดสินใจด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Quality, C_3) หมายถึง การผลิตผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามข้อกำหนดของโรงงานจากการใช้โกด์พินประเภทต่าง ๆ ในการผลิต ซึ่งในเกณฑ์การตัดสินใจนี้ใช้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นตัวชี้วัด

3.1.4 เกณฑ์การตัดสินใจด้านรูปร่าง (Shape, C_4) หมายถึง ลักษณะของรูปร่างและรูปร่างของโกด์พินซึ่งแตกต่างกันมีผลต่อการผลิต เช่น วางชิ้นงานและนำชิ้นงานออก จึงส่งผลต่อการเคลื่อนไหวของพนักงาน โดยใช้รูปร่างของโกด์พินเป็นตัวชี้วัด

ดังนั้นปัญหาการคัดเลือกโกด์พินที่เหมาะสมสามารถนำมาสร้างเป็นโครงสร้างปัญหาการตัดสินใจในแผนภาพความสัมพันธ์ลำดับชั้น แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพความสัมพันธ์ลำดับชั้นของปัญหาการคัดเลือกโกดังที่เหมาะสม

3.2 น้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ และทางเลือก

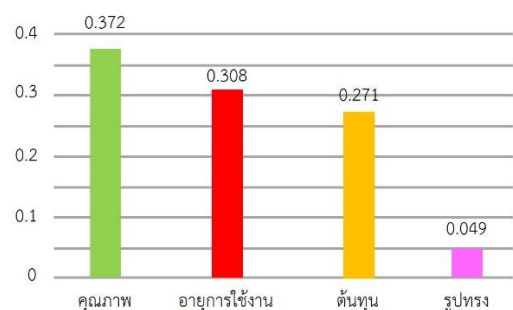
การคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจเลือกโกดังดำเนินการโดยสัมภาษณ์ผู้ตัดสินใจซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 รายที่มีประสบการณ์ในการทำงานไม่ต่ำกว่า 10 ปีและมีความรับผิดชอบในกระบวนการผลิต ผู้เชี่ยวชาญแต่ละรายทำการเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ จากนั้นนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาคำนวณน้ำหนักความสำคัญด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1

เกณฑ์การตัดสินใจ	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	1	1	7
C ₂	1	1	1/3	5
C ₃	1	3	1	6
C ₄	1/7	1/5	1/6	1

ต่อมาให้นำน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจที่คำนวณได้จากผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณ

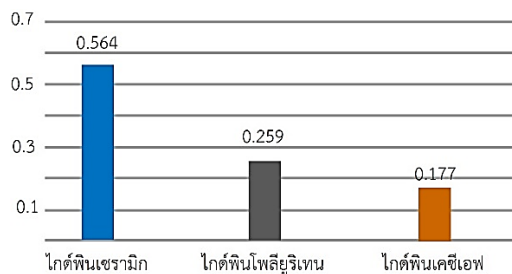
ตัวแทนน้ำหนักความสำคัญด้วยค่าเฉลี่ยเรขาคณิตและคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลโดยพบว่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลของผู้เชี่ยวชาญแต่ละรายมีค่าเท่ากับ 0.05, 0.05 และ 0.07 ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมีความสอดคล้องกันและมีความน่าเชื่อถือสูง น้ำหนักความสำคัญเฉลี่ยโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ คุณภาพ อายุการใช้งาน ต้นทุน และรูปทรง ตามลำดับ น้ำหนักความสำคัญเฉลี่ยของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 น้ำหนักความสำคัญเฉลี่ยของเกณฑ์การตัดสินใจ

จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบความสำคัญของทางเลือกเป็นรายคู่ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 รายของโรงงานกรณีศึกษา

ประเมินโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองใช้งาน จากนั้นคำนวณน้ำหนักความสำคัญเฉลี่ยของแต่ละทางเลือกได้พบว่าโกดพื้นเซรามิกมีน้ำหนักความสำคัญเฉลี่ยมากที่สุด (0.564) ถัดมา ได้แก่ โกดพื้นโพลีเอทิลีน (0.259) และสุดท้ายคือโกดพื้นเคซีเอฟ (0.177) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าโกดพื้นที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการกระบวนการผลิตนี้ คือ โกดพื้นเซรามิก ส่วนโกดพื้นโพลีเอทิลีนมีความสำคัญ หรือเป็นทางเลือกลำดับที่สอง ส่วนโกดพื้นเคซีเอฟเป็นทางเลือกลำดับสุดท้ายเนื่องจากมีน้ำหนักความสำคัญต่ำสุด แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 น้ำหนักความสำคัญเฉลี่ยของโกดพื้น

จากภาพที่ 4 และภาพที่ 5 สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่าทางบริษัทการศึกษาให้ความสำคัญกับคุณภาพของโกดพื้นที่น่ามาใช้ในการกระบวนการผลิตมากที่สุด โดยยอมให้เกิดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อโกดพื้นต่อหัวได้มากขึ้นเพื่อให้ได้เครื่องมือสนับสนุนการผลิตที่ดีขึ้น นอกจากนี้ทางบริษัทการศึกษาแทบไม่ให้ความสำคัญกับรูปทรงของโกดพื้นเลย ดังนั้นโกดพื้นเซรามิกจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในกรณีนี้ อย่างไรก็ตามทางเลือก หรือโกดพื้นที่มีความเหมาะสม หรือลำดับความสำคัญทั้งหมด อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อผู้ตัดสินใจ หรือ

ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่อีกครั้งซึ่งส่งผลต่อการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือก

บริษัทการศึกษาได้นำโกดพื้นเซรามิกไปใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 6 เดือน พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลจำนวนโกดพื้นที่ใช้ ต้นทุนโกดพื้น และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานต่อเดือน แสดงดังตารางที่ 6 จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณค่าสถิติทดสอบและค่า P-value กำหนดให้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6 ($n = 6$) ค่าระดับนัยสำคัญ (α) ของการทดสอบเท่ากับ 0.05 และตั้งสมมติฐานทางสถิติในการทดสอบว่าการนำโกดพื้นเซรามิกมาใช้ต้องส่งผลให้จำนวนของโกดพื้นที่ใช้ ต้นทุนโกดพื้นต่อเดือน และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานลดลง หรือไม่ แสดงดังตารางที่ 7 เมื่อ μ_{A1} และ μ_{A2} แทนจำนวนโกดพื้นเซรามิกและเคซีเอฟเฉลี่ยที่ใช้ μ_{T1} และ μ_{T2} แทนต้นทุนโกดพื้นเซรามิกและเคซีเอฟเฉลี่ย และ μ_{D1} และ μ_{D2} แทนจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานจากการใช้โกดพื้นเซรามิกและเคซีเอฟเฉลี่ย ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติพบว่าค่าสถิติทดสอบของทุกกรณีมีค่าอยู่ในบริเวณวิกฤติและค่า P-value ของการทดสอบมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองทั้งหมด และสรุปได้ว่าการนำโกดพื้นเซรามิกไปใช้ส่งผลให้จำนวนโกดพื้นที่ใช้ ต้นทุนโกดพื้น และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานลดลงอย่างมีระดับนัยสำคัญในอัตราร้อยละ 89.19, 50.00 และ 97.25 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ข้อมูลจากการใช้โถ้ดินแบบเซรามิกระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563

เดือน	จำนวน โถ้ดินที่ใช้	ต้นทุนโถ้ดิน ต่อเดือน	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ มาตรฐาน
ต.ค.	6	13,200	364
พ.ย.	3	6,600	176
ธ.ค.	4	8,800	191
ม.ค.	5	11,000	280
ก.พ.	3	6,600	134
มี.ค.	4	8,800	159
รวม	25	55,000	1,304

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ	ค่าสถิติทดสอบ	P-value	สรุปผล
$H_0: \mu_{A1} - \mu_{A2} \geq 0$ และ $H_1: \mu_{A1} - \mu_{A2} < 0$	-41.44	0.00	ปฏิเสธ H_0
$H_0: \mu_{T1} - \mu_{T2} \geq 0$ และ $H_1: \mu_{T1} - \mu_{T2} < 0$	-8.51	0.00	ปฏิเสธ H_0
$H_0: \mu_{D1} - \mu_{D2} \geq 0$ และ $H_1: \mu_{D1} - \mu_{D2} < 0$	-8.65	0.00	ปฏิเสธ H_0

4. สรุปผลการดำเนินการวิจัย

การคัดเลือกหาโถ้ดินที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นเครื่องมือภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ศึกษาและกำหนดไว้ คือ ความทนทาน ต้นทุน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และรูปทรง จากทางเลือกที่กำหนดโดยทางโรงงาน 3 ทางเลือก คือ โถ้ดินเคซีเอฟ โพลียูรีเทน และเซรามิก ตามลำดับผลการตัดสินใจตามแนวทางของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์พบว่าสามารถจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คุณภาพผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.372 ความทนทานมีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.308 ต้นทุนมีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.250 และรูปทรงมีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.049

ในส่วนของการเลือกจากการตัดสินใจที่เหมาะสมกับกระบวนการประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ในครั้งนี้ คือ โถ้ดินเซรามิก โดยเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไปปรับใช้บริษัทกรณีศึกษาพบว่าโถ้ดินเซรามิกช่วยให้ปริมาณการใช้โถ้ดินในกระบวนการผลิตลดลง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตและจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานลดลง เป็นวิธีการลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลิตภาพ และรักษาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปอาจนำแนวคิดวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่น เช่น การโปรแกรมเป้าหมาย (Goal programming, GP), การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (Technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) กระบวนการ

โครงข่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytic network process, ANP), การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data envelopment analysis, DEA) หรือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ (Grey relational analysis, GRA) มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์จากการศึกษาวิจัยนี้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณา ยงพิศาลภพ. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-65 อุตสาหกรรมรถยนต์ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: ธนาคารกรุงศรีอยุธยา; 2563 [เข้าถึงเมื่อ 3 มิถุนายน 2563]. จาก: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/a18aad1f-e16c-44d5858f-df5e90fe8eab/IO_Autom.
- [2] Ayag Z, Özdemir RG. Evaluating machine tool alternatives through modified TOPSIS and alpha-cut based fuzzy ANP. *Int J Prod Econ*. 2012;140(2):630-6.
- [3] Taha Z, Rostam S. A hybrid fuzzy AHP-PROMETHEE decision support system for machine tool selection in flexible manufacturing cell. *J Intell Manuf*. 2012; 23(6):2137-49.
- [4] Nguyen HT, Dawal SZM, Nukman Y, et al. A hybrid approach for fuzzy multi-attribute decision making in machine tool selection with consideration of the interactions of attributes. *Expert Syst Appl*. 2014;41(6):3078-90.
- [5] Kumru M, Kumru PY. A fuzzy AHP model for the selection of 3D coordinate-measuring machine. *J Intell Manuf*. 2015; 26(5):999-1010.
- [6] Nguyen HT, Dawal SZM, Nukman Y, et al. An integrated approach of fuzzy linguistic preference based AHP and fuzzy COPRAS for machine tool evaluation. *PLoS One*. 2015; 10(9):e0133599.
- [7] Wu Z, Ahmad J, Xu J. A group decision making framework based on fuzzy VIKOR approach for machine tool selection with linguistic information. *Appl Soft Comput*. 2016; 42:314-24.
- [8] Ding Z, Jiang Z, Zhang H, et al. An integrated decision-making method for selecting machine tool guideways considering remanufacturability. *Int J Comput Integr Manuf*. 2018; 31:1-12.
- [9] Li H, Wang W, Fan L, et al. A novel hybrid MCDM model for machine tool selection using fuzzy DEMETAL, entropy weighting and later defuzzification VIKOR. *Appl Soft Comput*. 2020; 91:106207.
- [10] Hasan AF, Bennett CJ, Shipway PH. A numerical comparison of the flow behaviour in friction stir welding (FSW) using unworn and worn tool geometries. *Mater Des*. 2015; 87:1037-46.
- [11] Derazkola HA, Simchi A. Experimental and thermomechanical analysis of the effect of tool pin profile on the friction stir welding of poly (methyl

- methacrylate) sheets. J Manuf Process. 2018; 34:412-23.
- [12] Kurabe Y, Miyashita Y, Hori H. Joining process and strength in PVC friction stir spot welding with fabricating composite material at welding area. Weld Int. 2017; 31(5):354-62.
- [13] Resistance Welding Spare Parts and Accessory [Internet]. Spot-welder; 2019. [cited 2020 June 18] Available from: <http://resistanceweldingaccessory.blogspot.com/search/label/KCF%20Guide%20Pin>.
- [14] Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. J Math Psychol. 1977; 15(3):234-81.
- [15] Kabak M, Erbas M, Çetinkaya C, et al. A GIS-based MCDM approach for the evaluation of bike-share stations. J Clean Prod. 2018; 201:49-60.
- [16] นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์. การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 2560; 11 (1):137-50.
- [17] Akaa OU, Abu A, Spearpoint M, et al. A group-AHP decision analysis for the selection of applied fire protection to steel structures. Fire Saf J. 2016; 86:95-105.
- [18] Meethom W, Koohathongsumrit N. A decision support system for road freight transportation route selection with new fuzzy numbers. Foresight. 2020; 22(4): 505-27.
- [19] Konstantinos I, Georgios T, Garyfalos A. A decision support system methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: case study in eastern Macedonia and Thrace region, Greece. Energy Policy. 2019; 132:232-46.
- [20] Kumar RR, Mishra S, Kumar C. Prioritizing the solution of cloud service selection using integrated MCDM methods under fuzzy environment. J Supercomput. 2017; 73:4652-82.
- [21] นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์. การประยุกต์ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในการประเมินความเสี่ยงสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2562; 42(4):353-74.
- [22] Dweiri F, Kumar S, Khan SA, et al. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. Expert Syst Appl. 2016; 62:273-83.
- [23] นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์, วาสนา จัทรักษา. การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยการประเมินศักยภาพลักษณะทางกายภาพและการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญ เทียบเคียงอุดมคติ: กรณีศึกษาบริษัทผลิตสายไฟฟ้า. วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ. 2562; 13(2):99-114.

- [24] Sennaroglu B, Celebi GV. A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. Transp Res D Transp Environ. 2018; 59:160-173.
- [25] Meethom W, Koohathongsumrit N. Design of decision support system for road freight transportation routing using multilayer zero one goal programming. Eng J. 2018; 22(6):185-205.
- [26] Ali SA, Ahmad A. Spatial susceptibility analysis of vector-borne diseases in KMC using geospatial technique and MCDM approach. J Adv Model Earth Syst. 2019; 5:1135-59.
- [27] Ilbahar E, Karaşan A, Cebi S, et al. A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. Saf Sci. 2018; 103:124-36.