Research Article
Journal of Advanced Development in Engineering and Science
Vol.15 ● No.42 • January – April 2025

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพร่วมกับเทคนิควิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ

Designing Tractor Parts Inspection Equipment Using Quality Function Deployment Techniques Combined with Techniques for Order Preferenceby Similarity to Ideal Solution Method

ปริวรรต นาสวาสดิ์[1] มานพ พิพัฒหัตถกุล[2] และ เษกสรร สิงห์ธนู[3*]
Pariwat Nasawat[1] Manop Pipathattakul[2] and Seksan Singthanu[3*]

Received: 10 December 2023
Revised: 7 April 2024
Accepted: 12 November 2024

บทคัดย่อ

กระบวนการตัดสินใจในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนยากในการตัดสินใจเพราะมีทางเลือกและปัจจัยเกี่ยวข้องหลายๆ อย่างที่จะต้องให้พิจารณาควบคู่กัน ดังนั้นงานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพร่วมกับเทคนิควิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ เพื่อวางแผนผลิตภัณฑ์และการออกแบบเริ่มจากการรับฟังเสียงของกลุ่มเป้าหมายและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ จากนั้นประเมินและจัดลำดับค่าความสำคัญด้วยเทคนิควิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติผลการทดสอบพบว่า เฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ซึ่งมีจำนวน 13 ทางเลือก (A1 ถึง A13) ทางเลือก A8 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด คือมีค่า ccwi = 0.800 ตามด้วยทางเลือก A10 (ค่า ccwi = 0.756) และ A11 (ค่า ccw = 0.700) ตามลำดับ และเฟส 2: การออกแบบ ซึ่งมีจำนวน 5 ทางเลือก (A1 ถึง A5) พบว่า ทางเลือก A2 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด คือมีค่า ccwi = 0.800 ตามด้วยทางเลือก A4 (ค่า ccwi = 0.772) และ A5 (ค่า ccwi = 0.729) ตามลำดับ ผลของการประเมินพบว่ามีค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้นจากร้อยละ

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา ประเทศไทย 24000
[1]Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao, Thailand 24000
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพ ประเทศไทย 10330
[2]Program in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand 10330
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา ประเทศไทย 24000
[3]Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao, Thailand 24000
*ผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: seksan@techno.rru.ac.th

4.21 เป็น 4.41 คิดเป็นร้อยละของการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.75 ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการประเมินและจัดลำดับค่าความสำคัญการวางแผนผลิตภัณฑ์และการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถอื่นๆได้

คำสำคัญ: อุปกรณ์ตรวจสอบ ชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ QFD TOPSIS

ABSTRACT

The decision-making process in designing inspection equipment for tractor parts is a complex problem due to the various alternative and interrelated factors that need to be considered together. Therefore, this research presents the Quality Function Deployment (QFD) technique in conjunction with the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) to plan the product and design. It begins with listening to the requirements of the target group and analyzing QFD technique data. Then, the TOPSIS technique is used for the evaluation and ranking of importance. The test results revealed that in Phase 1: Product Planning, which has 13 alternatives (A1 to A13), alternative A8 is the best, with ccwi = 0.800, followed by alternative A10 (ccwi = 0.756) and A11 (ccwi = 0.700). In Phase 2: Design, which has 5 alternatives (A1 to A5), alternative A2 is the best, with ccwi = 0.800, followed by alternative A4 (ccwi = 0.772) and A5 (ccwi = 0.729). The result of the evaluation found that the average satisfaction score increased from 4.21 to 4.34, which is a percentage increase of 3.09.Therefore, this research can serve as a guideline for evaluating and prioritizing the importance of product planning and designing inspection equipment for other parts.

Keywords: Inspection Equipment; Tractor Parts; Multi-criteria Decision Making; QFD; TOPSIS

บทนำ

อุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย มีการส่งออกเครื่องจักรกลที่ใช้ในการเกษตรมูลค่าประมาณ 84,600-87,900 ล้านบาท [1] ซึ่งมีการวิจัยและพัฒนาให้สอดคล้องไปกับการใช้งานที่เหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่ อีกทั้งการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อการผลิตแบบเกษตรสมัยใหม่ เช่น การนำระบบรถแทรกเตอร์อัตโนมัติใช้ในแปลงนาข้าวหรือเก็บผลไม้ รวมทั้งการวิเคราะห์ต้นทุนความปลอดภัยและคุณสมบัติทางกลอื่นๆ ซึ่งการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตเพื่อรับรองคุณภาพและความเชื่อถือของชิ้นส่วน [2] ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์จึงช่วยลดเวลาในกระบวนการผลิตและการตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งมอบลูกค้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำสำหรับชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ โดยการใช้เทคนิค QFD เป็นวิธีการรับฟังเสียงความต้องการของลูกค้า หลังจากนั้นจะแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่เป้าหมาย เพื่อทำให้เกิดความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ผ่านทางเฟส1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเฟส 2: การออกแบบ [3] ในขณะที่เทคนิค TOPSIS ซึ่งเป็นวิธีการตัดสินใจที่ใช้ในการ

ประเมินอัตราความสัมพันธ์ของตัวเลือกในเชิงหลายเกณฑ์โดยเน้นการหาตัวเลือกที่ดีที่สุด มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายสาขาวิชาเพื่อแก้ไขปัญหาการตัดสินใจที่ซับซ้อนหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ปัญหาที่กล่าวนี้เป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายทางเลือก (Multi-Attribute Decision Making problem: MADM) มีหลากหลายวิธีถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีการแพร่หลายอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีเทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหา MADM หลายเทคนิค เช่น MAVT, PROMETHEE, SAW,GRA, ELECTRE, DEA, VIKOR และ TOPSIS ทฤษฎี MADM เป็นส่วนหนึ่งของทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision making theory) TOPSIS เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย [4-5] การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD-TOPSIS ในการวางแผนผลิตภัณฑ์ และการน้ำหนักในเมทริกซ์อย่างเหมาะสม [6] และประยุกต์ใช้เทคนิค fuzzy-QFD และ fuzzy-TOPSIS เพื่อเลือกค่าผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด [7] การวัดปัจจัยต้นทุนที่พิจารณาสำหรับการประเมินผู้สมัครซัพพลายเออร์ (CFM) [8] การประเมินและเลือกกระบวนการจัดการสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้าทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ (e-CRM) [9] ข้อดีของวิธีที่นำเสนอนี้มีหลักการในการประเมินจะเหมือนวิธีการคิดของคน วิธีการนี้จะคำนึงถึงค่าของปัจจัยทั้งทางดีและด้านลบไปพร้อมๆกัน วิธีการคำนวณง่าย มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ [10-11] งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อช่วยแก้ปัญหาการตัดสินใจหลายเกณฑ์ หลายทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ที่ให้ตรงตามความต้องการอย่างแท้จริงของลูกค้า ดังนั้นจึงนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ร่วมกับ TOPSIS ในการวางแผนผลิตภัณฑ์และการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถเพื่อการประเมินและจัดลำดับความสำคัญ เริ่มจากศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ ขั้นตอนที่สองประยุกต์ใช้ QFD กำหนดให้ทางเลือกเฟส1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ และกำหนดให้ทางเลือก เฟส2: การออกแบบขั้นตอนที่สองคำนวณค่า ccwi โดยใช้เทคนิค TOPSISขั้นตอนที่สามจัดเรียงลำดับคะแนนความสำคัญโดยเปรียบเทียบทำให้ทราบว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยสำคัญเริ่มจากเฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเฟส 2: การออกแบบขั้นตอนที่สี่ออกแบบผลิตภัณฑ์และทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ ผู้วิจัยคาดหวังว่าวิธีที่นำเสนอนี้จะเป็นแนวทางเพื่อแก้ปัญหาการตัดสินใจการออกแบบอุปกรณ์อื่นๆได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนแรกเริ่มจากการใช้เทคนิค QFD ศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ การรับฟังเสียงของกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งจะถูกแปลงเป็นความต้องการด้านการออกแบบถูกแปลงเป็นความต้องการของชิ้นงาน ตามลำดับขั้นตอนต่อมาใช้เทคนิค TOPSIS เพื่อจัดลำดับค่าความสำคัญที่มีประสิทธิภาพที่สุด ตามลำดับ

1.การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD

1.1 การรับฟังเสียงความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย

เริ่มจากการรับฟังเสียงของกลุ่มเป้าหมาย ขั้นตอนต่อมาทำการแปลงความต้องการของกลุ่มเป้าหมายให้กลายเป็นความต้องการทางเทคนิค โดยใช้แบบสอบถามเพื่อรวบรวมความต้องการของกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์กลุ่มเป้าหมายหรือกลุ่มลูกค้า 15 คน ผลสำรวจความต้องการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์แสดงในรูปที่ 1

Figure 1 Tractor Equipment

1.2 เทคนิค QFD แบบสี่เฟส (4-Phase Model)

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคนิค QFD แบบ 4 เฟส (4-Phase Model) เป็นเครื่องมือหลักมีขั้นตอนดังที่แสดงในรูปที่ 2 [12-15]

Phase 1: product-planning
Phase 2: design-assembly deployment
Phase 3: process-planning
Phase 4: production-planning quality-control

Figure 2 Steps QFD

2. การประยุกต์ใช้เทคนิคTOPSIS

การตัดสินใจแบบ MADM เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดโดยเทคนิค TOPSIS คือ การหาทางเลือกที่มีระยะทางใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดของแต่ละเกณฑ์และมีระยะที่ห่างไกลจากค่าที่แย่ที่สุดในแต่ละเกณฑ์ แบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างตารางเมทริกซ์การทำการตัดสินใจโดย x_{ij} คือข้อมูลตัวเลขจากการทำการตัดสินใจสำหรับทางเลือก i และปัจจัย j เมื่อ A แทนทางเลือก (Alternative) และ f แทนปัจจัย โดยแสดงในสมการที่ 1

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} f_1 & f_2 & f_3 & \cdots & f_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{mn} & x_{mn} & x_{mn} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (1)$$

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชัน (Normalized decision matrix) โดยคำนวณแต่ละค่า r_{ij} แสดงในสมการที่ 2 โดยจุดประสงค์เพื่อเปลี่ยนปัจจัยที่มีหลายหน่วยที่ต่างกันให้เป็นปัจจัยแบบไม่มีหน่วย

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^2}} \; ; \begin{matrix} \forall i = 1,...,m \\ \forall j = 1,...,n \end{matrix} \tag{2}$$

ขั้นตอนที่ 3 จากข้อมูลน้ำหนักของปัจจัย w_j ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูล ต่อจากนั้นนำข้อมูลการทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชัน r_{ij} ให้สร้างตารางเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชันที่ถ่วงน้ำหนักแล้วโดยหาค่า v_{ij} แสดงในสมการที่ 3

$$v_{ij} = w_j \; r_{ij} \tag{3}$$

ขั้นตอนที่ 4 จากข้อมูลเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชันที่ถ่วงน้ำหนักแล้วข้างต้น v_{ij} คำนวณคำตอบในอุดมคติทางบวกซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแทนด้วย A^* และคำนวณคำตอบในอุดมคติทางลบเป็นคำตอบที่แย่ที่สุดแทนด้วย $A^{'}$ แสดงในสมการที่ 4-5 ตามลำดับ โดยที่ J คือเซตของปัจจัยยิ่งมากยิ่งดี ส่วน J' คือเซตของปัจจัยยิ่งน้อยยิ่งดี

$$A^* = \left\{ v_1^*,...,v_n^* \right\} \; ; \; where \; v_j^* = \begin{matrix} \max(v_{ij}) if \; j \in J \\ \min(v_{ij}) if \; j \in J' \end{matrix} \tag{4}$$

$$A^{'} = \left\{ v_1^{'},...,v_n^{'} \right\} \; ; \; where \; v_j^{'} = \begin{matrix} \max(v_{ij}) \; if \; j \in J \\ \min(v_{ij}) \; if \; j \in J' \end{matrix} \tag{5}$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาตัววัดการแยก (Separation Measure)สำหรับแต่ละทางเลือก iโดยสามารถคำนวณวัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก s_i^* และคำนวณการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ $s_i^{'}$ แสดงในสมการที่ 6-7 ตามลำดับ

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad \forall i = 1,...,m \tag{6}$$

$$s_i^{'} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^{'})^2} \quad \forall i = 1,...,m \tag{7}$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้ค่าอุดมคติที่สุด (Closeness Coefficient weight: *ccwi*)ที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด สำหรับทางเลือก *i* เรียกกว่า ccw_i โดยค่า ccw_i ที่คำนวณได้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ความหมายของค่า ccw_i ที่ได้คือ 0 คือทางเลือกที่แย่ที่สุดและ 1 คือทางเลือกที่ดีที่สุด แสดงในสมการที่ 8

$$ccw_i = \frac{s_i^{'}}{s_i^{*} + s_i^{'}}, 0 \le ccw_i \le 1 \tag{8}$$

จากความใกล้ชิดสัมพัทธ์ที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด ccw_i สำหรับแต่ละทางเลือกให้จัดอันดับแต่ละทางเลือกที่มีค่า ccw_i เข้าใกล้ 1 ที่สุดคือคำตอบที่ดีที่สุด [16-26]

ผลการวิจัย

1.การรับฟังเสียงจากกลุ่มเป้าหมาย

จากความต้องการของกลุ่มลูกค้าหรือเสียงของกลุ่มเป้าหมาย (Voice of Customer: VOC) จากนั้นทำการสรุปข้อมูลความต้องการ โดยเลือกเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับวางแผนผลิตภัณฑ์การออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์แสดงในตารางที่ 1 ขั้นตอนถัดไปคือจัดกลุ่มเชื่อมโยงหรือความต้องการ (Affinity Diagram) ซึ่งสามารถจัดหมวดหมู่กลุ่มเชื่อมโยงความต้องการได้ 4 กลุ่มหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2

Table 1 conversion based on client requirements

Alternative	Voice of Customer	Reword Data
1	Easy to use	Easy to inspect truck components
2	Materials available in the factory	Materials available in storage
3	Convenient for storage	Easy to store
4	Accuracy in inspection	Accurate measurement equipment
5	Simple design	Simple design of inspection equipment
6	Quick and easy to move	Convenient to move
7	Safe to use	Safe to use
8	Durable	Sturdy and durable
9	Increased production quantity	Reduced working time
10	Self-repairable components	Easy maintenance
11	Sturdy	Strong structural integrity
12	Long-lasting	Long lifespan
13	Few components	Few components

Alternative	Voice of Customer	Reword Data
14	Fast measurement equipment	On-time delivery to customers
15	Cost-effective	Low cost

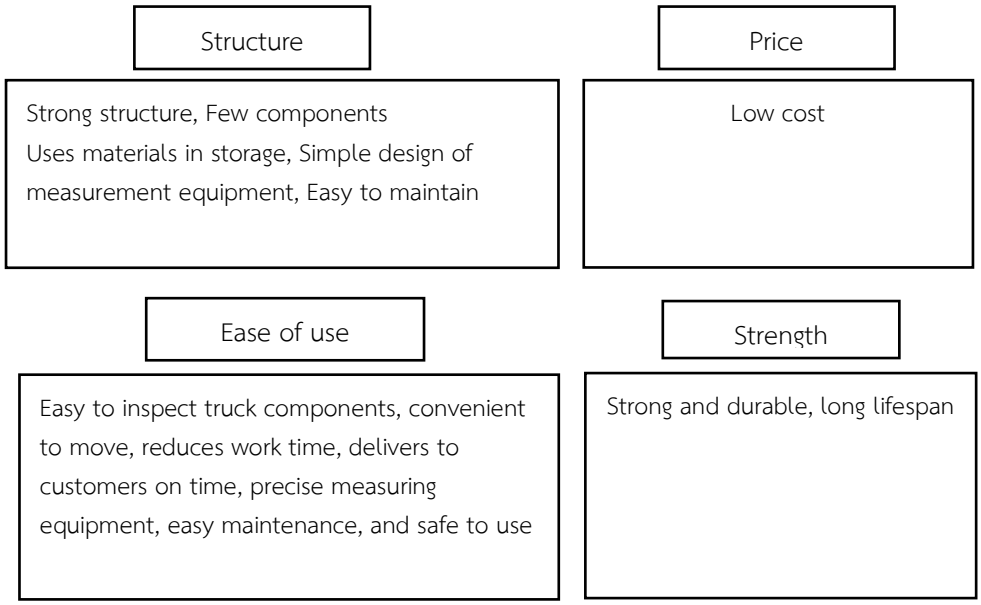


Figure 2 Customer Needs Affinity Diagram

2.ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเทคนิค QFD

จากภาพที่ 2 นั้นนำความต้องการมาใช้ในการสร้างแบบทดสอบเพื่อตรวจสอบระดับความสำคัญและผลกระทบต่อความพึงพอใจในแต่ละปัจจัยของความต้องการเหล่านี้โดยมีการกำหนดระดับคะแนนความพึงพอใจในรูปแบบ 5 ระดับซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจโดยใช้มาตราประมาณค่า (Rating Scale) แบบ 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 2 [27]

Table 2 Importance rating levels

Score Levels	Means	Impact on satisfaction
5	Means	Extremely important and highly satisfying
4	Means	Very important and highly satisfying
3	Means	Moderately important and moderately satisfying
2	Means	Slightly important and somewhat satisfying
1	Means	Not important and not satisfying

การหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ในกรณีศึกษาและการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์คู่แข่งจะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) ดังแสดงในสมการที่ 9 เนื่องจากข้อมูลจากแบบสอบถามมีลักษณะเป็นการเลือกให้ระดับคะแนน (Rating) ซึ่งข้อมูลที่ได้รับ (Data) ได้จากการสรุปค่าเฉลี่ยจำนวนกลุ่มของข้อมูลประเภทนี้ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงจิตวิสัย (Group Judgments)

N = ค่าของจำนวนข้อมูลจากแบบสอบถาม

1, 2, 3, ...n = จำนวนข้อมูลที่ต้องการ

$$\text{Geometric Mean} = \sqrt[n]{N_1 \times N_2 \times N_3 \cdots N_n} \quad (9)$$

Table 3 Summarize the average scores of the importance levels of various factors that influence or affect satisfaction

	Customer Requirements	Average(IMP)	
		Calculation result	Round the value
Structure	The structure is robust	3.983	3.98
	Few components	4.060	4.06
	Uses materials in stock	3.924	3.92
	Creates simple measuring equipment	4.183	4.18
	Easy to maintain	3.907	3.91
Price	Low cost	4.373	4.37
Functionality	Easy to inspect tractor components	4.573	4.57
	Convenient to move	4.147	4.15
	Reduces working time	4.782	4.78
	Delivers to customers on time	4.439	4.44
	Straightforward measuring equipment	4.506	4.51
	Easy to store	3.565	3.57
	Safe to use	4.245	4.25
Strength	Durable and long-lasting	4.309	4.31
	The structure is robust	4.121	4.12

Table 4 Summarize the average scores of the importance levels of various factors that influence or affect satisfaction, comparing with the competitor

Customer Requirements		Rating		Rating (Round the value)	
		Case Study	Competitor	Case Study	Competitor
Structure	The structure is robust	3.43	3.76	3	4
	Few components	3.85	3.70	4	4
	Uses materials in stock	3.12	3.63	3	4
	Creates simple measuring equipment	3.50	3.95	3	4
	Easy to maintain	3.70	3.69	4	4
Price	Low cost	3.18	4.12	3	4
Functionality	Easy to inspect tractor components	3.30	4.18	3	4
	Convenient to move	4.06	4.03	4	4
	Reduces working time	3.37	4.37	3	4
	Delivers to customers on time	3.57	4.06	4	4
	Straightforward measuring equipment	4.18	4.25	4	4
	Easy to store	3.92	3.57	4	4
	Safe to use	4.37	4.00	4	4
Strengt	Durable and long-lasting	3.63	4.31	4	4
	The structure is robust	3.78	4.12	4	4

จากตารางที่ 3 และ 4 แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสอบถาม 1 และ 2 ถูกนำไปกรอกในเมตริกซ์ที่1 ที่เกี่ยวกับการวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ(House Of Quality : HOQ) ค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้ตอบแบบสอบถามจะถูกกำหนดลงในคอลัมน์ IMP (Important) ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ในกรณีศึกษาและอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ของคู่แข่งจะถูกกรอกในคอลัมน์Rating ที่อยู่ด้านขวาของเมตริกซ์ ขั้นตอนสุดท้ายหาค่าข้อกำหนดสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างแน่นอน (Absolute Requirements) (C1) ค่าความสำคัญที่เปรียบเทียบได้ (Relative Importance %) (C2) จัดอันดับความสำคัญด้วยเทคนิคTOPSIS

3.ผลการเรียงลำดับโดยใช้เทคนิค TOPSIS

ขั้นตอนแรกโดยกำหนดให้ทางเลือก เฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีจำนวน 13 ทางเลือก (A1 ถึง A13) และเกณฑ์ ได้แก่ ค่าข้อกำหนดสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างแน่นอน (C1) ค่าความสำคัญที่เปรียบเทียบได้ (C2) ดังแสดงในตารางที่ 5 กำหนดให้ทางเลือก เฟส 2: การออกแบบ ซึ่งมีจำนวน 5 ทางเลือก (A1 ถึง A5) และเกณฑ์ ได้แก่ ค่าข้อกำหนดสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างแน่นอน (C1) ค่าความสำคัญที่เปรียบเทียบได้(C2) ดังแสดงในตารางที่ 9 ขั้นตอนที่สองผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TOPSIS เริ่มจากการปรับสเกลของตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจเฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 6 และเฟส 2: การออกแบบ

แสดงในตารางที่ 10 จากนั้นทำการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักโดยใช้ข้อมูลของค่าน้ำหนักปัจจัยโดยกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัย (C1) คือ 0.80 และปัจจัย (C2) มีค่าคือ 0.20 จากค่าข้อกำหนดสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างแน่นอน (C1) ค่าความสำคัญที่เปรียบเทียบได้ (C2) จากเฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 7 เฟส 2: การออกแบบ แสดงในตารางที่ 11 แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอุดมคติเชิงบวก (PIS) และค่าอุดมคติเชิงลบ (NIS) เพื่อคำนวณค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S*) และค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S’) และค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้ค่าอุดมคติที่สุด (Ccwi) จากเฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 8 และเฟส 2: การออกแบบแสดงในตารางที่ 12 สำหรับแต่ละปัจจัยตามลำดับ

ขั้นตอนที่สุดท้าย เฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์นำข้อมูลจากตารางที่ 7 และเฟส 2: การออกแบบนำข้อมูลจากตารางที่ 11 มาทำการคำนวณระยะห่างจากค่าย PIS และ NIS ในแต่ละทางเลือกโดยใช้สมการที่ (6 - 7) ในขั้นตอนสุดท้ายคำนวณหาสัมประสิทธิ์ที่ใกล้ค่าอุดมคติที่สุดในแต่ละทางเลือกโดยใช้สมการที่ (8) ผลการคำนวณเฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 8 ผลการคำนวณเฟส 2: การออกแบบแสดงในตารางที่ 12

Table 5 Absolute requirements and relative importance (%) phase 1 : product-planning

Symbol	Technical Requirements	C1	C2
A1	Weight	134.86	8.05
A2	Easy Maintenance	145.50	8.69
A3	Few Components	120.49	7.19
A4	Safety	112.86	6.74
A5	Accurate Measurement Equipment	135.51	8.09
A6	Strength	86.46	5.16
A7	Convenient Mobility	100.14	5.98
A8	Reduced Working Time	176.97	10.56
A9	Simple Inspection Equipment Design	99.39	5.93
A10	Price	161.55	9.64
A11	Ease of Checking Tractor Components	153.45	9.16
A12	Timely Delivery	136.20	8.13
A13	Longevity	111.69	6.67

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD แสดงให้เห็นว่าค่าข้อกำหนดสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างแน่นอน (C1) ค่าที่มากที่สุดคือ A8 A1 A11 A2 ตามลำดับ ส่วนค่าความสำคัญที่เปรียบเทียบได้ (C2) ค่าที่มากที่สุดคือ A8 A1 A11 A2 ตามลำดับ

Table 6 Calculate normalised matrix

Technical Requirements	C1	C2
A1	0.285	0.285
A2	0.307	0.307
A3	0.254	0.254
A4	0.238	0.238
A5	0.286	0.286
A6	0.183	0.183
A7	0.211	0.211
A8	0.374	0.374
A9	0.210	0.210
A10	0.341	0.341
A11	0.324	0.324
A12	0.288	0.288
A13	0.236	0.236

Table 7 Calculate weighted normalised matrix

Technical Requirements	C1	C2
A1	0.228	0.057
A2	0.246	0.061
A3	0.204	0.051
A4	0.191	0.048
A5	0.229	0.057
A6	0.146	0.037
A7	0.169	0.042
A8	0.299	0.075
A9	0.168	0.042
A10	0.273	0.068
A11	0.259	0.065
A12	0.230	0.058
A13	0.189	0.047

Table 8 Closeness coefficient weight phase 1: product-planning

Technical Requirements	S*	S'	ccwi	RANK
A1	0.105	0.118	0.531	7
A2	0.083	0.142	0.631	4
A3	0.136	0.088	0.392	8
A4	0.154	0.074	0.324	9
A5	0.103	0.120	0.537	6
A6	0.216	0.054	0.200	13
A7	0.184	0.056	0.235	11
A8	0.054	0.216	0.800	1
A9	0.185	0.056	0.231	12
A10	0.058	0.180	0.756	2
A11	0.069	0.161	0.700	3
A12	0.102	0.121	0.544	5
A13	0.157	0.072	0.314	10

จากตารางที่ 8 ผลลัพธ์การวิเคราะห์พบว่าทางเลือก A8 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดคือ ccwi = 0.800 ต่อด้วยทางเลือก A10 (ccwi = 0.756) และ A11 (ccwi = 0.700) ตามลำดับโดยทางเลือก A6 เป็นทางเลือกที่มีค่าความเหมาะสมน้อยสุด (ccwi = 0.200)

Table 9 Absolute requirements and relative importance (%) phase 2: design-assembly deployment

Symbol	Technical Requirements	C1	C2
A1	Weight	61.80	15.36
A2	Accuracy of Measurement Equipment	123.51	30.69
A3	Material Durability	10.05	2.50
A4	Size of Measuring Equipment	108.09	26.86
A5	Efficient Design of Measurement Equipment	98.94	24.59

จากตารางที่ 9 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD แสดงให้เห็นว่าค่าข้อกำหนดสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างแน่นอน (C1) ค่าที่มากที่สุดคือ A2 A4 A5 A1 ตามลำดับ ส่วนค่าความสำคัญที่เปรียบเทียบได้ (C2) ค่าที่มากที่สุดคือ A2 A4 A5 A1 ตามลำดับ

Table 10 Calculate normalised matrix

Technical Requirements	C1	C2
A1	0.307	0.307
A2	0.613	0.613
A3	0.050	0.050
A4	0.536	0.536
A5	0.491	0.491

Table 11 Calculate weighted normalised matrix

Technical Requirements	C1	C2
A1	0.245	0.061
A2	0.490	0.123
A3	0.040	0.010
A4	0.429	0.107
A5	0.393	0.098

Table 12 Closeness coefficient weight phase 2 : design-assembly deployment

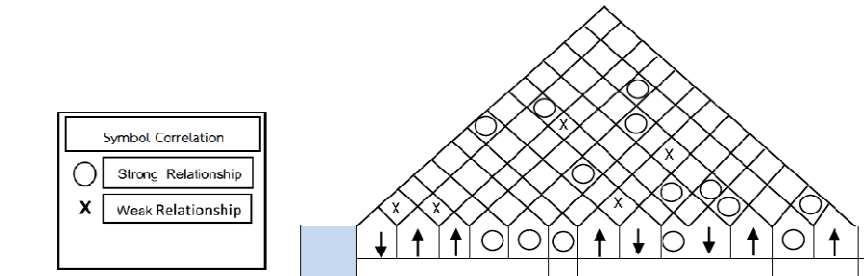
Technical Requirements	S*	S'	Ccwi	RANK
A1	0.354	0.303	0.461	4
A2	0.159	0.637	0.800	1
A3	0.637	0.159	0.200	5
A4	0.162	0.551	0.772	2
A5	0.186	0.500	0.729	3

จากตารางที่ 12 ผลลัพธ์การวิเคราะห์พบว่าทางเลือก A2 ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดคือมีค่า ccwi = 0.800 ต่อด้วยทางเลือก A4 (ccwi = 0.772) และ A5 (ccwi = 0.729) ตามลำดับโดยทางเลือก A3 เป็นทางเลือกที่มีค่าความเหมาะสมน้อยสุด (ccwi = 0.200)

4.ผลการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ร่วมกับเทคนิค TOPSIS

4.1 เฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์

โดยใช้ผลลัพธ์จากคะแนนความสำคัญและความพึงพอใจของลูกค้าเพื่อนำข้อมูลมาประกอบในบ้านคุณภาพ จะสามารถสร้างเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ได้



Technical Requirements			Structure					Price	Functionality					Strength		Rating				
Customer Requirements		IMP	1 Weight	2 Easy maintenance	3 Few components	4 Safety	5 Accurate measuring equipment	6 Price	7 Convenient mobility	8 Reduced working time	9 Simple measurement equipment	10 Easy inspection of truck components	11 On-time delivery to customers	12 Strength	13 Long service life	IMP Case Study Products	Competitor Products	planned Level	Importance Ratio	Importance weight
Structure	The structure is robust	3.98	9	3	1	9	3	3					9	9	9	3	4	4	1.2	4.62
	Few components	4.06	9	9	9				9			3				4	4	4	1.1	4.28
	Uses materials in stock	3.92	1	3	1									3		3	4	4	1.3	4.94
Price	Creates simple measuring equipment	4.18	1	9	3				3	3	9					3	4	4	1.2	5.00
	Easy to maintain	3.91		9	3			9	3		3	3				4	4	4	1.1	4.12
	Low cost	4.37		9	9			9	9		9					3	4	4	1.4	6.02
Functionality	Easy to inspect tractor components	4.57								9		9				3	4	4	1.4	6.33
	Convenient to move	4.15	9	3	3											4	4	4	1.0	4.24
	Reduces working time	4.78					9			9		9				3	4	5	1.4	6.79
	Delivers to customers on time	4.44					9			9		9				4	4	4	1.2	5.53
	Straightforward measuring equipment	4.51					9			9		3	9			4	4	4	1.1	4.85
Strength	Easy to store	3.57									3					4	4	3	0.9	3.24
	Safe to use	4.25				9							9	3		4	4	4	1.0	4.12
	Strong and durable	4.31	3			9							9	9	9	4	4	4	1.2	5.11
	Long service life	4.12	1											9	9	4	4	4	1.1	4.50
Targets value			Less than 20 kilograms	Increase by 20 %	More than 50 %	Safety 100 %	Accurate Measurement Equipment	Most affordable price	Increase by 30 %	Decrease by 30 %	Create suitable measurement equipment	Decrease by 30 %	Increase by 50 %	Products are durable	Usage lifespan over 5 years					
Absolute Requirements			134.66	145.5	120.69	112.86	135.51	86.46	100.14	176.67	99.39	161.55	153.45	136.2	111.69	1675.07				
Relative Requirements			8.05	8.69	7.19	6.74	8.09	5.16	5.98	10.56	5.93	9.64	9.16	8.13	6.67	100				
TOPSIS Ranking			7	4	8	9	6	13	11	1	12	2	3	5	10					

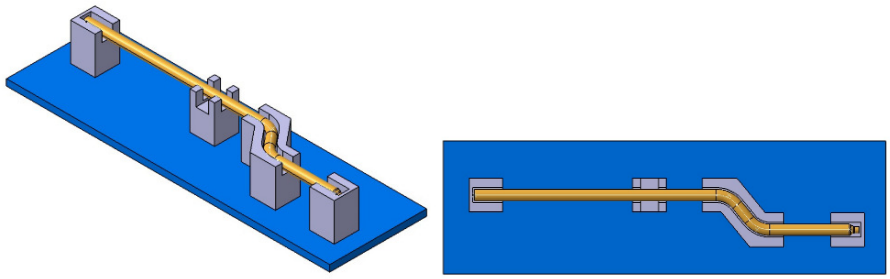
Figure 3 Product planning

จากรูปที่ 3 ได้ทำการจัดลำดับคะแนนความสำคัญโดยการเปรียบเทียบ เพื่อศึกษาปัจจัยที่สำคัญที่ต้องควบคุมในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ผลลัพธ์จากการจัดลำดับโดยใช้ TOPSIS กำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค แสดงให้ทราบว่าปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการวางแผนผลิตภัณฑ์คือการลดเวลาการทำงาน โดยมีคะแนนน้ำหนักที่สูงถึง 10.56% อันดับที่สองคือความง่ายในการใช้ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ที่มีคะแนนน้ำหนัก 9.64% และส่วนปัจจัยที่สำคัญอันดับที่สามคือการส่งมอบสินค้าทันเวลามีคะแนนน้ำหนัก 9.16% โดยผลลัพธ์การวิเคราะห์นี้จะนำเข้าสู่ขั้นตอน QFD เฟส 2 ต่อไป

		Important Weight	Weight	Accurate measuring equipment	Material durability	Size of measuring equipment	Quick usability design of measuring equipment	
Technical Requirements		IMP	1	2	3	4	5	
1	Reduce working time	5.00	9	9		3	9	
2	Easy to inspect truck components	3.58	1	3		9	9	
3	On-time customer delivery	3.10	1	9		9	9	
4	Easy maintenance	2.72	1	9		9		
5	Durability	1.71			9			
6	Accurate measuring equipment	1.66		9		3	3	
7	Weight	1.60	9			9		
8	Few components	0.45	9	1				
9	Safety	−0.16	1					
10	Long lifespan	−0.26			9			
11	Convenient mobility	−1.21	9			9		
12	Create straightforward measuring equipment	−1.24					9	
13	Price	-1.00			3			
Absolute Requirements			61.80	123.51	10.05	108.09	98.94	402
Relative Importance (%)			15.36	30.69	2.50	26.86	24.59	100
TOPSIS Ranking			4	1	5	2	3	

Figure 4 Design assembly deployment

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลด้านเทคนิคจัดลำดับด้วย TOPSIS ด้วยข้อกำหนดทางเทคนิคที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการออกแบบ คืออุปกรณ์ตรวจวัดเที่ยงตรงมากที่สุดร้อยละ 30.69 ขนาดอุปกรณ์ตรวจวัดร้อยละ 26.86 และการออกแบบการใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดได้รวดเร็วร้อยละ 24.59 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำผลการผลลัพธ์การวิเคราะห์ที่ได้นำไปออกแบบผลิตภัณฑ์และสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5 (a,b)



(a) (b)

Figure 5 Designing inspection equipment for truck components (a: Isometric view, b: Top view)

5.ผลของความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนา

การดำเนินการวิจัยทั้งสองเฟสของการประยุกต์เทคนิค QFD-TOPSIS จึงทำให้ผลความพึงพอใจอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ที่ลูกค้าต้องการจะเป็นการนำเอาคุณลักษณะดังกล่าวมาพัฒนาด้านอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ในขั้นตอนนี้

Table 13 Comparing average satisfaction scores in parts component inspection equipment products before and after development

	Customer Requirements	Average		
		Product before development	Product after development	The percentage of product change
Structure	The structure is robust	3.98	4.25	6.78
	Few components	4.06	4.37	7.64
	Uses materials in stock	3.92	4.25	8.42
	Creates simple measuring equipment	4.18	4.57	9.33
	Easy to maintain	3.91	4.18	6.91
Price	Low cost	4.37	4.44	1.60
Functionality	Easy to inspect tractor components	4.57	4.71	3.06
	Convenient to move	4.15	4.12	0.72
	Reduces working time	4.78	4.85	1.46
	Delivers to customers on time	4.44	4.64	4.51
	Straightforward measuring equipment	4.51	4.78	5.99
	Easy to store	3.57	3.70	3.64
	Safe to use	4.25	4.37	2.82
Strength	Durable and long-lasting	4.31	4.44	3.02
	The structure is robust	4.12	4.51	9.46
	Total average	4.21	4.41	4.75

จากตารางที่ 13 แสดงความพึงพอใจที่ได้จากความต้องการของลูกค้านั้นได้นำมาวิเคราะห์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นขึ้นใหม่ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านลดเวลาการทำงาน อุปกรณ์ตรวจวัดเที่ยงตรงและใช้ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ง่ายตามลำดับ ผลของการประเมินพบว่ามีค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.21 เป็น 4.41 คิดเป็นร้อยละของการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.75

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ เพื่อศึกษาแนวทางสำหรับจัดลำดับค่าความสำคัญอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ เฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์และเฟส 2: การออกแบบ ขั้นตอนแรกเริ่มจากศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ ขั้นตอนที่สองประยุกต์ใช้ QFD กำหนดให้ทางเลือกเฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีจำนวน 13 ทางเลือก (A1 ถึง A13) และกำหนดให้ทางเลือกเฟส 2: การออกแบบ ซึ่งมีจำนวน 5 ทางเลือก (A1 ถึง A5) และเกณฑ์ ได้แก่ ค่าข้อกำหนดสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างแน่นอน (C1) ค่าความสำคัญที่เปรียบเทียบได้ (C2) โดยกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัย (C1) = 0.80 และปัจจัย (C2) = 0.20 ขั้นตอนที่สองคำนวณค่า ccwi โดยใช้เทคนิค TOPSIS ขั้นตอนที่สามจัดเรียงลำดับคะแนนความสำคัญโดยเปรียบเทียบทำให้ทราบว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยสำคัญเริ่มจากเฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์และเฟส 2: การออกแบบ ขั้นตอนที่สี่ออกแบบผลิตภัณฑ์และทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ร่วมกับเทคนิค TOPSIS พบว่า เฟส 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ซึ่งมีจำนวน 13 ทางเลือก (A1 ถึง A13) ทางเลือก A8 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดคือมีค่า ccwi = 0.800 ต่อด้วยทางเลือก A10 (ค่า ccwi = 0.756) และ A11 (ค่า ccwi = 0.700) ตามลำดับและเฟส 2: การออกแบบ ซึ่งมีจำนวน 5 ทางเลือก (A1 ถึง A5) พบว่าทางเลือก A2 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดคือมีค่า ccwi = 0.800 ต่อด้วยทางเลือก A4 (ค่า ccwi = 0.772) และ A5 (ค่า ccwi = 0.729) ตามลำดับ ผลของการประเมินพบว่ามีค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.21 เป็น 4.41 คิดเป็นร้อยละของการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.75 แสดงให้เห็ว่าเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถประเมินและจัดลำดับค่าความสำคัญของอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์แต่ละปัจจัยได้อย่างสอดคล้องกัน ดังนั้นเครื่องมือที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้จัดลำดับค่าความสำคัญของการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถอื่นๆได้ การวิจัยในอนาคตควรเพิ่มจำนวนคู่แข่ง เพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และเพิ่มเฟส 3: การวางแผนในกระบวนการผลิต เฟส 4: การวางแผนการผลิตและควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อครอบคุมในกระบวนการ QFD ทั้ง 4 เฟส

References

[1] Kasikorn Research Center. (2023). Farm Machinery in 2022. Available from https://www.ryt9.com/s/prg/3288920?cv=1. Accessed date: 10 March 2023. (in Thai)

[2] Thanatumrongkul, K. & Srinaruewan, P. (2023). Factors Affecting the Marketing Mix in Purchase of Agricultural Machinery in Chiang Mai. *Payap University Journal*, 33(1), 18-34.(in Thai)

[3] Rawangwong, S., et al. (2022). Products Design of Bamboo Sofa Set Using Quality Function Deployment Technique with Kansei Engineering. *Ladkrabang Engineering Journal*, 39(3), 11-28. (in Thai)

[4] Saravisutra, A. (2016). Multi-criteria Decition Making: Comparison Between SAW, AHP, TOPSIS Concept and Methods. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 8(2), 180-192. (in Thai)

[5] Deetae, N., et al. (2022). Risk Assessment of Farmers for Growing Safe Rice by The Fuzzy Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution. *Huachiew*

Chalermprakiet Science and Technology Journal, 8(1), 81-91. (in Thai)

[6] Akao, Y., & Mazur, G. H. (2003). The Leading Edge in QFD: Past, Present and Future. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1), 20-35.

[7] Saaty, T. L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.

[8] Chang, S. H., & Tseng, H. E. (2008). Fuzzy TOPSIS Decision Method for Configuration Management. *International Journal of Industrial Engineering*, 15(3), 304-313.

[9] Zandi, F., & Tavana, M. (2011). A Fuzzy Group Quality Function Deployment Model for e-CRM Framework Assessment in Agile Manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 61(1), 1-19.

[10] Wichapa, N., & Warorot, W. (2023). A Hybrid Approach for Ranking Decision-Making Units with Fuzzy Variables. *Industrial Engineering & Management Systems*, 22(2), 97-108.

[11] To-On, P., et al. (2023). A Novel TOPSIS Linear Programming Model Based on Response Surface Methodology for Determining Optimal Mixture Proportions of Lightweight Concrete Blocks Containing Sugarcane Bagasse Ash. *Heliyon*, 9(7). e17755.

[12] Nasawat, P., et al. (2021). Hybrid Cross-Efficiency Approach Based on Ideal and Anti-Ideal Points and the Critic Method for Ranking Decision-Making Units: A Case Study on Ranking the Methods of Rice Weevil Disinfestation. *Decision Science Letters*, 10(3), 375-392.

[13] Kumaraswamy, A., et al. (2011). An Integrated QFD-TOPSIS Methodology for Supplier Selection in SMEs. In *2011 Third International Conference on Computational Intelligence*, Modelling & Simulation (pp. 271-276). 20 – 22 September, 2011, Langkawi, Malaysia.

[14] Li, M., et al. (2014). A new MCDM Method Combining QFD with TOPSIS for Knowledge Management System Selection from the User's Perspective in Intuitionistic Fuzzy Environment. *Applied Soft Computing*, 21, 28-37.

[15] Karimi, B. H., et al. (2012). Applying A Hybrid QFD-TOPSIS Method to Design Product in the Industry (Case Study in Sum Service Company). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(18), 3283-3288.

[16] Rahpeyma, B., & Zarei, M. (2018). An Integrated QFD-TOPSIS Approach for Supplier Selection Under Fuzzy Environment: A Case of Detergent Manufacturing Industry. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 9(3), 62-81.

[17] Pandey, V., et al. (2023). A Review on TOPSIS Method and Its Extensions for Different Applications with Recent Development. *Soft Computing*, 27(23), 18011-18039.

[18] Sampath, B., et al. (2023). Application of TOPSIS Optimization Technique in the Micro-Machining Process. In Mellal, M. A. (Ed.). *Trends, paradigms, and advances in mechatronics engineering.* (p. 162 - 187). Minneapolis, New York: IGI Global.

[19] Lu, H., et al. (2022). Selection of Agricultural Machinery Based on Improved CRITIC-Entropy Weight and GRA-TOPSIS Method. *Processes*, 10(2), 266.

[20] Gheibollahi, H., & Masih-Tehrani, M. (2023). A Multi-Objective Optimization Method Based on NSGA-II Algorithm and Entropy Weighted TOPSIS for Fuzzy Active Seat Suspension of Articulated Truck Semi-Trailer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 237(17), 3809-3826.

[21] Mohammadi, A., & Darestani, S. A. (2019). Green Supplier Selection Problem Using TOPSIS Extended by D Numbers in Tractor Manufacturing Industry. *International Journal of Services and Operations Management*, 32(3), 327-338.

[22] Chakraborty, S. (2022). TOPSIS and Modified TOPSIS: A Comparative Analysis. *Decision Analytics Journal*, 2, 100021.

[23] Çelikbilek, Y., & Tüysüz, F. (2020). An In-Depth Review of Theory of the TOPSIS Method: An Experimental Analysis. *Journal of Management Analytics*, 7(2), 281-300.

[24] Wang, Y., et al. (2022). BMW-TOPSIS: A Generalized TOPSIS Model Based on Three-Way Decision. *Information Sciences*, 607, 799-818.

[25] Aires, R. F. de F., & Ferreira, L. (2019). A new approach to avoid rank reversal cases in the TOPSIS method. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 84-97.

[26] Wichapa, N., et al. (2019). Using the Hybrid DEA-TOPSIS Technique for Selecting the Suitable Biomass Materials for Processing into Fuel Briquettes. *The Journal of Industrial Technology*, 15(1), 63-80. (in Thai)

[27] Sechok, T., et al. (2017). Design and Develop Tool Holder for Turning Using Quality Function Deployment. *Journal of industrial technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 7(2), 117-131. (in Thai)