วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

บทความวิจัย

วิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล-ทากุชิสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียน

อนุชา ศรีบุรัมย์[1] วรรณรพ ขันธิรัตน์[1*] วราภรณ์ วโรรส[1] อามิณฑ์ หล้าวงศ์[1]
นรงค์ วิชาผา[1] ไทยทัศน์ สุดสวนสี[1] ศุภกิจ เศิกศิริ[1] เกียรติพงษ์ เจริญจิตต์[2]
อนงค์นาถ โรจนกร วังคำหาญ[3] มัณฑนา ทองสุพล[4] และ อัจฉรา ชุมพล[5]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[3] สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ, มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[4] สาขาวิชานวัตกรรมการออกแบบและสถาปัตยกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[5] สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: wanrop.kh@ksu.ac.th

วันที่รับบทความ: 30 กันยายน 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 25 พฤศจิกายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 9 มกราคม 2566
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 3 เมษายน 2566

บทคัดย่อ: การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องจักรเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับกระบวนการผลิต เพราะว่าการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมช่วยให้การใช้งานเครื่องจักรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและทากุชิเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียนสำหรับกระบวนการผลิตอาหารแปรรูปจากปลา ได้แก่ ปลาแห้ง และ ปลาส้ม เริ่มจากกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ เวลา และความจุ ซึ่งแต่ละปัจจัยมีจำนวน 3 ระดับ และผลตอบสนองคือความเสียหายของปลา และประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยความเร็วรอบ เวลา และความจุ มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนองทั้งสองค่า ($P\text{-value} \leq 0.05$) โดยเมื่อเทียบกับผลการทดลองเดิมพบว่าความเสียหายของปลาลดลง 31.46% และประสิทธิภาพของการขอดเกล็ดเพิ่มขึ้น 24.47% นอกจากนี้วิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีเทียบกับวิธีอื่นในวรรณกรรม ดังนั้นวิธีที่นำเสนอนี้สามารถใช้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งสำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลตอบสนองหลายค่าได้

คำสำคัญ: การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล; วิธีทากุชิ; เครื่องขอดเกล็ดปลา; ปัญหาการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลตอบสนองหลายค่า

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

บทความวิจัย

Data Envelopment Analysis-Taguchi Method for Determining Optimal Parameters of a Fish Scaling Machine

Anucha Sriburum[1], Wanrop Khanthirat[1,*], Waraporn Warorot[1], Amin Lawong[1], Narong Wichapa[1], Thaithat Sudsuansee[1], Supakit Sergsiri[1], Kiatipong Charoenjit[2], Anongnart Rotjanakorn Wangchamhan[3], Mantana Tongsupon[4] and Atchara Choompol[5]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kalasin University

[2] Department of Food Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Kalasin University

[3] Department of Environmental Science and Natural Resources, Faculty of Science, Kalasin University

[4] Department of Innovation Design and Architecture, Faculty of Engineering, Kalasin University

[5] Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kalasin University

[*] Corresponding author, E-mail: wanrop.kh@ksu.ac.th

Received: 30 September 2022; Revised: 25 November 2022; Accepted: 9 January 2023
Online Published: 3 April 2023

Abstract: Determining the optimal parameters of a machine is an important issue in the manufacturing process because it can help optimize the use of existing machines. This paper presents a data envelopment analysis and the Taguchi method to find the optimal parameters of a fish scaling machine to produce processed foods from fish, including dried fish and pickled fish. Three related factors, including speed, time, and capacity, were considered; each factor had three levels, and the responses were fish scaling removal efficiency and fish damage. The results showed that speed, time, and capacity were significant for both responses (P-value $\leq$ 0.05). Compared to the original condition, the fish damage was decreased by 31.46% and the fish scaling removal efficiency was increased by 24.47%. In addition, the proposed method had good efficacy compared to other methods in the literature. Therefore, the proposed method can be used as an effective way for solving multi-response optimization problems in real-world applications.

Keywords: Data Envelopment Analysis; Taguchi Method; Fish Scaling Machine; Multi-Response Optimization Problem

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

1. บทนำ

ประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งอาหารจากแหล่งน้ำจืดตามธรรมชาติ โดยมีแหล่งน้ำจืดที่สำคัญประมาณ 25 ลุ่ม และมีลุ่มน้ำย่อย จำนวน 254 แห่ง แหล่งน้ำจืดเหล่านี้ประกอบด้วย แม่น้ำสายหลัก แม่น้ำสายย่อย อ่างเก็บน้ำ ลำคลอง ห้วย หนอง คลอง บึง และทะเลสาบ รวมทั้งแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นเองเพื่อใช้ในภาคการเกษตร และการประมง คิดเป็นพื้นที่โดยประมาณ 511,361 ตารางกิโลเมตร ประชาชนที่อาศัยตามแหล่งน้ำส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพเกษตรกรรมและการประมงควบคู่กันไป บางกลุ่มทำอาชีพการประมงเป็นอาชีพหลักสร้างรายได้ให้แก่ครอบครัว จากผลการสำรวจปริมาณปลาน้ำจืดที่จับได้ในปี 2563 มีปริมาณการจับ 112,727.31 ตัน คิดเป็นร้อยละ 96.47 ของปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมด มีมูลค่ารวม 6,754.98 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 90.50 ของมูลค่าสัตว์น้ำทั้งหมด โดยปลาตะเพียนมีปริมาณการจับมากสุด 19,384.86 ตัน คิดเป็นร้อยละ 16.59 ของปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมด มีมูลค่า 946.06 ล้านบาท คิดเป็น ร้อยละ 12.68 ของมูลค่าสัตว์น้ำทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ปลานิล มีปริมาณการจับ 15,647.26 ตัน คิดเป็นร้อยละ 13.39 ของปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมด มีมูลค่า 878.90 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 11.78 ของมูลค่าสัตว์น้ำทั้งหมด อันดับสามได้แก่ ปลาสร้อยขาว มีปริมาณการจับ 11,231.23 ตัน คิดเป็นร้อยละ 9.61 ของปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมด มีมูลค่า 477.28 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 6.39 ของมูลค่าสัตว์น้ำทั้งหมด [1]

พื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์มีเขื่อนลำปาวซึ่งเป็นเขื่อนดินขนาดใหญ่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำเพื่อการเกษตร การประมง การประปา และแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงของจังหวัด เขื่อนลำปาวเป็นแหล่งน้ำที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในพื้นที่ ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และบางรายทำการประมงเป็นอาชีพหลักที่สร้างรายได้ให้แก่กลุ่มชุมชน โดยอาชีพที่สร้างรายได้สูงให้แก่ชุมชนคืออาชีพค้าขายผลิตภัณฑ์จากปลา เช่น ปลาตากแห้ง ปลาส้ม และปลาร้า จากการสำรวจข้อมูลพบว่าพื้นที่รอบเขื่อนลำปาวมีประชากรอาศัยมากกว่า 1,500 หลังคาเรือน ประชากรกลุ่มหนึ่งในพื้นที่กรณีศึกษาประกอบอาชีพการประมงเป็นอาชีพหลัก โดยการนำปลาที่จับได้มาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง และปลาส้มไว้จำหน่าย ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง และปลาส้ม ได้แก่ ปลาตะเพียนและปลาสร้อยขาว จากเขื่อนลำปาว จากการสำรวจข้อมูลพบว่าความต้องการสินค้าประเภทปลาตากแห้ง และปลาส้ม มีปริมาณความต้องการสูงมาก ทั้งตลาดภายในประเทศ และต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตปลาแปรรูป ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากกระบวนการผลิตปลาแปรรูปทั้งปลาแห้ง และปลาส้ม มีขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาการผลิตช้า มีต้นทุนแรงงานสูง และสุขอนามัยที่ยังไม่ดีเพียงพอ นอกจากนี้ผู้ประกอบการยังขาดองค์ความรู้ด้านเครื่องมือช่วยในการผลิต

ขั้นตอนการแปรรูปปลาแห้งและปลาส้มจะมีกระบวนการผลิตหลักเหมือนกัน ได้แก่ (1) เตรียมปลาสดที่รับซื้อจากชาวประมงในพื้นที่ (2) ขอดเกล็ดปลาโดยใช้แรงงานคน (3) ล้างปลา (4) ตัดหัว (5) หมักปลา หลังจากนั้น นำปลาไปแปรรูปเป็นปลาแห้งหรือปลาส้มต่อไป

จากการการสัมภาษณ์และรวบรวมข้อมูลของผู้ประกอบการในพื้นที่กรณีศึกษา จังหวัดกาฬสินธุ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

พบว่าขั้นตอนการขอดเกล็ดปลาเป็นขั้นตอนที่เป็นจุดคอขวดของกระบวนการผลิตปลาแห้งและปลาส้ม (ใช้เวลาและแรงงานคนในการผลิตมากสุด) โดยการขอดเกล็ดปลาด้วยมือจำนวน 150 กิโลกรัม จะใช้แรงงานคนโดยประมาณ จำนวน 4 คน จะใช้เวลาในการขอดเกล็ดประมาณ 8 ชั่วโมง โดยชนิดของปลาที่ใช้สำหรับแปรรูปจะเป็นปลาในกลุ่มปลาตะเพียน ได้แก่ ปลาสร้อยขาว และปลาตะเพียนขาว ดังรูปที่ 1 ปัจจุบันทางกลุ่มมีการแปรรูปปลาเป็นผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง และปลาส้มมีปริมาณการผลิตหรือแปรรูปอยู่ระหว่าง 100-150 กิโลกรัมต่อวันสำหรับการจำหน่ายให้ลูกค้า

จากเหตุผลดังกล่าวในข้างต้น กลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียนสำหรับช่วยในกระบวนการผลิตปลาแปรรูป เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ลดต้นทุนแรงงาน และเพิ่มความสะดวกต่อกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดเครื่องขอดเกล็ดปลาที่สร้างขึ้น ต้องทำการกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดผลตอบสนองไว้ 2 ผลตอบสนอง ได้แก่ ประสิทธิภาพการขอดเกล็ด (การหลุดของเกล็ดปลาหลังการขอดเกล็ดเทียบกับก่อนการขอดเกล็ดปลา) และความเสียหายของเนื้อปลาที่ผ่านกระบวนการขอดเกล็ดปลา (ปลาเนื้อช้ำ หรือปลาเนื้อเละ) โดยการประเมินประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา และความเสียหายของเนื้อปลา ในงานวิจัยนี้จะใช้ผู้ประกอบการที่มีส่วนเกี่ยวข้องเป็นผู้ให้คะแนนแบบมาตรประมาณค่า (Rating Scale) เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายผลตอบสนอง ซึ่งมีความซับซ้อนและยุ่งยากในการวิเคราะห์หาผลเฉลย

รูปที่ 1 วัตถุดิบสำหรับการแปรรูปปลาแห้งและปลาส้ม

ที่เหมาะสมเนื่องจากมีผลตอบสนองหลายค่า การพัฒนาเครื่องมือในการประมวลผลที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหานี้ เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้เครื่องจักรที่สร้างขึ้นให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป ทั้งนี้เพื่อการพัฒนาศักยภาพของผู้ประกอบการปลาแปรรูปให้มีความสามารถในการแข่งขัน และรายได้เพิ่มขึ้น การนำองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมและนวัตกรรมมาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ดังเช่น การสร้างเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียน และการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษา จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยยกระดับความกินดี อยู่ดีของชุมชนในพื้นที่ได้

การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการวัดประสิทธิภาพของหน่วยผลิต (Decision Making Unit: DMU) ที่มีหลายปัจจัย ทั้งปัจจัยนำเข้า (Inputs) และปัจจัยผลผลิต (Outputs) [2-4] ทั้งนี้หน่วยผลิตอาจหมายถึง หน่วยงานธุรกิจ โรงเรียนโรงพยาบาล โรงแรม และชิ้นงาน การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งวิธีนี้ได้ถูกนำไป ประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา ทั้งด้านวิศวกรรมศาสตร์ บริหารธุรกิจ และเศรษฐศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

ข้อมูลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่ไม่สามารถใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงลำพังได้

การออกแบบการทดลองแบบทากุชิเป็นเครื่องมือเชิงคุณภาพที่ช่วยปรับปรุงหรือพัฒนากระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการโดยการออกแบบแผนการทดลองออโทโกนอล (Orthogonal Array) โดยการลดจำนวนการทดลองให้เหมาะสมเพียงพอกับเงื่อนไขที่กำหนด สำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยใช้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to-Noise Ratio: S/N) มีค่าสูงสุด แบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ กรณียิ่งมากยิ่งดี (Larger-the Better), กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the Better) และกรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-the Better) [5-7] วิธีทากุชิเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงมากในการนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรมการผลิต [8-10] วิธีทากุชิดั้งเดิมจะใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลตอบสนองเพียงผลตอบสนองเดียว อย่างไรก็ตามในปัญหาจริงอาจมีผลตอบสนองหลายค่าที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นต้องพิจารณาร่วมกันในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม แนวทางในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลตอบสนองหลายค่า มีหลายวิธี อย่างไรก็ตามวิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) ได้รับความนิยมสูงมากในการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหานี้ โดยวิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์มีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่ได้รับความนิยมหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ (Grey Relational Analysis: GRA) เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution: TOPSIS) และการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) การวัดประสิทธิภาพด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลหรือ DEA มีข้อดี [11-13] คือ สามารถวัดประสิทธิภาพของหน่วยผลิตที่มีหลายปัจจัยได้ โดยไม่จำเป็นต้องปรับข้อมูลให้เป็นข้อมูลปกติ (Normalized Data) ก่อนการคำนวณ และไม่จำเป็นต้องกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยเพราะการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลจะให้ผลเฉลยของน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Weights) จากจากการประมวลผลจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของ DEA ได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้จะเป็นการนำเสนอวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและทากุชิสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียนที่สร้างขึ้น โดยเริ่มจากการกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นดำเนินการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีทากุชิ แล้วทำการทดลองที่สภาวะที่กำหนดไว้ สุดท้ายคำนวณหาผลเฉลยโดยใช้การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและทากุชิสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียนที่นำเสนอ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกรณีผลตอบสนองหลายค่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

Nakwong [14] ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์และทากุชิสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้าบนเหล็กเกรดเอสเคดี 11 (SKD11)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิเป็นแบบ L18 โดยมีปัจจัยการทดลอง 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าปัจจัยประสิทธิภาพ กระแสไฟฟ้า และความเร็วในการเดินเส้นลวด ส่วนผลตอบสนอง 2 ค่า ได้แก่ อัตราการกำจัดวัสดุ (MRR) และคุณภาพพื้นผิวชิ้นงาน (Ra) ผลการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถเป็นแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้

Kumboon และคณะผู้วิจัย [15] ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์เพื่อหาสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากไส้ปลา โดยกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนผสมของเมทานอลต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเร็วรอบการกวน เวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา และผลตอบสนองจำนวน 3 ค่า ได้แก่ ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเถ้าซัลเฟต และจุดวาบไฟ ผลการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสอดคล้องกับมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนด

Jaemsang และ Mookam [16] ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ในการแก้ปัญหาผลตอบสนองหลายค่าของการตัดเลเซอร์สำหรับเหล็ก SM490 โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ พลังงาน ความเร็ว และแรงดันแก๊สในการตัด และผลตอบสนอง จำนวน 2 ค่า ได้แก่ ช่องว่างการตัด และความเรียบผิว ผลการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถแก้ปัญหาการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ โดยสามารถปรับปรุงคุณลักษณะการตัดได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะเดิม

Şimşek และ Uygunoğlu [17] ได้นำเสนอเทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติและทากุชิในการแก้ปัญหาผลตอบสนองหลายค่าของคอนกรีตผสมพอลิเมอร์ ผลการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และพลังงานได้

Liao และ Chen [18] ได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและทากุชิสำหรับการแก้ปัญหาผลตอบสนองหลายค่า โดยวิธีที่นำเสนอถูกนำไปทดสอบกับปัญหาต่าง ๆ ในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า พบว่าวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสูงในการแก้ปัญหาผลตอบสนองหลายค่า

Kamath และคณะผู้วิจัย [19] ได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและทากุชิสำหรับการแก้ปัญหาผลตอบสนองหลายค่าของพารามิเตอร์กระบวนการกัดสำหรับวัสดุผสมอลูมิเนียมและไทเทเนียม ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาผลตอบสนองหลายค่าในกรณีศึกษานี้

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่นำวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลร่วมกับวิธี ทากุชิในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดแบบผลตอบสนองหลายค่า (Multi-response Optimization Problem) หรือปัญหาการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับเครื่องขอดเกล็ดปลาที่นำเสนอ

3. วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ (1) เตรียมวัตถุดิบและเครื่องขอดเกล็ดปลาที่นำเสนอ ซึ่งวัตถุดิบได้แก่ ปลาตะเพียน และปลาสร้อยขาว ที่จับได้จากเขื่อนลำปาวจะมีลักษณะและขนาด

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

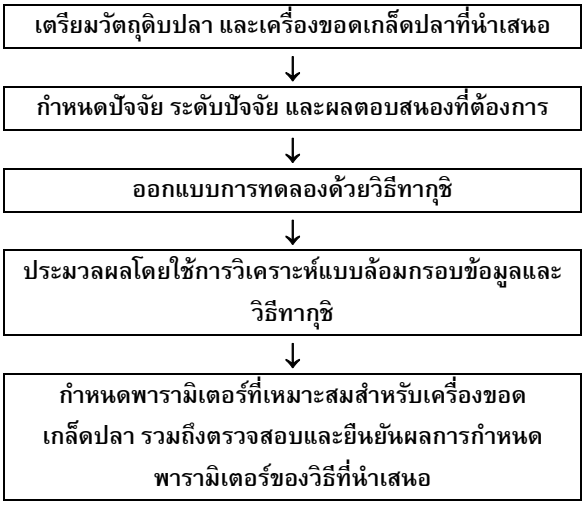
ที่ใกล้เคียงกันตามขนาดของอวนหรือเครื่องมือที่ใช้ในการจับปลา (2) กำหนดปัจจัย ระดับของปัจจัย และผลตอบสนองที่ต้องการ (3) ออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากุชิ (4) ประมวลผลโดยใช้การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและวิธีทากุชิ (5) กำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องขอดเกล็ดปลาที่นำเสนอ รวมถึงตรวจสอบและยืนยันผลการกำหนดพารามิเตอร์จากวิธีการที่นำเสนอกรอบการดำเนินงานดังรูปที่ 2

3.1 เตรียมวัตถุดิบปลา

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตปลาแปรรูปจะใช้ปลาในกลุ่มปลาตะเพียน เช่น ปลาตะเพียน ปลาสร้อยขาว และปลากระมัง ที่จับได้จากบริเวณพื้นที่กรณีศึกษา โดยกำหนดขนาดของปลากว้าง x ยาว โดยประมาณ 40 x 140 มิลลิเมตร กว้างซึ่งปลาเหล่านี้เป็นปลาที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นอาหาร ได้แก่ ปลาแห้ง และปลาส้ม ลักษณะของปลาที่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 1และเครื่องขอดเกล็ดปลาที่นำเสนอจะแสดงดังรูปที่ 3

3.2 กำหนดปัจจัย ระดับปัจจัย และผลตอบสนองที่ต้องการ

กำหนดปัจจัยจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ (rpm) เวลา (Second) และความจุ (kg) โดยความเร็วรอบหมายถึงความเร็วในการหมุนของเครื่องขอดเกล็ดปลามีหน่วยเป็นรอบต่อนาที เวลาหมายถึงเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องขอดเกล็ดปลามีหน่วยเป็นวินาที และความจุหมายถึงปริมาณปลาตะเพียนที่ใส่ลงในถังขอดเกล็ดปลาแต่ละครั้งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ซึ่งแต่ละปัจจัยมี จำนวน 3 ระดับ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 กรอบการดำเนินงาน

รูปที่ 3 เครื่องขอดเกล็ดปลาที่นำเสนอ

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3
ความเร็วรอบ (rpm)	50	60	70
เวลา (second)	180	240	300
ความจุ (kg)	15	20	25

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

3.3 ออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากุชิ

เนื่องจากงานวิจัยนี้กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากุชิ L9 มีการทดลองทั้งหมดดังตารางที่ 2

จากการศึกษาพบว่าผลตอบสนองที่ต้องการ จำนวน 2 ค่า ได้แก่ ความเสียหายของปลา (R_1) ถ้าค่าของ R_1 น้อยกว่า แสดงว่าผลตอบสนองนั้นดีกว่า (Smaller is better) และประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา (R_2) ถ้าค่าของ R_2 มากกว่าแสดงว่าผลตอบสนองนั้นดีกว่า (Larger is better) การวัดผลตอบสนองทั้งสองค่าได้จากการประเมินของผู้ประกอบการ จำนวน 15 ราย โดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของผลตอบสนองแต่ละค่าในแต่ละครั้งของการทดลอง

ตารางที่ 2 การทดลองด้วยวิธีทากุชิ L9

ลำดับ	ความเร็วรอบ (A) (rpm)	เวลา (B) (second)	ความจุ (C) (kg)
1	50	180	15
2	50	240	20
3	50	300	25
4	60	180	20
5	60	240	25
6	60	300	15
7	70	180	25
8	70	240	15
9	70	300	20

3.4 ประมวลผลโดยใช้การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและวิธีทากุชิ

ผลตอบสนองทั้งสองค่า ได้แก่ ประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา และความเสียหายของปลา จะถูกนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพันธ์ (Relative Efficiency) จากแบบจำลอง DEA-CCR [2] ดังนี้

$$E_{kk} = Max \sum_{r=1}^{S} u_{rk} Y_{rk} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ik} = 1, \ k = 1,2,3,...,n$$

$$\sum_{r=1}^{S} u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} \le 0, \ j = 1,2,3,...,n$$

$$v_{ik}, u_{rk} \ge 0, \ \forall i, \forall k, \forall r$$

กำหนดให้:

- i เป็นดัชนีของผลตอบสนองความเสียหายของปลา
- r เป็นดัชนีของผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา
- j เป็นดัชนีของลำดับการทดลอง
- k เป็นดัชนีของลำดับการทดลองที่ถูกประเมิน
- X_{ij} คือ ค่าของผลตอบสนองความเสียหายของปลา i และลำดับการทดลอง j
- Y_{rj} คือ ค่าของผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ด r และลำดับการทดลอง j
- u_{rk} คือน้ำหนักของผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา r สำหรับลำดับการทดลองที่ถูกประเมิน k
- v_{ik} คือน้ำหนักของผลตอบสนองความเสียหายของปลาi สำหรับลำดับการทดลองที่ถูกประเมิน k

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

เมื่อได้ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลำดับการทดลองแล้ว(E_{kk}) จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธีทากูชิ ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเครื่องขอดเกล็ดปลาที่นำเสนอนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลามาทำการวิเคราะห์ปัจจัยรบกวน (S/N Ratio) โดยพิจารณาเป็น “ค่ามากกว่า ดีกว่า (Larger is better)” ดังสมการที่ (2) และสำหรับค่าผลตอบสนองความเสียหายของปลา พิจารณาเป็น “ค่าน้อยกว่า ดีกว่า (Smaller is better)” ดังสมการที่ (3) [20] และในส่วนของผลตอบสนองค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์จะพิจารณา “ค่ามากกว่า ดีกว่า” ดังสมการที่ (2)

เมื่อ *y* คือผลตอบสนอง และ *n* เป็นจำนวนซ้ำของการทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ตามหลักการของวิธีทากุชิ ด้วยโปรแกรม Minitab v.16 ผลที่ได้จากกราฟปัจจัยรบกวนที่ส่งผลต่อผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา ผลตอบสนองความเสียหายของปลา และผลตอบสนองประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ (การรวมกันของผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลาและผลตอบสนองความเสียหายของปลา) มาทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อสรุปผลการศึกษาวิจัย

3.5 ตรวจสอบและยืนยันผลการกำหนดพารามิเตอร์จากวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและทากุชิ

ทำการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้กับวิธีที่นิยมในวรรณกรรม รวมถึงทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าพารามิเตอร์เดิมที่กำหนดไว้เบื้องต้น

$$S/N = -10\log\sum_{i=1}^{n}\frac{y^{-2}}{n} \quad (2)$$

$$S/N = -10\log\sum_{i=1}^{n}\frac{y^{2}}{n} \quad (3)$$

4. ผลการศึกษา

หลังจากการทดลองตามหัวข้อที่ 3.1 ถึง หัวข้อที่ 3.5 ที่ได้ออกแบบการทดลองไว้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามลำดับดังนี้

4.1 ผลการทดลองด้วยวิธีทากุชิ

งานวิจัยนี้กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจำนวน 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีจำนวน 3 ระดับ ในการทดลองจะต้องใช้วัตถุดิบปลาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายและลดระยะเวลาในการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้นำเอาวิธีทากุชิมาประยุกต์ใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ Orthogonal Array L9 ลำดับการทดลองมีจำนวนทั้งสิ้น 9 การทดลอง กำหนดให้ ความเร็วรอบ (*A*) เวลาเดินเครื่องในการขอดเกล็ดปลาแต่ละครั้ง (*B*) และความจุหรือปริมาณปลาที่ป้อนเข้าเครื่องในแต่ละครั้ง (*C*) โดยในแต่ละลำดับการทดลองผลตอบสนองความเสียหายของปลา (R_1) และผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา (R_2) จะถูกประเมินจากผู้ประกอบการ จำนวน 15 ราย โดยใช้มาตราประมาณค่า (Rating Scale) แบบ 5 ระดับ ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ และรูปที่ 4 แสดงลักษณะของปลาที่เสียหายในแต่ละระดับ

จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองความเสียหายของปลา และผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา จากการประเมินของผู้เกี่ยวข้องจำนวน 15 ราย เช่น การทดลองลำดับที่ 1 ผู้ประเมินให้คะแนนผลตอบสนอง R_2 ดังนี้ 4, 3, 4, 4, 5, 3, 3, 4, 4,

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

4, 4, 3, 4, 3, 5 ซึ่งค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 ส่วนรายละเอียดของผลการทดลองอื่น ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 มาตราประมาณค่าของผลตอบสนองความเสียหายของปลา

คะแนน	ความหมาย
5	เสียหายมาก
4	เสียหาย
3	ปานกลาง
2	เสียหายเล็กน้อย
1	ไม่เสียหาย

ตารางที่ 4 มาตราประมาณค่าของผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา

คะแนน	ความหมาย
1	ขอดเกล็ดปลาได้น้อยมาก
2	ขอดเกล็ดปลาได้น้อย
3	ปานกลาง
4	ขอดเกล็ดปลาได้มาก
5	ขอดเกล็ดปลาได้มากสุด

ตารางที่ 5 ผลการทดลองด้วยวิธีทากุชิ L9

ลำดับ	*A* (rpm)	*B* (second)	*C* (Kg)	R_1 (คะแนน)	R_2 (คะแนน)
1	50	180	15	1.20	3.80
2	50	240	20	1.93	4.40
3	50	300	25	2.13	3.80
4	60	180	20	1.47	4.93
5	60	240	25	1.73	4.73
6	60	300	15	3.00	3.80
7	70	180	25	1.53	4.50
8	70	240	15	3.00	3.93
9	70	300	20	4.00	4.00

ระดับความเสียหาย 1:
ปลามีสภาพปกติ
(ไม่เสียหาย)

ระดับความเสียหาย 2:
ปลามีสภาพเสียหายเล็กน้อย
(ใช้การสัมผัสร่วมด้วย)

ระดับความเสียหาย 3:
ปลามีสภาพหนังขาวซีด
(สัมผัสจะมีสภาพเริ่มเนื้อนิ่ม)

ระดับความเสียหาย 4:
ปลามีสภาพหนังขาวซีด
(สัมผัสจะมีสภาพเริ่มเนื้อนิ่ม)

ระดับความเสียหาย 5:
ปลามีสภาพสีขาวซีดมาก เนื้อปลาเละ รวมถึงปลามีสภาพไส้แตก

รูปที่ 4 ลักษณะความเสียหายของปลา

4.2 ผลการสร้างกราฟปัจจัยการรบกวนต่อผลตอบสนอง

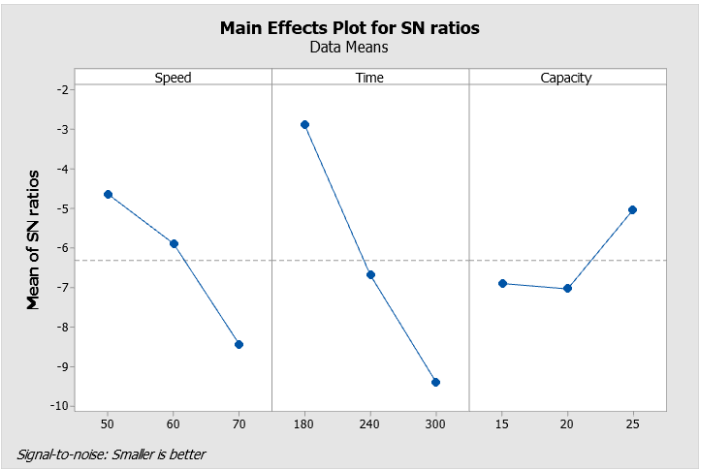
หลังจากการทดลองตามแผนการทดลองทากุชิ L9 ข้อมูลในตารางที่ 5 ถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (S/N Ratio) ของผลตอบสนองความเสียหายของปลา (R_1) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 กำหนดรูปแบบของผลตอบสนอง R_1 เป็นแบบ ค่าน้อยกว่า ดีกว่า (Smaller is the better) ผลการทดลอง S/N Ratio สำหรับผลตอบสนอง R_1 ดังรูปที่ 5

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

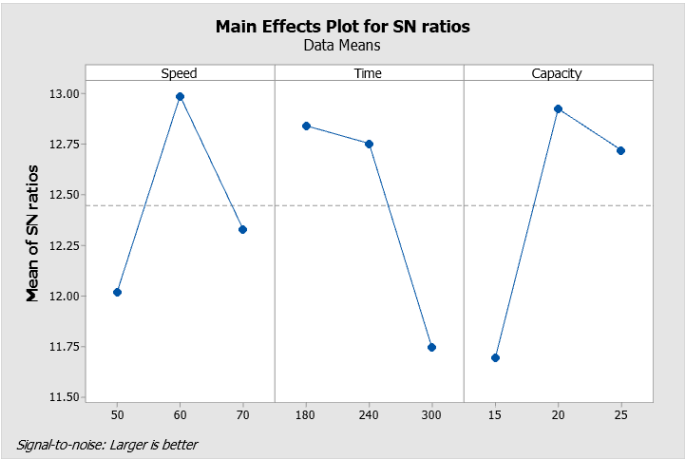
จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบของ R_1 ปัจจัยความเร็วที่ระดับ 70 รอบต่อนาที ปัจจัยเวลาที่ระดับ 300 วินาที และปัจจัยความจุที่ระดับ 20 กิโลกรัม เป็นค่าระดับที่ดีสุดสำหรับผลตอบสนอง R_1

สำหรับการคำนวณค่า S/N Ratio สำหรับผลตอบสนอง R_2 กำหนดรูปแบบเป็น ค่ามากกว่าดีกว่า (Larger is better) ดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบของ R_2 ปัจจัยความเร็วที่ระดับ 60 รอบต่อนาที ปัจจัยเวลาที่ระดับ 180 วินาที และปัจจัยความจุที่ระดับ 20 กิโลกรัม เป็นค่าระดับที่ดีสุดสำหรับผลตอบสนอง R_2



รูปที่ 5 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบของ R_1



รูปที่ 6 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบของ R_2

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยและสมการทำนายสำหรับผลตอบสนองความเสียหายของปลาและประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา ดังแสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบสนองความเสียหายของปลา

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Speed	2	1.89052	0.94526	48.52	0.020
Time	2	4.05630	2.02815	104.10	0.010
Capacity	2	0.80726	0.40363	20.72	0.046
Error	2	0.03897	0.01948		
Total	8	6.79305			

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.139581	99.43%	97.71%	88.38%

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Speed	2	0.37897	0.189483	74.11	0.013
Time	2	0.53756	0.268779	105.12	0.009
Capacity	2	0.62245	0.311223	121.72	0.008
Error	2	0.00511	0.002557		
Total	8	1.54408			

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0505647	99.67%	98.68%	93.29%

จากตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ผลจากการใช้เลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมจากการใช้วิธีทากุชิ พบว่าปัจจัยความเร็วรอบ (*A*) เวลาในการขอดเกล็ดปลา (*B*) และความจุของปลาที่ป้อนเข้าเครื่องขอดเกล็ดปลา (*C*) มีผลกระทบต่อผลตอบสนองความเสียหายของปลา และมีผลกระทบต่อผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา อย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่า P-Value ของแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งหมด แสดงว่าปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบต่อผลตอบสนองทั้งสองอย่างมีนัยยะสำคัญที่ 0.05 สำหรับการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละผลตอบสนองนั้นมีความแตกต่างหรือขัดแย้งกัน เนื่องจากความต้องการผลตอบสนองความเสียหายของปลาต้องการผลตอบสนองน้อยสุด แต่ต้องการผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลามากสุด ทำให้ไม่สามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ เนื่องจากความต้องการผลตอบสนองทั้งสองค่าแตกต่างกัน ดังนั้น การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและวิธีทากุชิจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ โดยวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อรวมผลตอบสนองทั้งสองให้เป็นผลตอบสนองเดียว โดยที่ค่าจากผลการคำนวณจะเป็นค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ ซึ่งการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ และได้รับความนิยมสูงในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making Problem: MCDM) รายละเอียดและผลการคำนวณของวิธีที่นำเสนอ แสดงในหัวข้อ 4.4

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

4.4 ผลการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลโดยใช้หลักการของทากุชิ

โดยใช้หลักการของการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลสำหรับการกำหนดปัจจัยนำเข้า (x) และปัจจัยผลผลิต (y) ดังนั้นสามารถนิยามให้ผลตอบสนองความเสียหายของปลา (R_1) เป็นปัจจัยนำเข้า (x) และผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลา (R_2) เป็นปัจจัยผลผลิต (y) รายละเอียดผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8

จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 8 มาแทนค่าลงในสมการที่ (1) เพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลำดับการทดลอง หรือ DMUs ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของลำดับการทดลองที่ 1 (E_{11})

$$
\begin{aligned}
&Max\ E_{11} = 3.80u_{11} \\
&1.20v_{11} = 1 \\
&3.800u_{11}\text{-}1.200v_{11} \leq 0 \\
&4.400u_{11}\text{-}1.930v_{11} \leq 0 \\
&3.800u_{11}\text{-}2.130v_{11} \leq 0 \\
&4.930u_{11}\text{-}1.470v_{11} \leq 0 \\
&4.730u_{11}\text{-}1.730v_{11} \leq 0 \\
&3.800u_{11}\text{-}3.000v_{11} \leq 0 \\
&4.500u_{11}\text{-}1.530v_{11} \leq 0 \\
&3.930u_{11}\text{-}3.000v_{11} \leq 0 \\
&4.000u_{11}\text{-}4.000v_{11} \leq 0 \\
&u_{11}, v_{11} \geq 0
\end{aligned}
$$

ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) ของ DEA สำหรับลำดับการทดลองที่ 1 หรือหน่วยผลิตที่ 1 ถูกนำไปคำนวณหาผลเฉลยโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO จะได้ค่าของ E_{11} หรือ ค่า CCR ของหน่วยผลิตที่ 1 = 0.944 ในส่วนค่าคะแนนประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของลำดับการทดลองอื่น หรือหน่วยผลิตอื่น สามารถคำนวณหาผลเฉลยได้เช่นเดียวกับการคำนวณค่าของ E_{11} โดยรายละเอียดผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของลำดับการทดลองทั้งหมด หรือหน่วยผลิตทั้งหมด แสดงในตารางที่ 8 คอลัมน์ที่ 5 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับ S/N Ratios ดังตารางที่ 9 และรูปที่ 7

ในส่วนการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 10 และรูปที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลำดับการทดลอง

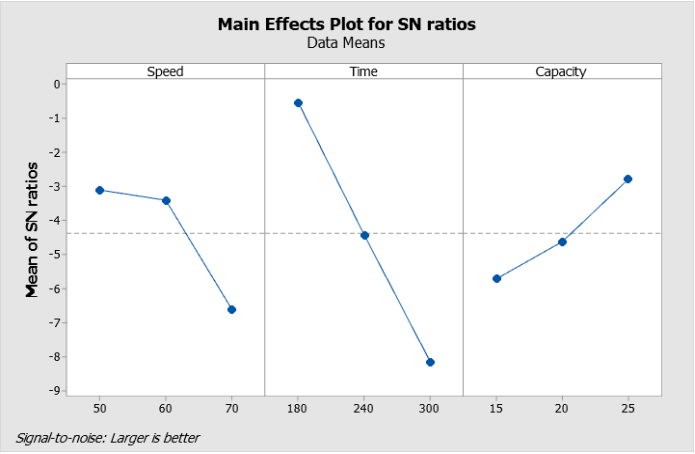
ลำดับ	ปัจจัยและระดับ	X (R_1)	Y (R_2)	CCR
1	$A_1 B_1 C_1$ (DMU_1)	1.20	3.80	0.944
2	$A_1 B_2 C_2$ (DMU_2)	1.93	4.40	0.680
3	$A_1 B_3 C_3$ (DMU_3)	2.13	3.80	0.532
4	$A_2 B_1 C_2$ (DMU_4)	1.47	4.93	1.000
5	$A_2 B_2 C_3$ (DMU_5)	1.73	4.73	0.815
6	$A_2 B_3 C_1$ (DMU_6)	3.00	3.80	0.378
7	$A_3 B_1 C_3$ (DMU_7)	1.53	4.50	0.877
8	$A_3 B_2 C_1$ (DMU_8)	3.00	3.93	0.391
9	$A_3 B_3 C_2$ (DMU_9)	4.00	4.00	0.298

ตารางที่ 9 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับ S/N Ratios

Larger is better

Level	Speed	Time	Capacity
1	-3.1112	-0.5462	-5.7070
2	-3.4105	-4.4307	-4.6211
3	-6.6053	-8.1502	-2.7990
Delta	3.4941	7.6039	2.9080
Rank	2	1	3

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001



รูปที่ 7 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับ S/N Ratios

รูปที่ 8 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 10 ผลกระทบของปัจจัยหลักสำหรับค่าเฉลี่ย

Larger is better

Level	Speed	Time	Capacity
1	0.7186	**0.9404***	0.5708
2	**0.7310***	0.6285	0.6593
3	0.5219	0.4026	**0.7414***
Delta	0.2091	0.5378	0.1706
Rank	2	1	3

จากตารางที่ 9 ตารางที่ 10 รูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงผลกระทบหลักประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์สำหรับ S/N Ratios และMeans มีความสอดคล้องกัน ดังนั้น สามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองวิธีทากุชิ L9 ได้ดังนี้ พารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบ (A) เท่ากับ 60 รอบต่อนาที เวลา (B) เท่ากับ 180 วินาที และ ความจุของปลา (C) เท่ากับ 25 กิโลกรัม ($A_2B_1C_3$) โดยขั้นตอนต่อไปจะเป็นการยืนยัน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

ผลการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมจากพารามิเตอร์ที่กำหนดจากวิธีที่นำเสนอในหัวข้อ 4.5 ดังนี้

4.5 ผลการเปรียบเทียบและยืนยันผลการกำหนดพารามิเตอร์จากวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและทากุชิ

จากนั้นทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลโดยใช้พารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากวิธีที่นำเสนอ เทียบกับสภาวะหรือพารามิเตอร์เดิม โดยผลการทดสอบการขอดเกล็ดปลาที่สภาวะที่เหมาะสม จะได้ลักษณะของปลาที่ผ่านการขอดเกล็ดปลาจากเครื่องที่นำเสนอ ดังรูปที่ 9

ส่วนรายละเอียดของการปรับปรุงผลตอบสนองทั้งสอง ดังตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่กำหนดโดยใช้วิธีที่นำเสนอสามารถปรับปรุงผลตอบสนองความเสียหายของปลาดีขึ้น 31.46% และสามารถปรับปรุงผลตอบสนองประสิทธิภาพการขอดเกล็ดปลาดีขึ้น 24.47%

สุดท้ายทำการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ [14] เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ [17] และเทคนิค DEAR [19] ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 12

จากตารางที่12 แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีความสอดคล้องกับทุกวิธีที่นำเสนอ ดังนั้นวิธีที่นำเสนอสามารถใช้เป็นเครื่องมือหรือวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลตอบสนองหลายค่าที่ได้ (Multi-Response Optimization Problem)

ตารางที่ 11 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

ผลการตอบสนอง	สภาวะเดิม	สภาวะที่เหมาะสม	การปรับปรุง
ระดับปัจจัย	$A_1B_3C_3$	$A_2B_1C_3$	R_1= ((2.13-1.47)/2.13) x 100 = 31.46 % R_2= ((4.73-3.80)/3.80) x 100 = 24.47%

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่น

วิธี	ปัจจัย
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ [14]	$A_2B_1C_3$
เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ [17]	$A_2B_1C_3$
DEAR [19]	$A_2B_1C_3$
วิธีที่นำเสนอ	$A_2B_1C_3$

5. สรุปผล

ปัญหาการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรเป็นปัญหาที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการใช้เครื่องจักรให้เกิดประโยชน์สูงสุด บางครั้งการกำหนดพารามิเตอร์หรือสภาวะที่เหมาะสมอาจมีผลตอบสนองหลายค่าทำให้มีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้นในการประเมินเพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและวิธีทากุชิสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องขอดเกล็ดปลาสำหรับกระบวนการผลิตปลาแห้งและปลาส้ม ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ปัจจัย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

ได้แก่ ปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องจักร ปัจจัยเวลาในการขอดเกล็ดปลาในแต่ละครั้ง และปริมาณหรือความจุของเครื่องขอดเกล็ดปลาในแต่ละครั้ง ในส่วนของผลตอบสนอง จำนวน 2 ผลตอบสนอง ได้แก่ ความเสียหายของปลา และประสิทธิภาพการขอดเกล็ด หลังจากนั้นวิธีที่นำเสนอได้ถูกนำมาทดสอบกับปัญหาการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียนที่สร้างขึ้น ผลการศึกษาพบว่าความเสียหายของปลาลดลง 31.46% และประสิทธิภาพของการขอดเกล็ดเพิ่มขึ้น 24.47% เมื่อเทียบกับสภาวะเดิม นอกจากนี้วิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีเทียบกับวิธีอื่นในวรรณกรรม ดังนั้นวิธีที่นำเสนอนี้มีความน่าเชื่อถือสำหรับใช้เป็นแนวทางในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับเครื่องขอดเกล็ดปลาตะเพียนที่มีผลตอบสนองหลายค่าได้

สำหรับการวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยเสนอแนะให้นำเครื่องมือนี้ไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาอื่น หรือพัฒนาวิธีการนี้เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลตอบสนองหลายค่าที่มีข้อมูลที่คลุมเครือ หรือข้อมูลที่ไม่แน่นอน แม้ว่าจะเป็นการยากที่จะหาคำตอบแต่ก็เป็นสิ่งที่มีประโยชน์สำหรับบางปัญหาที่มีผลตอบสนองหลายค่าที่มีข้อมูลที่คลุมเครือหรือข้อมูลที่ไม่แน่นอน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 รหัสโครงการ 164064: การจัดการห่วงโซ่อุปทานเพื่อยกระดับรายได้ของกลุ่มผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ปลาแปรรูป จังหวัดกาฬสินธุ์ รวมถึงผู้เขียนขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่สนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้ และผู้แต่งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาบทความและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ เพื่อให้คุณภาพของบทความวิจัยนี้ดียิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20211216161523_1_file.pdf. (Accessed on 25 September 2022)

[2] A. Charnes, W.W. Cooper and E. Rhodes, Measuring the efficiency of decision-making units, European Journal of Operational Research, 1978, 2(6), 429-444.

[3] M. Afzalinejad, Evaluating radial efficiency considering environmental factors: A generalization of classical DEA, Measurement, 2021, 179,109497.

[4] N.Wichapa, P.Khokhajaikiat and K.Chaiphet, Aggregating the results of benevolent and aggressive models by the CRITIC method for ranking of decision-making units: A case study on seven biomass fuel briquettes generated from agricultural waste, Decision Science Letters, 2020, 10(1), 79-92.

[5] G. Taguchi, Taguchi techniques for quality engineering, McGraw-Hill, New York, 1988.

[6] J.P. Davim, Design of optimization of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays, Journal of Material Processing Technology, 2003, 132(1-3), 340-344.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

[7] M.S. Chua, M. Rahman, Y.S. Wong and H.T. Loh, Determination of optimal cutting conditions using design of experiments and optimization techniques, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 1993, 33(2), 297-305.

[8] M. Nalbant, H. Gökkaya and G.Sur, Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning, Journal of Material Design, 2007, 28(4), 1379-1385.

[9] H.Yang and Y.S. Tarng, Application of the Taguchi method to optimization of submerged arc welding process, Materials and Manufacturing Process, 1998, 13(3), 455-467.

[10] C. Ahilan; S. Kumanan and N. Sivakumaran, Application of grey based Taguchi method in multi-response optimization of turning process, Advances in Production Engineering and Management, 2010, 5(3), 171-180.

[11] Y. Fan, B. Bai, Q. Qiao, P. Kang, Y. Zhang and J. Guo, Study on eco-efficiency of industrial parks in China based on data envelopment analysis, Journal of Environmental Management, 2017, 192(1), 107-115.

[12] C.N. Wang, X.T. Nguyen and Y.H. Wang, Automobile industry strategic alliance partner selection: The application of a hybrid DEA and Grey theory model, Sustainability, 2016, 8(2), 173.

[13] P. Krisomlom and N. Wichapa, Evaluating and ranking the fuel briquettes from agricultural residues using the virtual cross – efficiency method, The Journal of Industrial Technology, 2022, 18 (2), 230-246. (in Thai)

[14] P. Nakwong, Application of taguchi principles and grey relational analysis to predict the suitability of the parameters in wire electrical discharge process, Kasem Bundit Engineering Journal, 2020, 10(3), 46-61. (in Thai)

[15] A. Kumboon, W. Sirirak, P. Luesak and R. Sirirak, Grey relational analysis for optimal condition of biodiesel production process from fish entrails, Srinakharinwirot University Engineering Journal, 2019, 14(1), 88-98. (in Thai)

[16] O. Jaemsang and N. Mookam, Solving problem the multiple response optimization of laser cutting for SM490 Steel using grey relational analysis, UTK Research Journal, 2018, 12(1), 132-143.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.04.001

[17] B. Şimşek and T. Uygunoğlu, Multi-response optimization of polymer blended concrete: A TOPSIS based Taguchi application, Construction and Building Materials, 2016, 117, 251-262.

[18] H.C. Liao and Y.K. Chen, Optimizing multi-response problem in the Taguchi method by DEA based ranking method, International Journal of Quality and Reliability Management, 2002, 19(7), 825-837.

[19] G.B. Kamath, K. Subramaniam, S. Devesh, V. Chavan, N. Mohan, R. Bhat and H.T. Wijerathne, Multi-Response optimization of milling process parameters for aluminum-titanium diboride metal matrix composite machining using taguchi - data envelopment analysis ranking approach, Engineered Science, 2022, 18, 271-277.

[20] M. Modi, G. Agarwal, S.D. Chaugaonkar, U. Bhatia and V. Patil, Effect of machine feed rate on Kerf-Width, material removal rate, and surface roughness in machining of Al/SiC composite material with wire electrical discharge machine, Strojnícky casopis Journal of Mechanical Engineering, 2020, 70(1), 81-88.