



การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยการปรับตั้งค่าเครื่องย่อยไนโตรเจน ที่มีผลต่อการเกิดของเสียของหลอดกลั่นไนโตรเจน

ยศวัจน์ ชีววรรณตรี^{1*} กฤติธฤต ทองสิน¹ และ ปิยะ รนต์ละออง²

¹ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการโซ่อุปทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: yossawat.ch@bsru.ac.th

วันที่รับบทความ: 26 มิถุนายน 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 22 เมษายน 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 16 กรกฎาคม 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียของหลอดกลั่นไนโตรเจนที่เกิดรอยร้าวจากการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ในห้องปฏิบัติการ โรงงานกรณีศึกษา โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) ในการศึกษาหาปัจจัยและระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าของเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) ให้เหมาะสม สำหรับการออกแบบการทดลองจะประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาการเผา และเวลาการปรับสภาพความเย็น โดยการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 24 การทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยร้าวของหลอดทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คืออุณหภูมิ เวลาการเผา และเวลาปรับสภาพความเย็น และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย คือ อุณหภูมิ กับ เวลาการเผา และ อุณหภูมิ กับ เวลาปรับสภาพความเย็น จากนั้นจึงหาระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าของเครื่องย่อยไนโตรเจนที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาการเผา 120 นาที และเวลาการปรับสภาพความเย็น 50 นาที หลังจากนั้นนำปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปเก็บข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบผลข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าก่อนการปรับปรุงมีจำนวนของเสียที่เกิดรอยร้าว 359 หลอด และหลังการปรับปรุงมีจำนวนของเสียที่เกิดรอยร้าวลดลงเหลือ 7 หลอด ทำให้ของเสียลดลงจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 98.05 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น พบว่าจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง 359 หลอด คิดเป็นเงิน 502,600 บาท ซึ่งต้นทุนต่อชิ้น เท่ากับ 1,400 บาท และหลังการปรับปรุง ลดลงเหลือ 7 หลอด คิดเป็นเงิน 9,800 บาท ดังนั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายลง 492,800 บาท

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล; การลดของเสีย; หลอดกลั่นไนโตรเจน

Design of Experiments to Analyze Factors for Block Digestion Affecting the Defect of Nitrogen Tubes

Yossawat Cheewaworanontree ^{1*} Kridtharit Thongsin ¹ and Piya Rontlaong ²

¹ Program in Industrial Management, Engineering and Industrial Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

² Program in Industrial Engineering and Supply Chain Management, Engineering and Industrial Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: yossawat.ch@bsru.ac.th

Received: 26 June 2024; Revised 22 April 2025; Accepted: 16 July 2025

Online Published: 20 August 2025

Abstract: This research aims to reduce the waste of nitrogen tubes generated from testing for the quantities of Nitrogen and crude protein in laboratory settings of a case study factory, using 2^k Full Factorial Design. The study aims to identify factors and their levels in adjusting the settings of the Block Digestion machine appropriately. The experimental design comprises three main factors: temperature, burning time, and cooling time. The experiments were repeated three times, totaling 24 trials. The experimental results indicated that temperature, burning time, and cooling time had a statistically significant effect on the occurrence of cracks in the test tubes at the 95% confidence level. Moreover, significant interaction effects were observed between temperature and burning time, as well as between temperature and cooling time and the appropriate factors and levels for adjusting the settings of the Block Digestion machine are: temperature at 400 degrees celsius, burning time of 120 minutes, and cooling time of 50 minutes. Subsequently, the appropriate factors and levels were used to collect data for comparison before and after adjustment. It was found that before adjustment, there were 359 instances of tube damage, whereas after adjustment, the instances reduced to 7, resulting in a reduction of waste by 98.05%. When comparing the expenses incurred, it was found that before adjustment, the cost of the 359 damaged tubes amounted to 502,600 baht, with a unit cost of 1,400 baht per tube. After adjustment, with only 7 damaged tubes, the cost amounted to 9,800 baht, resulting in a reduction in expenses by 492,800 baht.

Keywords: Factorial design; reducing defect; digestion tube



1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันธุรกิจอุตสาหกรรมทุกประเภทต่างมีการแข่งขันเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากผู้บริโภคมีความต้องการสินค้าที่หลากหลายในเวลาที่รวดเร็ว การเพิ่มอัตราการผลิตและการปรับปรุงการทำงานนั้นจึงเป็นหัวใจสำคัญของการอยู่รอดทางธุรกิจและการเติบโตทางอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งรายอื่น ๆ ได้ จึงจำเป็นต้องเตรียมพร้อมรับสถานการณ์ในอนาคต ผู้ประกอบการจึงมีความจำเป็นที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า โดยมีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพสูงสุด และเพื่อสร้างความความไว้วางใจ จึงต้องการยกระดับผลิตภัณฑ์ก่อนการส่งมอบให้แก่ผู้บริโภคเพื่อสร้างความพึงพอใจและไว้วางใจแก่ลูกค้า และสามารถที่จะแข่งขันกับคู่แข่งได้อีกด้วย อีกทั้งเพื่อต้องการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ที่ใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพก่อนนำออกไปสู่ตลาดการค้าต่อไป [1] เพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขันทางการตลาดให้มากขึ้น ทั้งทางด้านราคาและคุณภาพของสินค้า ตลอดจนความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้น้อยลง และเพื่อเพิ่มโอกาสด้านการแข่งขันให้มากขึ้น [2] สำหรับโรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานที่ผลิตเกี่ยวกับอาหารสัตว์มีการคัดสรรวัตถุดิบที่มีคุณภาพ โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ ประกอบไปด้วย ข้าวโพดกากถั่วเหลือง ปลาป่น รำข้าว และส่วนประกอบวิตามินและแร่ธาตุอื่นๆ วัตถุดิบที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่ได้รับการรับรอง โดยบริษัท ดำเนิน

นโยบายการจัดซื้อวัตถุดิบจากแหล่งผลิตในประเทศเป็นอันดับแรกเพื่อส่งเสริมผลผลิตจากเกษตรกรท้องถิ่นมาผลิตเป็นสูตรอาหารที่ตรงความต้องการตามด้านโภชนาการของสัตว์ อีกทั้งมีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยควบคุมคุณภาพและบริหารจัดการจัดการด้านต่างๆ เช่น ห้องปฏิบัติการก็มีความจำเป็นที่ต้องมีการทดลองและตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งออกอยู่เสมอ จากสภาพปัจจุบันปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า หลอดกลั่นไนโตรเจน (Digestion Tube) ที่ทำการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ มีจำนวนของเสียเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ต้นทุนในการตรวจสอบมีปริมาณสูงเนื่องจากราคาของหลอดกลั่นไนโตรเจนมีราคาเท่ากับ 1,400 บาทต่อหน่วย เนื่องจากการใช้ค่าความร้อนของเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) ที่ใช้อุ่นหมู่มิสูง เวลาในการเผา และระยะเวลาปรับสภาพความเย็นของหลอดทดลองมีระยะเวลาที่ไม่เหมาะสม ส่งผลทำให้หลอดกลั่นไนโตรเจนที่ทำการทดสอบเกิดรอยร้าวและเสียหายแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณหลอดกลั่นไนโตรเจนที่เสียหายที่เกิดจากกระบวนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการในช่วงเดือนตุลาคม – ธันวาคม 2566

เดือน	จำนวนของเสีย (หลอด)	เปอร์เซ็นต์ ของเสีย
ตุลาคม	96	26.74
พฤศจิกายน	118	32.87
ธันวาคม	145	40.39
รวม	359	100
เฉลี่ย	120	33.33



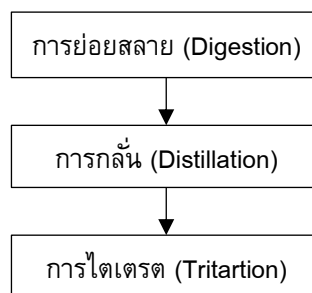
จากตารางที่ 1 พบว่าจำนวนของเสียจากหลอดกลั่นไนโตรเจนที่ทำการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการมีปริมาณของเสียเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนเท่ากับ 120 หลอด ซึ่งปริมาณของเสียส่งผลทำให้เกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงขึ้น [3] ปัจจุบันการออกแบบการทดลองถูกนำมาใช้กันในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ปัจจัย และหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม เช่น [4] การศึกษาปัจจัยเพื่อลดต้นทุนผงเคมีในการผลิตผ้าเบรก โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ค่าความหนาแน่นผงเคมี ค่าแรงดัน เวลาอัดชิ้นงานต่อครั้ง และน้ำหนักผงเคมี โดยปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อความหนาของชิ้นงาน ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูง [5] การศึกษาปัจจัยระยะห่างใบมีด ระยะเลื่อยใบมีด และความเร็วรอบมอเตอร์ ที่เหมาะสมเพื่อการปรับตั้งค่าเครื่องหันใบตะไคร้ [6] การลดของเสียในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ โดยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย คือ แบตเตอรี่เย็บระเบิด เกิดจากปัจจัย ระยะกดหัว Tip แรงดันลม และกระแสไฟฟ้า [7] การลดการสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการผลิตไส้พายสับประรด โดยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการสูญเสียไส้พายสับประรด ได้แก่ก่อนหุ้มน้ำ และระยะเวลาในการกวนไส้พาย

จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่าเทคนิคการออกแบบการทดลองมีความเหมาะสมกับการศึกษาระดับของปัจจัยที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามคุณลักษณะที่กำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) แบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design)

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ของระดับของปัจจัยในปรับตั้งค่าเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) ประกอบด้วยปัจจัยดังนี้ (1) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (2) เวลาการเผา (นาที) และ (3) เวลาปรับสภาพความเป็น (นาที) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทดลองในห้องปฏิบัติการ และลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น [1] ที่ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจนมีปริมาณต่ำที่สุด

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ของเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) ในห้องปฏิบัติการโดยกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl) ซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์ทางเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่าง โดยเฉพาะใน สารอินทรีย์ เช่น อาหาร พืช ปุ๋ย หรือของเสียต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณ โปรตีน ซึ่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein)



จากรูปที่ 1 อธิบายแต่ละขั้นตอนดังนี้ (1) การย่อยสลาย (Digestion) เป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการ Kjeldahl เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปของโปรตีนให้กลายเป็นรูปแบบที่สามารถวัดได้ (แอมโมเนียมไอออน, NH_4^+) (2) การกลั่น (Distillation) เป็นขั้นตอนสำคัญในการแยกแอมโมเนีย (NH_3) ออกจากตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และ (3) การไทเทรต (Titration) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้วัดปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) ที่จับไว้ในกรดบอริก เพื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และ โปรตีนหยาบ (Crude Protein) เพื่อให้สอดคล้องตรงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเรื่องการลดของเสียหลอดกลั่นไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง โรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) โดยมีขั้นตอนดังนี้ [8]

2.1 การกำหนดปัญหา

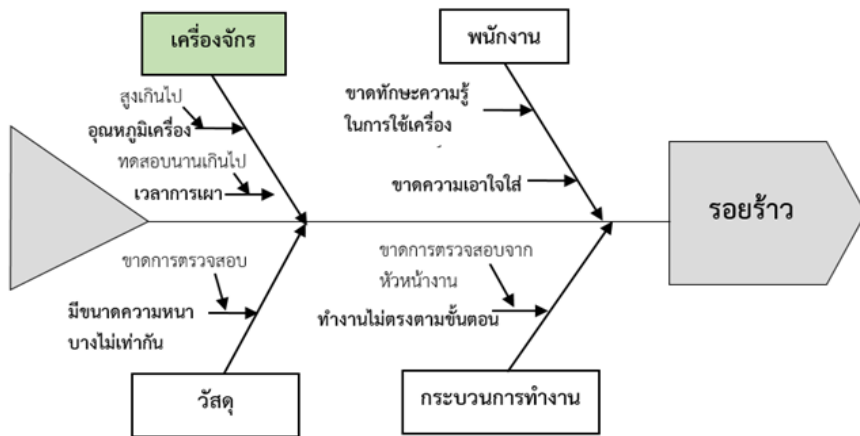
จากการศึกษาข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา พบว่าจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการเกิดจากการใช้ค่าความร้อนของเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) ที่ใช้อุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการเผาไม่เหมาะสม และระยะเวลาปรับสภาพความเย็นของหลอดทดลองมีระยะเวลาที่ไม่เหมาะสม ส่งผลทำให้หลอดกลั่นไนโตรเจนที่ทำการทดสอบเกิดการเป็นรอยร้าวและเสียหายเป็นจำนวนมากแสดงดังรูปที่ 2 ส่งผลทำให้เกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูง

2.2 การกำหนดปัจจัย

จากแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของหลอดกลั่นไนโตรเจนที่ทำการทดสอบเกิดการเป็นรอยร้าว ดังรูปที่ 2 พบว่า สาเหตุมาจากปัจจัยพนักงาน (Man) วัสดุ (Material) กระบวนการทำงาน (Method) และเครื่องจักร (Machine) แสดงดังรูปที่ 3 โดยพบว่าสาเหตุหลักมาจากเครื่องจักรที่มีการปรับตั้งค่าความร้อนของเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) ที่ไม่เหมาะสมโดยใช้อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการทดสอบนานเกินไปทำให้เกิดการเป็นรอยร้าวและเสียหาย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการระดมสมองกับผู้ที่เกี่ยวข้องในการปฏิบัติงานในห้องทดลอง โดยกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของหลอดกลั่นไนโตรเจน ซึ่งสามารถสรุปปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาการเผา และระยะเวลาการปรับสภาพความเย็นของหลอดกลั่นไนโตรเจน ซึ่งเป็นปัจจัยในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen))



รูปที่ 2 รอยร้าวจากการทดสอบของหลอดกลั่นไนโตรเจน



รูปที่ 3 แสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุรอยร้าวหลุดตกในโตรเจน

2.3 การออกแบบการทดลอง

สำหรับการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เข้ามาประยุกต์เพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลองที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาการเผา และระยะเวลาการปรับสภาพความเย็น ซึ่งในการออกแบบการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) โดยการทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 24 การทดลอง โดยการทดลองจะเป็นการทดลองแบบสุ่มซึ่งเป็นปัจจัยในการทดลอง [5] โดยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2

การกำหนดรูปแบบการทดลอง ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) จากตารางที่ 2 สามารถทดลองจำนวนปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ 400 และ 420 องศาเซลเซียส เวลาการเผา 120 และ 150 นาที และ

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย	
		ต่ำ (-)	สูง (+)
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	A	400	420
เวลาการเผา (นาที)	B	120	150
เวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที)	C	30	50

เวลาปรับสภาพความเย็น 30 และ 50 นาที โดยเป็นการกำหนดค่าแบบช่วงตามมาตรฐานของห้องปฏิบัติการสำหรับการปรับตั้งค่าเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง และผลลัพธ์ (Response) ที่ได้จากแต่ละรูปแบบการทดลองคือจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้มีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 24 การทดลอง โดยรูปแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มแสดงดังตารางที่ 3



ตารางที่ 3 การสุ่มตัวอย่างและการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลอง

Standard Order	Run Order	ปัจจัย			Response
		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาการเผา (นาที)	เวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที)	
6	1	420	120	50	0
5	2	400	120	50	7
23	3	400	150	50	8
20	4	420	150	30	4
12	5	420	150	30	4
2	6	420	120	30	9
4	7	420	150	30	12
14	8	420	120	50	4
19	9	400	150	30	1
13	10	400	120	50	4
24	11	420	150	50	4
18	12	420	120	30	14
7	13	400	150	50	3
21	14	400	120	50	2
8	15	420	150	50	7
11	16	400	150	30	7
3	17	400	150	30	5
22	18	420	120	50	0
16	19	420	150	50	3
9	20	400	120	30	0
15	21	400	150	50	6
10	22	420	120	30	9
1	23	400	120	30	11
17	24	400	120	30	5

2.4 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ผลข้อมูลการทดลองทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลจากแบบจำลองการถดถอย โดยการตรวจสอบประกอบไปด้วยขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.4.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Distribute)

จากการพิจารณาแผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง เพื่อตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล พบว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 4 และมีค่า P-value เท่ากับ 0.432 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าการแจกแจงแบบปกติ



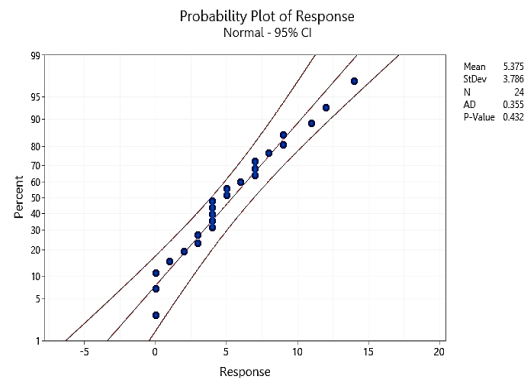
2.4.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independently Distributed)

จากการพิจารณาแผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลองเพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล พบว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวเป็นรูปแบบอิสระแสดงดังรูปที่ 5 เนื่องจากการกระจายตัวไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

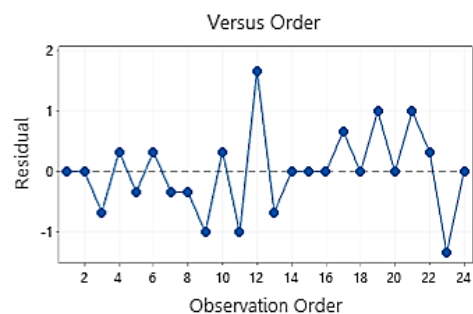
2.4.3 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Constant Variance)

จากการพิจารณาแผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับค่าของตัวแปรตอบสนองที่ได้จากแบบจำลองการถดถอย (Fitted Value) เนื่องจากการพล็อตมีลักษณะการเรียงตัวกระจายอยู่เหนือเส้นกลาง และการกระจายตัวไม่มีลักษณะที่เป็นรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ ที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แสดงดังรูปที่ 6

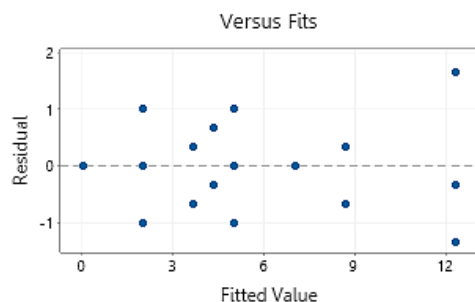
จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4, 5 และ 6 พบว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ ข้อมูลของค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ จึงกล่าวได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีความเป็นอิสระ สามารถนำข้อมูลนี้ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการแจกแจงแบบปกติของ
ค่าส่วนตกค้าง



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าส่วน
ตกค้างเทียบกับลำดับการทดลอง



รูปที่ 6 แผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง
เทียบกับค่า Fitted Value



2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติในการทดลองที่มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ A, B และ C คือ

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย A คือ

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย B คือ

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย C คือ

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_c = 0$$

$$H_1 : \gamma_k \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของปัจจัย A และ B คือ

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0; \forall i, j$$

$$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของปัจจัย A และ C คือ

$$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0; \forall i, k$$

$$H_1 : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของปัจจัย B และ C คือ

$$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0; \forall j, k$$

$$H_1 : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

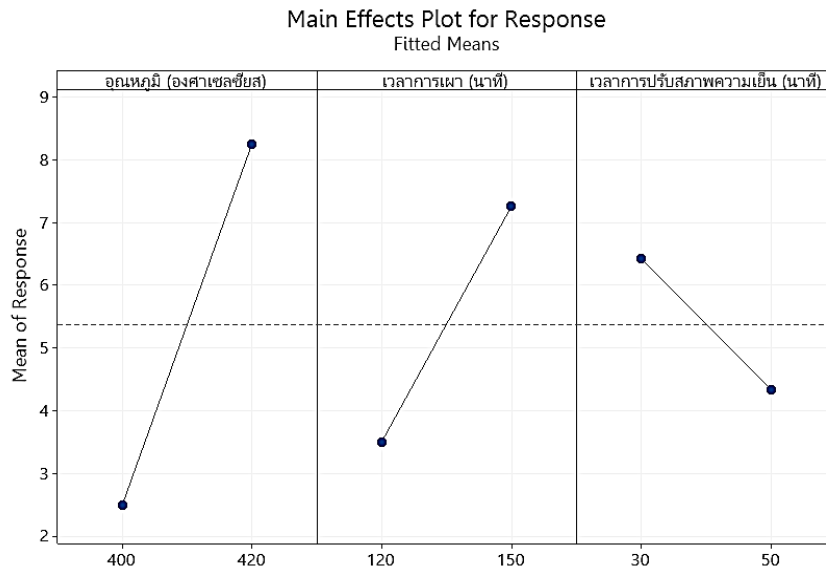
การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของปัจจัย A, B และ C คือ

$$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0; \forall i, j, k$$

$$H_1 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

จากการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบท่อรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจน โดยผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Minitab Version 19 วิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($P\text{-value} < 0.05$) ได้แก่ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) เวลาการเผา (นาที) และเวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ [9] สามารถแสดงเป็นแผนภาพของอิทธิพลหลัก (Main Effect) จากปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ทำให้เกิดรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจน แสดงดังรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจน พบว่า (1) อุณหภูมิ มีเส้นกราฟลักษณะชันขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการมีรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจนมากขึ้นตามไปด้วย (2) เวลาการเผา มีเส้นกราฟลักษณะชันขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อเวลาการเผาเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการมีรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจนมากขึ้นตามไปด้วย และ (3) เวลาการปรับสภาพความเย็น มีเส้นกราฟลักษณะชันลง อธิบายได้ว่าเมื่อเวลาปรับสภาพความเย็นลดลงส่งผลกระทบต่อการมีรอยร้าวของหลอดกลั่นไนโตรเจนลดลงไปด้วย



รูปที่ 7 กราฟแสดงลักษณะอิทธิพลของปัจจัยหลัก

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

Factorial Fit: Response versus อุณหภูมิ, เวลาการเผา, เวลาการปรับสภาพความเย็น

Estimated Effects and Coefficients for Response (Coded Units)

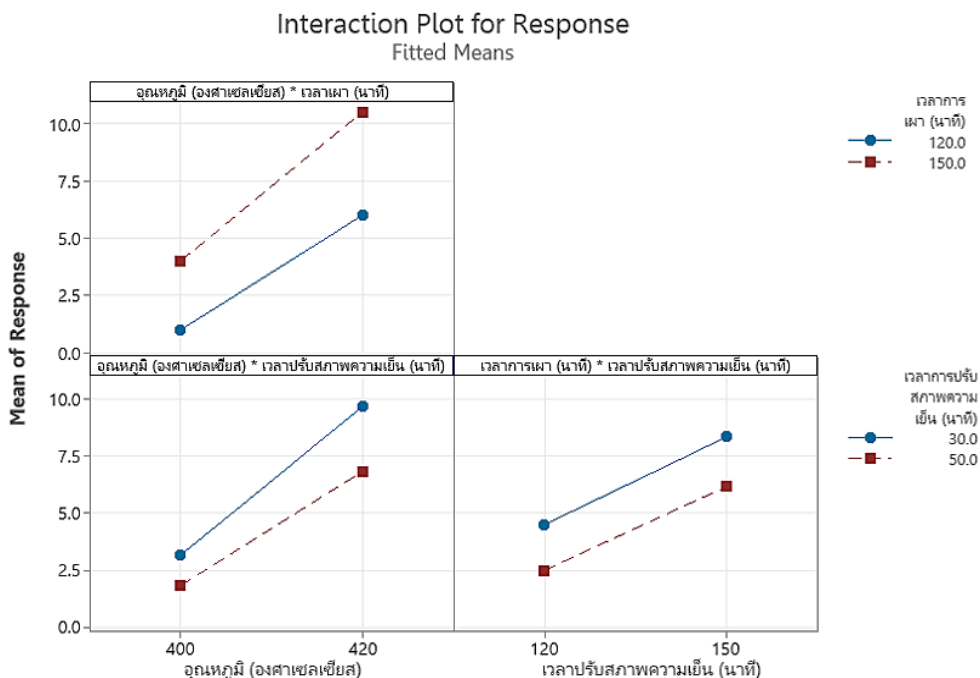
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	5.750	2.875	0.167	17.25	0.000
เวลาการเผา (นาที)	3.750	1.875	0.167	11.25	0.000
เวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที)	-2.083	-1.042	0.167	-6.25	0.000
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)*เวลาการเผา (นาที)	0.750	0.375	0.167	2.25	0.039
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)*เวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที)	-0.750	-0.375	0.167	-2.25	0.039
เวลาการเผา (นาที)*เวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที)	-0.083	-0.042	0.167	-0.25	0.806
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)*เวลาการเผา (นาที)*เวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที)	-0.750	-0.375	0.167	-2.25	0.039
S = 0.81					
R-Sq = 96.76%			R-Sq (adj) = 95.35%		



จากนั้นแสดงแผนภาพอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย แสดงดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย พบว่าปัจจัยอุณหภูมิ กับเวลาการเผา มีผลกระทบร่วมกัน (Interaction) คือมีผลต่อจำนวนรอยร้าวของหลอดกลั่นในโตรเจนเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า อุณหภูมิ กับเวลาการเผา ร่วมกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคือจำนวนของเสียคือรอยร้าวจากหลอดทดลองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากถ้ามีการปรับตั้งเครื่องย่อยไนโตรเจน (Block Digestion Unit (Nitrogen)) ที่ค่าอุณหภูมิต่ำ และเวลาการเผาต่ำ จะส่งผลให้จำนวนของเสียรอยร้าวของหลอดกลั่นอยู่ในระดับต่ำ และถ้าปรับตั้งเครื่องย่อยไนโตรเจนที่ค่า

อุณหภูมิสูง และเวลาการเผาสูง จะส่งผลให้จำนวนของเสียรอยร้าวของหลอดกลั่นอยู่ในระดับสูง ในทำนองเดียวกันปัจจัยอุณหภูมิ กับเวลาปรับสภาพความเย็นมีผลกระทบร่วมกัน (Interaction) คือถ้ามีการปรับตั้งเครื่องย่อยไนโตรเจนที่ค่าอุณหภูมิต่ำ และเวลาการปรับสภาพความเย็นสูง จะส่งผลให้จำนวนของเสียรอยร้าวของหลอดกลั่นอยู่ในระดับต่ำ และถ้าการปรับตั้งเครื่องย่อยไนโตรเจนที่ค่าอุณหภูมิสูง และเวลาการปรับสภาพความเย็นต่ำ จะส่งผลให้จำนวนของเสียรอยร้าวของหลอดกลั่นอยู่ในระดับสูง ส่วนปัจจัยเวลาการเผา และเวลาปรับสภาพความเย็น ไม่มีผลกระทบร่วมกัน ส่วนทั้ง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ เวลาการเผา และเวลาปรับสภาพความเย็นก็ไม่มีผลกระทบร่วมกัน



รูปที่ 8 กราฟแสดงลักษณะอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม



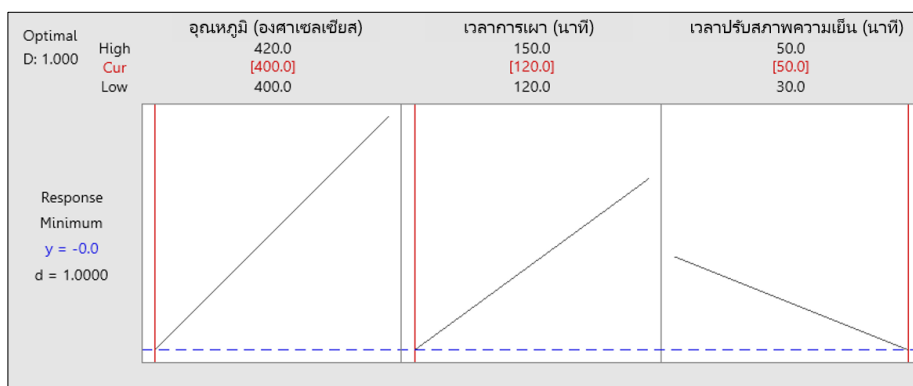
3. ผลการวิจัย

จากการศึกษาการลดของเสียหลอดกลั่นไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษากระบวนการหาปัจจัยและระดับปัจจัย ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียร่อยราว โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เข้ามาประยุกต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทดลองในห้องปฏิบัติการและลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น พบว่าอุณหภูมิ เวลาการเผา และระยะเวลาการปรับสภาพความเย็น มีค่า P-value < 0.05 จึงส่งผลกระทบต่อ การเกิดร่อยราวของหลอดกลั่นไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ และจากผลการทดลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization [10] ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย และค่าวัดความพึงพอใจโดยรวมผลตอบแทน (Composite Desirability :D) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ซึ่งหมายถึง ถ้าค่า D ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงว่า ผลตอบนั้น

ได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ [11] ผลจากการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Version 19 แสดงดังรูปที่ 9 และตารางที่ 5 ให้ค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าเครื่องย่อยไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเมื่อทำการตั้งค่าอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเผา 120 นาที และระยะเวลาการปรับสภาพความเย็น 50 นาที ส่งผลให้ไม่เกิดของเสียที่เกิดจากร่อยราวของหลอดทดลองขึ้นเลย

ตารางที่ 5 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสม

Response Optimization						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Minimize			0	14	1	1
Global Solution						
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) = 400						
เวลาการเผา (นาที) = 120						
ระยะเวลาการปรับสภาพความเย็น (นาที) = 50						
Predicted Response						
Response = 0.00000, Desirability = 1.00000						
Composite Desirability = 1.00000						



รูปที่ 9 ค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องย่อยไนโตรเจน



จากตารางที่ 5 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่ได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ จากผลการทดลองการวิเคราะห์หาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าเครื่องย่อยไนโตรเจนเพื่อลดของเสียหลุดกลับไนโตรเจนที่เกิดรอยรั่วจากการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ในห้องปฏิบัติการ โรงงานกรณีศึกษา โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Full Factorial Design) ซึ่งสามารถสรุปได้แสดงดังตารางที่ 6

จากตารางที่ 6 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสม และเพื่อเป็นการยืนยันผลการวิจัยว่าสามารถลดของเสียหลุดกลับไนโตรเจนที่เกิดรอยรั่วจากการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ในห้องปฏิบัติการ โรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบและกำหนดค่าตามปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ค่าอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเผา 120 นาที และระยะเวลาการปรับสภาพความเย็น 50 นาที) ในกระบวนการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) และโปรตีนหยาบ (Crude Protein) ในห้องปฏิบัติการ โรงงานกรณีศึกษา ระหว่างเดือนมกราคม – เดือนมีนาคม 2567 แสดงดังรูปที่ 10

จากนั้น นำข้อมูลจำนวนของเสียมาทำการเปรียบเทียบผลก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง [12] แสดงดังตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ปัจจัย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	420	400
เวลาการเผา (นาที)	150	120
ระยะเวลาการปรับ สภาพความเย็น (นาที)	30	50

ตารางที่ 7 ข้อมูลของเสียหลังการปรับปรุง ระหว่างเดือนมกราคม - เดือนมีนาคม 2567

สาเหตุ การเกิด ของเสีย	จำนวนของเสียจากกระบวนการทดลอง ห้องปฏิบัติการ			
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวม
รอยรั่ว	2	3	2	7

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

ประเภทของ เสีย	จำนวนของเสีย (หลุด)	
	ก่อนการ ปรับปรุง	หลังการ ปรับปรุง
รอยรั่ว	359	7



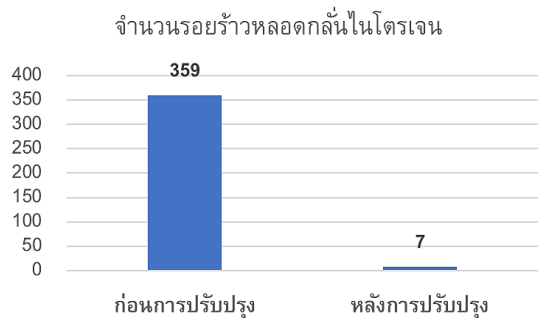
รูปที่ 10 ปรับตั้งค่าปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องย่อยไนโตรเจน



จากตารางที่ 8 พบว่าก่อนการปรับปรุงมีจำนวนของเสียที่เกิดรอยร้าว 359 หลอด และหลังการปรับปรุงมีจำนวนของเสียที่เกิดรอยร้าวลดลงเหลือ 7 หลอด ทำให้ของเสียลดลงจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 98.05 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น พบว่าจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง 359 หลอด คิดเป็นเงิน 502,600 บาท ซึ่งต้นทุนต่อชิ้น ชิ้นละ 1,400 บาท และหลังการปรับปรุง ลดลงเหลือ 7 ชิ้น คิดเป็นเงิน 9,800 บาท ดังนั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายลง 492,800 บาท แสดงดังรูปที่ 11

4. สรุปผล

จากการศึกษากระบวนการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน และโปรตีนหยาบในห้องปฏิบัติการโรงงานกรณีศึกษา โดยพบว่าก่อนการปรับปรุงมีจำนวนของเสียประเภทรอยร้าวของหลอดทดลองที่ใช้ในการทดสอบมีปริมาณ 359 หลอด หลังจากนั้นนำหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุง โดยพบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดรอยร้าวของหลอดทดลองในห้องปฏิบัติการจากการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน และโปรตีน ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% ได้แก่ (1) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (2) เวลาการเผา และ (3) เวลาปรับสภาพความเย็น จากนั้นทำการกำหนดระดับของปัจจัยในกระบวนการทดสอบจริง คือ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาการเผา 120 นาที และเวลาปรับสภาพความเย็น 50 นาที ส่งผลให้ปริมาณรอยร้าวที่เกิดขึ้นของหลอดทดลองก่อนการปรับปรุงมีจำนวน 359 หลอด หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 7 หลอด ขึ้น คิดเป็นร้อยละ 98.05



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบจำนวนของเสียจากสาเหตุรอยร้าวก่อนและหลังการปรับปรุง

5. ข้อเสนอแนะ

1. นำสถิติทางวิศวกรรมมาประยุกต์ในการออกแบบการทดลองให้เหมาะสมเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น
2. นำหลอดกลั่นไนโตรเจนชนิดอื่นมาทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบว่ามีการเกิดรอยร้าวหรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางการเลือกใช้และการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ
3. เพิ่มระดับของปัจจัย (ค่ากลาง) ในการทดสอบเพื่อจะได้ผลการทดลองที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Cheewaworanontree, P. Rontlaong, K. Thongsin and T. Teekasap, Reducing waste in the clutch assembly pumping process case study: Automotive air compressor factory, The Journal of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, 2023, 11(2), 27-38. (in Thai)



- [2] T. Thepchu, S. Rakkran, P. Sriwichian and J. Plongmai, Defect reduction in process for shampoo a design of engineering, Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, 2022, 2(1), 47-55. (in Thai)
- [3] T. Sunarak, Defect reduction in the welding process of motorcycle STAY R-L Parts, The Journal of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, 2018, 6(1), 6-15. (in Thai)
- [4] S. Suwanauksorn and C. Pornsing, A Study of factors for chemical cost reduction in the brake pad manufacturing process, The Journal of Industrial Technology, 2021, 17(1), 31-52. (in Thai)
- [5] Y. Jantana and N. Rattanawai, Optimizing factors for lemongrass slicer using design of experiment, Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal, 2022, 14(19), 83-95. (in Thai)
- [6] K. Noirach and P. Chutima, Defective reduction from welding splash in motorcycle battery production process, Research and Development Journal, 2014, 25(3), 55-61. (in Thai)
- [7] P. Siri-O-Ran and J. Pummak, Weight loss reduction in pineapple pie production process, Thai Industrial Engineering Network Journal, 2022, 6(1), 48-53. (in Thai)
- [8] D.C. Montgomery, Introduction to statistical quality control, 4th Edition, John Wiley and Sons, Inc., NJ, USA, 2002.
- [9] B. Sao-siw and N. Sokul, Reducing defects in packaging by applying experimental results: A case study of a snack company, Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal, 2016, 9(2), 30-44. (in Thai)
- [10] H. Su, H.M. Yao, H. Zeng, The optimization research of the multi-response problems based on the SUR. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 2015, 28(2 Supplement), 731-737.
- [11] A. Leenatham and P. Khemavuk, Process improvement of PTCA guide wire by using design of experiment, Srinakharinwirot University Engineering Journal, 2019, 14(2), 12-24. (in Thai)
- [12] P. Parakawong Na Ayuthaya, A design of experiment to waste reduction injection process of electronic parts, Thesis, Silpakorn University, Thailand, 2018. (in Thai)