

การปรับปรุงกระบวนการผลิตลวดแกนกลางของผลิตภัณฑ์สายสวนหลอดเลือดหัวใจ

ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

Process Improvement of PTCA Guide Wire by Using Design of Experiment

อธิวัฒน์ ลีณะธรรม^{1*} เปรมพร เขมาวุฒ²

¹สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ วิทยาลัยนวัตกรรมการเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
ธุรกิจบัณฑิต กรุงเทพมหานคร 10210

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กรุงเทพมหานคร 10800

Athiwat Leenatham^{1*} Premporn Khemavuk²

¹Management and Logistics Engineering Major, College of Innovative Technology and Engineering,
Dhurakij Pundit University, Bangkok, 10210

²Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

*Corresponding author Email: athiwat.lnt@gmail.com

(Received: October 19, 2018; Accepted: January 20, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสายสวนหลอดเลือดหัวใจ (PTCA Guide Wire) ที่เกิดจากกระบวนการขัดโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องขัดที่ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางหลังการขัดมีค่าตามที่แผนกควบคุมคุณภาพกำหนดไว้คือ $0.061^{+0.004}_{-0.003}$ มิลลิเมตร ซึ่งมีตัวแปรต้นเป็นปัจจัยควบคุมได้ทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดัน มุม และกระดาษทราย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยทั้ง 3 และปัจจัยร่วมทั้งหมดมีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ ความดัน 6.50 บาร์ มุมในการขัด 10.0667 องศา และกระดาษทราย Extra-fine ผู้วิจัยยืนยันผลการทดลองด้วยการทดสอบ T-test กับเส้นลวดที่ถูกขัดภายใต้ปัจจัยดังกล่าวจำนวน 20 เส้น โดยตั้งสมมติฐานว่ากลุ่มตัวอย่างเส้นลวดมีขนาดเท่ากับ 0.061 หรือไม่ ผลคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่า 0.061 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อนำค่าระดับปัจจัยที่ได้มากำหนดเป็นค่ามาตรฐานและใช้ในการผลิตจริง พบว่าของเสียก่อนวิจัย 108 ชิ้น ของเสียหลังวิจัย 13 ชิ้น คิดเป็นของเสียลดลงร้อยละ 87.96

คำสำคัญ: สายสวนหลอดเลือดหัวใจ การออกแบบการทดลอง แฟคทอเรียลแบบ 2^k

ABSTRACT

The purpose of this research was to reduce defects from grinding process of PTCA Guide Wire production by using 2^k factorial design of experiment method as 0.05 significant level for determine the optimal parameters that effect to diameter size $0.061^{+0.004}_{-0.003}$ mm after grinding is defined by QC department. The controllable variables of grinding machine are pressure angle and sand paper. 2^k Factorial was practiced in this research with 5 replicates. The result shows that factor affecting on diameter are all of main factors and interaction factors. The optimal levels of factor are pressure 6.50 angle 10.07 and Extra-fine. Twenty additional samples of PTCA guide wire were collected after all factors were established and it were tested by using T-test, the hypothesis is samples are equal to 0.061 or not. The result shows that these samples are equal to 0.061 at 0.05 significant level. All Factors are implemented to currently production, the defect was collect from the same initial period of this research. The result shows that the defect before and after are 108 and 13 or reducing 87.96% respectively.

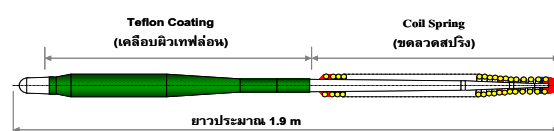
Keyword: ptca guide wire, design of experiment, 2^k factorial.

1. บทนำ

สายสวนหลอดเลือดหัวใจ (PTCA Guide Wire) เป็นเส้นลวดที่ถูกนำมาใช้สวนหัวใจเพื่อรักษาอาการโรคหัวใจ แบ่งเป็น การสวนหัวใจเพื่อเปิดทางติดต่อระหว่างหัวใจห้องบน การขยายรอยตีบ การปิดรูรั่ว [1] จากสถิติของศูนย์โรคหัวใจสมเด็จพระบรมราชินีนาถ โรงพยาบาลศิริราชพบว่า ผู้ป่วยที่มารักษาโรคหลอดเลือดหัวใจตีบมีการสวนหัวใจทางหลอดเลือดแดงเพื่อทำการวินิจฉัยและรักษาโดยการขยายหลอดเลือดเฉลี่ยมากกว่า 2,586 รายต่อปี (จากสถิติ ตั้งแต่ ม.ค 2556 - ธ.ค. 2558) [2]

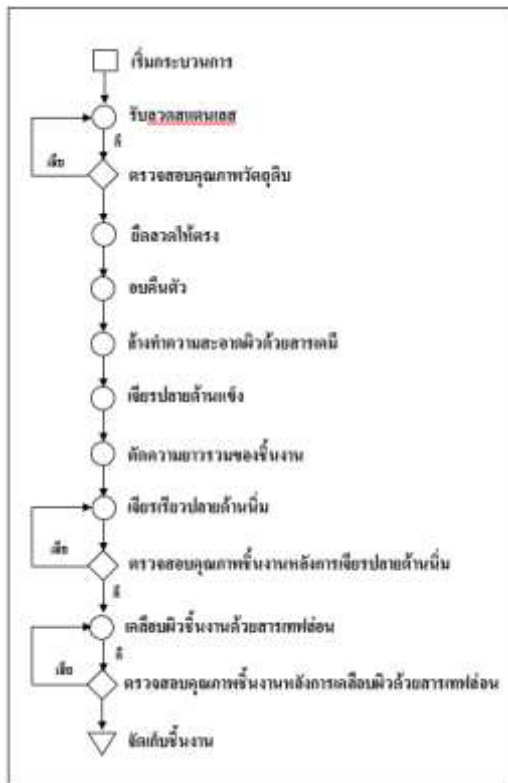
บริษัท ทรินิตี้ จำกัด ดำเนินธุรกิจการผลิตสินค้าที่เกี่ยวข้องกับลวดสแตนเลสสำหรับอุปกรณ์การแพทย์ โดยมีสินค้าหลักคือ ผลิตภัณฑ์เครื่องมือแพทย์ชนิดสายสวนหลอดเลือดหัวใจ ได้แก่ สายสวนหลอดเลือดหัวใจ ท่อสำหรับฉีดสีเอ็กซเรย์ บอลลูนขยายหลอดเลือด เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เครื่องมือแพทย์ของบริษัทที่ได้รับการยอมรับและมีแนวโน้มความต้องการของลูกค้าเพิ่มมากขึ้นคือ สายสวนหลอดเลือดหัวใจ ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 2 ส่วน

คือ ส่วนที่เคลือบผิวด้วยเทฟลอนและขดลวดสปริง ดังรูปที่ 1 จากบริษัท ทรินิตี้ จำกัด



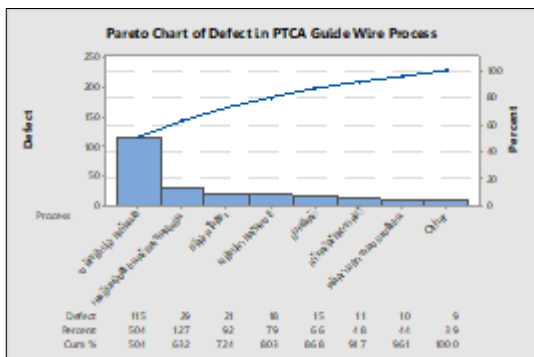
รูปที่ 1 ลักษณะผลิตภัณฑ์สายสวนหลอดเลือดหัวใจ

การเก็บข้อมูลย้อนหลัง 4 เดือนตั้งแต่มีนาคม-มิถุนายน 2561 จากขั้นตอนของกระบวนการผลิตลวดแกนกลางดังรูปที่ 2 พบของเสียแต่ละกระบวนการแสดงเป็นแผนภาพพาเรโตดังรูปที่ 3 จากหลักการของพาเรโตที่ใช้เพื่อหาปัญหาหลัก [3] พบว่ากระบวนการขัดเรียบปลายด้านนิ่มหรือกระบวนการขัดที่ถูกตรวจสอบโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพ มีของเสียมากที่สุดถึง 115 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 50.4 ของปริมาณของเสียทั้งหมด บริเวณที่ขัดคือส่วนปลายของลวดแกนกลางหรือส่วนปลายของขดลวดสปริงจากรูปที่ 1

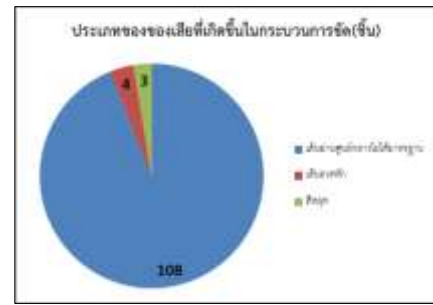


รูปที่ 2 กระบวนการผลิตลวดแกนกลาง

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้แจกแจงประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดโดยใช้แผนภาพวงกลมแสดงปัญหาที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4 พบว่า ประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้มาตรฐาน จำนวน 108 ชิ้น หรือร้อยละ 93.91 จากของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด 3 ประเภท



รูปที่ 3 แผนภาพพาเรโตของเสียจากกระบวนการผลิตสายสวนหลอดเลือดหัวใจ



รูปที่ 4 แผนภาพวงกลมแสดงประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัด

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะปรับปรุงกระบวนการตัดจากปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือ เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้มาตรฐาน

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบการทดลอง เป็นวิธีการทางสถิติที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรผลลัพธ์ของระบบ [4] เป็นเครื่องมือสำหรับการปรับปรุงกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรม ซึ่งผู้วิจัยจะต้องกำหนด [5] ปัจจัย ตัวแปรตอบสนอง ระดับปัจจัย แผนการทดลอง และจำนวนครั้งที่ทดลองให้เหมาะสมกับปัญหา เพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองตั้งแต่ในช่วงแรกของการออกแบบและพัฒนากระบวนการจะมีข้อดีคือ ช่วยปรับปรุงกระบวนการ ช่วยลดความผันแปรและทำให้ได้ค่าผลลัพธ์ตามที่กำหนด ช่วยลดเวลาและต้นทุนรวมในการพัฒนากระบวนการ [4]

มีงานวิจัยที่ทำการหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นด้านการก่อสร้าง [6] ทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ เพื่อทำให้คอนกรีตที่ผลิตมีการรับแรงอัดตามมาตรฐานที่กำหนดด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลซึ่งประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลักทดลองซ้ำทั้งหมด 6 ครั้ง หลังจากนั้นในปีเดียวกันก็นำมาใช้ในการผลิตพลาสติก [7] หาปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูป

ด้วยระบบสุญญากาศสำหรับพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ เพื่อลดของเสียที่เกิดจากปัญหาชิ้นงานมีความหนาไม่สม่ำเสมอ โดยมีปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิในการให้ความร้อน ระยะเวลาในการให้ความร้อน ระยะเวลาในการสุญญากาศ ระยะเวลาในการให้ลมเป่า และระยะเวลาในการให้ลมเย็น โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^5 ทำการทดลองซ้ำ 1 ครั้ง ผลการทดลองคือทำให้ความหนาที่ได้ตรงตามคุณภาพที่กำหนด อีกทั้งยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆด้วย เช่น อุตสาหกรรมอาหาร [8] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแป้งบุกทดลองด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไชด์เบด ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศร้อน เซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง และความเร็วอากาศร้อน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ [9] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาฟิล์มลอกในการเคลือบผิวฟิล์มบางแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฟิล์มลอก ได้แก่ อุณหภูมิชิ้นงาน อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับแรงดัน และอัตราการไหลทั้งสามปัจจัย อุตสาหกรรมเครื่องหอม [10] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมจากเครื่องกลั่น ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ส่วนต่างๆของตะไคร้ ขนาดของตะไคร้ พบว่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย คือ ส่วนของตะไคร้และขนาดของตะไคร้ที่ได้จากการสับ อีกทั้งยังนำมาใช้กับอุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น [11] หาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงค่าการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ ปัจจัยที่ควบคุมได้มีทั้งหมด 4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ความหนาของแผ่นวาล์ว ปริมาตรของห้องพักสารทำความเย็น ขนาดทางไหลของสารทำความเย็นด้านอัด และความหนาของวาล์วด้านดูด ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ ผลการวิจัยทำให้ได้ค่าการทำความเย็นเพิ่มขึ้นจากเดิม 1,220 วัตต์ เป็น 1,360 วัตต์ ซึ่งเป็นค่าทำความเย็นที่สามารถแข่งขันกับคอมเพรสเซอร์ของคู่แข่งได้ อีกทั้งยังนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเหล็กกล้าและอุตสาหกรรมย้อมสี ได้แก่ [12] ปรับปรุงกระบวนการทางความเย็นที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและ

ปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด JIS SKD11 เพื่อส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นแต่ค่าการดูดซับแรงกระแทกลดลงและ [13] หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเพิ่มผลผลิตภาพของสีย้อมผ้าประเภทติดตายผลการวิจัยพบว่าหัวฉีดขนาด 2.5 มม. อุณหภูมิของอากาศร้อน 110 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าผลผลิตภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 19.74 เปอร์เซ็นต์เป็น 28.77 เปอร์เซ็นต์

จากการทบทวนวรรณกรรมมีงานวิจัยบางส่วนที่น่าสนใจเชิงแฟคทอเรียลไปใช้ในอุตสาหกรรมการแพทย์ เช่น [14] นำมาใช้ศึกษาลักษณะของอัตราการปลดปล่อยอนุภาคขนาดเล็กสำหรับกระบวนการเลเซอร์ทางการแพทย์ด้วยวิธีแฟคทอเรียลแบบ 2^3 เหมือนกับ [15] นำมาใช้หาปัจจัยความเข้ากันได้ของอุปกรณ์การแพทย์ที่ผลิตจากโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และวัสดุโพลีเมอร์อื่นๆ ที่ถูกกัดด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์ (RIE) และพลาสมา และยังมี [16] ที่นำไปใช้เพื่อศึกษาปัจจัยของปฏิกิริยาระหว่างผู้ให้บริการและผู้ป่วยที่มีอาการโรคกรดไหลย้อนด้วยวิธีแฟคทอเรียลแบบ 2^2 ต่างกับ [17] และ [18] เนื่องจากมีเพียง 2 ปัจจัย มีงานวิจัยเป็นส่วนน้อยที่นำการออกแบบการทดลองมาใช้ในการกระบวนการขัด แต่ก็มีบางส่วน เช่น [17], [18] ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของการขัดเหล็กทรงกลมแตกต่างกันที่ [17] ทดสอบกับสแตนเลสสตีล แต่ [18] ทดสอบกับเหล็ก Aisi 0-1 งานวิจัยทั้งสองมีปัจจัยที่เหมือนกันคือ ระยะป้อนลึก ความเร็ว จำนวนครั้งของการปาดผิวชิ้นงาน แต่ [19] ได้เพิ่มแรงเฉือนเข้ามาด้วยงานวิจัยที่ทบทวน [6], [7], [9]-[11], [14]-[16], [18] ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เพื่อหาระดับปัจจัยที่ส่งผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้วิธีการนี้กับการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดในกระบวนการขัดเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น ด้วยการทำซ้ำแบบสุ่ม 5 ครั้ง จำนวนปัจจัย 3 ปัจจัย จำนวนการทดลองทั้งหมดคือ 40 ครั้ง

3. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3

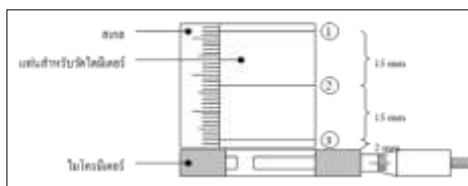
3.1 การกำหนดปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง

ผู้วิจัยกำหนดปัจจัยหรือตัวแปรต้นจากปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ของเครื่องขัด ได้แก่ ความดัน มุม และเบอร์กระดาษทราย แสดงดังตารางที่ 1 ค่าของระดับปัจจัยต่างๆในตารางได้มาจากฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นช่วงของค่าที่ฝ่ายผลิตใช้อยู่ในกระบวนการปัจจุบัน

ตารางที่ 1 แสดงระดับของปัจจัยสำหรับการทดลอง

ปัจจัย	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ความดัน	4.5 bar	6.5 bar
มุม	10 องศา	12 องศา
เบอร์กระดาษทราย	Ultra-fine	Extra-fine

ตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังจากกระบวนการขัดต้องอยู่ในช่วงของค่าที่แผนกควบคุมคุณภาพกำหนด นั่นคือ $0.061^{+0.004}_{-0.003}$ มม. โดยการใช้เครื่องมือโครมิเตอร์วัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 5 แล้วจึงนำค่าที่วัดได้จากทั้ง 3 ตำแหน่งของแต่ละเส้นมาหาค่าเฉลี่ย

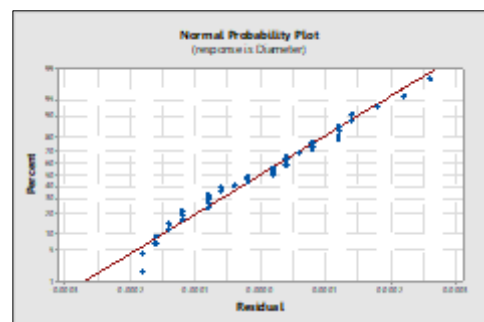


รูปที่ 5 ตำแหน่งการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดแกนกลาง

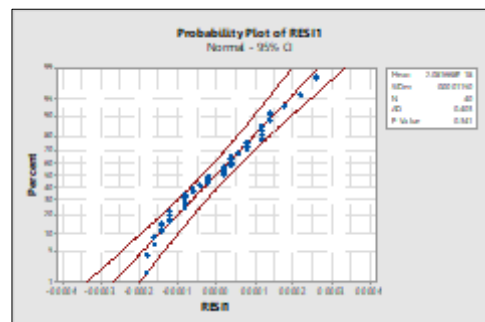
3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

[4], [5] กล่าวว่าไว้ว่าก่อนจะวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อดูปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้นจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนว่าค่าส่วนตกค้างหรือความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Residual) เป็นไปตามสมมติฐานแต่ละข้อดังต่อไปนี้

1.) การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ โดยการเขียนกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้าง ถ้าสมมติฐานนี้มีความถูกต้อง กราฟควรจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง [20] แสดงดังรูปที่ 6 หรือพิจารณาที่ค่า p-value จากกราฟ Probability Plot [21] ของค่าส่วนตกค้างในรูปที่ 7 มีค่า 0.341 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าส่วนตกค้างที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



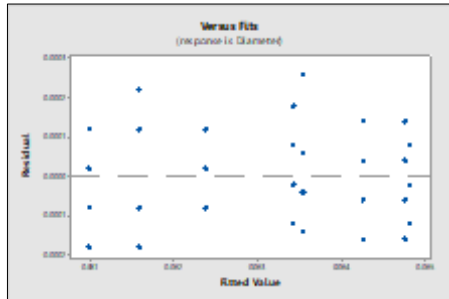
รูปที่ 6 ความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง



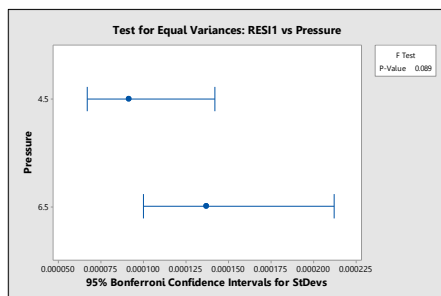
รูปที่ 7 การแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง

2.) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน โดยการเขียนกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบจำลองการถดถอย (Fitted Value) ถ้าสมมติฐานนี้ถูกต้อง กราฟจะต้องมีแนวโน้มการกระจายแบบสุ่มหรือไม่เกิดแนวโน้มของรูปทรง (เช่น รูปทรงปากแตร) [4] ดังรูปที่ 8 และยังพิจารณาค่า p-value จากกราฟแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน [21] ของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 9-15 ค่า p-value มากกว่า 0.05 ทุกตัวแสดงว่าค่าความแปรปรวน

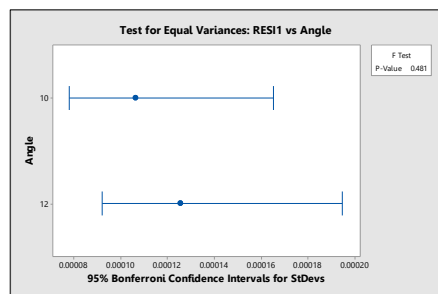
ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการทดลองไม่แตกต่างกัน นั่นคือ
ความแปรปรวนมีความเสถียรตามสมมติฐานที่ตั้งไว้



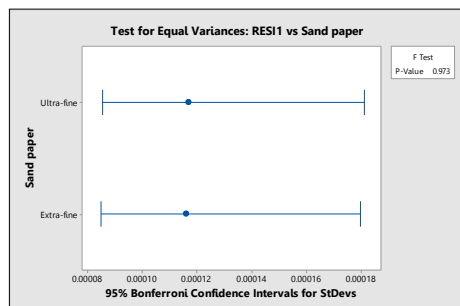
รูปที่ 8 ค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนอง



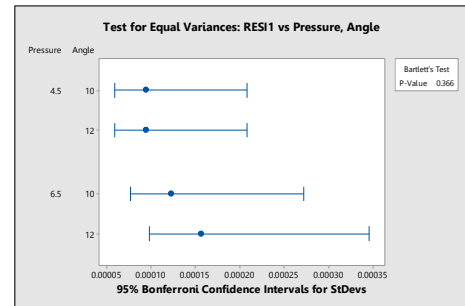
รูปที่ 9 ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนในปัจจัย
ความดัน



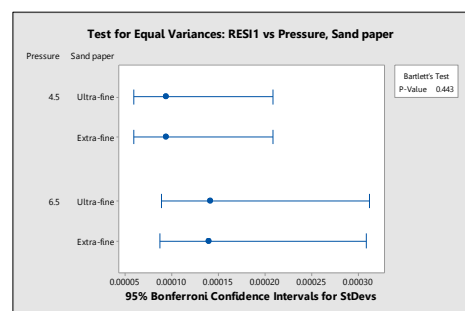
รูปที่ 10 ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนใน
ปัจจัยมุม



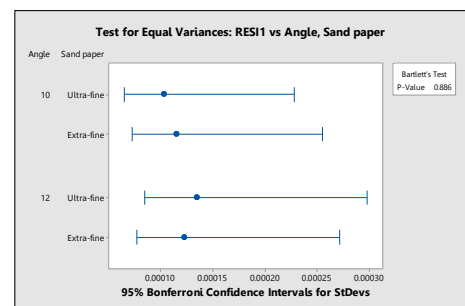
รูปที่ 11 ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนใน
ปัจจัยเบอร์กระดาษทราย



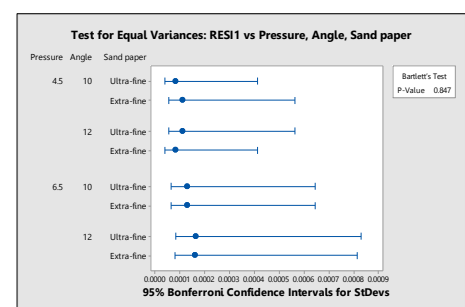
รูปที่ 12 ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนใน
ปัจจัยความดันและมุม



รูปที่ 13 ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนใน
ปัจจัยความดันและเบอร์กระดาษทราย

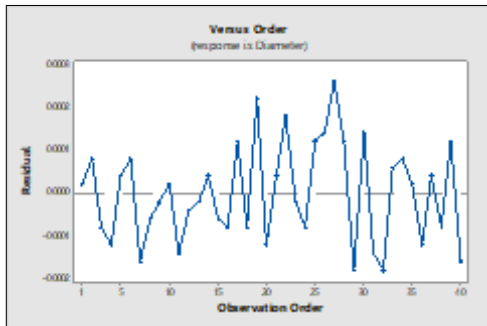


รูปที่ 14 ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนใน
ปัจจัยมุมและกระดาษทราย

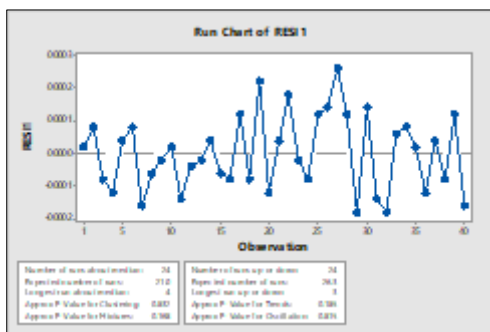


รูปที่ 15 ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน
ของปัจจัยความดัน มุม และกระดาษทราย

3.) การตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้าง โดยการเขียนกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Observation order) ถ้าสมมติฐานนี้ถูกต้อง กราฟที่ได้จะต้องไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบ [22] ดังรูปที่ 16 หรือพิจารณาค่า p-value จากกราฟแสดงผลของการทดสอบ Run Chart [21] ซึ่งเป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีแนวโน้มหรือมีรูปแบบซ้ำๆ กันหรือไม่ ดังรูปที่ 17 ค่า p-value มากกว่า 0.05 ทุกตัวแสดงว่าค่าส่วนตกค้างที่ได้จากการทดลองไม่ขึ้นอยู่กับเวลาและกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน นั่นคือค่าส่วนตกค้างเป็นอิสระต่อกัน ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้



รูปที่ 16 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง



รูปที่ 17 การทดสอบ Run Chart

4. ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ด้วยโปรแกรม Minitab 16 จากหลักการ

ทางสถิติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะต้องตั้งสมมติฐาน เกี่ยวกับปัจจัยที่ต้องการทดสอบ [4] ดังนี้

H_0 : ปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือ

$H_0 : \beta_A = \beta_B = \beta_C = \beta_{AB} = \beta_{AC} = \beta_{BC} = \beta_{ABC} = 0$

H_1 : ปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือ

$H_1 : \beta$ อย่างน้อยหนึ่งตัว $\neq 0$

โดย $\beta_{A,B,C}$ คือ ผลกระทบปัจจัยหลัก

$\beta_{AB,AC,BC}$ คือ ผลกระทบปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย

β_{ABC} คือ ผลกระทบปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0.000073	0.000010	645.33	0.000
Linear	3	0.000056	0.000019	1162.97	0.000
Pressure	1	0.000028	0.000028	1735.52	0.000
Angle	1	0.000003	0.000003	191.02	0.000
Sand paper	1	0.000025	0.000025	1557.97	0.000
2-Way Interactions	3	0.000013	0.000004	274.45	0.000
Pressure*Angle	1	0.000008	0.000008	515.21	0.000
Pressure*Sand paper	1	0.000004	0.000004	234.56	0.000
Angle*Sand paper	1	0.000001	0.000001	45.45	0.000
3-Way Interactions	1	0.000003	0.000003	205.04	0.000
Pressure*Angle*Sand paper	1	0.000003	0.000003	205.04	0.000
Error	32	0.000001	0.000000		
Total	39	0.000073			

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(Adj)	R-sq(Pred)
0.0001270	99.30%	99.14%	98.95%

รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การตั้งสมมติฐานดังกล่าวมีตัวสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานคือค่าสถิติ F ดังสมการที่ 1

$$F_0 = \frac{MS_{\text{mainfactor or interaction}}}{MS_E}; v_{\text{Factor or Interaction}}, v_E \quad (1)$$

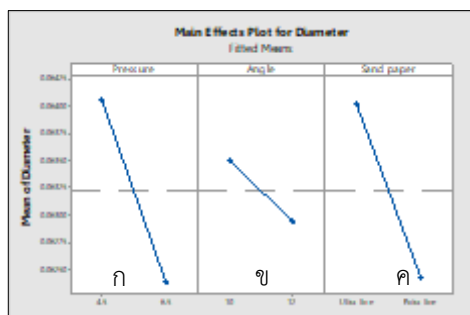
เมื่อ $MS_{\text{mainfactor or interaction}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมกำลังสองของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

MS_E คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

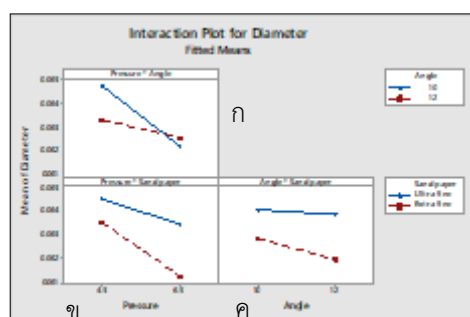
โดยมีบริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ ทั้งนี้การทดสอบสมมติฐานสามารถพิจารณาจากค่า p-value ได้จากรูปที่ 17 โดยการเปรียบเทียบค่า p-value กับระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) หากค่า p-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ ผลกระทบของปัจจัยนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 18 แสดงว่าปัจจัยหลัก ได้แก่ ความดัน

มุม เบอร์กระดาษทราย ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ได้แก่ ความดันและมุม ความดันและเบอร์กระดาษทราย มุมและเบอร์กระดาษทราย ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันและมุม และเบอร์กระดาษทราย มีผลกระทบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด ดังนั้นจึงไม่ต้องตัดตัวแปรใดทิ้ง เมื่อพิจารณาค่า R-sq เท่ากับ 99.30% ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบจำลองการถดถอยที่ได้มานั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนอง ที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี และ R-sq(Adj) เท่ากับ 99.14% มีค่าใกล้เคียงกับ R-sq แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือแหล่งของความผันแปรถูกใส่เข้าไปในตัวแบบจำลองการถดถอยเหมาะสมแล้ว หรือไม่มีลักษณะของการใส่ตัวแปรมากเกินไป (Overfit) [21]

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงให้เห็นว่า ทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกตัวส่งผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดสอดคล้องกับรูปที่ 19-20 สามารถอธิบายได้เป็นสองส่วน คือ ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ดังนี้



รูปที่ 19 ผลกระทบของปัจจัยหลักต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 20 ผลกระทบของปัจจัยร่วมต่อตัวแปรตอบสนอง

1.) ความดัน เมื่อกำหนดความดันสูงขึ้นเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดลดลง พิจารณาได้จากที่ความดัน 4.5 เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดประมาณ 0.064 มม. แต่ที่ความดัน 6.5 บาร์ เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดประมาณ 0.0625 มม. ดังรูปที่ 19 (ก)

2.) มุม เมื่อกำหนดมุมสูงขึ้นเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดลดลง พิจารณาได้จากที่มุม 10 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดประมาณ 0.0635 มม. แต่ที่มุม 12 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดประมาณ 0.0630 มม. ดังรูปที่ 19 (ข)

3.) เบอร์กระดาษทราย เมื่อกำหนดเบอร์กระดาษทรายเป็น Ultra-fine เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดประมาณ 0.0640 มม. แต่เมื่อเมื่อกำหนดเบอร์กระดาษทรายเป็น Extra-fine เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดประมาณ 0.0625 มม. หมายความว่ากระดาษทรายยิ่งหยาบจะยิ่งทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลดลงดังรูปที่ 19 (ค)

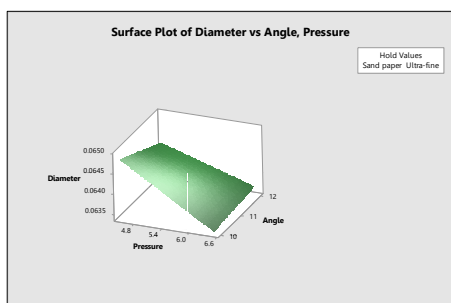
4.) ความดันและมุม เมื่อกำหนดความดันที่ 4.5 บาร์ และค่ามุม 10 องศา ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าประมาณ 0.065 มม. แต่เมื่อกำหนดมุมเป็น 12 องศา ทำให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใกล้ 0.063 มม. ในทางกลับกันเมื่อกำหนดความดันที่ 6.5 บาร์ ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางกลับลดลงมามีค่าประมาณ 0.062 มม. ทั้งกรณีที่กำหนดมุมเป็น 10 องศาและ 12 องศา ดังรูปที่ 20 (ก)

5.) ความดันและเบอร์กระดาษทราย เมื่อกำหนดความดันที่ 4.5 บาร์ และเบอร์กระดาษทรายเป็น Ultra-fine ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าประมาณ 0.0646 มม. แต่เมื่อกำหนดเบอร์กระดาษทรายเป็น Extra-fine ทำให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใกล้ 0.0637 มม. ซึ่งไม่แตกต่างกันมาก ในทางกลับกันเมื่อกำหนดความดันที่ 6.5 บาร์ เบอร์กระดาษทรายเป็น Ultra-fine ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางจะเข้าใกล้ 0.0637 มม. แต่เมื่อเปลี่ยนเบอร์กระดาษทรายเป็น Extra-fine ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางกลับลดลงมาใกล้กับค่า 0.061 มม. ซึ่งเป็นค่าที่แผนกควบคุมคุณภาพกำหนดดังรูปที่ 20 (ข)

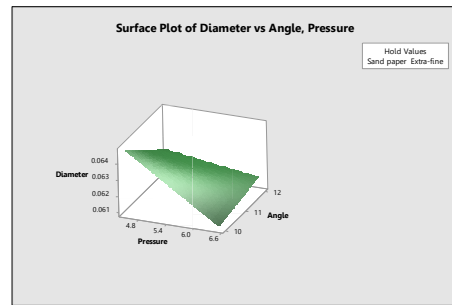
6.) มุมและเบอร์กระดาษทราย เมื่อกำหนดมุมเป็น 10 และ 12 องศาและใช้เบอร์กระดาษทรายเป็น Ultra-fine เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดเกือบเท่ากันที่ประมาณ 0.064 มม. แต่เมื่อกำหนดมุมเป็น 10 และ 12 องศาและใช้เบอร์กระดาษทรายเป็น Extra-fine ค่ากลับมีความแตกต่างกัน เมื่อกำหนดมุมเป็น 10 เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีค่าประมาณ 0.063 มม. ถ้ากำหนดมุมเป็น 12 เส้นผ่านศูนย์กลางจะลดลงมาใกล้กับค่า 0.062 มม. ดังรูปที่ 20 (ค)

เมื่อพิจารณารูปที่ 20 (ก) จะเห็นความแตกต่างกับรูปที่ 20 (ข) และ รูปที่ 20 (ค) เนื่องจากมีจุดตัดเกิดขึ้นระหว่างเส้นมุม 10 และมุม 12 อธิบายได้ว่า ที่ความดันค่าหนึ่งที่ถูกตัด ไม่ว่าจะปรับมุมเป็น 10 หรือ 12 ก็จะทำให้เส้นลดลงลงเท่ากัน แต่รูปที่ 20 (ข) และ รูปที่ 20 (ค) ไม่มีจุดตัดระหว่างระดับของปัจจัยเลย นั่นคือไม่มีตัวแปรร่วมใดที่ทำให้เส้นลดลงลงเท่ากัน

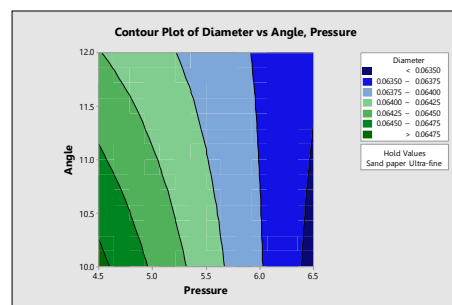
จากกราฟพื้นผิวความสัมพันธ์และกราฟ Contour รูปที่ 21-24 มีความสัมพันธ์กัน หากตัวแปรตอบสนองคือ 0.061 ควรจะใช้เบอร์กระดาษทราย Extra-fine เนื่องจากค่า 0.061 อยู่ในช่วงของตัวแปรตอบสนองที่แสดงดังในรูปที่ 24 ซึ่งจะต่างกับรูปที่ 23 และรูปที่ 21 เมื่อใช้กระดาษทราย Ultra-fine จะไม่มีช่วงของตัวแปรตอบสนองใดที่จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางได้ตามข้อกำหนดเลย และควรใช้ความดันและมุมที่ประมาณ 6.0-6.5 บาร์ และ 10-11 องศาตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 22



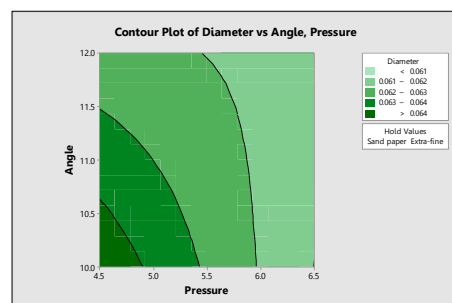
รูปที่ 21 กราฟพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างความดันและมุมเมื่อกำหนดเบอร์กระดาษทรายเป็น Ultra-fine



รูปที่ 22 กราฟพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างความดันและมุมเมื่อกำหนดเบอร์กระดาษทรายเป็น Extra-fine



รูปที่ 23 กราฟ Contour ระหว่างความดันและมุมเมื่อกำหนดเบอร์กระดาษทรายเป็น Ultra-fine



รูปที่ 24 กราฟ Contour ระหว่างความดันและมุมเมื่อกำหนดเบอร์กระดาษทรายเป็น Extra-fine

จากข้อกำหนดของแผนกควบคุมคุณภาพที่กำหนดไว้ว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหลังการขัดจะต้องอยู่ในช่วง $0.061^{+0.004}_{-0.003}$ มม. ผู้วิจัยจึงต้องกำหนดหาระดับของปัจจัย จากรูปที่ 25 สามารถเขียนสมการถดถอย เพื่อทำนายขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางได้ ดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned} \text{Diameter} = & 0.063217 - 0.000837(\text{Pressure}) \\ & - 0.000277(\text{Angle}) - 0.000792(\text{Sand paper}) \\ & + 0.000457(\text{Pressure} * \text{Angle}) - 0.000308 \\ & (\text{Pressure} * \text{Sand paper}) - 0.000168 \\ & (\text{Angle} * \text{Sand paper}) + 0.000287 \\ & (\text{Pressure} * \text{Angle} * \text{Sand paper}) \end{aligned} \quad (2)$$

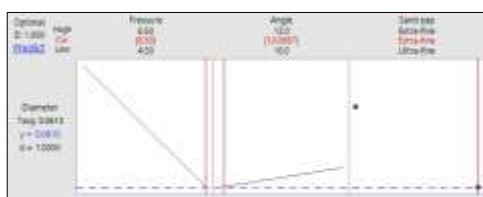
Coded Coefficients						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.063217	0.00022	3148.40	0.000	
Pressure		-0.000837	0.00033	-41.71	0.000	1.00
Angle		-0.000277	0.00033	-13.83	0.000	1.00
Sand paper		-0.000792	0.00033	-36.47	0.000	1.00
Pressure*Angle		0.000457	0.00033	12.78	0.000	1.00
Pressure*Sand paper		-0.000308	0.00033	-15.32	0.000	1.00
Angle*Sand paper		-0.000168	0.00033	-8.34	0.000	1.00
Pressure*Angle*Sand paper		0.000287	0.00033	14.32	0.000	1.00

รูปที่ 25 ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละปัจจัย

4.2 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้สมการถดถอยที่ได้มาทำนายค่าของระดับปัจจัยต่างๆ โดยการกำหนดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางให้มีค่าอยู่ในช่วง $0.061_{-0.003}^{+0.004}$ มม. โดยการกำหนดค่าเป้าหมาย (Goal) เป็นค่าที่ต้องการ (Target) จากนั้นจึงกำหนดค่าเป้าหมายเป็น 0.061 มม. ค่าต่ำสุด (Lower) เป็น 0.058 มม. ค่าสูงสุด (Upper) เป็น 0.065 มม. เนื่องจากค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ต้องการ

ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 26 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความดัน 6.50 บาร์ มุม 10.0667 องศา เบอร์กระดาษทราย Extra-fine โดยมีค่า y เท่ากับ 0.061



รูปที่ 26 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

และค่าวัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสนอง (composite desirability: D) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0–1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ [23], [24]

4.3 การทดลองเพื่อยืนยันผล

การทดลองเพื่อยืนยันผล ผู้วิจัยทำการทดลองเพื่อยืนยันว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 4.2 นั้นส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดตามที่ต้องการหรือไม่ ด้วยการปรับค่าต่างๆตามผลที่ได้จากหัวข้อ 4.2 ซึ่งจะมีค่าของมุมที่ต้องปัดทศนิยมเป็น 10.07 องศา เนื่องจากเครื่องสามารถปรับค่ามุมได้เพียง 2 ทศนิยม แล้วทำการขัดเส้นลวดจำนวน 20 ชิ้น จากนั้นวัดค่าที่ได้ แล้วจึงทดสอบตามหลักการสถิติด้วยวิธี 1-Sample T Test [4] เนื่องจากไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรและข้อมูลที่นำมาทดสอบผ่านการตรวจสอบแล้วว่ามีการกระจายแบบปกติ

One-Sample T: Dia_Test							
Test of $\mu = 0.061$ vs $\neq 0.061$							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
Dia_Test	20	0.060950	0.001669	0.000373	(0.060169, 0.061731)	-0.13	0.895

รูปที่ 27 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

จากรูปที่ 27 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 20 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 0.061 หรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่า p-value เท่ากับ 0.895 ซึ่งมากกว่า 0.05 สรุปผลได้ว่ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 20 ชิ้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานได้ นั่นคือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 0.061 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.060950 และช่วงแห่งความเชื่อมั่น 0.060169-0.061731 อยู่ในช่วงที่แผนกคุณภาพกำหนด ดังนั้นจึงสามารถนำค่าระดับของแต่ละปัจจัยไปใช้ในการผลิตได้จริง

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยนำค่าของระดับปัจจัยไปใช้ในการผลิตจริงตั้งแต่วันที่เดือนกันยายน 2561 จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นตั้งแต่เดือนกันยายน-ธันวาคม 2561 เป็นช่วงเวลา 4 เดือนซึ่งมีระยะเวลาเท่ากับการเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง พบว่า ปัญหาเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้มาตรฐานเกิดขึ้นจำนวน 13 ชิ้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังการทดลอง

ปัญหา	เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้มาตรฐาน
จำนวนของเสีย(ก่อนการทดลอง)	108 ชิ้น
จำนวนของเสีย(หลังการทดลอง)	13 ชิ้น
จำนวนของเสียที่ลดลง(ชิ้น)	95 ชิ้น

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปัญหาเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้มาตรฐานก่อนการทดลองคือ 108 ชิ้น หลังทดลองคือ 13 ชิ้น ลดลง 95 เส้นหรือคิดเป็นร้อยละ 87.96

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ เพื่อจะทำให้สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ได้ไม่ซับซ้อน ในงานทดลองถัดไปควรเพิ่มระดับเพราะเมื่อเพิ่มระดับของการทดลองจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลมากขึ้น แต่การเพิ่มระดับของการทดลองส่งผลต่อจำนวนการทดลองที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและดูแลผู้วิจัยเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.Sriseng, "Transradial Catheterization," *Siriraj Medical Bulletin*, Vol. 10, 12, pp. 90-96, 2017 (in Thai).
- [2] R. Lekhawiphat, "Nursing care for children before and after," *Thai Red Cross Nursing Journal*, vol. 6, 12, pp. 15-24, 2013 (in Thai).
- [3] J.Heizer, B.Render and C. Munson, *Operations Management Sustainability*

and Supply Chain Management, 12th ed., NY: Pearson Education, 2017.

- [4] D. C.Montgomery, *Design And Analysis Of Experiments*, 9thed., NJ:John Wiley & Sons, 2017.
- [5] P. Sudasna na ayudthya and P. Luangpaiboon, *Design and analysis of experiments*, Bangkok: Top Publishing, 2008 (in Thai).
- [6] K. Praputtakun and T. Wuttiornpun, "A Study of Optimal Proportion of Factors in Concrete Ready Mixed," *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 21, 12, pp. 313-320, 2011 (in Thai).
- [7] P. Chumpanya and C. Chanwichit, "A Study of Optimal Factor in Vacuum Thermoforming Process for Polyvinyl Chloride Plastic," *RMUTP Research Journal*, Vol 5, 12, 33-45, 2011 (in Thai).
- [8] W. Noanlumduan, N. Poomsa- ad, L. Wiset and Ch. Borompichaichartkul, "The Study of Optimum Condition for Dehydration of Konjac Flour," *UBU Engineering Journal*, vol. 6, 12, pp. 55-63, 2013 (in Thai).
- [9] Y. Srisawat, K. Mano and W. Suntornkanokpong, "A Study of Factors Affecting to the Film Peeling Problem in Silicon," *Journal of Industrial Education*, vol. 14, 12, pp. 291-298, 2015 (in Thai).
- [10] J. Visedmanee and A. Khadwilard, "Analysis of Factors Affecting the Volume of Lemongrass Oil from Distiller

- by Experimental Design,” *RMUTP Research Journal*, vol. 11, 11, pp. 34-42, 2017 (in Thai).
- [11] K. Theptawee, T. Wuttiornpun, “Cooling Capacity Improvement of Reciprocating Compressor with a DOE Approach,” *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 23, 11, pp. 138-147, 2013 (in Thai).
- [12] M. Ritinyo, C. Peeratatsuan, N. Thammachot, P. Runkratok, A. Kongrit and J. Nithikarnjanatharn “Effect of Sub-Zero Treatment on Chromium Carbide in Tool Steel JIS SKD 11,” *SWU Engineering Journal*, Vol 12, 11, 43-50, 2017 (in Thai).
- [13] A. Chantamat and M. Osothsilp, “Productivity Improvement of Spray Drying Process in Textile Dye Manufacturing,” *SWU Engineering Journal*, Vol 12, 11, pp. 72-80, 2017 (in Thai).
- [14] R. Lopez, S. E. Lacey, J. F. Lippert, L. C. Liu, N. A. Esmen and L. M. Conroy, “Characterization of Size-Specific Particulate Matter Emission Rates for a Simulated Medical Laser Procedure - A Pilot Study,” *The Annals of occupational hygiene*, vol. 59, 4, pp. 514-524, 2015
- [15] D. C. Oliveira, L. A. Calixto, I. M. Fukuda, A. M. Saviano, A. J. Moreira, Y. Kawano, R. D. Mansano, T. J. A. Pinto, F. R. Lourenco, “Compatibility of Polyvinyl Chloride (PVC) Medical Devices and Other Polymeric Materials with Reactive Ion Etching (RIE) and Inductively Couple Plasma (ICP) Sterilization Using a Quality by Design (QbD) Approach,” *Journal of Pharmaceutical Innovation*, vol. 13, 2, pp.110-120, 2018
- [16] M. L. Dossett, L. Mu, R. B. Davis, I. R. Bell, A. J. Lembo, T. J. Kaptchuk, G. Y. Yeh, “Patient-Provider Interactions Affect Symptoms in Gastroesophageal Reflux Disease: A Pilot Randomized, Double-Blind Placebo-Controlled Trial,” *PLoS ONE*, vol. 10, 9, pp.1-13, 2015
- [17] A. S. Padda, S. Kumar and A. Mahajan, “Effect of Varying Surface Grinding Parameters on the Surface Roughness of Stainless Steel,” *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 3, 16, pp. 314-319, 2015.
- [18] M.Melwin Jagadeesh Sridhar and P.Sathish Kumar, “Effect of Process Parameters on Surface Roughness of Cylindrical Grinding Process on Ohns (Aisi 0-1) Steel Rounds using ANOVA,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 33, 19, pp. 429-434, 2016.
- [19] H. Demir, A. Gullu, I. Ciftci and U. Seker, “An Investigation into the Influences of Grain Size and Grinding Parameters on Surface Roughness and Grinding Forces when Grinding,” *Strojniski vestnik* -

- Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, 17-8, pp. 447-454, 2010.
- [20] B. Panprasitvech and P. Hongsuwan, “Education Factors Suitable for The Production of Foam Glass Foam Amber Glass Splinter,” *Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 25, 13, pp. 102-112, 2018 (in Thai).
- [21] K. Asawarungsaengkul, Applied statistical for engineer :Design of experiments, Bangkok: Yongpon Trading Limited Partnership, 2016 (in Thai).
- [22] J. Klunngien and A. Phonyaim , “The Quality Control Of Neat-Soap Process With Factorial Experimental Design,” *Kasem Bundit Engineering Journal*, Vol. 5, 11, pp. 1-12, 2015 (in Thai).
- [23] D. Awapak, N. Mahae and D. Pichairat, “Optimization of Polysaccharide Extraction from *Gracilaria fisheri* Using Response Surface Methodology,” *KKU SCIENCE JOURNAL*, Vol. 41, 2, pp. 414-430, 2013 (in Thai).
- [24] A. Chanpirak, P. Dumnin and A. Hongpuay, “Optimization of Oil Extraction form Spent Coffe Grounds (*Coffea canephora* var. *robusta* /*Coffea arabica*) by Hexane Using Response Surface Methodology,” *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 28, 14, pp. 799-811, 2018 (in Thai).