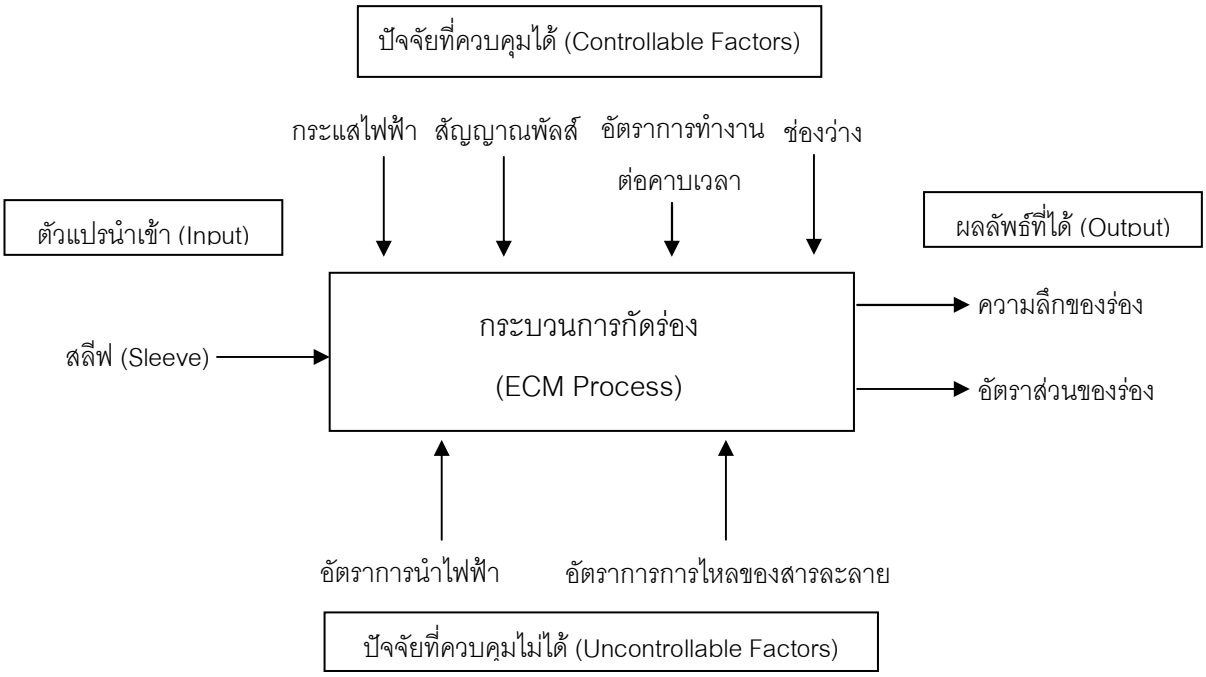
บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 การคัดเลือกปัจจัยที่จะศึกษาในกระบวนการกัดร่องที่มีผลต่อค่าความเที่ยงตรงของความลึกและอัตราส่วนของร่อง

จากการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการกัดร่อง ดังภาพที่ 3.1 โดยพิจารณาจากกระบวนการปัจจุบันและจากการรวบรวมการค้นคว้าวิจัยของบริษัทรวมทั้งสิทธิบัตรต่างประเทศ พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงตรงของความลึกและอัตราส่วนของร่องมีมากมายแต่การคัดเลือกปัจจัยสำหรับการวิจัยนั้น จึงต้องเลือกเพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์และให้มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานจริงมากที่สุดภายใต้ระยะเวลาและทรัพยากรที่มี



ภาพที่ 3.1
ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการกัดร่อง

โดยปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงตรงของความลึกและอัตราส่วนของร่องที่เลือกสำหรับการวิจัยสำหรับกระบวนการผลิตในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับสลีฟหรือช่องว่าง (Gap) อัตราการทำงานต่อคาบเวลา (Duty Cycle) กระแสไฟฟ้า (Current) และสัญญาณพัลส์ (Pulses) ส่วนอัตราการนำไฟฟ้าและอัตราการไหลของสารละลายถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

ทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการกัดร่องเพื่อให้ได้ค่าความเที่ยงตรงของความลึกและอัตราส่วนของร่องตรงตามเป้าหมายมากที่สุด โดยปัจจัยที่ถูกเลือกเพื่อทำการวิจัยจะพิจารณาตามวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

ตารางที่ 3.1
วัตถุประสงค์ของปัจจัยที่ถูกเลือกในการทำวิจัย

วัตถุประสงค์การวิจัย	ปัจจัย			
	กระแสไฟฟ้า	ช่องว่าง	สัญญาณพัลส์	อัตราการทำงานต่อคาบเวลา
1.อิทธิพลต่อค่าความเที่ยงตรงของความลึกและอัตราส่วนของร่อง	●	●	●	●
2.การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการกัดร่อง	●	●	●	●

อย่างไรก็ตามปัจจัยต่างๆ ที่เลือกต้องผ่านการวิเคราะห์ว่ามีอิทธิพลต่อผลการตอบสนอง โดยการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization Design, CRD)

3.2 การกำหนดระดับของปัจจัย (Level)

การกำหนดระดับของปัจจัยอ้างอิงจากสภาวะการผลิตในปัจจุบันซึ่งจะกำหนดไว้ที่ระดับกลาง ส่วนระดับสูงและระดับล่างได้จากการปรับเพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละปัจจัยอย่างละหนึ่งถึงสองระดับ การกำหนดระดับของปัจจัยหลักและปัจจัยที่ควบคุมในการทดลองนี้จะกำหนดระดับของปัจจัย (Levels) เป็นแบบคงที่ (Fixed Level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่กำหนดค่าได้แน่นอน

เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับสภาวะการผลิตในปัจจุบันและหาสภาวะที่เหมาะสม โดยช่วง (Range) ที่ศึกษาจะอาศัยความรู้และงานวิจัยที่ศึกษามาช่วยในการตัดสินใจกำหนดระดับของปัจจัย กล่าวคือ ระดับสูงได้จากการพิจารณาทฤษฎีและงานวิจัย, ระดับกลาง คือ สภาวะปัจจุบันของการผลิตและระดับล่างได้จากการพิจารณาทฤษฎีและงานวิจัย

3.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

ตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มี 2 ตัวแปร คือ ความลึกของร่อง (Depth) และอัตราส่วนของร่อง (Ratio) ซึ่งค่าตั้วแปรทั้ง 2 นี้มีความสำคัญมากต่อการยกตัวและการหมุนอย่างราบเรียบเมื่อเข้าสายการประกอบเป็นสปินเดิลมอเตอร์เสร็จสิ้น โดยวิธีการ (Method) ในการวิเคราะห์ความลึกของร่อง (Depth) และอัตราส่วนของร่อง (Ratio) เป็นวิธีการมาตรฐานของบริษัทในปัจจุบัน ซึ่งจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.6

3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อดำเนินการวิจัย

3.4.1 การออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยการออกแบบการทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว (Complete Randomized Design; CRD หรือ One-Way ANOVA)

เพื่อทำการตรวจสอบปัจจัยที่เลือกทำการศึกษาในกระบวนการกัดร่องว่า มีอิทธิพลจริงต่อค่าความเที่ยงตรงของความลึกและอัตราส่วนของร่อง อันเป็นการละลายพฤติกรรมของปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์ผลทางสถิติว่าด้วยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน นอกจากนี้เพื่อสามารถกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง โดยสามารถสรุปตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการพร้อมทั้งระดับที่เป็นไปได้

3.4.2 การวิเคราะห์กราฟความน่าจะเป็นแจกแจงปกติของผลกระทบของปัจจัยและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงตรงของความลึกและอัตราส่วนของร่อง รวมถึงผลกระทบร่วมเพื่อเป็นการยืนยันผลความมีนัยสำคัญของปัจจัย อันนำไปสู่การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป โดยทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของปัจจัย กระแสไฟฟ้า, สัญญาณพัลส์, อัตราการทำงานต่อคาบเวลาและช่องว่าง

3.4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยและระดับที่เหมาะสมโดยใช้หลักการของทากูชิ

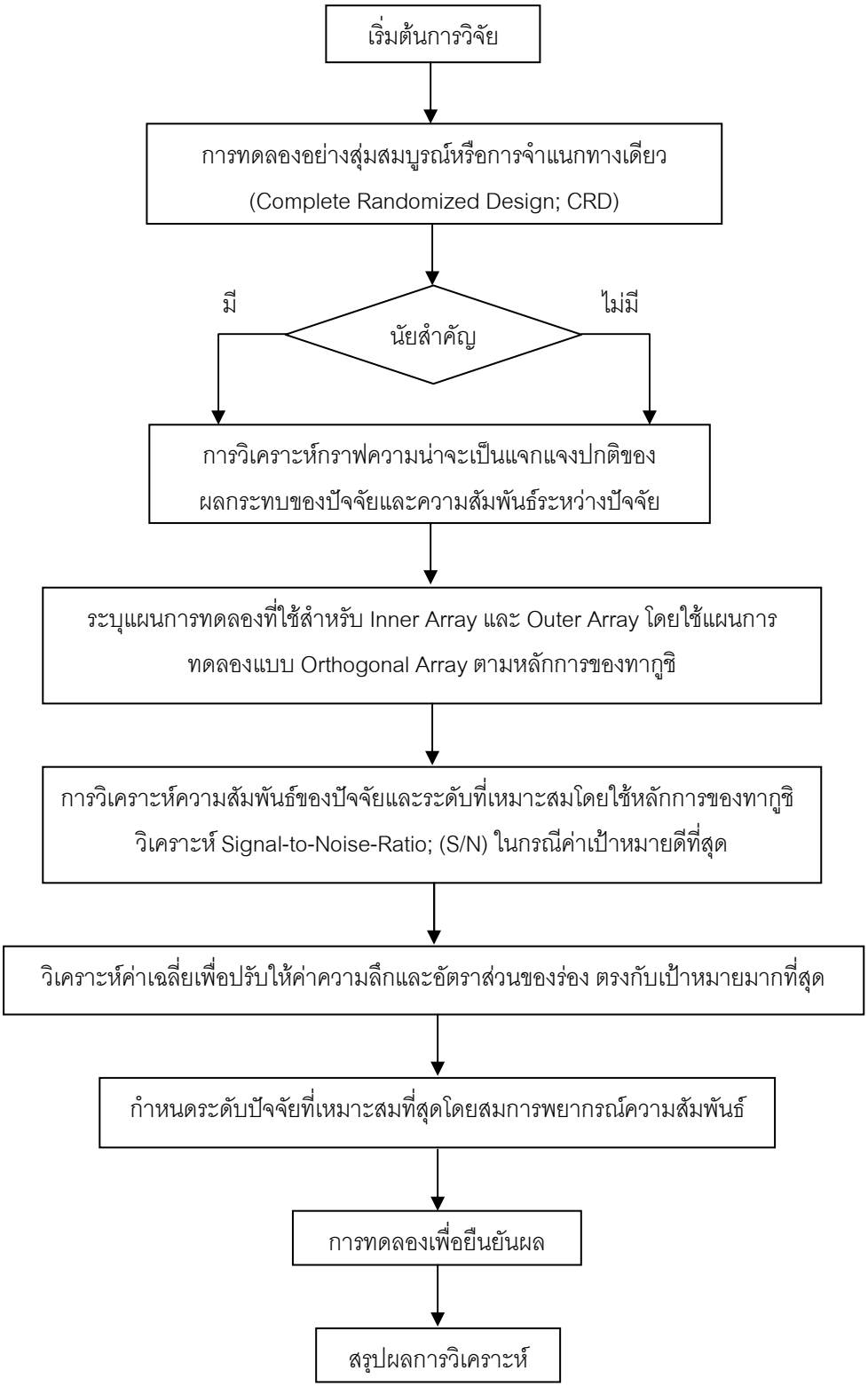
เพื่อเป็นการตัดสินใจการปรับเปลี่ยนระดับที่เกิดขึ้นของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยทำการคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal-to-Noise Ratio; (S/N) ในกรณีค่าเป้าหมายดีที่สุด (Target-the-Better) และทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (ANOM; Analysis of Mean) เพื่อระบุปัจจัยทีมีผลต่อค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว เพื่อใช้เป็น “ตัวแปรปรับค่า (Adjusttment Variable)” เพื่อปรับให้ค่าความลึกละอัตราส่วนของร่องมีค่าตรงกับเป้าหมายมากที่สุด

3.4.4 การวิเคราะห์ผลตอบสนองเพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ณ จุที่ทำให้ค่า Max {S/N} โดยกำหนดระดับของตัวแปรที่ใช้ในการปรับ ณ จุดที่ทำให้ค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด โดยสร้างสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์ตามหลักการออกแบบการทดลอง

3.4.5 การทดลองเพื่อยืนยันผล

ทำการทดลองเพื่อยืนยัน ว่าค่าที่กำหนดเป็นค่าที่ดีที่สุดจริง (Comfirmation Runs) ในการทำให้ค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องตรงตามเป้าหมาย



ภาพที่ 3.2

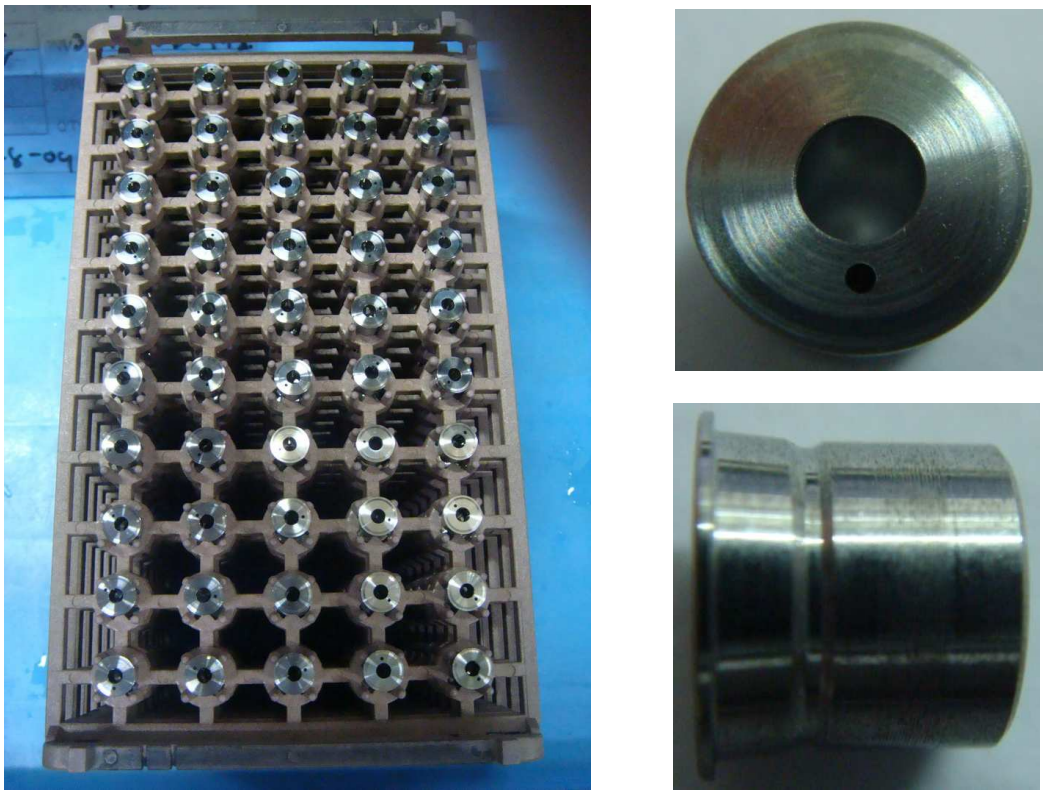
ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์

3.5 การดำเนินการทดลอง

3.5.1 กระบวนการกัดร่อง

ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงสภาวะต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

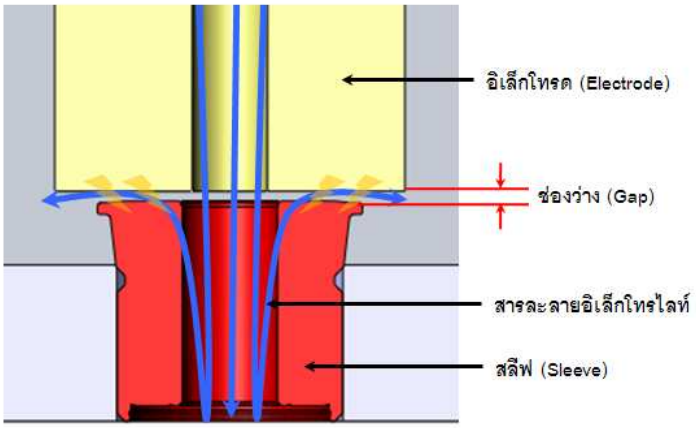
1. เริ่มด้วยการเตรียมสลีฟ (Sleeve) ซึ่งเป็นชิ้นงานที่จะใช้ในการกัดร่อง โดยสลีฟที่ใช้อยู่ในกระบวนการกัดร่องนั้นจะถูกนำไปล้างทำความสะอาดก่อนเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อน (Particle) ด้วยเครื่องล้างอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Washing) หลังจากนั้นถูกบรรจุลงในถาดเก็บดังภาพที่ 3.3 เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับกัดร่องด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า



ภาพที่ 3.3
สลีฟสำหรับกัดร่องด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

2. นำไปผ่านกระบวนการกัดร่องด้านทรัสท์ เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้สนใจศึกษากระบวนการทำร่องเฉพาะด้านบนของสลีฟเท่านั้น โดยเปลี่ยนแปลงสภาวะของกระบวนการของเครื่องตามแผนการทดลองที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งสภาวะของกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนแปลงได้แก่ กระแสไฟฟ้า (Current) สัญญาณพัลส์ (Pulse) อัตราการทำงานต่อคาบเวลา (Duty Cycle) และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับสลีฟหรือช่องว่าง (Gap) เพื่อเตรียมนำเข้าสู่เครื่องกัดร่องด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า โดยกระบวนการกัดร่องให้สลีฟและเครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้านั้นเป็นดังภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.4
เครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า(ECM Machining)



ภาพที่ 3.5
กระบวนการกัดร่องด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

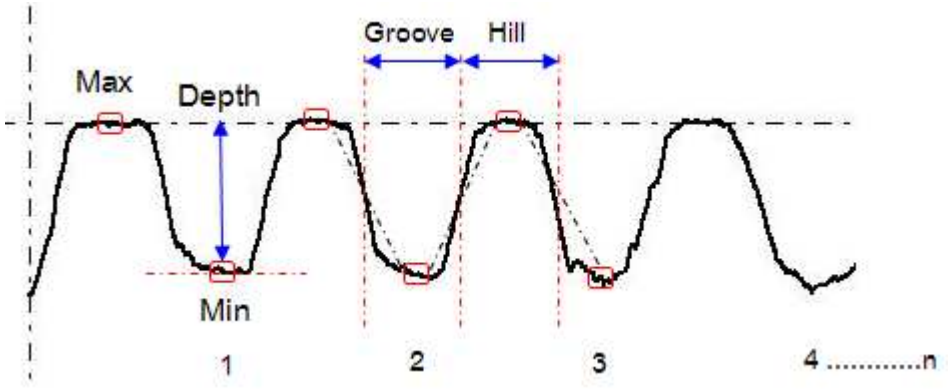
ภาพที่ 3.6
สลีฟหลังจากผ่านกระบวนการกัดร่องด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

3. หลังจากนำสลีฟเข้ากระบวนการกัดร่องดังภาพที่ 3.6 เสร็จเรียบร้อยแล้วนำสลีฟบรรจุลงถาดดังเดิม เพื่อไปทำการวิเคราะห์ค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องในขั้นตอนต่อไป

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าความลึก (Depth) และอัตราส่วน (Ratio) ของร่อง

ค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องเป็นตัวควบคุมของเหลวภายในสลีฟ ขณะที่สปินเดิลมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบสูง จึงเป็นค่าที่มีความสำคัญต่อการยกตัวและหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ สำหรับกระบวนการกัดร่องค่าความลึกและอัตราส่วนของจึงเป็นค่าหนึ่งในการกำหนดสภาวะของกระบวนการ โดยค่าความลึกของร่องเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณในการกัดโลหะออกจากผิวของสลีฟมากน้อยเพียงใด หากค่าความลึกของร่องมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อค่ายกตัวการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ ส่วนค่าอัตราส่วนของร่องเป็นค่าที่บอกถึงสัดส่วนความกว้างของร่องมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของแรงดันของเหลวภายในสปินเดิลมอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.7 เป็นการแสดงการวัดค่าความลึกและอัตราส่วนของร่อง โดยค่าความลึกของร่องที่ดีที่สุดต้องมีค่าเท่ากับ 10 ไมครอน และอัตราส่วนของร่องต้องมีค่าเท่ากับ 1

สำหรับการวัดค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องในกระบวนการผลิตปัจจุบันจะใช้เครื่องที่เรียกว่า “เครื่องตรวจสอบองค์ประกอบของร่อง (Groove Configuration Check)” ซึ่งเป็นเครื่องวัดมาตรฐานที่บริษัทกำหนดขึ้นดังภาพที่ 3.9 และหลักการ (Method) ในการวัดค่าความลึกและอัตราส่วนของร่อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 3.7

การวัดค่าความลึกและอัตราส่วนของร่อง

1. คำนวณหาค่าความลึก (Depth) ของร่องด้วยสูตร

$$Depth = Max - Min$$

และ

$$Depth_{Avg} = \sum_{i=1}^{n} \frac{D_i}{n}$$

$Depth_{Avg}$	คือ	ค่าความลึกเฉลี่ย
D	คือ	ค่าความลึกในแต่ละร่อง
n	คือ	จำนวนของร่อง

2. คำนวณหาอัตราส่วน (Ratio) ของร่องด้วยสูตร

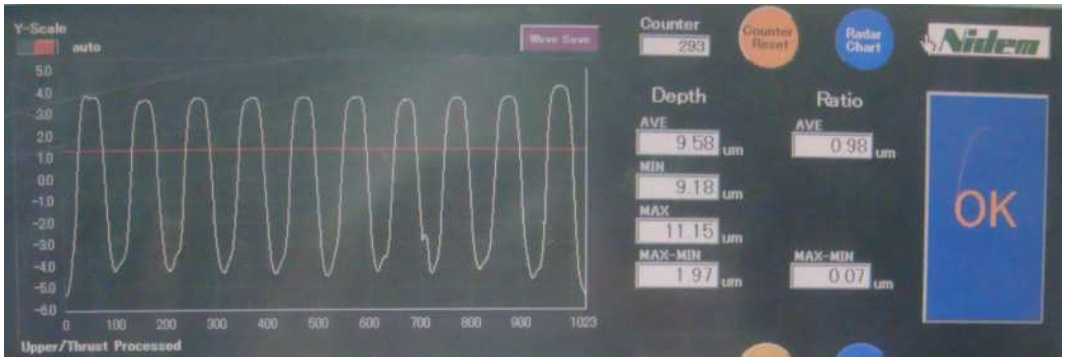
$$Ratio = \frac{Hill}{Groove}$$

และ

$$Ratio_{Avg} = \sum_{i=1}^{n} \frac{R_i}{n}$$

$Ratio_{Avg}$	คือ	ค่าอัตราส่วนเฉลี่ย
R	คือ	ค่าอัตราส่วนในแต่ละร่อง
n	คือ	จำนวนของร่อง

ค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องที่วัดได้จากเครื่องตรวจสอบองค์ประกอบของร่องจะคำนวณออกมาเป็นค่าเฉลี่ยดังภาพที่ 3.8 ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าในการศึกษาวิจัยจะใช้ค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องเฉลี่ยเป็นสำคัญ



ภาพที่ 3.8
กราฟการคำนวณค่าความลึกและอัตราส่วนของร่องเฉลี่ย

โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนั้นได้รับการสอบเทียบมาตรฐานและมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ โดยกำหนดให้ดำเนินการทดลองที่เครื่องเดิมตลอดทั้งการวิจัย ซึ่งได้แก่ เครื่องกัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าและเครื่องตรวจสอบองค์ประกอบของร่องเพื่อลดความแปรปรวนจากเครื่องจักรและอุปกรณ์

ภาพที่ 3.9
เครื่องตรวจสอบองค์ประกอบของร่อง

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปชื่อ Minitab Version 14.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลจากการออกแบบการทดลอง โดยในการวิจัยนี้จะกำหนดช่วงความเชื่อมั่นไว้ที่ 95% หรือกำหนดค่า α เท่ากับ 0.05

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Model Adequacy Checking) จะประกอบด้วยการตรวจสอบต่างๆ ดังนี้

1. การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ เพื่อตรวจสอบความเป็นปกติของการกระจายตัวข้อมูล

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

ซึ่งมีสมมุติฐานว่ารูปแบบของส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \approx NID\left(0,\sigma^2\right)$ คือ ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติและมีความเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือ σ^2 มีค่าคงตัว จึงจะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องเชื่อถือได้