บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัยและแผนดำเนินงานค้นคว้า

ในการวิจัยเรื่องการปรับปรุงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรท มีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คัดเลือกปัจจัยของกระบวนการชุบที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรท โดยใช้วิธีทางสถิติในการตรวจสอบสมมติฐาน

ขั้นตอนที่ 2 นำปัจจัยของกระบวนการชุบที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางดิสค์มาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลเต็มรูป โดยใช้ Minitab version 15

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดแบบสุ่ม

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัยร่วม

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรหลักแต่ละตัวแปร และอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัยร่วมด้วยวิธีทางสถิติแบบ ANOVA และทำการตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยยะสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดซับสเตรททิ้ง

ขั้นตอนที่ 7 สร้างสมการถดถอยหลังจากตัดตัวแปรหลักและอันตรกิริยาที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทและยืนยันผลที่จุดกึ่งกลางของแต่ละปัจจัยจากสมการถดถอยที่ได้เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

ขั้นตอนที่ 8 ใช้สมการถดถอยที่ได้มาพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและกำหนดช่วงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางป้อนเข้าในแต่ละช่วงการใช้งานของกระบวนการชุบและปรับใช้ในกระบวนการ

ขั้นตอนที่ 9 สรุปผลการดำเนินงาน

คำจัดกัดความ ขนาดการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทคือ ผลต่างระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทหลังการชุบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทก่อนการชุบ ซึ่งต่อไปนี้จะใช้คำว่า $\triangle D$ เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ

3.1 คัดเลือกปัจจัยของกระบวนการชุบ

การคัดเลือกปัจจัยของกระบวนการชุบเพื่อนำมานำการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลเต็มรูปนั้น ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะได้ทำการนำข้อมูลประวัติการผลิตที่ผ่านมา มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลการทดลอง ข้อมูลการใช้งาน และข้อมูลการประเมินต่าง ๆ ที่มีอยู่ก่อนหน้า โดยนำมาสร้างสมมติฐานทางสถิติเพื่อตรวจสอบ โดยครั้งนี้จะนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทเปรียบเทียบกับปัจจัยต่าง ๆ ของกระบวนการ โดยจะตั้งสมมติฐานการตรวจสอบด้วย Student t-Test หรือ ANOVA

สมมติฐานที่ใช้ในการตรวจสอบว่าปัจจัยใด ๆ ที่นำมาวิเคราะห์จะตั้งไว้ดังนี้

กรณี Student t-Test ในการตรวจสอบสมมติฐาน

สมมติฐานหลัก H_0: $\mu_1 = \mu_2$

สมมติฐานทางเลือก H_1: $\mu_1 \neq \mu_2$

กรณี ANOVA ในการตรวจสอบสมมติฐาน

สมมติฐานหลัก H_0: ไม่มีปัจจัยใด ๆ ที่มีความแตกต่างจากปัจจัยใดปัจยหนึ่งอย่างมีนัยยะสำคัญ

สมมติฐานรอง H_1: มีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง ที่มีความแตกต่างจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอย่างมีนัยยะสำคัญ

โดยทั้งในกรณีใช้ Student t-Test และกรณีใช้ ANOVA ในการตรวจสอบสมมติฐานนั้น จะใช้ค่า p-Value ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่มากกว่าหรือเท่ากับ 95% เป็น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตัวเลขตัดสินใจ เพื่อยืนยันว่าค่า t ที่ได้จาก Student t-Test หรือ ค่า F ที่ได้จาก ANOVA นั้นอยู่นอกจุดวิกฤต (Critical Point) หรือไม่

ปัจจัยของกระบวนการชุบที่สามารถตรวจสอบประวัติการผลิต การทดลอง และสามารถนำมาตรวจสอบสมมติฐานได้มีดังนี้

1. ตัวแปร B ในการชุบแข็ง
2. ตัวแปร C ในการชุบแข็ง
3. ตัวแปร D ในการชุบแข็ง

ตรวจสอบสมมติฐานที่ 1 ว่าตัวแปร B ในการชุบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลาสซับสเตรทหรือไม่

H_0: $\triangle D$ (ตัวแปร B ค่าที่1) = $\triangle D$(ตัวแปร B ค่าที่2)

H_1: $\triangle D$ (ตัวแปร B ค่าที่1) $\neq \triangle D$ (ตัวแปร B ค่าที่2)

ตรวจสอบสมมติฐานที่ 2 ว่าตัวแปร C ในการชุบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลาสซับสเตรทหรือไม่

H_0: $\triangle D$ (ตัวแปร C ค่าที่1) = $\triangle D$ (ตัวแปร C ค่าที่2)

H_1: $\triangle D$ (ตัวแปร C ค่าที่1) $\neq \triangle D$ (ตัวแปร C ค่าที่2)

ตรวจสอบสมมติฐานที่ 3 ว่าตัวแปร D มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลาสซับสเตรทหรือไม่

H_0: $\triangle D$ (ตัวแปร D ค่าที่ 1) = $\triangle D$ (ตัวแปร D ค่าที่ 2)

H_1: $\triangle D$ (ตัวแปร D ค่าที่ 1) $\neq \triangle D$ (ตัวแปร D ค่าที่ 2)

3.2 ออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลเต็มรูป 2^4

นำปัจจัยของกระบวนการชุบที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางดิสค์ และที่สามารถทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ได้ มาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลเต็มรูป 2^4 โดยใช้ Minitab version 15

ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยที่ตรวจสอบทั้งหมดทั้งที่มีอิทธิพลและไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทมาทำการวางแผนการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลเต็มรูป ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้นำปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัยคือ ตัวแปร A ตัวแปร B ตัวแปร C และตัวแปร D ของกระบวนการชุบ มาทำการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป 2^4 ดังนั้นจำนวนเงื่อนไขในการทดลองจะมีทั้งหมด 2^4 การทดลอง หรือทั้งหมด 16 การทดลอง และเพื่อป้องกันผลกระทบจากความต่อเนื่องทางธรรมชาติของข้อมูลจึงจะทำการทดลองปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองแบบสุ่ม

ซึ่งแต่ละปัจจัยการผลิตที่ถูกเลือกมาทำการออกแบบการทดลองนั้น จะนำค่าปรับตั้งต่ำสุดและค่าปรับตั้งสูงสุด มาทำการระบุในโปรแกรม Minitab เพื่อทำการระบุเงื่อนไขในการทดลองที่แตกต่างกันออกไป และครอบคลุมทุก ๆ เงื่อนไขการผลิตที่สามารถเป็นไปได้จากปัจจัยการผลิตที่มีทั้งหมด 4 ปัจจัย ซึ่งแสดงดังตาราง 3.1

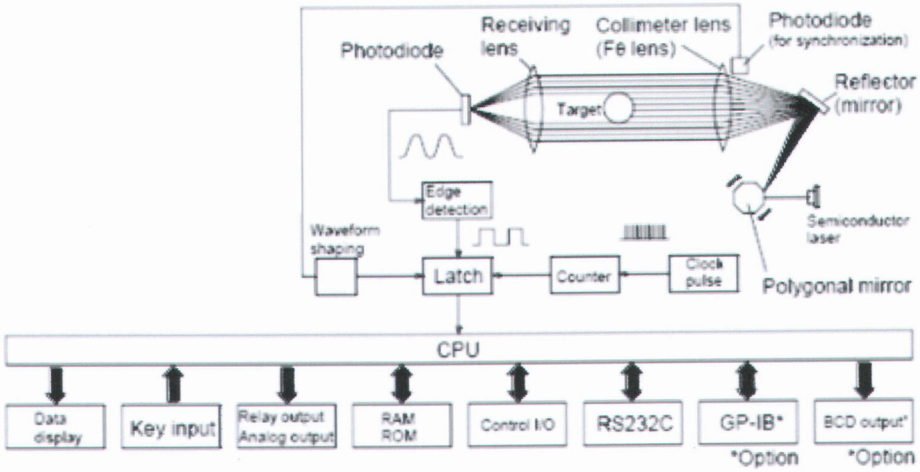
ในที่นี้ เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย ผู้วิจัยจะปรับเปลี่ยนค่าปรับตั้งแต่ละปัจจัยให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน หรือ Coded unit เพื่อป้องกันความสับสน หรือความแตกต่างของหน่วยที่แตกต่างกันของแต่ละปัจจัยโดยให้ ค่าปรับตั้งต่ำสุด คือ (-1) และให้ ค่าปรับตั้งสูงสุด คือ (+1) หรือ (1)

ตาราง 3.1 แสดงเงื่อนไขทั้งหมดในการทดลองแบบแฟคตอเรียลเต็มรูป 2^4 แบบสุ่ม

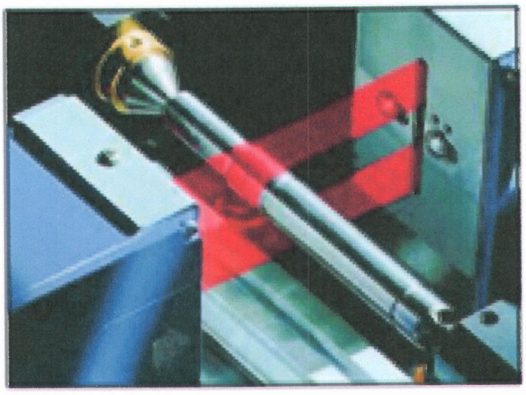
ลำดับมาตรฐาน	ลำดับการทดลอง	จุดกึ่งกลาง	บล็อกที่	ตัวแปร A	ตัวแปร B	ตัวแปร C	ตัวแปร D
2	1	1	1	1	-1	-1	-1
8	2	1	1	1	1	1	-1
12	3	1	1	1	1	-1	1
1	4	1	1	-1	-1	-1	-1
3	5	1	1	-1	1	-1	-1
16	6	1	1	1	1	1	1
4	7	1	1	1	1	-1	-1
14	8	1	1	1	-1	1	1
5	9	1	1	-1	-1	1	-1
7	10	1	1	-1	1	1	-1
9	11	1	1	-1	-1	-1	1
11	12	1	1	-1	1	-1	1
6	13	1	1	1	-1	1	-1
13	14	1	1	-1	-1	1	1
15	15	1	1	-1	1	1	1
10	16	1	1	1	-1	-1	1

3.3 ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดแบบสุ่ม

การบันทึกผลการทดลองขนาดการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทคือผลต่างระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทหลังการชุบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาสซับสเตรทก่อนการชุบ ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเลเซอร์ ดังรูป 3.1 และ 3.2



รูป 3.1 ระบบเทียบเคียง เครื่องวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางซับสเตรท



รูป 3.2 ภาพเทียบเคียง เครื่องวัดขนาดเส้นผ่านศูย์กลางซับสเตรท

ขั้นตอนการทดลองแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมพร้อมโดยเตรียมกลาสซับสเตรทก่อนกระบวนการชุบ 25 ตัวอย่างต่อเงื่อนไข รวมทั้งหมด 16 เงื่อนไข แล้วทำการบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไว้แบบแผ่นต่อแผ่น โดยมีขั้นตอนการจัดเก็บที่ชัดเจน เพื่อป้องกันการสลับเปลี่ยนของกลาสซับสเตรทกลุ่มตัวอย่าง

3.2.2 เตรียมเงื่อนไขการผลิตจัดเตรียมเครื่องชุบและปรับตั้งเงื่อนไขการชุบตามตารางการออกแบบการทดลองแบบสุ่มตามลำดับ

3.2.3 นำกลาสซับสเตรทกลุ่มตัวอย่าง 25 ตัวอย่าง ผ่านกระบวนการชุบแข็ง โดยทำซ้ำขั้นตอนที่ 3.2.2 และ 3.2.3 ซ้ำจนครบทั้ง 16 เงื่อนไขการผลิต

3.2.4 ตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลาสซับสเตรททั้ง 25 ตัวอย่าง ทุก ๆ เงื่อนไขการผลิต แล้วทำการบันทึกค่าแบบแผ่นต่อแผ่นเช่นเดิม

3.2.5 คำนวนผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลาสซับสเตรทแบบแผ่นต่อแผ่น แล้วทำการบันทึกผล โดยทำเช่นเดียวกันจนครบทั้ง 16 เงื่อนไข

3.2.6 บันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตาราง Minitab ที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้าเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.4 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัยร่วม

ทำการตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัยร่วมแบบคร่าว ๆ โดยการทำสร้างกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) และกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction Plot) โดยตรวจสอบดูว่าปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมของการชุบแข็งใดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลาสซับสเตรท

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล

ทำสร้างวิเคราะห์ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล (Analyze Factorial Design) เพื่อตรวจสอบนัยยะสำคัญของอิทธิพลของแต่ละตัวแปรหลัก และอันตรกิริยา

ของแต่ละปัจจัยร่วมโดยขั้นตอนนี้สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบระดับความรุนแรงของอิทธิพล (Effect) ของแต่ละปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมโดยตรงได้ เพราะเป็นการวิเคราะห์แบบใส่รหัส หรือ Coded Units โดยที่ระดับความรุนแรงของอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีตัวเลขค่าสมบูรณ์ (Absolute) ที่มากที่สุด คือปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดซับสเตรทมากที่สุด

3.6 ตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรหลักแต่ละตัว และอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัยร่วม

ตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรหลักแต่ละตัวแปร และอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัยร่วมด้วยวิธีทางสถิติแบบ Student t-Test และทำการตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยยะสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดซับสเตรททิ้ง โดยใช้พาเรโต้มาช่วยในการพิจารณาระดับของอิทธิพล โดยทำการตัดตัวแปรร่วมที่ไม่มีนัยยะสำคัญออกก่อนทีละตัวแปรจนกระทั่งเหลือเฉพาะตัวแปรที่มีอิทธิพลแบบมีนัยยะสำคัญโดยพิจารณาจากค่า t (ยกเว้นจะไม่ตัดตัวแปรหลักที่ไม่มีนัยยะต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดซับสเตรท แต่ตัวแปรร่วมของตัวแปรหลักนั้น ๆ มีนัยยะต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดซับสเตรท)

3.7 สร้างสมการถดถอยท้ายสุดแบบหลายตัวแปร (Final Multiple Regression Model)

สร้างสมการถดถอยหลังจากตัดตัวแปรหลักและอันตรกิริยาที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางซับสเตรท

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j$$

เนื่องจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลเต็มรูปที่นำมาออกแบบนั้น สร้างมาจากปัจจัยที่เลือกมาจากค่าปรับตั้งต่ำสุด และค่าปรับตั้งสูงสุด ดังนั้นเพื่อยืนยันความถูกต้องของสมการที่ได้ หรือเพื่อยืนยันว่ากระบวนการจริงมีลักษณะเป็นแบบพื้นผิวเรียบเหมือนกับสมการหรือไม่นั้น จงจำเป็นต้องทำการทดลองจริงเพื่อตรวจสอบซ้ำที่จุดกึ่งกลางของค่าปรับตั้งของทุก ๆ ปัจจัยค่าค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของซับสเตรทนั้นจะแตกต่างจากค่าที่ได้จากใช้ Minitab คำนวนจากสมการที่ได้โดยใช้คำสั่งเครื่องมือหาค่าที่ดีที่สุด (Response Optimizer) หรือไม่ โดยนำค่าที่ได้จาก Minitab มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง 25 ข้อมูล (ซึ่งได้มาจากการทดลองตาม

ขั้นตอนที่ 3.2) มาทดสอบด้วย Student t-Test แบบ One Sample-t โดยตั้งสมมติฐานการตรวจสอบไว้ดังนี้

สมมติฐานหลัก H_0: ค่าที่ได้จากสมการมีค่าไม่แตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลองจริง

สมมติฐานทางเลือก H_1: ค่าที่ได้จากสมการมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลองจริง

โดยถ้าค่า p-Value ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.05 จะถือได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองจริงนั้นมีค่าที่ไม่แตกต่างจากค่าที่ได้จากสมการถดถอยแบบหลายตัวแปร หรือหมายความว่าสมการที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปนั้นมีลักษณะเป็นพื้นผิวเรียบจริง แต่กรณีที่ค่า p-Value ที่ได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 จะถือได้ว่าค่าที่ได้จากสมการมีค่าที่แตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลองจริง หรือหมายความว่า กระบวนการชุบแข็งเองนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดซับสเตรทแบบพื้นผิวโค้ง

3.8 พยากรณ์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของซับสเตรทจากสมการถดถอย

ใช้สมการถดถอยที่ได้มาพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และกำหนดช่วงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางป้อนเข้าในแต่ละช่วงการใช้งานของกระบวนการชุบ และปรับใช้ในกระบวนการ โดยทำการปรับเปลี่ยนระบบการป้อนกลับข้อมูลของกระบวนการชุบแข็งใหม่ จากการป้อนกลับโดยใช้ข้อมูลขนาดซับสเตรทท้ายสุดของกระบวนการ มาเป็นการป้อนกลับข้อมูลการปริมาณการเปลี่ยนแปลงขนาดของซับสเตรท ณ ขณะนั้น ๆ โดยการพยากรณ์ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของขนาดซับสเตรท ณ ค่าความเข้มข้นของลิเที่ยมที่กระบวนการชุบแข็งมีอยู่แทน