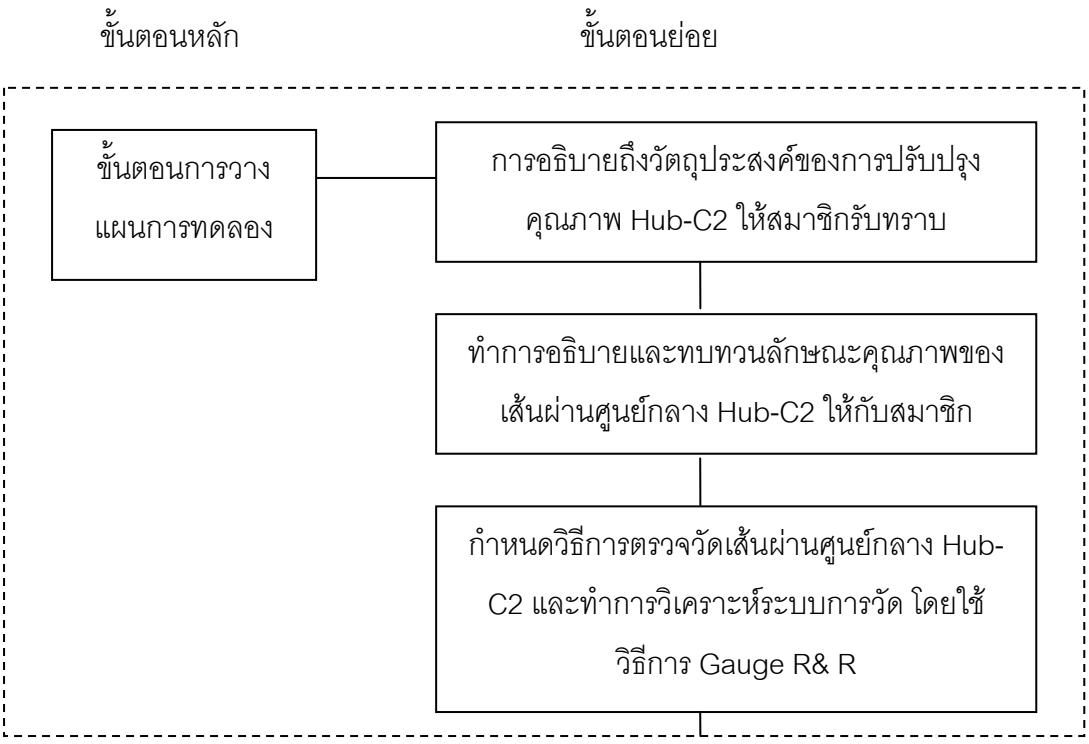
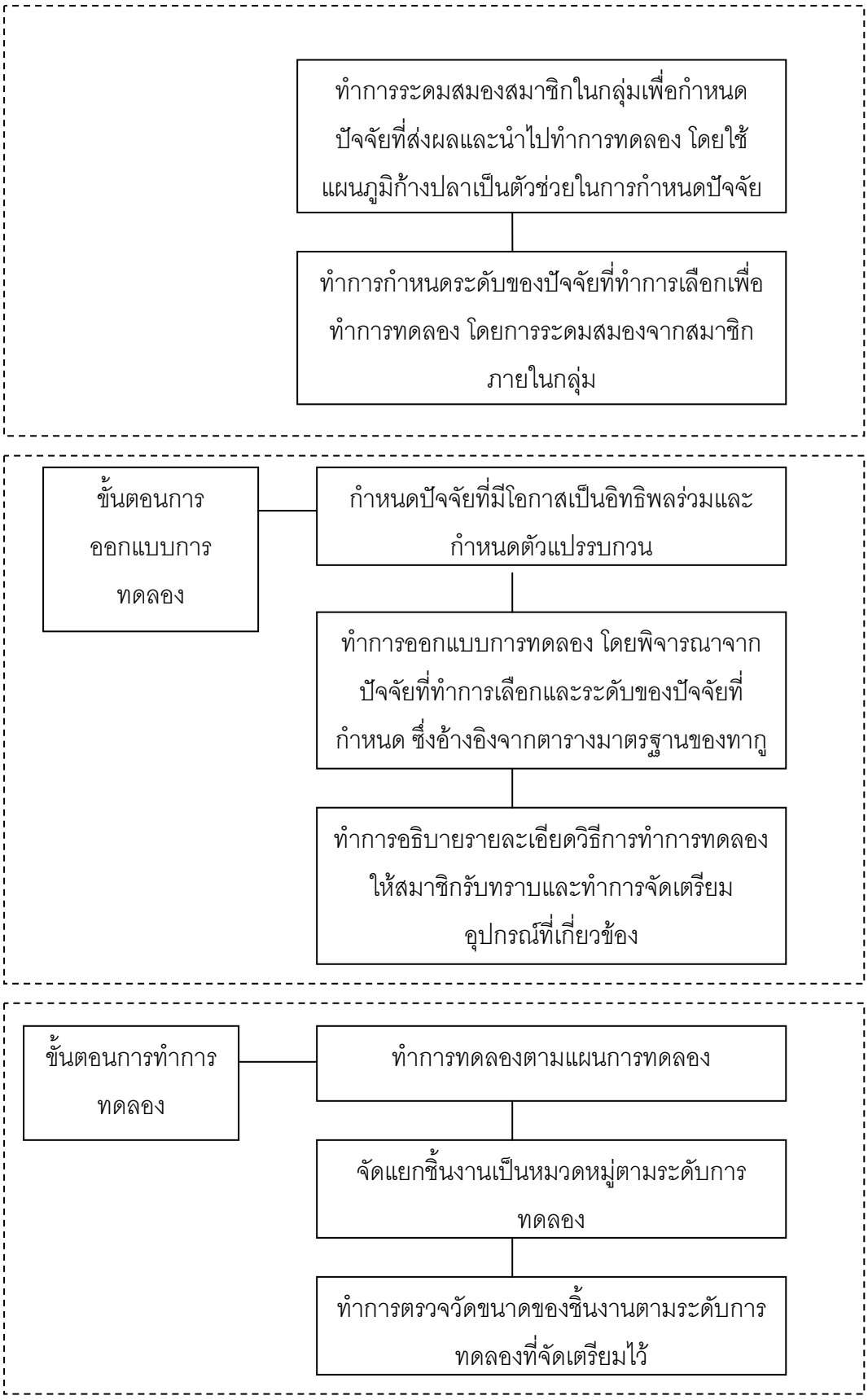
บทที่ 4

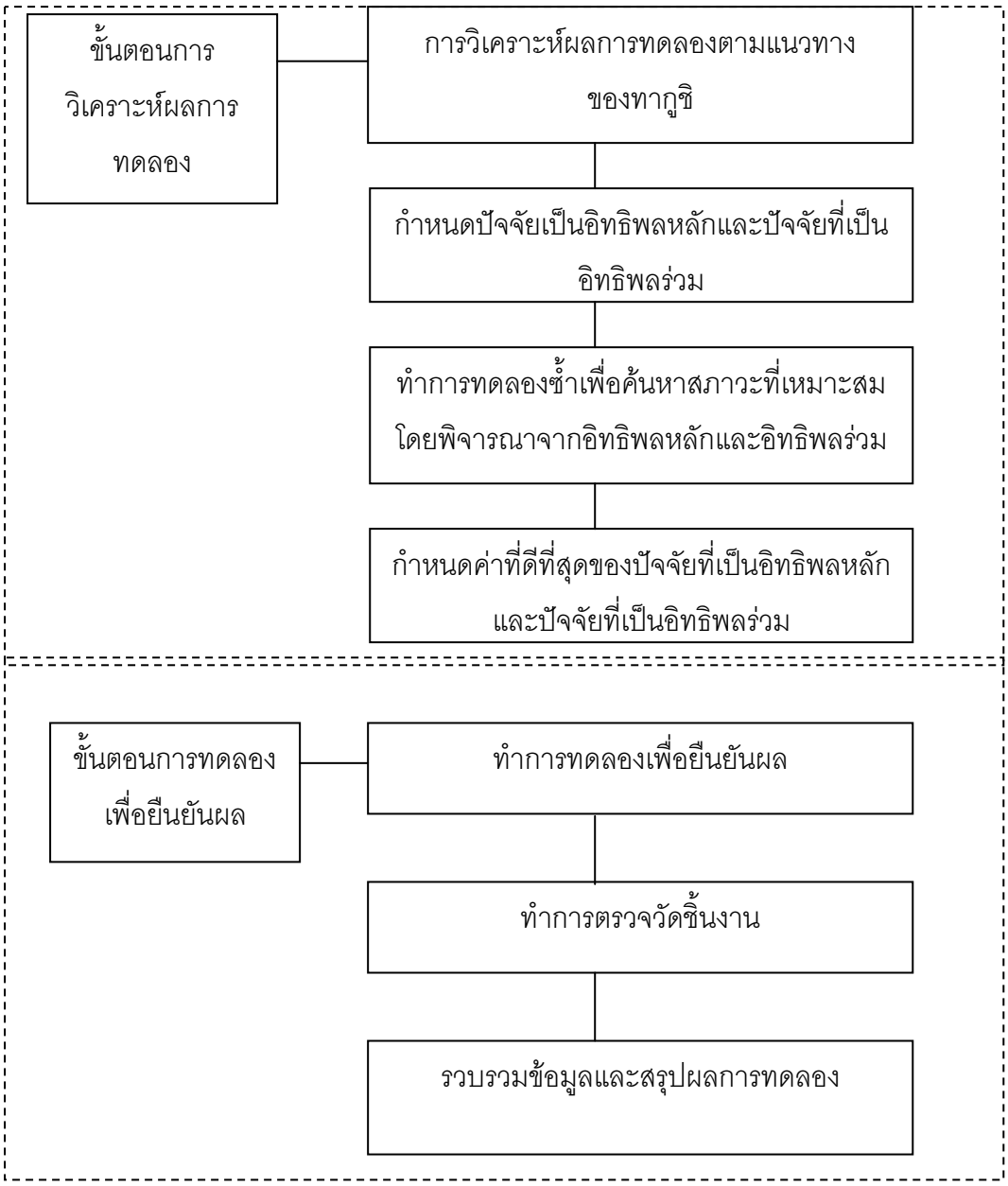
วิธีการดำเนินการวิจัย

ผลงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 เพื่อทำการออกแบบการทดลอง เทคนิคหรือวิธีการในการคัดสรรปัจจัยของกระบวนการฉีดพลาสติกนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วผู้วิจัยได้ทำการหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์หลังจากการฉีดมีลักษณะข้อบกพร่องคือมีครีบยื่นออกมาภายนอกตัวชิ้นงาน ซึ่งลักษณะของข้อบกพร่องดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการสรุปลักษณะดังกล่าวเกิดจากการกำหนดแรงดันในการฉีดที่ไม่เหมาะสมแต่ในกรณีที่ลักษณะข้อบกพร่องมีความซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดปัจจัยตัวใดตัวหนึ่งหรือบางครั้ง อาจจะเกิดปัจจัยหลายๆ ปัจจัยรวมกัน ดังนั้นในกรณีดังกล่าวนี้จึงจำเป็นจะต้องทำการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะข้อบกพร่องนั้นๆ

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอนหลัก ซึ่งอิงตามแนวทางและวิธีการของทากูชิโดยแสดงเป็นแผนผังลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้




ทำการระดมสมองสมาชิกในกลุ่มเพื่อกำหนดปัจจัยที่ส่งผลและนำไปทำการทดลอง โดยใช้แผนภูมิก้างปลาเป็นตัวช่วยในการกำหนดปัจจัย
ทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่ทำการเลือกเพื่อทำการทดลอง โดยการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม
ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง
กำหนดปัจจัยที่มีโอกาสเป็นอิทธิพลร่วมและกำหนดตัวแปรรบกวน
ทำการออกแบบการทดลอง โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ทำการเลือกและระดับของปัจจัยที่กำหนด ซึ่งอ้างอิงจากตารางมาตรฐานของทากู
ทำการอธิบายรายละเอียดวิธีการทำการทดลองให้สมาชิกรับทราบและทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
ขั้นตอนการทำการทดลอง
ทำการทดลองตามแผนการทดลอง
จัดแยกชิ้นงานเป็นหมวดหมู่ตามระดับการทดลอง
ทำการตรวจวัดขนาดของชิ้นงานตามระดับการทดลองที่จัดเตรียมไว้



เครื่องมือที่สมาชิกในทีมใช้ในการระดมความคิดคือแผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่ยังใช้งานได้และไม่ล้าสมัยและยังสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ครบถ้วนซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้จะแสดงวิธีการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลง Hub-C2 ด้วยแผนภูมิก้างปลา โดยอาศัยข้อมูลจากการระดมความคิดรวมถึงประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการฉีดพลาสติก

4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความแปรปรวนของกระบวนการฉีดพลาสติก

ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดความแปรปรวนในกระบวนการฉีดพลาสติกนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทหลักคือ

1) ความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็ว (Speed related process variables)
2) ความแปรปรวนที่เกิดจากความดัน (Pressure related process variables)
3) ความแปรปรวนที่เกิดจากเวลา (Time related process variables)
4) ความแปรปรวนที่เกิดจากอุณหภูมิ (Temperature related process variables)
5) ความแปรปรวนที่เกิดจากการเคลื่อนที่และระยะทาง (Stroke related process variables)

จากปัจจัยหลักๆ ทั้ง 5 ประเภทที่ได้กล่าวมาในข้างต้นที่เกี่ยวข้องและอาจส่งผลกระทบทำให้เกิดความแปรปรวนต่อกระบวนการฉีดพลาสติกและหากพิจารณาโดยละเอียดแล้วปัจจัยแต่ละตัวจะมีลักษณะความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ตัวอย่างเช่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิการหลอมไหล ซึ่งการปรับเปลี่ยนจะส่งผลให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่เป็นเวลาของความดันฉีดแช่และต้องเปลี่ยนความดันที่ใช้ฉีดตามไปด้วย ซึ่งถ้าไม่มีการเปลี่ยนปัจจัยที่สัมพันธ์กันอาจจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความผิดปกติหรือมีข้อบกพร่องเกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในช่วงเวลาการออกแบบแม่พิมพ์และช่วงของการทดลองผลิตที่จะต้องค้นหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นภาพโดยเฉพาะปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยแต่ละปัจจัยในช่วงทดลองการผลิตหรือตอนเริ่มต้นการผลิตได้ดีแล้วก็ตาม ความแปรปรวนก็อาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อเวลาผ่านไปหรือมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงปัจจัยบางอย่างโดยไม่คำนึงว่าปัจจัยนั้นๆ มีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ อย่างไร

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดและปัจจัยปลีกย่อยของ 5 ปัจจัยหลักที่ส่งผลหรือเกี่ยวข้องกับความแปรปรวนต่อกระบวนการฉีดพลาสติก

อุณหภูมิ (Temperature)	**เวลา** (Times)	**ความเร็ว** (Speed)	**ความดัน** (Pressure)	**ระยะทาง** (Stroke)
● อุณหภูมิหลอมไหล (Melt Temperature) ● อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) ● อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) ● อุณหภูมิของเม็ดพลาสติก (Material Temperature) ● อุณหภูมิของสภาพอากาศ (Environment) ● อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิก (Oil Temperature)	● เวลาในการปลดชิ้นงาน (Ejection time) ● เวลาในการปิดแม่พิมพ์ (Mold close time) ● เวลาในการเปิดแม่พิมพ์ (Mold open time) ● เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) ● เวลาทั้งหมดในการฉีด (Cycle time) ● เวลาของการฉีดแช่ (Hold time)	● ความเร็วในการฉีด (Injection speed) ● ความเร็วของสกรู (Screw speed) ● ความเร็วในการปิดแม่พิมพ์ (Mold close speed) ● ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ (Mold open speed) ● ความเร็วในการถอดของสกรู (Screw return speed) ● ความเร็วในการปลดชิ้นงาน (Ejection speed)	● ความดันฉีดแช่ (Holding pressure) ● ความดันฉีด (Injection pressure) ● ความดันในการปลดชิ้นงาน (Ejection pressure) ● ความดันที่หัวฉีด (Nozzle pressure)	● ระยะของสกรู (Screw stroke) ● ระยะการเปิดแม่พิมพ์ (Mold open stroke) ● Position ● Change over

4.1.1 ความเร็วกับความแปรปรวนของกระบวนการฉีดพลาสติก (Speed related process variables)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ซึ่งจำแนกปัจจัยย่อยของความเร็วซึ่งเกี่ยวข้องและส่งผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งสามารถแจกแจงและอธิบายปัจจัยที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อกระบวนการได้ดังนี้

4.1.1.1 ความเร็วในการปิด-เปิดแม่พิมพ์กับความแปรปรวน (Mold opening and closing speed)

โดยปกติความเร็วในการปิด-เปิดแม่พิมพ์สามารถที่จะเลือกใช้ให้มีความแตกต่างกันได้ระหว่างความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์และปิด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ โดยส่วนใหญ่ความเร็วประเภทนี้จะไม่ส่งผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการมากนัก ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเป็นความแปรปรวนที่สามารถควบคุมได้

4.1.1.2 ความเร็วในการฉีดกับความแปรปรวน (Injection speed)

ความเร็วในการฉีดคือความเร็วที่เป็นเส้นตรงซึ่งใช้ในการฉีดขับเคลื่อนพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งความเร็วฉีดที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ วัสดุที่ใช้ในการฉีดว่าเป็นพลาสติกประเภทใด รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์ว่ามีความแข็งแรงเพียงใด อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของพลาสติกที่เป็นของเหลวจะขึ้นอยู่กับความพอเพียงหรือการคงไว้ของความดันในขณะที่ฉีดกล่าวคือจะต้องกำหนดความดันในการฉีดให้เหมาะสม ณ ความเร็วฉีดใดๆ

ความเร็วในการฉีดถือได้ว่าเป็นปฐมปัจจัยที่มีความสำคัญมากในวัฐจักรของกระบวนการฉีด ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าสามารถที่จะผลิตเครื่องจักรที่มีความทันสมัย ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวนี้ให้ผิดเพี้ยนน้อยที่สุด ซึ่งสามารถถือได้ว่าเป็นความแปรปรวนที่สามารถควบคุมได้

4.1.2 ความดันกับความแปรปรวนของกระบวนการฉีดพลาสติก (Pressure related process variables)

ความดันถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งความดันที่ถูกต้องเหมาะสมและคงที่จะเป็นสิ่งสำคัญต่อคุณภาพของชิ้นงาน หากพิจารณาจากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยย่อยๆ หลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความดัน ซึ่งมีผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการโดยที่ปัจจัยสำคัญและมีอิทธิพลต่อกระบวนการสามารถแสดงรายละเอียดดังนี้

4.1.2.1 ความดันฉีดกับความแปรปรวน (Injection pressure)

ความดันฉีดที่ถูกต้องและเหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาและคงไว้ซึ่งการเติมพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ค่าของความดันจัดได้ว่าเป็นความแปรปรวนชนิดที่เป็นผลกระทบจากปัจจัยอื่น ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิการหลอมไหลของพลาสติกใดๆ จะส่งผลต่อค่าความดันฉีดหรือค่าความหนืดของพลาสติก รวมถึงอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นผลกระทบต่อค่าความดันฉีดให้เกิดความแปรปรวน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าความดันฉีดเป็นความแปรปรวนชนิดที่เป็นผลกระทบจากปัจจัยอื่น

4.1.2.2 ความดันฉีดแช่กับความแปรปรวน (Holding pressure)

ความดันฉีดแช่จำเป็นจะต้องใช้ทุกครั้งหลังจากมีการฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันใดที่เหมาะสม วัตถุประสงค์หลักที่จำเป็นจะต้องมีความดันฉีดแช่ภายหลังการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์คือต้องการให้ชิ้นงานรักษาสภาพโดยเฉพาะภาพร่างให้เป็นไปตามขนาดมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งค่าความดันฉีดแช่โดยรวมจะมีผลโดยตรงต่อขนาดภาพร่างและสภาพภายนอกของชิ้นงาน ดังนั้นค่าความดันฉีดแช่ที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นต่อคุณภาพชิ้นงาน การควบคุมค่าความแปรปรวนของความดันฉีดแช่ ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายความดันของเครื่องพลาสติกซึ่งจัดอยู่ในประเภทความแปรปรวนที่ควบคุมได้

4.1.3 <u>เวลากับความแปรปรวนของกระบวนการฉีดพลาสติก (Time Related Process Variables)</u>

เวลากับวัฏจักรของกระบวนการฉีดพลาสติกเป็นสิ่งที่สัมพันธ์กันอย่างยิ่งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยใดๆ ของกระบวนการสิ่งที่ต้องคำนึงอยู่เสมอคือเวลากล่าวอีกนัยหนึ่งคือระยะเวลาในหนึ่งรอบหรือหนึ่งวัฏจักรนั้นจะส่งต่อผลิตผล (Productivity) โดยรวมในเชิงทฤษฎีของกระบวนการฉีดพลาสติกนั้นจะต้องใช้เวลาในหนึ่งวัฏจักรให้น้อยที่สุดและสามารถผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพดีเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการแต่ในเชิงปฏิบัติมีปัจจัยและสาเหตุหลายประการที่ส่งผลให้เวลาต่อวัฏจักรยาวนานขึ้น ซึ่งหากพิจารณาจากตารางที่ 4.1 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาอยู่หลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการซึ่งมีรายระเอียดดังต่อไปนี้

4.1.3.1 เวลาในการฉีดกับความแปรปรวน (Injection Time)

เวลาในการฉีดจะเริ่มนับตั้งแต่สกรูมีการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าจนถึงจุดที่จะต้องทำการฉีดแช่ซึ่งเวลาทั้งหมดจะใช้ในการฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ซึ่งพลาสติกที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ในช่วงเวลานี้คิดเป็นปริมาณร้อยละ 95 ถึง 98 ของปริมาณพลาสติกทั้งหมดในหนึ่งวัฏจักร ดังนั้น

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดแต่จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัยด้วยกันตัวอย่างเช่น ความเร็วที่ใช้ฉีดค่าความหนืดของพลาสติกรวมทั้งขนาดของเกลหรือทางเข้าของพลาสติกในแม่พิมพ์ก็ส่งผลต่อเวลาในการฉีด ดังนั้น กล่าวโดยสรุปได้ว่าเวลาในการฉีดเป็นความแปรปรวนชนิดที่มีผลกระทบต่อปัจจัยอื่น

4.1.3.2 เวลาในการฉีดแช่กับความแปรปรวน (Holding Time)

เวลาในการฉีดแช่คือช่วงเวลาที่สกรูหยุดเคลื่อนที่และรักษาความดันเพื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะต้องการให้ชิ้นงานมีขนาดและภาพร่างเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งช่วงเวลาในการรักษาความดันฉีดแช่ไว้นั้นจะต้องสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่เกลของชิ้นงานกำลังจะเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกที่เป็นของเหลวไปเป็นของแข็ง เมื่อใดที่เกลของชิ้นงานเปลี่ยนสภาพไปเป็นของแข็งความดันฉีดแช่ก็จะไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ดังนั้นช่วงเวลาและระยะเวลาในการฉีดแช่นั้นเป็นสิ่งจำเป็นต่อวัฏจักรของกระบวนการฉีดพลาสติกและการจะพิจาราณาเวลาในการฉีดแช่ปัจจัยดังกล่าวจะถูกกำหนดขึ้นจากเวลารวมที่ใช้ฉีดในหนึ่งวัฏจักรและจัดอยู่ในความแปรปรวนชนิดที่ควบคุมได้

4.1.3.3 เวลาในการหล่อเย็นกับความแปรปรวน (Cooling Time)

ระยะเวลาในการเย็นตัวหรือการหล่อเย็นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการฉีดพลาสติก กล่าวคือเมื่อมีการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ซึ่งพลาสติกในภาวะของเหลวย่อมมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นขณะที่พลาสติกอยู่ในแม่พิมพ์จำเป็นจะต้องลดอุณหภูมิตัวเองลดเพื่อให้เปลี่ยนสถานะไปเป็นของแข็งและสามารถปลดตัวเองออกจากแม่พิมพ์ได้โดยปราศจากอาการบิดเบี้ยวหรือเสียภาพทรงของชิ้นงานความหนาของผนังชิ้นงานรวมถึงชนิดของพลาสติกที่ใช้หากพิจารณาในเชิงความแปรปรวนระยะเวลาในการหล่อเย็นจะเป็นความแปรปรวนชนิดที่ควบคุมได้

4.1.4 <u>อุณหภูมิกับความแปรปรวนของกระบวนการฉีดพลาสติก (Temperature Related Process Variables)</u>

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักอีกหนึ่งประการที่มีผลต่อคุณภาพต่อชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติก กล่าวคือ การควบคุมอุณหภูมิให้คงที่สำหรับกระบวนการฉีดใดๆย่อมส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณภาพที่สามารถที่ควบคุมได้หรือเบี่ยงเบนไปจากมาตรฐานน้อยที่สุด ซึ่งอุณหภูมิที่มีอิทธิพลและส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานสามารถจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

4.1.4.1 อุณหภูมิการหลอมไหลกับความแปรปรวน (Melt Temperature)

โดยปกติอุณหภูมิการหลอมไหลไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากกระบวนการแต่สามารถวัดอุณหภูมิการหลอมไหลโดยทางอ้อม คือทำการวัดอุณหภูมิที่กระบอกฉีดพลาสติก ค่าอุณหภูมิการหลอมไหลนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆประการด้วยกัน อย่างเช่น ค่าความเร็วของสกรูในแต่ละระดับจะส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิการหลอมไหลรวมถึงค่าอุณหภูมิของ Hopper ในแต่ละระดับก็สามารถส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมไหล ดังนั้น ค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิการหลอมไหลจัดอยู่ในประเภท ความแปรปรวนที่เกิดผลกระทบจากปัจจัยอื่น

4.1.4.2 อุณหภูมิของแม่พิมพ์กับความแปรปรวน (Mold Temperature)

อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัฏจักรของการฉีดนั้นย่อมมีความแปรปรวนอยู่เสมอเมื่อมีการฉีดพลาสติกที่เป็นของเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ในขณะที่พลาสติกที่มีอุณหภูมิสูงจะค่อยเย็นตัวลงและถ่ายเทความร้อนสู่ผิวของแม่พิมพ์ซึ่งปริมาณของความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปสู่ผิวแม่พิมพ์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกันเช่นอุณหภูมิของพลาสติกในขณะที่เป็นของเหลวหรือเวลาในการหล่อเย็น รวมถึงวงจรของระบบในการหล่อเย็น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อความแปรปรวนของอุณหภูมิของแม่พิมพ์ ดังนั้นความแปรปรวนของอุณหภูมิแม่พิมพ์จัดอยู่ในประเภทความแปรปรวนที่เกิดจากผลกระทบของปัจจัยอื่น

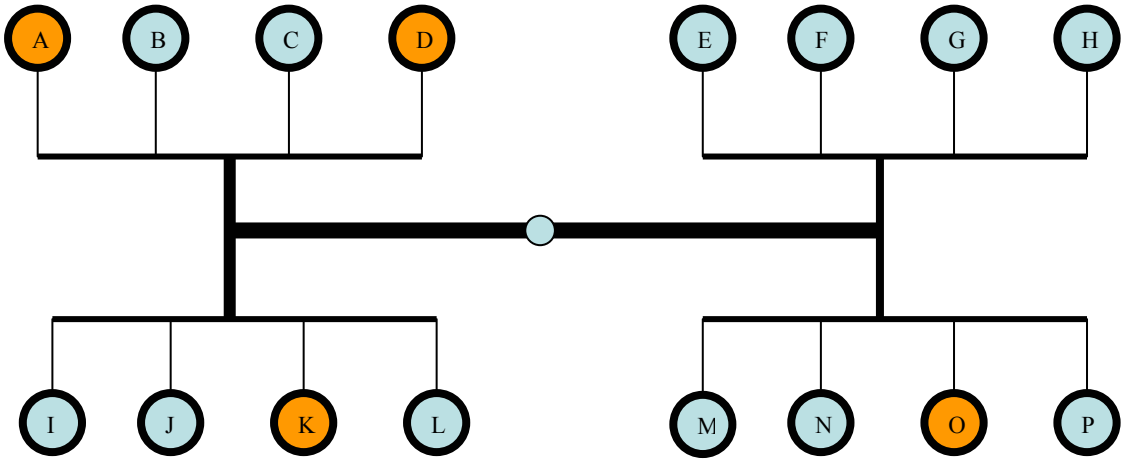
4.2 ข้อมูลด้านคุณภาพของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ Hub-C2

จากข้อมูลที่นำเสนอในข้างต้นซึ่งอธิบายลักษณะปัญหาคุณภาพของ Hub-C2 โดยที่สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นโดยประมาณ 8,675 ppmo ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นนั้นมีข้อมูลและที่มาจากการสุ่มตรวจสอบคุณภาพจากกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในระยะเวลา 1 เดือน โดยสามารถแจกแจงรายละเอียดวิธีการในการตรวจสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลได้ดังนี้

4.2.1 ระบบรันเนอร์ (Runner System) กับสภาวะการผลิตในปัจจุบันของ Hub-C2

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงระบบรันเนอร์ (Runner System) ของ Hub-C2 ที่ใช้ผลิตอยู่ในปัจจุบันซึ่งจากลักษณะของ Runner แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของแม่พิมพ์ของ Hub-C2 มีทั้งหมด 16 คาวิตี้ (cavity) ซึ่งในหนึ่งวัฏจักรของการฉีดสามารถผลิตชิ้นงานได้ 16 ชิ้นงาน แต่ในปัจจุบันพบว่าชิ้นงานที่ผลิตบางคาวิตี้ (cavity) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เป็นไปตามข้อกำหนดวิศวกรฝ่ายแม่พิมพ์จึงตัดสินใจอุดคาวิตี้ (cavity) ไว้บางคาวิตี้ (cavity) เพื่อป้องกันไม่ให้ของเสียเกิดขึ้นและง่ายในการควบคุมกระบวนการผลิตแต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีความแปรปรวนเกิดขึ้นภายหลังจากการอุดคาวิตี้ (cavity) ทั้ง 4 คาวิตี้ (cavity) คือคาวิตี้ (cavity) ที่ A, D, K, และ O

รวมถึงฝ่ายผลิตจะต้องเพิ่มเวลาผลิตให้มากขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตตามจำนวนที่ต้องการซึ่งโดยปกติแม่พิมพ์สามารถฉีดชิ้นงานได้ 16 ชิ้น ในหนึ่งวัฏจักร แต่ปัจจุบันสามารถผลิตได้เพียง 12 ชิ้นในหนึ่งวัฏจักร



ภาพที่ 4.1 ระบบรันเนอร์ (Runner System)

4.2.2 วิธีการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2

วิธีการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 นั้นจะใช้เครื่องมือนำประเภทใช้แสงในการวัดจะไม่สัมผัสกับชิ้นงานโดยตรงซึ่งมีความละเอียดถึง 0.05 ไมโครเมตร (0.05 μ) วิธีการวัดหรือการตรวจสอบได้ผ่านการพิสูจน์โดยวิธีการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measuring System Analysis) พบว่าไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ซึ่งรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบการวัดจะแสดงในหัวข้อที่ 4.3

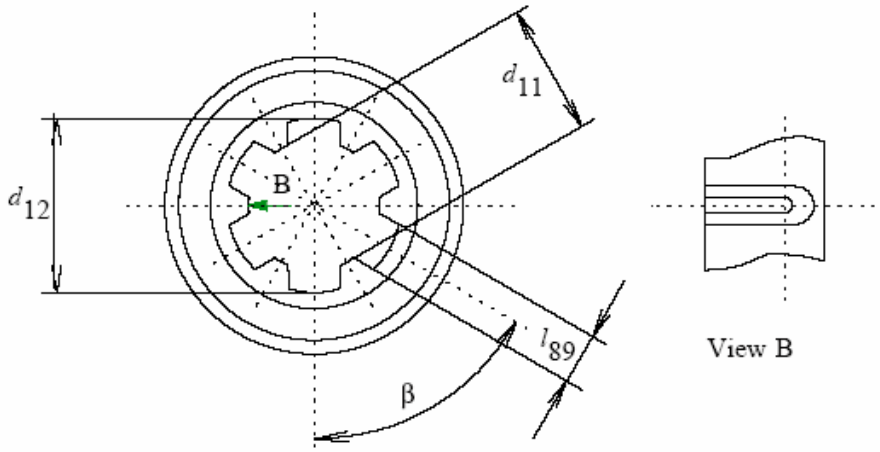


Figure 15 - Top view of a hub

ภาพที่ 4.2 วิธีการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2

ในการวิเคราะห์หรือจำแนกข้อมูลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ซึ่งแม่พิมพ์มีลักษณะพิเศษคือมีจำนวนคาวิตี้ (cavity) มากถึง 16 คาวิตี้ (cavity) จึงจำเป็นจะต้องมีวิธีในการจำแนกและแจกแจงข้อมูลเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์หรือเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละคาวิตี้ (cavity) ซึ่งการแจกแจงข้อมูลแต่ละแบบจะมีลักษณะเฉพาะเพื่อนำไปใช้ช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบการทดลองตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบภายหลังการทดลอง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และแจกแจงได้ 4 วิธี ด้วยกัน คือ

- การจำแนกข้อมูลโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละ คาวิตี้ (cavity) โดยแสดงในภาพทรงกราฟเส้นดังภาพที่ 4.3
- การจำแนกกลุ่มโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละแถวในแนวตั้ง (Column Layout) โดยแสดงในภาพแบบของกราฟเส้น ดังภาพที่ 4.5
- การจำแนกข้อมูลโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละแถวในแนวนอน (Row layout) โดยแสดงในภาพแบบของกราฟเส้น ดังภาพที่ 4.6
- การจำแนกข้อมูลโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกลุ่ม คาวิตี้ (cavity) แยกตาม Sub-Runner (Cluster layout) โดยแสดงในภาพของกราฟเส้นดังภาพที่ 4.7

หมายเหตุ :

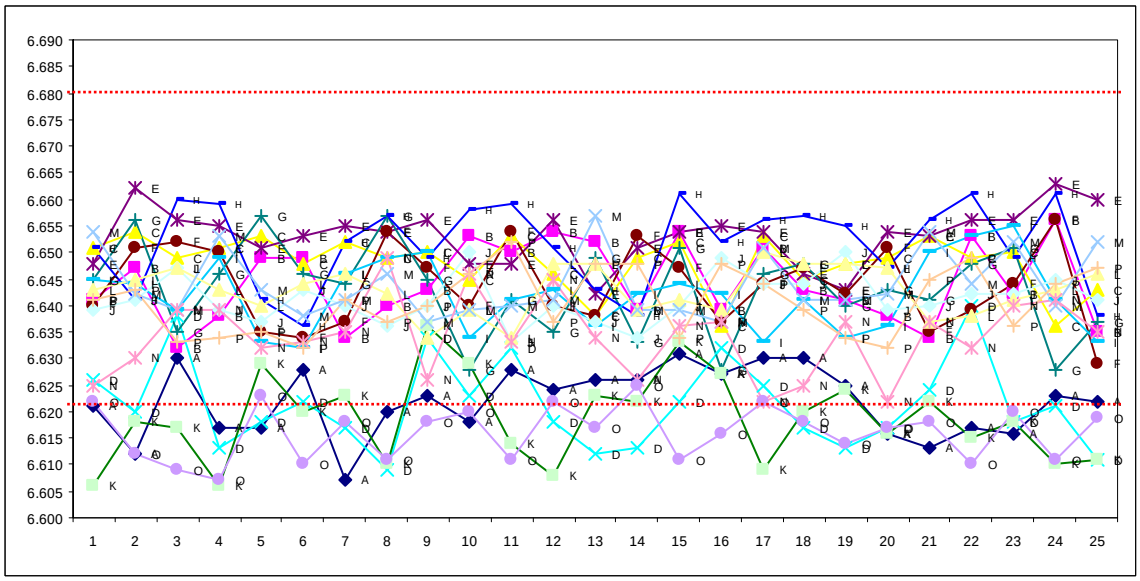
จากภาพที่ 4.2 เครื่องมือจะทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสามจุดและนำเอาค่าที่น้อยเป็นอันดับ 1 และ 2 มาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางโดยรวมของ Hub-C2

4.2.3 ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ก่อน ทำการอุด คาวิตี้ (cavity) A,D,K และ O

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ก่อนทำการอุดคาวิตี้ (cavity) ที่ A,D, K และ O

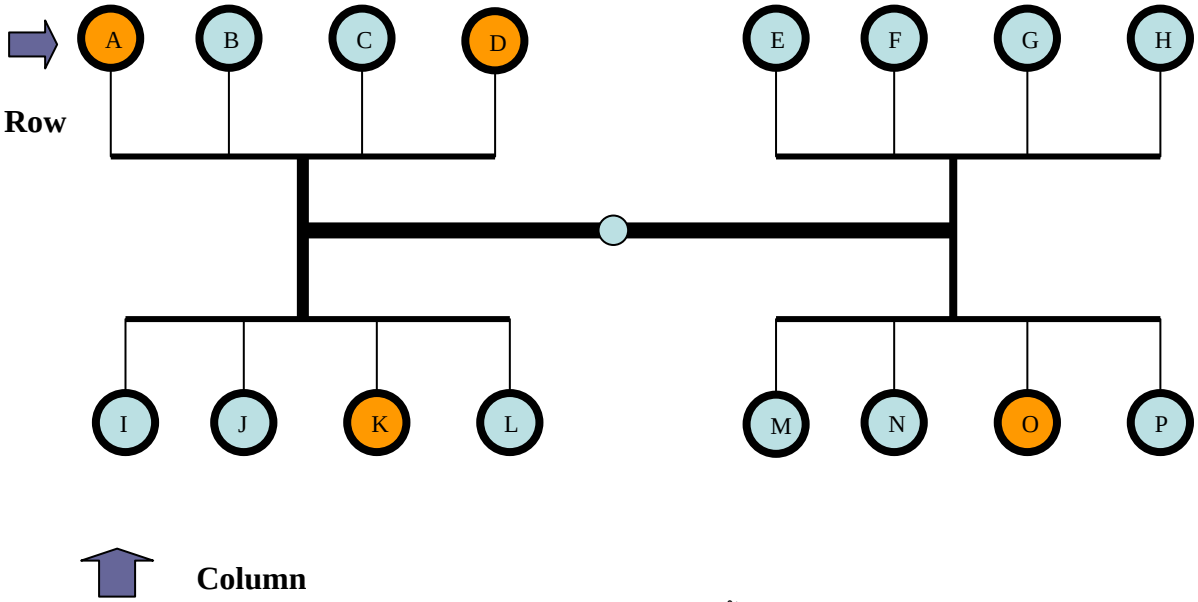
No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	6.621	6.641	6.651	6.626	6.648	6.640	6.645	6.651	6.645	6.639	6.606	6.643	6.654	6.625	6.622	6.641
2	6.612	6.647	6.654	6.620	6.662	6.651	6.656	6.641	6.644	6.641	6.618	6.645	6.642	6.630	6.612	6.643
3	6.630	6.632	6.649	6.638	6.656	6.652	6.635	6.660	6.639	6.647	6.617	6.647	6.639	6.639	6.609	6.633
4	6.617	6.638	6.651	6.613	6.655	6.650	6.646	6.659	6.649	6.639	6.606	6.643	6.653	6.639	6.607	6.634
5	6.617	6.649	6.653	6.618	6.651	6.635	6.657	6.641	6.633	6.637	6.629	6.640	6.643	6.632	6.623	6.635
6	6.628	6.649	6.648	6.622	6.653	6.634	6.646	6.636	6.632	6.643	6.620	6.644	6.638	6.633	6.610	6.632
7	6.607	6.634	6.652	6.617	6.655	6.637	6.644	6.652	6.646	6.640	6.623	6.646	6.641	6.635	6.618	6.641
8	6.620	6.640	6.649	6.609	6.654	6.654	6.657	6.657	6.649	6.636	6.610	6.642	6.646	6.649	6.611	6.637
9	6.623	6.643	6.650	6.634	6.656	6.647	6.645	6.649	6.650	6.640	6.636	6.634	6.637	6.626	6.618	6.640
10	6.618	6.653	6.645	6.623	6.648	6.640	6.628	6.658	6.634	6.650	6.629	6.639	6.639	6.646	6.620	6.646
11	6.628	6.650	6.653	6.632	6.648	6.654	6.641	6.659	6.641	6.633	6.614	6.634	6.640	6.633	6.611	6.652
12	6.624	6.654	6.646	6.618	6.656	6.640	6.635	6.651	6.643	6.640	6.608	6.648	6.641	6.645	6.622	6.637
13	6.626	6.652	6.638	6.612	6.642	6.638	6.649	6.643	6.636	6.637	6.623	6.648	6.657	6.634	6.617	6.648
14	6.626	6.639	6.649	6.613	6.651	6.653	6.633	6.638	6.642	6.634	6.622	6.639	6.639	6.626	6.625	6.648
15	6.631	6.654	6.652	6.622	6.654	6.647	6.651	6.661	6.644	6.640	6.633	6.641	6.639	6.636	6.611	6.634
16	6.627	6.639	6.636	6.632	6.655	6.637	6.628	6.652	6.642	6.649	6.627	6.639	6.637	6.637	6.616	6.648
17	6.630	6.651	6.653	6.625	6.654	6.644	6.646	6.656	6.633	6.644	6.609	6.650	6.651	6.622	6.622	6.644
18	6.630	6.643	6.645	6.617	6.646	6.647	6.648	6.657	6.641	6.644	6.620	6.648	6.641	6.625	6.618	6.639
19	6.625	6.641	6.648	6.613	6.643	6.642	6.640	6.655	6.634	6.650	6.624	6.648	6.641	6.637	6.614	6.634
20	6.616	6.638	6.649	6.617	6.654	6.651	6.643	6.647	6.636	6.639	6.616	6.647	6.642	6.622	6.617	6.632
21	6.613	6.634	6.653	6.624	6.653	6.635	6.641	6.656	6.650	6.640	6.622	6.637	6.654	6.637	6.618	6.645
22	6.617	6.653	6.649	6.640	6.656	6.639	6.648	6.661	6.653	6.642	6.615	6.638	6.644	6.632	6.610	6.649
23	6.616	6.642	6.650	6.618	6.656	6.644	6.651	6.649	6.655	6.642	6.618	6.641	6.652	6.640	6.620	6.636
24	6.623	6.656	6.636	6.621	6.663	6.656	6.628	6.661	6.641	6.645	6.610	6.643	6.640	6.641	6.611	6.644
25	6.622	6.635	6.643	6.611	6.660	6.629	6.637	6.638	6.633	6.641	6.611	6.646	6.652	6.635	6.619	6.647
Average	6.622	6.644	6.648	6.621	6.653	6.644	6.643	6.652	6.642	6.641	6.619	6.643	6.644	6.634	6.616	6.641
Sigma	0.006	0.007	0.005	0.008	0.005	0.007	0.009	0.008	0.007	0.005	0.008	0.005	0.006	0.007	0.005	0.006
Min	6.607	6.632	6.636	6.609	6.642	6.629	6.628	6.636	6.632	6.633	6.606	6.634	6.637	6.622	6.607	6.632
Max	6.631	6.656	6.654	6.640	6.663	6.656	6.657	6.661	6.655	6.650	6.636	6.650	6.657	6.649	6.625	6.652

ภาพที่ 4.3 ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 จำแนกข้อมูลแต่ละ คาวิตี้ (cavity number) ซึ่งเป็นข้อมูลก่อนการอุด คาวิตี้ (cavity) A,D,K และ Oโดยมีที่มาจากการเก็บข้อมูล 25 ครั้ง ในเวลาที่ต่างกัน (Hub-C2 ข้อกำหนดของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter specification) : 6.65 ±0.03 มม)



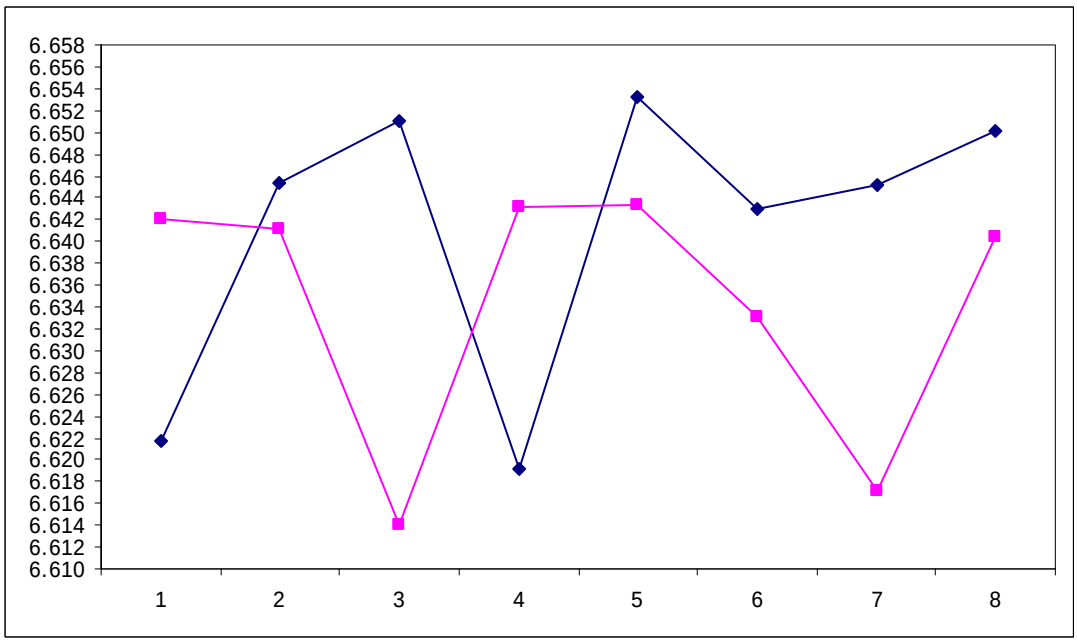
ภาพที่ 4.3 ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 จำแนกข้อมูลแต่ละ คาวิตี้ (cavity)

ภาพที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของ Hub-C2 แต่ละคาวิตี้ (cavity) ในแม่พิมพ์ซึ่งสามารถนำข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางมาวิเคราะห์โดยการจัดกลุ่มตามตำแหน่ง (Geographical Position) ของแต่ละคาวิตี้ (cavity)

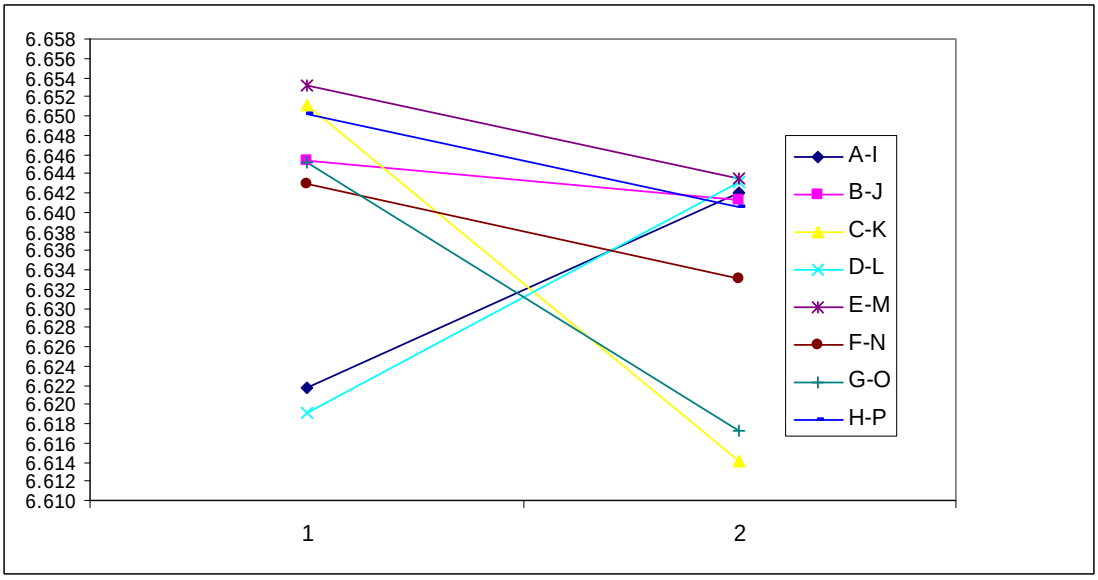


ภาพที่ 4.4 ตำแหน่งของ Hub-C2 แต่ละ คาวิตี้ (cavity) ในแม่พิมพ์

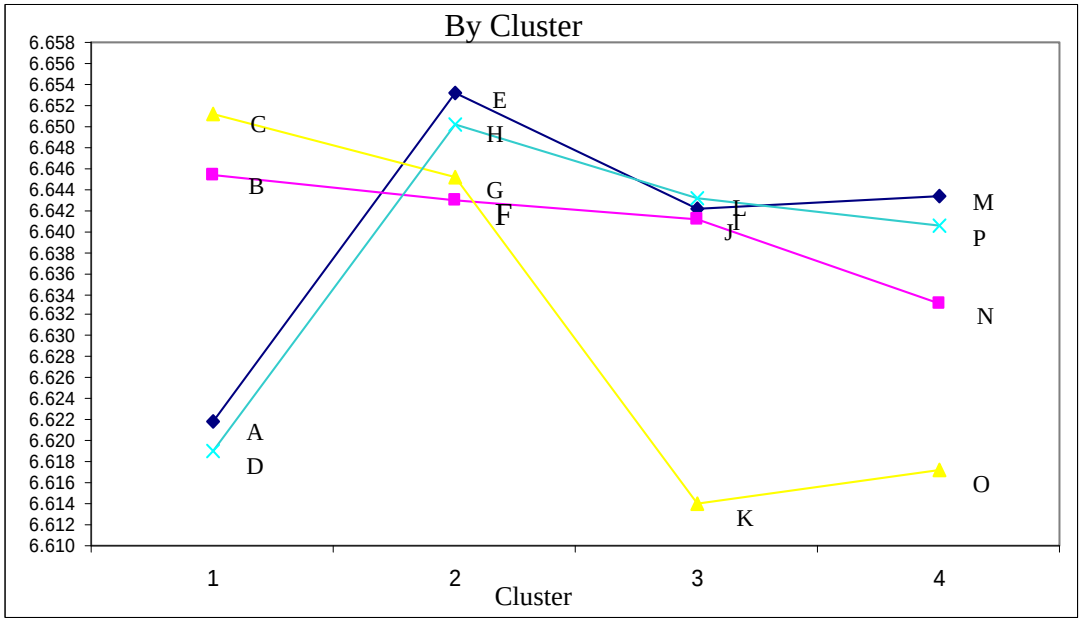
ภาพที่ 4.4 จะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของคาวิตี้ (cavity) แต่ละคาวิตี้ (cavity) ในแม่พิมพ์และแสดงวิธีการจำแนกคาวิตี้ (cavity) ตามแบบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น



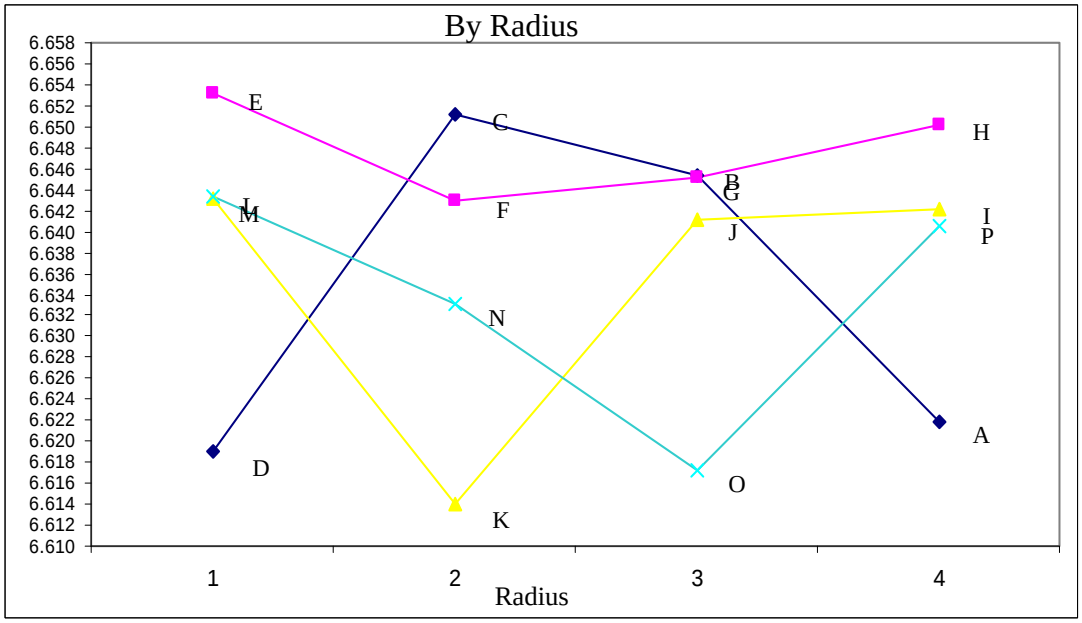
ภาพที่ 4.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 จำแนกข้อมูลตามตำแหน่งแถวในแนวตั้ง (Column Layout)



ภาพที่ 4.6 เส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 จำแนกข้อมูลตามตำแหน่งแถวในแนวนอน (Row Layout)



ภาพที่ 4.7 เส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 จำแนกข้อมูลตามตำแหน่งคาวิตี้ (Cluster layout)



ภาพที่ 4.8 เส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 จำแนกข้อมูลตาม Radius

4.3 การวิเคราะห์ระบบการวัดของเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 (Measuring System Analysis)

การวิเคราะห์ระบบการวัดเป็นขั้นตอนสำคัญและจำเป็นต่อกิจกรรมปรับปรุงคุณภาพหรือพัฒนาขบวนการ กล่าวคือกลุ่มที่ใช้ในการตัดสินใจก่อนและหลังการปรับปรุงล้วนมาจากขบวนการตรวจวัดหรือขบวนการทดสอบทั้งสิ้น ดังนั้น ระบบการวัดจะต้องถูกทำการศึกษาว่ามีผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลทั้งด้านความแม่นยำและความเที่ยงตรงมากน้อยเพียงใดสามารถยอมรับได้หรือไม่ก่อนที่จะเข้าสู่การปรับปรุงคุณภาพของขบวนการโดยวิธีการทากูชิ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเอาเทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัดประเภท Gage R&R มาใช้ศึกษาระบบการวัดของเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ว่ามีผลกระทบอย่างไรโดยใช้เกณฑ์ตัดสินจากค่าเปอร์เซ็นต์ของ Gage R&R มาเป็นตัวตัดสินว่าระบบการวัดสามารถเชื่อถือได้หรือไม่หรือจำเป็นจะต้องปรับปรุงระบบการวัดหรือไม่ โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จภาพ Minitab 14 ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผลการวิเคราะห์และศึกษาระบบการวัดเป็นดังนี้

Repeatability (Equipment Variation :EV)	=	0.0056
% Repeatability	=	10.97 %
Reproducibility (Appraiser Variation : AV)	=	0
% Reproducibility	=	0
Repeatability & Reproducibility (GR&R)	=	0.0056
% R&R	=	10.79%
ndc. (Number of Distinct Categories)	=	12

จากผลการวิเคราะห์และศึกษาระบบการวัดสามารถสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือสามารถยอมรับได้ โดยที่ค่า GR&R มีค่าเพียง 10.79% เท่านั้น และค่า ndc.(Number of Distinct Categories) มีค่าถึง 12 ซึ่งบ่งบอกถึงระบบการวัดสามารถที่จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์และสามารถจำแนกออกเป็น 12 ประเภทโดยผลการวิเคราะห์และศึกษาระบบการวัดรวมถึงข้อมูลรายละเอียดจะแสดงในภาคผนวก ก.

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

4.4.1.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกซึ่งมีลักษณะ 2 plate มีจำนวน 16 คาวิตี้ (cavity) ลักษณะเกจเป็นแบบ Submarine-Gate

4.4.1.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นซึ่งใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิตอนจ่ายเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

4.4.1.3 เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 150 ตัน เป็นเครื่องระบบมอเตอร์ไฟฟ้าและควบคุมระบบการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์

4.4.1.4 เครื่องมือวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดแบบไม่สัมผัสชิ้นงานโดยตรงลักษณะการวัดโดยใช้แสง (Non-Contact)

4.4.1.5 แว่นขยายสำหรับตรวจสอบชิ้นงาน (Magnify Lens) ขนาดกำลังขยาย 5 เท่าซึ่งใช้สำหรับตรวจสอบสภาพภายนอกของชิ้นงาน Hub-C2 ในระหว่างการทดลอง

4.4.2 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิจัยได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab รุ่น 14 ในการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนทั้ง 3 ขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.4.2.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ไม่ว่าจะเป็นอิทธิพลร่วมหรืออิทธิพลหลักก็ตามซึ่งรายละเอียดและเงื่อนไขของการทดลองเบื้องต้นนี้จะมีระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยไม่เท่ากันซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกระบวนการฉีดพลาสติกซึ่งวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิเหมาะสมกับการทดลองประเภทนี้ ซึ่งเรียกการทดลองแบบนี้ว่า (Mixed Level design) และวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิมีระดับการทดลองน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นรวมถึงสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงกับวิธีการอื่นๆ ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองโดยเฉพาะงานวิจัยแบบนี้มีตัวแปรตอบสนองถึง 16 ตัวแปรซึ่งสืบเนื่องมาจากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีจำนวน คาวิตี้ (cavity) 16 คาวิตี้ (cavity) ซึ่งต้องใช้เวลาในการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่อนข้างมากซึ่งวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิเหมาะสมอย่างยิ่ง

4.4.2.2 ขั้นตอนการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบเชิงละเอียดโดยนำเอาปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักและปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมมาทำ

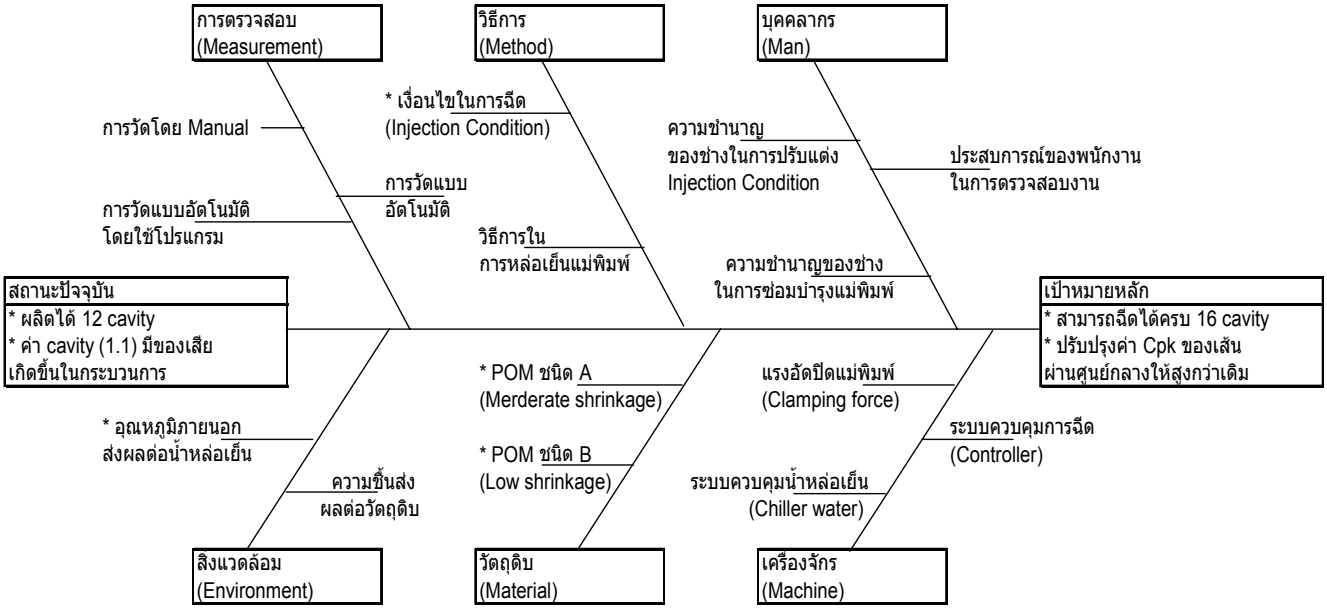
การทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมและกำหนดค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักและปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมซึ่งในการทดลองขั้นตอนนี้ผู้ทำการวิจัยได้นำเอาหลักทฤษฎี การออกแบบการทดลองแบบบ็อกและเบ็นเค็น(Box-Behnken) และใช้

ทฤษฎีพื้นผิวตอบสนอง(Response Surface Methodology) ในการค้นหาค่าที่ดีที่สุดจะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ กล่าวคือการปรับปรุงคุณภาพขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้ดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk.) เป็นตัววัดผล

4.4.2.3 ขั้นตอนการทดลองเพื่อยืนยันผลเป็นการทดลองเพื่อทำการพิสูจน์ว่าการกำหนดค่าที่ดีที่สุดของอิทธิพลหลักและปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมนั้นเป็นจริงหรือไม่หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือการทดลองเพื่อจะยืนยันสภาวะที่เหมาะสมโดยจะทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของการทดลองโดยการเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของสองกลุ่มตัวอย่างคือก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงกระบวนการว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยหรือไม่

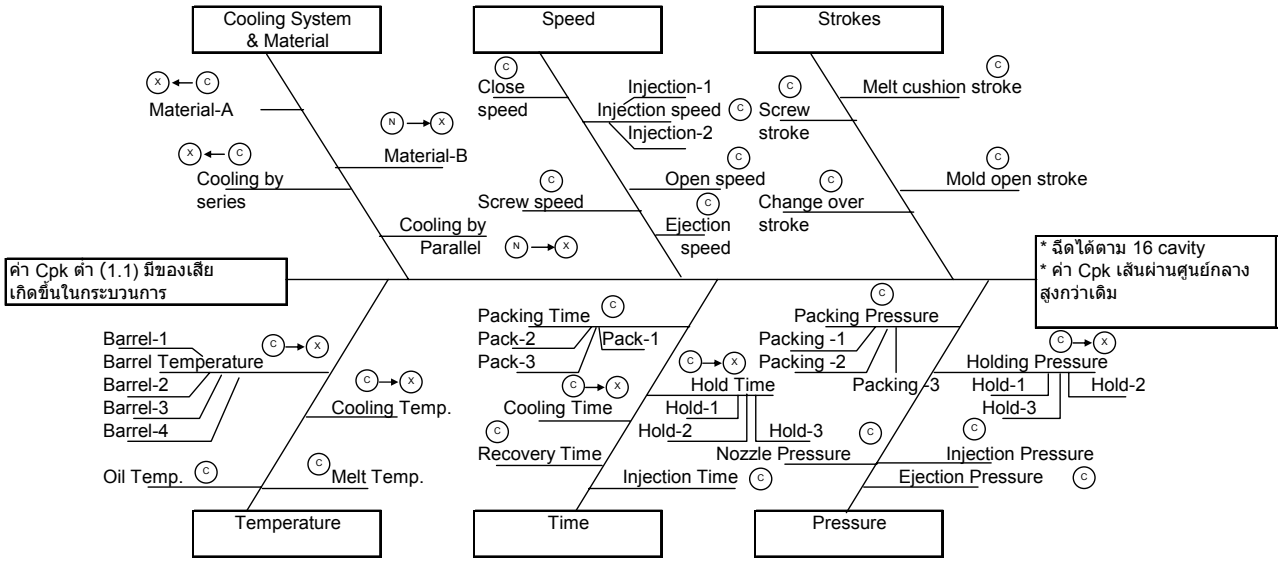
4.5 <u>การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

4.5.1 การทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อค้นหาปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 โดยในการทดลองเบื้องต้นนี้จะมีปัจจัยที่ทำการคัดเลือกโดยสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อมาทำการทดลอง วิธีการในการคัดเลือกปัจจัยจะใช้วิธีการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญในแต่ละพื้นที่การทำงานโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (CE Diagram) มาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และคัดเลือกปัจจัย



ภาพที่ 4.9 แผนภูมิก้างปลา (Caused and Effect Diagram) แสดงปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2

จากแผนภูมิก้างปลาซึ่งแสดงสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hb-C2 โดยสาเหตุทั้งหมดมาจากการระดมความคิดเห็นจากสมาชิกในทีมที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพของ Hub-C2 ผลจากการระดมสมองสมาชิกทั้งหมดมีความคิดเห็นตรงกันว่ามีสาเหตุอย่างน้อย 5 สาเหตุ ซึ่งคาดว่ามีผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 โดยเฉพาะเงื่อนไขในการฉีด (Injection Condition) มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.9



ภาพที่ 4.10 ปัจจัยของเงื่อนไขในการฉีด (Injection Condition)ที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2

จากภาพที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปัจจัยทั้งหมดที่สมาชิกคาดว่าส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 โดยใช้สัญลักษณ์เพื่อแสดงให้เห็นว่าปัจจัยใดบ้างที่มีการควบคุมอยู่แล้วในสภาวะปัจจุบันและปัจจัยใดบ้างที่ไม่ได้มีการควบคุม รวมถึงปัจจัยใดบ้างที่จะถูกเลือกเพื่อนำไปทำการทดลองในเบื้องต้น ซึ่งสัญลักษณ์แต่ละตัวมีความหมายดังนี้

4.5.1.1 สัญลักษณ์ (C) หมายถึง Controllable กล่าวคือปัจจัยดังกล่าวนี้ได้มีการควบคุมไว้แล้วในสภาวะการผลิตปัจจุบัน

4.5.1.2 สัญลักษณ์ (N) หมายถึง Non Controllable กล่าวคือปัจจัยดังกล่าวนี้ไม่ได้มีการควบคุมสำหรับสภาวะการผลิตในปัจจุบัน

4.5.1.3 สัญลักษณ์ (X) หมายถึง Experimentation กล่าวคือปัจจัยใดๆ ก็ตามที่ถูกควบคุมไว้หรือไม่ควบคุมก็ตามแต่ถูกคัดเลือก เพื่อนำไปทำการทดลอง ปัจจัยนั้นจะถูกแทนด้วนสัญลักษณ์ (X)

จากการวิเคราะห์ร่วมกันของสมาชิกเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยที่นำมาทำการทดลองในเบื้องต้นได้ข้อสรุปดังตารางที่ 4.3 โดยแสดงปัจจัย สาเหตุในการเลือกและระดับปัจจัยในการทดลองซึ่งกำหนดไว้ 2 ระดับด้วยกัน ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ถูกคัดเลือกมาทำการทดลองโดยมีสาเหตุคือไม่มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะปัญหากล่าวคือลักษณะปัญหาของการฉีดพลาสติกบนแม่พิมพ์มีหลาย

แบบ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไปซึ่งในกรณีงานวิจัยฉบับนี้ลักษณะปัญหาเกี่ยวข้องกับขนาดไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งมีปัจจัยบางกลุ่มเท่านั้นที่มีความเกี่ยวข้องและสาเหตุอีกประการหนึ่งคือการพิจารณาข้อมูลการปรับแต่งเงื่อนไขการฉีด Hub-C2 ในอดีตซึ่งเริ่มจากการผลิตในครั้งแรกซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีความเกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับปัญหาในครั้งนี้

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	สาเหตุที่เลือก	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	หน่วย
1	พลาสติกชนิด POM (Material POM)	A	วัตถุดิบมีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานและส่งผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง	POM-A	POM-B	-
2	ระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Cooling System)	B	ระบบการหล่อเย็นแม่พิมพ์มีผลต่อการเย็นตัวของชิ้นงาน	แบบอนุกรม (Series)	แบบขนาน (Parallel)	-
3	อุณหภูมิของกระบอกสูบช่วงที่ 1 (Barrel Temp.-1)	C	อุณหภูมิของ Barrel มีผลต่อการหลอมไหลของพลาสติกส่งผลโดยตรงต่อการฉีดเข้าแม่พิมพ์	180	210	^{o}C
4	อุณหภูมิของกระบอกสูบช่วงที่ 2 (Barrel Temp.-2)	D	อุณหภูมิของ Barrel มีผลต่อการหลอมไหลของพลาสติกส่งผลโดยตรงต่อการฉีดเข้าแม่พิมพ์	190	220	^{o}C
5	อุณหภูมิของกระบอกสูบช่วงที่ 3 (Barrel Temp.-3)	E	อุณหภูมิของ Barrel มีผลต่อการหลอมไหลของพลาสติกส่งผลโดยตรงต่อการฉีดเข้าแม่พิมพ์	180	210	^{o}C

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	สาเหตุที่เลือก	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	หน่วย
6	อุณหภูมิของกระบอกสูบช่วงที่ 4 (Barrel Temp.-4)	F	อุณหภูมิของ Barrel มีผลต่อการหลอมไหลของพลาสติกส่งผลโดยตรงต่อการฉีดเข้าแม่พิมพ์	165	195	^{o}C
7	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (Cooling Temp.)	G	อุณหภูมิการหล่อเย็นมีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานและส่งผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง	60	70	^{o}C
8	เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling Time)	H	ระยะเวลาการหล่อเย็นมีผลต่อการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ ซึ่งส่งผลต่อการหดตัวของชิ้นงาน ซึ่งส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	2.0	5.0	sec.
9	เวลาที่ใช้ในการอัดย้ำช่วงที่ 1 (Holding Time Step-1)	J	เวลาการอัดย้ำมีความสัมพันธ์กับแรงอัดย้ำซึ่งส่งผลต่อการชดเชยพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์โดยส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยตรง	0.5	2.5	sec.
10	เวลาที่ใช้ในการอัดย้ำช่วงที่ 2 (Holding Time Step-2)	K	เวลาการอัดย้ำมีความสัมพันธ์กับแรงอัดย้ำซึ่งส่งผลต่อการชดเชยพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์โดยส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยตรง	0.5	2.5	sec.

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	สาเหตุที่เลือก	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	หน่วย
11	เวลาที่ใช้ในการอัดย้ำช่วงที่ 3 (Holding Time Step-3)	L	เวลาการอัดย้ำมีความสัมพันธ์กับแรงอัดย้ำ ซึ่งส่งผลต่อการชดเชยพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยตรง	1.5	4.5	sec.
12	แรงดันอัดย้ำช่วงที่ 1 (Holding Pressure Step-1)	M	ความดันอัดย้ำมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยตรงซึ่งเป็นการชดเชยพลาสติกขณะฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์	350	450	Kg/cm^2.
13	แรงดันอัดย้ำช่วงที่ 2 (Holding Pressure Step-2)	N	ความดันอัดย้ำมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยตรงซึ่งเป็นการชดเชยพลาสติกขณะฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์	600	700	Kg/cm^2
14	แรงดันอัดย้ำช่วงที่ 3 (Holding Pressure Step-3)	O	ความดันอัดย้ำมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยตรงซึ่งเป็นการชดเชยพลาสติกขณะฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์	200	300	Kg/cm^2

4.5.2 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง

- สภาวะแวดล้อมในการทดลองจะกำหนดให้เป็นไปตามสถานการณ์การผลิตจริงโดยใช้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เครื่องฉีดพลาสติก รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้เป็นไปตามเงื่อนไขใน

ปัจจุบันโดยระหว่างทำการทดลอง จะมีการแจ้งให้พนักงานทราบและคัดแยกชิ้นงานที่ทำการทดลองส่งให้ทีมที่ทำการทดลองตรวจสอบ

4.5.3 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

ภายหลังจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้วิธีการของทากุชิ ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยหลักใดๆ มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ขั้นตอนในการทดลองต่อไปคือ การทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม กล่าวคือเป็นขั้นตอนทดลองเชิงละเอียดเพื่อค้นหาระดับหรือปริมาณเชิงตัวเลขที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่พิสูจน์ได้ว่ามีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะได้ค่าที่ดีที่สุดของตัวแปรตาม ซึ่งในที่นี้ก็คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 โดยใช้ดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Capability , Cpk) เป็นตัววัดผล

ในขั้นตอนการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นผู้ทำการวิจัยได้นำเอาหลักทฤษฎีวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ใช้ในการออกแบบการทดลองและค้นหาค่าที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดของปัจจัยแต่ละปัจจัย โดยคัดเลือกปัจจัยจากการทดลองเบื้องต้นที่พิสูจน์แล้วว่าส่งผลต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 มาทำการกำหนดระดับการทดลองใหม่โดยให้มีระดับที่ละเอียดกว่าเดิม โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- กำหนดให้การทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขของการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เครื่องฉีดแม่พิมพ์และอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงบุคลากรเหมือนกับการทดลองเบื้องต้น ซึ่งเงื่อนไขทั้งสอบการทดลองนี้จะสอดคล้องกับสภาวะการผลิตจริง รวมทั้งเพื่อทำการยืนยันว่ามีผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 หรือไม่

4.5.4 การทดลองเพื่อยืนยันผล

การทดลองเพื่อการยืนยันผลเป็นการทดลองขั้นสุดท้ายเพื่อทำการพิสูจน์ว่าปัจจัยหลักหรือปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมที่ถูกกำหนดสภาวะที่เหมาะสมนั้นเป็นจริงหรือไม่ โดยการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการทดลองความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยที่ได้จากทดลอง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลของกระบวนการผลิตก่อนทำการปรับปรุงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบของข้อมูล 2 กลุ่มประชากร

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำโปรแกรม Minitab รุ่น 14 มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองและผู้วิจัยยังได้พัฒนาโปรแกรม Excel ที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันโดยการเขียนมาโครเพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำมาช่วยเสริมกับโปรแกรมสำเร็จภาพเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองเบื้องต้น เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ของปัจจัยทั้งหมด 14 ปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองเบื้องต้นนั้นจะอ้างอิงตามหลักทฤษฎีของทากูชิ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ค่า Signal-to-noise ratio (S/N) ของปัจจัยแต่ละปัจจัย ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณานั้นจะทำการเปรียบเทียบค่า S/N ของปัจจัยแต่ละปัจจัย ถ้าค่า S/N มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นๆ แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลกระทบต่อตัวแปรตาม ซึ่งในที่นี้คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ในขณะเดียวกันก็จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนควบคู่ไปด้วยซึ่งนำเอาระดับปัจจัยมาพิจารณาควบคู่กับค่า S/N ซึ่งหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจะพิจารณาค่า F-Ratio ถ้า F-Ratio มีค่ามากกว่าค่า F วิกฤติ แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลกระทบหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามในขณะเดียวกันโปรแกรมสำเร็จภาพสามารถคำนวณค่า p-Value ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อตัวแปรตามหรือไม่ โดยมีหลักในการพิจารณากล่าวคือในกรณีที่ค่า p-Value มีค่าน้อยกว่าค่า α ที่กำหนดไว้อย่างเช่นค่า $\alpha = 0.05$ หรือ $\alpha = 0.1$ แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีอิทธิพลหรือมีผลต่อตัวแปรตาม

4.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมนี้ จะเป็นการวิเคราะห์และทดสอบสมการหรือแบบจำลอง (Model) ที่ได้จากการทดลองว่ามีความเที่ยงตรงและเหมาะสมเพียงใด ซึ่งอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าสมการหรือแบบจำลองที่ได้จากการทดลองนี้ จะเป็นสมการที่ดีที่สุดที่นำมาใช้ในการกำหนดระดับค่าปัจจัยที่มีอิทธิพล ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ดีที่สุดของ Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี้ (cavity) และรวมไปถึงการลดความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ระหว่าง คาวิตี้ (cavity) ทั้ง 16 คาวิตี้ (cavity) ให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและการทดสอบสมการหรือแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) มีขั้นตอนดังนี้

4.6.2.1 การทดสอบการกระจายของข้อมูลว่าเป็นการกระจายแบบปกติหรือไม่ ซึ่งเรียกว่า Normal Probability Plot of Residuals ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่า Residual ของตัวแปรตาม (Response) ทุกตัวซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ตัวแปรตามมีทั้งหมด 16 ตัวแปรตาม โดยคิดจากจำนวนคาวิตี้ (cavity) ของ Hub-C2

4.6.2.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence Test) เป็นการทดสอบความเป็นอิสระของค่า Residual จากการทดลอง โดยการนำค่า Residual ของแต่ละระดับการทดลองมาทำการพล๊อตซึ่งสามารถทำให้รู้ว่าค่า Residual แต่ละระดับเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ หรือมีภาพแบบเป็นลักษณะเฉพาะอย่างไร

ขณะเดียวกันในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลจะยังคงยึดหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis or Variance) มาทำการวิเคราะห์ควบคู่กันไปด้วย

4.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนของการทดลองเพื่อยืนยันผล

การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งเป็นการสรุปว่าหลังจากได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดจากการทดลองก่อนหน้านี้แล้วทำการทดลองเพื่อยืนยันผล และผลที่ได้นี้จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงขบวนการผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลของการผลิต ณ ปัจจุบันนั่นเอง ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ทำการวิจัยได้นำเอาหลักการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน (Variance) และความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย (Mean) ของข้อมูลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงขบวนการมาทำการทดสอบเพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของประชากรหรือข้อมูล 2 กลุ่มนี้โดยมีสมมติฐานดังนี้

4.6.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

(ค่าความแปรปรวนของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงเท่ากับค่าความแปรปรวนหลังการปรับปรุง)

H_1 : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

(ค่าความแปรปรวนของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงไม่เท่ากับค่าความแปรปรวนหลังการปรับปรุง)

โดยที่ σ_1 : ค่าความแปรปรวนก่อนการปรับปรุง

σ_2 : ค่าความแปรปรวนหลังการปรับปรุง

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้จะใช้วิธีการ F-test โดยจะทำการหาค่า F_0 (F-Ratio) จากสมการด้านล่างแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า F วิกฤติ ซึ่งได้จากตารางมาตรฐาน ในกรณีที่ค่า F_0 (F-Ratio) มีค่ามากกว่าค่า F วิกฤตินั่นแสดงว่าค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$$F_0 \text{ (F-Ratio)} = S_1^2 / S_2^2 \qquad (4.1)$$

หมายเหตุ : ในงานวิจัยฉบับนี้มีตัวแปรตามหรือ Response ทั้งหมด 16 response ดังนั้นในการเปรียบเทียบความแปรปรวน จะทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 16 ตัวแปรตามโดยมุ่งเน้นให้ความสำคัญกับตัวแปรตามที่มีปัญหามาก ในปัจจุบันคือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี้ (cavity) A, D, K และ O

4.6.3.2 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$
(ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการปรับปรุงเท่ากับค่าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$
(ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการปรับปรุงไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง)

โดยที่ μ_1 : ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ก่อนการปรับปรุง

μ_2 : ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 หลังการปรับปรุง

หลักทฤษฎีในการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้จะใช้วิธีการ t-test โดยวิธีการนี้จะทำการคำนวณหาค่า t_0 (t-statistic) จากสมการด้านล่างแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า t วิกฤติ ถ้าในกรณีที่ t_0 มีค่ามากกว่า t วิกฤตินั่น แสดงว่าค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ-

$$t_0 = \frac{\overline{Y_1} - \overline{Y_2}}{\sqrt{S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2}} \qquad (4.2)$$

ในขณะเดียวกันการวิเคราะห์ข้อมูลภายใต้โปรแกรมสำเร็จภาพ Minitab สำหรับการทดสอบแบบ F-test ของความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มในหัวข้อ 4.6.3.1 และ t-test ของค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มในหัวข้อ 4.6.3.2 สามารถที่จะคำนวณค่า p-Value เพื่อใช้ในการตัดสินว่าประชากรทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ภายใต้เงื่อนไขระดับความเชื่อมั่น (Confidential Level) ที่ 95 เปอร์เซ็นซึ่งมีค่า α = 0.05 โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

- ในกรณีที่ค่า p-Value มีค่าน้อยกว่าค่า α (0.05) แสดงว่าประชากรสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ภายใต้ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็น

4.7 การสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการสรุปผลการวิจัยจะเป็นขั้นตอนสุดท้ายของผลงานวิจัยฉบับนี้โดยการสรุปจะทำการนำเอาวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในข้างต้นมาทำการทบทวนและเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองว่าสอดคล้องและเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่รวมไปถึงผลการทดลองสามารถบรรลุเป้าหมายได้มากน้อยเพียงใด รวมถึงการเสนอแนะข้อดีและข้อบกพร่องหรือเงื่อนไขต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง เพื่อที่จะให้ผู้ที่ทำการศึกษางานวิจัยฉบับนี้นำไปปรับปรุงแก้ไขหรือใช้ประโยชน์ได้สูงสุดในโอกาสต่อไป