บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำวิธีการแก้ไขปัญหาตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่านำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่านั้นเป็นการนำความรู้ทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นตอน เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ และทำการแก้ไขปัญหา ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนในกระบวนการของซิกซ์ ซิกม่ามีดังนี้

2.1 ความเป็นมาและหลักการของซิกซ์ ซิกม่า

ซิกซ์ ซิกม่า ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงทศวรรษที่ 1980 โดยบริษัท Motorola หลายบริษัทได้นำ ซิกซ์ ซิกม่ามาใช้เป็นแผนกลยุทธ์ของกิจการ และประสบความสำเร็จกันมาก เริ่มจากบริษัท General Electric (GE), Allied Signal และ Sony หลังจากนั้น ซิกซ์ ซิกม่าได้ถูกเผยแพร่ไปยังบริษัทต่างๆโดยได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขและควบคุมคุณภาพทั้งในภาคอุตสาหกรรมและบริการ

2.2 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า

ขั้นตอนในการประยุกต์การแก้ไขปัญหาตามแนวทางซิกซ์ ซิกซ์ม่า จะประกอบไปด้วย ขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ ขั้นตอนการระบุสาเหตุของปัญหา (Define Phase), ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase), ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analyse Phase), ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

2.2.1 ขั้นตอนการระบุสาเหตุของปัญหา (Define Phase)

- การกำหนดปัญหา (Problem Statement)
  เป็นการระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไขซึ่งปัญหานั้นๆ จะต้องสัมพันธ์ที่มีผลกระทบต่อลูกค้าหรือทางด้านคุณภาพ ที่เรียกว่า Critical to Qualitty (CTQ's)
- แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิต จะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต ขั้นตอนนี้จึงเปรียบเสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิตซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึง สิ่งผิดปกติ หรือทราบ สาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิต ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็น ขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองโดยการตั้งสมมติฐาน หรือการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี

การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality : COPQ)

การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่ง ในการระบุที่มีมาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อนเร้นในกระบวนการผลิต (Hidden factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

- ผลรวมของสัดส่วนของเสีย (Rolled Throughput yield)

ได้มาจากการคำนวณของสัดส่วนของเสียครั้งแรกและไม่รวมสัดส่วนของเสียที่ได้มาจากการซ่อมแซม การคำนวณสัดส่วนของเสีย ก็เพื่อเป็นมาตรการในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการควบคุมกระบวนการผลิต

- ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

(ฮิโตชิ คุเมะ ผู้เขียนและวีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, ผู้แปล,2536)

ผังแสดงเหตุและผลคือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ (ที่เกี่ยวข้อง) กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุคือปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น

การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริงไม่ใช่เรื่องง่ายผู้ที่สามารถสร้างผังก้างปลาได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับผังแสดงเหตุและผล จะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลายๆความคิดมาร่วมกัน เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปขนาด หรือ ปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆในการผลิต การนำผังแสดงเหตุและผลไปใช้งานจะต้องก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนัก หรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้ จะนำไปผังแสดงเหตุผลที่ได้ใช้ไปเชื่อมโยงกับ FMEA

2.2.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

- การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต(FMEA)

(รศ.ธนากร เกียรติบรรลือ, 2543) กล่าวว่า FMEA คือเทคนิคทางการวิศวกรรมที่ใช้ในการกำหนดการบ่งชี้และการขจัดปัญหาความล้มเหลวและความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นมาแล้วในระบบงานของการออกแบบของกระบวนการและการบริหารก่อนที่จะถึงลูกค้า

ลักษณะสำคัญ 3 ประการของ FMEA

จะต้องมีการแสดงให้เห็นรูปแบบของความล้มเหลวปัญหา และความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือ เกิดขึ้นแล้วจากระบบงาน การออกแบบ การผลิต และการบริการอย่างชัดเจน และมีการประเมินผลจะต้องมีการบ่งชี้การกระทำ สำหรับการลด หรือ ขจัดโอกาสของความล้มเหลว ปัญหาและความผิดพลาดนั้นๆ ที่จะเกิดขึ้นมาอีก

จะต้องมีการบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐาน โดยปกตินิยมใช้ FMEA FMEA มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ Design FMEA สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเอาปัญหาสำคัญและข้อบกพร่องต่างๆ จากผู้ใช้หรือลูกค้ามาศึกษาและหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข และอีกชนิดหนึ่งคือ Process FMEA สำหรับการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีข้อเสียและขจัด หรือลดปัญหาจากการผลิต ที่จะส่งไปยังกระบวนการผลิตถัดไปและลูกค้า

ประโยชน์ของ FMEA

ช่วยพิจารณาการเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งเพิ่มศักยภาพของการผลิตและความเชื่อถือ สร้างความมั่นใจว่ารูปแบบของความล้มเหลวความผิดพลาดและปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้รวมถึงผลกระทบที่อาจตามมาได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนมาก่อนแสดงรายการของปัญหาหลักต่างๆ และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้นมาช่วยแสดงบันทึกผลของการปรับปรุงหลังจากมีมาตรการการแก้ไขให้ถูกต้องอย่างใดอย่างหนึ่งได้ทันที เป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการผลิต ช่วยรวบรวมข้อมูลในอดีตสำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคตโดยนำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาหรือความล้มเหลวต่างๆ สำหรับการพิจารณาเรื่องความเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าการปรับปรุงและพัฒนาต่างๆ มีผู้รับผิดชอบหรือให้วิศวกรประจำกระบวนการผลิตสร้างระบบการป้องกันปัญหาที่สามารถประเมิณผลได้ เมื่อมีการประชุมทบทวนขั้นสุดท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือการะบวนการผลิต

ชนิดของ FMEA และการนำไปใช้งาน Failure Mode and Effect Analysis หรือ FMEA

เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริงเพื่อเป็นการป้องกัน ก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นมาภายหลัง และเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่างคือ

System FMEA สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานการใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่นได้แก่การสร้างแนวความคิดในการออกแบบ และกำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

Design FMEA นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลองหรือ ปฏิบัติเป็นครั้งแรก มักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่างๆ หรือส่วนย่อยๆ เข้าด้วยกัน และส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบ เหมาะสมแล้วหรือไม่ และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

Process FMEA สำหรับกระบวนการผลิตซึ่งก็มีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA มักจะพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญคือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ การวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด เมื่อจัดทำ Process FMEA

Service FMEA จะเกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลักโดยนิยมให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Service FMEA

Machinery FMEA สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือ ส่วนทำความเย็น ส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ตลับลูกปืน เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานเอกสารของ FMEA

การวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุ และผลกระทบต่างๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่อง ทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกันจะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA เริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิต จะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิด หรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น หรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้างมีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการปริมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหาการคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณ
พารามิเตอร์ 3 ตัว คือ O x S x D เมื่อ

O = Occurrence คือระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหา ความล้มเหลว หรือความผิดพลาด

S = Severity คือระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้น

D = Detection คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับ ความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก 1x 1 x 1 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสุดของปัญหาคือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก 10 x 10 x 10 หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น พบทุกวัน และระดับความรุนแรงของผลกระทบ เมื่อเกิดปัญหานี้มาก เช่นกระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้าต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้า

- การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด

ในระบบการวัดมีความสำคัญมาก การวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และเป็นการควบคุมกระบวนการเพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัดซึ่งสาเหตุมาจาก ทักษะ ความชำนาญ และระดับการฝึกฝน วิธีการวัด ชิ้นงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้นและธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ปัญหา ทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องมีความมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด ในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของการวัด เพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part – to – Part – Variation) พนักงานวัด (Appraiser Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation) (ดำรง ทวีแสงกุลไทย 2538) ได้นิยามคำว่า ความแม่นยำ และความเที่ยงตรงดังนี้

ความแม่นยำ (Precision) คือ ความสามารถในการวัดให้ผลค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ค่าไม่กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามาก ไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับเครื่องมือวัด

ความเที่ยงตรง (Accuracy) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้ความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและความวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542)

การวิเคราะห์ความแม่นยำ มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลักคือ

คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัด หรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ ที่แสดงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วจะได้รับการ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีททะบิลิตี้ (repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (reproducibility) โดยที่ รีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึงค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่อง กับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานเดียวกัน ซึ่งปกติจะใช้ค่ารีพีททะบิลิตี้ในการประเมินค่า ความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (short-term measurement)

ส่วนรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดหมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติจะใช้ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (long-term measurement) นอกจากนี้อาจจะกล่าวอย่างสั้นๆได้ว่า รีพีททะบิลิตี้ คือ ความผันแปรภายในเงื่อนไขการวัดด้วยกัน ในขณะที่รีโปรดิวซิบิลิตี้ คือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัดโดยเงื่อนไขที่กล่าวนี้อาจจะ หมายถึงพนักงานวัด อุปกรณ์จับยึด (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์) และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมเป็นต้น

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R – Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึงการประเมินผลค่าผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งแบบซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเดียวกัน การวางแผนศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดวิธีการ และเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องวัดการสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนิน

การที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้วจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้จะเริ่มต้นขึ้น และไม่ควรจะมีการสอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุด เพราะถ้าหากมีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษาจะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย

จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR & R ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมี

พนักงานวัด (คือ ผู้ใช้เครื่องมือในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจ) ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ทำให้การสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานทุกคนต้องผ่านการฝึกอบรม และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR & R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานั้นโดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) x (จำนวนของพนักงานวัด) มากกว่า 15 และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างมีนัยสำคัญ และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (ชิ้น)

จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้นโดยปกติแล้วมักจะแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆกัน (เรียกว่า การทดลองแบบ Balance Design) ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนด้วยจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น

วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR&R โดยในการศึกษา GR&R ในบางกรณีนั้นจะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ (หรือการประเมินรีพีททะบิลิตี้ได้) จึงต้องมีความพยายามเลือกงานในล็อตให้มีความใกล้เคียงกันให้มากที่สุด

วิธีการประเมินรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ มีทั้งหมด 3 วิธีได้แก่

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method)

วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method)

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงานและชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากรีพีททะบิลิตี้ได้แต่อย่างไรก็ดีข้อเสียสำหรับวิธีนี้ก็คือความยุ่งยากในการคำนวณแต่ก็สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการคำนวณได้

ในการตีความหมายผลการวิเคราะห์จากตาราง ANOVA นั้นจะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (interaction effect) ระหว่างพนักงานและชิ้นงานก่อนเสมอซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานมีนัยสำคัญแสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดจะเปลี่ยนไปซึ่งจะพบว่าอิทธิพลร่วมมีผลมากและในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญนี้ก็ไม่มีความจำเป็นต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (main effect) ของพนักงานวัดหรือชิ้นงานอีกเพราะว่าแม้ว่าอิทธิพลหลักของพนักงานวัดจะดูเหมือนมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญแต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลมาก

2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

- สถิติและการควบคุมคุณภาพ

  (เจริญ สุนทรวาณิชย์ 2539) ได้ให้คำนิยามคำว่าสถิติไว้ดังนี้

  สถิติ คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ใช้ตัดสินในเหตุการณ์ภายใต้ความผันแปรโดยการตัดสินใจประกอบไปด้วยการรวบรวมการวิเคราะห์ตลอดจนการสรุปผลเพื่อดำเนินการจากข้อมูล

- การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Test)

  ในการตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ จะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือก คือ

  Ho : ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

  H1 : ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

  ทั้งนี้อยู่ภายใต้ความเสี่ยง $\propto$ และ β

$\propto$ หมายถึง ความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก (Null hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริงซึ่งหมายถึงความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลักทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้ จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้และในการทำการวิเคราะห์มักจะให้ค่าของ β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

- การออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

การออกแบบการทดลองนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือการพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploring) คือการศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

ในการออกแบบการทดลองนั้นมีคำจำกัดความที่นิยมใช้ดังนี้

อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กๆน้อยๆและไม่สามารถควบคุมได้

- หลักในการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้นจะต้องประกอบไปด้วยหลักการ 3 ประการคือ

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization)
2. การบล็อก (Block)
3. การทำซ้ำ (Replication)

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือการให้โอกาสในการเก็บข้อมูลแต่ละตัวเท่าๆกันเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆกัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)

การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete randomization within blocks)

การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไรและต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิตซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิตเพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลองและในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไรเพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้ายคือระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed levels) แบบสุ่ม (Random levels) หรือแบบผสม (Mixed levels)

แบบกำหนด (Fixed Level) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

แบบสุ่ม (Random Level) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

แบบผสม (Mixed Level) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response variation) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำรวมทั้งความถูกต้องของเครื่องด้วย

การเลือกแบบทดลอง จะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

การทำการทดลอง ในขณะทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลองคือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุด

การวิคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางสถิติมาวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูล วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอนแต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ เป็นต้น

การเลือกแบบการทดลอง

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design)

ใช้กับการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยว (Single factor experiment) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลองจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response variable) และปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factor) ที่สนใจ
- ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete random) ในการวัดค่า
- วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Block Design)

ใช้กับการทดลองแบบปัจจัยเดียวและมีปัจจัยรบกวน (Noise factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มคือต้องทำการสุ่ม (Randomization) ทุกครั้งต้องทำการทำซ้ำทุกการทดลองและทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน การบล็อกอาจจะทำมากกว่า 1 บล็อกก็ได้ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- ออกแบบและวางแผนการทดลอง
- เก็บข้อมูลจากการทดลอง
- วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งจะต้องมีผลของการบล็อก (Block effect) ด้วย

แผนการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial Design)

ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งถือว่าเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย(Multiple factor experiment) และเนื่องจากปัจจัย (factor) มากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัย (Main effect) ที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) ได้ด้วย

อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) คือผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ซึ่งเมื่อไม่มีอิทธพลของปัจจัยร่วมแสดงดัง (1) และเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดัง (2) โดย A และ B คือปัจจัย 2 ปัจจัย

เหตุที่ใช้การออกแบบแบบ 2^k แฟคโทเรียล นั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (model) ที่มีความเป็นเส้นตรง (linearity) จึงจะมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นหากว่า

อิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้วจะหันมาใช้แบบ 3^k แฟคโทเรียลแทน

แผนการทดลองแบบแฟรคชั่นนอลแฟคโทเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการประยุกต์จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial design) โดยการออกแบบแบบแฟคโทเรียลจะใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่มีปัจจัยเป็นจำนวนมากจึงต้องทำการตัดปัจจัยบางตัวออกโดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound)

การคอนฟาวด์ (Confound) เป็นเทคนิคที่ใช้ช่วยในการออกแบบทำให้ขนาดของบล็อกเล็กลงจากเดิมซึ่งในการออกแบบนี้จะเกิดผลทำให้ข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีตเม้นท์ (Treatment effect) รวมปะปนอยู่กับอิทธิพลของบล็อก (Block effect) เสมอ การเลือกอิทธิพลของทรีตเม้นท์ที่จะทำการคอนฟาวด์ (Confound effect) จะเลือกจากความรู้ในกระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนดโดยเลือกทรีตเม้นท์ที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อตัวผลิตภัณฑ์

การประมาณการทดสอบเอฟ (Approximate F-Test) ในการทดลองแบบแฟคโทเรียลที่มีปัจจัย 3 ปัจจัยหรือมากกว่าซึ่งจะเป็นรูปแบบกำหนดรูปแบบอื่นๆและการออกแบบที่ซับซ้อนบ่อยครั้งพบว่าไม่สามารถที่จะทดสอบทางสถิติได้อย่างถูกต้องในบางอิทธิพลของทรีตเม้นท์ซึ่งการแก้ไขวิธีหนึ่งที่เป็นไปได้คือการตั้งสมมติฐานที่ว่าในบางปฏิสัมพันธ์บางอิทธิพลสามารถที่จะละเลยได้

2.2.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

- แผนภูมิควบคุม

(ฮิโตชิ คุเมะ,ผู้เขียน, วีระพงษ์ เฉลิมจิระวัฒน์, ผู้แปล, 2541) ได้อธิบายความหมายของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ดังนี้

แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่

ดำเนินการผลิตและจะต้องควบคุมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งโดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงานซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data) จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้นได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือเส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบนและเส้นขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้และหากอยู่บนขอบเขตนี้ก็ถือว่าผลการผลิตยอมรับได้แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุมถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตจะมีความผันแปร(Variation) เกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องเหตุหรืออนุญาตหรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในกระบวนการผลิตโดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงานหรือคุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนดดังนั้นความเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญโดยสาเหตุความผันแปรต่างๆมีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิดคือ

สาเหตุที่เป็นปกติวิสัยหรือเป็นธรรมชาติของการผลิตเป็นสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรงและไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆน้อยๆของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งที่เหมือนกันทุกประการวัตถุ 100 ชิ้นที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้นก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไปเพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิกัดที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิกัดความเผื่อ (tolerance) ของชิ้นงาน

ดังนั้นความผันแปรในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้นั่นคือกระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The process is in control)

สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ เป็นต้น ของปัจจัยการผลิตต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆจำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้ง

ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูลและวัดค่าชิ้นงานตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อยแสดงได้ว่าเกิดสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตนั้นแล้วและเรียกสภาวะผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The process is out of control)

(ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย,2538) ได้อธิบายว่าแผนภูมิควบคุมคิวซีเป็นคิวซีเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมความผิดปกติในระหว่างการผลิตเพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใดเปลี่ยนแปลงหรือไม่หรือการเปลี่ยนแปลงนั้นๆยังอยู่ในพิกัดควบคุมหรือไม่ ปกติจะใช้แผนภูมิควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติหรือมีการผลิตสม่ำเสมอจะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลวๆหรือผิดปกติโดยเด็ดขาดจุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุมมีดังนี้

- เพื่อหาเป้าหมายหรือมาตรฐานของการผลิต
- เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่าการผลิตอยู่ในมาตรฐานหรือไม่
- เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนไว้ล่วงหน้า

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งานก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุมเสียก่อนคือเส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงานหรือรัฐบาลเป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด

เส้นควบคุมขีดความสามารถ(Process Capability Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตความสามารถจริงของกระบวนการโดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากรหรือคำนวณ

จากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร $\pm 3\sigma$ และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุมหรือยังในกำหนดช่วงค่าเฉลี่ย $\pm 2\sigma$

การใช้งานแผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตควรมีเทคนิคต่อไปนี้ คือ เลือกบริเวณที่จะควบคุมโดยจะต้องพิจารณาถึงว่าปัญหาอะไรที่จะต้องทำและเราจะมีจุดมุ่งหมายอะไรจากการตัดสินในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดเจนว่าต้องการข้อมูลอะไรในการพิจารณาการใช้แผนภูมิและทำการควบคุมแบบไหน โดยอาจจะเป็นแผนภูมิแบบ X-R, X, pn, p, c หรือ u chart ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่งทำแผนภูมิควบคุม

สำหรับการวิเคราะห์การเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิ ถ้ามีจุดใดๆผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันทีแล้วทำการแก้ไขสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงานหากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนขจัดหมดสิ้นและกระบวนการผลิตคงที่ให้พิจารณาดูอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมดเพื่อทำมาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยให้สรุปผลทั้งหมดเพื่อทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Standardize Working Procedure) หรืออาจจะมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมต่อไปอีกจากนั้น พล็อตข้อมูลที่ถูกเก็บได้ในแต่ละวันก่อนไปควบคุมกระบวนการผลิตถ้าการทำงานของคนงานและวิธีการผลิตเป็นแบบมาตรฐานแล้ว

แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสภาวะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดีหรือไม่แต่ถ้าปรากฏว่าสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้นต้องการค้นหาสาเหตุทันทีแล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสียก่อนคำนวณเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลงเส้นควบคุมต้องนำมาคำนวณใหม่ถ้าการควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอดระดับคุณภาพที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีเพิ่มด้วยในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตุแผนภูมิควบคุมเป็นระยะในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตุกฎต่อไปนี้

ข้อมูลที่จุดผิดปกติ ซึ่งค้นพบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

ข้อมูลที่จุดผิดปกติแต่ไม่พบสาเหตุ หรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม
(วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์,ผู้แปล 2537)

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิเพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิตซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่างๆในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้วเราได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใดๆในกระบวนการผลิตนั้นเพื่อปรับสภาวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In controlled) ได้ต่อไป

ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 6 ลักษณะอาการสำคัญเพื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกการควบคุมพบได้ชัดเจนคือมีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้

การรัน (Run)

เมื่อปรากฏติดต่อกันบนซีดใดซีดหนึ่งของเส้นค่ากลาง เราเรียกว่า เกิดรัน ความยาวของรันแต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้นและรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไป ตีความได้ว่าเกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตช่วงที่เกิดรันนั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเกิดแนวโน้ม

การมีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสลับฟันปลาเลย มีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้ายๆเส้นตรงหรือพาดลงเช่นนี้เราเรียกว่า มีการเกิดแนวโน้ม (Trend) ขึ้นในแผนภูมิควบคุม แนวโน้มที่ว่านี้คือแนวโน้มที่กำลังบอกว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตนั้นกำลังมีผปัญหาหรือมีแนวโน้มจะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม

หากแบ่งระยะ 3σ จากเส้นค่ากลางออกเป็นเส้น 2σ แล้วพบว่ามีจุด 2 จุดใน 3 จุดที่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้น 2σ กับเส้นขอบเขตควบคุม (3σ) ถือได้ว่าเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม (Approach to the control limits) และเป็นการบอกว่ามีความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว

การเกิดการเข้าใกล้ค่ากลาง

หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น 1.5σ นับจากเส้นค่ากลางขึ้นไปและลงมาแล้วไม่ได้หมายความว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุมแต่กลับแสดงว่าคงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการกำหนดขนาดของกลุ่มย่อยข้อมูลอาจมีการปะปนกันของข้อมูลที่นำมาจากต่างประชากรกันและเกิดการปะปนกัน

การเกิดวัฏจักร

มีลักษณะคือ ค่าในเส้นกราฟที่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆมีลักษณะเป็นวงจรรอบหรือวัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อๆไปได้ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดวัฏจักร (Periodicity)

- การซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

  (Nakajima Seiichi และ Shirose Kunio (JIPM) ผู้เขียน, ผศ.ดร. สมชัย อัครทิวา และ รังสรรค์ เลิศในสัตย์ ผู้แปล, 2546)

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะมี 2 ประเภทด้วยกันคือ TBM (Time Based Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ และ CBM (Condition Based Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาโดยใช้สภาวะเป็นเกณฑ์ โดยพื้นฐานแล้วการบำรุงรักษาจะเป็นแบบ TBM และเมื่อดำเนินการบำรุงรักษาในลักษณะนี้ได้สมบูรณ์แบบแล้วก็จะเกิดการบำรุงรักษาแบบ CBM

สำหรับวิธีการตรวจเช็กว่าเครื่องจักรมีการเสื่อมสภาพหรือไม่นั้น การทำความสะอาดจะเป็นวิธีการที่ได้ผลเป็นอย่างมาก พวกเราจึงได้พยายามเผยแพร่แนวคิดที่ว่า *การทำความสะอาดคือการตรวจเช็ก* ไปยังทุกๆบริษัท โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

- ในการทำความสะอาดจะสามารถสัมผัสกับทุกๆตำแหน่ง
- จากการได้สัมผัสทำให้สามารถค้นพบจุดบกพร่องในทุกๆตำแหน่ง (ความร้อน, การสั่นสะเทือน, ความหลวม, เสียงดังผิดปกติ)
- จากการทำความสะอาด (กำจัดขยะ ความสกปรก และคราบน้ำมันต่างๆ) เป็นการป้องกันจากการเสื่อมสภาพจากการถูกบังคับที่จะเกิดขึ้นได้

ดังนั้นการทำความสะอาดจึงเป็นวิธีการที่ได้ผลอย่างมากในการค้นพบจุดบกพร่องของเครื่องจักร การทำความสะอาดนั้นยังเป็นเงื่อนไขที่ขาดไม่ได้อย่างหนึ่งในการยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนหรือการรักษาความถูกต้องแม่นยำของเครื่องจักรหรือการรักษาเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพของสินค้าต่างๆได้ดังนี้

ด้านคุณภาพ

- การลดลงของของเสีย
- การลดน้อยลงของความไม่สม่ำเสมอ

ด้านเครื่องจักร

- ค้นพบจุดบกพร่องได้เร็ว
- ป้องกันการสึกกร่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- รักษาหน้าที่การทำงานของเครื่องจักร
- ป้องกันการทำงานของเครื่องจักร
- ป้องกันการทำงานที่ผิดพลาดของเครื่องจักร
- รักษาความถูกต้องแม่นยำ

ด้านจิตวิทยา

- เสริมสร้างความสามารถในการค้นพบจุดบกพร่อง
- เพิ่มความเอาใจใส่กับเครื่องจักรมากขึ้น
- เพิ่มความมุ่งมั่นในการทำงาน
- ทำให้สถานที่ปฏิบัติงานสวยและสะอาด
- เพิ่มความเชื่อถือได้จากภายนอก

การบำรุงรักษาด้วยกิจกรรม Seiso- inspection

(ไกรวิทย์ เศรษฐวนิช, ผู้เขียน 2546)

การบำรุงรักษาด้วยกิจกรรม Seiso- inspection นั้นเป็นแนวทางหนึ่งที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรให้ดีขึ้น คำว่า Seiso หมายถึง การทำความสะอาดอย่างจริงจังส่วน Inspection หมายถึง การตรวจสอบ เมื่อนำมารวมกันจึงมีความหมายว่า การทำความสะอาดพร้อมกับการตรวจสอบอย่างจริงจังโดยมีการบันทึกรายละเอียดที่ทำการตรวจสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์หาแนวทางป้องกันปัญหาต่อไป

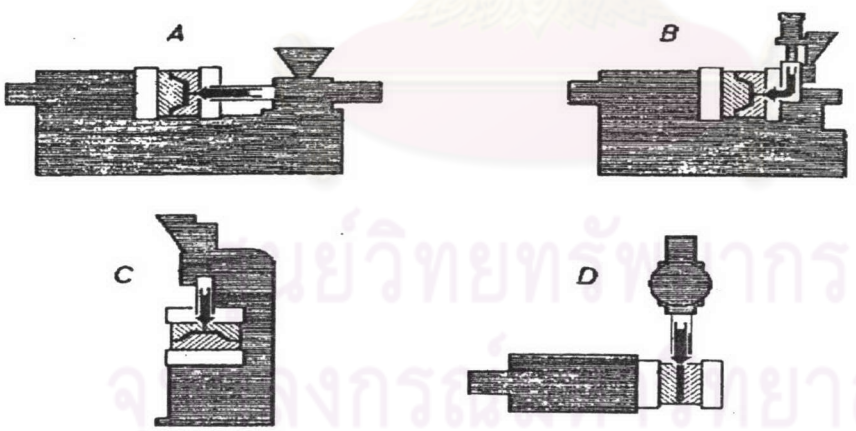
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก

2.3.1 เครื่องฉีดพลาสติก

ในการทำงานฉีดพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเทอร์โมพลาสติกนั้น บริษัทที่ผลิตเครื่องฉีดออกมามากมายหลายแบบ ซึ่งไม่สามารถที่จะนำเอาแต่ละแบบมาแสดงในที่นี้ได้ ในหลักการแล้วเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหลายจะแตกต่างกันเฉพาะรูปแบบ วัสดุที่ใช้ ระบบส่งกำลัง ส่วนจุดมุ่งหมายในการนำมาใช้งานนั้นคล้ายคลึงกันมาก เครื่องฉีดพลาสติกแบ่งตามลักษณะของทิศทางการฉีดได้ 4 แบบ (ดังรูป 2.1)

แบบที่ใช้มากที่สุดก็คือแบบ A โดยชุดฉีด และหน่วยเปิด-ปิด แบบอยู่ในทิศทางเดียวกันเครื่องฉีดแนวดิ่งแบบ C และ D โดยปกติจะออกแบบไว้สำหรับการฉีดหุ้มชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ เช่น ด้ามมีด ด้ามไขควง ฯลฯ ส่วนแบบ B นั้น เป็นการออกแบบพิเศษในกรณีที่การทำงานปกติไม่สะดวก



รูปที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องฉีดพลาสติกแบ่งตามทิศทางการฉีด

แบบ A แบบทำงานตามแนวนอน พลาสติกไหลเข้าแบบเป็นเส้นตรงตามแนวนอน ตั้งฉากกับระนาบของแม่แบบ

แบบ B แบบหัวฉีดอยู่ในแนวตั้งแต่พลาสติกไหลเข้าแบบในแนวนอน โดยพลาสติกเหลวที่ออกจากกระบอกสูบในแนวดิ่งแล้วจะเปลี่ยนทิศทางไป 90 องศา ไปอยู่ในแนวนอนและไหลเข้าไปในแนวตั้งฉากกับระนาบของแม่แบบเช่นเดียวกันกับแบบ A

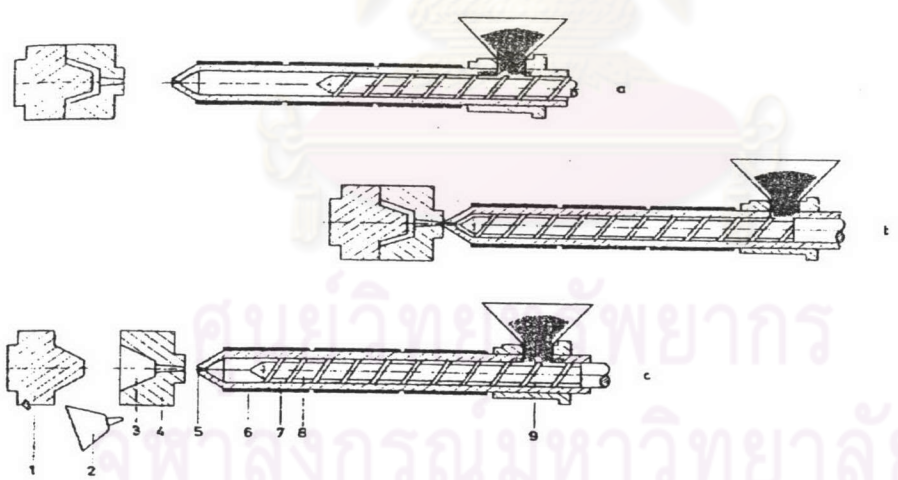
แบบ C แบบทำงานในแนวดิ่ง โดยเฉพาะพลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่งเข้าในแม่แบบในแนวตั้งฉากกับระนาบเปิดปิดแบบ

แบบ D แบบหัวฉีดอยู่ในแนวดิ่ง พลาสติกไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับทิศทางเปิดปิดแบบ หรืออยู่ในแนวเดียวกับระนาบของแม่แบบ

2.3.2 กรรมวิธีฉีดพลาสติก

ดังรูป 2.2 ช่วงแรก (a) พลาสติกซึ่งอาจจะเป็นเม็ดหรือผงในกรวยเดิม จะถูกเกลียวหนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบ ซึ่งมีแผ่นความร้อนหรือน้ำมันร้อนหุ้มอยู่ จะทำให้พลาสติกหลอมเหลว หลังจากนั้นตัวหนอนจะเคลื่อนที่ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่แบบซึ่งปิดอยู่ ดังแสดงในรูป (b)

หลังจากนั้นแม่แบบซึ่งหล่อเลี้ยงอย่างดีจะทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัว สามารถถอดออกจากแบบได้



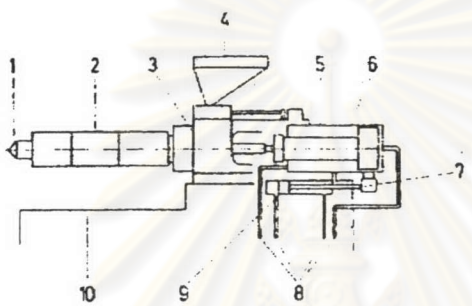
รูปที่ 2.2 แสดงรายละเอียดของเครื่องฉีด

เครื่องฉีดพลาสติกประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ ชุดฉีดและชุดเปิด-ปิดแบบ

2.3.3 ชุดฉีด

จังหวะการทำงานของชุดฉีดพลาสติกก็คือ พาพลาสติกจากกรวยเติมเข้าหลอมในกระบอกสูบ ทำการอัดพลาสติกเหลวเข้าแบบ หลังจากชิ้นงานเข้าแบบและเย็นจนปลดออกจากแบบได้แล้วก็จะนำพลาสติกใหม่เข้าหลอมในกระบอกสูบเพื่อรอจังหวะฉีดต่อไป

ชุดฉีดประกอบด้วย กระบอกสูบ ลูกสูบหรือเกลียวหนอน หัวฉีด ชุดป้อนพลาสติก Heater และ ระบบส่งกำลังขับ ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 ชุดฉีด (Injection Unit)

1 หัวฉีด 2 กระบอกสูบ 3 ระบบเฟืองทดขับเกลียวหนอน 4 กรวยเติมพลาสติก 5 ลูกสูบไฮโดรลิคสำหรับการเคลื่อนที่ของเกลียวหนอนตมแนวแกน 6 กระบอกสูบไฮโดรลิค 7 กระบอกสูบไฮโดรลิคสำหรับการเคลื่อนที่เข้าออกของหัวฉีด 8 ท่อไฮโดรลิค 9 ลูกสูบไฮโดรลิคสำหรับการเคลื่อนที่ของชุดฉีด 10 ฐานเครื่อง

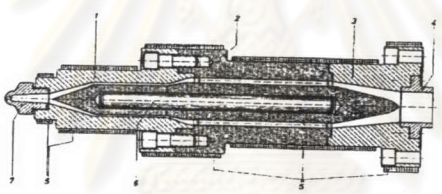
2.3.3.1 กระบอกสูบหลอมพลาสติก (Cylinder)

กระบอกสูบหลอมพลาสติก มีลักษณะเป็นท่อหนา และมี Heater หุ้มอยู่โดยรอบ มีหน้าที่ทำให้พลาสติกหลอมเหลว ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและควบคุมอุณหภูมิของพลาสติกเหลวให้สม่ำเสมอ โดยปกติจะทำด้วยเหล็กแข็งทนต่อการกัดกร่อน (ปลอดสนิม) ผิวกระบอกสูบด้านในจะต้องขัดเรียบ เพื่อให้มีความฝืดน้อยที่สุด

เนื่องจากลูกสูบอัดพลาสติกมีสองลักษณะ คือแบบลูกสูบทรงกระบอกและแบบเกลียวหนอน สำหรับชุดฉีดที่ใช้ลูกสูบทรงกระบอกนั้น ถ้าให้ความร้อนแก่พลาสติกเฉพาะที่ผิวนอกของกระบอกสูบอย่างเดียว จะทำให้พลาสติกได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ

กล่าวคือส่วนที่สัมผัสกับผิวกระบอกสูบจะร้อนหลอมละลาย แต่ส่วนที่อยู่ตรงกลางจะไม่หลอมละลายเพราะพลาสติกเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ปริมาณการส่งผ่านความร้อนให้กับพลาสติกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของพลาสติกกับผิวของกระบอกสูบ และเพื่อแก้ปัญหาพลาสติกร้อนไม่เท่ากัน จึงหันมาใช้แท่งขวางทางเดินของพลาสติกรูปร่างคล้ายตอร์ปีโด (Torpedo) เพื่อให้พลาสติกเบียดตัวไปสัมผัสกับพื้นผิวของกระบอกสูบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะมีผลทำให้พลาสติกทั้งหมดมีอุณหูมิใกล้อุณหภูมิของผิวกระบอกสูบมากที่สุด

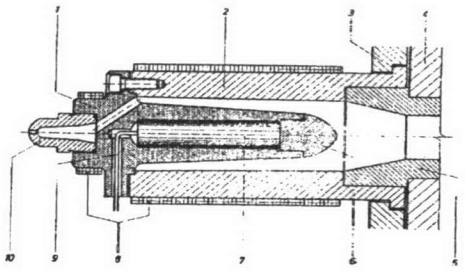
ตอร์ปีโดมีหลายรูปแบบดังรูป 2.4 เป็นแบบหนึ่งที่ใช้งานได้ดีพอสมควร โดยพลาสติกที่ถูกอัดเข้ามาจากกระบอกสูบช่วงแรกจะเบียดตัวออกไปผ่านรูรอบๆตอร์ปีโด ซึ่งจะได้รับความร้อนมาจาก Heater ของผิวนอกแพร่ไปทั่วตอร์ปีโด โดยมีแท่งทองแดงช่วยนำความร้อนไปเฉลี่ยให้สม่ำเสมอสอดอยู่ตรงกลาง



รูปที่ 2.4 กระบอกสูบพลาสติกแบบเจาะรูรอบตอร์ปีโดและมีแท่งทองแดงช่วยเฉลี่ยความร้อน

1 ส่วนหัวของกระบอกสูบ 2 ช่วงกลางของกระบอกสูบ 3 หน้าแปลน 4 ปลอกนำลูกสูบ 5 Heater 6 แท่งทองแดง 7 หัวฉีด

วิธีการให้ความร้อนแก่แท่งตอร์ปีโดที่ดีที่สุดก็คือ การฝังแท่ง Heater ไว้โดยตรงดังรูป 2.5 และ 2.6 ซึ่งการให้ความร้อนโดยตรงนี้จะทำให้ผลของการหลอมตัวดีกว่าแบบในรูป 2.4 ถึง 80% แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้างตรงที่ว่าตรงปลายของกระบอกสูบจะมีบริเวณอับ และอากาศขังอยู่ได้จะทำปฏิกิริยากับพลาสติกเป็นแถบสีน้ำเงิน แต่ก็จะเป็นเฉพาะพลาสติกบางชนิดเท่านั้น ไม่ควรถือเป็นสิ่งสำคัญมาก

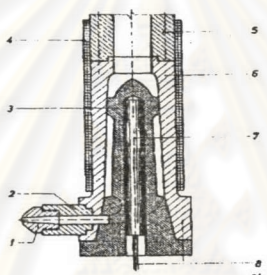


รูปที่ 2.5 กระบอกสูบหลอมพลาสติกแบบนอนใช้แท่ง Heater ให้ความร้อนแก่ตอร์ปีโดโดยตรง

1 ส่วนหัวของกระบอกสูบที่ทำแท่งตอร์ปีโดติดไว้ , 2 กระบอกสูบ

3 แหวนสำหรับยึดกระบอกสูบ ,4 แผ่นยึดกระบอกสูบ ,5 ปลอกนำลูกสูบ

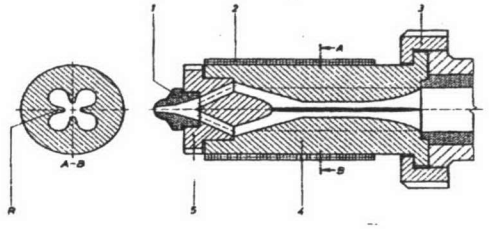
6 หัวตอร์ปีโด ,7 แท่ง Heater ,8 แผ่น Heater ,9 สายไฟเข้าแท่ง Heater 10 หัวฉีด



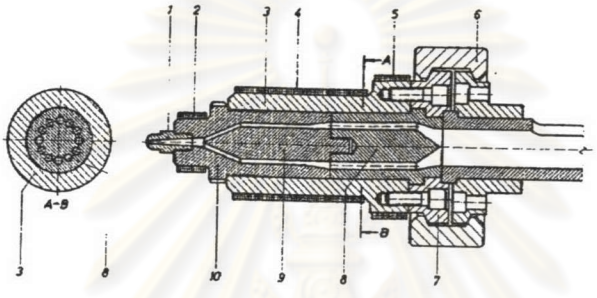
รูปที่ 2.6 กระบอกสูบหลอมพลาสติกแบบตั้งใช้ฉีดตามแนวนอนมี Heater ให้ความร้อนในตอร์ปีโด

1 หัวฉีด , 2 ข้อต่อ , 3 ตอร์ปีโด ,4 แผ่น Heater , 5 ปลอกนำลูกสูบ , 6 กระบอกสูบหลอมพลาสติก , 7 แท่ง Heater , 8 สายไฟเข้าแท่ง Heater

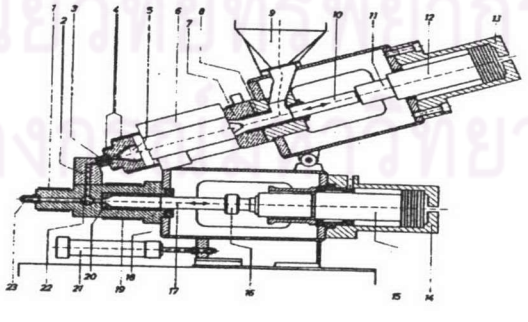
ตามหลักแล้วหน้าที่ของกระบอกสูบหลอมพลาสติกนั้นไม่ใช่แต่ทำหน้าที่หลอมให้พลาสติกเหลวอย่างเดียว แต่ยังต้องการให้มีการผสมพลาสติกให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วย จึงได้มีการออกแบบกระบอกสูบหลอมพลาสติก โดยให้พลาสติกในกระบอกสูบไหลผ่านห้องผสมก่อนที่จะออกไปเข้าแม่แบบ ห้องผสมนี้ทำโดยให้ช่องทางไหลของพลาสติกเป็นทรงกรวยและถ้าให้ผ่านห้องผสมหลายๆครั้งต่อเนื่องกันก็จะทำให้ผสมเข้ากันดี ดังรูป 2.7 ซึ่งทำช่องทางไหลของพลาสติกเป็นครีบช่วยกระจายความร้อน ทำให้พลาสติกหลอมเหลวทั่วถึงเป็นการลดความต้านทานก่อนเข้าห้องผสมด้วย



รูปที่ 2.7 กระบอกสูบแบบมีช่วงผสม พร้อมทั้งครีบกระจายความร้อน
1 หัวฉีด , 2 Heater ,3 น็อตยึดกระบอกสูบ , 4 ช่วงมีครีบกระจายความร้อน, 5 หัวประกอบหัวฉีด R ครีบกระจายความร้อน



รูปที่ 2.8 กระบอกสูบหลอมพลาสติก 3 ตอนและมีตอร์ปิโดเป็นส่วนหนึ่งของกระบอกสูบ
1 หัวฉีด ,2 Heater ให้ความร้อนแก่หัวฉีด ,3 เสื้อหุ้มกระบอกสูบ ,4 Heater สำหรับกระบอกสูบช่วงกลาง 5 Heater ช่วงหลัง 6 ตอร์ปิโดพร้อมช่องทางไหลของพลาสติก 7 หน้าแปลน 8 ตอร์ปิโดพร้อมช่องทางไหลของพลาสติก 9 ตอร์ปิโดด้านหน้า 10 หัวประกอบหัวฉีด



รูปที่ 2.9 เครื่องฉีดพลาสติกแบบลูกสูบซึ่งมีกระบอกสูบหลอมพลาสติกอยู่ตอนบนและกระบอกสูบฉีดพลาสติกอยู่ด้านล่างในแนวนอน(1, 4 และ 19) Heater 2 ข้อต่อนำพลาสติกเข้าเครื่องฉีด 3 หัวต่อ 5 ตอร์ปิโด 6 เสื้อหุ้มกัน ความร้อนรอบนอก 7 กระบอกสูบหลอมพลาสติก (8,20) ปลอกนำลูกสูบ (11,16) Coupling (12,15) ลูกสูบไฮโดรลิค 13 กระบอกสูบไฮโดรลิคสำหรับขับลูกสูบหมายเลข 10 14 กระบอกสูบไฮโดรลิคสำหรับขับลูกสูบ 17 ลูกปืนฉีดพลาสติก 18 กระบอกสูบฉีดพลาสติก 21 กระบอกสูบไฮโดรลิคสำหรับขับเคลื่อนชุดฉีด 22 วาล์วสำหรับปิดหัวฉีด 23 หัวฉีด

สำหรับการหลอมพลาสติกครั้งละมากๆ ที่ใช้กับเครื่องขนาดใหญ่ จำเป็นจะต้องมีปริมาตรภายในกระบอกสูบมาก ในการนี้จะใช้กระบอกสูบหลายตอน (Polyliner) ต่อกันเป็นช่วงๆ

2.3.3.2 ลูกสูบและเกลียวหนอน

ในการฉีดพลาสติกเข้าแบบจำเป็นจะต้องมีลูกสูบแบบอัดพลาสติกด้วยความดันสูง เนื่องจากพลาสติกมีความหนืดและนอกจากนั้นช่องทางพลาสติกไหลเข้าแบบยังแคบซึ่งจะทำให้เกิดความต้านทานสูง ถ้าความดันในการฉีดเข้าแบบไม่พอเพียง อาจทำให้พลาสติกเข้าไม่เต็มแบบได้ ลูกสูบที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 แบบคือ แบบลูกสูบทรงกระบอกและลูกสูบเกลียวหนอน

- ลูกสูบทรงกระบอก

ลูกสูบทรงกระบอกถ้าเป็นเครื่องขนาดเล็กจะมีลูกสูบเดียว ทำหน้าที่นำพลาสติกเข้าหลอมเหลว และอัดเข้าแบบ ถ้าเป็นเครื่องขนาดใหญ่ฉีดพลาสติกครั้งละมากๆ จำเป็นจะต้องมีกระบอกสูงหลอมพลาสติกซึ่งมีลูกสูบทรงกระบอกหนึ่งลูก และกระบอกสูบฉีดก็จะมีลูกสูบอัดฉีดพลาสติกอีกหนึ่งลูกดังรูป 2.9

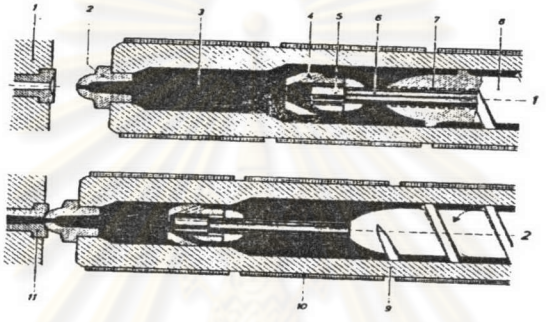
โดยมีกระบอกสูบและลูกสูบหลอมพลาสติกอยู่ตอนบนทำหน้าที่หลอมเหลวพลาสติกให้พร้อมที่จะฉีดเข้าแบบได้ และตอนล่างในแนวนอนเป็นกระบอกสูบและลูกสูบฉีดพลาสติกที่มาจากกระบอกสูบหลอมเหลวไปเข้าแม่แบบผ่านทางหัวฉีด

- ลูกสูบตัวหนอน

- ลูกสูบตัวหนอน

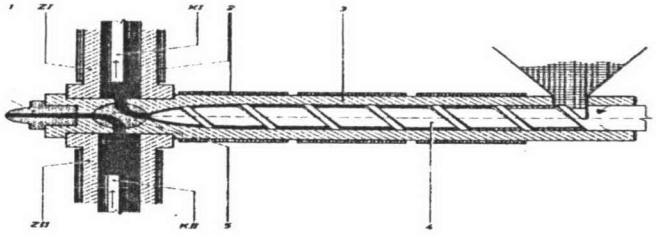
ลูกสูบแบบตัวหนอนที่ใช้ในงานฉีดพลาสติกมี 2 ลักษณะคือ แบบทำหน้าที่พลาสติกเข้าหลอมเหลวอย่างเดียวและมีลูกสูบฉีดเข้าแม่แบบอีกต่างหาก กับอีกแบบหนึ่งทำหน้าที่พลาสติกเข้าหลอมเหลวและเป็นลูกสูบฉีดในตัวเดียวกัน

ลูกสูบเกลียวหนอนแบบทำหน้าที่พาพลาสติกเข้าหลอมเหลวอย่างเดียว มีลักษณะการสร้างแตกต่างกันตามแบบของแต่ละบริษัทผู้ผลิตเครื่อง ดังตัวอย่างในรูป 2.10 เป็นแบบที่มีลูกสูบอัดพลาสติกเข้าแม่แบบอยู่ตรงกลางของเกลียวหนอน



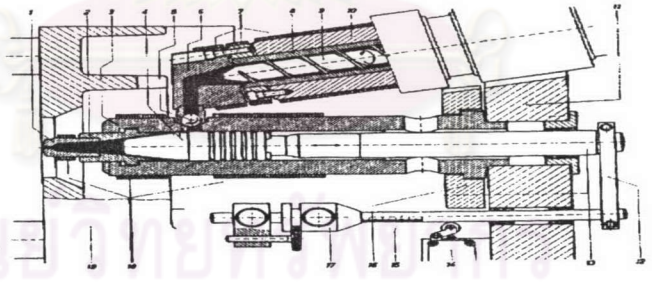
รูปที่ 2.10 ชุดฉีดแบบใช้ตัวหนอนทำหน้าที่พาพลาสติกเข้าหลอมเหลวและมีลูกสูบฉีดพลาสติกอยู่ตรงกลางของตัวหนอน
จังหวะที่ 1 เป็นช่วงส่วนพลาสติกเข้า หัวของลูกสูบถอยกลับ
จังหวะที่ 2 หลังจากพลาสติกหลอมเหลวดีแล้ว ลูกสูบจะเดินหน้าดันพลาสติกเหลวเข้าแม่แบบฝาครอบหัวสูบจะปิดทางไหลกลับของพลาสติก
1 แม่แบบด้านฉีดเข้า 2 หัวฉีด 3 ช่วงหน้าของกระบอกสูบ 4 ฝาครอบสูบ 5 ลูกสูบ 6 ก้านสูบ7 ร่องประเก็นภายในรูของเกลียวหนอน 8 เกลียวหนอน 9 กระบอกสูบ 10 Heater 11 หัวนำฉีด

อีกลักษณะหนึ่งของลูกสูบเกลียวหนอนที่ทำหน้าที่พาพลาสติกเข้าหลอมเหลว พลาสติกที่หลอมเหลวจะเข้าไปอยู่ในกระบอกสูบฉีดจะอัดพลาสติกเข้าแบบผ่านวาล์วเปลี่ยนทิศทาง และพลาสติกที่ออกจากกระบอกสูบหลอมพลาสติกก็จะถูกเปลี่ยนทิศทางไปเข้ากระบอกสูบฉีดอีกชุดหนึ่ง ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 ชุดฉีดพลาสติกแบบใช้เกลียวหนอนพลาสติกเข้าหลอมเหลวและมีลูกสูบฉีดพลาสติกเข้าแม่แบบ2 ชุด
ระบบนี้เกลียวหนอนจะหมุนตลอดเวลา พลาสติกเหลวจะเปลี่ยนไปเข้ากระบอกสูบฉีดพลาสติกสลับกันด้วยวาล์วเปลี่ยนทิศทาง

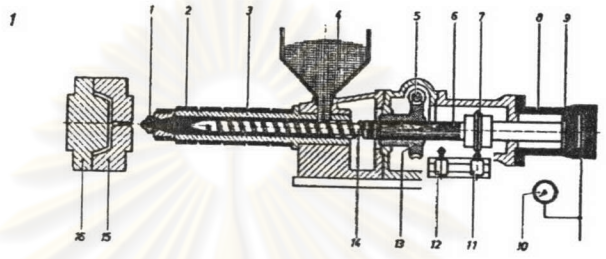
อีกลักษณะหนึ่งของเกลียวหนอนทำหน้าที่เป็นตัวพาพลาสติกเข้าหลอมเหลวและมีลูกสูบ อัดฉีดเข้าแม่แบบแยกออกมาอีกชุดหนึ่ง ดังแสดงในรูป 2.12 ตอนบนจะเป็นระบบเกลียวหนอนอยู่ในกระบอกสูบหลอมพลาสติก และตอนล่างในแนวนอนจะเป็นกระบอกสูบพร้อมลูกสูบอัดฉีดพลาสติก การกะเกณฑ์ปริมาณพลาสติกฉีดเข้าแบบแต่ละครั้งจะทำได้โดยปรับระยะของลูกสูบอัดให้ห่างจากหัวฉีดมากน้อยต่างกัน ทั้งนี้จะมีชุดปรับตั้งระยะของลูกสูบหมายเลข 17 อยู่ใต้กระบอกสูบโดยดูระยะที่สเกลบนเพลา 15



รูปที่ 2.12 เครื่องฉีดพลาสติกแบบใช้เกลียวหนอนหลอมพลาสติกแล้วส่งเข้ากระบอกสูบฉีดซึ่งแยกกันอยู่
1 หัวฉีด 2 บ่าล็อคหัวฉีด 3 กระบอกสูบฉีด 4 หัวสูบฉีด 5 วาล์วกันกลับ 6 หัวกระบอกสูบเกลียวหนอน 7 Heater หุ้มกระบอกสูบเกลียวหนอน 8 ปลอกนำเกลียวหนอน 9 เกลียวหนอน 10 กระบอกสูบเกลียวหนอน 11 แผ่นฐานรองรับกระบอกสูบ 12 แขนต่อชุดตั้งระยะลูกสูบ 13 ก้านสูบอัดฉีด 14 สวิตช์ตั้งระยะควบคุมปริมาณการอัด 15 เพลาตั้งระยะ

16 แหวนประกอบกระบอกสูบ 17 กรวยตั้งระยะ 18 Heater ที่กระบอกสูบฉีด 19 แผ่นติดแบบด้านฉีดเข้า

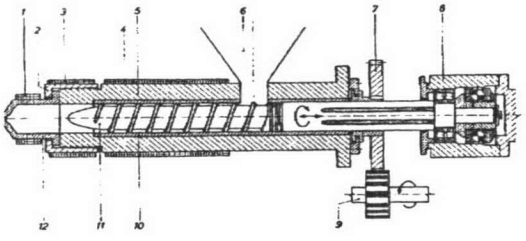
สำหรับเกลียวหนอนที่ทำหน้าที่เป็นตัวพาพลาสติกเข้าหลอมเหลวและเป็นลูกสูบอัดฉีดไปในตัว ทำงานตามจังหวะดังต่อไปนี้ ดูรูป 2.13



รูปที่ 2.13 จังหวะการทำงานของเกลียวหนอนที่ทำหน้าที่เป็นลูกสูบอัดฉีดพลาสติกเข้าแบบ

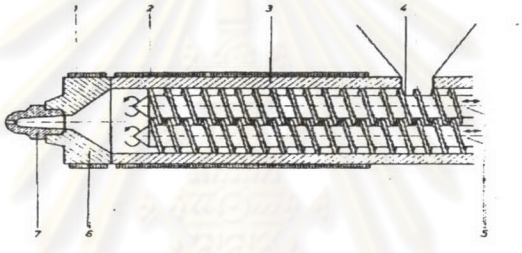
1 หัวฉีด 2 Heater 3 กระบอกสูบหลอมพลาสติก 4 กรวยเติมพลาสติก 5 เพลาเฟืองหนอนสำหรับทดความเร็วส่งกำลังให้เกลียวหนอนเคลื่อนที่ตามแนวแกน 6 พลา spline สำหรับส่งกำลังให้เกลียวหนอนเคลื่อนที่ตามแนวแกน 7 แง่สำหรับกด limit switch 8 กระบอกสูบไฮโดรลิค 9 ลูกสูบไฮโดรลิค 10 เกจวัดความดัน 11 limit switch สำหรับการตั้งปริมาณพลาสติกที่จะฉีดแต่ละครั้ง 12 limit switch ตั้งระยะเดินหน้าของลูกสูบ 13 เฟืองหนอน 14 เพลาเกลียวหนอน 15 แม่แบบด้านฉีดเข้า (อยู่กับที่) 16 แม่แบบด้านเคลื่อนที่ (HO = ปริมาตรของน้ำมันไฮโดรลิค, T = ชิ้นงานสำเร็จ)

เกลียวหนอนที่ใช้เป็นลูกสูบฉีดอัดพลาสติกเข้าแม่แบบนั้นมีหลายลักษณะแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ซึ่งมีทั้งแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและคู่ ดังตัวอย่างในรูป 2.14 และ 2.15



รูปที่ 2.14 เกลียวหนอนแบบใช้เป็นลูกสูบอัดพลาสติก

1, 3, 4 Heater 2 ฝาเกลียวล็อคหัวฉีด 5 กระบอกสูบหลอมพลาสติก 6 กรวยเติมพลาสติค 7 เฟืองขับเกลียวหนอน 8 แบริ่งของพลาสติกเกลียวหนอน 9 เพลาขับ 10 ปลอกนำเกลียวหนอน 11 เกลียวหนอน 12 หัวฉีด



รูปที่ 2.15 เกลียวหนอนคู่อัดฉีดพลาสติก

1, 2 Heater 3 กระบอกสูบหลอมพลาสติก 4 กรวยเติมพลาสติก 5 เกลียวหนอนคู่หมุนทิศทางเดียวกัน 6 ส่วนหัวของกระบอกสูบ 7 หัวฉีด

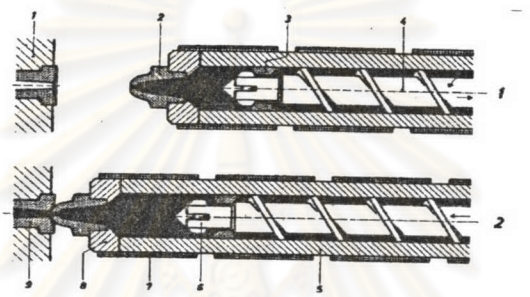
การใช้เกลียวหนอนเป็นลูกสูบอัดพลาสติกเข้าแม่แบบนั้น ในจังหวะอัดจะมีการไหลย้อนกลับหรือหยุดไหลของพลาสติกเหลว ทำให้พลาสติกที่ร้อนอยู่แล้วร้อนยิ่งขึ้น จนอาจจะร้อนเกินไป จนสีของพลาสติกเปลี่ยนเป็นสีอื่นเข้าผสมไปกับพลาสติกเหลวที่ฉีดในจังหวะต่อไปได้ ในการนี้จะแก้ไขได้โดยใช้แหวนกันการไหลย้อนกลับในจังหวะฉีดติดไว้ที่ปลายเกลียวหนอนดังแสดงไว้ในรูป 2.16

-ระบบส่งกำลังขับเกลียวหนอน

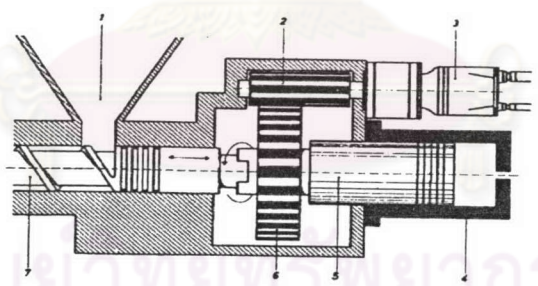
เกลียวหนอนจะมีการเคลื่อนที่สองลักษณะคือ การหมุนเพื่อพาพลาสติกเข้าและการเคลื่อนที่ตามแนวนอน เดินหน้าสำหรับจังหวะฉีดพลาสติกเข้าแม่แบบและถอยกลับหลังในจังหวะหมุนพาพลาสติกเข้าไปหลอมเหลว

การส่งกำลังขับ โดยปกติจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าหรือไฮโดรลิคมอเตอร์ สำหรับการเปลี่ยนความเร็วรอบของเกลียวหนอนได้ทุกความเร็วนั้นนิยมใช้ไฮโดรลิคมอเตอร์เพราะสามารถจะปรับความเร็วรอบได้ง่าย โดยการปรับวาล์ว ดังรูป 2.17

สำหรับการใช้มอร์เตอร์ส่งกำลังขับนั้นถ้าต้องการให้สามารถเปลี่ยนความเร็วได้ทุกขั้นตอนตามต้องการแล้ว จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วควบคู่กับมอเตอร์ไฟตรง หรือจะใช้ระบบความเร็วรอบแบบไม่มีขั้นทางกลก็ได้ ในรูป 2.18 แสดงระบบส่งกำลังด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 เกลียวหนอนอัดฉีดพลาสติก



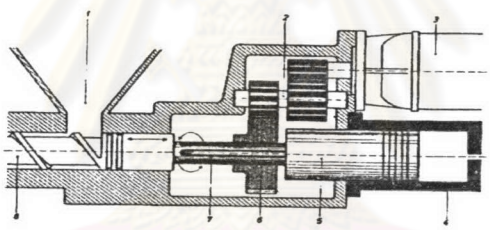
รูปที่ 2.17 ระบบส่งกำลังขับเกลียวหนอน โดยการส่งกำลังเคลื่อนที่ตามแนวแกนใช้ระบบไฮโดรลิคและการส่งกำลังหมุนใช้มอร์เตอร์ไฟฟ้า
กรวยเติมพลาสติก 2. เฟื่องทดความเร็ว 3. มอร์เตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังขับ 4. กระบอกสูบไฮโดรลิค 5. ลูกสูบไฮโดรลิค 6. เฟืองขับ 7. เกลียวหนอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **หัวฉีด**

หัวฉีดเป็นชิ้นส่วนที่ติดอยู่ข้างหน้าของกระบอกสูบฉีดพลาสติกโดยติดอยู่ด้วยเกลียวหรือแง่ล็อคดังรูปที่ 2.19 มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อชุดฉีดกับแม่แบบในการส่งพลาสติกจากกระบอกสูบหลอมพลาสติกผ่านหัวนำฉีดเข้าไปยังแม่แบบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดขึ้นอยู่กับช่องว่างที่พลาสติกจะเข้าไปแทนที่ในแม่แบบ สำหรับขนาดเล็ก(20-30 กรัม) หัวฉีดจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-3.5 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นงานชิ้นใหญ่ๆที่มีความหนาไม่เท่ากันทั่วทั้งชิ้นงานิขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดอาจมีถึง 6 มิลลิเมตร

หัวฉีดโดยปกติจะมีสองแบบคือแบบหน้าโค้งกับหน้าราบดังรูป 2.18 จะใช้กับแม่แบบที่ไม่มีปลอกนำฉีด (Sprue Bush) ส่วนแบบหน้าโค้งดังรูป เป็นแบบปกติที่ใช้กับแม่แบบที่มีปลอกนำฉีด



รูปที่ 2.18 แสดงการประกอบหัวฉีดเข้ากับปลายกระบอกสูบโดยใช้แง่ล็อค แบบA แบบใช้เกลียวยึด

2.3.4 การให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิของการหลอมพลาสติก

การให้ความร้อนในเครื่องฉีดพลาสติกนั้นจะใช้ไฟฟ้าเกือบทั้งหมดส่วนการให้ความร้อนแบบอื่นๆเช่นใช้ Induction ไอน้ำ ก๊าซร้อน หรือน้ำมันร้อนนั้นมีใช้น้อยมากทั้งนี้เพราะควบคุมอุณหภูมิได้ยาก

ความร้อนที่ออกจากลวดความร้อนไฟฟ้าสามารถจะส่งผ่านไปยังวัสดุที่ต้องการทำให้ร้อนได้ทุกชนิดอย่างไรก็ดีย่อมมีความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นบ้างในลักษณะของการพาของอากาศและการแผ่รังสีความร้อนไปยังบรรยากาศ

เพื่อให้ได้อุณหภูมิคงที่ในช่วงที่ต้องการให้ความร้อนจะทำได้โดยการควบคุม Heater ไฟฟ้าและจะต้องหาขนาดของ Heater ให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องด้วย

2.3.5 หน่วยเปิด-ปิดแม่แบบ

ทำหน้าที่เคลื่อนที่เปิดและปิดแม่แบบในจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก แม่แบบโดยปกติจะมีสองฝาประกบกันโดยก้านที่ฉีดพลาสติกเข้าจะเป็นด้านอยู่กับที่และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เคลื่อนไหวเปิดปิด ฝาประกบทั้งสองจะประกบอยู่กับแผ่นติดแม่แบบที่ติดมากับเครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วๆไป

หน่วยเปิด-ปิดแบบแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบคือระบบปิดด้วยแรง (actuated by force) โดยอาศัยแรงของสูบไฮโดรลิคทำหน้าที่ปิดและระบบปิดด้วยกลไกร่วม (interlocking) ซึ่งจะปิดแน่นด้วยระบบกลไกแต่การเคลื่อนที่เปิดปิดจะใช้แรงขับจากไฮโดรลิคหรือมอเตอร์ไฟฟ้า โดยทั้งสองระบบที่จะต้องทำหน้าที่อัดแม่แบบให้ประกบกันแน่นต้านความดันภายในแม่แบบทั้งนี้หมายความว่าแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันภายในแม่แบบจะต้องน้อยกว่าแรงดันต้านของหน่วยเปิด-ปิดแบบ

ชิ้นงานฉีดบางลักษณะไม่สามารถจะฉีดเข้าตรงกลางโดยตรงได้ ในกรณีจะต้องเจาะรูฉีดของแม่แบบเยื้องศูนย์ในลักษณะนี้จะเกิดความไม่สมดุลของแรงขึ้นอาจทำให้แบบเผยอได้ในกรณีนี้ให้ลดแรงอัดปิดแบบลง 20-30% ของแรงอัดสูงสุด

เนื่องจากความดันภายในแม่แบบสูงมากซึ่งเป็นผลให้มีแรงกระทำต้านระบบเปิด-ปิดแบบมาก ซึ่งถ้าแรงอัดปิดแบบไม่พอจะทำให้แบบเผยอได้ ในการใช้แรงอัดปิดแบบต้านแรงภายในแม่แบบนั้นควรเลือกใช้ให้พอดี ถ้าใช้แรงมากเกินไปจะมีผลทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องที่รับแรงล้าตัวทำให้อายุการใช้งานของเครื่อง

2.3.6 แม่แบบ (Mould)

เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของพลาสติกที่สามารถแปรรูปเป็นรูปร่างอย่างไรก็ได้ตามต้องการ โดยในการแปรรูปนั้นจะต้องมีแม่แบบเป็นตัวทำให้เกิดรูปทรงของชิ้นงานขึ้น แม่แบบนั้น

จะมีทั้งแบบชิ้นงานเดียวและชิ้นงานหลายชิ้น ชิ้นงายเดียวหมายความว่าฉีดหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นงานหนึ่งชิ้น ส่วนแม่แบบชิ้นงานหลายชิ้นจะได้ชิ้นงานหลายชิ้นต่อการฉีดหนึ่งครั้ง

แม่แบบชิ้นงานหลายชิ้นโดยปกติจะเป็นชิ้นงานแบบเดียวกันทั้งหมด ยกเว้นในการฉีดของเด็กเล่นที่มีชิ้นส่วนประกอบแตกต่างกันในแม่แบบเดียวกัน

การปลดชิ้นงาน หมายถึง การนำเอาชิ้นงานพลาสติกที่เย็นออกจากแบบขณะที่แบบเปิดออกซึ่งมีหลักการทำงานที่สำคัญอยู่ 4 ประการ คือ

1. ในการปลดชิ้นงานจะต้องไม่ทำให้ชิ้นงานแปรรูปหรือเสียรูปไป
2. การปลดชิ้นงานจะต้องมั่นใจได้ว่าชิ้นงานจะต้องหลุดออกทุกครั้งที่ทำการปลด
3. ต้องใช้เวลาในการปลดชิ้นงานออกสั้นที่สุด
4. จากคำกล่าวในข้อ 3 จึงมีความต้องการในการปลดชิ้นงานออกโดยอัตโนมัติเกิดขึ้น

2.3.7 การตั้งอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก

ในการฉีดเทอร์โมพลาสติกนั้น เนื่องจากช่วงการหลอมตัวของพลาสติกค่อนข้างจะแคบ นั่นคือถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปพลาสติกจะสลายตัว ถ้าต่ำเกินไปพลาสติกจะมีความฝืดมาก ไหลเข้าแบบได้ไม่สะดวกดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในช่วงต่างๆระหว่างทำการหลอมและฉีดพลาสติกจึงมีความสำคัญมากการตั้งอุณหภูมิที่จุดต่างๆของเครื่องจะทำได้โดยการตั้งที่ตัวควบคุมอุณหภูมิของ Heater แต่ละตัวที่หุ้มกระบอกสูบอยู่ สำหรับแม่แบบนั้นก็จำเป็นจะต้องรักษาอุณหภูมิให้พอดีด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปก็จะทำให้ไม่สามารถเปิดแบบได้เร็ว ทำให้จังหวะการฉีดช้า แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะทำให้การเย็นตัวของพลาสติกต้องวิ่งไปเข้าแบบเป็นระยะทางไกลๆอาจทำให้พลาสติกเหลวเย็นตัวจนมีความหนืดสูงไม่สามารถวิ่งเข้าแบบท้ายได้เต็มแบบการควบคุมของแม่แบบจะทำได้โดยการปรับแบบวาล์วน้ำหล่อเย็นแม่แบบ

2.3.8 ระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักร

วัฏจักร (Cycle) ของการฉีดพลาสติกจะเริ่มต้นจากการฉีดพลาสติกเข้าแม่แบบครั้งหนึ่งไปจนถึงการฉีดพลาสติกเข้าแม่แบบครั้งต่อไป ซึ่งจะผ่านขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ ทำการฉีด อัดรักษาความดันในแม่แบบในช่วงหล่อเย็น เติมพลาสติกเข้า ถอยหัวฉีดออก เปิดแบบ ปลดชิ้นงาน ปิดแบบ และเดินหัวฉีดเข้าหัวแม่แบบอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนหนึ่งๆจะเสียเวลาเป็นระยะๆ มากน้อยแตกต่างกัน ระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนรวมกันเข้าก็คือ ระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักร

2.4 งานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ชาญชัย บวรโชค 2545, การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน โดยการวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากค่า Pitch Static Attitude (PSA) ของแขนจับหัวอ่านออกนอกข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าโดยปริมาณของเสียก่อนการปรับปรุงมีปริมาณ 4456 DPPM หลังจากปรับปรุงมีปริมาณของเสียประมาณ 997 DPPM คิดเป็น 77.63% ของจำนวนของของเสียที่ลดลงได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสามารถที่จะลดของเสียได้เป็นจำนวนเงิน 2750580 บาท โดยประมาณการจากปริมาณการขายที่พยากรณ์ได้จากต.ค. 45-มี.ค. 46

ธนิยา ลิ่มชูเชื้อ 2545, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อนโดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อนโดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าโดยก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสีย 48332 DPPM หลังจากปรับปรุงสามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 1108250 บาท โดยพิจารณาจากระยะเวลาระหว่างการดำเนินงานวิจัยซึ่งคิดเป็น 56 % ของจำนวนของเสียที่ลดได้จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสีย 19255 DPPM

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว 2545, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยการวิจัยนี้เป็นแนวทางในการเสนอแนวทางในการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องอันเนื่องจากข้อบกพร่องต่างๆของระบบการดำเนินการคุณภาพ โดยจากการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ในระยะเวลา 4 เดือนพบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องลดลงจาก 4400 DPM เป็น 2849 DPM หรือเมื่อเทียบกับในระดับซิกม่า สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.85 เป็น 2.986

ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ 2546, การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยงานวิจัยนี้เป็นการทำการศึกษาเพื่อลดการปนเปื้อนของกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนรุ่น Maverick โดยพบว่ามีจำนวนชิ้นงานที่มีการ contamination ก่อนการทำการศึกษาเกิดขึ้น 245153 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้น (DPPM) ซึ่งหลังจากทำการศึกษาและทดลองตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่าแล้วสามารถที่จะลดปริมาณของเสียเนื่องจากคราบสกปรกของชิ้นงานลงให้เหลือประมาณ 79083 DPPM และสามารถประมาณค่าความสูญเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 8091 $

ภัทรา อายุวัฒน์ 2546, การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า โดยในการวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลงโดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย DPPM ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีของเสียเท่ากับ 8872 DPPM ซึ่งหลังจากทำการวิจัยแล้วพบว่าข้อมูล หลังการปรับปรุงกระบวนการมีปริมาณของเสียเกิดขึ้น 720 DPPM ซึ่งคิดเป็น 91.88% ของจำนวนของเสียที่ลดลงได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ