

### บทที่ 3

#### Hub-C2 และกระบวนการฉีดพลาสติก

##### 3.1 บทนำ

เทปบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital Data Storage (DDS)) จากที่ได้กล่าวมาแล้ว ในบทที่ 2 ว่ามีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างจะซับซ้อนและหลายขั้นตอน โดยการผลิตชิ้นส่วน โครงสร้างหลักคือการฉีดขึ้นรูปพลาสติกบนแม่พิมพ์ ซึ่งชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของโครงสร้างหลักมีความ จำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีความหนาและภาพร่างที่แม่นยำและเที่ยงตรงและเป็นไปตามแบบหรือ ข้อกำหนดของลูกค้าและมาตรฐานสากล ภายหลังจากที่มีการผลิตชิ้นส่วนหลักๆ แล้วก็จะทำการส่ง ชิ้นส่วนทั้งหมดไปยังสายการผลิต (Assembly Line) ซึ่งเป็นกระบวนการประกอบโดยที่ชิ้นส่วน นั้นจะเป็นวิธีการแบบอัตโนมัติ (Automation) โดยจะใช้เครื่องจักรเกือบทั้งหมดดังนั้นขนาดและภาพ ร่างของชิ้นส่วนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการประกอบ

Hub-C2 เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างหลักของ Digital Data Storage มีหน้าที่ในการ รองรับการขับเคลื่อนหรือการหมุนของเทปในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ Hub-C2 จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากและจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล (IEC Spec) กล่าวคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 จะต้องเหมาะสมกับเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลทุกรุ่นหรือทุกๆ ยี่ห้อที่ใช้งานอยู่ทั่วไปจากข้อมูลของสายการผลิตพบว่าข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และกระทบต่อสายการผลิตและกระบวนการประกอบชิ้นส่วนคือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมี ขนาดเล็กหรือใหญ่จากขนาดมาตรฐานที่กำหนดไว้ถ้าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ขนาดเล็กกว่ามาตรฐานก็จะไม่สามารถบรรจุ Digital Data Storage ลงในเครื่องอ่านหรือเครื่อง บันทึกข้อมูลได้ในขณะเดียวกันถ้าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐานผลกระทบ ที่เกิดขึ้นคือเครื่องบันทึกหรือเครื่องอ่านข้อมูลไม่สามารถที่จะหมุนให้เทปมีการเคลื่อนที่ได้เพราะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 มีขนาดโตกว่าขนาดของหัวขับ (Head Drive) ของเครื่องอ่าน หรือบันทึกข้อมูลแต่ถ้ามีการขับเคลื่อนให้เทปมีการหมุนได้ก็จะหมุนแบบไม่คงที่และไม่ต่อเนื่อง ซึ่ง จะส่งผลกระทบต่อเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล

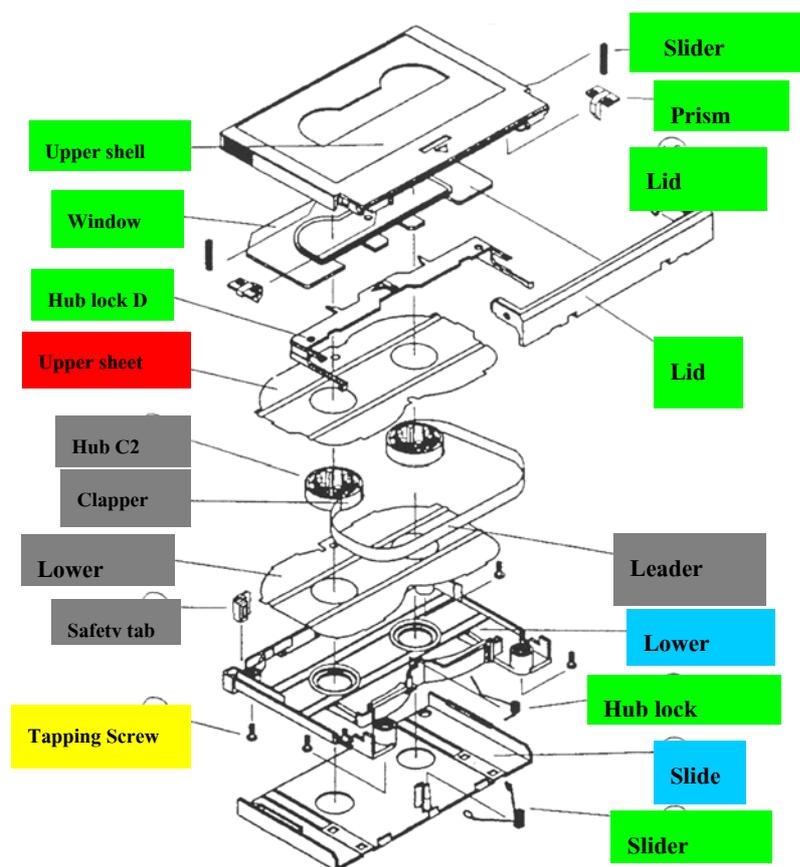
### 3.2 Hub-C2 และ Digital Data Storage

#### 3.2.1 เทปบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital Data Storage (DDS))

DDS เป็นสื่อเพื่อการบันทึกประเภทหนึ่งซึ่งทำหน้าที่บันทึกข้อมูลในภาพแบบดิจิทัลซึ่งโดยส่วนใหญ่ข้อมูลที่ทำกรจัดเก็บนั้นจะเป็นข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นจะนำมาใช้ซ้ำอีก DDS มีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับวิธีการจัดเก็บข้อมูลแบบอื่นๆ และต้นทุนในการจัดเก็บข้อมูลต่อหน่วยมีค่าต่ำซึ่งส่งผลให้การจัดเก็บข้อมูลบน DDS เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายและมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง

โครงสร้างของ DDS แสดงดังภาพที่ 3.1

- Slider Lock Spring
- Prism
- Lid Spring
- Lid E.
- Leader Tape
- Lower Shell
- Hub Lock Spring
- Slider
- Slider Spring
- Upper Shell
- Window
- Hub Lock D.
- Upper Sheet
- Hub-C2
- Upper Sheet
- Hub Lock D.
- Window
- Upper Shell



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของ DDS

### 3.2.2 Hub-C2

Hub-C2 เป็นชิ้นส่วน (Component Part) ที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับ DDS เพราะเงื่อนไขการทำงานของ Hub-C2 คือการขับเคลื่อนแมกเนติกเทปและม้วนเก็บแมกเนติกเทปซึ่ง Hub-C2 ต้องมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาอีกประเด็นที่มีความสำคัญมากก็คือ Hub-C2 จำเป็นต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเป็นไปตามขนาดมาตรฐาน

Hub-C2 เป็นชิ้นส่วนของ DDS ที่ผลิตจากวัสดุที่เป็นวิศวกรรมพลาสติก (Engineering Plastic) คือ POM (Polyacetal or Polyoxymethylene) ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า POM เป็นพลาสติกที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำจึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ที่ต้องการให้เกิดค่าความเสียดทานน้อยที่สุด ข้อดีอีกประการหนึ่งของ POM คือมีความมั่นคงของขนาดรูปร่างค่อนข้างสูง (Dimension Stability) กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดน้อยมากหลังจากการขึ้นรูป ขณะเดียวกัน POM ก็มีความสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีภายใต้อุณหภูมิต่ำ

### 3.3 กระบวนการผลิต Hub-C2

กระบวนการผลิต Hub-C2 นั้นเป็นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกโดยการฉีดขึ้นรูปภาพบนแม่พิมพ์ซึ่งหลักการฉีดขึ้นรูปมีลักษณะเหมือนงานฉีดโดยทั่วไปซึ่งต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่างด้วยกันคือ

#### 3.3.1 เครื่องฉีดพลาสติก (The injection molding machine)

เครื่องฉีดพลาสติกคือเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติกโดยมีแม่พิมพ์ฉีดเป็นส่วนรองรับหรือส่วนประกอบในการผลิตชิ้นส่วนใดๆ โดยส่วนใหญ่เครื่องฉีดพลาสติกจะมีระบบส่งกำลังอยู่สองประเภทด้วยกันคือใช้ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบส่งกำลังและใช้ระบบไฟฟ้าได้รับความนิยมสูงขึ้น แต่ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบราคากับเครื่องฉีดระบบไฮดรอลิกและเครื่องฉีดระบบไฟฟ้าก็ยังมีราคาสูงกว่า

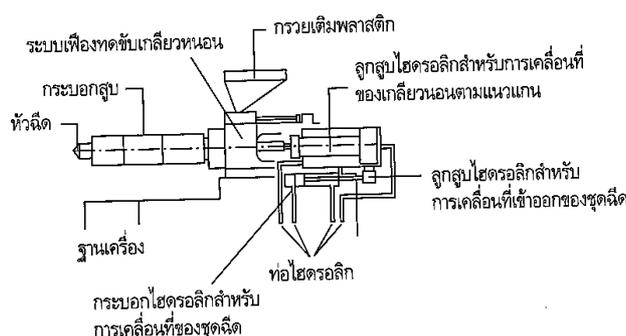
เครื่องฉีดพลาสติกสามารถแบ่งแยกส่วนประกอบสำคัญเป็นสองส่วนคือชุดฉีด (Injection Unit) และชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

##### 3.3.1.1 ชุดฉีดพลาสติก (Injection Unit)

จังหวะการทำงานของชุดฉีดพลาสติก คือ โดยการพาพลาสติกจากกรวยเติมเข้าหลอมในกระบอกเคลื่อนที่เข้าฉีด ทำการอัดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ทำการอัดย่ำ หลังจากขึ้นงานใน

แม่พิมพ์เย็นจนปลดออกจากแม่พิมพ์ได้แล้ว ก็จะทำกรวยเติมพลาสติกใหม่เพื่อรอจังหวะฉีดต่อไป แล้วถอยชุดฉีดกลับ

ชุดฉีดประกอบด้วย กระบอบอกสูบ ลูกสูบหรือเกลียวหนอน หัวฉีด กรวยเติมพลาสติก (heater) และระบบส่งกำลังขับเคลื่อน ดังภาพที่ 3.2



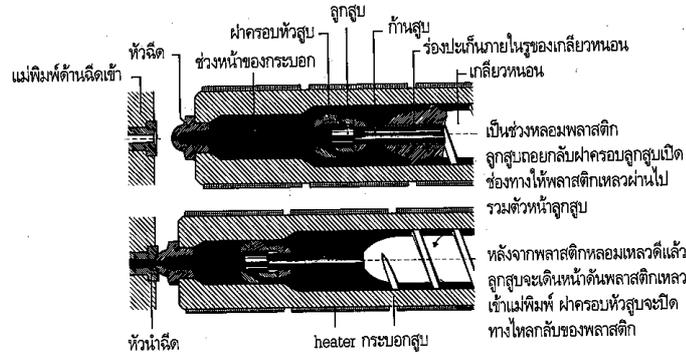
ภาพที่ 3.2 ชุดฉีด (Injection Unit)

### กระบอบอกหลอมพลาสติก (Barrel)

กระบอบอกหลอมพลาสติก มีลักษณะเป็นท่อหนา และมี heater ฝังอยู่โดยรอบ โดยปกติจะทำได้ด้วยเหล็กแข็งทนต่อการกัดกร่อน (ปลอตสตีล) ผิวกระบอบอกสูบด้านในจะต้องขัดเรียบ เพื่อให้มีความฝืดน้อยที่สุด เนื่องจากลูกสูบอัดพลาสติกมีสองลักษณะ คือ แบบลูกสูบทรงกระบอบอกและแบบเกลียวหนอน สำหรับชุดฉีดที่ใช้ลูกสูบทรงกระบอบอกนั้น ถ้าให้ความร้อนแก่พลาสติกเฉพาะที่ผิวของกระบอบอกอย่างเดียวจะทำให้พลาสติกได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือส่วนที่สัมผัสกับผิวกระบอบอกจะร้อนหลอมละลาย แต่ส่วนที่อยู่ตรงกลางจะไม่หลอมละลายเพราะพลาสติกที่สัมผัสเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี ปริมาณการส่งผ่านความร้อนให้กับพลาสติกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของพลาสติกกับผิวของกระบอบอก และเพื่อแก้ปัญหาพลาสติกร้อนไม่เท่ากัน จึงมีการใช้แกนกลาง (mandrel) ภาพร่างคล้ายตอร์ปิโด (torpedo) เพื่อให้พลาสติกเบียดตัวไปสัมผัสกับพื้นที่ผิวของกระบอบอกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะมีผลทำให้พลาสติกทั้งหมดมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิของผิวกระบอบอกมากที่สุด



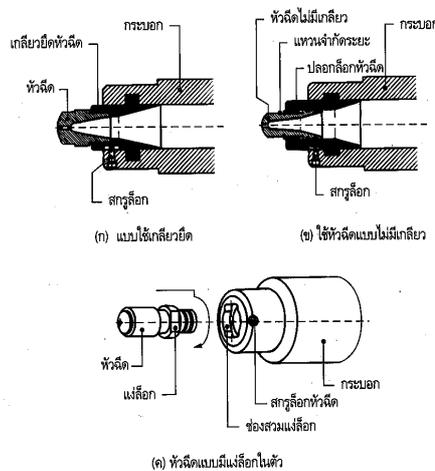
เกลียวหนอนแบบทำหน้าที่พาพลาสติกเข้าหลอมเหลวอย่างเดียว มีลักษณะการสร้างแตกต่างกันตามแบบของแต่ละบริษัทผู้ผลิตเครื่อง ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.4 เป็นแบบที่มีลูกสูบอัดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์อยู่ตรงกลางของเกลียวหนอน



ภาพที่ 3.4 ชุดฉีดแบบใช้ตัวหนอนทำหน้าที่พาพลาสติกเข้าหลอมเหลวและมีลูกสูบฉีดพลาสติกอยู่ตรงกลางของเกลียวหนอน

**หัวฉีด**

หัวฉีดเป็นส่วนที่ติดอยู่ข้างหน้าของกระบอกลูกสูบฉีดพลาสติกโดยติดอยู่ด้วยเกลียวหรือแ่งล็อก ดังภาพที่ 3.5 มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อชุดฉีดกับแม่พิมพ์ในการส่งพลาสติกจากกระบอกลูกสูบพลาสติกผ่านหัวฉีดเข้าไปยังแม่พิมพ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดขึ้นอยู่กับขนาดของหลุมแบบที่พลาสติกจะเข้าไปแทนที่ในแม่พิมพ์ สำหรับชิ้นงานขนาดเล็ก (20-30 กรัม) หัวฉีดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-3.5 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นงานใหญ่ ๆ ที่มีความหนาของผนังไม่เท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดอาจมีขนาดถึง 6 มิลลิเมตร



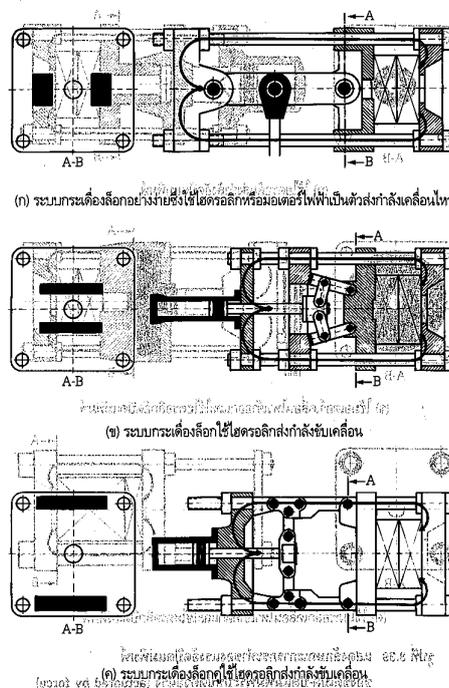
ภาพที่ 3.5 แสดงการประกอบหัวฉีดเข้ากับปลายกระบอกลูกสูบโดยใช้แ่งล็อก

### 3.3.1.2 ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

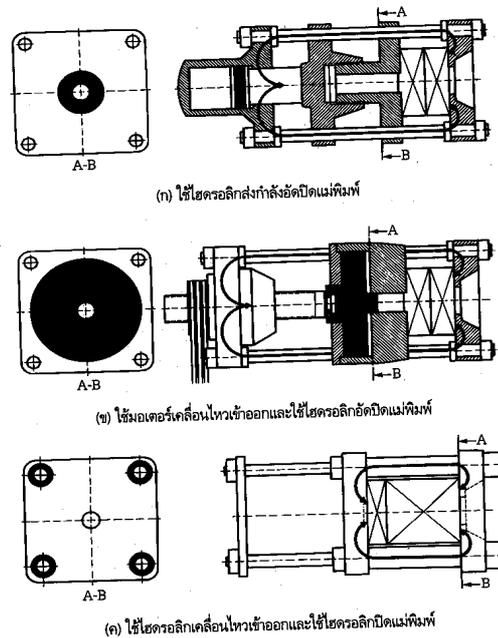
#### หน่วยเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

ทำหน้าที่เคลื่อนที่เปิดและปิดแม่พิมพ์ในจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก แม่พิมพ์โดยปกติจะมีสองฝาประกบกันโดยด้านที่ฉีดพลาสติกเข้าจะเป็นด้านอยู่กับที่ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เคลื่อนที่เปิด-ปิด ฝาประกบทั้งสองของแม่พิมพ์จะประกบอยู่กับแผ่นติดแม่พิมพ์ที่ติดมากับเครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วไป

หน่วยเปิด-ปิดแม่พิมพ์แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบคือ ระบบปิดด้วยแรง (actuated by force) โดยอาศัยแรงของสูบไฮดรอลิกทำหน้าที่ปิดและระบบปิดด้วยกลไกร่วม (interlocking) ซึ่งจะปิดแน่นด้วยระบบกลไกแต่การเคลื่อนที่เปิด-ปิดจะใช้แรงขับเคลื่อนจากไฮดรอลิกหรือมอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั้งสองระบบจะต้องทำหน้าที่อัดแม่พิมพ์ให้ประกบกันแน่นด้านความดันภายในแม่พิมพ์ ทั้งนี้หมายความว่าแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันภายในแม่พิมพ์จะต้องน้อยกว่าแรงดันด้านของหน่วยเปิด-ปิดแบบขึ้นงานฉีดบางลักษณะไม่สามารถจะฉีดเข้าตรงกลางโดยตรงได้ ในกรณีนี้จะต้องเจาะรูฉีดของแม่พิมพ์เฉียงศูนย์ ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงขึ้น อาจทำให้แม่พิมพ์แยกได้ ในกรณีนี้ให้ลดแรงอัดปิดแบบลง 20-30% ของแรงอัดสูงสุด



ภาพที่ 3.6 แสดงลักษณะการกระทำของแรงอัดปิดแม่พิมพ์ของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ระบบกลไกร่วม (interlocking) ส่งกำลังด้วยไฮดรอลิก

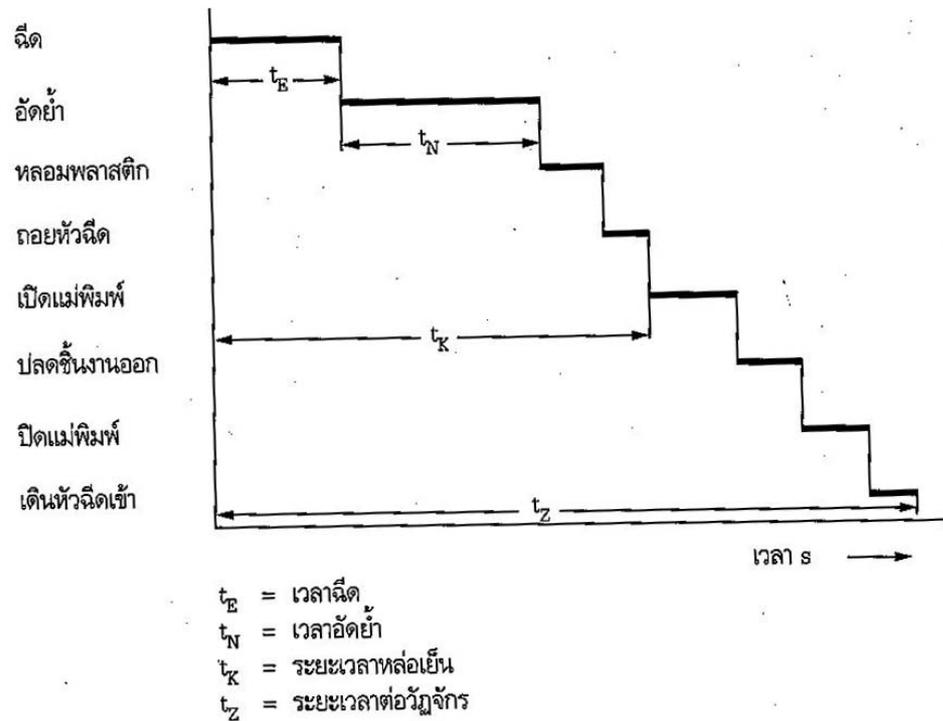


ภาพที่ 3.7 แสดงลักษณะการทำงานของแรงอัดปิดแม่พิมพ์ของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ระบบปิดด้วยแรง (actuated by force)

### 3.3.1.3 วัฏจักรในการฉีดพลาสติก (The Injection Molding Cycle)

#### ระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักร

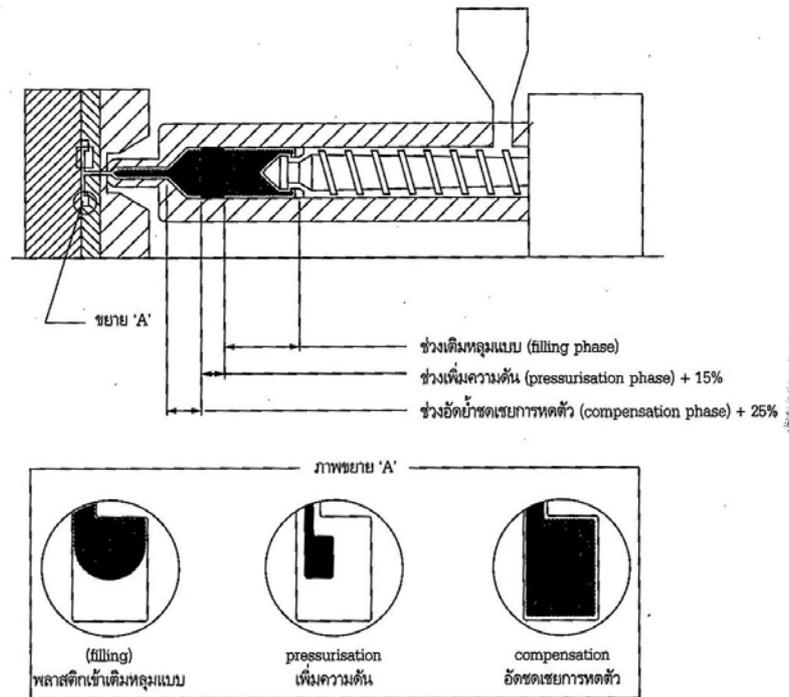
วัฏจักร (cycle) ของการฉีดพลาสติกจะเริ่มต้นจากการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ครั้งหนึ่งไปจนถึงการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ครั้งต่อไป ซึ่งจะต้องผ่านขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ ทำการฉีด อัดย้ำ (holding pressure) เพื่อชดเชยการหดตัว หลอมพลาสติกไว้สำหรับการฉีดครั้งต่อไป ถอยหัวฉีดออก เปิดแม่พิมพ์ ปลดชิ้นงาน ปิดแม่พิมพ์ และเดินหัวฉีดเข้าชนแม่พิมพ์อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนหนึ่ง ๆ จะเสียเวลาเป็นระยะ ๆ เล็กน้อยแตกต่างกัน ระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนรวมกันเข้าก็คือ ระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักรดังแสดงในภาพ 3.8



ภาพที่ 3.8 ระยะเวลาในการฉีดต่อวัฏจักร

1. ช่วงเวลาฉีด ( $t_E$ ) เริ่มต้นตั้งแต่เกลียวหนอนอน ซึ่งขณะนี้หยุดหมุนทำหน้าที่เป็นลูกสูบ เริ่มอัดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์จนถึงระยะสุดด้านหน้า
2. ช่วงเวลาของการอัดย่ำ ( $t_N$ ) เนื่องจากพลาสติกขณะฉีดเข้าแบบนี้เป็นของเหลว อุณหภูมิสูง ถ้าไม่อัดย่ำแช่เอาไว้ (holding pressure) พลาสติกจะดันย้อนกลับออกจากแบบ และนอกจากนั้นขณะที่พลาสติกเย็นตัวลงนี้จะมีการหดตัว จึงจำเป็นต้องดันอัดเนื้อพลาสติกเพิ่มเติมเอาไว้เพื่อให้พลาสติกเข้าไปซดเซยได้เต็มที่ จนกว่าพลาสติกจะแข็งตัว

ในการเข้าเติมหลุมแบบของพลาสติกเหลวตั้งแต่เริ่มต้นจนเต็มพอดีเรียกว่าช่วงเติมหลุมแบบ (filling phase) หลังจากนั้นความดันจะเพิ่มขึ้นซึ่งจะอัดเนื้อพลาสติกเข้าไปในหลุมแบบได้อีกประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงเพิ่มความดัน (pressurisation phase) หลังจากนั้นจะเป็นการอัดย่ำเพื่อชดเชยการหดตัว ซึ่งจะมีเนื้อพลาสติกถูกอัดเข้าไปอีกประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพข้างล่าง



ภาพที่ 3.9 แสดงปรากฏการณ์ในช่วงต่าง ๆ ในการฉีดพลาสติก

3. ช่วงเวลาหลอมพลาสติก เมื่อพลาสติกในแม่พิมพ์แข็งตัวแล้วก็จะลดความดันในกระบอกและแม่พิมพ์ได้ ในช่วงนี้จะทำการหลอมพลาสติกโดยการหมุนเกลียวหนอนพร้อมทั้งถอยหลังให้พลาสติกหลอมเหลวไปรวมตัวอยู่หน้าเกลียวหนอนพอเพียงสำหรับการฉีดในจังหวะต่อไป
4. ช่วงเวลาถอยชุดฉีดกลับ เพื่อให้สะดวกในการปลดชิ้นงานและตัดขั้วชิ้นงานออกรวมไปถึงการป้องกันผลกระทบจากการสั้นสะเทือนในจังหวะเปิด-ปิดแม่พิมพ์ จึงต้องถอยหัวฉีดหรือชุดฉีดทั้งชุดออกจากแม่พิมพ์
5. ช่วงเวลาเปิดแม่พิมพ์ การเปิดแม่พิมพ์ออกเพื่อปลดชิ้นงานจะเริ่มทันทีที่ถอยหัวฉีดออกจากแม่พิมพ์
6. ช่วงเวลาปลดชิ้นงาน เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกจะต้องทำการปลดชิ้นงานออกด้วยระบบกลไกต่าง ๆ ผลักดันให้ชิ้นงานหลุดออกมา ระยะเวลาที่ใช้จะยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับลักษณะและภาพทรงของชิ้นงานและการแยกขั้วชิ้นงานออก แต่ในหลักการต้องการปลดชิ้นงานออกให้เร็วที่สุด

7. ช่วงเวลาปิดแม่พิมพ์ เมื่อปลดชิ้นงานเรียบร้อยแล้วก็ต้องเดินแม่พิมพ์เข้าประกบกันเพื่อรอจังหวะฉีดต่อไป ทั้งนี้ต้องระวังความเร็วรอบภายในแม่พิมพ์ เช่น ต้องไม่มีเศษพลาสติกค้างอยู่ เป็นต้น
8. ช่วงเวลาเดินหัวฉีดเข้า เมื่อแม่พิมพ์ปิดสนิทก็สามารถเดินหัวฉีดเข้าหาแม่พิมพ์เพื่อฉีดในจังหวะต่อไปได้ทันที
9. ช่วงเวลาหล่อเย็น (tK) โดยปกติแม่พิมพ์จะมีการหล่อเย็นอยู่ตลอดเวลา ในการรักษาอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้พอดี ทันทึที่พลาสติกวิ่งเข้าแม่พิมพ์ การระบายความร้อนออกจากพลาสติกก็จะเริ่มขึ้น และจะไปสิ้นสุดเอาเมื่อพลาสติกคงตัวพร้อมที่จะเปิดแม่พิมพ์ปลดชิ้นงานได้ ซึ่งในภาพที่ 3.13 แสดงให้เห็นว่าการหล่อเย็นนั้นเริ่มต้นตั้งแต่เมื่อทำการฉีด จนหัวฉีดถอยออกจากแม่พิมพ์ ทั้งนี้ น้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ก็ยังคงไหลหมุนเวียนรักษาอุณหภูมิของแม่พิมพ์อยู่อย่างปกติ

### 3.3.2 พลาสติก (Plastic)

#### ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติกหรือพอลิเมอร์เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีของสารอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นหลัก

นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) และมีพลาสติกบางชนิดที่มีส่วนประกอบของ กำมะถัน(S) คลอรีน(Cl) ฟลูออรีน(F) และซิลิเนียม(Si) อยู่ด้วย

#### สารตั้งต้นในการสังเคราะห์พลาสติก

สารตั้งต้นในการสังเคราะห์พลาสติกหรือพอลิเมอร์จะเป็นสารโมเลกุลเดี่ยว (monomer) ส่วนใหญ่จะได้มาจากน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ตัวอย่างสารตั้งต้นที่ใช้กันมากได้แก่ เอทิลีน (Ethyene-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) ไวนิลคลอไรด์ (Vinylchloride-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Cl) และสไตรีน (Styrene-C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) เป็นต้น

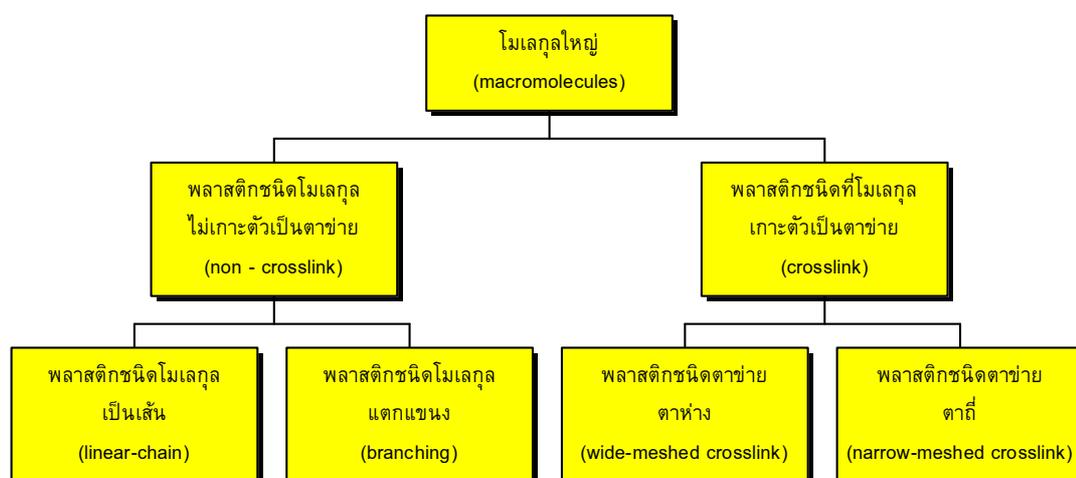
#### ปฏิกิริยาเชิงซ้อน (Polyreactions)

เป็นการนำเอาโมเลกุลเดี่ยว (monomer) จำนวนมากมาทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (macromolecules) ซึ่งเรียกว่า พอลิเมอร์หรือพลาสติก ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลอยู่สอง

ลักษณะ คือ การเกาะกันเป็นตาข่าย (crosslink) และไม่มีการเกาะตัวระหว่างโมเลกุลใหญ่ (non-crosslink)

พลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นตาข่าย (crosslink) แยกออกเป็นสองลักษณะคือ แบบตาข่ายแคบ (narrow-meshed crosslink) กับแบบตาข่ายห่าง (wide-meshed crosslink)

พลาสติกที่มีโครงสร้างที่ไม่มีการเกาะตัวระหว่างโมเลกุลใหญ่ (non-crosslink) แยกเป็นสองลักษณะคือ แบบเป็นเส้น (linear) และแบบแยกแขนง (branching) ดังภาพ 3.10



ภาพที่ 3.10 แผนภูมิการแบ่งโครงสร้างโมเลกุลของโพลิเมอร์

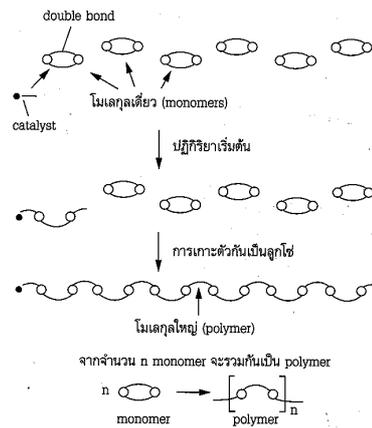
### กระบวนการ Polymerization

ในกระบวนการ Polymerization เป็นการนำเอาโมเลกุลของสารชนิดเดียวกันหรือต่างชนิด มาทำปฏิกิริยาเกาะตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (macromolecules) เริ่มต้นจากโมเลกุลที่มีการเกาะตัวกันแบบสองแขน (double bond) จะถูกความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ทำให้แตกตัวแยกแขนงออก จับยึดติดกับแขนของโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงต่อกันเป็นลูกโซ่ (chain)

กระบวนการ polymerization มี 3 ขั้น คือ

- ปฏิกิริยาเริ่มต้น
- ปฏิกิริยาขยายวง
- ปฏิกิริยาช่วงสุดท้ายของโมเลกุลใหญ่

ในช่วงปฏิกิริยาเริ่มต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเริ่มทำให้แขนของโมเลกุลแยกออก ต่อมาแขนของโมเลกุลจะเกาะตัวขยายวงต่อ ๆ ไป ที่ปลายของโซ่โมเลกุลจะมีการอิมตัวของวาเลนซีอิสระ (free valency) โดยจะมีการจัดตัวเป็นแขนคู่เฉพาะปลายโซ่เป็นการสิ้นสุดของปฏิกิริยาของโมเลกุลใหญ่

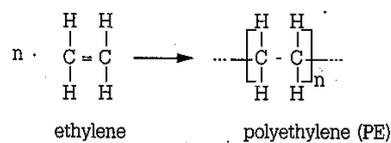


ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนในกระบวนการ Polymerization

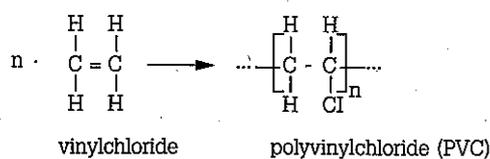
อักษร n หลังวงเล็บ แสดงถึงจำนวนโมโนเมอร์ที่ประกอบอยู่ในแต่ละโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเรียกว่าระดับของโพลีเมอริเซชัน (degree of polymerization)

โดยปกติโมเลกุลใหญ่จะมีระดับของโพลีเมอริเซชัน (degree of polymerization) มากกว่า 1,000

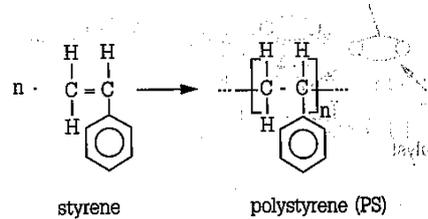
ตัวอย่างโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ของการผลิตโพลีเอทิลีน (polyethylene (PE))



ตัวอย่างโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ของการผลิตโพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride (PVC))

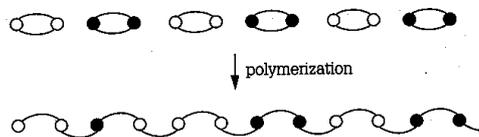


ตัวอย่างโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ของการผลิตโพลีสเตอรีน (polystyrene (PS))

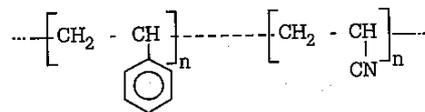


### กระบวนการโคโพลีเมอไรเซชัน (Copolymerization)

กระบวนการโคโพลีเมอไรเซชัน (copolymerization) เป็นการนำเอาโมโนเมอร์ที่ต่างกันสองหรือสามชนิดมาทำปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) เกาะตัวอยู่ในโซ่เดียวกัน ซึ่งเรียกผลิตภัณฑ์จากกระบวนการนี้ว่าโคโพลีเมอร์ (copolymer) หรือเทอโพลีเมอร์ (terpolymer) ตัวอย่างกระบวนการโคโพลีเมอไรเซชัน (copolymerization) ดังภาพที่ 3.12



ตัวอย่างโคโพลีเมอไรเซชันสเตอรีนแอคไรโลไนไตร (copolymerization styrene-acrylonitrile)



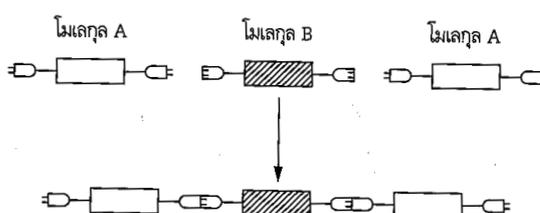
ภาพที่ 3.12 Copolymerization

รวมทั้งการนำเอาโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ตัวหนึ่งไปเกาะติดกับโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์อีกตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า graft polymerization ดังภาพ 3.13



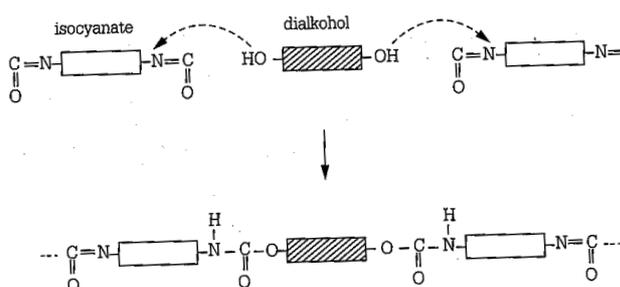
### กระบวนการพอลิแอดดิชัน (Polyaddition)

ในกระบวนการพอลิแอดดิชัน (polyaddition) เป็นการนำเอาโมเลกุลของสารสองชนิดที่ต่างกัน A และ B มาทำปฏิกิริยากัน เช่นเดียวกับกระบวนการพอลิคอนเดนเซชัน (polycondenzation) แต่ในการทำปฏิกิริยาไม่มีสารแยกตัวออกมา ดังภาพ 3.16



ภาพที่ 3.16 ลักษณะการเกาะตัวของโมเลกุลในกระบวนการ Polyaddition

ตัวอย่างกระบวนการพอลิแอดดิชัน (polyaddition) ในการผลิตพอลิยูเรทีน (polyurethane (PUR)) ดังภาพ 3.17 เป็นการนำเอาไอโซไซยาเนต (isocyanate) มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (alcohol) จะได้พอลิยูเรทีน (polyurethane)



ภาพที่ 3.17 กระบวนการ Polyaddition ในการผลิต Polyurethane

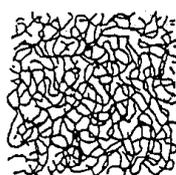
ปฏิกิริยาจะเกิดจากการย้ายของอะตอมไฮโดรเจนของกลุ่ม alcohol ไปยังกลุ่มไอโซไซยาเนต (isocyanate) ซึ่งจะทำให้แขนข้างหนึ่งของแต่ละกลุ่มเป็นอิสระ ที่จะให้โมเลกุลเกาะตัวต่อไปได้เป็น macromolecule การเกาะตัวของโมเลกุลของพอลิยูเรทีน (polyurethane) จะมีทั้งแบบเป็นลูกโซ่ดังตัวอย่าง และแบบเป็นตาข่าย (crosslink) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การเลือกวัสดุตั้งต้น ส่วนใหญ่แล้ว

polyurethane จะอยู่ในภาพที่ของพลาสติกอ่อนยืดหยุ่น (elastomer) หรือพลาสติกแข็ง (thermosetting plastic หรือ duromer) ขึ้นกับความแข็งของโพลียูเรทีน (polyurethane) มีมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของแอลกอฮอล์ (alcohol) ที่นำมาทำปฏิกิริยา ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ polyol ซึ่งเป็นชนิดที่มีกลุ่ม OH หลายกลุ่ม

### ลักษณะของโซโมเลกุลในโครงสร้างของพอลิเมอร์

โดยทั่ว ๆ ไปจะแบ่งโครงสร้างของพอลิเมอร์เป็น 3 ชนิด คือ โครงสร้าง amorphous โครงสร้าง partial crystalline และโครงสร้างเป็นผลึก (crystal) หรือเกาะตัวเป็นตาข่าย (crosslinked)

ในโครงสร้าง amorphous โซโมเลกุลจะสานกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ แต่ไม่มีการเกาะตัวกันระหว่างโซ่แต่ละเส้น ดังภาพ 3.18



ภาพที่ 3.18 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ Amorphous Thermoplastics

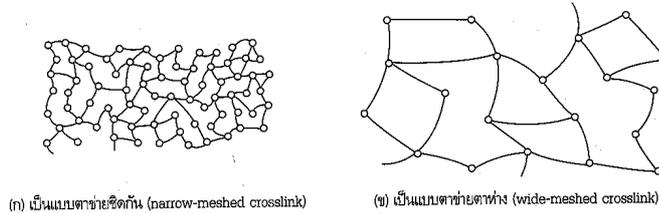
ในโครงสร้างพาทิเยอร์ คริสตอไรต์ (partial crystalline) โซโมเลกุลส่วนใหญ่จะสานกันแบบไม่มีระเบียบ แต่มีบางส่วนเกาะตัวกันด้วยพันธะทางเคมีในลักษณะเกาะตัวเป็นตาข่าย (crosslink) ดังภาพที่ 3.19 เมื่อได้รับความร้อนพันธะจะถูกทำลายได้ แต่เมื่อตัวเย็นก็จักกลับมาเกาะตัวกันเป็นผลึกได้อีก จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วในการเย็นตัว ถ้าค่อย ๆ เย็นตัวอย่างช้า ๆ การเกาะตัวเป็นผลึกก็จะมากขึ้น



ภาพที่ 3.19 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ Partial Crystalline Thermoplastics

สำหรับโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่เป็นผลึก โซโมเลกุลจะเกาะตัวกันเป็นตาข่าย (crosslinked) เหนียวแน่น ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนจะไม่อ่อนตัวและไม่หลอมละลาย จะมีอยู่สองลักษณะคือ แบบตาข่ายชิดกัน (narrow-meshed crosslink) ซึ่งจะมีความแข็งเปราะ เรียกว่า

thermoset และแบบตาข่ายตาห่าง (wide-meshed crosslink) ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง ดังภาพที่ 3.20 เรียกว่าอีลาสโตเมอร์ (elastomer)



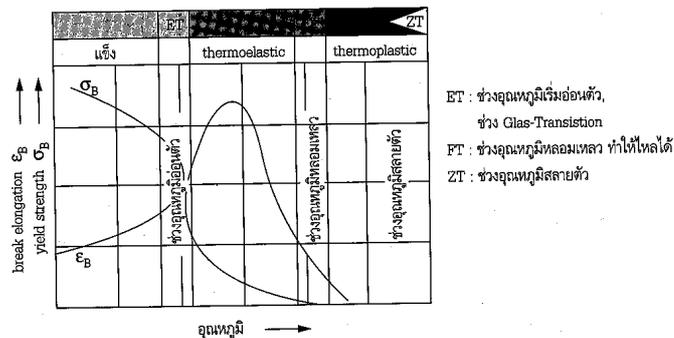
ภาพที่ 3.20 โครงสร้างโมเลกุลของ Thermosetting Plastics

**คุณสมบัติของ Amorphous Thermoplastics**

พลาสติกแต่ละชนิดจะแสดงคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปเมื่อได้รับความร้อนเทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลแบบเส้น และยึดเหนี่ยวกันอยู่ด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล หรือที่เรียกว่า secondary force ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและระยะห่างระหว่างโซ่โมเลกุล แรงยึดเหนี่ยวจะมากหรือน้อยอยู่กับ polarity ของ polymer และมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกล ทางความร้อนและทางเคมีด้วย ดังภาพแสดงคุณสมบัติของ amorphous thermoplastics ความทนต่อแรงดึง และอัตราการยืดตัวที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ

ในตารางที่ 3.1 ได้แสดงสถานะโครงสร้างโมเลกุล และวิธีการแปรสภาพของพลาสติกในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ เอาไว้

พลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ Polystyrene (PS) Styrene-Butadien (SB) Acrylonitrile-Butadien Styrene (ABS) Styrene-Acrylonitrile (SA) Polymethylmethacrylate (PMMA) Polyvinylchloride (PVC-Hard) Polycarbonate (PC) และ Cellulosedirivate

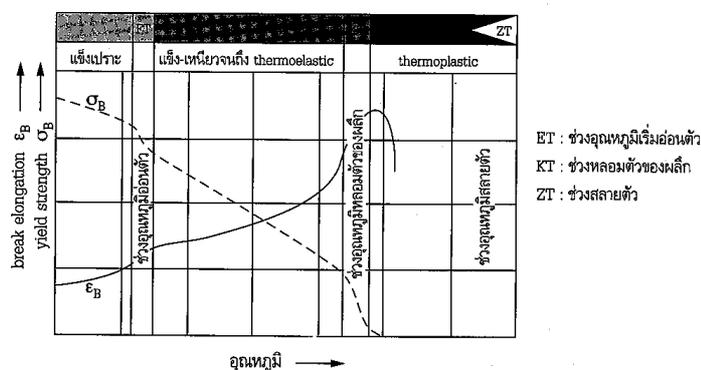


ตารางที่ 3.1 แผนภูมิแสดงคุณสมบัติของ Thermoplastics เมื่อได้รับความร้อน

สถานะของพลาสติก	ช่วงแข็งเปราะเหมือนแก้ว	ช่วงยืดหยุ่นเหมือนยาง (thermoelastic)	ช่วงเหลวหนืด (thermoplastic)	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุล	มาโครโมเลกุลเกาะแน่นมากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก	มาโครโมเลกุลยังเกาะกันเหนียวแน่น อยู่พอประมาณแต่เคลื่อนไหวได้มากขึ้น	มาโครโมเลกุลจะเคลื่อนไปมาเสียดสีกันได้ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมาก	โมเลกุลจะสลายตัว
การทำงานขึ้นภาพ	ตัดโดยเสียเศษ และไม่เสียเศษการประสานแบบถาวรโดยการติดกาวประสานแบบแยกได้โดยใช้สกรู หมุด และขันเกลียวปรับปรุงผิวได้	การขึ้นภาพ : การขึ้นภาพโดยการตัด อัด ดึงและโดยการดึงและอัดเข้าแบบ	จากผงหรือเม็ด : - ฉีดเข้าแบบ - extrusion - อัด - ทำโฟม - รีด - หล่อหมุน การประสานเชื่อม	ไม่มี

## คุณสมบัติของ Partial Crystalline Thermoplastics

Partial crystalline แตกต่างจาก amorphous ที่โครงสร้างของโซ่โมเลกุลบางส่วนเป็นระเบียบ เกาะตัวกันเป็นผลึกในเขตที่ยังเป็น amorphous ซึ่งอยู่เหนือช่วง ET จะเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระทำให้อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน แต่พลาสติกจะยังมีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ เพราะยังมีส่วนที่เป็นผลึกเกาะตัวกันเหนียวแน่น และจะหลอมละลายได้หลังจากพ้นระที่เกาะตัวกันเป็นผลึกถูกทำลายหลังจากช่วง KT ดังตารางที่ 3.2 พลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้ก็คือ Polyethylene (PE) Polypropylene (PP) Polyamide (PA) Polyoxymethylene (POM) Polytetrafluorethylene (PTFE) และ Polyethyleneterephthalate (PET)

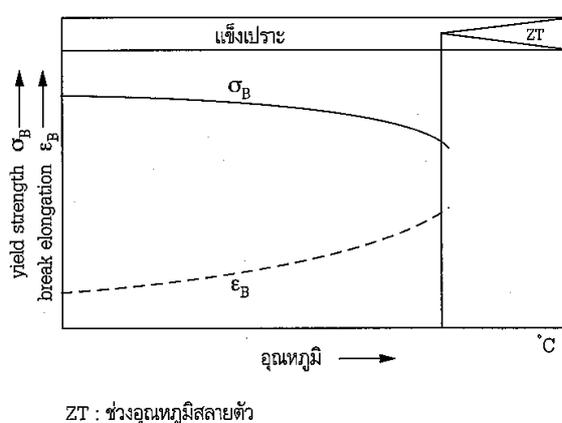


ตารางที่ 3.2 แผนภูมิแสดงคุณสมบัติของ Partial Crystalline Thermoplastics เมื่อได้รับความร้อน

สถานะของพลาสติก	ช่วงแข็ง, เปราะเหมือนแก้ว	ช่วงแข็งจนถึงช่วงเหนียวยืดหยุ่น (thermoelastic)		ช่วง thermoplastic	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุลการ	ช่วงเป็น amorphous และ crystal จะแข็งแรงและมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง	ส่วนที่เป็น amorphous โมเลกุลเคลื่อนไหวได้บ้างส่วนที่เป็นผลึกยังแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในช่วงที่เป็นผลึกสูง	ส่วนที่เป็นผลึกจะหลอมละลาย	มาโครโมเลกุลเคลื่อนที่เสียดสีกันได้	โมเลกุลของ Thermoplastic สลายตัว
ทำงานขึ้นภาพ	ไม่มีการทำงานขึ้นภาพช่วงนี้	ตัดโดยเสียเศษและไม่เสียเศษ การประสานแบบแยกตัวได้และถาวรปรับปรุงผิวได้	การขึ้นภาพ : งานตัด อัด ดึง และ แปรภาพ โดยการดึง-อัดเข้าแบบ	การขึ้นภาพจากผงหรือเม็ด : - ฉีดเข้าแบบ extrusion ฯลฯ งานประสานเชื่อม	ไม่มีการทำงานขึ้นภาพ

### คุณสมบัติของ Thermosetting Plastics

โซ่โมเลกุลของเทอร์โมเซต (thermoset) ยึดกันด้วยแรงวาเลนซ์ (valency) ระหว่างโซ่โมเลกุลจะมีลักษณะเป็นตาข่ายเหนียวแน่น (crosslinked) ขัดขวางการเคลื่อนไหวของโมเลกุล จนกว่าจะถึงจุดสลายตัว ดังภาพ 3.21 พลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ phenolic, melamine, unsaturated polyester, epoxy resin และ polyurethane



ภาพที่ 3.21 แผนภาพสถานะของ Thermosetting Plastics เมื่อได้รับความร้อน

สถานะของพลาสติก	ช่วงแข็งเปราะเหมือนแก้ว	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุล	โมเลกุลเกาะกันเป็นตาข่าย	โมเลกุลของเทอร์โมเซต (thermosetting) สลายตัว
การทำงานแปรสภาพ	ตัดเฉือนโดยเสียเศษ การประสานแบบแยกได้และถาวร ปรับปรุงผิวได้	ไม่มี

การทำงานจากผง : ในการทำงานจากผง (เช่น งานอัด ฉีดอัด ทำโฟม หล่อเคลือบ ฯลฯ) จะทำให้ macromolecule เกาะกันเป็นตาข่าย (crosslinked)

การแปรสภาพ : การแปรสภาพโดยใช้ความร้อนทำไม่ได้ เนื่องจากโซ่โมเลกุลเกาะกันเป็นตาข่ายที่มาก จะไม่อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน จะทำได้โดยการตัดเฉือนเท่านั้น

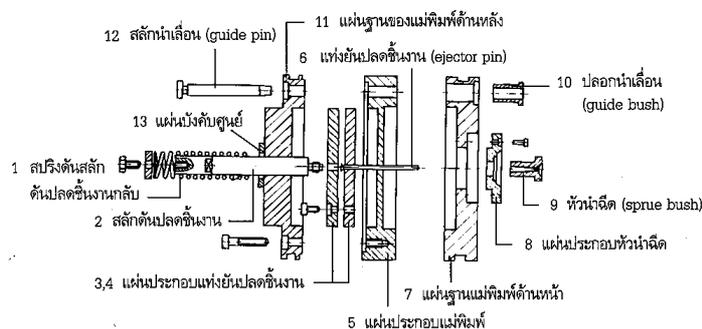
### 3.3.3 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Injection Mould)

#### แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Injection Mould)

เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของพลาสติกที่สามารถขึ้นภาพเป็นภาพทรงได้ทุกแบบตามต้องการ โดยในการขึ้นภาพนี้จะต้องมีแม่พิมพ์เป็นตัวทำให้เกิดภาพทรงของชิ้นงานขึ้น ในภาพที่ 3.22 เป็นส่วนประกอบหลัก ๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งบางแบบอาจจะมีลักษณะแตกต่างจากนี้ ในลักษณะของภาพทรงของชิ้นงาน การปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และหัวนำฉีด (sprue bush) ดังนั้นการแบ่งประเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกอย่างหยาบจะแบ่งตามความแตกต่างของการปลดชิ้นงานและหัวนำฉีด

หัวนำฉีดเป็นชิ้นส่วนที่ส่งผ่านพลาสติกเหลวจากหัวฉีดเข้าไปยังหลุมแบบที่เป็นภาพร่างของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรง ทนต่อการกระแทกได้เป็นอย่างดี

ในภาพ 3.26 แสดงชิ้นส่วนประกอบหลัก ๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ ในปัจจุบันได้มีบริษัทผลิตชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเหล่านี้ไว้เป็นมาตรฐานสามารถซื้อหามาเปลี่ยนได้เมื่อเกิดชำรุดหรือเสื่อมสภาพ ถ้าเริ่มต้นจากแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ ก็จะเริ่มด้วยสลักสำหรับดันชุดปลดชิ้นงานหมายเลข (1) ซึ่งสอดผ่านแผ่นฐานของแม่พิมพ์ (11) ไปชนเกลียวติดกับแผ่นประกบแท่งยันปลดชิ้นงาน (3) และ (4) แผ่นฐาน (base plate) หมายเลข (11) ใช้ติดกับแผ่นติดแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ (moving plate) ของเครื่องฉีดพลาสติกโดยมีแผ่นบังคับศูนย์ หมายเลข (13) เป็นตัวบังคับให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางพอดี แผ่นหมายเลข (5) ใช้สำหรับประกอบแม่พิมพ์ที่เป็นช่องว่าง ภาพทรงของชิ้นงาน แท่งยันปลดชิ้นงาน (ejector pin) (6) ใช้สำหรับยันปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แผ่นฐาน (base plate) หมายเลข (7) ใช้สำหรับประกอบแม่พิมพ์ส่วนที่เป็นหลุมแบบที่ทำให้เกิดภาพร่างของชิ้นงานและใช้ประกอบแผ่นติดแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ (stationary plate) ของเครื่อง โดยจะมีหัวนำฉีดและแผ่นประกอบหัวนำฉีดติดอยู่ด้านหน้า ในแผ่นฐาน (7) และ (11) จะมีรูสำหรับสอดแท่งนำเลื่อน (guide pin) (12) เพื่อให้แม่พิมพ์ประกบกันพอดี โดยจะมีปลอกนำเลื่อน (guide bush) (10) ที่ติดอยู่กับแผ่นฐาน (7) ทำหน้าที่นำเลื่อน ถ้ามีชิ้นส่วนหลัก ๆ ลักษณะนี้จะทำให้การผลิตแม่พิมพ์ง่ายและรวดเร็วขึ้นมาก คือ เพียงแต่ทำส่วนแม่พิมพ์ที่เป็นหลุมแบบภาพทรงของชิ้นงานมาประกอบเข้าก็จะเสร็จซึ่งเป็นการประหยัดงานและเวลาในการสร้างแม่พิมพ์ไปได้มาก



ภาพที่ 3.22 ชิ้นส่วนประกอบหลักๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สามารถถอดเปลี่ยนได้

### 3.4 กระบวนการและขั้นตอนในการฉีด Hub-C2

ขั้นตอนการฉีด Hub-C2 มีดังนี้

- 1) ทำการจัดเตรียมเม็ดพลาสติกโดยทำการอบเพื่อลดความชื้นในตัวเม็ดพลาสติก
- 2) ทำการตรวจสอบสภาพเม็ดพลาสติกอีกครั้งว่ามีสิ่งปนเปื้อนหรือไม่  
ก่อนนำไปบรรจุในฮอปเปอร์ พลาสติกที่มีสารปนเปื้อนหรือวัสดุสีอื่นปนเปื้อนจะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานโดยเฉพาะสภาพภายนอก ซึ่งในกรณีของ Hub-C2 เม็ดพลาสติกเป็นสีขาวสภาพการปนเปื้อนจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจสอบ
- 3) จัดเตรียมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในกรณีของ Hub-C2 ต้องเปิดแม่พิมพ์เพื่อทำความสะอาดผิวหน้าแม่พิมพ์ทุกครั้งก่อนทำการฉีด
- 4) ทำการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องฉีดพลาสติก
- 5) ตรวจสอบสภาพความเรียบร้อยของแม่พิมพ์อีกครั้งโดยเฉพาะระบบ Sensor ในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์
- 6) ติดตั้งระบบระบายความร้อนโดยการเชื่อมต่อแม่พิมพ์กับตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- 7) ตรวจสอบโปรแกรมสำหรับใช้ฉีด Hub-C2 ซึ่งโดยปกติโปรแกรมจะบันทึกอยู่ในเครื่องฉีดซึ่งสามารถเรียกโปรแกรมมาใช้งานได้เลย
- 8) ทำการฉีดล้างกระบอกสูบและเพื่อทำความสะอาดผิวหน้าแม่พิมพ์ด้วย ซึ่งปกติการฉีดล้างแม่พิมพ์จำเป็นต้องทำทุกครั้งก่อนจะฉีดจริงเพื่อเก็บชิ้นงานและจำนวนครั้งในการฉีดล้างขึ้นอยู่กับความเหมาะสมเป็นครั้งๆ ไปซึ่งพิจารณาจากชิ้นงานจริงเป็นหลักว่าสภาพผิวด้านนอกมีการปนเปื้อนมากน้อยเพียงใด

9) ทำการทดลองฉีดชิ้นงานจริงจำนวน 5 ครั้ง (Shot) เพื่อยืนยันคุณภาพว่าเป็นไปตามข้อกำหนด โดยปกติการยืนยันคุณภาพก่อนการผลิตจริง จะมีการตรวจยืนยันคุณภาพแบ่งเป็นสองส่วนด้วยกันคือ

9.1 การตรวจยืนยันสภาพภายนอก (Appearance Inspection) ตัวอย่างเช่นชิ้นส่วนจะต้องไม่มีครีบ (Flash) เกิดขึ้นรอบๆ ชิ้นงาน ชิ้นงานจะต้องไม่เกิดรอยไหม้ (Burn) โดยเฉพาะชิ้นงานที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกสีขาว จะทำให้รอยไหม้เด่นชัดขึ้น ซึ่งหัวข้อในการตรวจสอบคุณภาพภายนอกนั้นไม่ได้มีเฉพาะที่ยกตัวอย่างเท่านั้น แต่จะขึ้นกับข้อกำหนดของชิ้นส่วนนั้นๆ ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะการนำไปใช้งาน โดยข้อกำหนดจะถูกจัดขึ้นซึ่งเรียกว่ามาตรฐานการตรวจสอบสภาพภายนอกโดยที่ชิ้นงานจะต้องผ่านข้อกำหนดทั้งหมดจึงจะอนุมัติให้ทำการผลิตจริงได้

9.2 การตรวจยืนยันขนาดและภาพร่าง (Dimension Inspection) วิธีการตรวจขนาดและภาพร่างจะทำการตรวจสอบจำนวน 5 ชิ้น โดยตรวจสอบทุกหัวข้อที่ระบุไว้ในมาตรฐานการตรวจสอบและชิ้นงานจะต้องมีขนาดตามข้อกำหนดทุกหัวข้อจึงจะสามารถทำการผลิตจริงได้

10) ในกรณีที่ชิ้นงานผ่านการตรวจสอบยืนยันคุณภาพทั้งสภาพภายนอกและขนาดภาพร่าง จะเริ่มทำการผลิตจริงโดยมีการสุ่มตรวจคุณภาพทั้งขนาดและภาพร่างทุกๆ 3 ชั่วโมง แต่ในกรณีที่ชิ้นงานไม่ผ่านข้อกำหนดอย่างใดอย่างหนึ่ง ช่างเทคนิคหรือวิศวกรที่รับผิดชอบจะทำการปรับแต่งเงื่อนไขในการฉีดและทำการทดลองการฉีดจนกว่าจะผ่านการตรวจยืนยันคุณภาพจึงจะทำการผลิตจริงได้ และในกรณีที่มีการปรับแต่งเงื่อนไขในการฉีดจำเป็นจะต้องมีการจดบันทึกทุกๆ ครั้งในการปรับแต่ง

11) หลังจากทำการผลิตจนครบจำนวนที่ต้องการชิ้นงาน 5 ชิ้น สุดท้ายจะถูกจัดเก็บโดยฝ่ายผลิตและนำส่งไปยังแผนกควบคุมคุณภาพ เพื่อทำการตรวจสอบต่อไปและชิ้นงานที่เหลือจะถูกส่งต่อไปยังขบวนการถัดไปเพื่อทำการประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ DDS สำเร็จภาพ

### 3.5 ขบวนการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก

#### การวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอกของ Hub-C2

การวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในจะใช้เครื่องมือแบบที่ไม่สัมผัสกับงานโดยตรง (Non contact video measure machine) ซึ่งหลักการจะใช้แสงในการตรวจจับขนาดของชิ้นงาน ซึ่งการวัดแต่ละครั้งสามารถวัดได้สูงสุดถึง 32 ชิ้น

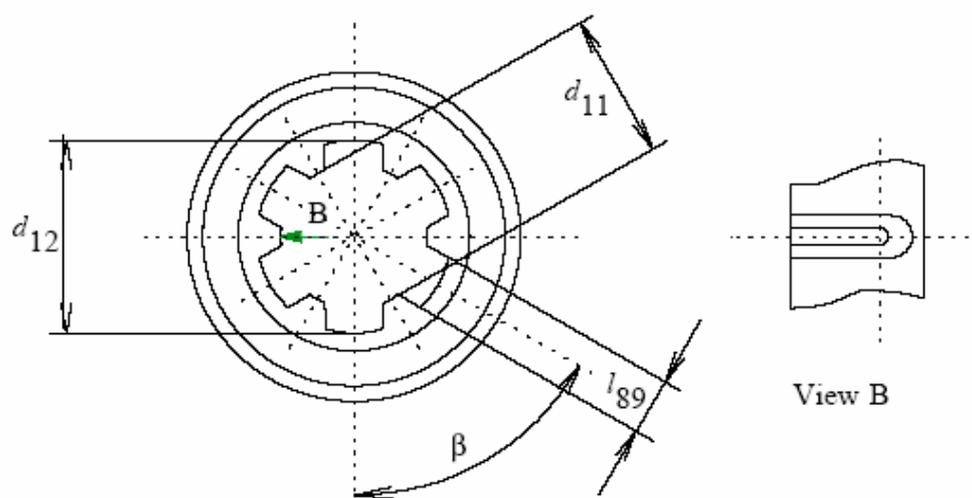


Figure 15 - Top view of a hub

ภาพที่ 3.23 ลักษณะการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอก



ภาพที่ 3.24 เครื่องมือใช้สำหรับวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอก

### 3.6 การควบคุมคุณภาพและตรวจติดตามกระบวนการผลิต Hub-C2

หลักการควบคุมคุณภาพและตรวจติดตามการผลิต Hub-C2 สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- 3.6.1 การตรวจชิ้นงานเพื่อยืนยันการผลิต โดยจะทำการตรวจสอบสองส่วนด้วยกันคือการตรวจสอบคุณภาพภายนอกและการตรวจสอบขนาดและภาพร่างของชิ้นงาน ซึ่งการตรวจสอบสภาพภายนอกจะถูกกระทำก่อนตรวจสอบขนาดและภาพร่างโดยที่ถ้าคุณภาพภายนอกไม่ผ่านมาตรฐาน จะไม่มีการตรวจขนาดและภาพร่างโดยจำนวนชิ้นงาน 5 ชิ้น จะได้รับการตรวจสอบทุกครั้งก่อนการผลิตจริง
- 3.6.2 หลังจากตรวจยืนยันการผลิตและผ่านมาตรฐานจะอนุมัติให้ทำการผลิตและจะมีการสุ่มตรวจชิ้นงานทุกๆ 3 ชั่วโมงโดยในการสุ่มแต่ละครั้งจะสุ่มจำนวน 3 ชิ้นต่อครั้ง และมีการตรวจสอบทั้งสภาพภายนอกและขนาดภาพร่าง ในกรณีของภาพร่างและขนาดจะใช้เครื่องมือทางสถิติคือ แผนภูมิควบคุม  $\bar{X}$ -R chart มาช่วยในการตรวจติดตามและเฝ้าระวังโดยเฉพาะเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและจะมีการวิเคราะห์และตรวจสอบความสามารถของกระบวนการ ในทุกๆ สัปดาห์
- 3.6.3 การตรวจชิ้นงานก่อนจบการผลิตจะมีการจัดเก็บชิ้นงาน 5 ชิ้นสุดท้ายไว้ทำการวิเคราะห์อัตราการหดตัว (Shrinkage Ratio) โดยฝ่ายควบคุมการผลิตจะเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่วิเคราะห์อัตราการหดตัวเพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงกระบวนการผลิตในครั้งต่อไป