



## บทที่ 5

### การออกแบบแม่พิมพ์ของ เครื่องผลิตเตาประสิทธิภาพสูง

#### หลักการ

การออกแบบแม่พิมพ์เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง ก่อนอื่นต้องพิจารณาลักษณะของการใช้งานก็คือการที่ภาระกระทำกับส่วนของวัสดุเป็นแบบใด เช่น กระแทก ล้ำตัว อยู่นิ่ง หรือเปลี่ยนแปลงตามเวลา ตลอดจนลักษณะการกระทำของแรงว่าเป็นแบบรวมจุด แม่กระจาย มีกิมิตี และเป็นแรงกด แรงดึง แรงเฉือน แรงดัด หรือเป็นแรงผสมเพื่อนำมาพิจารณาออกแบบในการออกแบบแม่พิมพ์เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงสรุปได้ว่าการอัดตัวของแม่พิมพ์ เกิดขึ้นในแนวตั้งลักษณะของแรงเป็นแบบอยู่หนึ่งที่แม่พิมพ์นอกทำให้เกิดความเค้นและความเครียดเป็นแบบผสมกันคือเกิดความเค้นดิ่งที่บริเวณรอบๆแม่พิมพ์นอก ในแนวรัศมีและแนวตั้งฉากกับแนวรัศมี(แนวระดับ) เกิดความเค้นกดขึ้นในแนวรัศมีและในแนวตั้งฉากกันแนวรัศมี(แนวตั้ง)และเกิดความเค้นเฉือนในแนว 45 องศา เป็นต้น ในการออกแบบจำเป็นต้องคำนวณมาตรฐานของความแข็งแรงของวัสดุ แต่ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรงของวัสดุนั้นมักจะอยู่ในค่าความเค้นดิ่งเพียงอย่างเดียวเพราะว่าในการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ ความเค้นผสมระหว่างความเค้นดิ่งบ้างความเค้นกดบ้างและความเค้นเฉือนบ้างนั้นกระทำไม่ได้สะดวกอีกประการหนึ่งการอ้างถึงค่ามาตรฐานนี้เป็นค่าที่เกิดจากการทดสอบวัสดุโดยการสุมไม้ใช้วัสดุทุกชิ้น ดังนั้นค่าความแข็งแรงของวัสดุจึงถือว่าเป็นค่าโดยประมาณ ดังนั้นจะต้องเพื่อความปลอดภัยด้วย ในการคำนวณนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่จะเกิดขึ้นในวัสดุ จากนั้นนำผลที่ได้เป็นข้อมูลหลักมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัสดุทั้งนี้ เพราะคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของวัสดุได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นและความเครียดของวัสดุซึ่งจะมีจุดที่สำคัญคือจุดอ่อนตัว, ความเค้นสูงสุดเพื่อให้เข้าใจลักษณะที่วัสดุจะต้องทำงานหรืออาจแตกหักจากการทำงานนั้นๆ

การออกแบบแม่พิมพ์เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงจำเป็นต้องมีทฤษฎีของการแตกหักเข้ามาช่วยในการคำนวณและออกแบบ คือผลลัพธ์ของการทดสอบมาตรฐานมาใช้โดยเฉพาะความเค้นอ่อนตัวหรือความเค้นสูงสุดมาคำนวณเพราะผลการทดสอบเหล่านี้มีพร้อมอยู่แล้ว ส่วนการใช้ค่าความปลอดภัยเล็กน้อยเพียงไรนั้นก็ เป็นเรื่องที่ผู้วิจัยจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

ในการออกแบบในโครงการวิจัยนี้จะศึกษาจากทฤษฎีของการแตกหักแบบต่างๆ เพื่อหาทฤษฎีที่เหมาะสมกับแบบของเครื่องจักรและเป็นที่ยอมรับทั่วไป ทฤษฎีที่น่าสนใจมี ดังนี้

- 1) ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด (Maximum Principal Stress Theory)
- 2) ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress Theory)

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดดินผสมด้วยความดันสูงเพื่อขึ้นรูปเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงนั้นแม่พิมพ์จะต้องสามารถควบคุมให้ดินผสมมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพได้ตามที่ต้องการสำหรับคุณสมบัติ

บัติของดินผสมที่เปลี่ยนไปนั้นได้จากการทดลองในบทที่ 4 นั้นเองก่อนที่จะกำหนดคุณสมบัติเฉพาะของแม่พิมพ์ชุดนี้ จะต้องมีความเข้าใจและออกแบบรูปแบบหรือคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของแม่พิมพ์เสียก่อน ในการออกแบบแม่พิมพ์ได้คำนึงถึงข้อกำหนดต่างๆ เพื่อนำมาประกอบการพิจารณารูปแบบของแม่พิมพ์ดังต่อไปนี้

### กลไกการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์

กลไกการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ตั้งแต่เริ่มขึ้นรูปเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง จนกระทั่งถึงขั้นตอนการถอดชิ้นงาน กลไกของแม่พิมพ์นี้ ผู้วิจัยได้ศึกษากลไกแบบต่างๆ โดยกำหนดให้แม่พิมพ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนแรก ได้แก่แม่พิมพ์นอกแม่พิมพ์นอกจะเป็นแบบเพื่อกำหนดรูปร่างผิวด้านนอกของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงและ เป็นส่วนที่ควบคุมการรีดน้ำออกจากดินผสม เนื่องจากดินผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเตานั้นมีความเหลวของเนื้อดินมาก จึงต้องมีการออกแบบแม่พิมพ์ภายนอกให้มีรูระบายน้ำที่เกิดจากขั้นตอนการรีดน้ำ

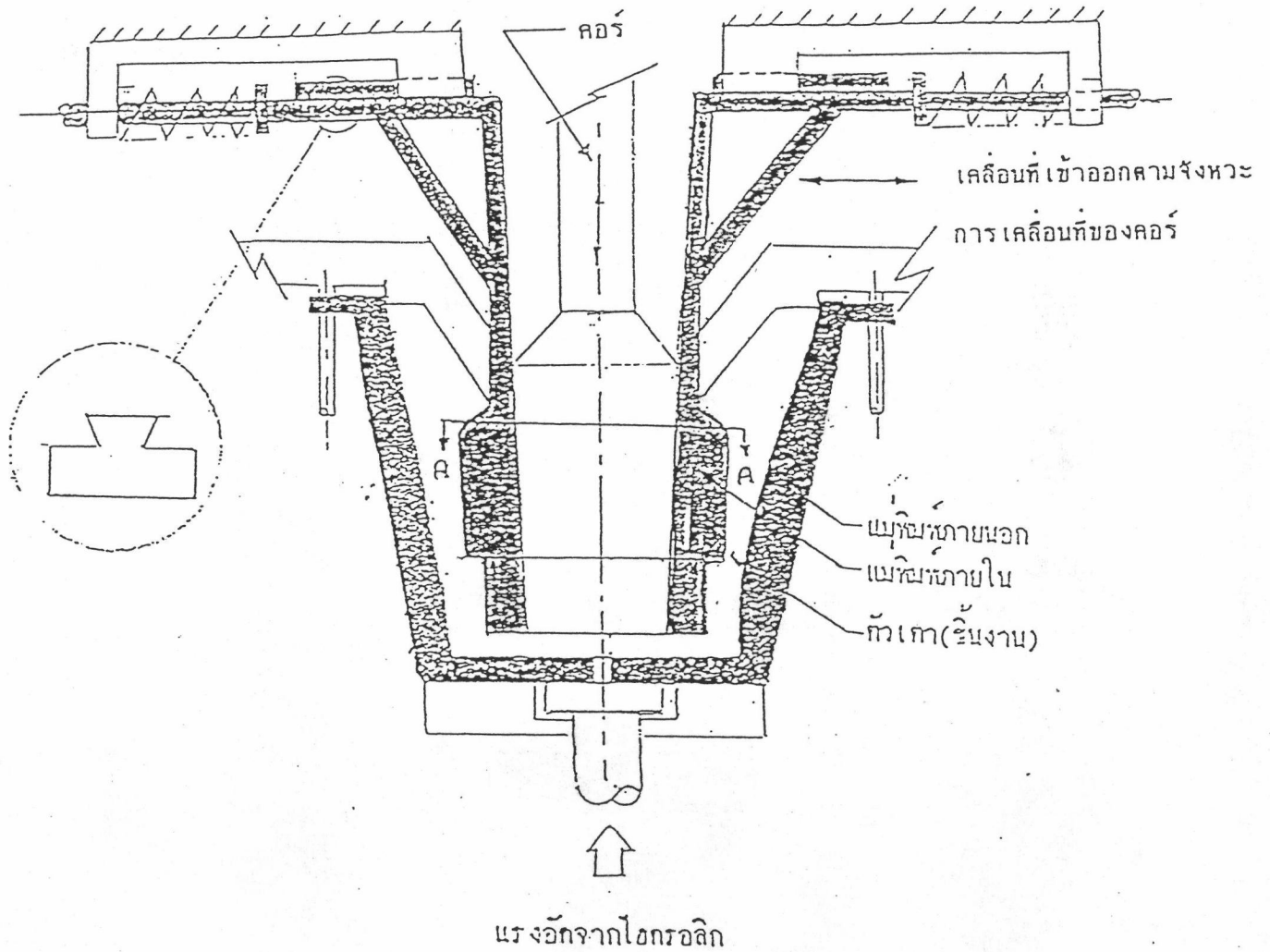
ส่วนที่สอง ได้แก่แม่พิมพ์ใน แม่พิมพ์ในจะเป็นแบบเพื่อกำหนดรูปร่างผิวด้านในของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงแต่เนื่องจากผิวด้านในมีส่วนที่เว้าลึกเข้าไปในเนื้อเตาเมื่อเทียบกับปากเตาจึงทำให้มีบริเวณที่ใหญ่กว่าส่วนของปากเตาทำให้จะต้องมีกลไกเพิ่มเติมในส่วนของแม่พิมพ์ภายใน

จากข้อกำหนดของแม่พิมพ์ ผู้วิจัยได้ออกแบบกลไกเบื้องต้นเพื่อนำมาพิจารณาหาความเหมาะสมไว้ 3 แบบ คือ

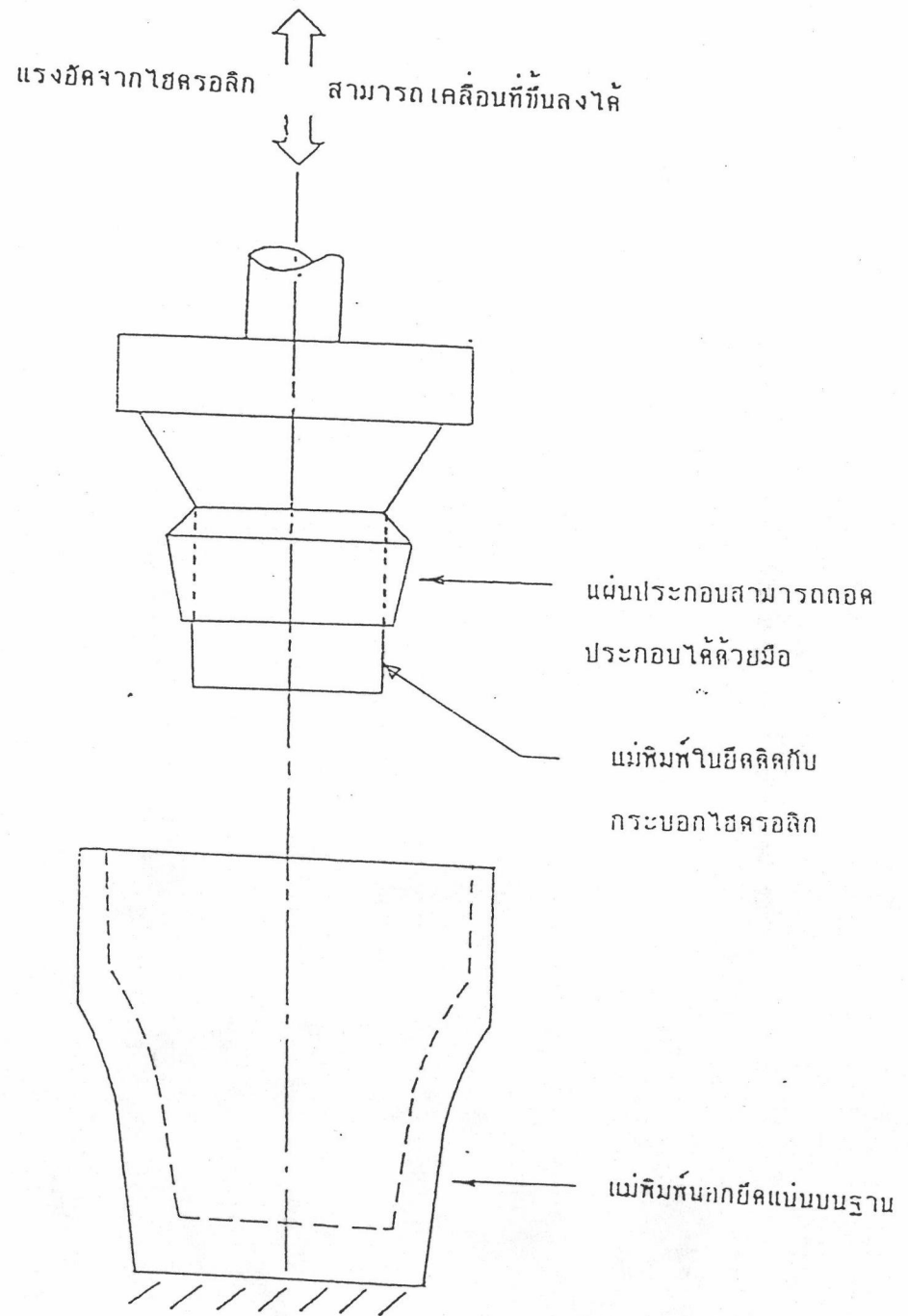
#### 1. แบบมีกลไกแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ

แบบมีกลไกแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบหรือกลไกแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 แม่พิมพ์มีสองส่วนคือแม่พิมพ์ภายนอกและแม่พิมพ์ภายในโดยแม่พิมพ์ภายนอกจะอยู่ด้านล่างสามารถเคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดแม่พิมพ์ด้านในที่อยู่กับที่มีแกนอยู่ตรงกลางตัวแกนสามารถเคลื่อนที่เข้าออกจากแม่พิมพ์ทางด้านบนได้ เมื่อแกนเคลื่อนที่ลงมาจะดันให้แม่พิมพ์ภายในทั้ง 6 ส่วนกางออกจนกระทั่งมีรูปร่างตามที่ต้องการและ เมื่อแกนเคลื่อนที่ขึ้นแม่พิมพ์ภายในก็จะหุบตัวและยุบเล็กลงทำให้ชิ้นงานคือเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงที่ได้จากการขึ้นรูปเคลื่อนที่ลงได้โดยไม่ติดปากเตา กลไกของแม่พิมพ์แบบนี้คือ เมื่อนำดินผสมใส่ลงในแม่พิมพ์นอก แม่พิมพ์ภายนอกจะเคลื่อนที่ยกตัวขึ้นด้วยระบบไฮดรอลิก ขณะเดียวกันแกนของแม่พิมพ์ภายในด้านบนจะเคลื่อนที่ลงมาทำให้แม่พิมพ์ในกางเต็มแบบต่อไปเป็นขั้นตอนอัดขึ้นรูปและรีดน้ำหลังจากนั้นแกนของแม่พิมพ์ภายในจะเคลื่อนที่ขึ้นทำให้แม่พิมพ์ในยุบตัว แล้วแม่พิมพ์นอกก็จะเคลื่อนที่ลงมาพร้อมกับชิ้นงานแล้วจึงถอดชิ้นงานเป็นการเสร็จขั้นตอน

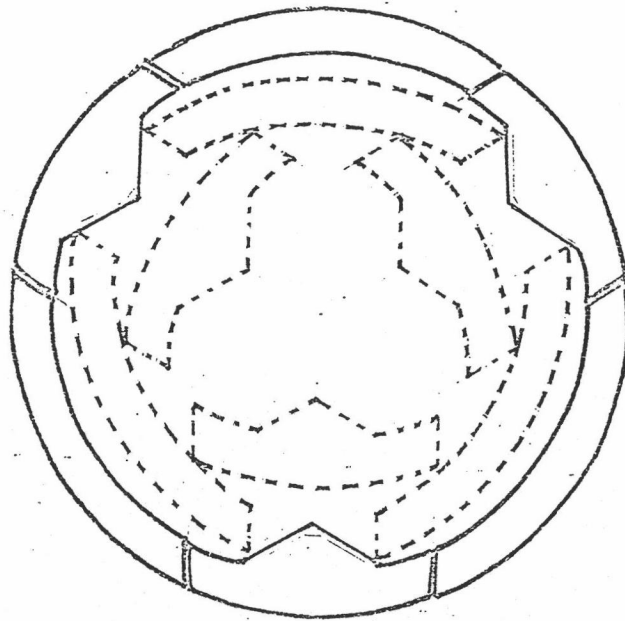
คอร์ เคลื่อนที่ขึ้นลงตามจังหวะการขึ้นรูปเสาค



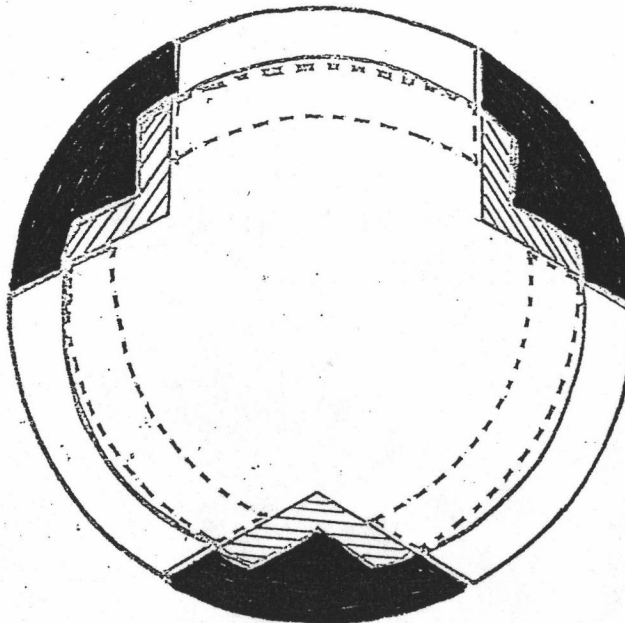
รูปที่ 5.1 กลไกการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ที่มีกลไกแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ



รูปที่ 5.2 กลไกการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ที่มีกลไกแบบใช้มือประกอบ



การจัดกลไกในภาคตัด A-A จากรูปที่ 5-1 เมื่อกลไกเป็นแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ



การจัดกลไกในภาคตัด A-A จากรูปที่ 5-1 เมื่อกลไกเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ

- ชั้นส่วนของแม่พิมพ์ในเมื่อกางออก
- ชั้นส่วนของแม่พิมพ์ในเมื่อหุบเข้า
- ชั้นส่วนของกลไกที่หลุดติดไปกับชิ้นงาน

รูปที่ 5.3 กลไกแบบกึ่งอัตโนมัติที่ปรับปรุงจากแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ

## 2. แบบมีกลไกแบบใช้มือประกอบ

แบบมีกลไกแบบใช้มือประกอบหรือกลไกแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 แม่พิมพ์มีสองส่วนคือ แม่พิมพ์นอกและแม่พิมพ์ใน โดยแม่พิมพ์นอกจะยึดติดอยู่กับที่ด้านล่างส่วนแม่พิมพ์ในจะติดอยู่กับเพลาลูกสูบไฮดรอลิก ที่ด้านบนส่วนที่ใหญ่กว่าปากเตาของแม่พิมพ์ในจะสามารถถอดและประกอบได้โดยง่ายกลไกของแม่พิมพ์แบบนี้ก็คือ เริ่มจากประกอบแม่พิมพ์ในให้เรียบร้อยใส่ดินผสมในแม่พิมพ์นอก เคลื่อนแม่พิมพ์ในลงมาอัดและรีดน้ำดินผสม ดอยแม่พิมพ์ในโดยส่วนที่ใหญ่กว่าปากเตาจะหลุดติดไปกับตัวเตา เมื่อแม่พิมพ์ในดอยหลังกลับสุดและขึ้นส่วนของแม่พิมพ์ในส่วนที่ยังติดอยู่ในชิ้นงานออกนำไปประกอบกลับเข้าที่ แล้วจึงถอดชิ้นงานจากแม่พิมพ์นอกเป็นการเสร็จขั้นตอน

## 3. แบบมีกลไกแบบกึ่งอัตโนมัติ

แบบมีกลไกแบบกึ่งอัตโนมัติหรือกลไกแบบที่ 3 ได้แก่ แบบผสมระหว่างแบบที่ 1 กับแบบที่ 2 สำหรับแบบที่ 3 นี้จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าแบบที่ 1 แต่ก็ยังใช้มือช่วยประกอบบางชิ้นส่วนเช่นเดียวกับแบบที่ 2 คือกลไกแบบกึ่งอัตโนมัติจะพัฒนากลไกแบบอัตโนมัติให้เหมาะสมกับลักษณะงาน โดยจะปรับปรุงส่วนของแม่พิมพ์ในที่เคลื่อนที่เข้า-ออกได้ทั้ง 6 ส่วนให้เหลือส่วนที่เคลื่อนที่เพียง 3 ส่วนเพื่อลดความซับซ้อนในการจัดตำแหน่งกลไกในขณะที่แม่พิมพ์ในทับตัว โดยจะกำหนดให้ 3 ส่วนที่เหลือหลุดติดไปกับชิ้นงาน ได้แสดงความแตกต่างของกลไกแบบที่ 1 และแบบที่ 3 ในรูปที่ 5.3

### การพิจารณาเลือกแบบแม่พิมพ์

การพิจารณาเลือกแบบแม่พิมพ์ได้คำนึงถึงความคงทนของแม่พิมพ์ เงินลงทุน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และอายุการใช้งาน

#### 1. ความคงทนของแม่พิมพ์

เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้กับดินผสมได้แก่ ส่วนผสมระหว่างดินเหนียวกับซีเมนต์เคลือบตาเพื่อผลิตเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงถ้าใช้คนค่าแรงค่อนข้างต่ำดังนั้นถ้าใช้เครื่องจักรค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงก็จะต้องต่ำ รูปแบบของแม่พิมพ์จะต้องไม่ซับซ้อนมากนัก การซ่อม บำรุงรักษาได้โดยไม่ต้องใช้ความรู้ความสามารถมากนัก

#### 2. เงินลงทุน

เช่นเดียวกับเหตุผลข้อ 1 ดังนั้นเงินลงทุนค่าเครื่องจักรควรมิสูงมากนัก

จากการสอบถามโรงงานสรุปได้ว่าแนวคิดที่จะสร้างแม่พิมพ์ที่มีกลไกทั้ง 3 แบบ ในการสร้างสามารถทำได้ทุกแบบ แต่แม่พิมพ์แบบที่ 1 และแบบที่ 3 จะมีราคาในการสร้างไม่น้อย

กว่า 2-5 เท่าของราคาแบบที่ 2 นอกจากนี้แบบที่ 2 ยังมีข้อได้เปรียบ คือแม่พิมพ์มีกลไกที่ไม่ซับซ้อนเหมือนแบบที่ 1 และแบบที่ 3 และคาดว่ามียุคการใช้งานที่ยาวนานกว่า ลักษณะของแม่พิมพ์เป็นแบบไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา (Maintenance Free) ผู้วิจัยจึงเลือกแบบที่ 2

### ทฤษฎีประกอบการออกแบบ

#### 1. Maximum-Normal-Stress Theory

ทฤษฎี Maximum-Normal-Stress Theory ได้อ้างไว้ว่าวัสดุจะอ่อนตัวก็ต่อเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในเนื้อวัสดุมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความเค้นอ่อนตัวของวัสดุ

กำหนดให้มีการจัดระบบของแกนหลักทั้ง 3 ดังนี้

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \text{ -----(5.1)}$$

ถ้ามีแรงกระทำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเกิดความเสียหายแก่วัสดุ ทฤษฎีนี้ได้ทำนายไว้ว่า

$$\sigma_1 = \sigma_{yt} \text{ หรือ } \sigma_3 = -\sigma_{yc} \text{ -----(5.2)}$$

โดย  $\sigma_{yt}$  และ  $\sigma_{yc}$  คือ Tensile and Compressive Yield Strength

#### 2. Maximum-Shear-Stress Theory

ทฤษฎี Maximum-Shear-Stress Theory ได้อ้างไว้ว่าวัสดุจะเริ่มอ่อนตัวก็ต่อเมื่อความเค้นสูงสุดในเนื้อวัสดุอันได้แก่

$$(\sigma_1 - \sigma_2)/2, (\sigma_1 - \sigma_3)/2, (\sigma_2 - \sigma_3)/2$$

มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนอ่อนตัวในระบบ Simple Tension หรือ Simple Compression หรือ Simple Torsion มีค่าเท่ากับ  $\sigma_y/2$  ใช้ Mohr's Circle ประกอบ จะได้

$$(\sigma_1 - \sigma_2)/2 = \sigma_y/2 \text{ -----(5.3)}$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)/2 = \sigma_y/2 \text{ -----(5.4)}$$

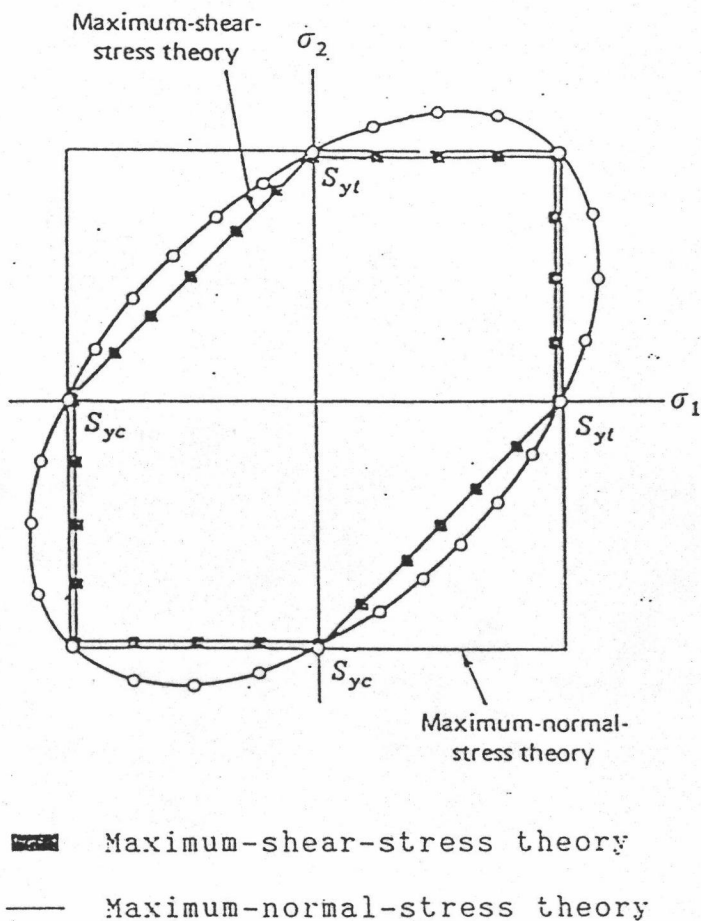
$$(\sigma_2 - \sigma_3)/2 = \sigma_y/2 \text{ -----(5.5)}$$

#### 3. การพิจารณาทฤษฎีประกอบการออกแบบ

ทฤษฎี Maximum-Normal-Stress Theory เป็นทฤษฎีแรกที่ตั้งขึ้นมาจากพื้นฐานการวิเคราะห์มาจากวัสดุที่เปราะ (Brittle) โดยเปรียบจากค่า  $\sigma_{yp}$  เป็น  $\sigma_u$  เพราะวัสดุแข็งหรือเปราะนั้นไม่มีจุดอ่อนตัวให้เห็นชัดเจน การยึดมีน้อยมากในทางปฏิบัติพบว่าถ้ากำหนด  $\sigma_1 = \tau = \sigma_3$  และ  $\sigma_2 = 0$  จะได้  $\tau = \sigma_y$  แต่จากประสบการณ์ในการทดสอบพบว่าในส่วน of วัสดุที่รับแรงบิดด้วยจะเกิดการเปลี่ยนรูปที่ค่า Maximum Torsion Stress ถึงเพียงประ

มาณ 60 %ของค่า Yield Stress( $S_y$ ) ดังนั้นทฤษฎีนี้ยังมีการทำนายที่ผิดพลาดอยู่บ้างแต่เนื่องจากวิธีคำนวณทำได้ง่ายจึงควรจะนำมาคำนวณเป็นพื้นฐานก่อน แล้วจึงค่อยวิเคราะห์ให้ละเอียดต่อไป

ส่วนทฤษฎี Maximum-Shear-Stress Theory ในทางปฏิบัติพบว่าทฤษฎีนี้มีค่าใกล้เคียงกับความจริงมากกว่าทฤษฎีแรกโดยเฉพาะในระบบความเค้นผสม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะทฤษฎีนี้ได้พื้นฐานการวิเคราะห์มาจากวัสดุที่เหนียว(Ductile Materials)ซึ่งความเค้นเฉือนจะเป็นตัวทำให้วัสดุอ่อนตัวใกล้เคียงตามความเป็นจริงกว่าทฤษฎีความเค้นหลัก หรือความเครียดหลักตัวใดตัวหนึ่งและทฤษฎีนี้ยังนำเอาความเค้นหลักอย่างน้อยสองตัวคือ ตัวที่มีค่ามากที่สุดกับตัวที่มีค่าน้อยที่สุดมาร่วมพิจารณานอกจากนี้การนำไปใช้ในการออกแบบทฤษฎีนี้ยังเป็นทฤษฎีที่พิจารณาเฉพาะผลต่างของความเค้นหลักอย่างง่ายๆการคำนวณทำได้อย่างรวดเร็วดังนั้นจึงเป็นที่นิยมแพร่หลายในขณะนี้



รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบทฤษฎี static-failure theories



จาก Joseph E. Shigley/Larry D. Mitchell (1983) ดังแสดงในรูปที่ 5.4 เป็นการพิจารณาในแนวระนาบกำหนดให้  $\sigma_3 = 0$  ทั้งสองทฤษฎีจะมีค่าเท่ากันที่ควอดแดรนต์ที่ 1,3 ทั้งนี้เนื่องจากเป็นแรงแบบเดียวกันส่วนที่ควอดแดรนต์ที่ 2,4 ทฤษฎี Maximum-Shear-Stress Theory จะให้ค่ามากกว่าซึ่งเป็นค่าที่ทฤษฎี Maximum-Normal-Stress Theory ไม่ได้ พิจารณาถึงวัสดุเหนียวนั้นเองอย่างไรก็ตามถ้าการออกแบบได้พิจารณาทฤษฎีทั้งสองประกอบกันก็จะทำให้การออกแบบนั้นครอบคลุมความถูกต้องยิ่งขึ้นและการคำนวณเป็นไปโดยง่ายและรวดเร็ว คือคำนวณโดยทฤษฎี Maximum-Normal-Stress Theory แล้วตรวจสอบด้วยทฤษฎี Maximum-Shear-Stress Theory อีกครั้งหนึ่งในทางปฏิบัติวัสดุที่ได้จากการออกแบบจำเป็นต้องมีการเจาะรู หรือเจาะร่องต่างๆ ดังนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงผลการวิจัยของ R.E. Peterson Consultant Westinghouse Research Laboratories (1974) เรื่อง "Stress Concentration Factor" ซึ่งจะแสดงส่วนที่เป็นจุดอ่อนของวัสดุนั้นเอง ดังแสดงในกราฟ 5-1

### การออกแบบแม่พิมพ์ภายใน

#### 1. ลักษณะการทำงาน

แม่พิมพ์ภายในจะเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลง เพื่อทำการอัดดินผสมที่บรรจุอยู่ในแม่พิมพ์ภายนอกซึ่งอยู่กับที่ แม่พิมพ์ภายในจะติดอยู่กับระบบไฮดรอลิกที่ด้านบน มีบางส่วนของแม่พิมพ์ที่มีรัศมีมากกว่าส่วนที่เป็นปากเตา สำหรับส่วนที่ใหญ่กว่าปากเตาของแม่พิมพ์ด้านในจะสามารถถอดและประกอบได้โดยง่ายกลไกของแม่พิมพ์แบบนี้ก็คือ เริ่มจากประกอบแม่พิมพ์ภายในให้เรียบร้อย ใส่ดินผสมในแม่พิมพ์ภายนอก เคลื่อนแม่พิมพ์ภายในลงมาอัดและรีดน้ำดินผสมออกจากแม่พิมพ์ภายในโดยส่วนที่ใหญ่กว่าปากเตาจะหลุดติดไปกับตัวเตา เมื่อแม่พิมพ์ภายในลอยหลังกลับสุดและขึ้นส่วนของแม่พิมพ์ภายในที่ยังติดอยู่ในชิ้นงานออก แล้วจึงถอดชิ้นงานจากแม่พิมพ์ภายนอกเป็นการเสร็จขั้นตอน

#### 2. การออกแบบ

มิติของแม่พิมพ์เป็นไปตามลักษณะของเตาประสิทธิภาพสูงซึ่งจะมีขนาดใหญ่ เมื่อใช้เหล็กเบอร์ 1035 จะสามารถรับแรงอัด 100 ตันได้ นอกจากนี้ภายในยังจะต้องมีรูสำหรับระบายอากาศขณะที่ถอดชิ้นงานรายละเอียด ดังแสดงไว้ในแบบพิมพ์รูปที่ 5.6

### การออกแบบแม่พิมพ์นอก

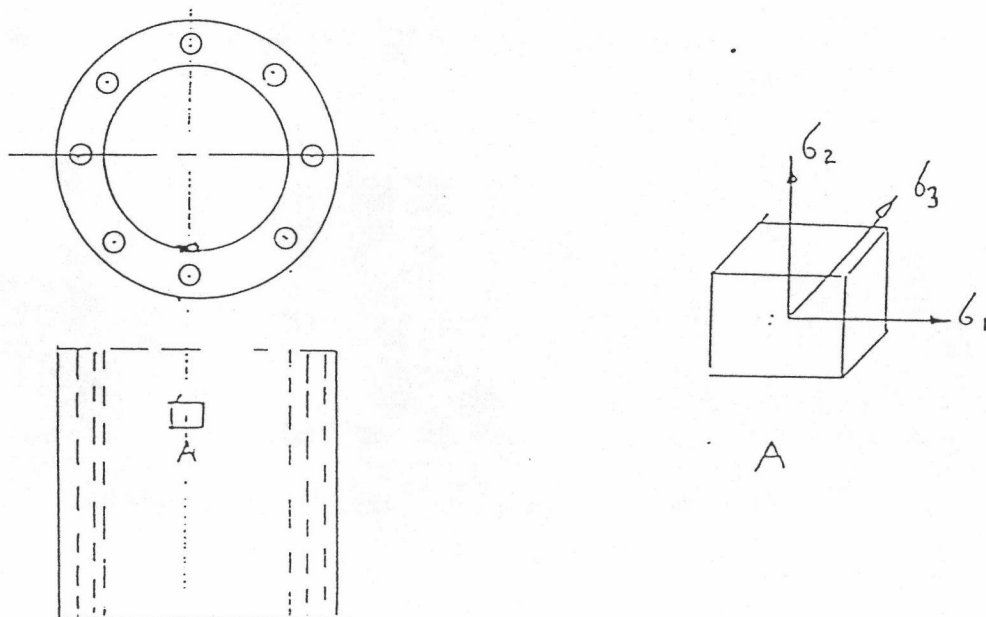
#### 1. ลักษณะการทำงาน

แม่พิมพ์นอกจะถูกกำหนดให้อยู่นิ่งกับที่เมื่อบรรจุดินผสมลงในแม่พิมพ์นอกแล้วแม่

พิมพ์ในก็เคลื่อนที่ลงมาอัดด้วยแรงขนาด 100 ตัน เมื่อแม่พิมพ์ในเคลื่อนลงมาขณะเดียวกันก็จะรีดเอาดินผสมส่วนเกินออกจากแม่พิมพ์เรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่งปริมาณของดินผสมก็จะเหลือเท่าที่ต้องการรูระบายดินผสมก็จะถูกปิดลง รูระบายดินนี้ได้ออกแบบไว้โดยเจาะด้านข้างของแม่พิมพ์นอก หลังจากนั้นแม่พิมพ์ก็จะอัดตัวด้วยแรงอัดขนาด 100 ตัน เป็นระยะเวลาเท่าที่กำหนด ในขณะที่แม่พิมพ์อัดตัวน้ำที่ผสมอยู่ในดินผสมก็จะถูกรีดออกมาตามช่องระบายที่ออกแบบเอาไว้รายละเอียดดังแสดงไว้ในแบบพิมพ์รูปที่ 5.6

## 2. การออกแบบ

ในการออกแบบแม่พิมพ์นอกเพื่อให้สามารถรับแรงอัดได้ 100 ตันจะใช้วัสดุเป็นเหล็กเหนียว และกำหนดความหนาของแม่พิมพ์โดยวิเคราะห์จากทฤษฎีของ Maximum shear stress ในการคำนวณได้เลือกใช้โมเดลที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายแม่พิมพ์นอก โดยกำหนดโมเดลเป็นรูปทรงกระบอกกลวงมีรู 8 รู ตามรัศมีของวงกลมและมีความดันอยู่ภายใน ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงโมเดลของแม่พิมพ์และแนวความเค้นหลัก

สำหรับรูปทรงกระบอกที่ไม่มีรู สามารถคำนวณหาความเค้นหลักได้จาก

$$\text{ความเค้นหลักในแนวเส้นรอบวง} \quad \sigma_1 = a^2 \cdot \pi_i \cdot (1 + b^2/R^2) / (b^2 - a^2) \quad \text{----- (5-6)}$$

$$\text{ความเค้นหลักในแนวแกน} \quad \sigma_2 = 0 \quad \text{----- (5-7)}$$

$$\text{ความเค้นหลักในแนวรัศมี} \quad \sigma_3 = a^2 \cdot \pi_i \cdot (1 - b^2/R^2) / (b^2 - a^2) \quad \text{----- (5-8)}$$

ที่ผิวใน ( $R = a$ ) จะให้ค่าความเค้นสูงสุด

$$\sigma_1 = \pi_i \cdot (b^2 + a^2) / (b^2 - a^2) \quad \text{----- (5-9)}$$

$$\sigma_3 = -\pi_i \quad \text{----- (5-10)}$$

จากสมการ (5-9), (5-7) และ (5-10) จะได้

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

แต่  $\sigma_1, \sigma_2$  และ  $\sigma_3$  เป็นความเค้นหลักของทั้ง 3 มิติ ฉะนั้นในการออกแบบจะพิจารณาเฉพาะมิติที่มีค่าความเค้นหลักสูงสุดอันได้แก่

$$\sigma_1 = \pi_i \cdot (b^2 + a^2) / (b^2 - a^2) \quad \text{โดย } \pi_i \text{ เป็นความตึงเคจ} \quad \text{----- (5-11)}$$

เมื่อมีการเจาะรู ความเค้นสูงสุดได้จาก

$$\sigma_{\max.} = K_t \cdot \sigma_{\text{nom.}} = 2K_t \pi_i R_1 / (2t - 4r) \quad \text{----- (5-12)}$$

โดย  $t$  คือความหนาของทรงกระบอก

และ  $K_t$  = stress concentration factor หาได้จาก  
กราฟที่ 5.1

จากทฤษฎี Maximum-Shear-Stress Theory เมื่อใช้  $\sigma_{\max.}$  และ  $\sigma_3 = -\pi_i$  (ค่าสูงสุด)

$$\text{จะได้ความเค้นเฉือน} \quad \tau_{\max.} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \quad \text{----- (5-13)}$$

$$\text{และใช้ค่าความปลอดภัย} \quad N = \tau_{\text{allowable}} / \tau_{\max.} \geq 2 \quad \text{----- (5-14)}$$

เมื่อกำหนดให้ใช้เหล็กเบอร์ 1035 ซึ่งมี  $S_{yt} = 269 \text{ MPa}$  หรือ  $\tau_{\text{allowable}} = S_{yt} / 2$

$$\tau_{\text{allowable}} = 134.5 \text{ MPa}$$

ความดัน  $\pi_i = F/A$  ; โดยที่  $F =$  แรงอัดไฮดรอลิก 100 ตัน

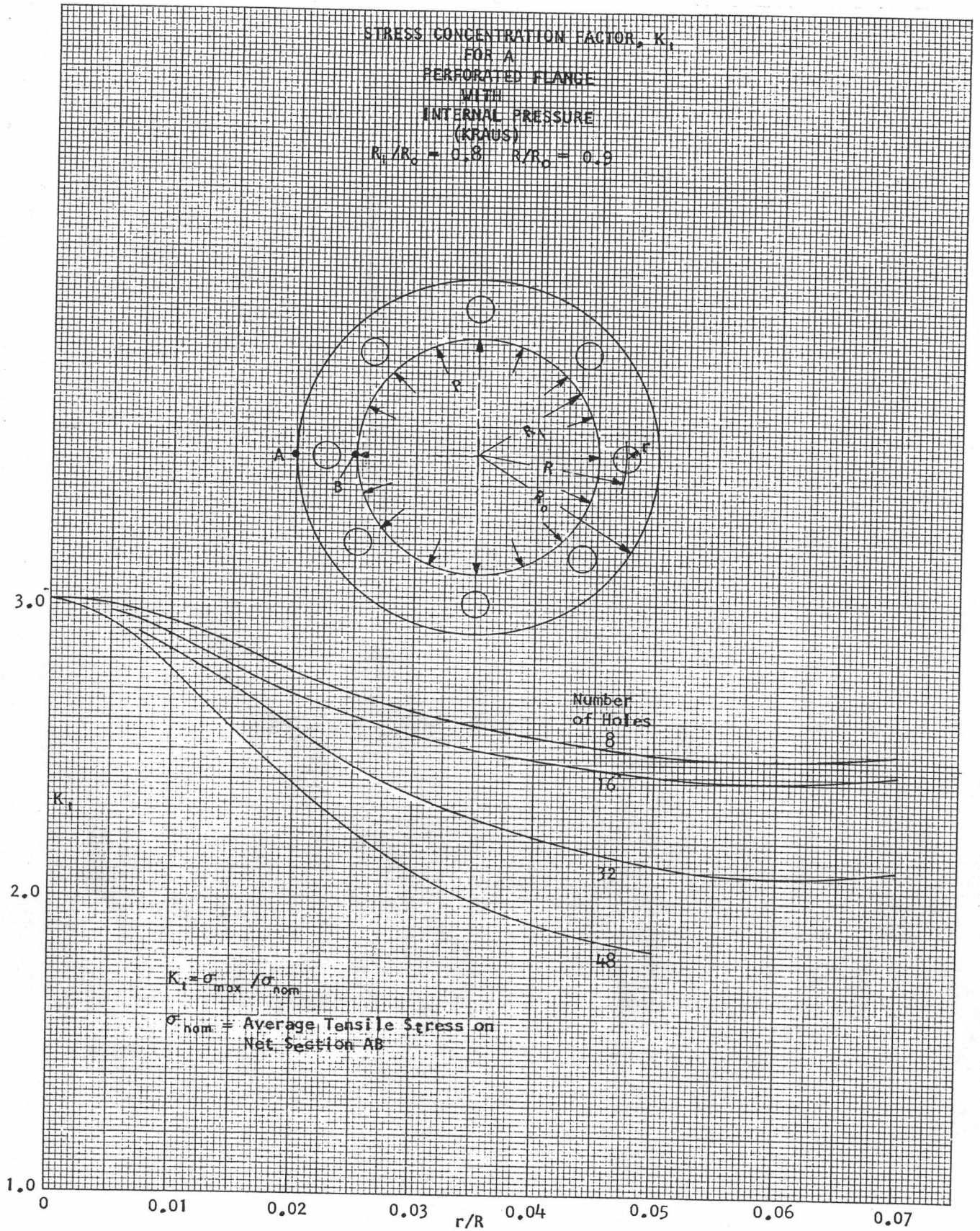
$A =$  พื้นที่รับแรงอัด 100 ตัน มีรัศมี 160 มิลลิเมตร

$$\text{แทนค่า} \quad \pi_i = F/A = 100 \cdot 10^3 \cdot 9.81 / (\pi \cdot (0.16)^2) = 12.2 \text{ MPa}$$

สมมติเหล็กหนา 60 mm. ทรงกระบอกเจาะรู 8 รูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

จาก กราฟที่ 5.1 จะได้  $K_t$  (Stress Contration Factor) = 2.5

$$\text{โดย} \quad r/R = 0.009/0.19 = 0.047$$



กราฟที่ 5.1 แสดงค่า Stress Concentration Factor,  $K_t$   
จาก R.E.Peterson Consultant(1983))

จะได้  $\sigma_1 = \sigma_{\max} = K_t \cdot \sigma_{\text{nom}}$  -----(5-15)

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{2P_i R_1}{(2t - 4r)}$$

จาก

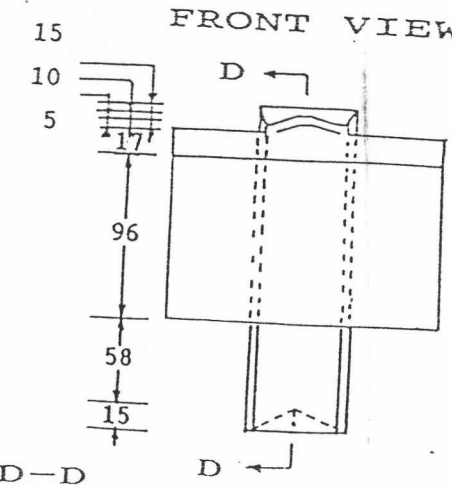
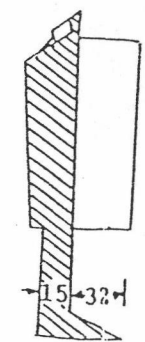
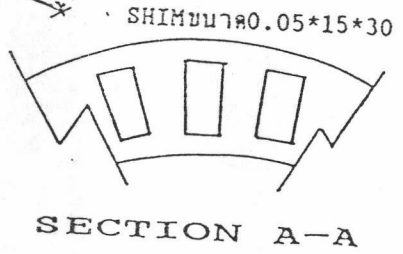
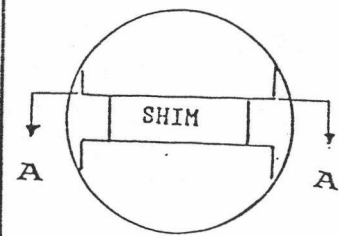
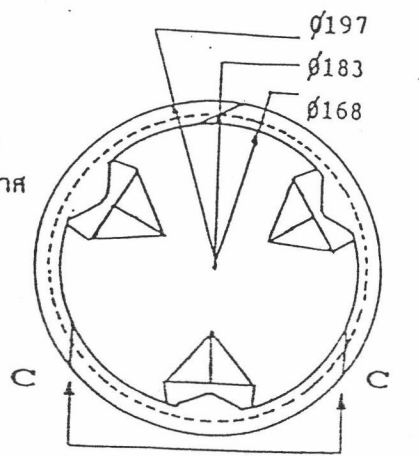
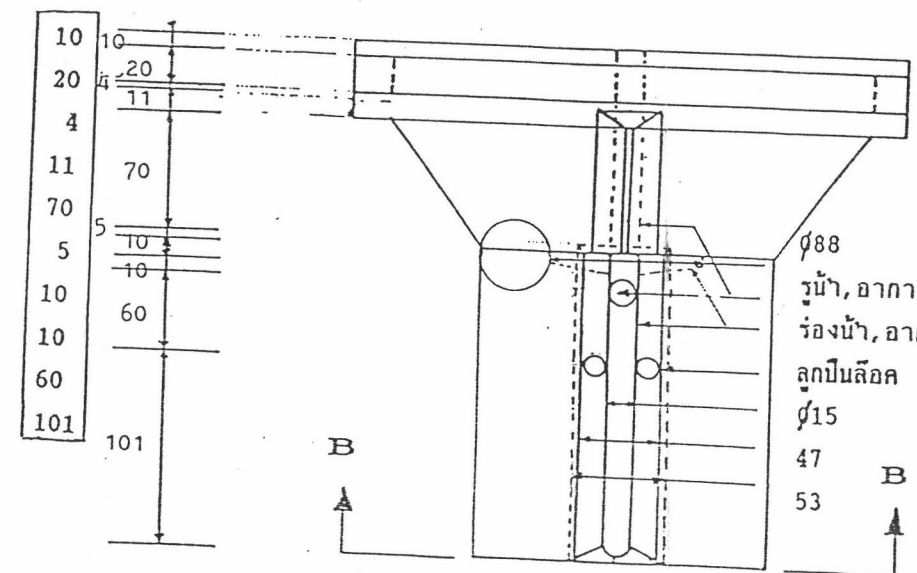
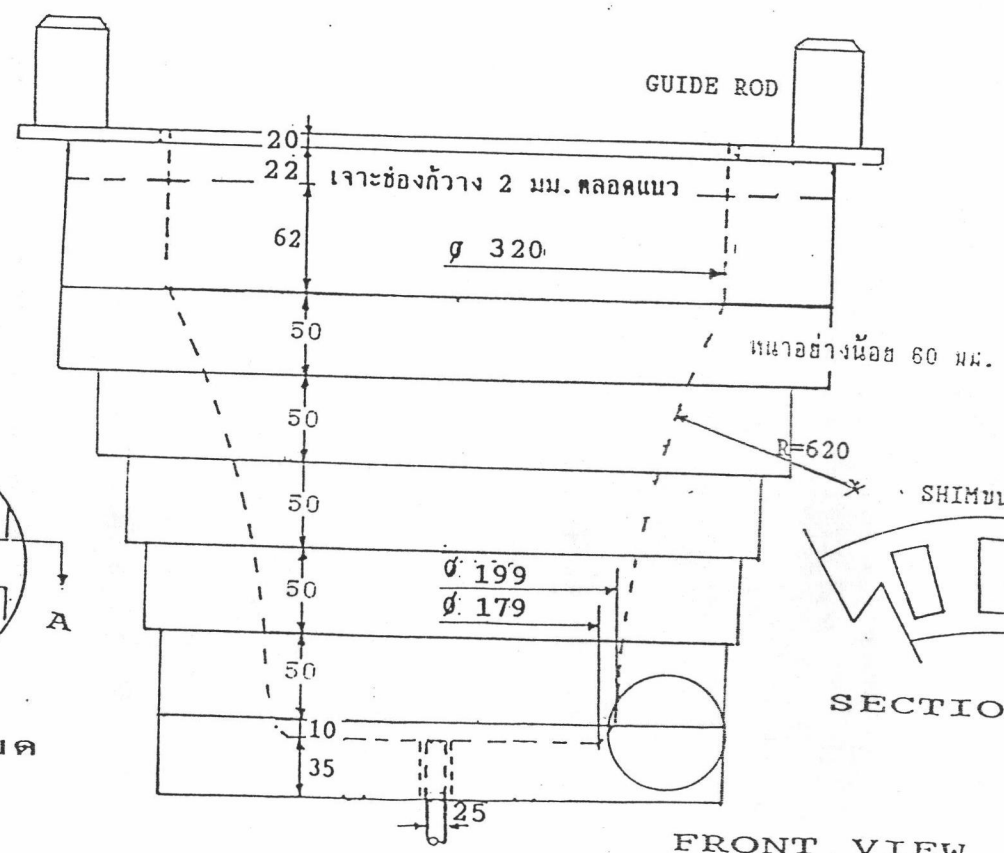
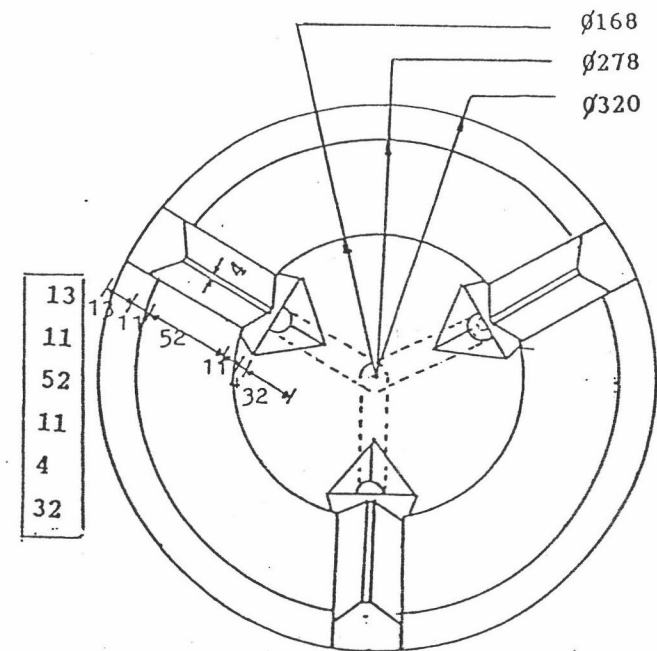
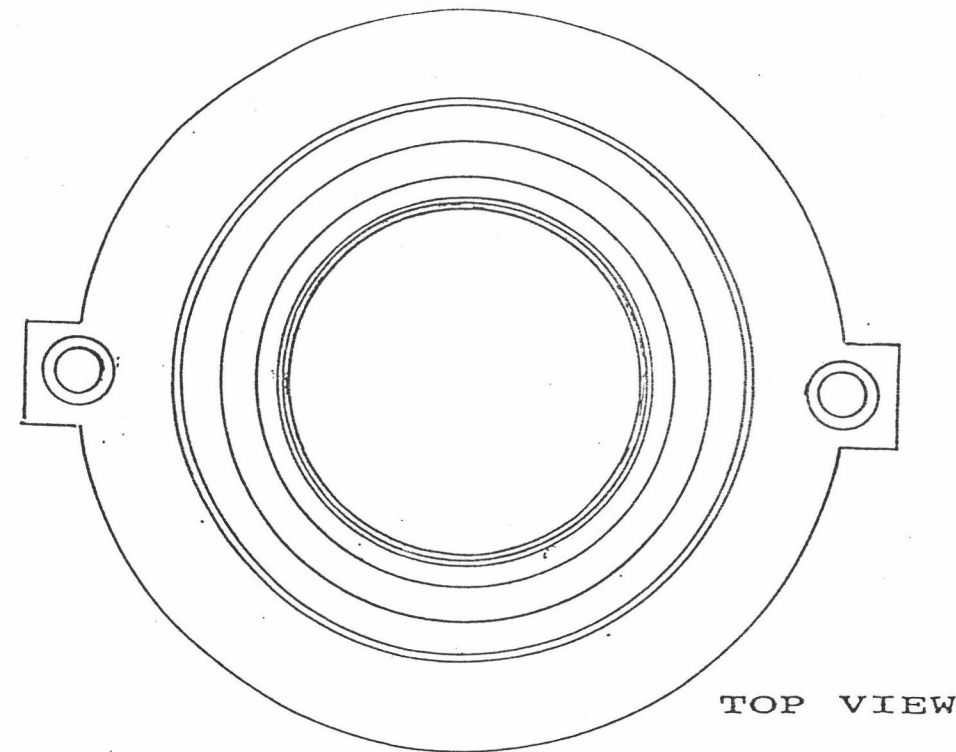
$$N = \frac{\tau_{\text{allowable}}}{((\sigma_1 - \sigma_3)/2)} \text{ -----(5-16)}$$

แทนค่า

$$N = \frac{134.5}{((2.5(2 \cdot 12.2 \cdot 0.16) / (2t - 4 \cdot 0.009) + 12.2)) / 2}$$

$$N = 2.1 ; N > 2$$

เลือกใช้เหล็กหนา 60 mm.



รายละเอียด

แม่พิมพ์นอก

แม่พิมพ์ใน

แผ่นประกบ 3 ชั้น

รูปที่ 5.6 แสดงแบบของแม่พิมพ์เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง

Molds For High Efficiency Stove			
SCALE	NAME	DATE	
1:4	Designer		
	Drawn	W.SRANGNITR	29/11/96
UNIT	Approved		
mm.	DRG NO. 1	SHT NO. 1	