บทที่ 7
การออกแบบแม่พิมพ์

แม่พิมพ์ของเครื่องผลิตเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงโดยการอัดด้วยไฮดรอลิกนั้นควรจะเป็นแม่พิมพ์แบบแม่พิมพ์ภายนอก (External Molds) โดยมีแม่พิมพ์อัด (Punch) เป็นนตัวส่งแรงมายังเนื้อของดินผสม ดังนั้นในการออกแบบแม่พิมพ์นี้เป็นการเลือกแบบแม่พิมพ์เพื่อให้เหมาะในการใช้งาน สำหรับแม่พิมพ์อัดนั้นรูปร่างจะถูกกำหนดโดยสัดส่วนภายในเตาฯ อยู่แล้ว

แม่พิมพ์ภายนอกที่พิจารณามีอยู่ 3 แบบคือ

ก. แม่พิมพ์แบบชิ้นเดียว (Single Mold)

ข. แม่พิมพ์แบบสองชิ้น (Double Molds)

ค. แม่พิมพ์แบบสามชิ้น (Triple Molds)

ลักษณะทั่วไปของแม่พิมพ์ทั้ง3ชนิดจะคล้ายคลึงกันคือ เมื่อแม่พิมพ์ประกบกันแล้วลักษณะจะเป็นกรวยกลมปลายตัด ผิวด้านในจะมีรูปร่างและขนาดเดียวกับผิวด้านในของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง สำหรับความหนาของแม่พิมพ์นั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของแม่พิมพ์,ความดันของดินผสมที่ถูกอัดและชนิดของวัสดุที่สร้าง

ในการออกแบบนี้เนื่องจากดินผสมถูกอัดด้วยความดันสูงจะเกิดการไหลคล้ายกับของเหลวที่มีความหนืดสูงมาก จึงสามารถสมมุติให้ดินผสมกระจายความดันเท่ากันทุกทิศทางเพื่อสะดวกในการออกแบบและคำนวน

จากการทดลองศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่ผ่านมาสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบดังนี้

1 แม่พิมพ์ภายนอกควรจะเป็นแบบสามชิ้นเพื่อให้ง่ายในการถอดแบบ

2 การอัดใช้แรงในการอัด 2.5 ตันด้วยความดัน 1.52 เมกกะปาสคาล

3 การอัดใช้การอัดแบบชั้นเดียว

4 ต้องมีการเจาะรูที่ก้นของชิ้นงานเพื่อช่วยในการถอดแม่พิมพ์อัดออกจากชิ้นงานและทำลายสูญญากาศที่เกิดขึ้นระหว่างแม่พิมพ์อัดและชิ้นงาน

5 ขอบด้านล่างของชิ้นงานจะต้องมนเพื่อให้ง่ายในการถอดชิ้นงานออกจากแบบ

6 ปริมาณน้ำในดินผสมที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปเตาควรจะอยู่ในช่วง 15 -20 เปอร์เซนต์

7 ในการออกแบบแม่พิมพ์อัดจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับกดแม่พิมพ์ภายนอกไว้ขณะที่แม่พิมพ์อัดถูกถอดออก

8 เพื่อให้ห้องเผาไหม้ของเตาถูกต้องตามแบบ วิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุดคือใช้เครื่องคว้านห้องเผาไหม้ให้ได้ตามแบบ(ส่วนเว้าเข้าไปในห้องเผาไหม้ไม่สามารถอัดให้ได้รูปแบบตามต้องการได้)

7.1 การออกแบบแม่พิมพ์ภายนอก (Design of External Molds)

แม่พิมพ์ที่ออกแบบเป็นแบบถอดแยกสามชิ้น ซึ่งทั้งสามชิ้นมีขนาดเท่ากันลักษณะเป็นหนึ่งในสามของทรงกระบอกกลม ติดกับแกนของกระบอกไฮดรอลิก ณ บริเวณจุดศูนย์กลางของความดันที่กระทำขณะอัด (Center of Pressure) กระบอกไฮดรอลิกทำหน้าที่กดแม่พิมพ์ทั้งสามไว้ให้สนิทในขณะที่ทำการอัดเตาๆและทำหน้าที่ถอดแม่พิมพ์ออกจากชิ้นงานเมื่อเสร็จแล้ว ในการออกแบบจะสมมุติให้แม่พิมพ์แต่ละชิ้นเป็นคานโค้ง (Curve Beam)ที่ยึดปลายข้างหนึ่งแน่นและอีกข้างหนึ่งเป็นอิสระ (cantilival Beam) โดยยึดบริเวณกึ่งกลางตลอดแนวดิ่งตามศูนย์กลางความดัน ดังรูปที่ 7.1

แม่พิมพ์ 3 ชิ้น แต่ละชิ้นจะมีลักษณะเป็น 1 ใน 3 ของทรงกระบอกกลวง การทำงานเหมือนกับแม่พิมพ์ 2 ชิ้น แต่มีจำนวนมากกว่า 1 ชิ้น ทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์แต่ละตัวทำมุม 120 องศา ซึ่งกันและกัน ชิ้นงานจะถอดจากแม่พิมพ์ง่ายกว่า 2 แบบแรก ความแข็งแรงมากกว่าแบบแม่พิมพ์ 2 ชิ้น จึงสามารถออกแบบให้บางกว่าได้ (โมเมนต์ดัดในคานน้อยกว่า) แต่จะต้องใช้กระบอกไฮดรอลิก 4-5 กระบอก ทำให้ค่าอุปกรณ์เพิ่มมากขึ้นกว่า

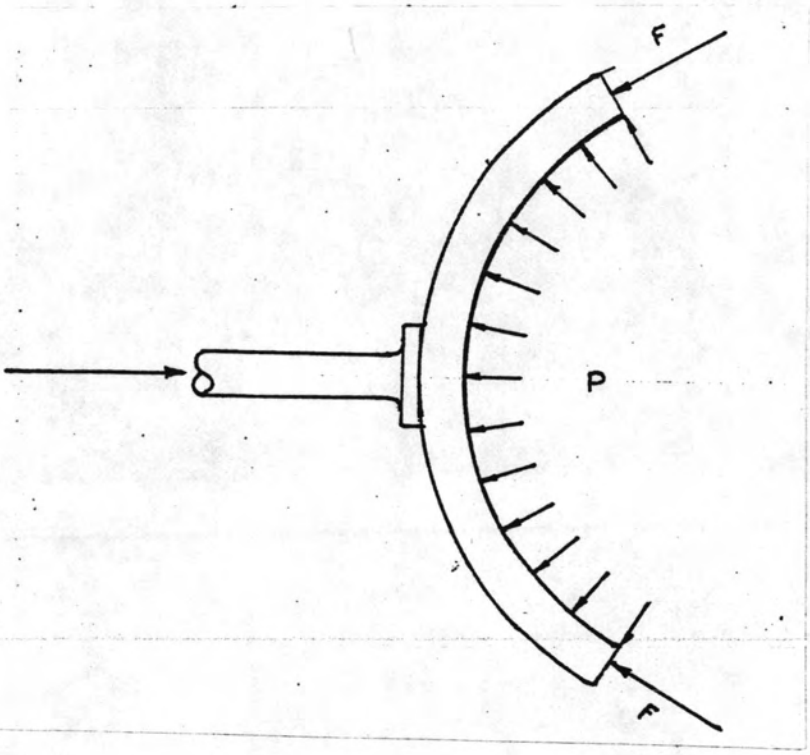
ในการออกแบบจะพิจารณาแม่พิมพ์แต่ละชิ้นเป็นคานโค้งเหมือนกับแบบ 2 ชิ้น แต่ลึกกว่า พิจารณาได้ดังนี้

$$x = r_n \times \sin\theta \qquad (7\text{-}1)$$

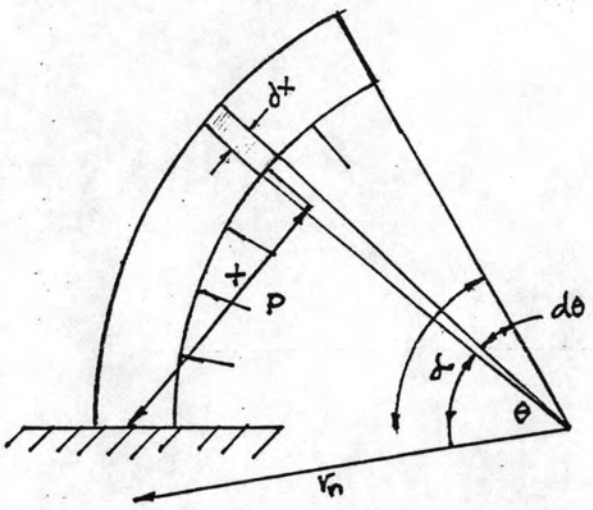
จากรูปที่ 7.2 สามารถคำนวนโมเมนต์ที่เกิดจากความดันของดินผลมได้ดังนี้

$$dx = r_n \times d\theta \qquad (7\text{-}2)$$

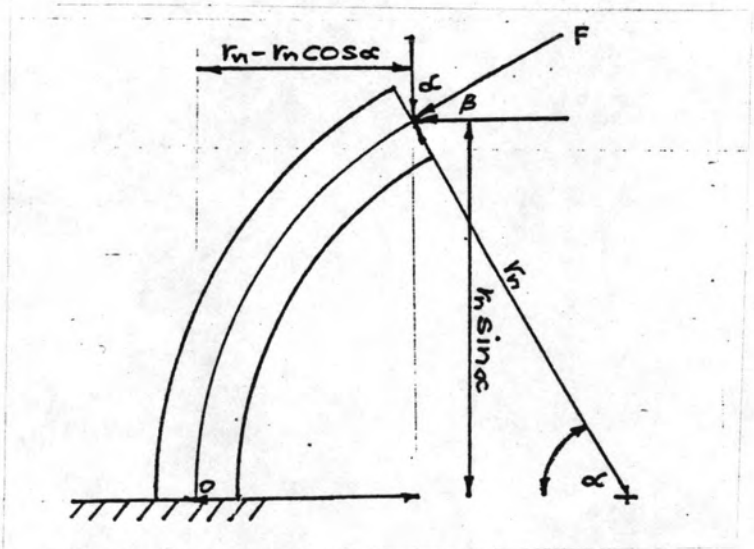
$$dM_p = P \times h \times dx \times x \qquad (7\text{-}3)$$



รูปที่ 7.1 แม่พิมพ์แบบ 3 ชิ้น และแรงต่างๆที่กระทำ



รูปที่ 7.2 โมเมนต์ดัดจากความดัน P ที่กระทำกับแม่พิมพ์



รูปที่ 7.3 โมเมนต์ดัดจากแรงกด F ที่กระทำกับแม่พิมพ์

$$= P \times h \times r_n \times \sin\theta \times d\theta \qquad (7\text{-}4)$$

$$M_p = P \times h \times r_n^{\,2} \times \int \sin\theta \times d\theta \qquad (7\text{-}5)$$

$$= -P \times h \times r_n^{\,2} \times \left[\cos\alpha - \cos\phi \right] \qquad (7\text{-}6)$$

$\alpha = 60^\circ$ เมื่อแม่พิมพ์เป็น 3 ชิ้น

$$M_p = 0.5 \times P \times h \times (r_n)^2 \qquad (7\text{-}7)$$

จากรูปที่ 7.3 คำนวนโมเมนต์จากแรงกดของแม่พิมพ์ได้ดังนี้

$$M_f = -F \times \sin\beta \times (r_n - r_n \times \sin\phi) - F \times \cos\beta^{\,2} \times r_n$$

$$= -F \times r_n \times \left[(1 - \sin\beta) \times \sin\beta - \cos^2\beta \right] \qquad (7\text{-}8)$$

$$= -F \times r_n \times \left[\sin\beta - (\sin^2\beta + \cos^2\beta) \right] \qquad (7\text{-}9)$$

$$= -F \times r_n \times (\sin\beta - 1) \qquad (7\text{-}10)$$

ถ้า $\alpha = 60°$ ดังนั้น $\beta = 30°$

$$M_f = 0.5 \times P \times h \times \frac{(a^2 + b^2)}{(a + b)} \times r_n \qquad (7\text{-}11)$$

การคำนวนความเค้นที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์จากแบบที่แม่พิมพ์มี 2 และ 3 ชิ้นสามารถคำนวน σ_t ได้จากสูตรของคานโค้ง(curve beam)ดังรูปที่ 7.4

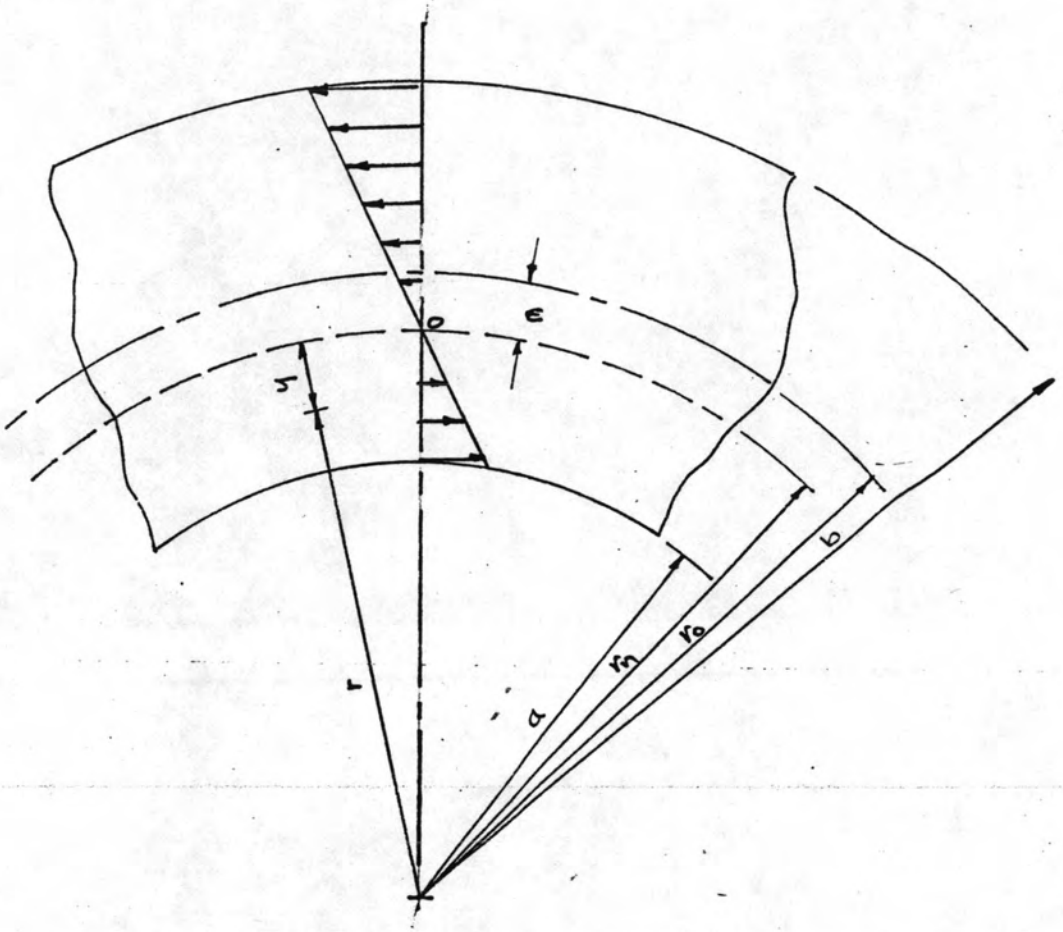
$$\sigma_t = \sigma_m + \sigma_f \qquad (7\text{-}12)$$

$$\sigma_t = \frac{M_{tot} \times y}{A \times e \times (r_n - y)} + \frac{F}{A} \qquad (7\text{-}13)$$

σ_t หาได้จากสมการ Maximum Normal Stress.

$$F = P \times h \times \frac{(a^2 + b^2)}{(a + b)} \qquad (7\text{-}14)$$

$$\sigma_t = S_{yt} \qquad (7\text{-}15)$$



รูปที่ 7.4 ความเค้นจากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์

เมื่อ P = ความดันที่อัดได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

a = รัศมีภายในของแม่พิมพ์

b = รัศมีภายนอกของแม่พิมพ์

r = รัศมีใด ๆ ที่พิจารณา

r_n = Neutral Radius

σ_t = ความเค้นในแม่พิมพ์ ในแนวเส้นรอบวง

σ_m = ความเค้นในแนวเส้นรอบวงที่เกิดจากโมเมนต์ดัด

σ_f = ความเครียดในแนวเส้นรอบวงที่เกิดจากแรงกดแม่พิมพ์

h = ความสูงของแม่พิมพ์

M_{tot} = โมเมนต์ดัดทั้งหมดที่กระทำกับแม่พิมพ์

M_p = โมเมนต์ดัดที่กระทำต่อแม่พิมพ์โดยความดัน P

M_f = โมเมนต์ดัดที่กระทำต่อแม่พิมพ์โดยแรงกดแม่พิมพ์ F

F = แรงที่ใช้ในการกดแม่พิมพ์ขณะประกบกัน

A = พื้นที่หน้าตัดของคาน

y = ระยะระหว่าง Normal exist กับ Neutral exist

S_{yt} = yield strength ของเหล็ก

η = safty Factor

μ = Poisson's ratio

ϵ_1 = Strain

E = Young's modulus

จากการอัดขึ้นรูปเตาใช้ความดันน้ำมันสูงสุด 220 ปอนด์ต่อตารางนิ้วคิดเป็นแรงที่ใช้ในการอัดได้คือ(กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้อัดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 3/8 นิ้ว)

$$F = P \times A$$

$$= 220 \times \frac{\pi}{4} \times (5.375)^2 \quad \text{ปอนด์}$$

$$= 4992 \quad \text{ปอนด์}$$

แปลงเป็นหน่วย SI ได้

$$= \quad 4992 \times 4.45$$

$$= \quad 22214 \qquad \text{นิวตัน}$$

นั่นคือแรงที่ใช้ในการกดอัดดินเพื่อให้ดินผสมเกิดการไหลเข้าไปในรูปของแม่พิมพ์ได้สมบูรณ์ ภายใต้แรงกดนี้สมมุติว่าดินผสมเป็นของเหลวสามารถกระจายแรงดันออกไปเท่ากันทุกทิศทาง ดังนั้นความดันหาได้จาก (ปากเตามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 305 มิลลิเมตร)

$$P = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{22214}{\frac{\pi}{4} \times (.305)^2} \qquad \text{นิวตัน/ตารางเมตร}$$

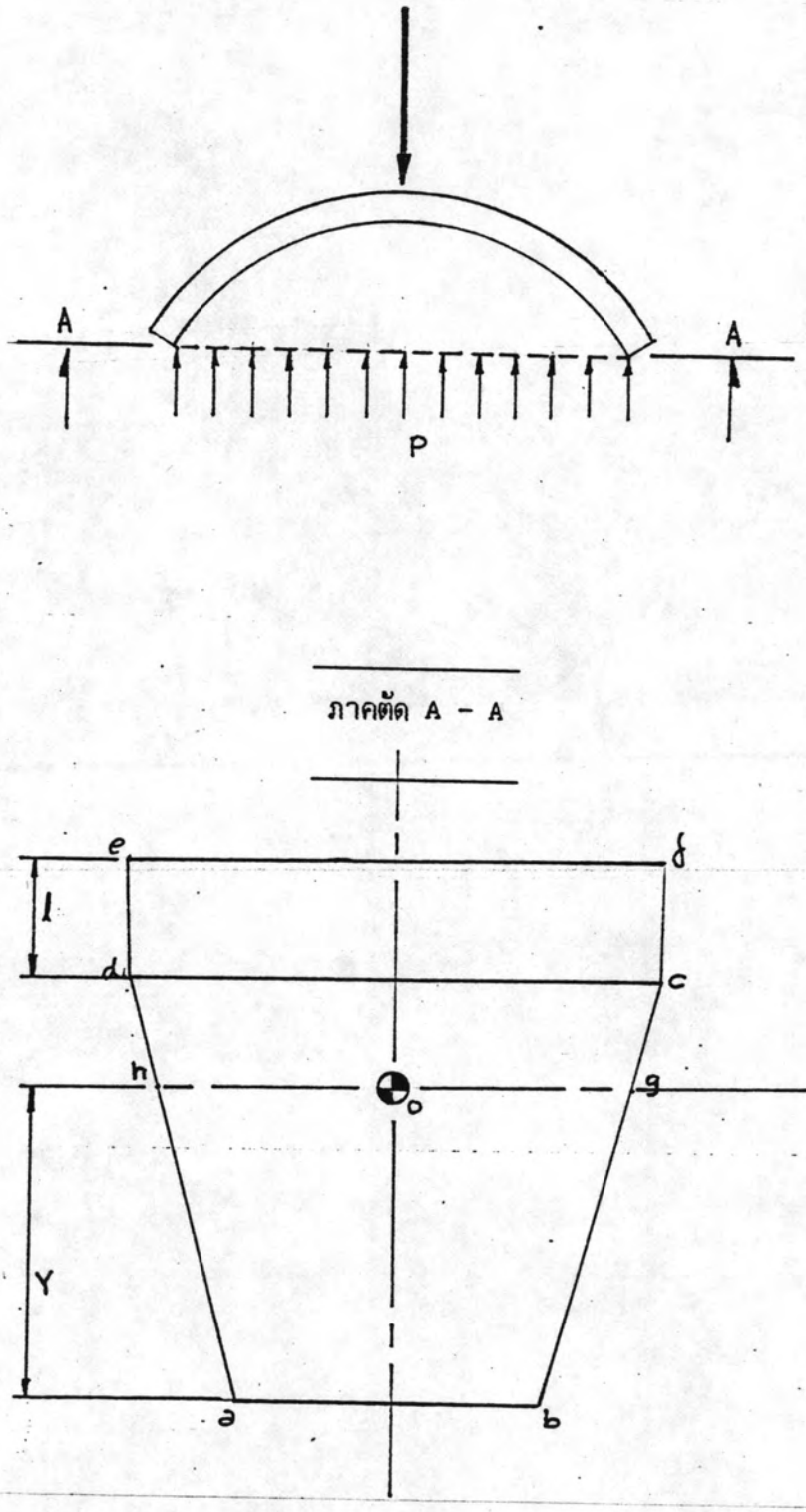
$$= \quad 304044 \qquad "$$

เผื่อความปลอดภัยไว้ 50 เปอร์เซนต์

$$= \quad 304044 \times 1.5 \qquad "$$

$$= \quad 456066 \qquad \text{นิวตัน/ตารางเมตร}$$

ดังนั้นความดันที่ดินผสมกระทำกับแม่พิมพ์มีค่าเท่ากับความดันเมื่อดินไหล แรงที่ใช้ในการกดแม่พิมพ์แต่ละชิ้นไว้เท่ากับแรงที่ต้านความดันจากการอัด จากรูปที่ 7.5 สามารถคำนวนแรงกดได้คือ



รูปที่ 7.5 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์ภายนอก

พื้นที่รับแรง = พท abcd + พท cdef

พท abcd = 0.5 x h x (a + b)

= 0.5 x .0233 x (.305 + .149) เมตร^2

= .053 เมตร^2

พท cdef = a x l

= .003 x .305 "

= .00915 "

พทรับความดัน = .06215 "

แรงกดแม่พิมพ์ = P x พทรับความดัน

= 456000 x .06215 นิวตัน

= 28340 "

ประมาณ 2.9 ตัน และสามารถคำนวนหาจุดที่แรงกระทำ(Center of Force)ได้ดังนี้

จากรูปที่7.5 สมมาตรในแนวแกน Y ดังนั้นจุดที่แรงกระทำจะอยู่บนแกน Y ถ้าสมมุติให้จุดที่แรงกระทำอยู่ที่จุด c ห่างจากจุด o เท่ากับ y เนื่องจากจุดนี้แบ่งพื้นที่ด้านบนและล่างเท่ากัน สามารถคำนวนหาระยะ y ได้

พื้นที่ด้านล่าง = พื้นที่ด้านบน

พท abgh = พท ghcd + พท cdef

$$0.5x(149+.67xy)xy = 3x305 + 0.5x(305+149+.67xy)x(233-y)$$

$$\emptyset = .67 \times y^2 + 1212.9 \times y - 266086$$

$$y = 138.2 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

ความหนาของแม่พิมพ์สามารถคำนวนหาได้จากสมการที่ 7-7,7-11,7-12,7-13, 7-14,และ7-15 โดยเปรียบเทียบความเค้น (Stress) ที่เกิดในแนวเส้นรอบวงของแม่พิมพ์ที่เกิดจากโมเมนต์ดัดของแรงกดกับที่เกิดจากโมเมนต์ดัดของความดัน P

$$M_f = P \times h \times \frac{(a^2 + b^2)}{(a + b)} \times r_n \times (\cos \emptyset - 1)$$

$$M_p = P \times h \times (r_n)^2 \times (\cos \emptyset - 1)$$

เมื่อความหนา t = b - a ความเครียดที่เกิดจากโมเมนต์ทั้งสองคำนวนจากสมการที่ 7-13

$$\sigma_t = \frac{M \times y}{Axex(r_n - y)}$$

เมื่อ $$r_n = \frac{t}{\ln(b/a)}$$

ในการออกแบบนี้ใช้ทฤษฎีการออกแบบด้วยวิธีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Normal Stress) โดยที่

$$\sigma = S_{yt}$$

จากตารางเหล็กเลือกเหล็กเบอร์ 1035 ซึ่งมีค่า S_{yt} = 39 Kpsi
หรือ 39000 × 6890 = 268710000 Pa ดังนั้นความเค้นที่ใช้ในการออกแบบเป็นดังนี้

$$\sigma_t = S_{yt} / \text{safty factor}$$

เผื่อความปลอดภัยไว้ 4 เท่าดังนั้น

$$\sigma_t = \frac{268710000}{4} \quad \text{นิวตัน/ } m^2$$

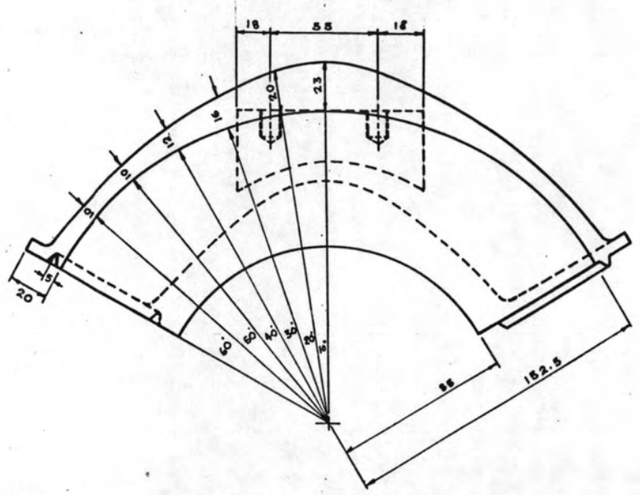
$$= 67177500 \quad "$$

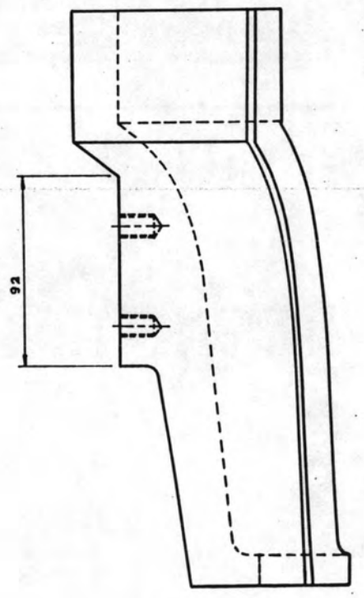
จากสมการโมเมนต์จากแรง , โมเมนต์จากความดัน และความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ดัด แทนค่าต่างๆดังนี้ P = 456000 นิวตันต่อตารางเมตร , a = 0.305 เมตร , มุม e = 60 (วัดจากกึ่งกลางของแม่พิมพ์ไปยังขอบของแม่พิมพ์) สุ่มค่าความหนาของแม่พิมพ์ไปเรื่อยๆแล้วคำนวนหาความเค้นที่เกิดขึ้น ณ บริเวณผิวด้านใน (r=a)ซึ่งจะเกิดความเค้นดึงสูงสุด และที่ผิวด้านนอก (r=b=a+t)ซึ่งจะเกิดความเค้นอัดสูงสุด เปรียบเทียบกัน เลือกความหนาที่ทำให้ความเค้นจากโมเมนต์ดัดใกล้เคียงกับความเค้นที่ออกแบบไว้

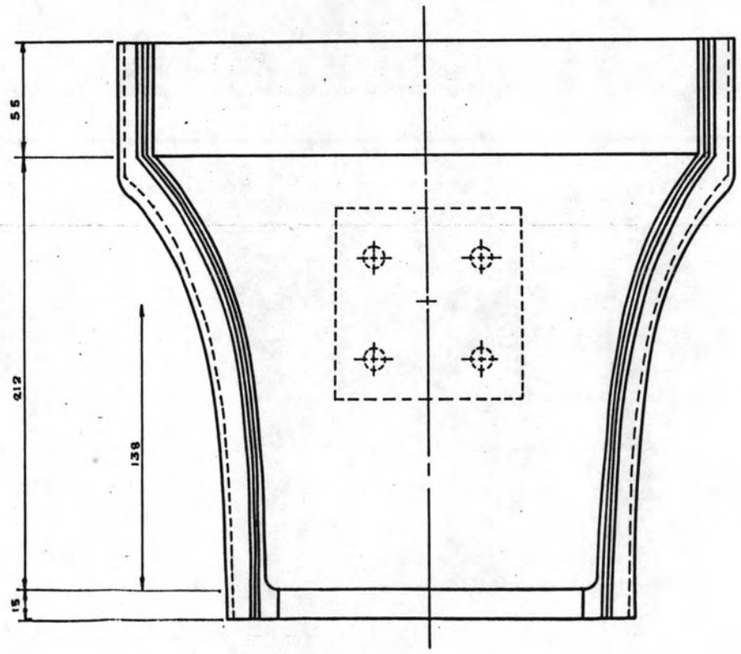
จากการคำนวนเลือกความหนา t = 23 มิลลิเมตรจะพบว่าความเค้นจากแรงกดที่ทำให้เกิดความเค้นที่ผิวนอกมากที่สุดเท่ากับ -66.2 เมกกะปาสคาล แต่จากการพิจารณาความหนาถ้าใช้ความหนาของแม่พิมพ์เท่ากันตลอดจะมีน้ำหนักมากเกินไป และความเค้นในแม่พิมพ์จะลดลงตามระยะห่างจากกึ่งกลางของแม่พิมพ์ ดังนั้นสามารถลดความหนาของแม่พิมพ์ ณ จุดอื่นลงได้อีก โดยกำหนดให้ความเค้นที่ขอบในและขอบนอกที่ตำแหน่งใดๆคงที่ตลอด

คำนวนความเค้นจากโมเมนต์ดัดอีกโดยเปลี่ยนมุม ø เป็น 50 , 40 , 30 , 20 องศา ตามลำดับ แล้วสุ่มความหนา t เพื่อเลือกความหนาที่ทำให้ความเค้นที่ตำแหน่งนั้นเท่ากับหรือต่ำกว่าเล็กน้อย กับความเค้นที่ออกแบบไว้ จากการคำนวนได้ความหนาที่ตำแหน่งต่างๆดังตารางที่ 7.1

ในการสร้างเนื่องจากแม่พิมพ์มีความหนาไม่สม่ำเสมอตลอดจึงต้องสร้างแม่พิมพ์นี้โดยการหล่อด้วยเหล็กเหนียว และเพื่อสะดวกในการหล่อเลือกคว่ามหนาที่ต่ำสุด 10 มิลลิเมตร ดังนั้นความหนาช่วง ø ถึง 30 องศากำหนดให้หนา 10 มิลลิเมตรตลอด หลังจากนั้นจึงใช้ความ







รูปที่ 7.6 แบบแม่พิมพ์ภายนอก

		NAME	DATE
SCALE 1:4	DESIGNER	SITIPONG	10/6/89
	DRAWN	SITIPONG	3/11/89
	APPROVED		
	DRG.NO. 1	SHT. NO. 1	

GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A2

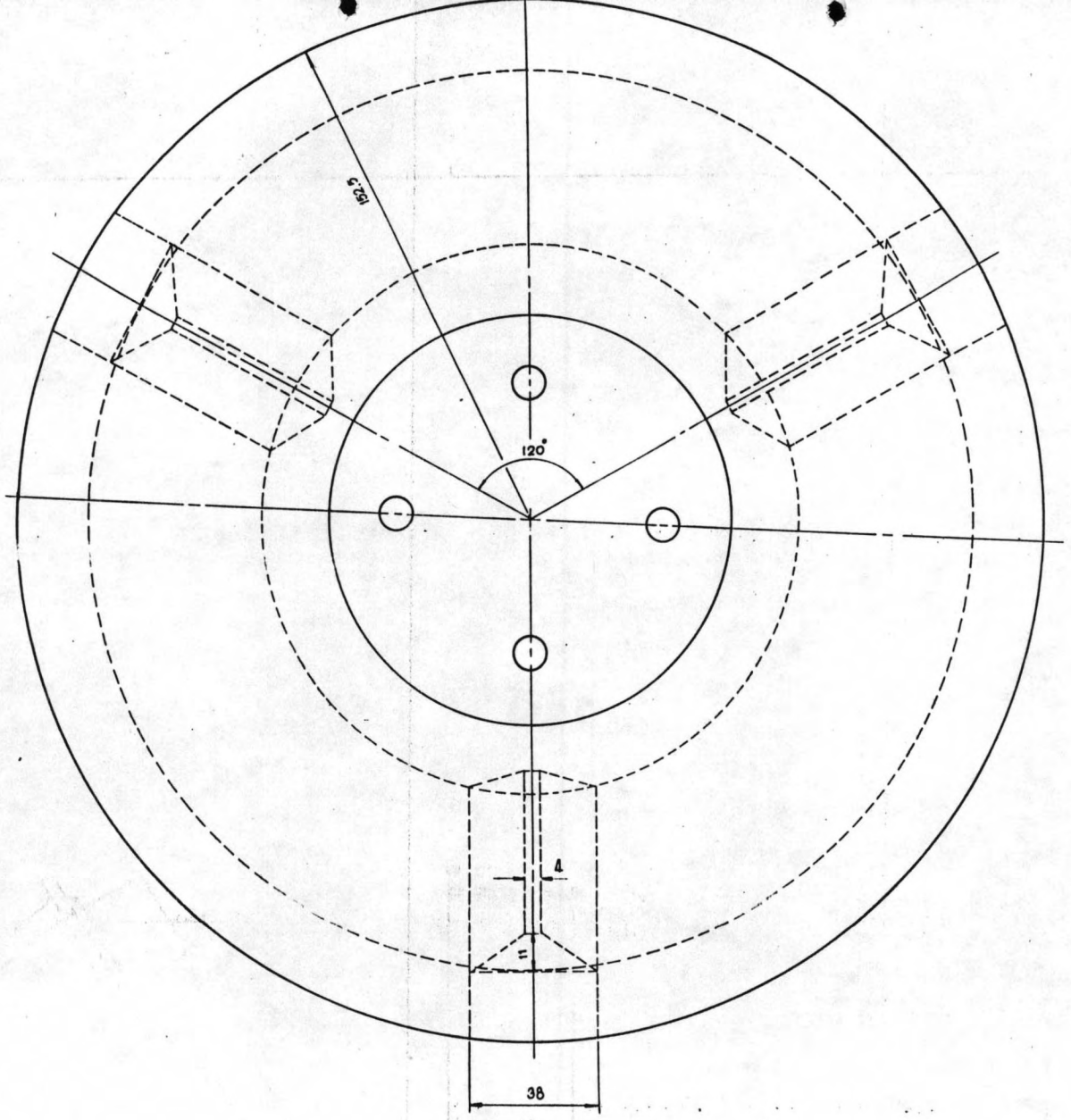
หนาจากการคำนวน โดยกำหนดให้ความหนาที่ตำแหน่งใดๆคงที่ตลอดความสูง ดังรูปที่ 7.6

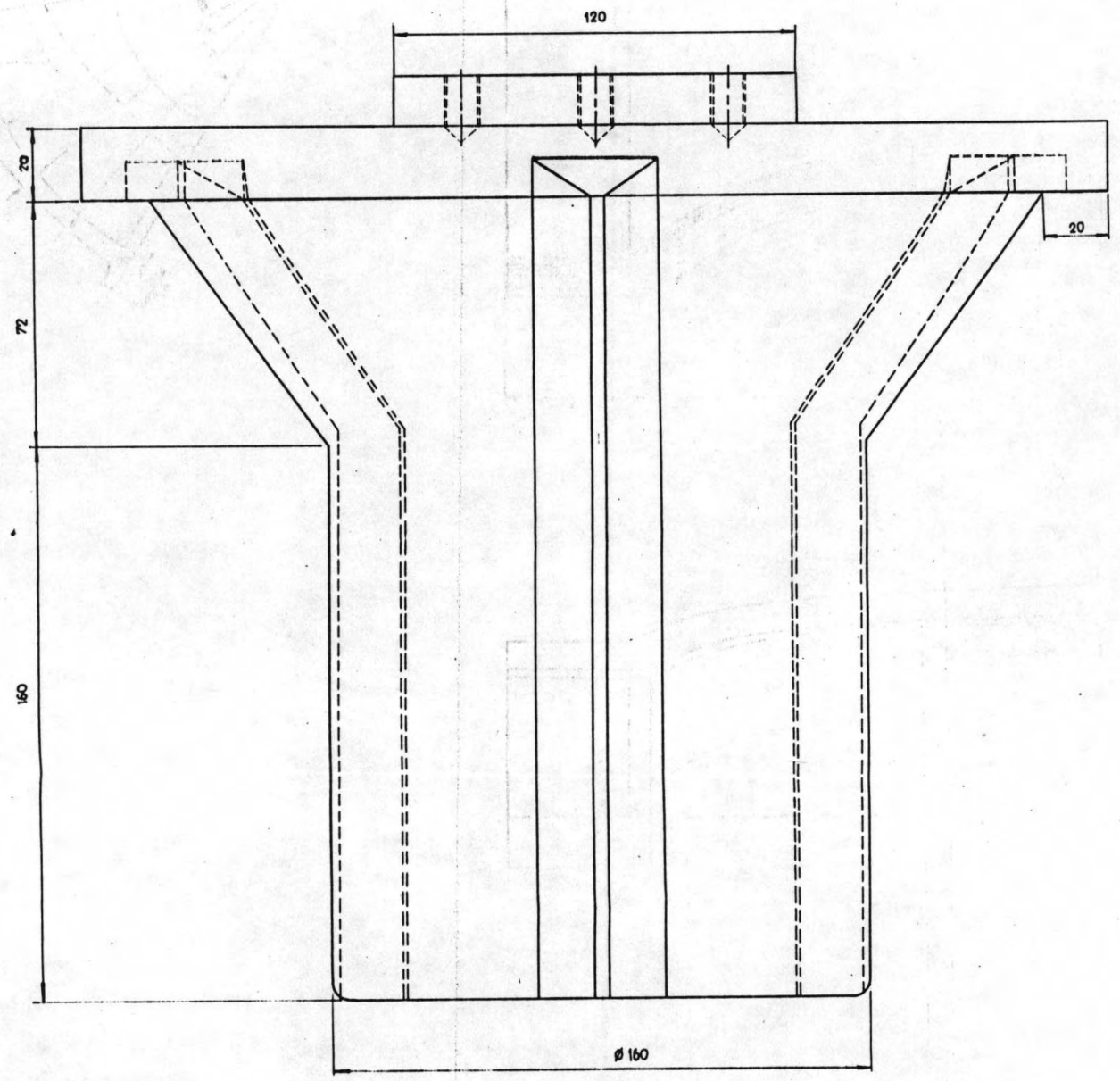
มุม α (องศา)	ความหนา t (ม.ม.)	ความเค้นที่เกิดขึ้น(เมกกะปาสคาล)
20	8.0	-61.818
30	12.0	-62.336
40	16.0	-65.270
50	20.0	-65.722
60	23.0	-66.226

ตารางที่ 7.1 ความหนาของแม่พิมพ์และความเค้นที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆ

7.2 การออกแบบแม่พิมพ์อัด (Design of Punch)

แม่พิมพ์อัดมีลักษณะดังรูปที่ 7.7 ขนาดและสัดส่วนของแม่พิมพ์อัดถูกกำหนดโดยสัดส่วนภายในของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง แต่เนื่องจากรูปร่างของห้องเผาไหม้ของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงจะเว้าเข้าไปมากกว่าขอบบนของห้องเผาไหม้และเรียวลงไปเล็กน้อยจนถึงลิ้นเตา ดังรูปที่ 7.8 ดังนั้นการที่จะอัดครั้งเดียวให้ได้รูปร่างตามแบบจึงทำได้ยาก และต้องสร้างกลไกลที่ซับซ้อน และยังสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นวิธีที่สะดวกและง่ายกว่าคือแม่พิมพ์อัดออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบริเวณจากขอบบนของห้องเผาไหม้ถึงก้นเตาเท่ากันตลอด และเซาะร่องต่อจากเส้าทั้งสามลงมายาวตลอดจนถึงก้นเตา(เพื่อให้สามารถถอดแม่พิมพ์ออกได้โดยเส้าไม่เสียหาย) แล้วจึงใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อคว้านให้ได้ห้องเผาไม้ตามรูปแบบที่ต้องการ ลักษณะของเครื่องคว้านแสดงไว้ในรูปที่ 7.9

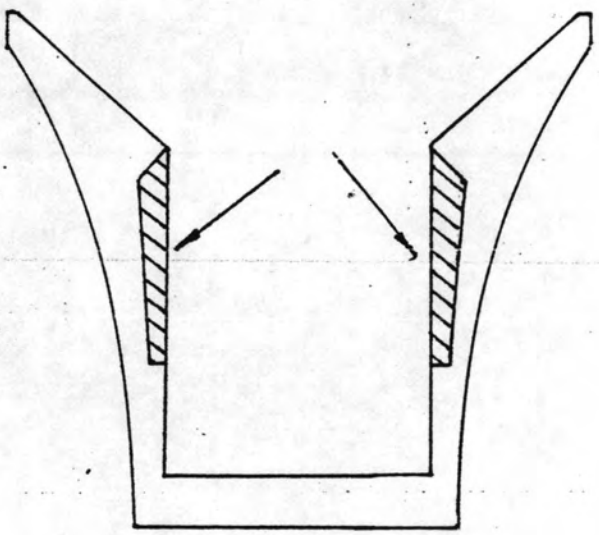




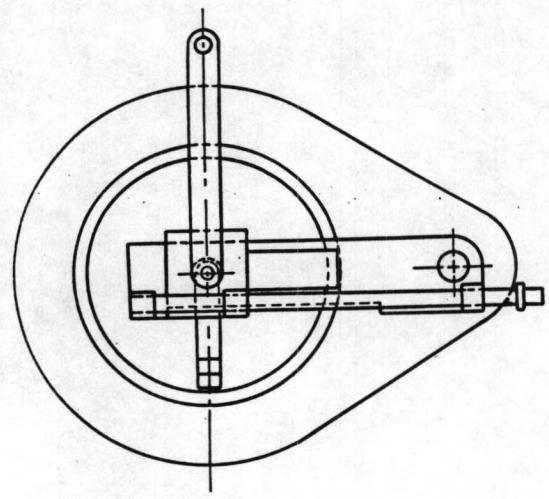
รูปที่ 7.7 แบบแม่พิมพ์อัด

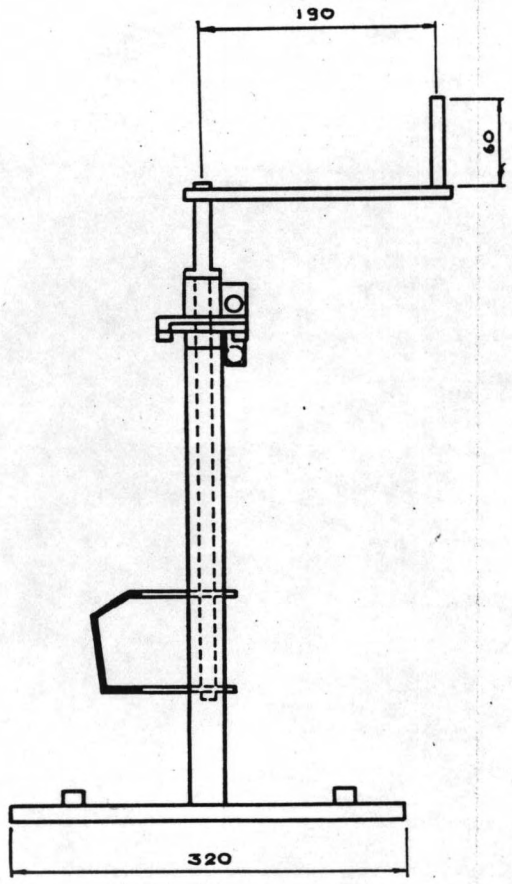
	NAME	DATE
SCALE 1:2	DESIGNER SITIPONG	
	DRAWN SITIPONG	
	APPROVED	
	CHECKED	
	DRG. NO. 2	SHT. NO 1

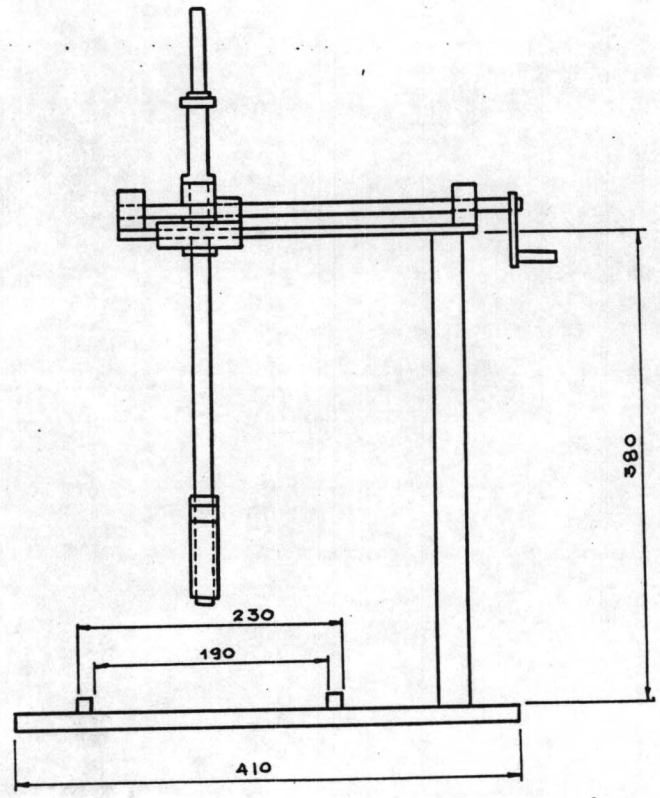
เครื่องคว้านนี้ทำงานด้วยมือ ใบมีดคว้านหมุนรอบแกนในแนวดิ่งมีรูปร่างส่วนโค้งเหมือนห้องเผาไหม้ของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง ใบมีดนี้จะหมุนปาดเนื้อดินส่วนเกินออกจากผนังเตาให้ได้รูปร่างตามต้องการโดยมือหมุน และแกนใบมีดสามารถเคลื่อนที่ในแนวราบได้เพื่อปรับระยะคว้านและสามารถถอดใบมีดออกจากเตาโดยไม่ติดส่วนขอบเตาด้านล่างซึ่งยื่นออกมามากกว่าห้องเผาไหม้



รูปที่ 7.8 ห้องเผาไหม้ส่วนที่ต้องคว้านออก





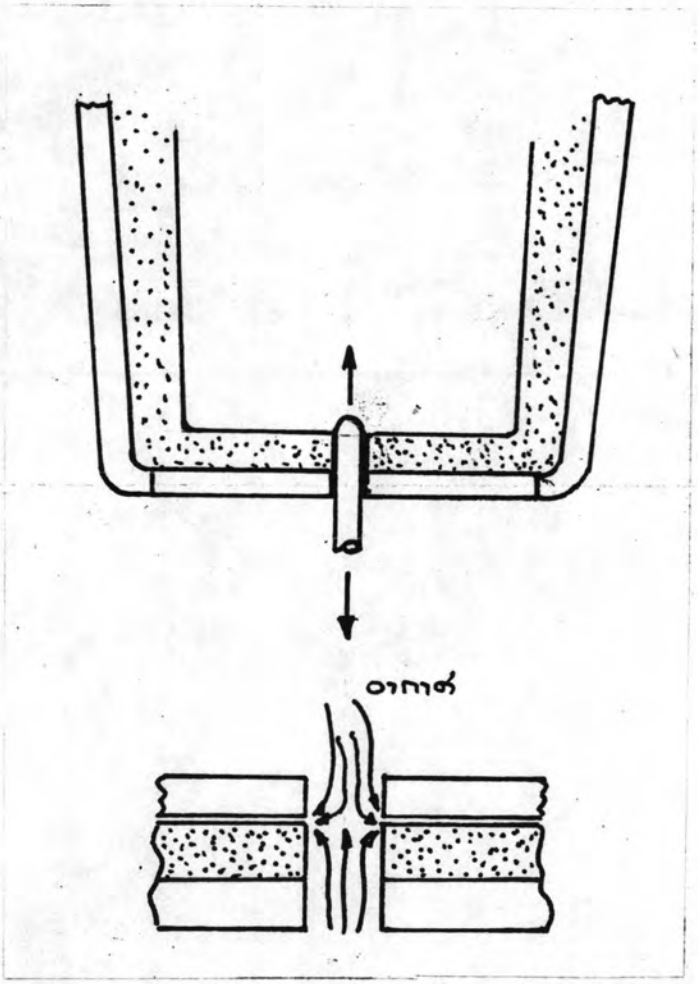


SCALE 1:2	DESIGNER	SITIPONG	10/6/88
	DRAWN	SITIPONG	3/11/89
	APPROVED		
DRG. NO. 3	SHT. NO. 1		

GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90-95 gm² SIZE A2

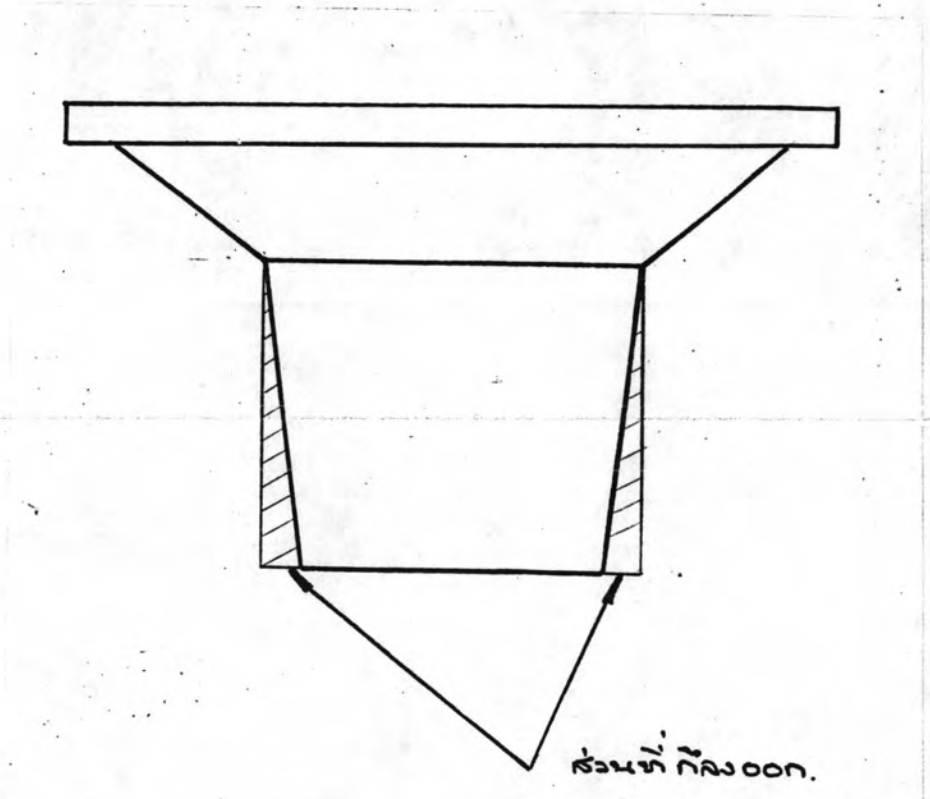
รูปที่ 7.9 แบบเครื่องคว้านห้องเผาไหม้เตาฯ

ในการถอดแม่พิมพ์อัดออกจากชิ้นงานค่อนข้างจะยาก ถ้าหากส่วนผสมของน้ำในดินผสมมีมากเกินไปตั้งแต่ 30 เปอร์เซนต์ขึ้นไป เนื่องจากสภาพดินจะค่อนข้างนิ่มและเหนียวมาก เมื่อยกแม่พิมพ์อัดชิ้นแม่พิมพ์อัดจะดูดดินเตาขึ้นมาด้วย เนื่องจากเกิดสูญญากาศ ระหว่างผิวของดินแม่พิมพ์อัดกับผิวของดินเตาด้านใน วิธีแก้คือเจาะรูก้นเตาให้ทะลุตลอด ดังรูปที่ 7.10 เพื่อให้อากาศเข้าไปแทรกระหว่างก้นเตากับก้นแม่พิมพ์ แม่พิมพ์อัดก็จะไม่ดูดก้นเตาขึ้นไปด้วย



รูปที่ 7.10 การเจาะรูก้นเตาฯเพื่อป้องกันสูญญากาศ

แม่พิมพ์อัดควรปรับปรุงอีกเล็กน้อย คือทำให้แม่พิมพ์อัดในช่วงก้นเตาถึงหากห้องเผาไหม้ มีลักษณะลาดลงจากหากห้องเผมไหม้ 5 องศา เพื่อที่จะช่วยให้ในการถอดแม่พิมพ์อัดได้ง่ายขึ้น (การทดลองช่วงแรกเป็นแม่พิมพ์อัดช่วงนี้เป็นทรงกระบอกตรง ถอดแม่พิมพ์ออกลำบาก เนื่องจากต้องผิวของแม่พิมด้านข้างกับผนังเตาด้านในสัมผัสกันตลอด หลังจากปรับปรุงให้เป็นทรงกระบอกเรียวแล้ว ปรากฏว่าถอดง่ายขึ้น) ดูรูป 7.11



รูปที่ 7.11 แม่พิมพ์ที่ปรับปรุงใหม่

7.3 <u>ความแข็งแรงของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง</u>

ภาระที่กระทำกับเตาโดยทั่วไปนั้นเกิดจากน้ำหนักของภาชนะและอาหารที่หุงต้ม ดังนั้นภาระที่กระทำกับเตาฯคือความเครียดอัด(Compressive Stress) น้ำหนักที่เตาฯสามารถรับได้มากที่สุดคำนวนได้โดย สมมุติให้เตาฯเป็นทรงกระบอกกลวงดังรูปที่ 7.12

น้ำหนักที่น้อยที่สุดที่จะทำให้เตาฯแตกหักได้ คำนวนจากความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างที่ความดันอัดเดียวกัน จากรูป 7.12 จะเห็นว่าบริเวณที่รับภาระมากที่สุดคือ ปากช่องลมด้านบน ซึ่งถูกเจาะออกไป

พื้นที่รับภาระของเตาฯ = ABCD

$$= 0.5 \times \left[AB + CD \right] \times AC$$

$$AB = 2 \times \pi \times \frac{82.5}{1000} - 120 \quad \text{เมตร}$$

$$= .398 \quad \text{เมตร}$$

$$CD = \frac{2 \times \pi \times 67.5}{1000} - \frac{120 \times 67.5}{82500} \quad \text{เมตร}$$

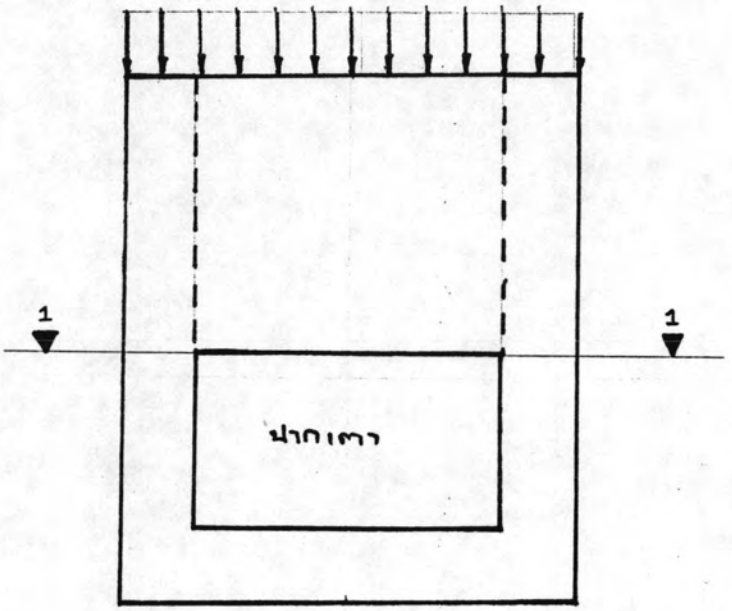
$$= 0.326 \quad \text{เมตร}$$

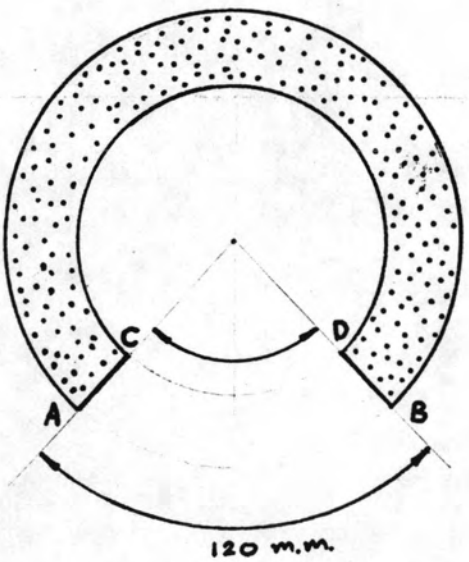
ความหนาผนังเตาคือ AC หรือ BD = 15 ม.ม.

$$ABCD = 0.5 \times \left[0.398 + 0.326 \right] \times 0.015$$

$$= 0.00543 \quad \text{ตารางเมตร}$$

ความเครียดคำนวนได้จาก





รูปที่ 7.12 เตาฯเมื่อรับแรงอัด

$$\sigma = F / A$$

$$F = \sigma \times A$$

จากกราฟรูปที่ 6.4 ความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างที่ความดันอัด 0.45 เมกกะปาสคาล ประมาณ 10 เมกกะปาสคาล

$$F = 10 \times 10^{6} \times 0.00543 \quad \text{นิวตัน}$$

$$= 54300 \quad \text{นิวตัน}$$

$$\text{คิดเป็นน้ำหนัก} = \frac{54300}{9.81} \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$= 5535 \quad \text{กิโลกรัม}$$

จะเห็นได้ว่าเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงที่ขึ้นรูปโดยการอัด สามารถรับน้ำหนักได้ ถึง 5535 กิโลกรัม

พิจารณาการรับแรงเฉือนของเตาฯ จากรูป 7.13 จะเห็นว่าบริเวณที่รับความเค้นเฉือนมากที่สุดคือ บริเวณเหนือช่องลม ซึ่งคำนวนได้ดังนี้

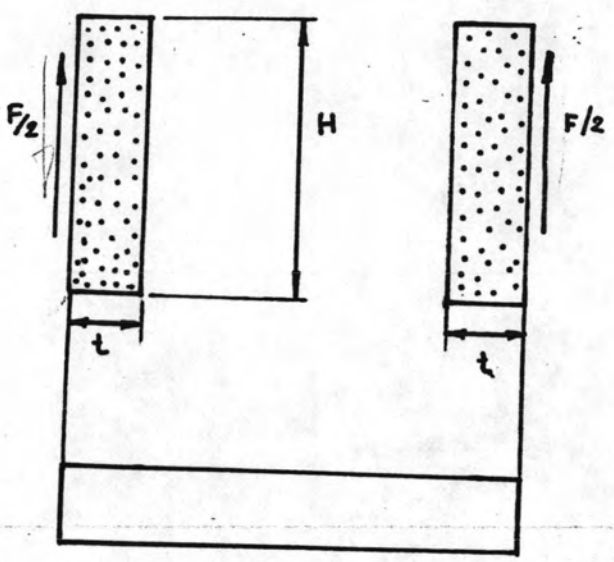
$$F = \tau \times A$$

โดยทั่วไป τ ของวัสดุจำพวก เซรามิด จะอยู่ระหว่าง 5 - 10 เปอร์เซนต์ของความเค้นอัด สมมุติว่า ความเค้นเฉือน 5 เปอร์เซนต์ ของความเค้นอัด

$$\tau = .005 \times 10 \times 10^{6}$$

$$= 5 \times 10^{5}$$

$$\text{พื้นที่รับแรงเฉือน} = 2 \times \text{ความสูงเหนือช่องลม} \times \text{ความหนา}$$



รูปที่ 7.13 เตาฯเมื่อรับแรงเฉือน

พื้นที่รับแรงเฉือน = 2 x H x t

$$= \frac{2 \times 183 \times 15 \times 5 \times 10^{5}}{10 \times 10^{6}}$$

= 26545 นิวตัน

= 280 กิโลกรัม

เมื่อคิดความเฉือนเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง จะรับน้ำหนักได้น้อยกว่า เมื่อคิดจากความเค้นอัดมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของภาชนะหุงต้มและอาหาร ซึ่งมีน้ำหนักไม่เกิน 50 กิโลกรัม แล้วจะเห็นว่าเตาฯ มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะใช้งานโดยไม่แตกหัก

จากการทดลอง ความหนาแน่น ความแข็งแรง ปริมาณน้ำและการหดตัวของดินผสมจากแหล่งต่าง ๆ เปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้มือปั้น จะเห็นได้ว่า ความดันในการอัดเตาที่ +ออกแบบไว้คือ 0.34 เมกกะปาสคาล ดังนั้น พารามิเตอร์ต่าง ๆ การอัดแท่งตัวอย่างเป็นดังนี้เปรียบเทียบระหว่างดินผสมเดิมที่ขึ้นรูปด้วยมือกับดินผสมเดิมที่ไม่ได้อัดมีพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 7.2

แหล่งดิน	ความหนาแน่น(g/cm^3)			ความแข็งแรง(MPa)			การหดตัว(%)		
ผสม	เดิม	อัด	%	เดิม	อัด	%	เดิม	อัด	%
ราชบุรี	1.426	1.677	22.29	8.05	9.14	13.34	12.97	12.66	-7.95
ร้อยเอ็ด	1.451	1.675	15.43	8.12	9.04	11.33	12.31	10.96	-10.90
ชลบุรี	1.497	1.723	15.00	9.07	10.54	16.20	9.40	8.23	-12.45
กึ่งแห้ง 1	-	1.533	-		6.30	-	-	11.43	-
กึ่งแห้ง 2	-	1.603	-		8.60	-	-	7.04	-
แห้ง	-	-	-		-	-	-	-	-

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบ ความหนาแน่น ความแข็งแรง การหดตัว ของดินผสมที่ขึ้นรูปโดยการอัดและปั้นด้วยมือ

จะเห็นได้ว่าจากการอัด

- ความหนาแน่นของแท่งตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 13-22 เปอร์เซนต์ นั่นหมายถึงน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นจากเดิม
- ความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างเพิ่มขึ้น 11-17 เปอร์เซนต์
- การหดตัวจะลดลง 7-13 เปอร์เซนต์

จากน้ำหนักเตากปม.1 ปกติหนัก 5.9 กิโลกรัม ดังนั้นถ้าขึ้นรูปโดยการอัดขนาดของเตาเท่าเดิม น้ำหนักจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 6.789 - 7.2 กิโลกรัม

รูปที่ 7.14 แม่พิมพ์อัด

รูปที่ 7.15 แม่พิมพ์ภายนอก

รูปที่ 7.16 เครื่องคว้านห้องเผาไหม้เตาฯ

รูปที่ 7.17 เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงจากการอัด