



เอกสารอ้างอิง

1. Aroon Chomcharn, "Improved Biomass cooking stove for househole use" ,Report Submitted to the National Energy Administration Ministry of Science,Technology and Energy ,1984.
2. Norton,F.H., Fine Ceramics Technology and Application ,pp.112-186, McGraw-Hill Inc , New York , 1970.
3. Norton,F.H., Elements of Ceramics , pp.72-108 , Addison-Wesley , Massachusetts , 1974.
4. Singer,Felix, Industrial Ceramics , pp.147-178 , Chapman and Hall ,London , 1978.
5. กุลธร ศิลปบรรเลง และคณะ, "สถานภาพผู้ผลิตเตาหุงต้มในจังหวัด ราชบุรี ชลบุรี และ นครปฐม", รายงานการศึกษาจัดทำเสนอสำนักงานพลังงานแห่งชาติ, พฤษภาคม 2529.
6. กุลธร ศิลปบรรเลง และ คณะ, "คู่มือประกอบการพิจารณาจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง", รายงานฉบับสมบูรณ์จัดทำเสนอสำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2530.
7. นิยม จันทรเทพา, คู่มือการผลิตและใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง , ศูนย์ฝึกอบรมพลังงาน กองเศรษฐกิจการพลังงาน และ ฝ่ายพัฒนาและเผยแพร่, กองค้ำคว้าและพัฒนาพลังงาน, สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2527.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลจากการทดลอง

| Test No. | Pressure psi | O.D. mm (Wet) | I.D. mm (Wet) | O.D. mm (Dry) | I.D. mm (Dry) |
|----------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 h | 150 | 54.90 | 30.00 | 50.80 | 27.80 |
| 2 h | 125 | 54.90 | 29.80 | 50.70 | 27.00 |
| 3 h | 100 | 54.82 | 30.20 | 50.90 | 28.00 |
| 4 h | 200 | 54.70 | 29.80 | 50.70 | 27.60 |
| 5 h | 75 | 55.10 | 31.00 | 50.60 | 27.80 |
| 6 h | 175 | 55.10 | 30.00 | 50.80 | 27.50 |
| 7 h | 200 | 55.00 | 29.90 | 51.00 | 27.40 |
| 8 h | 175 | 55.50 | 30.20 | 52.20 | 28.00 |
| 9 h | 150 | 54.50 | 29.50 | 51.00 | 27.50 |
| 10 h | 125 | 55.70 | 30.20 | 50.80 | 27.50 |
| 11 h | 100 | 55.90 | 30.50 | 51.10 | 28.20 |
| 12 h | 75 | 55.70 | 30.40 | 51.50 | 27.80 |
| 13 h | 200 | 55.60 | 30.00 | 50.70 | 27.50 |
| 14 h | 175 | 56.00 | 30.90 | 51.10 | 28.00 |
| 15 h | 150 | 55.90 | 30.00 | 50.90 | 27.60 |
| 16 h | 125 | 56.00 | 30.32 | 51.80 | 27.90 |
| 17 h | 100 | 55.00 | 29.70 | 51.00 | 27.50 |
| 18 h | 75 | 54.70 | 29.50 | 50.10 | 26.90 |

| Test No. | Pressure psi | Weight (Wet) | Weight (Dry) | Hight (Wet) | Hight (Dry) | Force lb |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|
| 1 h | 150 | 170 | 120 | 52.90 | 49.00 | 5890 |
| 2 h | 125 | 170 | 123 | 55.00 | 51.30 | 5860 |
| 3 h | 100 | 180 | 125 | 54.80 | 50.20 | 5800 |
| 4 h | 200 | 170 | 118 | 52.50 | 48.70 | 7750 |
| 5 h | 75 | 175 | 121 | 54.90 | 50.60 | 3150 |
| 6 h | 175 | 165 | 120 | 52.00 | 48.80 | 6320 |
| 7 h | 200 | 165 | 115 | 52.00 | 48.60 | 7650 |
| 8 h | 175 | 170 | 125 | 52.50 | 49.00 | 6780 |
| 9 h | 150 | 175 | 120 | 52.30 | 48.70 | 5730 |
| 10 h | 125 | 170 | 120 | 52.00 | 49.00 | 4350 |
| 11 h | 100 | 210 | 140 | 59.90 | 56.50 | 4550 |
| 12 h | 75 | 175 | 122 | 53.00 | 50.00 | 3710 |
| 13 h | 200 | 165 | 120 | 52.00 | 48.00 | 7500 |
| 14 h | 175 | 170 | 130 | 52.50 | 48.00 | 6200 |
| 15 h | 150 | 170 | 125 | 52.30 | 47.10 | 6100 |
| 16 h | 125 | 170 | 120 | 52.50 | 49.50 | 4710 |
| 17 h | 100 | 180 | 133 | 55.00 | 51.00 | 4320 |
| 18 h | 75 | 190 | 130 | 56.00 | 51.10 | 3300 |

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมจากจังหวัดชลบุรี (ต่อ)

| Test No. | Pressure psi | O.D. mm (Wet) | I.D. mm (Wet) | O.D. mm (Dry) | I.D. mm (Dry) |
|----------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 r | 100 | 55.00 | 30.10 | 50.00 | 26.70 |
| 2 r | 150 | 56.00 | 30.40 | 51.30 | 28.00 |
| 3 r | 200 | 56.00 | 30.20 | 51.00 | 27.40 |
| 4 r | 100 | 55.00 | 30.80 | 49.20 | 26.70 |
| 5 r | 150 | 56.00 | 31.20 | 50.50 | 27.80 |
| 6 r | 200 | 55.70 | 31.00 | 49.80 | 27.00 |
| 7 r | 100 | 55.00 | 30.10 | 50.00 | 26.7 |
| 8 r | 150 | 55.00 | 30.00 | 51.00 | 28.00 |
| 9 r | 200 | 55.01 | 31.00 | 50.55 | 26.80 |
| 10 r | 50 | 55.30 | 30.10 | 50.00 | 27.00 |
| 11 r | 50 | 55.00 | 32.50 | 49.40 | 27.20 |
| 12 r | 50 | 55.70 | 30.60 | 50.00 | 26.90 |
| 13 r | 50 | 54.50 | 30.00 | 50.00 | 27.10 |
| 14 r | 50 | 54.60 | 31.50 | 50.00 | 27.40 |
| 15 r | 50 | 55.70 | 30.50 | 50.80 | 27.00 |
| 16 r | 50 | 55.20 | 29.60 | 48.50 | 26.90 |
| 17 r | 50 | 54.90 | 30.00 | 50.00 | 27.00 |

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมจากจังหวัดร้อยเอ็ด

| Test No. | Pressure psi | Weight g (Wet) | Weight g (Dry) | Hight mm (Wet) | Hight mm (Dry) | Force lb |
|----------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1 r | 100 | 170 | 120 | 54.50 | 50.00 | 3870 |
| 2 r | 150 | 182 | 125 | 58.00 | 54.50 | 5100 |
| 3 r | 200 | 210 | 137 | 60.70 | 57.00 | 5500 |
| 4 r | 100 | 170 | 115 | 56.90 | 51.00 | 3450 |
| 5 r | 150 | 190 | 120 | 57.50 | 52.00 | 4450 |
| 6 r | 200 | 185 | 120 | 56.50 | 50.70 | 4450 |
| 7 r | 100 | 180 | 110 | 55.00 | 50.50 | 5160 |
| 8 r | 150 | 200 | 125 | 55.60 | 51.40 | 7769 |
| 9 r | 200 | 185 | 120 | 55.70 | 50.9 | 3950 |
| 10 r | 50 | 162 | 108 | 51.50 | 47.00 | 3150 |
| 11 r | 50 | 165 | 110 | 53.00 | 48.00 | 4200 |
| 12 r | 50 | 160 | 108 | 53.50 | 47.60 | 3500 |
| 13 r | 50 | 165 | 110 | 52.30 | 47.50 | 3250 |
| 14 r | 50 | 160 | 110 | 52.40 | 48.00 | 3300 |
| 15 r | 50 | 162 | 110 | 52.50 | 48.00 | 3700 |
| 16 r | 50 | 165 | 110 | 52.00 | 47.00 | 3450 |
| 17 r | 50 | 165 | 110 | 52.20 | 47.00 | 4800 |

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมจากจังหวัดร้อยเอ็ด(ต่อ)

| Test No. | Pressure psi | O.D. mm (Wet) | I.D. mm (Wet) | O.D. mm (Dry) | I.D. mm (Dry) |
|----------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 y | 50 | 55.00 | 30.00 | 48.30 | 25.70 |
| 2 y | 50 | 55.10 | 30.00 | 48.10 | 26.40 |
| 3 y | 50 | 55.20 | 30.30 | 48.40 | 26.00 |
| 4 y | 50 | 55.10 | 30.50 | 48.50 | 26.50 |
| 5 y | 50 | 55.50 | 30.50 | 47.90 | 26.00 |
| 6 y | 50 | 55.00 | 30.10 | 48.00 | 26.00 |
| 7 y | 50 | 55.00 | 31.00 | 47.70 | 25.80 |
| 8 y | 50 | 55.00 | 30.20 | 48.90 | 26.50 |
| 9 y | 50 | 55.10 | 30.00 | 48.30 | 26.00 |
| 10 y | 50 | 55.00 | 30.00 | 48.00 | 25.50 |
| 11 y | 50 | 55.80 | 30.70 | 48.30 | 25.60 |
| 12 y | 50 | 54.50 | 30.00 | 47.20 | 25.70 |
| 13 y | 100 | 55.00 | 30.00 | 48.10 | 26.00 |
| 14 y | 100 | 55.00 | 30.10 | 48.00 | 25.80 |
| 15 y | 100 | 55.00 | 30.00 | 48.00 | 25.80 |
| 16 y | 150 | 55.10 | 30.00 | 47.90 | 25.70 |
| 17 y | 150 | 55.10 | 29.90 | 48.00 | 26.10 |
| 18 y | 150 | 55.00 | 30.00 | 47.90 | 25.90 |
| 19 y | 200 | 55.40 | 30.20 | 48.20 | 26.00 |
| 20 y | 200 | 55.90 | 30.00 | 48.00 | 26.00 |
| 21 y | 200 | 55.00 | 30.00 | 48.10 | 26.00 |

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมจากจังหวัดราชบุรี

| Test No. | Pressure psi | Weighth g (Wet) | Weighth g (Dry) | Hight mm (Wet) | Hight mm (Dry) | Force lb |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1 y | 50 | 165 | 100 | 52.30 | 47.00 | 1910 |
| 2 y | 50 | 165 | 100 | 54.00 | 47.00 | 3000 |
| 3 y | 50 | 160 | 100 | 53.60 | 47.00 | 2500 |
| 4 y | 50 | 160 | 100 | 51.50 | 47.00 | 2700 |
| 5 y | 50 | 160 | 100 | 53.00 | 47.40 | 3100 |
| 6 y | 50 | 160 | 100 | 53.00 | 46.00 | 2250 |
| 7 y | 50 | 162 | 100 | 52.00 | 47.10 | 2550 |
| 8 y | 50 | 160 | 102 | 52.70 | 45.00 | 2950 |
| 9 y | 50 | 165 | 100 | 53.50 | 47.20 | 2350 |
| 10 y | 50 | 161 | 98 | 53.00 | 45.80 | 3700 |
| 11 y | 50 | 165 | 105 | 53.70 | 47.00 | 2300 |
| 12 y | 50 | 160 | 100 | 50.00 | 44.50 | 2400 |
| 13 y | 100 | 165 | 100 | 50.40 | 44.00 | 3150 |
| 14 y | 100 | 162 | 100 | 50.70 | 43.90 | 2900 |
| 15 y | 100 | 165 | 100 | 50.00 | 44.00 | 2820 |
| 16 y | 150 | 160 | 100 | 50.50 | 43.90 | 4400 |
| 17 y | 150 | 165 | 100 | 50.50 | 44.30 | 3950 |
| 18 y | 150 | 160 | 100 | 48.90 | 43.50 | 4100 |
| 19 y | 200 | 160 | 102 | 49.00 | 43.22 | 5000 |
| 20 y | 200 | 160 | 100 | 48.70 | 43.30 | 5350 |
| 21 y | 200 | 160 | 100 | 49.00 | 43.50 | 5480 |

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมจากจังหวัดราชบุรี(ต่อ)

| Test No. | Pressure psi | O.D. mm (Wet) | O.D. mm (Dry) | Weight g (Wet) | Weight g (Dry) |
|----------|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 n | 100 | 55.10 | 52.60 | 185 | 165 |
| 2 n | 75 | 55.00 | 52.70 | 172 | 153 |
| 3 n | 150 | 55.30 | 52.90 | 172 | 150 |
| 4 n | 200 | 55.50 | 53.00 | 171 | 150 |
| 5 n | 150 | 55.10 | 52.90 | 175 | 150 |
| 6 n | 100 | 54.90 | 50.40 | 170 | 148 |
| 7 n | 150 | 55.50 | 53.00 | 178 | 160 |
| 8 n | 200 | 55.30 | 50.90 | 180 | 154 |
| 9 n | 75 | 55.20 | 52.40 | 187 | 162 |
| 10 n | 200 | 55.20 | 54.00 | 180 | 162 |
| 11 n | 100 | 55.10 | 50.90 | 180 | 155 |
| 12 n | 75 | 55.30 | 50.00 | 175 | 145 |

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 1

| Test No. | Pressure psi | Hight mm (Wet) | Hight mm (Dry) | Force lb |
|----------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1 n | 100 | 49.50 | 46.50 | 10000 |
| 2 n | 75 | 50.20 | 46.50 | 4000 |
| 3 n | 150 | 41.30 | 39.70 | 15000 |
| 4 n | 200 | 39.40 | 37.40 | 20000 |
| 5 n | 150 | 43.10 | 41.10 | 12400 |
| 6 n | 100 | 50.00 | 45.90 | 12000 |
| 7 n | 150 | 40.80 | 40.20 | 12700 |
| 8 n | 200 | 39.50 | 36.30 | 17500 |
| 9 n | 75 | 48.00 | 45.10 | 4200 |
| 10 n | 200 | 40.10 | 38.40 | 15000 |
| 11 n | 100 | 50.30 | 47.20 | 12500 |
| 12 n | 75 | 50.10 | 45.10 | 6000 |

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 1(ต่อ)

| Test No. | Pressure psi | O.D. mm (Wet) | O.D. mm (Dry) | Weight g (Wet) | Weight g (Dry) |
|----------|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 t | 150 | 56.30 | 50.10 | 185 | 140 |
| 2 t | 100 | 56.20 | 50.40 | 190 | 147 |
| 3 t | 200 | 56.30 | 50.10 | 190 | 150 |
| 4 t | 75 | 56.30 | 50.40 | 125 | 100 |
| 5 t | 150 | 56.20 | 50.30 | 180 | 135 |
| 6 t | 200 | 56.20 | 50.00 | 180 | 143 |
| 7 t | 100 | 56.40 | 51.00 | 180 | 145 |
| 8 t | 75 | 56.20 | 50.10 | 116 | 95 |
| 9 t | 200 | 56.20 | 49.70 | 190 | 150 |
| 10 t | 150 | 56.30 | 50.40 | 185 | 140 |
| 11 t | 100 | 56.20 | 50.00 | 185 | 143 |
| 12 t | 75 | 56.20 | 50.10 | 120 | 95 |

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 2

| Test No. | Pressure psi | Hight mm (Wet.) | Hight mm (Dry) | Force lb |
|----------|-----------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| 1 t | 150 | 40.20 | 35.70 | 9100 |
| 2 t | 100 | 46.20 | 41.70 | 9050 |
| 3 t | 200 | 42.00 | 38.40 | 12700 |
| 4 t | 75 | 35.60 | 32.00 | 2600 |
| 5 t | 150 | 38.40 | 34.70 | 9350 |
| 6 t | 200 | 42.80 | 37.70 | 12550 |
| 7 t | 100 | 45.20 | 40.20 | 8750 |
| 8 t | 75 | 34.40 | 30.50 | 3050 |
| 9 t | 200 | 43.10 | 38.90 | 13050 |
| 10 t | 150 | 40.00 | 36.00 | 9900 |
| 11 t | 100 | 44.80 | 40.70 | 8900 |
| 12 t | 75 | 37.20 | 33.10 | 2750 |

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 2(ต่อ)

| Test No | Pressure psi | O.D. mm (Wet) | I.D. mm (Dry) | Weight g (Wet) | Weight g (Dry) |
|---------|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 a | 150 | 55.60 | 55.20 | 130 | 115 |
| 2 a | 150 | 55.60 | 55.30 | 130 | 117 |
| 3 a | 150 | 55.70 | 55.20 | 132 | 115 |
| 4 a | 100 | 55.60 | 55.30 | 150 | 133 |
| 5 a | 100 | 55.60 | 55.10 | 147 | 130 |
| 6 a | 100 | 55.60 | 55.20 | 150 | 132 |
| 7 a | 200 | 55.60 | 55.30 | 175 | 160 |
| 8 a | 200 | 55.50 | 55.00 | 180 | 167 |
| 9 a | 200 | 55.60 | 55.30 | 180 | 165 |
| 10 a | 300 | 55.60 | 55.40 | 150 | 133 |
| 11 a | 300 | 55.60 | 55.20 | 160 | 145 |
| 12 a | 300 | 55.70 | 55.00 | 150 | 135 |

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมแบบอัดแห้ง

| Test No | Pressure psi | Hight mm (Wet) | Hight mm (Dry) | Force lb |
|---------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1 a | 150 | 33.80 | 33.30 | 3850 |
| 2 a | 150 | 35.10 | 34.50 | 5700 |
| 3 a | 150 | 34.70 | 34.60 | 5000 |
| 4 a | 100 | 51.60 | 50.90 | 4000 |
| 5 a | 100 | 48.20 | 48.00 | 3870 |
| 6 a | 100 | 50.10 | 49.70 | 3420 |
| 7 a | 200 | 46.40 | 45.70 | 9750 |
| 8 a | 200 | 50.10 | 49.60 | 8300 |
| 9 a | 200 | 50.00 | 49.50 | 8850 |
| 10 a | 300 | 35.20 | 34.80 | 12000 |
| 11 a | 300 | 37.00 | 36.60 | 10700 |
| 12 a | 300 | 35.30 | 34.90 | 11500 |

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลจากการทดลองดินผสมแบบอัดแห้ง(ต่อ)

ภาคผนวก ข.

ผลการคำนวณจากการทดลอง

การคำนวณความหนาแน่น คำนวณได้จาก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก, ภายใน ความสูง และน้ำหนัก ของแท่งตัวอย่าง ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Density} &= \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{4 \times M}{\pi \times (O_d^2 - I_d^2) \times h} \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำ (%) คำนวณได้จาก น้ำหนัก ก่อนและหลังการเผา

$$\text{ปริมาณน้ำ (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหลังเผา}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}}$$

การหดตัวภายหลังเผา (Shrinkage) หาได้จากการเฉลี่ยการหดตัวแนวรัศมีและแนวตั้ง

$$\text{การหดตัวในแนวรัศมี (\%)} = \frac{(\text{เส้นผ่าศูนย์กลางก่อนเผา} - \text{เส้นผ่าศูนย์กลางหลังเผา}) \times 100}{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางก่อนเผา}}$$

$$\text{การหดตัวในแนวตั้ง (\%)} = \frac{(\text{ความสูงก่อนเผา} - \text{ความสูงหลังเผา}) \times 100}{\text{ความสูงก่อนเผา}}$$

ความเครียด(Stress)ในเนื้อดินขณะอัดหาได้จาก

$$\text{Stress} = \frac{\text{แรงที่อัดแท่งตัวอย่างขณะขึ้นรูป}}{\text{พื้นที่หน้าตัดแท่งตัวอย่าง}}$$

$$\text{แรงที่อัดแท่งตัวอย่างขณะขึ้นรูป} = \text{ความดันอัด} \times \text{พื้นที่หน้าตัดแกนอัดไฮดรอลิก}$$

ความแข็งแรงของแท่งตัวอย่าง (Compressive Strength)

$$\text{Compressive Strength} = \frac{\text{แรงอัดทำลายแท่งตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่หน้าตัดแท่งตัวอย่างหลังเผา}}$$

$$= \frac{4 \times F}{\pi \times (O_d^2 - I_d^2)}$$

เมื่อ O_d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

I_d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

| Test No. | ความดันอัด MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkage % |
|----------|-------------------|---------------|------------------------------|------------|----------------|
| 4 h | 1.38 | 8.58 | 1705.64 | 30.59 | 7.31 |
| 7 h | | 8.49 | 1628.33 | 30.30 | 7.39 |
| 13 h | | 8.31 | 1754.50 | 27.27 | 8.28 |
| Average | | 8.40 | 1691.42 | 28.79 | 7.84 |
| 1 h | 1.03 | 7.30 | 1673.53 | 26.47 | 6.63 |
| 9 h | | 6.49 | 1700.68 | 31.43 | 6.70 |
| 15 h | | 6.26 | 1847.45 | 26.47 | 8.96 |
| Average | | 6.32 | 1774.07 | 28.95 | 7.83 |
| 6 h | 1.20 | 7.40 | 1716.14 | 27.27 | 7.43 |
| 8 h | | 7.30 | 1673.53 | 26.47 | 6.63 |
| 14 h | | 7.17 | 1887.22 | 23.53 | 8.90 |
| Average | | 7.23 | 1780.38 | 25.00 | 7.77 |
| 3 h | .69 | 4.27 | 1754.70 | 30.56 | 7.61 |
| 11 h | | 4.11 | 1737.32 | 33.33 | 7.27 |
| 17 h | | 4.25 | 1799.92 | 26.11 | 7.32 |
| Average | | 4.18 | 1768.62 | 29.72 | 7.29 |

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดินผสมจากชลบุรี

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkag % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|---------------|
| 2 h | .86 | 5.33 | 1657.78 | 27.65 | 7.92 |
| 10 h | | 5.17 | 1709.14 | 29.41 | 7.84 |
| 16 h | | 5.12 | 1620.42 | 29.41 | 7.07 |
| Average | | 5.15 | 1664.78 | 29.41 | 7.45 |
| 5 h | .55 | 3.17 | 1703.31 | 30.86 | 8.77 |
| 12 h | | 3.10 | 1653.02 | 30.29 | 7.25 |
| 18 h | | 3.22 | 1813.23 | 31.58 | 8.66 |
| Average | | 3.16 | 1733.12 | 30.93 | 7.95 |

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดินผสมจากชลบุรี(ต่อ)

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkage % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|----------------|
| Average1 | 1.38 | 8.39 | 1691.42 | 28.79 | 7.84 |
| Average2 | 1.03 | 6.32 | 1774.07 | 28.95 | 7.83 |
| Average3 | 1.20 | 7.23 | 1780.38 | 25.00 | 7.77 |
| Average4 | .69 | 4.18 | 1768.62 | 29.72 | 7.29 |
| Average5 | .86 | 5.14 | 1664.78 | 29.41 | 7.45 |
| Average6 | .55 | 3.16 | 1733.12 | 30.93 | 7.95 |
| | | | | 28.80 | 7.69 |

ตารางที่ ข.2 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองดินผสมจากชลบุรี

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Force N | Strength Mpa |
|----------|----------------|---------------|------------|-----------------|
| 1 h | 1.03 | 7.30 | 26210.5 | 18.46 |
| 2 h | .86 | 5.33 | 26077.0 | 18.03 |
| 3 h | .69 | 4.28 | 25810.0 | 18.19 |
| 4 h | 1.38 | 8.57 | 34487.5 | 24.28 |
| 5 h | .34 | 3.17 | 14017.5 | 9.98 |
| 6 h | 1.20 | 7.40 | 28124.0 | 19.63 |
| 7 h | 1.38 | 8.49 | 34042.5 | 23.43 |
| 8 h | 1.20 | 7.30 | 30171.0 | 19.79 |
| 9 h | 1.03 | 6.48 | 25498.5 | 17.60 |
| 10 h | .86 | 5.17 | 19357.5 | 13.51 |
| 11 h | .69 | 4.11 | 20247.5 | 14.20 |
| 12 h | . | 3.10 | 16509.5 | 11.18 |
| 13 h | 1.38 | 8.30 | 33375.0 | 23.42 |
| 14 h | 1.20 | 7.17 | 27590.0 | 19.23 |
| 15 h | 1.03 | 6.16 | 27145.0 | 18.90 |
| 16 h | .86 | 5.11 | 20959.5 | 14.01 |
| 17 h | .69 | 4.24 | 19224.0 | 13.27 |
| 18 h | .34 | 3.22 | 14685.0 | 10.47 |

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมจากชลบุรี

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkage % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|----------------|
| 1 r | .69 | 4.25 | 1709.89 | 29.41 | 9.55 |
| 4 r | | 4.25 | 1681.17 | 32.35 | 11.41 |
| 7 r | | 4.25 | 1695.00 | 30.88 | 10.00 |
| 2 r | 1.03 | 6.14 | 1580.50 | 31.32 | 7.44 |
| 5 r | | 6.14 | 1653.10 | 36.84 | 10.09 |
| 8 r | | 6.14 | 1616.80 | 34.08 | 8.77 |
| 3 r | 1.38 | 8.19 | 1653.97 | 34.76 | 8.10 |
| 6 r | | 8.27 | 1721.02 | 35.14 | 11.25 |
| 9 r | | 8.23 | 1687.49 | 34.95 | 9.68 |
| 10 r | .34 | 2.09 | 1652.02 | 33.33 | 9.54 |
| 11 r | | 2.12 | 1715.85 | 33.33 | 11.97 |
| 12 r | | 2.06 | 1626.25 | 32.50 | 11.12 |
| 13 r | | 2.16 | 1670.01 | 33.33 | 9.03 |
| 14 r | | 2.15 | 1668.06 | 31.25 | 9.95 |
| 15 r | | 2.07 | 1575.81 | 32.10 | 9.61 |
| 16 r | | 2.10 | 1829.70 | 33.33 | 10.29 |
| 17 r | | 2.13 | 1682.62 | 33.33 | 9.63 |

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองดินผสมจากร้อยเอ็ด

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkag % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|---------------|
| Average1 | .68 | 4.24 | 1695.53 | 30.88 | 10.48 |
| Average2 | 1.03 | 6.14 | 1616.80 | 34.08 | 8.77 |
| Average3 | 1.38 | 8.23 | 1687.49 | 34.95 | 9.68 |
| Average4 | .34 | 2.12 | 1756.16 | 33.33 | 9.96 |
| | | | | 33.31 | 9.72 |

ตารางที่ ๕.5 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองดินผสมจากร้อยเอ็ด

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|
| 1 r | .69 | 4.25 | 17221.50 | 12.27 |
| 4 r | | 4.25 | 15352.50 | 11.45 |
| 7 r | | 4.25 | 18512.00 | 17.13 |
| 2 r | 1.03 | 6.14 | 22695.00 | 15.64 |
| 5 r | | 6.14 | 19802.50 | 14.18 |
| 8 r | | 6.14 | 34571.75 | 23.82 |
| 3 r | 1.38 | 8.19 | 22250.00 | 15.30 |
| 6 r | | 8.27 | 19802.50 | 14.40 |
| 9 r | | 8.23 | 17577.50 | 12.41 |

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมจากร้อยเอ็ด

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|
| 10 r | .34 | 2.09 | 14017.50 | 10.08 |
| 11 r | | 2.12 | 18690.00 | 13.99 |
| 12 r | | 2.06 | 15575.00 | 11.16 |
| 13 r | | 2.16 | 14462.50 | 10.43 |
| 14 r | | 2.15 | 14685.00 | 10.52 |
| 15 r | | 2.07 | 16465.00 | 11.32 |
| 16 r | | 2.10 | 15352.50 | 12.00 |
| 17 r | | 2.13 | 21360.00 | 15.36 |

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมจากร้อยเอ็ด
(ต่อ)

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa | std |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|------|
| Average1 | .69 | 4.24 | 18512.00 | 13.44 | 3.07 |
| Average2 | 1.03 | 6.14 | 25698.75 | 18.10 | 5.19 |
| Average3 | 1.38 | 8.23 | 17466.25 | 12.41 | 1.66 |
| Average4 | .34 | 2.12 | 18356.25 | 13.68 | 1.27 |

ตารางที่ ข.7 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมจากร้อยเอ็ด

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkage % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|----------------|
| 1 y | .34 | 7.13 | 1619.84 | 39.39 | 12.18 |
| 2 y | | 7.13 | 1675.70 | 39.39 | 12.70 |
| 3 y | | 6.99 | 1625.51 | 37.50 | 12.32 |
| 4 y | | 6.90 | 1641.83 | 37.50 | 11.98 |
| 5 y | | 6.90 | 1659.75 | 37.50 | 13.69 |
| 6 y | | 7.08 | 1700.19 | 37.50 | 12.73 |
| 7 y | | 6.67 | 1679.41 | 38.27 | 13.27 |
| 8 y | | 7.03 | 1708.75 | 36.25 | 11.09 |
| 9 y | | 7.13 | 1628.07 | 39.39 | 12.34 |
| 10 y | | 7.13 | 1647.40 | 39.13 | 12.73 |
| 11 y | | 6.80 | 1695.63 | 36.36 | 13.44 |
| 12 y | | 7.13 | 1825.51 | 37.50 | 13.39 |
| Average | | 7.00 | 1675.63 | 37.97 | 12.66 |

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองดินผสมจากราชบุรี

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkage % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|----------------|
| 14 y | .69 | 4.24 | 1770.00 | 38.27 | 13.41 |
| 13 y | | 4.24 | 1770.17 | 39.39 | 12.70 |
| 15 y | | 4.24 | 1770.85 | 38.83 | 13.01 |
| 18 y | 1.03 | 6.14 | 1800.50 | 37.52 | 11.04 |
| 17 y | | 6.14 | 1773.10 | 39.39 | 12.08 |
| 16 y | | 6.14 | 1786.00 | 38.46 | 11.56 |
| 19 y | 1.38 | 8.16 | 1815.65 | 37.50 | 11.09 |
| 20 y | | 8.27 | 1721.02 | 36.25 | 11.80 |
| 21 y | | 8.24 | 1870.00 | 36.90 | 11.50 |

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองดินผสมจากราบุรี(ต่อ)

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|
| 1 y | | 7.13 | 8499.50 | 6.47 |
| 2 y | | 7.13 | 13350.00 | 10.51 |
| 3 y | | 6.99 | 11125.00 | 8.50 |
| 4 y | | 6.89 | 12015.00 | 9.27 |
| 5 y | | 6.89 | 13795.00 | 10.85 |
| 6 y | .34 | 7.08 | 10012.50 | 7.83 |
| 7 y | | 6.67 | 11347.50 | 8.98 |
| 8 y | | 7.03 | 13127.50 | 9.90 |
| 9 y | | 7.13 | 10457.50 | 8.04 |
| 10 y | | 7.13 | 16465.00 | 12.68 |
| 11 y | | 6.81 | 10235.00 | 7.77 |
| 12 y | | 7.13 | 10947.00 | 8.89 |

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมจากราชบุรี

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress force N | Srength Mpa |
|----------|----------------|---------------|------------------------|----------------|
| 13 y | .69 | 4.24 | 14952.00 | 11.55 |
| 14 y | | 4.24 | 12905.00 | 10.03 |
| 15 y | | 4.24 | 12551.40 | 9.76 |
| 18 y | 1.03 | 6.13 | 15916.80 | 12.46 |
| 17 y | | 6.13 | 18245.00 | 14.31 |
| 16 y | | 6.13 | 19580.00 | 15.36 |
| 19 y | 1.38 | 8.16 | 21008.10 | 16.24 |
| 20 y | | 8.27 | 23807.50 | 18.62 |
| 21 y | | 8.24 | 24386.00 | 19.07 |

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมจากราบุรี (ต่อ)

| Test No. | ความดัน | Stress | Density | Water | Shrinkage |
|----------|---------|--------|-------------------|-------|-----------|
| | MPa | MPa | Kg/m ³ | % | % |
| 4 n | 1.38 | 8.38 | 1817.93 | 12.28 | 4.79 |
| 8 n | | 8.39 | 2084.91 | 14.44 | 8.03 |
| 10 n | | 8.43 | 2842.07 | 10.00 | 3.21 |
| Average | | 8.38 | 1914.97 | 12.24 | 5.34 |
| 3 n | 1.03 | 6.30 | 1719.09 | 12.79 | 4.11 |
| 5 n | | 6.34 | 1660.53 | 14.29 | 4.32 |
| 7 n | | 6.25 | 1804.06 | 10.11 | 2.99 |
| Average | | 6.30 | 1727.89 | 12.40 | 3.80 |
| 1 n | .69 | 4.22 | 1632.93 | 10.81 | 5.30 |
| 6 n | | 4.26 | 1616.21 | 12.94 | 8.20 |
| 11 n | | 4.22 | 1613.85 | 13.89 | 6.89 |
| Average | | 4.24 | 1621.00 | 12.55 | 6.80 |
| 2 n | .34 | 3.18 | 1508.43 | 11.05 | 5.78 |
| 9 n | | 3.16 | 1665.65 | 13.37 | 5.56 |
| 12 n | | 3.15 | 1637.42 | 17.14 | 9.78 |
| Average | | 3.16 | 1603.84 | 13.85 | 7.04 |

ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองอัดดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 1

| Test No. | ความดัน | Stress | Density | Water | Shrinkage |
|----------|---------|--------|-------------------|-------|-----------|
| | MPa | MPa | Kg/m ³ | % | % |
| Average1 | 1.38 | 8.39 | 1914.97 | 12.24 | 5.34 |
| Average2 | 1.03 | 6.30 | 1727.89 | 12.40 | 3.80 |
| Average3 | .69 | 4.24 | 1621.00 | 12.55 | 6.80 |
| Average4 | .34 | 3.16 | 1603.84 | 13.85 | 7.04 |
| | | | | 12.76 | 5.75 |

ตารางที่ ข.11 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองอัดดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 1

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|
| 4 n | 1.38 | 8.38 | 89000.00 | 40.34 |
| 8 n | | 8.39 | 77875.00 | 38.27 |
| 10 n | | 8.43 | 66750.00 | 32.80 |
| Average | | 8.38 | 77875.00 | 37.16 |
| 3 n | 1.03 | 6.30 | 66750.00 | 34.30 |
| 5 n | | 6.34 | 55180.00 | 25.11 |
| 7 n | | 6.25 | 73870.00 | 33.50 |
| Average | | 6.30 | 65266.67 | 30.97 |
| 1 n | .69 | 4.22 | 44500.00 | 22.90 |
| 6 n | | 4.26 | 53400.00 | 26.77 |
| 11 n | | 4.22 | 55625.00 | 27.30 |
| Average | | 4.24 | 51175.00 | 26.65 |
| 2 n | .34 | 3.18 | 17800.00 | 8.25 |
| 9 n | | 3.18 | 18690.00 | 8.60 |
| 12 n | | 3.15 | 26700.00 | 13.60 |
| Average | | 3.16 | 21063.30 | 10.15 |

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 1 (ต่อ)

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa | std |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|------|
| Average1 | 1.38 | 8.39 | 77875.00 | 37.16 | 2.99 |
| Average2 | 1.03 | 6.30 | 65266.67 | 30.97 | 2.40 |
| Average3 | .69 | 4.24 | 51175.00 | 25.65 | 5.09 |
| Average4 | .34 | 3.16 | 21063.30 | 10.15 | 3.89 |

ตารางที่ ข.13 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 1

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkage % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|----------------|
| 3 t | 1.38 | 11.10 | 1981.50 | 21.05 | 10.19 |
| 6 t | | 11.15 | 1931.81 | 20.56 | 12.28 |
| 9 t | | 11.29 | 1987.64 | 21.05 | 11.18 |
| Average | | 11.18 | 1966.98 | 20.89 | 11.22 |
| 1 t | 1.03 | 8.33 | 1989.27 | 24.32 | 11.81 |
| 5 t | | 8.26 | 1957.84 | 25.00 | 10.58 |
| 10 t | | 8.23 | 1949.28 | 24.32 | 10.80 |
| Average | | 8.27 | 1965.46 | 24.55 | 11.06 |
| 2 t | .69 | 5.48 | 1766.97 | 22.63 | 10.56 |
| 7 t | | 5.35 | 1765.67 | 19.44 | 11.01 |
| 11 t | | 5.57 | 1789.41 | 22.70 | 10.55 |
| Average | | 5.47 | 1774.02 | 21.59 | 10.70 |
| 4 t | .34 | 4.11 | 1566.38 | 20.00 | 10.86 |
| 8 t | | 4.16 | 1580.00 | 18.10 | 11.82 |
| 12 t | | 4.16 | 1455.89 | 20.83 | 11.62 |
| Average | | 4.14 | 1534.09 | 19.65 | 11.44 |

ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองอัดดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 2

| Test No. | ความดัน | Stress | Density | Water | Shrinkage |
|----------|---------|--------|-------------------|-------|-----------|
| | MPa | MPa | Kg/m ³ | % | % |
| Average1 | 1.38 | 11.18 | 1966.98 | 20.89 | 11.22 |
| Average2 | 1.03 | 8.27 | 1965.46 | 24.55 | 11.06 |
| Average3 | .69 | 5.47 | 1774.02 | 21.59 | 10.70 |
| Average4 | .34 | 4.14 | 1534.09 | 19.65 | 11.44 |
| | | | | 21.67 | 11.11 |

ตารางที่ ข.15 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 2

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|
| 3 t | 1.38 | 11.10 | 56415.00 | 28.66 |
| 6 t | | 11.15 | 55847.50 | 28.44 |
| 9 t | | 11.29 | 58072.50 | 29.93 |
| Average | | 11.18 | 59778.33 | 28.55 |
| 1 t | 1.03 | 8.33 | 41607.50 | 20.94 |
| 5 t | | 8.26 | 41607.50 | 21.10 |
| 10 t | | 8.23 | 44055.00 | 22.08 |
| Average | | 8.27 | 44870.83 | 21.22 |
| 2 t | .60 | 5.48 | 40272.50 | 20.19 |
| 7 t | | 5.35 | 38937.50 | 19.06 |
| 11 t | | 5.57 | 39605.00 | 20.17 |
| Average | | 5.47 | 39605.00 | 19.81 |
| 4 t | .34 | 4.11 | 11570.00 | 5.80 |
| 8 t | | 4.16 | 13572.50 | 6.88 |
| 12 t | | 4.16 | 12237.50 | 6.21 |
| Average | | 4.14 | 12460.00 | 6.30 |

ตารางที่ ข.16 ผลการทดลองความแข็งของแท่งตัวอย่างดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 2

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa | std |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|------|
| Average1 | 1.38 | 11.18 | 59778.33 | 28.55 | 0.16 |
| Average2 | 1.03 | 8.27 | 44870.83 | 21.22 | 0.18 |
| Average3 | .69 | 5.47 | 39605.00 | 19.81 | 0.64 |
| Average4 | .34 | 4.14 | 12460.00 | 6.30 | 0.55 |

ตารางที่ ข.17 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองความแข็งของแท่งตัวอย่างดินผสมแบบกึ่งแห้งชุดที่ 2

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Density Kg/m ³ | Water % | Shrinkage % |
|----------|----------------|---------------|------------------------------|------------|----------------|
| 1 a | 1.03 | 6.22 | 1443.0 | 11.54 | 1.48 |
| 2 a | | 6.22 | 1411.9 | 10.00 | 1.71 |
| 3 a | | 6.20 | 1388.8 | 12.88 | 0.29 |
| Average | | 6.22 | 1414.6 | 11.47 | 1.16 |
| 4 a | .69 | 4.15 | 1087.9 | 11.33 | 1.36 |
| 5 a | | 4.15 | 1180.7 | 11.56 | 0.41 |
| 6 a | | 4.15 | 1109.8 | 12.00 | 0.80 |
| Average | | 4.15 | 1111.1 | 11.63 | 0.86 |
| 7 a | 1.38 | 8.30 | 1457.6 | 8.57 | 1.51 |
| 8 a | | 8.30 | 1417.1 | 7.22 | 1.00 |
| 9 a | | 8.30 | 1387.8 | 8.33 | 1.00 |
| Average | | 8.30 | 1420.8 | 8.04 | 1.17 |
| 10 a | 2.07 | 12.45 | 1585.4 | 11.33 | 1.14 |
| 11 a | | 12.45 | 1655.4 | 9.38 | 1.08 |
| 12 a | | 12.45 | 1628.1 | 10.00 | 1.13 |
| Average | | 12.45 | 1623.0 | 10.24 | 1.12 |

ตารางที่ ข.18 ผลการทดลองอัดดินผสมแบบแห้ง

| Test No. | ความดัน MPa | Stress MPa | Compress Force N | Strength MPa |
|----------|----------------|---------------|------------------------|-----------------|
| 1 a | 1.03 | 6.22 | 17132.50 | 7.16 |
| 2 a | | 6.22 | 25365.00 | 10.56 |
| 3 a | | 6.22 | 22250.00 | 9.30 |
| Average | | 6.22 | 21582.50 | 9.01 |
| 4 a | .69 | 4.15 | 17800.00 | 7.41 |
| 5 a | | 4.15 | 17221.50 | 7.22 |
| 6 a | | 4.15 | 15219.00 | 6.36 |
| Average | | 4.15 | 16746.83 | 7.00 |
| 7 a | 1.38 | 8.30 | 43387.50 | 18.06 |
| 8 a | | 8.30 | 36935.00 | 15.55 |
| 9 a | | 8.30 | 39382.50 | 16.40 |
| Average | | 8.30 | 39901.67 | 16.67 |
| 10 a | 2.07 | 12.45 | 53400.00 | 22.15 |
| 11 a | | 12.45 | 44811.50 | 18.72 |
| 12 a | | 12.45 | 51175.00 | 21.54 |
| Average | | 12.45 | 49795.50 | 20.81 |

ตารางที่ ข.19 ผลการทดลองความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินผสมแบบแห้ง

ภาคผนวก ค.

ผลการคำนวณความเครียดของแม่พิมพ์ภายนอกที่ตำแหน่งต่างๆ

| t (mm) | ความเครียดที่เกิดในแม่พิมพ์เนื่องจากความดัน P ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7 \text{ N/m}^2$ | | | | |
|--------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 10.0 | - 3.986 | - 8.901 | - 15.544 | - 23.715 | - 33.215 |
| 10.5 | - 3.622 | - 8.091 | - 14.129 | - 21.555 | - 30.190 |
| 11.0 | - 3.307 | - 7.387 | - 12.900 | - 19.681 | - 27.566 |
| 11.5 | - 3.032 | - 6.773 | - 11.828 | - 18.045 | - 25.273 |
| 12.0 | - 2.791 | - 6.233 | - 10.886 | - 16.607 | - 23.259 |
| 12.5 | - 2.577 | - 5.757 | - 10.053 | - 15.337 | - 21.481 |
| 13.0 | - 2.388 | - 5.334 | - 9.314 | - 14.300 | - 19.902 |
| 13.5 | - 2.219 | - 4.956 | - 8.654 | - 13.204 | - 18.493 |
| 14.0 | - 2.068 | - 4.618 | - 8.064 | - 12.303 | - 17.231 |
| 14.5 | - 1.931 | - 4.314 | - 7.533 | - 11.493 | - 16.097 |
| 15.0 | - 1.809 | - 4.040 | - 7.054 | - 10.761 | - 15.073 |
| 15.5 | - 1.697 | - 3.791 | - 6.619 | - 10.099 | - 14.145 |
| 16.0 | - 1.596 | - 3.564 | - 6.222 | - 9.497 | - 13.302 |
| 16.5 | - 1.504 | - 3.359 | - 5.866 | - 8.949 | - 12.533 |
| 17.0 | - 1.419 | - 3.171 | - 5.537 | - 8.447 | - 11.831 |
| 17.5 | - 1.342 | - 2.998 | - 5.226 | - 7.988 | - 11.187 |
| 18.0 | - 1.272 | - 2.840 | - 4.959 | - 7.566 | - 10.596 |

ตารางที่ ค.1 ผลการคำนวณความเครียดที่เกิดในแม่พิมพ์เนื่องจากความดัน P ที่มุม θ ต่างๆ ที่ความหนาต่างๆ

| t (mm) | ความเครียดที่เกิดในแม่พิมพ์เนื่องจากความดัน P ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7$ N/m ² | | | | |
|--------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 18.5 | - 1.206 | - 2.694 | - 4.704 | - 7.177 | - 10.052 |
| 19.0 | - 1.146 | - 2.559 | - 4.469 | - 6.818 | - 9.549 |
| 19.5 | - 1.090 | - 2.435 | - 4.251 | - 6.486 | - 9.084 |
| 20.0 | - 1.038 | - 2.319 | - 4.049 | - 6.178 | - 8.653 |
| 20.5 | - 0.990 | - 2.212 | - 3.862 | - 5.892 | - 8.253 |
| 21.0 | - 0.946 | - 2.112 | - 3.688 | - 5.626 | - 7.880 |
| 21.5 | - 0.904 | - 2.019 | - 3.526 | - 5.378 | - 7.533 |
| 22.0 | - 0.865 | - 1.932 | - 3.374 | - 5.147 | - 7.209 |
| 22.5 | - 0.829 | - 1.851 | - 3.232 | - 4.931 | - 6.906 |
| 23.0 | - 0.795 | - 1.775 | - 3.099 | - 4.728 | - 6.623 |
| 23.5 | - 0.763 | - 1.704 | - 2.975 | - 4.538 | - 6.357 |
| 24.0 | - 0.733 | - 1.637 | - 2.856 | - 4.360 | - 6.107 |
| 24.5 | - 0.704 | - 1.574 | - 2.747 | - 4.192 | - 5.871 |
| 25.0 | - 0.678 | - 1.514 | - 2.644 | - 4.034 | - 5.650 |
| 25.5 | - 0.653 | - 1.458 | - 2.547 | - 3.885 | - 5.442 |
| 26.0 | - 0.629 | - 1.405 | - 2.455 | - 3.744 | - 5.245 |
| 26.5 | - 0.607 | - 1.356 | - 2.367 | - 3.611 | - 5.058 |
| 27.0 | - 0.586 | - 1.309 | - 2.285 | - 3.486 | - 4.883 |
| 27.5 | - 0.566 | - 1.264 | - 2.207 | - 3.367 | - 4.716 |
| 28.0 | - 0.547 | - 1.222 | - 2.133 | - 3.254 | - 4.558 |
| 28.5 | - 0.529 | - 1.181 | - 2.063 | - 3.147 | - 4.408 |

| t (mm) | ความเครียดที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์เนื่องจากความดัน P ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7 \text{ N/m}^2$ | | | | |
|--------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 29.0 | - 0.512 | - 1.143 | - 1.996 | - 3.046 | - 4.267 |
| 29.5 | - 0.496 | - 1.106 | - 1.933 | - 2.949 | - 4.131 |
| 30.0 | - 0.480 | - 1.072 | - 1.873 | - 2.857 | - 4.001 |
| 30.5 | - 0.466 | - 1.039 | - 1.815 | - 2.769 | - 3.879 |
| 31.0 | - 0.451 | - 1.008 | - 1.760 | - 2.686 | - 3.762 |
| 31.5 | - 0.438 | - 0.978 | - 1.709 | - 2.606 | - 3.651 |
| 32.0 | - 0.425 | - 0.949 | - 1.658 | - 2.530 | - 3.545 |
| 32.5 | - 0.413 | - 0.923 | - 1.611 | - 2.458 | - 3.443 |
| 33.0 | - 0.401 | - 0.897 | - 1.566 | - 2.389 | - 3.346 |
| 33.5 | - 0.390 | - 0.871 | - 1.522 | - 2.322 | - 3.253 |
| 34.0 | - 0.380 | - 0.848 | - 1.481 | - 2.259 | - 3.164 |
| 34.5 | - 0.369 | - 0.825 | - 1.441 | - 2.199 | - 3.079 |
| 35.0 | - 0.359 | - 0.803 | - 1.402 | - 2.140 | - 2.997 |
| 35.5 | - 0.350 | - 0.782 | - 1.366 | - 2.084 | - 2.919 |
| 36.0 | - 0.341 | - 0.762 | - 1.331 | - 2.031 | - 2.844 |
| 36.5 | - 0.332 | - 0.742 | - 1.297 | - 1.979 | - 2.772 |
| 37.0 | - 0.324 | - 0.724 | - 1.265 | - 1.929 | - 2.702 |
| 37.5 | - 0.316 | - 0.706 | - 1.233 | - 1.882 | - 2.636 |
| 38.0 | - 0.309 | - 0.689 | - 1.203 | - 1.836 | - 2.572 |
| 38.5 | - 0.301 | - 0.672 | - 1.174 | - 1.792 | - 2.511 |
| 39.0 | - 0.294 | - 0.657 | - 1.147 | - 1.750 | - 2.451 |

| t (mm) | ความเครียดที่เกิดในแม่พิมพ์เนื่องจากความดัน P ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7$ N/m ² | | | | |
|--------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 39.5 | - 0.287 | - 0.642 | - 1.120 | - 1.709 | - 2.394 |
| 40.0 | - 0.280 | - 0.627 | - 1.094 | - 1.670 | - 2.339 |
| 40.5 | - 0.274 | - 0.612 | - 1.069 | - 1.632 | - 2.286 |
| 41.0 | - 0.268 | - 0.599 | - 1.046 | - 1.596 | - 2.234 |
| 41.5 | - 0.622 | - 0.586 | - 1.023 | - 1.560 | - 2.185 |
| 42.0 | - 0.257 | - 0.573 | - 1.000 | - 1.526 | - 2.137 |
| 42.5 | - 0.251 | - 0.560 | - 0.979 | - 1.493 | - 2.091 |
| 43.0 | - 0.246 | - 0.549 | - 0.958 | - 1.461 | - 2.046 |
| 43.5 | - 0.240 | - 0.537 | - 0.937 | - 1.430 | - 2.003 |
| 44.0 | - 0.235 | - 0.525 | - 0.918 | - 1.401 | - 1.962 |
| 44.5 | - 0.230 | - 0.515 | - 0.899 | - 1.372 | - 1.922 |
| 45.0 | - 0.225 | - 0.504 | - 0.881 | - 1.344 | - 1.883 |
| 45.5 | - 0.221 | - 0.594 | - 0.881 | - 1.317 | - 1.845 |
| 46.0 | - 0.217 | - 0.485 | - 0.864 | - 1.291 | - 1.808 |
| 46.5 | - 0.213 | - 0.475 | - 0.830 | - 1.266 | - 1.773 |
| 47.0 | - 0.209 | - 0.466 | - 0.814 | - 1.242 | - 1.739 |
| 47.5 | - 0.204 | - 0.457 | - 0.798 | - 1.217 | - 1.705 |
| 48.0 | - 0.200 | - 0.448 | - 0.783 | - 1.195 | - 1.673 |
| 48.5 | - 0.197 | - 0.440 | - 0.768 | - 1.172 | - 1.642 |
| 49.0 | - 0.193 | - 0.432 | - 0.754 | - 1.150 | - 1.611 |
| 49.5 | - 0.189 | - 0.424 | - 0.740 | - 1.129 | - 1.582 |
| 50.0 | - 0.186 | - 0.416 | - 0.727 | - 1.109 | - 1.553 |

| t (mm) | ความเครียดที่เกิดในแม่พิมพ์เนื่องจากแรงกด F ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7$ N/m ² | | | | |
|--------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 10.0 | - 3.991 | - 8.914 | - 15.565 | - 23.747 | - 33.259 |
| 10.5 | - 3.628 | - 8.102 | - 14.149 | - 21.587 | - 30.234 |
| 11.0 | - 3.313 | - 7.399 | - 12.922 | - 19.713 | - 27.610 |
| 11.5 | - 3.038 | - 6.785 | - 11.848 | - 18.077 | - 25.318 |
| 12.0 | - 2.796 | - 6.246 | - 10.906 | - 16.663 | - 23.304 |
| 12.5 | - 2.583 | - 5.769 | - 10.074 | - 15.369 | - 21.525 |
| 13.0 | - 2.393 | - 5.346 | - 9.335 | - 14.241 | - 19.946 |
| 13.5 | - 2.224 | - 4.968 | - 8.676 | - 13.235 | - 18.537 |
| 14.0 | - 2.073 | - 4.629 | - 8.086 | - 12.334 | - 17.276 |
| 14.5 | - 1.936 | - 4.326 | - 7.554 | - 11.524 | - 16.141 |
| 15.0 | - 1.814 | - 4.051 | - 7.074 | - 10.793 | - 15.116 |
| 15.5 | - 1.702 | - 3.802 | - 6.640 | - 10.131 | - 14.189 |
| 16.0 | - 1.601 | - 3.576 | - 6.246 | - 9.529 | - 13.346 |
| 16.5 | - 1.510 | - 3.370 | - 5.886 | - 8.980 | - 12.577 |
| 17.0 | - 1.425 | - 3.182 | - 5.558 | - 8.479 | - 11.875 |
| 17.5 | - 1.347 | - 3.010 | - 5.257 | - 8.019 | - 11.231 |
| 18.0 | - 1.277 | - 2.851 | - 4.979 | - 7.597 | - 10.640 |
| 18.5 | - 1.211 | - 2.706 | - 4.724 | - 7.208 | - 10.096 |
| 19.0 | - 1.151 | - 2.570 | - 4.489 | - 6.849 | - 9.593 |
| 19.5 | - 1.095 | - 2.446 | - 4.272 | - 6.517 | - 9.128 |

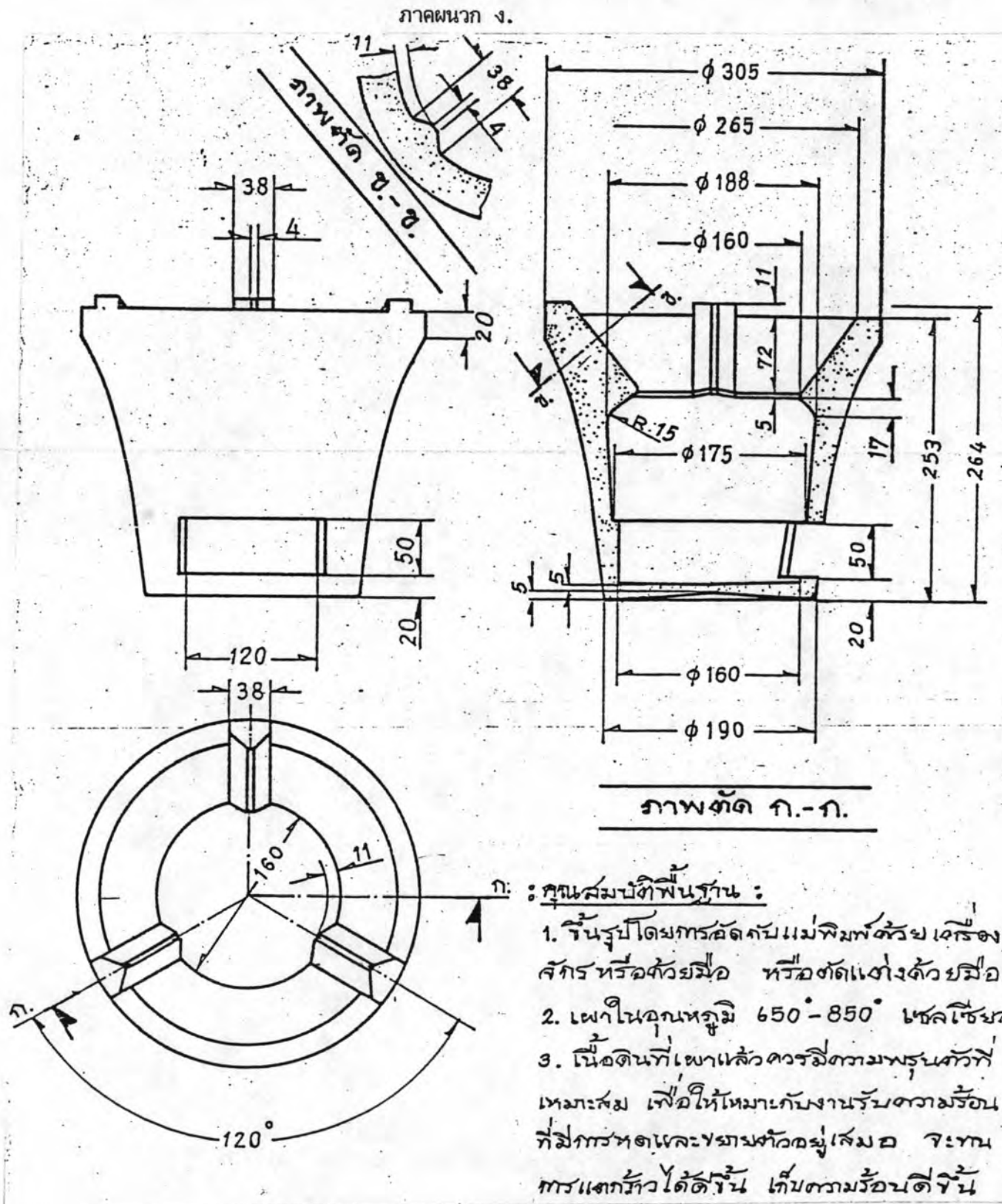
ตารางที่ ค.2 ผลการคำนวณความเครียดที่เกิดในแม่พิมพ์เนื่องจากความดัน F ที่มุม θ ต่างๆ ที่ความหนาต่างๆ

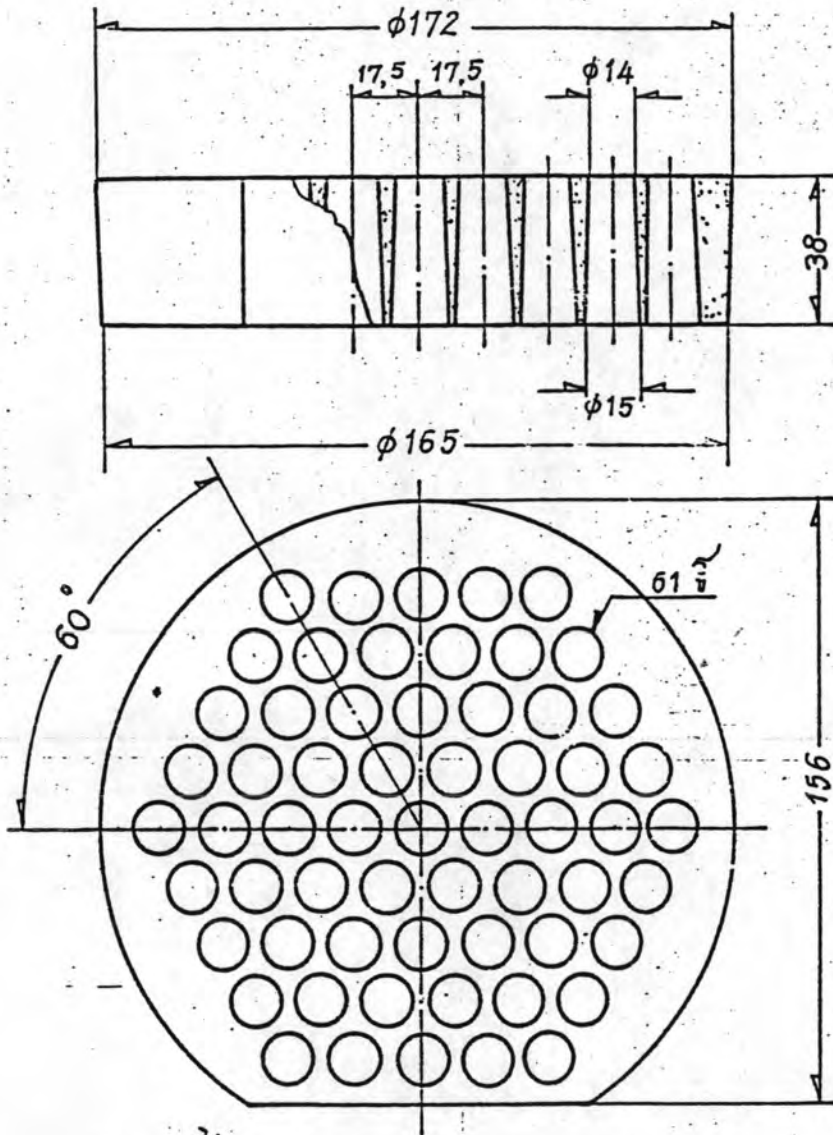
| t (mm) | ความเครียดที่เกิดในแมกนีมพ์เนื่องจากแรงกด F ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7 \text{ N/m}^2$ | | | | |
|--------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 20.0 | - 1.043 | - 2.330 | - 4.070 | - 6.209 | - 8.697 |
| 20.5 | - 0.996 | - 2.222 | - 3.883 | - 5.923 | - 8.296 |
| 21.0 | - 0.951 | - 2.124 | - 3.799 | - 5.657 | - 7.924 |
| 21.5 | - 0.909 | - 2.031 | - 3.546 | - 5.410 | - 7.577 |
| 22.0 | - 0.870 | - 1.944 | - 3.394 | - 5.179 | - 7.253 |
| 22.5 | - 0.833 | - 1.862 | - 3.252 | - 4.962 | - 6.949 |
| 23.0 | - 0.780 | - 1.786 | - 3.119 | - 4.759 | - 6.666 |
| 23.5 | - 0.767 | - 1.715 | - 2.995 | - 4.569 | - 6.399 |
| 24.0 | - 0.738 | - 1.648 | - 2.878 | - 4.391 | - 6.150 |
| 24.5 | - 0.709 | - 1.585 | - 2.768 | - 4.223 | - 5.915 |
| 25.0 | - 0.683 | - 1.525 | - 2.665 | - 4.065 | - 5.693 |
| 25.5 | - 0.658 | - 1.469 | - 2.567 | - 3.916 | - 5.485 |
| 26.0 | - 0.634 | - 1.417 | - 2.475 | - 3.775 | - 5.288 |
| 26.5 | - 0.612 | - 1.367 | - 2.388 | - 3.643 | - 5.101 |
| 27.0 | - 0.581 | - 1.320 | - 2.305 | - 3.517 | - 4.926 |
| 27.5 | - 0.571 | - 1.275 | - 2.227 | - 3.398 | - 4.759 |
| 28.0 | - 0.552 | - 1.233 | - 2.153 | - 3.285 | - 4.601 |
| 28.5 | - 0.534 | - 1.193 | - 2.083 | - 3.178 | - 4.451 |
| 29.0 | - 0.517 | - 1.155 | - 2.016 | - 3.076 | - 4.308 |
| 29.5 | - 0.500 | - 1.119 | - 1.953 | - 2.979 | - 4.174 |
| 30.0 | - 0.485 | - 1.084 | - 1.893 | - 2.887 | - 4.044 |

| t (mm) | ความเครียดที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์เนื่องจากแรงกด F ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7$ N/m ² | | | | |
|--------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 30.5 | - 0.470 | - 1.051 | - 1.835 | - 2.800 | - 3.922 |
| 31.0 | - 0.456 | - 1.019 | - 1.781 | - 2.716 | - 3.805 |
| 31.5 | - 0.443 | - 0.989 | - 1.729 | - 2.637 | - 3.693 |
| 32.0 | - 0.430 | - 0.961 | - 1.679 | - 2.561 | - 3.587 |
| 32.5 | - 0.418 | - 0.934 | - 1.631 | - 2.488 | - 3.485 |
| 33.0 | - 0.407 | - 0.908 | - 1.586 | - 2.419 | - 3.388 |
| 33.5 | - 0.395 | - 0.883 | - 1.542 | - 2.353 | - 3.296 |
| 34.0 | - 0.384 | - 0.859 | - 1.500 | - 2.289 | - 3.207 |
| 34.5 | - 0.375 | - 0.836 | - 1.461 | - 2.229 | - 3.121 |
| 35.0 | - 0.365 | - 0.814 | - 1.423 | - 2.170 | - 3.040 |
| 35.5 | - 0.355 | - 0.794 | - 1.386 | - 2.115 | - 2.961 |
| 36.0 | - 0.346 | - 0.773 | - 1.351 | - 2.061 | - 2.886 |
| 36.5 | - 0.338 | - 0.754 | - 1.317 | - 2.009 | - 2.814 |
| 37.0 | - 0.329 | - 0.735 | - 1.285 | - 1.960 | - 2.745 |
| 37.5 | - 0.321 | - 0.717 | - 1.254 | - 1.912 | - 2.678 |
| 38.0 | - 0.314 | - 0.700 | - 1.224 | - 1.867 | - 2.614 |
| 38.5 | - 0.306 | - 0.684 | - 1.195 | - 1.823 | - 2.552 |
| 39.0 | - 0.299 | - 0.668 | - 1.167 | - 1.708 | - 2.493 |
| 39.5 | - 0.292 | - 0.652 | - 1.140 | - 1.739 | - 2.436 |
| 40.0 | - 0.285 | - 0.638 | - 1.114 | - 1.700 | - 2.381 |
| 40.5 | - 0.279 | - 0.623 | - 1.089 | - 1.662 | - 2.328 |

| t (mm) | ความเครียดที่เกิดในแม่พิมพ์เนื่องจากแรงกด F ที่มุม θ ต่างๆ $\times 10^7$ N/m ² | | | | |
|--------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | $\theta = 20^\circ$ | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 40^\circ$ | $\theta = 50^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ |
| 41.0 | - 0.273 | - 0.610 | - 1.065 | - 1.625 | - 2.276 |
| 41.5 | - 0.267 | - 0.596 | - 1.042 | - 1.590 | - 2.227 |
| 42.0 | - 0.261 | - 0.584 | - 1.020 | - 1.556 | - 2.179 |
| 42.5 | - 0.256 | - 0.571 | - 0.998 | - 1.523 | - 2.133 |
| 43.0 | - 0.250 | - 0.559 | - 0.977 | - 1.491 | - 2.088 |
| 43.5 | - 0.245 | - 0.548 | - 0.957 | - 1.460 | - 2.045 |
| 44.0 | - 0.240 | - 0.537 | - 0.938 | - 1.431 | - 2.004 |
| 44.5 | - 0.236 | - 0.526 | - 0.919 | - 1.402 | - 1.963 |
| 45.0 | - 0.230 | - 0.516 | - 0.900 | - 1.374 | - 1.924 |
| 45.5 | - 0.226 | - 0.505 | - 0.883 | - 1.347 | - 1.887 |
| 46.0 | - 0.222 | - 0.496 | - 0.866 | - 1.321 | - 1.850 |
| 46.5 | - 0.217 | - 0.486 | - 0.849 | - 1.295 | - 1.814 |
| 47.0 | - 0.213 | - 0.477 | - 0.833 | - 1.271 | - 1.780 |
| 47.5 | - 0.209 | - 0.468 | - 0.818 | - 1.247 | - 1.747 |
| 48.0 | - 0.205 | - 0.459 | - 0.803 | - 1.224 | - 1.715 |
| 48.5 | - 0.202 | - 0.451 | - 0.788 | - 1.202 | - 1.683 |
| 49.0 | - 0.198 | - 0.443 | - 0.774 | - 1.180 | - 1.653 |
| 49.5 | - 0.195 | - 0.435 | - 0.760 | - 1.159 | - 1.623 |
| 50.0 | - 0.191 | - 0.427 | - 0.746 | - 1.138 | - 1.594 |

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

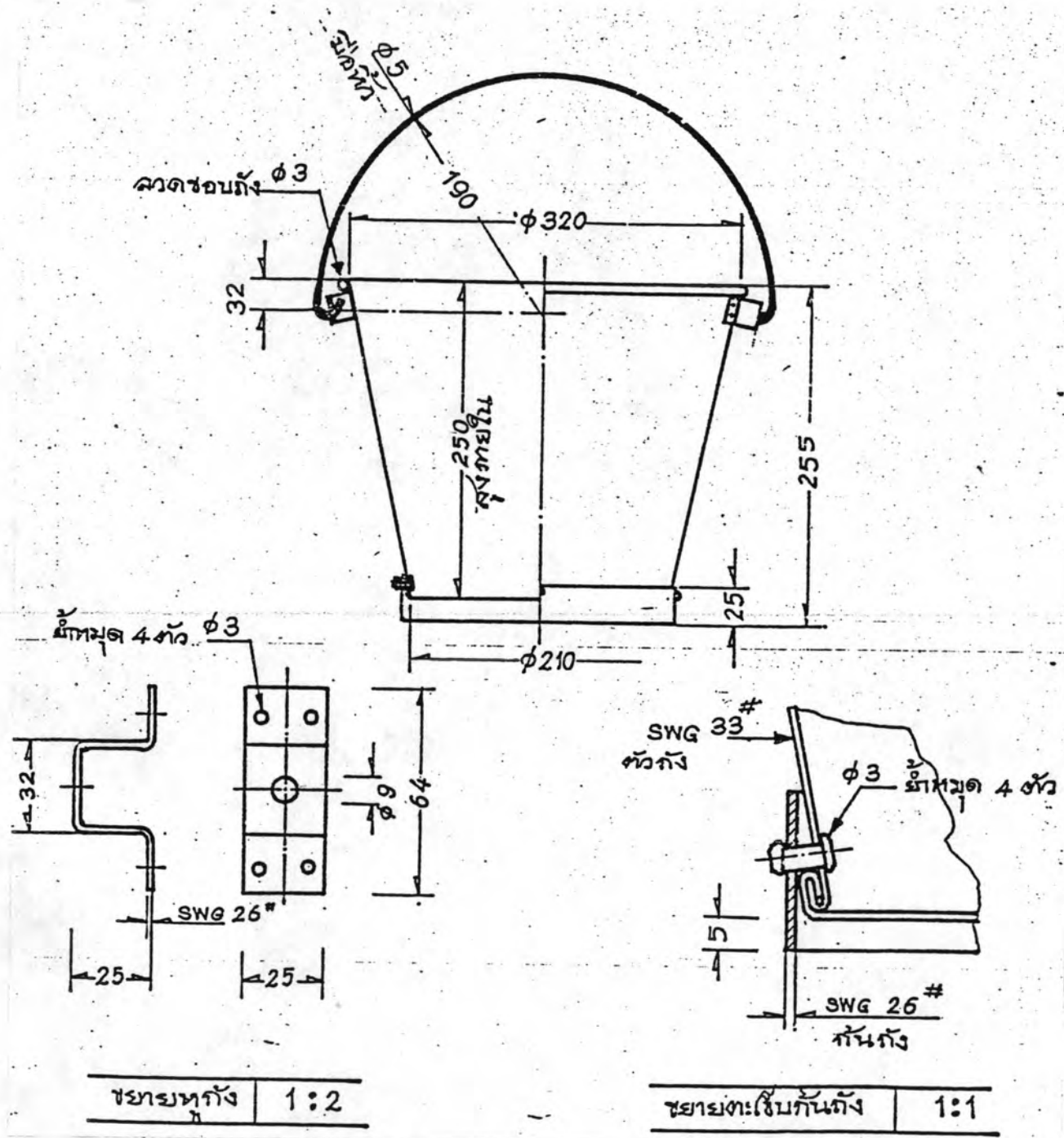




: คุณสมบัติพื้นฐาน

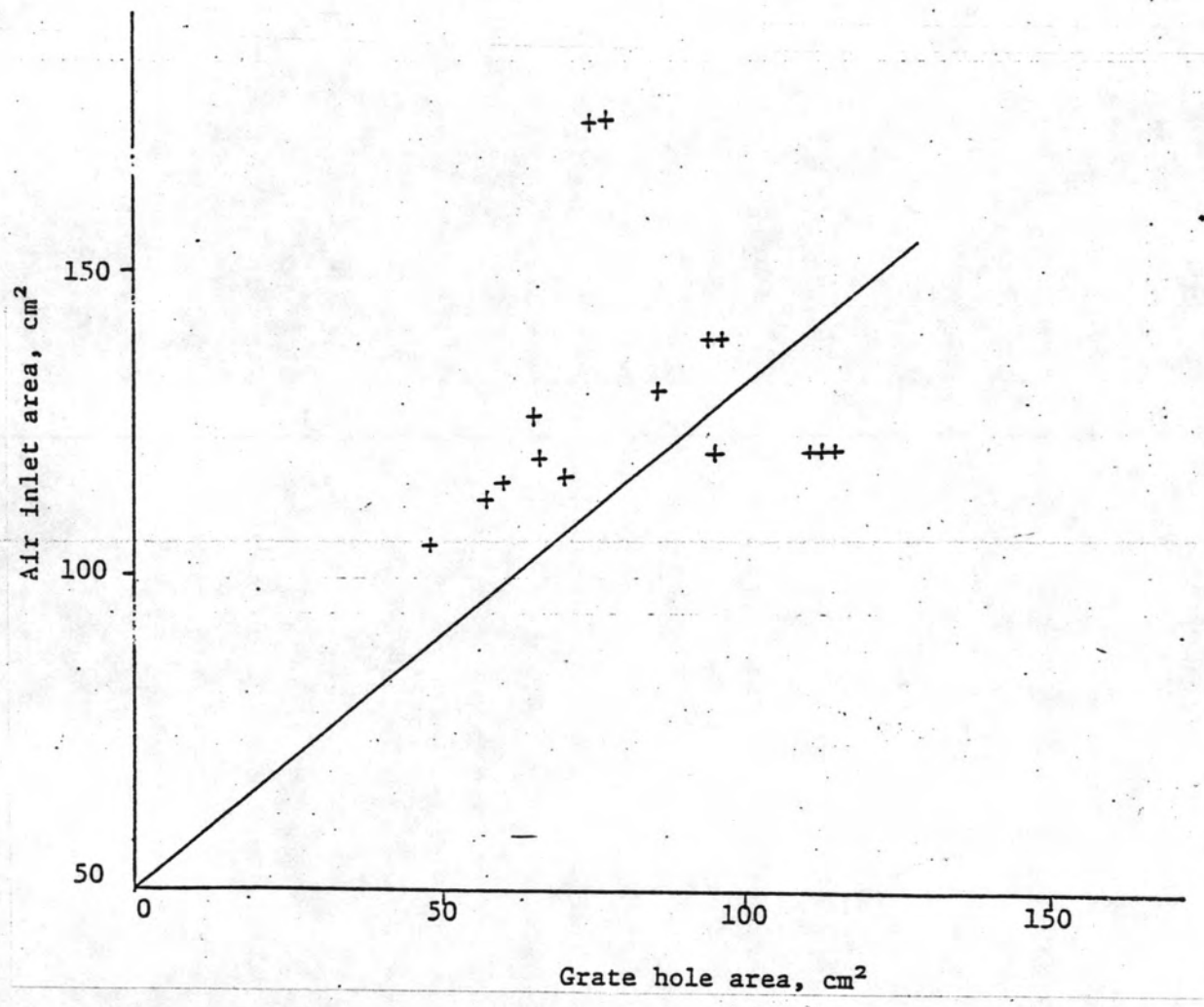
- 1, ขึ้นรูปโดยการผลิตแม่พิมพ์ด้วยเครื่องจักรหรือด้วยมือ หรือตัดแต่งด้วยมือ
- 2, ทำเผา ช่องเผาที่อุณหภูมิ 650°-850° เซลเซียส
- 3, เมื่อเดินที่ผ่านเผาแล้ว หรือผ่านการใช้งานทุกชั่วโมงแล้ว ควรทำความสะอาด ส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้เหมาะกับการยืดหดตัวจากความร้อน และเก็บความร้อนได้ดี

รูปที่ ง.2 แบบสันเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงชนิดใช้ถ่าน

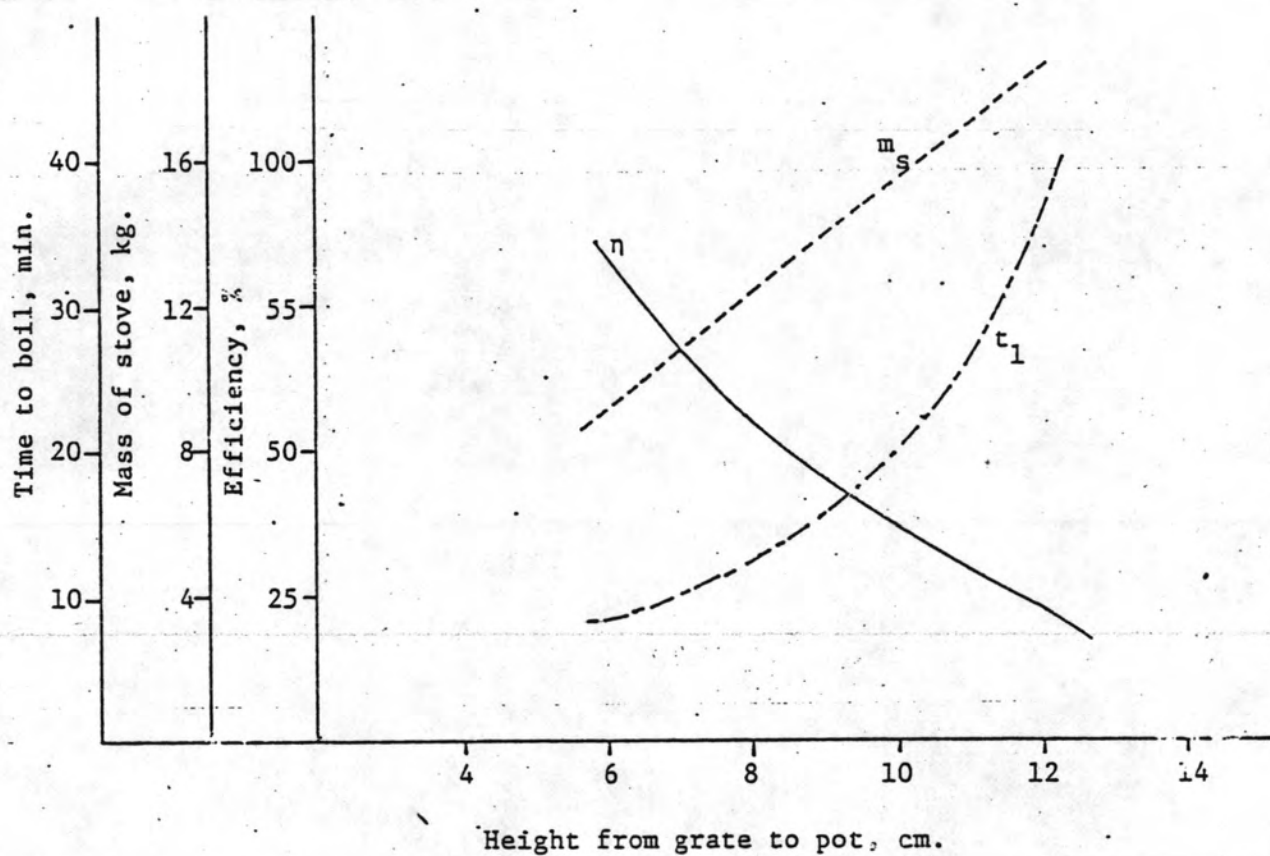


รูปที่ ง.3 แบบถังหุ้มเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงชนิดใช้ถ่าน

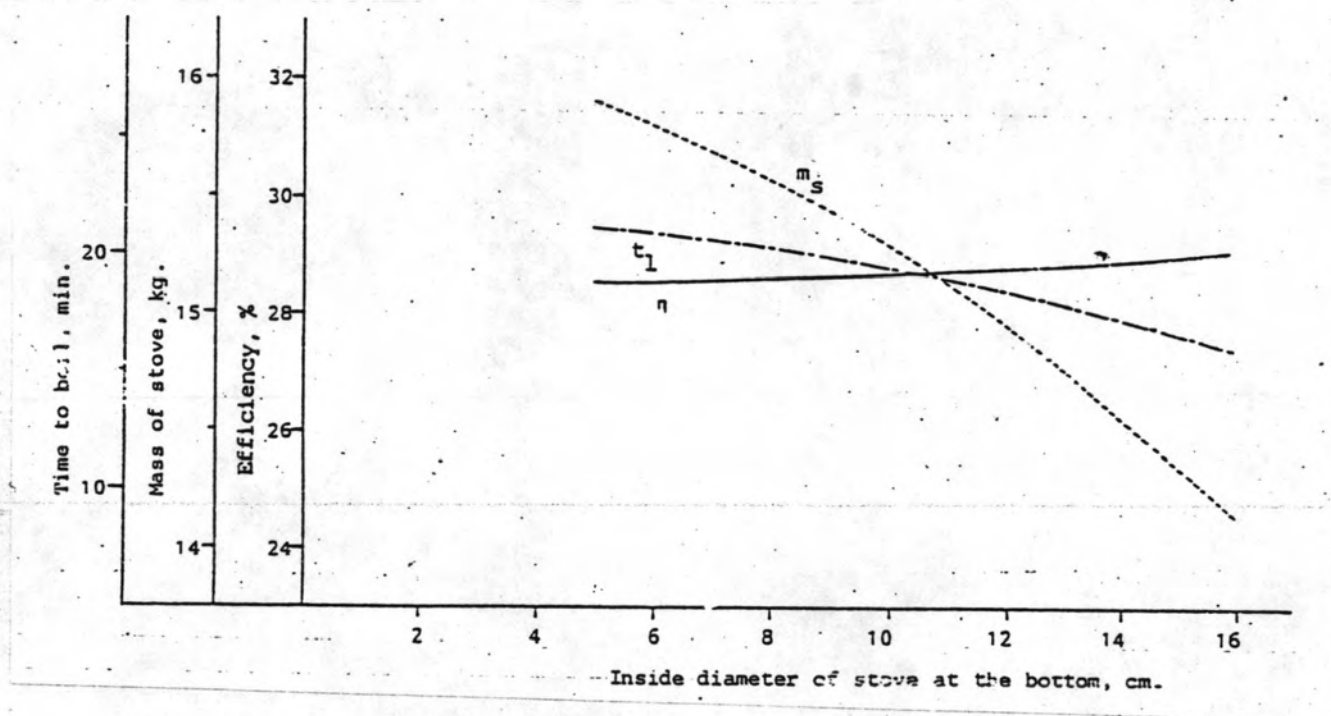
ภาคผนวก จ.



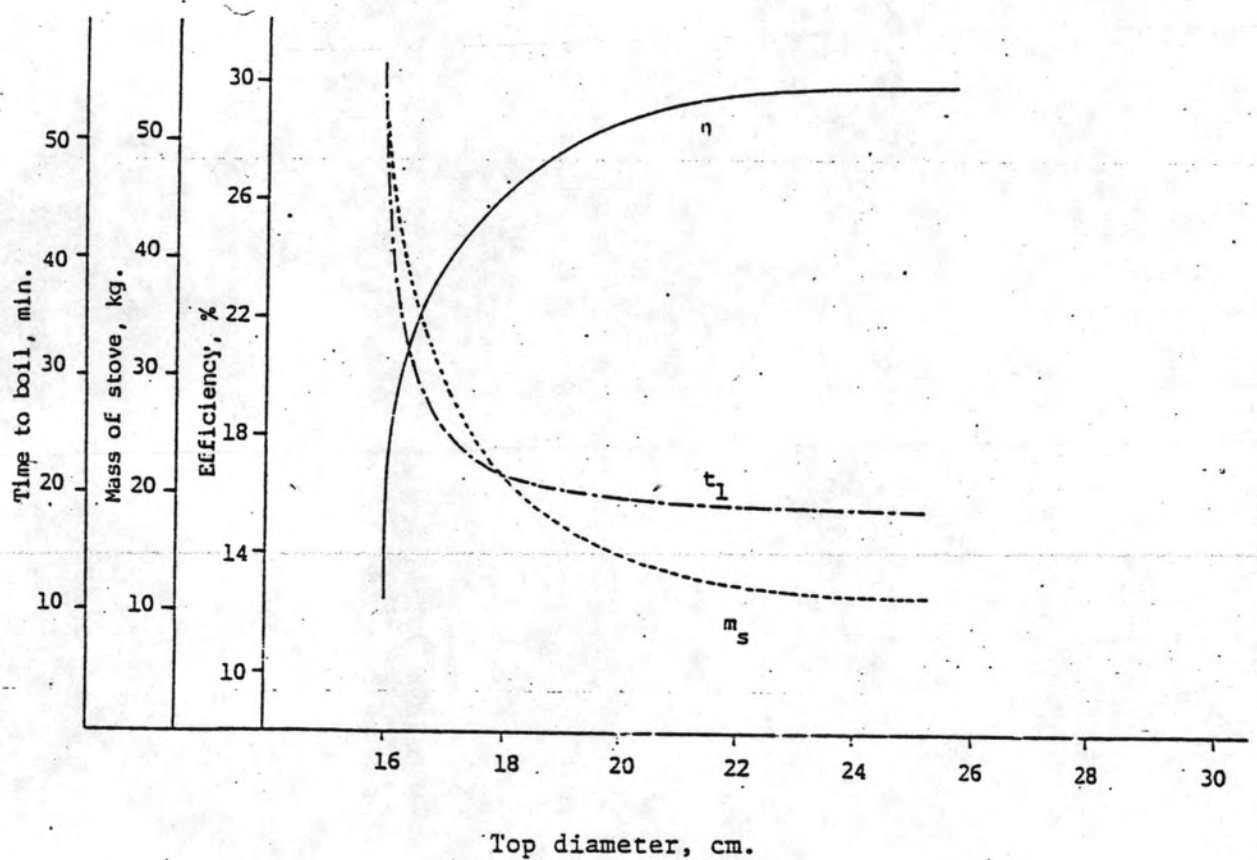
รูปที่ จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Grate hold area กับ Air inlet area



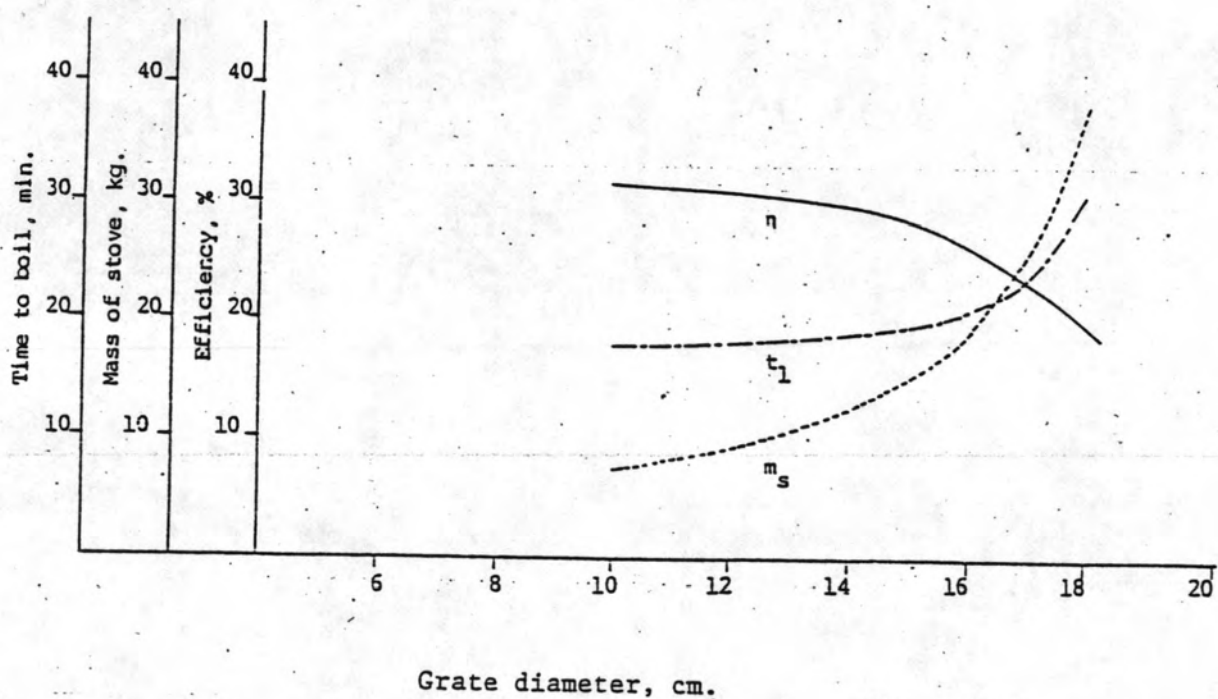
รูปที่ ๓.๒ ความสัมพันธ์ของ ระยะจากประตูเตาถึงเส้า กับ ประสิทธิภาพของเตา, มวลของเตา และ เวลาต้มน้ำเดือด



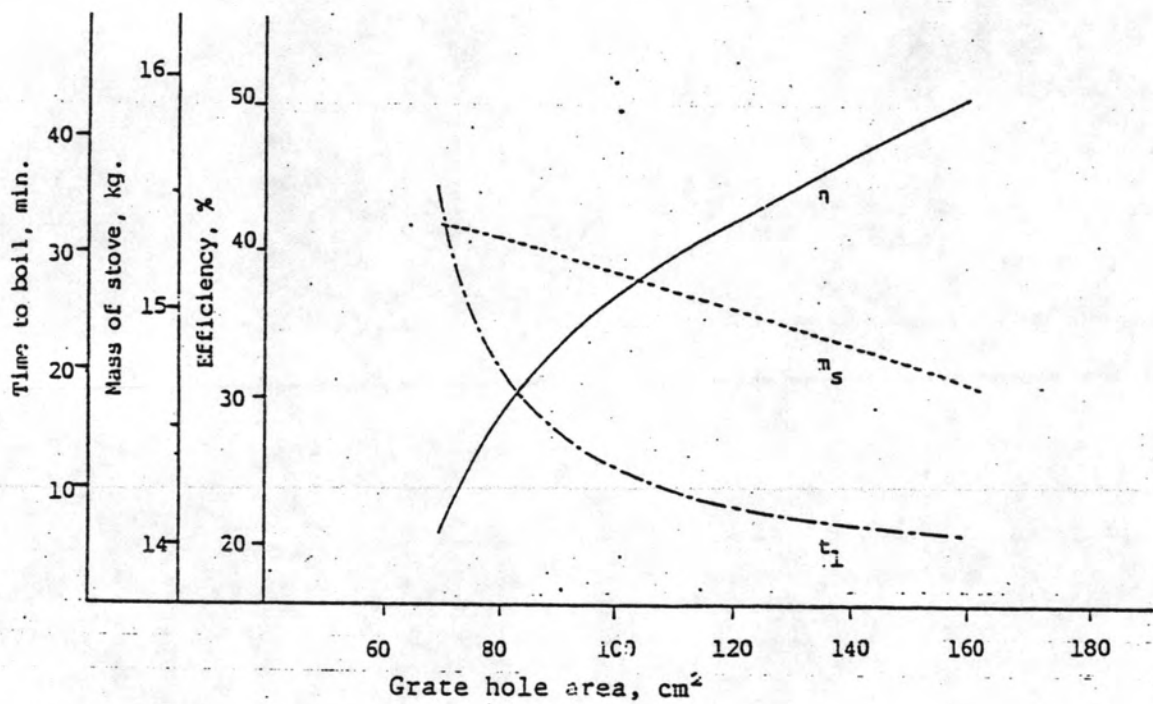
รูปที่ ๓.๓ ความสัมพันธ์ของ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในกับ ประสิทธิภาพของเตา, มวลของเตา และ เวลาน้ำเดือด



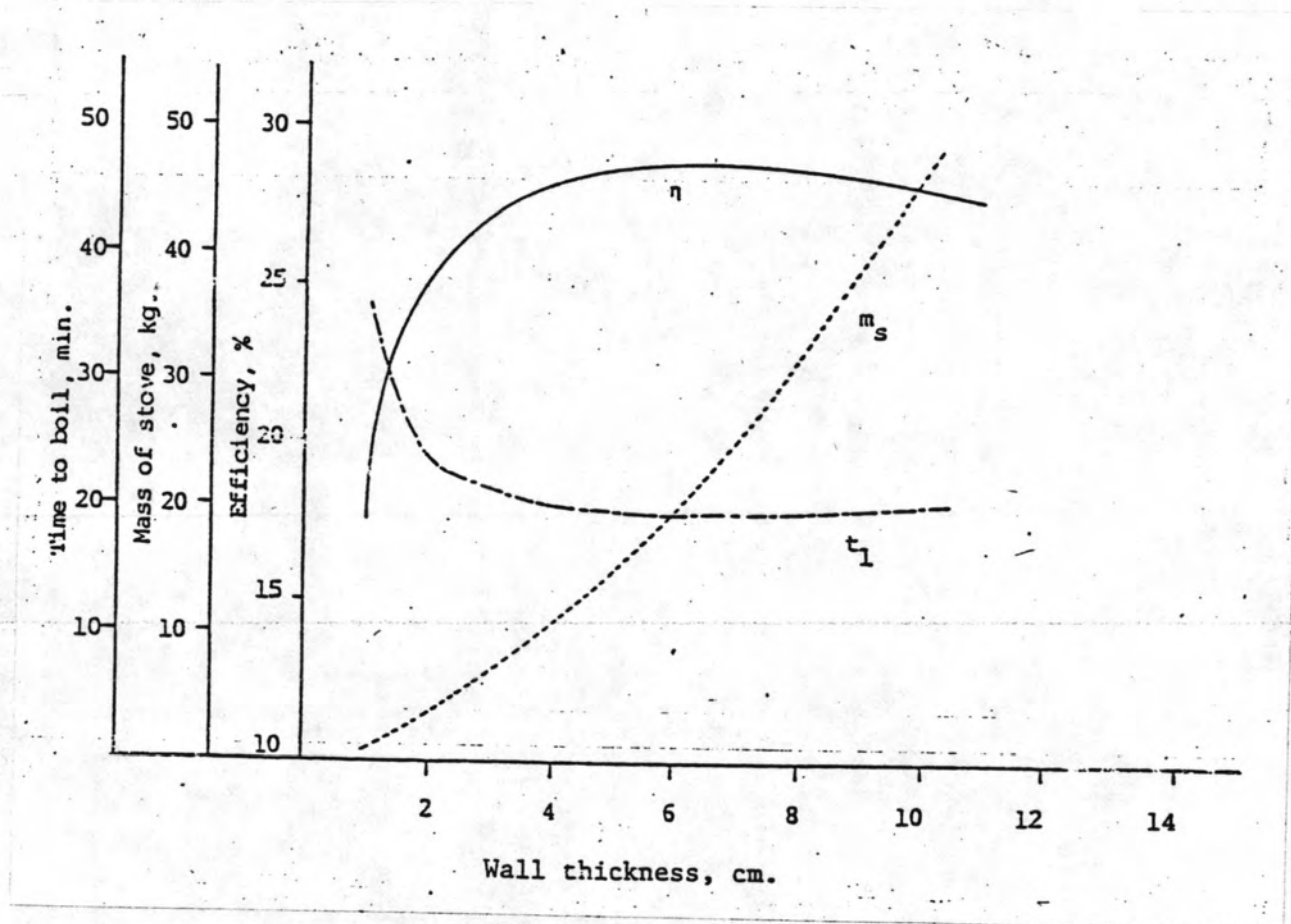
รูปที่ ๖.๔ ความสัมพันธ์ของ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเตา กับ ประสิทธิภาพของเตา, มวลของเตา และ เวลาต้มน้ำเดือด



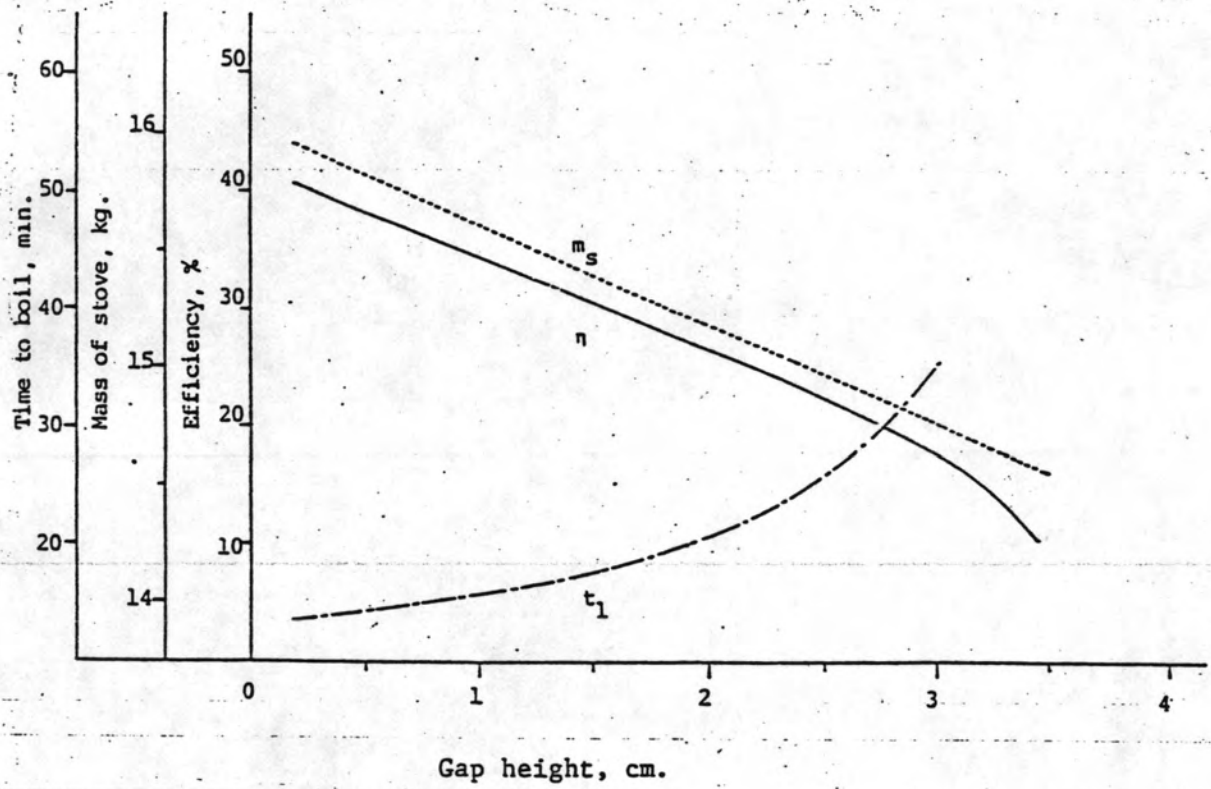
รูปที่ ๑.๕ ความสัมพันธ์ของ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในปากเตากับ ประสิทธิภาพของเตา, มวลของเตา และ เวลาน้ำเดือด



รูปที่ ๓.๖ ความสัมพันธ์ของ Grate hold area กับ ประสิทธิภาพของเตา, มวลของเตา และ เวลาต้มน้ำเดือด



รูปที่ ๓.๗ ความสัมพันธ์ของ ความหนาของผนังเตา กับ ประสิทธิภาพของเตา,มวลของเตา และ เวลาต้มน้ำเดือด



รูปที่ ๖.๘ ความสัมพันธ์ของ ความสูงของเส้าเตา กับ ประสิทธิภาพของเตา,มวลของเตา และ เวลาต้มน้ำเดือด

ภาคผนวก ฉ
การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาการจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง ของศูนย์วิจัยและอบรมพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ต้นทุนในการการตั้งโรงงานผลิตเตาขนาดต่างๆ โดยแบ่งโรงงานออกเป็น 3 ขนาดคือ โรงงานขนาดเล็ก (1000-2000เตา/เดือน) , โรงงานขนาดกลาง (2000-6000เตา/เดือน) และ โรงงานขนาดใหญ่ (6000-12000เตา/เดือน) เป็นดังนี้

$$TC = TFC + TVC + TAC + TAX$$

| | | |
|-----|-----|----------------------|
| TC | คือ | ต้นทุนรวม |
| TFC | คือ | ต้นทุนคงที่ทั้งสิ้น |
| TVC | คือ | ต้นทุนผันแปรทั้งสิ้น |
| TAC | คือ | ต้นทุนดำเนินงานรวม |
| TAX | คือ | ภาษี |

ต้นทุนคงที่

ต้นทุนนี้ส่วนใหญ่เป็นต้นทุนที่ผู้ผลิตต้องจ่ายเมื่อเริ่มประกอบการ และจะไม่ผันแปรตามปริมาณการผลิต ซึ่งจะประกอบด้วย ค่าที่ดิน ค่าก่อสร้างอาคารโรงงาน ค่าเครื่องจักร ฯลฯ จากข้อมูลที่สำรวจมาได้ แสดงไว้ในตารางที่ ฉ.1, ฉ.2 และ ฉ.3

ต้นทุนผันแปร

ต้นทุนผันแปร จะประกอบด้วยค่าแรงงานและวัตถุดิบ สำหรับค่าแรงงานในการผลิตเตาประสิทธิภาพสูง จะเป็นดังนี้

| | | | |
|--------------------------|---|----|-----------|
| ค่าแรงในการปั้นเตา | = | 6 | บาทต่อเตา |
| ค่าแรงในการสวมถัง | = | 4 | " |
| ค่าทำและเจาะรังผึ้ง | = | 3 | " |
| ค่าแรงเบ็ดเตล็ดและเผาเตา | = | 5 | " |
| รวม | = | 18 | " |

สำหรับวัสดุ จะประกอบด้วย

| | | | |
|---------------|---|-------|---|
| ดินเหนียว | = | 0.76 | " |
| แกลบดำ | = | 0.56 | " |
| เชื้อเพลิง | = | 0.55 | " |
| ค่าถังสังกะสี | = | 24.00 | " |
| รวม | = | 25.87 | " |

เมื่อรวมต้นทุนผันแปรทั้งหมดแล้ว เป็นเงินต้นทุนทั้งสิ้นถึงเตาละ 43.87 "

ต้นทุนดำเนินงานและภาษี

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนผันแปรสำหรับโรงงานขนาดเล็ก และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนผันแปรสำหรับโรงงานขนาดกลาง และ ขนาดใหญ่

ภาษีที่ผู้ผลิตต้องจ่ายได้แก่ ภาษีการค้า 9 เปอร์เซ็นต์ ของยอดขาย และภาษีบำรุงพื้นที่ 1 เปอร์เซ็นต์ของยอดขาย รวมเป็น 10 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นต้นทุนรวมในการจัดตั้งโรงงานผลิตเตาฯสามารถคำนวณได้ สมมติให้โรงงานผลิตเตาฯ ขนาดเล็กผลิตเตา 1000 เตา/เดือน , ขนาดกลาง 3000 เตา/เดือน และ ขนาดใหญ่ 7000 เตา/เดือน โรงงานทั้งหมดใช้เงินเป็นเชื้อเพลิงในการเผาเตาฯ ดังนี้

(1) โรงงานขนาดเล็ก มีสมการต้นทุนดังนี้

$$\begin{aligned} TC &= 70300 + 43.87x + .08(43.87x) + .1(70x) \\ &= 70300 + 54.38x \end{aligned}$$

(2) โรงงานขนาดกลาง มีสมการต้นทุนดังนี้

$$\begin{aligned} TC &= 1185500 + 43.87x + .1(43.87x) + .1(70x) \\ &= 1185500 + 55.26x \end{aligned}$$

| ลำดับที่ | รายการ | หน่วย | จำนวน | ราคา/หน่วย | มูลค่า |
|----------------------------|---|-------|-------|------------|--------|
| 1 | ที่ดิน | ตร.ม | 1600 | 50 | 80000 |
| 2 | อาคารโรงงานและสำนักงาน | ตร.ม | 600 | 700 | 420000 |
| 3 | เฟอร์นิเจอร์สำนักงานและห้อง โชว์สินค้า | เหมา | - | - | 10000 |
| 4 | เครื่องจักรและอุปกรณ์ | | | | |
| | 4.1 เครื่องนวดดิน | ชุด | 1 | 25000 | 25000 |
| | 4.2 รถเข็นดินและแกลบ | คัน | 1 | 2000 | 2000 |
| | 4.3 หน่วยปั้นขึ้นรูปเตาฯ | ชุด | 1 | 1500 | 1500 |
| | 4.4 รถเข็น | คัน | 1 | 2500 | 2500 |
| | 4.5 ชั้นตากเตาฯ | ชุด | 4 | 4000 | 4000 |
| | 4.6 เตาเผา | เตา | 1 | | |
| | - แบบใช้ฟืน | | | 20000 | * |
| | - แบบใช้แกลบ1 | | | 70000 | |
| | - แบบใช้แกลบ 2 | | | 55000 | |
| | 4.7 หน่วยผลิตถังสังกะสี | ชุด | 1 | 8000 | 8000 |
| 7 | รถบรรทุก | คัน | 1 | 100000 | 100000 |
| 8 | ค่าใช้จ่ายติดตั้งระบบไฟฟ้า | เหมา | | | 10000 |
| 9 | ค่าใช้จ่ายติดตั้งปะปา | เหมา | | | 8000 |
| ต้นทุนคงที่ยังไม่รวมเตาเผา | | | | | 683000 |

หมายเหตุ * แล้วแต่จะเลือกแบบใดแบบหนึ่ง
ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงที่ หน้า 70

ตารางที่ ฉ.1 ต้นทุนคงที่ของโรงงานขนาดเล็ก

| ลำดับที่ | รายการ | หน่วย | จำนวน | ราคา/หน่วย | มูลค่า |
|----------------------------|--|-------|-------|------------|---------|
| 1 | ที่ดิน | ตร.ม | 2400 | 50 | 120000 |
| 2 | อาคารโรงงานและสำนักงาน | ตร.ม | 1000 | 700 | 700000 |
| 3 | เฟอร์นิเจอร์สำนักงานและห้อง โหวลีนค้า | เหมา | - | - | 18000 |
| 4 | เครื่องจักรและอุปกรณ์ | | | | |
| | 4.1 เครื่องนวดดิน | ชุด | 2 | 25000 | 50000 |
| | 4.2 รถเข็นดินและแกลบ | คัน | 1 | 2000 | 2000 |
| | 4.3 หน่วยบั่นชิ้นรูปเตาฯ | ชุด | 3 | 1500 | 4500 |
| | 4.4 รถเข็น | คัน | 2 | 2500 | 5000 |
| | 4.5 ชั้นตากเตาฯ | ชุด | 7 | 4000 | 28000 |
| | 4.6 เตาเผา | เตา | 1 | | |
| | - แบบใช้ฟืน | | | 20000 | * |
| | - แบบใช้แกลบ 1 | | | 70000 | |
| | - แบบใช้แกลบ 2 | | | 55000 | |
| | 4.7 หน่วยผลิตถังสังกะสี | ชุด | 1 | 8000 | 8000 |
| 7 | รถบรรทุก | คัน | 1 | 200000 | 200000 |
| 8 | ค่าใช้จ่ายติดตั้งระบบไฟฟ้า | เหมา | | | 20000 |
| 9 | ค่าใช้จ่ายติดตั้งปะปา | เหมา | | | 12000 |
| ต้นทุนคงที่ยังไม่รวมเตาเผา | | | | | 1165500 |

หมายเหตุ * แล้วแต่จะเลือกแบบใดแบบหนึ่ง
ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงที่ หน้า 70

ตารางที่ ณ.2 ต้นทุนคงที่ของโรงงานขนาดกลาง

| ลำดับที่ | รายการ | หน่วย | จำนวน | ราคา/หน่วย | มูลค่า |
|----------------------------|---|-------|-------|--|---------|
| 1 | ที่ดิน | ตร.ม | 3200 | 50 | 160000 |
| 2 | อาคารโรงงานและสำนักงาน | ตร.ม | 1500 | 700 | 1050000 |
| 3 | เฟอร์นิเจอร์สำนักงานและห้อง โชว์สินค้า | เหมา | - | - | 20000 |
| 4 | เครื่องจักรและอุปกรณ์ | | | | |
| | 4.1 เครื่องนวดดิน | ชุด | 4 | 25000 | 100000 |
| | 4.2 รถเข็นดินและแกลบ | คัน | 2 | 2000 | 4000 |
| | 4.3 หน่วยปั้นขึ้นรูปเตาฯ | ชุด | 7 | 1500 | 10500 |
| | 4.4 รถเข็น | คัน | 4 | 2500 | 10000 |
| | 4.5 ชั้นตากเตาฯ | ชุด | 14 | 4000 | 56000 |
| | 4.6 เตาเผา | เตา | 1 | | |
| | - แบบใช้ฟืน | | | 20000 | * |
| | - แบบใช้แกลบ1 | | | 70000 | |
| | - แบบใช้แกลบ 2 | | | 55000 | |
| | 4.7 หน่วยผลิตถังสังกะสี | ชุด | 3 | 8000 | 24000 |
| 7 | รถบรรทุก | คัน | 2 | 300000 ¹ 500000 ² | 800000 |
| 8 | ค่าใช้จ่ายติดตั้งระบบไฟฟ้า | เหมา | | | 30000 |
| 9 | ค่าใช้จ่ายติดตั้งปะปา | เหมา | | | 18000 |
| ต้นทุนคงที่ยังไม่รวมเตาเผา | | | | | 2282500 |

หมายเหตุ

* แล้วแต่จะเลือกแบบใดแบบหนึ่ง

1.ราคารถหกล้อใช้แล้ว

2.ราคารถหกล้อใหม่

ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงที่ หน้า 70

ตารางที่ ฉ.3 ต้นทุนคงที่ของโรงงานขนาดใหญ่

(3) โรงงานขนาดใหญ่ มีสมการต้นทุนดังนี้

$$\begin{aligned} TC &= 2322500 + 43.87x + .1(43.87x) + .1(70x) \\ &= 2322500 + 55.26x \end{aligned}$$

เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงนั้นมีราคาขายในท้องตลาดเตาละ 70 บาทต่อเตา ดังนั้น
รายรับรวมของโรงงาน จะเป็นดังนี้

$$TR = 70x$$

การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน จะเป็นดังนี้

$$TR = TC$$

(1) โรงงานขนาดเล็ก

$$70x = 703000 + 54.38x$$

$$x = 45000 \quad \text{เตา}$$

(2) โรงงานขนาดกลาง

$$70x = 1185500 + 55.26x$$

$$x = 80428 \quad \text{เตา}$$

(3) โรงงานขนาดใหญ่

$$70x = 2322500 + 55.26x$$

$$x = 157565 \quad \text{เตา}$$

การใช้เครื่องผลิตเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงมาใช้แทนการปั้นด้วยมือนั้นจะเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเป็นดังนี้

| | | |
|----------------------------------|--------|---------|
| ราคาแม่พิมพ์อัดและแม่พิมพ์ภายนอก | 20000 | บาท/ชุด |
| ค่ากระบอกลูกเหล็กและอุปกรณ์ | 120000 | " |
| ค่าแท่นอัดและเฟรม | 60000 | " |
| ค่าเครื่องคว้านห้องเผาไหม้ | 5000 | " |
| รวมราคาเครื่องจักร | 205000 | " |

ในการควบคุมเครื่องจักรไม่จำเป็นต้องใช้ช่างชำนาญงาน เพียงแต่ใช้คนงานทั่วไป 1 คน/เครื่องทำให้สามารถลดค่าแรงในการผลิตได้ ถ้าถือค่าแรงขั้นต่ำ 93 บาท/วันเป็นหลัก และโรงงานทำการผลิต 26 วันต่อเดือนดังนั้นสามารถคำนวณค่าแรงต่อเตาได้คือ

| | | |
|-----------------------------|----------------|---------------|
| อัตราการผลิตเตาปกติ | 3000 | เตาต่อเดือน |
| ค่าแรงคนงานคุมเครื่อง | 93×26 | = 2418 บาท |
| ค่าแรงคนงานคว้านห้องเผาไหม้ | | = 1200 " |
| ค่าแรงรวม | | = 3618 " |
| ค่าแรงต่อเตา | | = $3618/3000$ |
| | | = 1.2 บาท |

ค่าแรงผันแปรจะลดลงในส่วนค่าช่างปั้นเตา $6 - 1.2 = 4.8$ บาท นั้นหมายความว่าต้นทุนต่อเตาจะลดเหลือ $43.87 - 4.8 = 39.07$ บาท จุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องผลิตเตาฯแทนการปั้นด้วยมือเป็นดังนี้

(1) โรงงานขนาดเล็ก ใช้เครื่องผลิตเตาฯ 1 ชุด (ผลิต1000เตา/เดือน)

$$70x = 906500 + 39.07x + .08(39.07x) + .1(70x)$$

$$= 906500 + 49.2x$$

$$x = 43582 \text{ เตา}$$

(2) โรงงานขนาดกลาง ใช้เครื่องผลิตเตาฯ 1 ชุด (ผลิต3000เตา/เดือน)

$$\begin{aligned} 70x &= 1386000 + 39.07x + .1(39.07x) + .1(70x) \\ &= 1386000 + 50x \end{aligned}$$

$$x = 69300 \quad \text{เตา}$$

(3) โรงงานขนาดกลาง ใช้เครื่องผลิตเตาฯ 2 ชุด (ผลิต3000เตา/เดือน)

$$\begin{aligned} 70x &= 1591000 + 39.07x + .1(39.07x) + .1(70x) \\ &= 1591000 + 50x \end{aligned}$$

$$x = 79550 \quad \text{เตา}$$

(4) โรงงานขนาดใหญ่ ใช้เครื่องผลิตเตาฯ 3 ชุด (ผลิต7000เตา/เดือน)

$$\begin{aligned} 70x &= 2927000 + 39.07x + .1(39.07x) + .1(70x) \\ &= 2927000 + 50x \end{aligned}$$

$$x = 146350 \quad \text{เตา}$$

ถ้าอัตราการผลิตของโรงงานขนาดเล็ก 12000 เตาท่อปี จุดคุ้มทุน ของการปั้นด้วยมือใช้ระยะเวลา 3 ปี 9 เดือน และ 3 ปี 7 เดือน สำหรับการผลิตด้วยเครื่อง

ถ้าอัตราการผลิตของโรงงานขนาดกลาง 36000 เตาท่อปี จุดคุ้มทุนของการปั้นด้วยมือใช้ระยะเวลา 2 ปี 3 เดือน และ 1 ปี 11 เดือน สำหรับการผลิตด้วยเครื่อง

ถ้าอัตราการผลิตของโรงงานขนาดใหญ่ 84000 เตาท่อปี จุดคุ้มทุน ของการปั้นด้วยมือใช้ระยะเวลา 1 ปี 11 เดือน และ 1 ปี 8 เดือน สำหรับการผลิตด้วยเครื่อง

| ขนาดโรงงาน | จุดคุ้มทุน (เตา) | |
|------------|------------------|-----------------|
| | ปั้นด้วยมือ | ผลิตด้วยเครื่อง |
| ขนาดเล็ก | 45000 | 43582 |
| ขนาดกลาง | 80428 | 69300 |
| ขนาดใหญ่ | 157565 | 146350 |

ตารางที่ ๓.4 จุดคุ้มทุนของการจัดตั้งโรงงานผลิตเตา

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ในการพิจารณาตั้งโรงงานผลิตเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงโดยการกู้เงินมาลงทุน ถ้าคิดอัตราดอกเบี้ยธนาคารเท่ากับ ร้อยละ 16.5 ต่อปี ในการดำเนินงานค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อปีประมาณ 20000 บาทต่อเครื่องต่อปี และราคาเครื่องจักรผลิตเตาฯ ชุดละ 205000 บาท ดังนั้นจะคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้จาก

$$\sum_{n=1}^{\infty} R_n (P/F, i, n) - \sum_{n=1}^{\infty} D_n (P/F, i, n) = 0$$

เมื่อ R_n คือรายรับสุทธิปีที่ n
 D_n คือรายจ่ายสุทธิปีที่ n
 i คืออัตราดอกเบี้ย
 n คือปีที่

ผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ ๓.5 , ๓.6 และ ๓.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่า

- 1) โรงงานขนาดเล็กจะมีระยะเวลาคืนทุน 8 ปีหลังจากดำเนินการ
- 2) โรงงานขนาดกลางจะมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปีหลังจากดำเนินการ
- 3) โรงงานขนาดใหญ่จะมีระยะเวลาคืนทุน 3 ปีหลังจากดำเนินการ

| ปีที่ | รายรับ | รายจ่าย | กำไรขั้นต้น | d.f 16.5% | ค่าปัจจุบันสุทธิ | ค่าปัจจุบันสุทธิสะสม |
|-------|--------|---------|-------------|-----------|------------------|----------------------|
| 1 | - | -906500 | -906500 | .8584 | -778139 | -778139 |
| 2 | 840000 | 610347 | 229653 | .7368 | 169208 | -608930 |
| 3 | 840000 | 610347 | 229653 | .6324 | 145232 | -463697 |
| 4 | 840000 | 610347 | 229653 | .5429 | 124667 | -339029 |
| 5 | 840000 | 610347 | 229653 | .4660 | 111678 | -227350 |
| 6 | 840000 | 610347 | 229653 | .4000 | 95861 | -131488 |
| 7 | 840000 | 610347 | 229653 | .3433 | 82272 | -49215 |
| 8 | 840000 | 610347 | 229653 | .2947 | 70625 | 21410 |

ตารางที่ ๕.๕ การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโรงงานขนาดเล็ก

| ปีที่ | รายรับ | รายจ่าย | กำไรขั้นต้น | d.f 16.5% | ค่าปัจจุบันสุทธิ | ค่าปัจจุบันสุทธิสะสม |
|-------|---------|----------|-------------|-----------|------------------|----------------------|
| 1 | - | -1591000 | -1591000 | .8584 | -1365714 | -1365714 |
| 2 | 2520000 | 1839172 | 680828 | .7368 | 501634 | -864080 |
| 3 | 2520000 | 1839172 | 680828 | .6324 | 145232 | -433525 |
| 4 | 2520000 | 1839172 | 680828 | .5429 | 369621 | -63204 |
| 5 | 2520000 | 1839127 | 680828 | .4660 | 317265 | 254661 |

ตารางที่ ๕.๖ การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโรงงานขนาดกลาง

| ปีที่ | รายรับ | รายจ่าย | กำไรขั้นต้น | d.f 16.5% | ค่าปัจจุบันสุทธิ | ค่าปัจจุบันสุทธิสะสม |
|-------|---------|----------|-------------|-----------|------------------|----------------------|
| 1 | - | -2927000 | -2927000 | .8584 | -2512536 | -2512536 |
| 2 | 5880000 | 3082068 | 2797932 | .7368 | 2061516 | -451019 |
| 3 | 5880000 | 3082068 | 2797932 | .6324 | 1769412 | 1318392 |

ตารางที่ ๘.๗ การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโรงงานขนาดใหญ่



ประวัติผู้เขียน

นายสิทธิพงษ์ ฅ อุบล เกิดเมื่อวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2504 ที่อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า ธนบุรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล เมื่อปีการศึกษา 2528