บทที่ 4

การออกแบบ

ในบทนี้กล่าวถึง ผลของการออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง การหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำ เพื่อการผลิตไอน้ำในปริมาณที่ต้องการ ในส่วนที่เกี่ยวกับพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน การออกแบบขนาดตัวหม้อไอน้ำใช้ทฤษฎีของการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน [18,19] มาใช้ในการออกแบบ ในส่วนที่เกี่ยวกับห้องเผาไหม้และตะกรับใช้ทฤษฎีการออกแบบเตาเผามูลฝอยมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ [5] และหาความดันลดที่เกิดขึ้นในระบบเพื่อการพิจารณาเลือกใช้เครื่องเป่าอากาศให้เหมาะสมกับระบบ ในการจ่ายอากาศให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ [20,21,22]

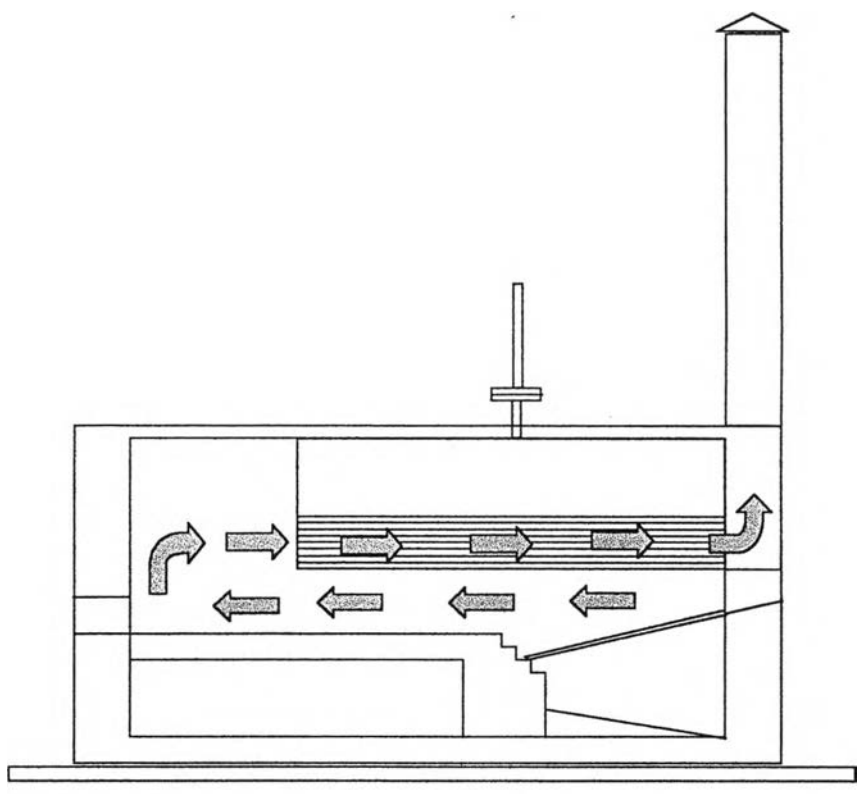
หม้อไอน้ำแรงดันต่ำที่ออกแบบเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ส่วนของห้องเผาไหม้อยู่ภายนอกเปลือกหม้อไอน้ำ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลัง เท่ากับ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การไหลของแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เป็นแบบ 2 กลับ คือ แก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้จะไหลจากห้องเผาไหม้ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของหม้อไอน้ำไปยังด้านหลังเพื่อจะไหลเข้าท่อไฟในตัวหม้อไอน้ำซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำครั้งที่หนึ่ง จากนั้นแก๊สร้อนจะไหลเข้าไปยังท่อไฟในตัวหม้อไอน้ำเป็นการไหลวกกลับมายังด้านหน้าของหม้อไอน้ำ และเป็นการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเป็นครั้งที่สอง จากนั้นแก๊สร้อนนี้จะไหลออกไปทางปล่องควันออกสู่บรรยากาศต่อไป ดังรูปที่ 4.1 โดยจะมีรายละเอียดการออกแบบในแต่ละส่วนดังนี้

4.1 ผลการออกแบบ

1 <u>ตัวหม้อไอน้ำ (boiler shell)</u>

คือส่วนที่บรรจุน้ำเพื่อผลิตไอน้ำที่ความดันหนึ่งตามที่กำหนด โดยได้รับความร้อนจากแก๊สร้อนอุณหภูมิสูงที่มาจากห้องเผาไหม้ (combustion chamber)

ตัวหม้อไอน้ำเป็นทรงกระบอกสร้างจากแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน(hot rolled carbon steel plate) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 45 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร และมีท่อไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 41 ท่อ หนาประมาณ 4 มิลลิเมตร เดินทะลุจากด้านหน้าจนถึงด้านหลังของตัวหม้อไอน้ำเพื่อให้แก๊สร้อนผ่านและถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนไปให้กับน้ำ นอกจากนี้มีท่อทางออกของไอน้ำ, ท่อน้ำป้อน, ท่อต่อวาล์วนิรภัยและท่อปล่อยน้ำทิ้งที่ตัวหม้อไอน้ำติดตั้งหลอดแก้ววัดระดับน้ำ สำหรับคอยตรวจสอบระดับน้ำที่อยู่ข้างใน [10,15,17]



รูปที่ 4.1 แสดงการไหลของแก๊สร้อนแบบ 2 กลับ

2 ห้องเผาไหม้ (combustion chamber)

ห้องเผาไหม้เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุดของหม้อไอน้ำ มีขนาดปริมาตรภายในกว้างเท่ากับ 0.5 เมตร ยาวเท่ากับ 0.56 เมตร สูงเท่ากับ 0.56 เมตร ผนังด้านข้างทั้งสามด้านเป็นผนังหลายชั้น โดยที่ผนังด้านหน้าชั้นในเป็นอิฐทนไฟชั้นถัดออกมาเป็นอิฐธรรมดา ส่วนผนังด้านข้างทั้งสองด้านนั้น มีผนังด้านในเป็นอิฐทนไฟ ถัดออกมาเป็นช่องว่างอากาศหนา 10 เซนติเมตร

ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนและชั้นนอกสุดเป็นอิฐธรรมดา อิฐทนไฟทั้งหมดก่อด้วยปูนซีเมนต์ทนไฟ

ด้านบนของห้องเผาไหม้เปิดถึงตัวหม้อไอน้ำ เพื่อเป็นพื้นที่สำหรับถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายในตัวหม้อไอน้ำ จากนั้นแก๊สร้อนจะไหลจากห้องเผาไหม้ไปยังด้านหลังของตัวหม้อไอน้ำ ผ่านทางช่องทางไหลของแก๊สร้อนและไหลเข้าท่อไฟเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำอีกครั้งหนึ่ง ช่องทางไหลของแก๊สร้อนในแนวนอนกว้างเท่ากับ 0.5 เมตร ยาวเท่ากับ 0.62 เมตร สูงเท่ากับ 0.33 เมตร จากนั้นแก๊สร้อนจะไหลเข้าท่อไฟผ่านช่องทางไหลของแก๊สร้อนในแนวดิ่งซึ่งกว้างเท่ากับ 0.5 เมตร ยาวเท่ากับ 0.4 เมตร สูงเท่ากับ 0.83 เมตร ผนังด้านในของช่องทางไหลของแก๊สร้อนนี้ก่อด้วยอิฐทนไฟ

ห้องเผาไหม้มีช่องสำหรับป้อนอากาศเพื่อเข้ามาทำปฏิกริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงโดยใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 นิ้ว โดยจะแบ่งอากาศให้เข้ามาทำปฏิกิริยาการเผาไหม้บนตะกรับ (overfire air) และใต้ตะกรับ (underfire air)

3 ปล่องควัน (stack)

ปล่องควันทำหน้าที่นำแก๊สร้อนที่ผ่านหม้อไอน้ำออกไปภายนอก ปล่องควันทำด้วยสังกะสีหนา 1 มิลลิเมตร พับขึ้นรูปเป็นปล่องหน้าตัดสี่เหลี่ยม ขนาดกว้างเท่ากับ 120 มิลลิเมตร ยาวเท่ากับ 330 มิลลิเมตร สูงประมาณ 2 เมตร

4 ช่องป้อนเชื้อเพลิง (charging door)

สำหรับเป็นช่องป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ กรอบทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 5 มิลลิเมตร ขนาดของช่องนี้กว้างเท่ากับ 30 เซนติเมตร สูงเท่ากับ 10 เซนติเมตร มีหน้าแปลนสำหรับติดตั้ง hopper เพื่อช่วยในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้ให้สะดวกขึ้น

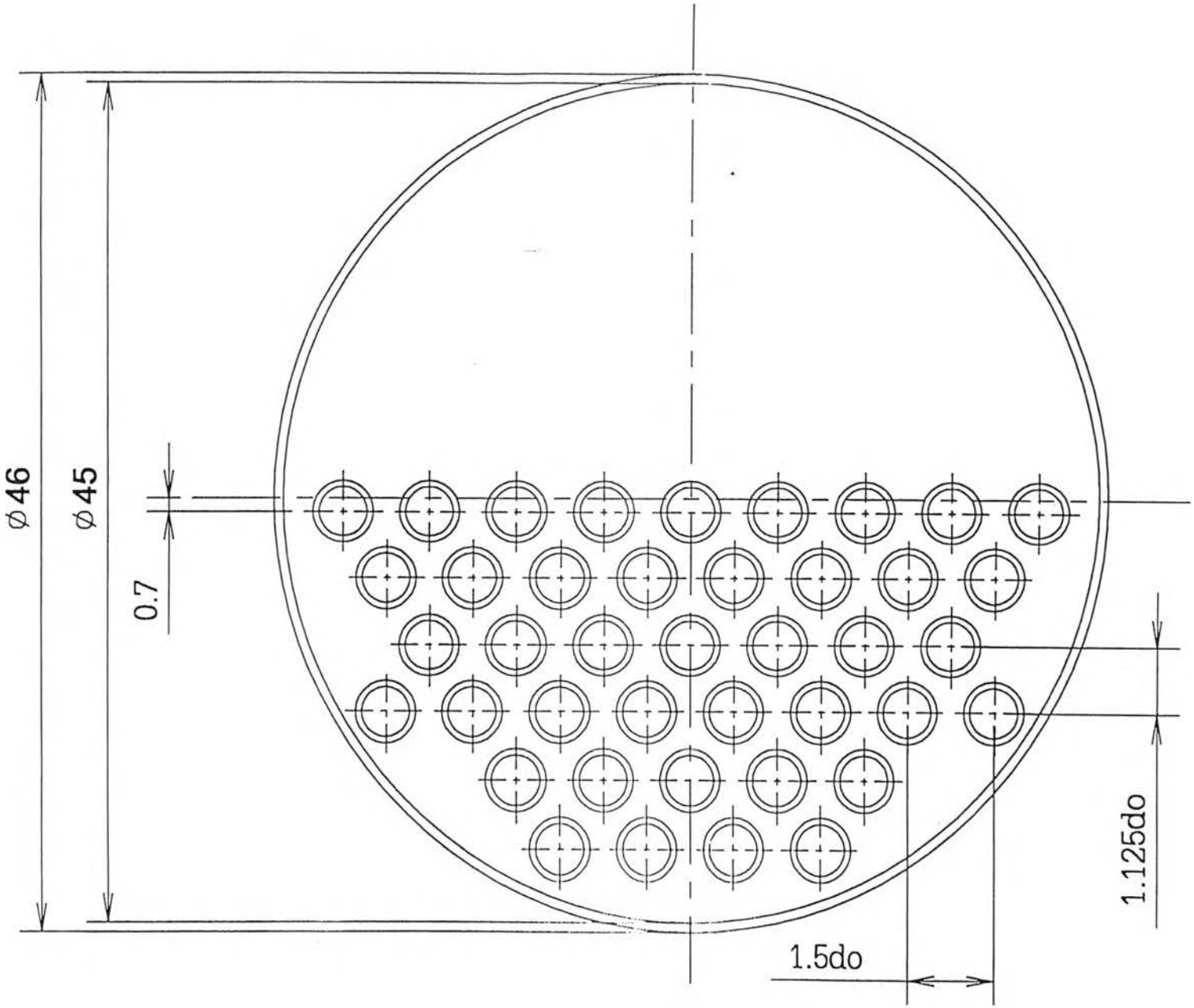
5 ช่องโกยขี้เถ้า (clean out door)

ช่องโกยขี้เถ้ามีสองช่อง อยู่ด้านหน้าและด้านหลังของหม้อไอน้ำ ช่องโกยขี้เถ้าด้านหน้าสำหรับทำความสะอาดบริเวณห้องเผาไหม้ กรอบทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 5 มิลลิเมตรมีขนาดกว้างเท่ากับ 30 เซนติเมตร สูงเท่ากับ 20 เซนติเมตร มีบานประตูเปิดปิด ทำจากเหล็กแผ่นหนา 5

มิลลิเมตร ขนาดกว้างเท่ากับ 340 มิลลิเมตร ยาวเท่ากับ 250 มิลลิเมตร ช่องโกยขี้เถ้าด้านหลังสำหรับทำความสะอาดบริเวณช่องทางไหลของแก๊สร้อน กรอบทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 5 มิลลิเมตร มีขนาดกว้างเท่ากับ 30 เซนติเมตร สูงเท่ากับ 15 เซนติเมตร และมีบานประตูสำหรับเปิดปิด ทำจากเหล็กแผ่นหนา 5 มิลลิเมตร ขนาดกว้างเท่ากับ 340 มิลลิเมตร ยาวเท่ากับ 240 มิลลิเมตร

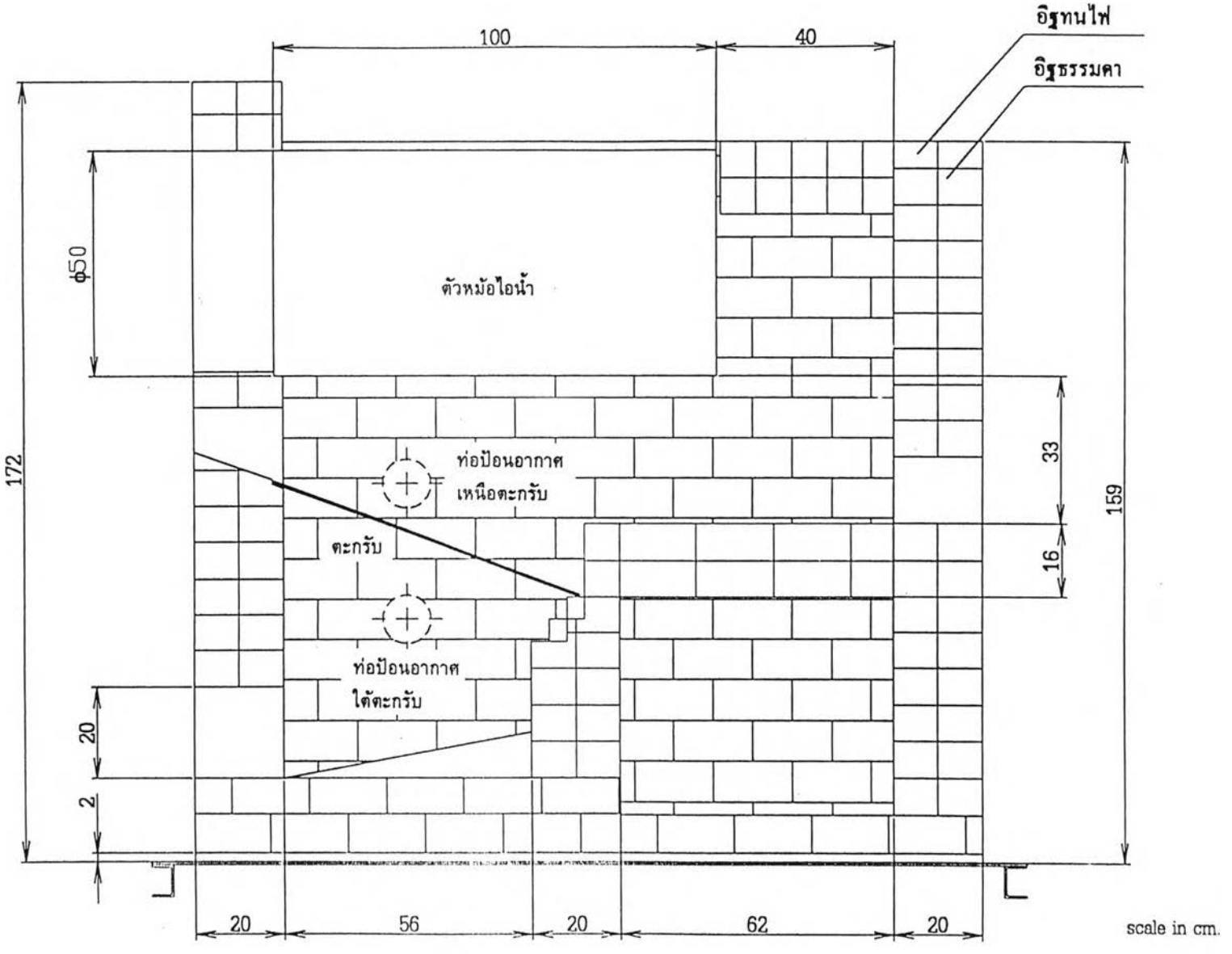
6 ตะกรับ (grate)

ติดตั้งอยู่ภายในห้องเผาไหม้สำหรับรองรับเชื้อเพลิงและให้ขี้เถ้าจากการเผาไหม้ตกลงด้านล่าง ตะกรับทำจากแผ่นเหล็กเจาะรูแบบเรียงสลับ (staggered) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 7 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กหนา 5 มิลลิเมตร ขนาดกว้างเท่ากับ 50 เซนติเมตร ยาวเท่ากับ 72 เซนติเมตร

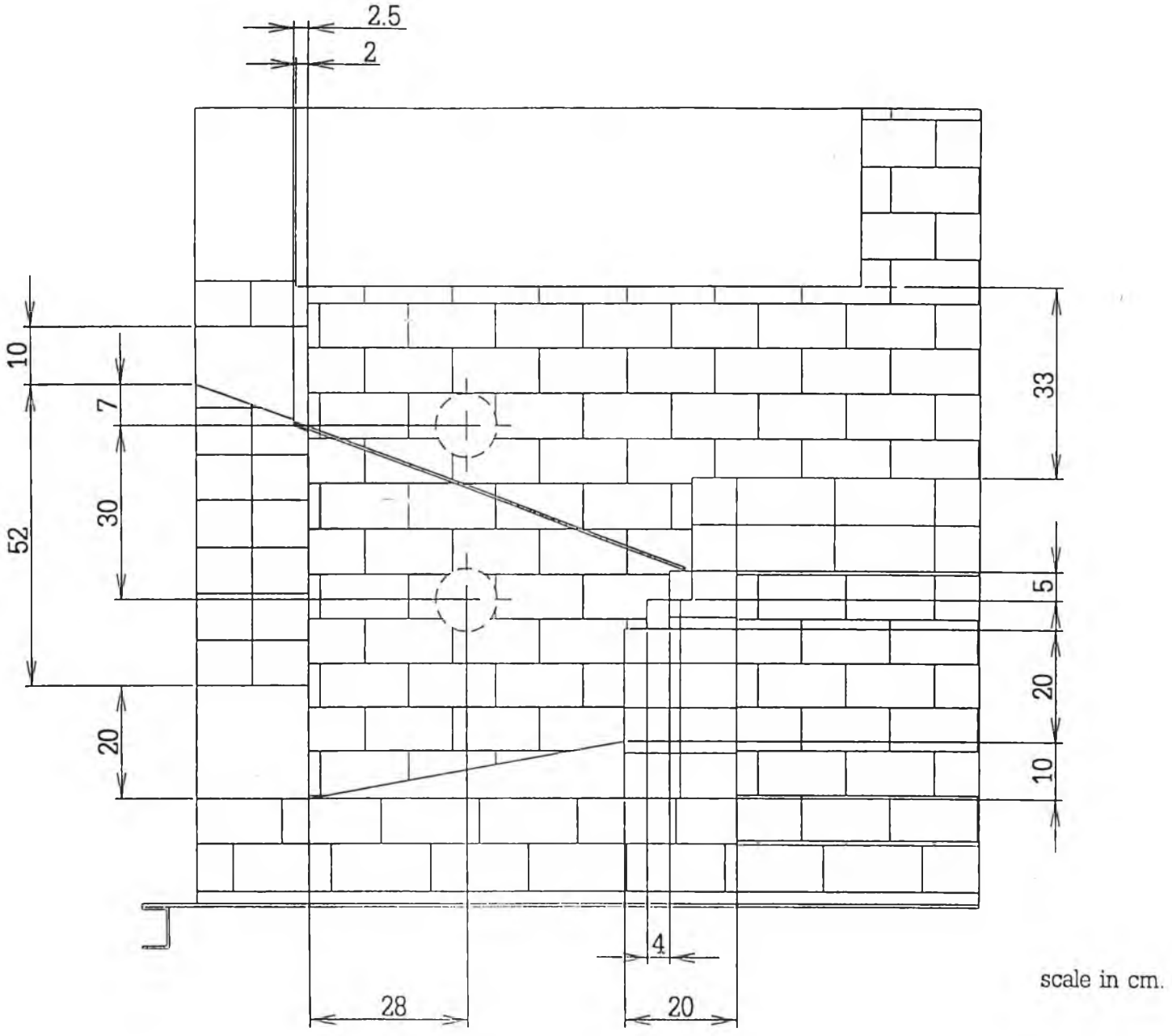


scale in cm.

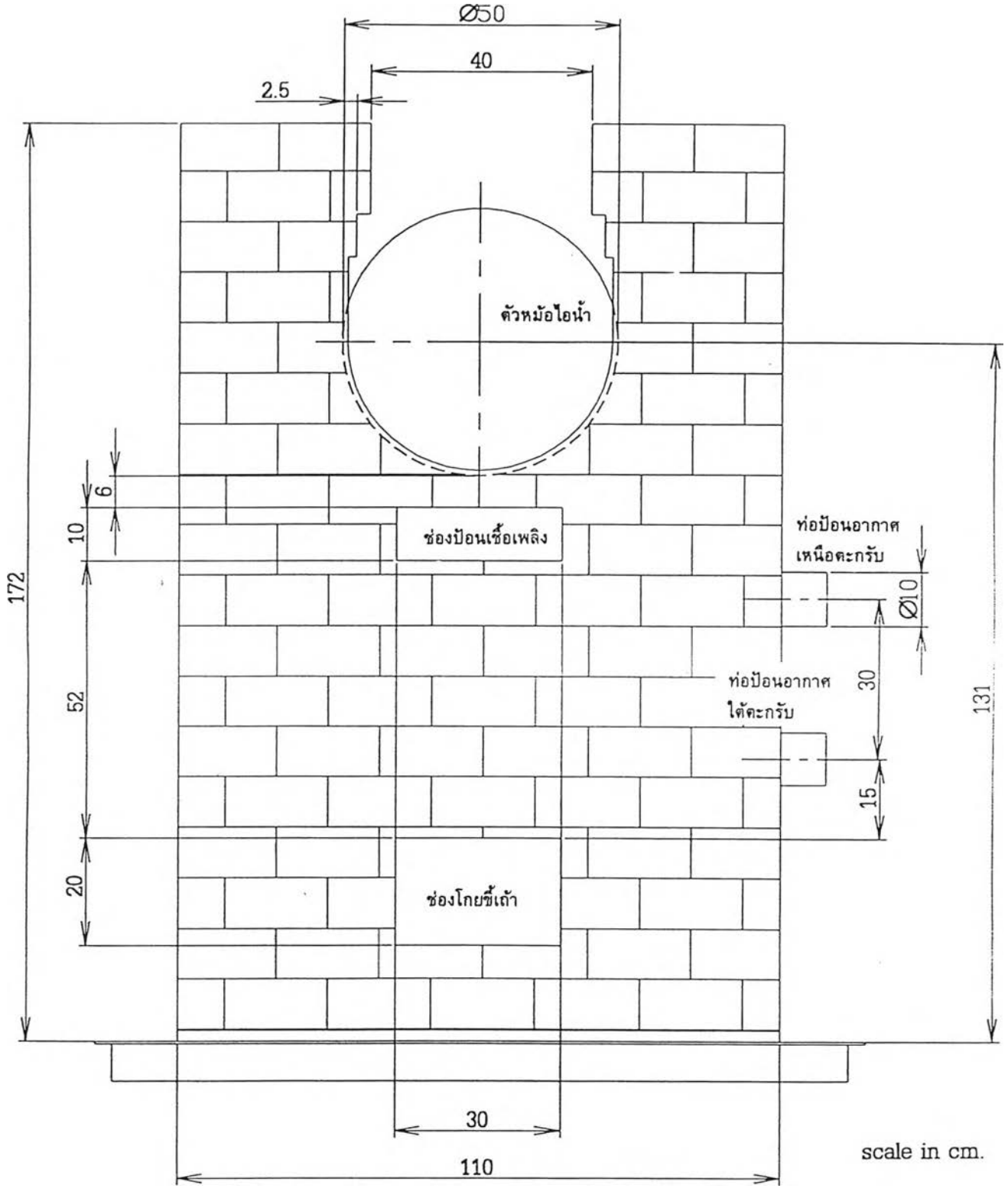
รูปที่ 4.2 รูปแสดงตำแหน่งของท่อไฟบนตัวหม้อไอน้ำ



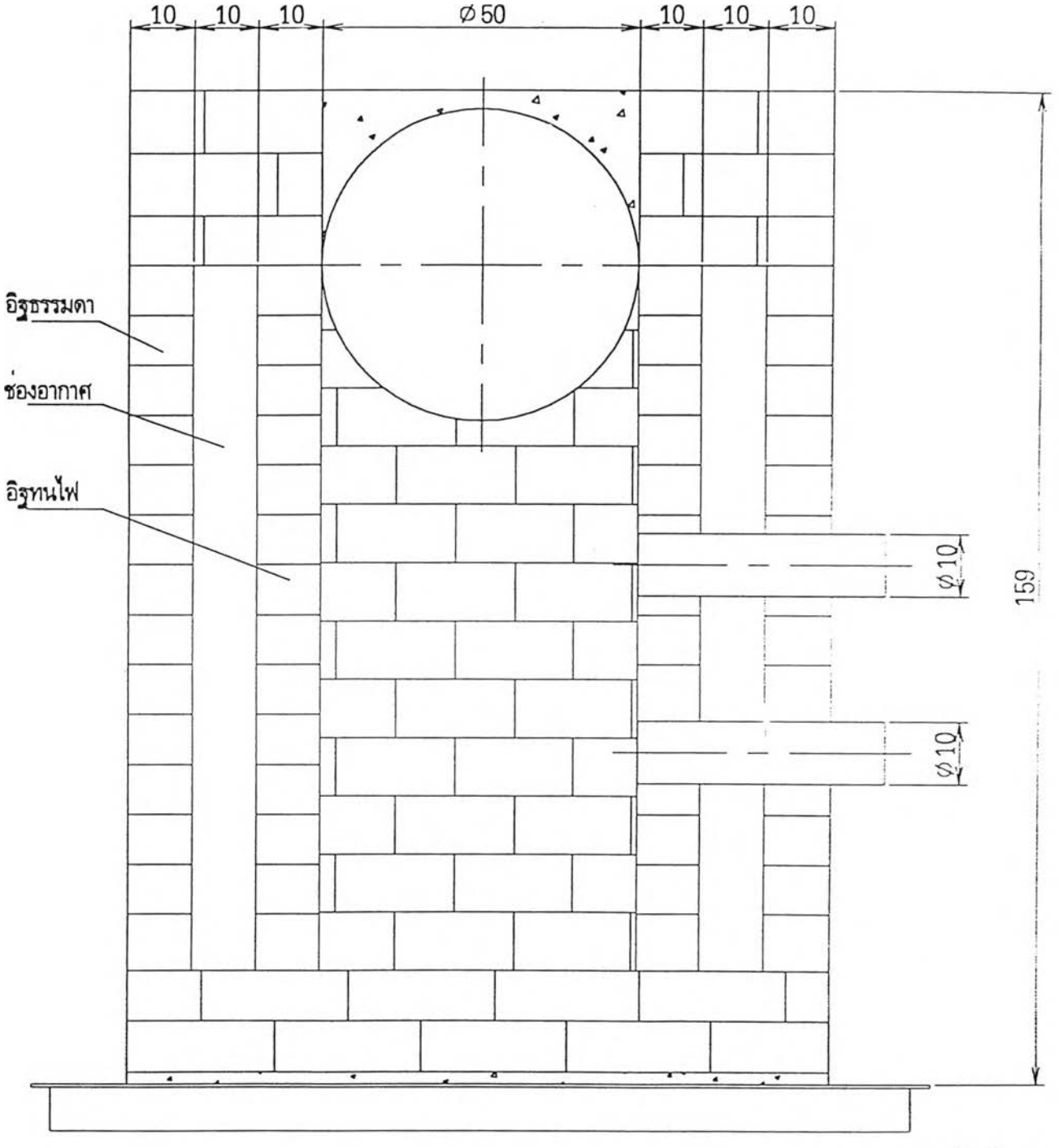
รูปที่ 4.3 แสดงภาพตัดด้านข้างของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.4 แสดงภาพตัดขยายด้านข้างตรงส่วนของห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

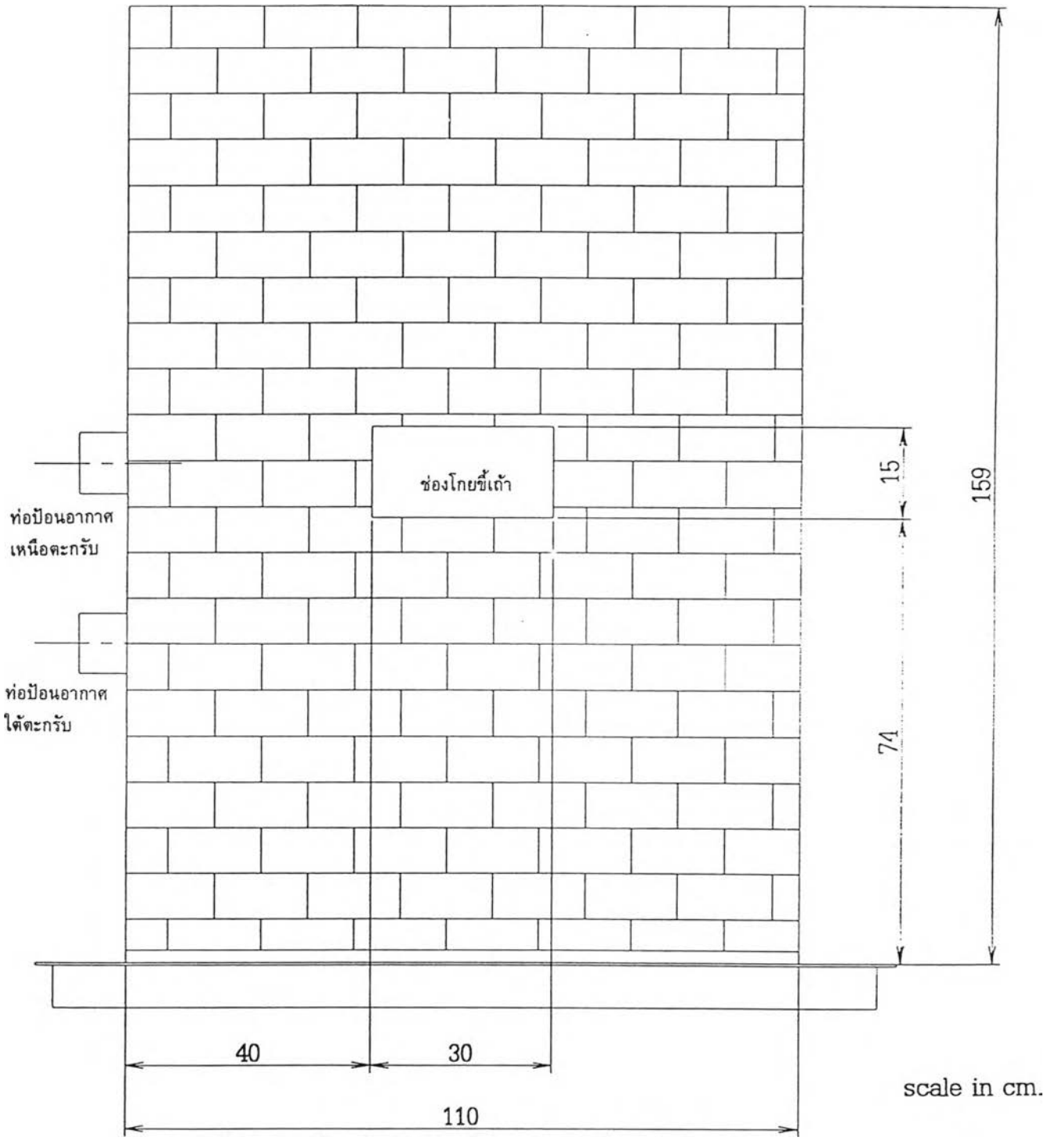


รูปที่ 4.5 แสดงภาพด้านหน้าของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

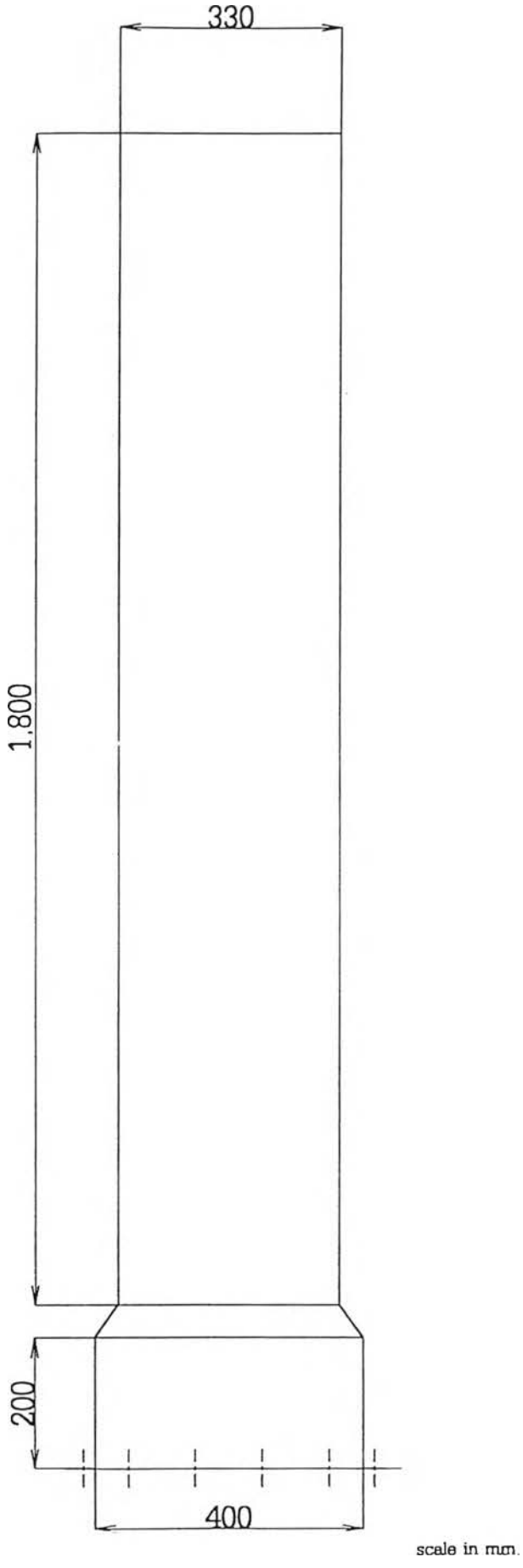


รูปที่ 4.6 แสดงภาพตัดด้านหน้าของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

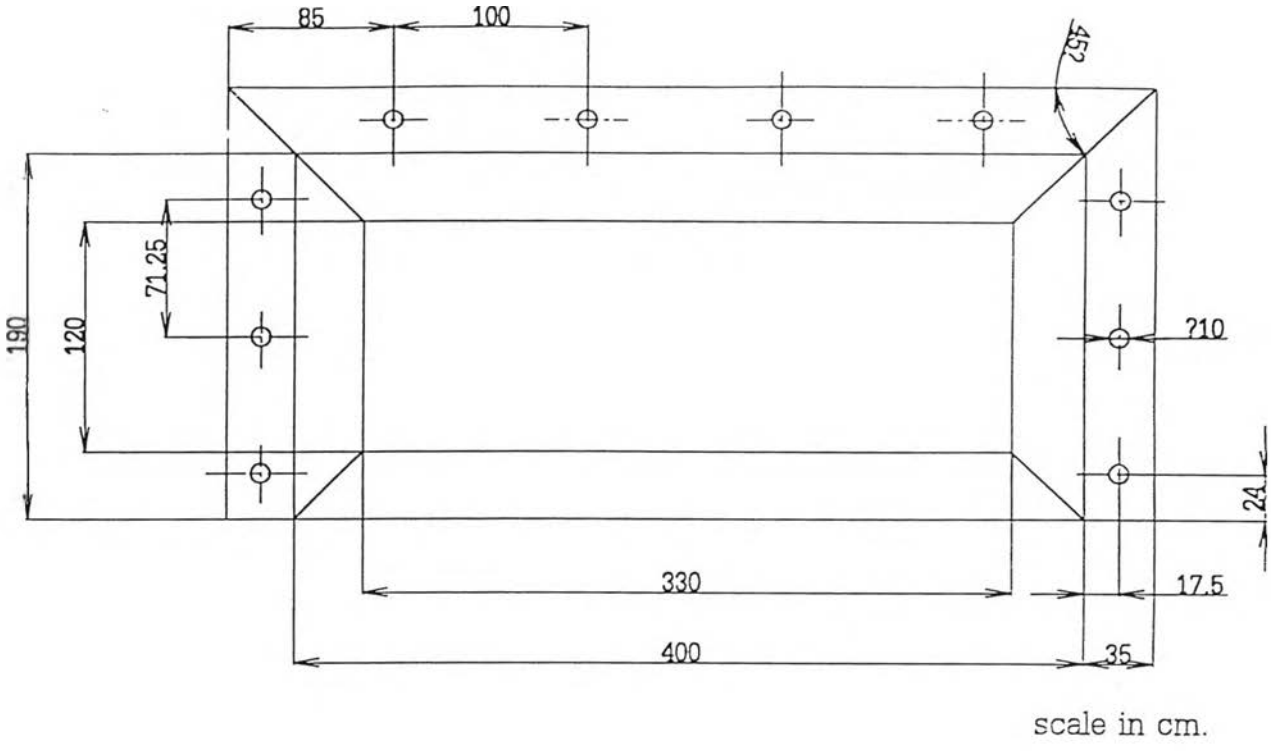
I 19282 76X



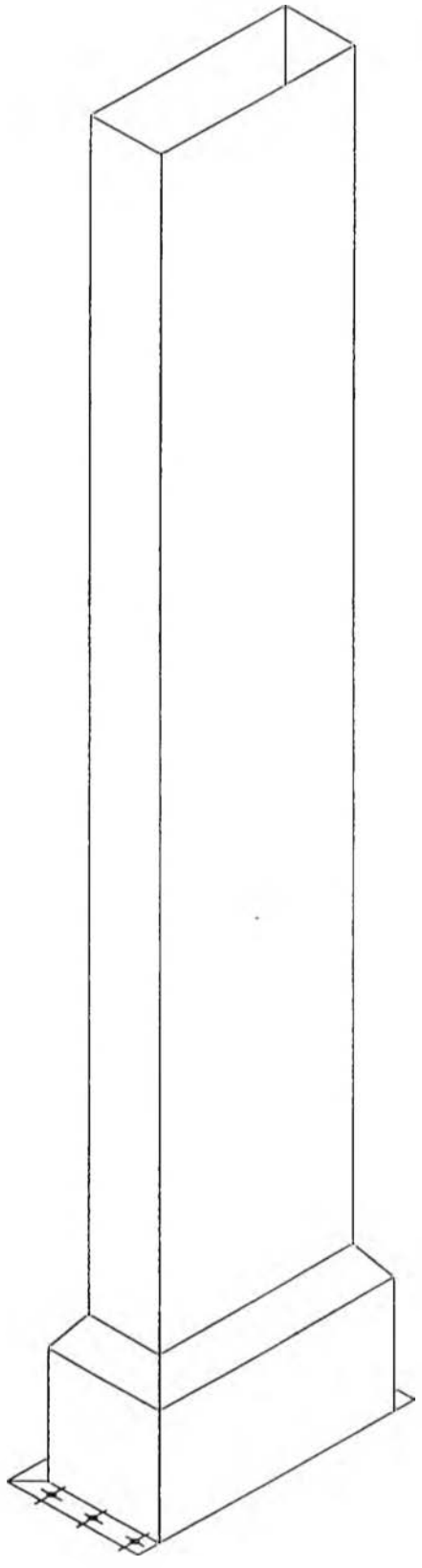
รูปที่ 4.7 แสดงภาพด้านหลังของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง



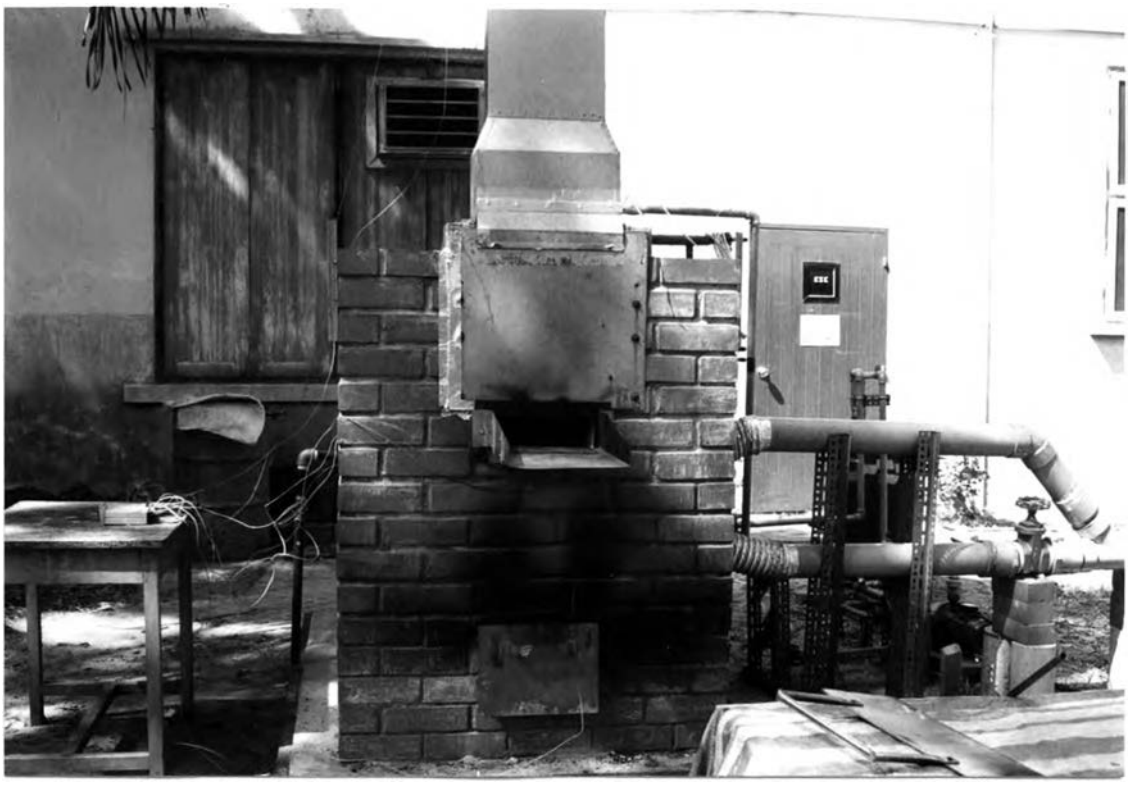
รูปที่ 4.8 แสดงภาพด้านหน้าของปล่องควัน



รูปที่ 4.9 แสดงภาพด้านบนของปลองควัน



รูปที่ 4.10 แสดงภาพไอโซเมตริกของปล่องควัน



รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายด้านหน้าของ
หม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

รูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายด้านข้างของ
หม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายด้านหลังของ
หม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

4.2 การคำนวณการออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

จุดประสงค์ในการออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง ก็คือ สามารถที่จะนำเอาอุปกรณ์ตัวนี้ไปใช้ในงานผลิตพลังงานความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็กในชนบท โดยอุตสาหกรรมขนาดเล็กดังกล่าวได้แก่ การเพาะเห็ด การทำเส้นขนมจีน รวมถึงอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจำเป็นต้องใช้ไอน้ำหรือความร้อน ในกระบวนการถนอมอาหาร ตัวอย่างเช่น การทำข้าวโพดฝักอ่อนกระป๋อง สัปปะรดและน้ำผลไม้กระป๋อง [7]

เนื่องจากข้อมูลของการทำการเพาะเห็ดในโรงเรือน[12] ที่มีขนาด 4 เมตร x 3 เมตร x 6 เมตร จำเป็นต้องใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อในโรงเรือน โดยปกติเกษตรกรจะใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร จำนวน 2-3 ถัง ใส่น้ำประมาณครึ่งถังในแนวนอน ดังเพื่อผลิตไอน้ำทั้งหมดนี้ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถหาปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลา

พิจารณาไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเท่ากับ 120.23 °C ดังนั้นจะได้ ρ = 942.51 kg/m^3 , h_g = 2706.7 kJ/kg.

$$\dot{m}_s = \frac{0.3\,\mathrm{m}^3}{3\,\mathrm{hr}} \times 942.51\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \approx 95\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{hr}}$$

<u>การคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการผลิตไอน้ำ</u>

ถ้ากำหนดให้องค์ประกอบของเหง้ามันปะหลังในหน่วย เปอร์เซ็นต์โดยมวล (% wt.) ดังนั้น C = 38.29%, H = 5.36%, S = 0.02%, N = 0.13%, O = 39.96% และมีค่าความร้อนเท่ากับ 3500 kcal/kg หรือ 14644 kJ/kg กำหนดให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเท่ากับ 70%

การหาปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลังเพื่อทำให้น้ำที่เริ่มต้นอุณหภูมิ 25 °C เดือดจนได้ไอน้ำที่ความดัน 2 bar ;

พิจารณาน้ำ

stage 1;	saturated water	T_1 = 25 °C
	จาก steam table	$h_1 = h_f$ = 104.89 kJ/kg
stage 2;	saturated vapor	P_2 = 2 bar
	จาก steam table	T_2 = 120.23 °C, $h_2 = h_g$ = 2706.7 kJ/kg

จาก

$$\text{boiler efficiency} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\%$$

$$\eta_B = \frac{\dot{m}_s(h_g - h_f)}{\dot{m}_f(\text{LHV})} \tag{4.1}$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรลงไปในสมการที่ (4-1) แล้ว จะได้

$$\dot{m}_f = 24.11\ \text{kg/hr}$$

ฉะนั้นปริมาณเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังที่ต้องใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำ เพื่อผลิตไอน้ำ จะต้องใช้เชื้อเพลิงประมาณ 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

<u>การคำนวณหาพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของตัวหม้อไอน้ำ</u> [18]

การคำนวณพื้นที่สำหรับที่จะให้เกิดการถ่ายเทความร้อนปริมาณที่ต้องการ โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบดังนี้ อัตราการไหลของแก๊สร้อนคิดที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 200%EA และหม้อไอน้ำมีอัตราการผลิตไอน้ำเท่ากับ 95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำที่เข้าตัวหม้อไอน้ำเท่ากับ 25 ° C และไอน้ำที่ออกมามีความดัน 2 bar อุณหภูมิแก๊สร้อนสูงสุดในห้องเผาไหม้เท่ากับ 700°C อุณหภูมิแก๊สร้อนที่ออกมาจากตัวหม้อไอน้ำเท่ากับ 300° C ซึ่งสมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำ หาได้จากสมการ

$$Q = \dot{m}_s(h_g - h_f) \tag{4.2}$$

ความร้อนที่ได้จากแก๊สร้อน หาได้จากสมการ

$$Q = \dot{m}_g \bar{c}_{p,g}(T_{g,i} - T_{g,o}) \tag{4.3}$$

โดยที่ $\dot{m}_g$ = อัตราการไหลของแก๊สร้อน kg/s

$\bar{c}_{p,g}$ = ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สร้อน kJ/kg K

$T_{g,i}$ = อุณหภูมิแก๊สร้อนที่เข้าตัวหม้อไอน้ำ K

$T_{g,o}$ = อุณหภูมิแก๊สร้อนที่ออกมาจากตัวหม้อไอน้ำ K

และพื้นที่ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนหาได้จากสมการของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

$$Q = UA(\Delta T_{lm}) \tag{4.4}$$

โดยที่ U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

หากพิจารณาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมอ้างอิงพื้นผิวด้านใน จะได้

$$U_i = \left[\frac{1}{h_i} + \frac{d_i \ln(d_o/d_i)}{2k} + \frac{1}{h_o}\left(\frac{d_i}{d_o}\right)\right]^{-1} \tag{4.5}$$

เมื่อ d_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อไฟ m

d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อไฟ m

h_i = สัมประสิทธิ์การพ เความร้อนที่ผิวภายในท่อไฟ w/m^2K

h_o = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวภายนอกท่อไฟ w/m^2K

และ

ΔT_{lm} = อุณหภูมิผลต่างล็อกมีน K

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{g,i} - T_{w,o}) - (T_{g,o} - T_{w,i})}{\ln\left(\frac{T_{g,i} - T_{w,o}}{T_{g,o} - T_{w,i}}\right)} \tag{4.6}$$

เมื่อ $T_{w,I}$ = อุณหภูมิน้ำที่เข้าตัวหม้อไอน้ำ K

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิน้ำที่ออกมาจากตัวหม้อไอน้ำ K

เมื่อแทนค่าตัวแปรที่เป็นข้อกำหนดในการออกแบบลงในสมการที่ (4.2) ถึงสมการที่ (4.6) โดยเฉพาะในสมการที่ (4.5) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวภายในและภายนอกท่อไฟ ได้จากการเปิดตารางอ้างอิง [19] ในสภาวะที่ใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นจะได้ h_i = 120 w/m^2K และ h_o = 2500 w/m^2K

จากทำการคำนวณแบบ iteration จะได้พื้นที่การถ่ายเทความร้อนออกมาซึ่งเมื่อกำหนดว่าจะใช้ท่อไฟที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 นิ้วแล้ว จะได้ว่าต้องใช้ท่อไฟทั้งหมด 41 ท่อ

สำหรับตัวหม้อไอน้ำเนื่องจากขนาดควรใกล้เคียงกับขนาดของถังน้ำมัน 200 ลิตร ดังนั้นจึงกำหนดให้ตัวหม้อไอน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.45 เมตร ความยาวเท่ากับ 1 เมตร สำหรับระดับน้ำที่บรรจุภายในตัวหม้อไอน้ำเอง ก็มีข้อกำหนดในมาตรฐานASME[21] ที่ว่าระดับผิวน้ำต่ำสุดในตัวหม้อไอน้ำไม่ควรอยู่ต่ำกว่าผิวท่อไฟแถวบนสุด และปริมาณน้ำในตัวหม้อไอน้ำก็ให้มีประมาณ 2 ส่วนใน 3 ส่วน ของปริมาตรของตัวหม้อไอน้ำ ดังนั้นจึงกำหนดให้ระดับผิวน้ำต่ำสุดอยู่สูงจากผิวท่อไฟแถวบนสุดเท่ากับประมาณ 1 นิ้ว และระดับผิวน้ำสูงสุดอยู่สูงจากผิวท่อไฟแถวบนสุดเท่ากับประมาณ 4.5 นิ้ว สำหรับระดับน้ำปกติกำหนดให้ผิวน้ำอยู่สูงจากผิวท่อไฟแถวบนสุดเท่ากับ 2.8 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ดังนั้นสามารถหาปริมาณน้ำในตัวหม้อไอน้ำได้จากสมการ

$$dV = 2Lxdy$$
$$x^2 + y^2 = R^2$$

แทนค่าตัวแปร x ในสมการจะได้

$$dV = 2L\sqrt{R^2 - y^2}dy$$
$$V = 2L\int_{y=-R}^{y=y_2}\sqrt{R^2 - y^2}dy$$

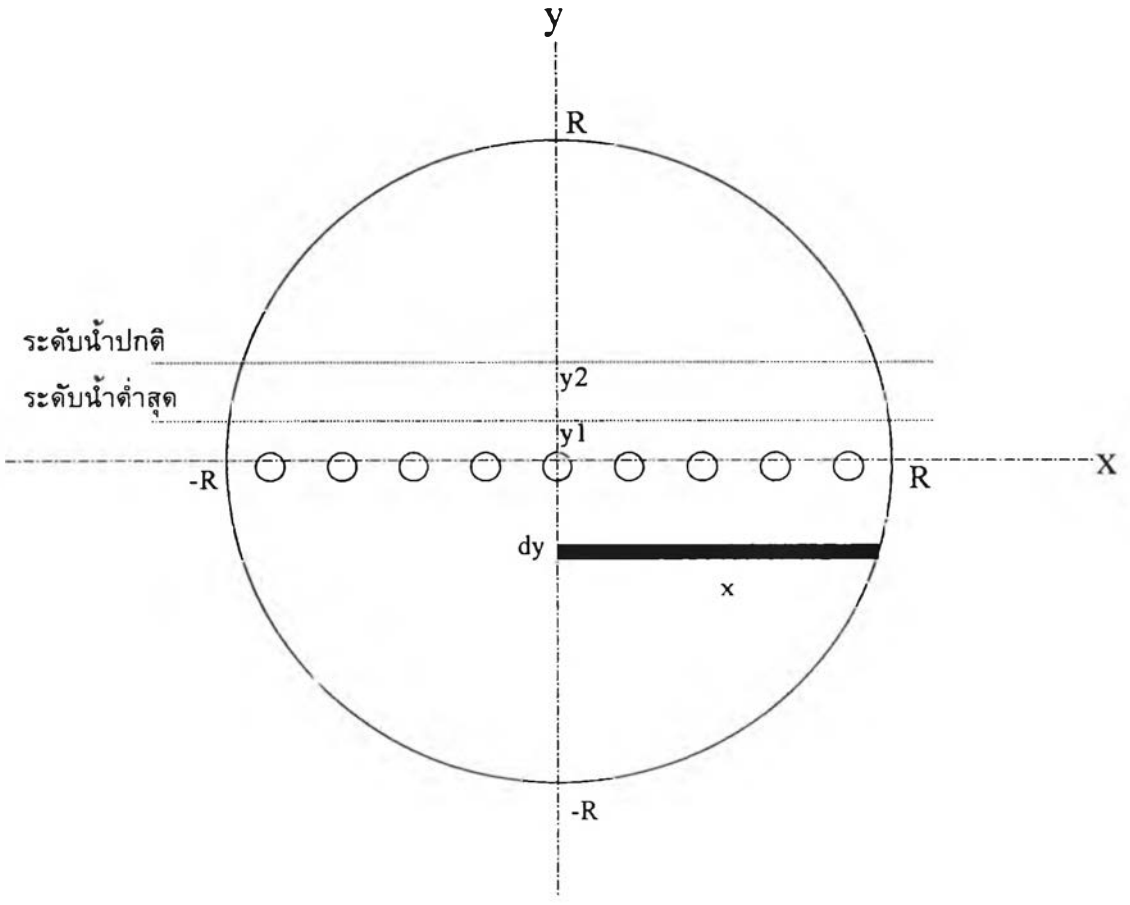
เมื่อทำการอินทิเกรตแล้วจะได้สมการ

$$V = 2L\left[\frac{y}{2}\sqrt{R^2 - y^2} + \frac{R^2}{2}\sin^{-1}\left(\frac{y}{R}\right)\right]_{y=-R}^{y=y2} \quad (4.7)$$

แทนค่า ความยาวของตัวหม้อไอน้ำ(L) = 1 m, รัศมีภายในของตัวหม้อไอน้ำ(R) = 0.225 m, y_2 = 0.08 ดังนั้นจะได้

$$V = 0.0952m^3$$

แต่เนื่องจากมีปริมาตรของท่อไฟ 41 ท่อรวมอยู่ด้วย ซึ่งคิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 0.03592 m^3 ดังนั้นปริมาตรของน้ำในตัวหม้อไอน้ำจึงเท่ากับ 0.08052 m^3 หรือประมาณ 80 ลิตร



รูปที่ 4.14 แสดงระดับน้ำในตัวหม้อไอน้ำ เพื่อทำการอินทิเกรตหาปริมาตรน้ำในตัวหม้อไอน้ำ

<u>การคำนวณหาปริมาตรของห้องเผาไหม้และพื้นที่ของตะกรับ</u> [5]

ในการออกแบบห้องเผาไหม้ จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ โดยต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในเตา ลักษณะของส่วนของห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำนี้ มีการป้อนเชื้อเพลิงที่ด้านหน้าของห้องเผาไหม้ด้วยแรงงานคน ซึ่งเรียกว่า Batch-operation ตะกรับทำหน้าที่รองรับน้ำหนักเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้และมีส่วนช่วยในปฏิกริยาการเผาไหม้ โดยให้อากาศจากใต้ตะกรับสามารถไหลผ่านขึ้นมาได้ และขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะตกลงไปด้านล่างของตะกรับ

ขนาดของห้องเผาไหม้หาได้จากสมการ

$$V = \frac{Q_{net}}{(Q_R)_v} \qquad (4.8)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของห้องเผาไหม้ m^3

Q_{net} = พลังงานความร้อนสุทธิจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง MJ/hr

$(Q_R)_v$ = อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อปริมาตร มีค่าเท่ากับ 460-920 MJ/m^3h

จากข้อกำหนดการออกแบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้นดังนั้น คำนวณปริมาตรของห้องเผาไหม้ได้ออกมาเท่ากับ 0.3884 m^3 ขนาดของตะกรับสามารถคำนวณได้จากค่าภาระของตะกรับ (grate loading; LG) จากสมการ

$$LG = 10\log(\dot{m}_f) \qquad lb_m/ft^2\,hr \qquad (4.9)$$

และพื้นที่ของตะกรับคำนวณได้จากสมการ

$$A_G = \frac{\dot{m}_f}{LG} \qquad ft^2 \qquad (4.10)$$

โดยที่ $\dot{m}_f$ = อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่อหน่วยเวลา lb_m/hr

เมื่อแทนค่าตัวแปรลงไปในสมการที่ (4.9) และ (4.10) แล้วจะได้ขนาดของตะกรับเท่ากับ 0.5mx0.6m ความสูงของห้องเผาไหม้หาได้จากสมการ

$$H = \frac{V}{A} \qquad (4.11)$$

โดยที่ A = พื้นที่ทั้งหมดของห้องเผาไหม้ m^2

เนื่องจากหม้อไอน้ำนี้ในส่วนของห้องเผาไหม้ มีความกว้างเท่ากับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวหม้อไอน้ำ และมีความยาวเท่ากับความยาวทั้งหมดของหม้อไอน้ำ ซึ่งรวมส่วนที่เป็นตะกรับและช่องทางไหลของแก๊สร้อนด้วย ดังแสดงในรูปในส่วนของการออกแบบที่ผ่านมา ดังนั้น

ความสูงของห้องเผาไหม้เมื่อหาจากสมการที่ (4.11) ได้ออกมาเป็นว่า ห้องเผาไหม้สูงเท่ากับ 0.55 เมตร

<u>การคำนวณหาความดันลดในระบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำ</u> [22]

ในระบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำ เมื่ออากาศไหลผ่านท่ออากาศ หรือแก๊สร้อนไหลในท่อไฟ ผลของความหนืดทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่เชิงสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของไหลด้วยกัน เกิดความเค้นเฉือนและทำให้พลังงานของของไหลสูญเสียไปขณะไหล สิ่งนี้ก็คือ การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในระบบนั่นเอง ในที่นี้จะคำนวณหาความดันลดที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำ เริ่มตั้งแต่ต้นทางคือ ระบบท่อจ่ายอากาศ และสุดท้ายที่ทางออกคือ ปล่องควัน

ความดันลดที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทานในท่อ หาได้จากสมการ

$$\Delta p = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2}\rho \qquad (4.12)$$

โดยที่ Δp = ความดันลด Pa

L = ความยาวของท่อ m

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ m

ρ = ความหนาแน่นของของไหล kg/m^3

f = ตัวประกอบความเสียดทานของมูดี (Moody's diagram)

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล m/s

$$V = \frac{Q}{A} \qquad (4.13)$$

Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของของไหลตลอดทั้งหน้าตัด m^3/s

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ m^2

ความดันลดที่เกิดเนื่องจากในระบบมีข้อต่อต่างๆ หาได้จากสมการ

$$\Delta p = K\frac{V^2}{2}\rho \qquad (4.14)$$

โดยที่ K = สัมประสิทธิ์การสูญเสีย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของข้อต่อในระบบ

นอกจากนี้การที่จะหาความดันลดที่เกิดขึ้นได้นั้น ต้องทราบถึงลักษณะของการไหลของของไหลด้วย ซึ่งหาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) ดังสมการ

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \qquad (4.15)$$

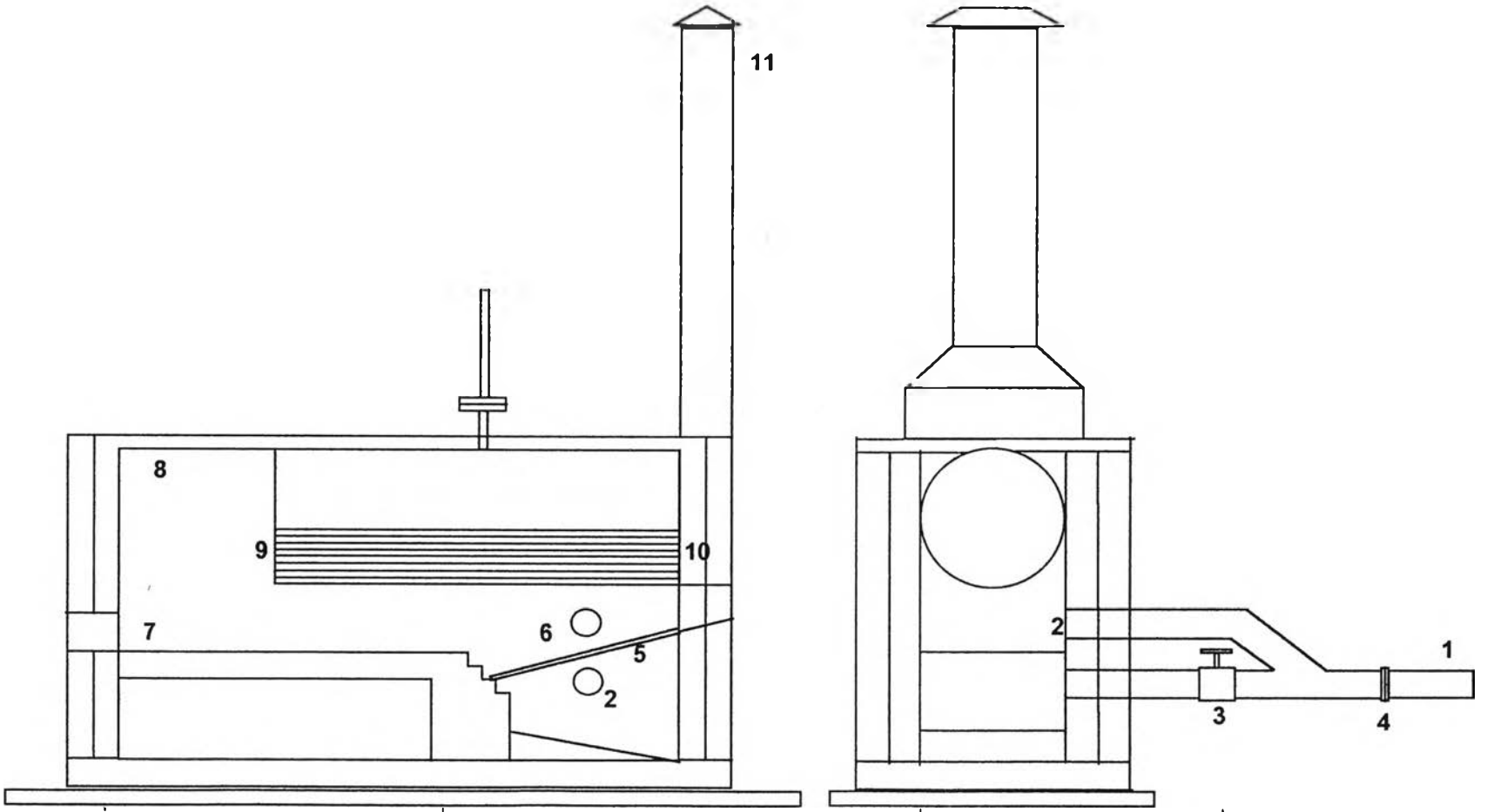
โดยที่ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ m

μ = ความหนืดพลวัต Pa m

กำหนดให้อากาศที่ไหลในท่อมีอุณหภูมิเท่ากับ 30° C เปิดตารางหาค่าคุณสมบัติจะได้ $\mu = 1.86 \times 10^{-5}$ N s/m^2 และ $\rho = 1.164$ kg/m^3 และสำหรับแก๊สร้อนนั้นพิจารณาว่าเป็นแก๊สไนโตรเจนเพราะว่ามีเปอร์เซนต์องค์ประกอบโดยปริมาตรมากที่สุดในอากาศที่เข้ามาทำปฏิกริยาการเผาไหม้ ที่อุณหภูมิแก๊สร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 393.16° C เปิดตารางของแก๊สไนโตรเจนหาค่าคุณสมบัติจะได้ $\mu = 310.78 \times 10^{-7}$ N s/m^2 และ $\rho = 0\ 5085$ kg/m^3 เนื่องจากปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับ 200%EA ดังนั้นความดันลดที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆของหม้อไอน้ำหาได้จากสมการที่ (4.12) ถึงสมการที่ (4.15) ได้ผลตามตาราง

ส่วนที่พิจารณา	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s	ความดันลดที่เกิด, Pa
ในท่อจ่ายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว	12.33	33.09
Grobe valve เปิดวาล์วครึ่งหนึ่ง	6.17	310.19
ชุดออริฟิส	12.33	300.83
ทางออกของท่อจ่ายอากาศ	12.33	76.27
ตะกรับ	0.9	4.77
ภายในห้องเผาไหม้	0.33	0.00333
ช่องไหลของแก๊สร้อนในแนวดิ่งที่อยู่ด้านหลังหม้อไอน้ำ	0.5	0.064
ที่ทางเข้าท่อไฟในตัวหม้อไอน้ำ	4.61	4.32
ภายในท่อไฟ	4.61	6.66
ที่ทางออกตัวหม้อไอน้ำ	4.61	5.40
ปล่องควัน	2.53	0.61
	รวม	742.21

จากค่าความดันลดที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่คำนวณได้นี้ สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของความแตกต่างของระดับน้ำได้ด้วย กำหนดให้น้ำมีอุณหภูมิเท่ากับ 25° C มีค่า ρ = 999.04 kg/m^3 ดังนั้นจะได้ความดันลดที่อยู่ในรูปความแตกต่างของระดับน้ำเท่ากับประมาณ 3 นิ้วน้ำ



ส่วนที่		ส่วนที่		ส่วนที่		ส่วนที่	
1-2	ท่อง่ายอากาศ	5	ตะกรับ	9	ทางเข้าท่อไฟ	10-11	ปล่องควัน
3	grobe valve	6-7	ส่วนของห้องเผาไหม้	9-10	ภายในท่อไฟ		
4	ชุดออริฟิส	7-8	ช่องทางไหลแก๊สร้อนในแนวดิ่ง	10	ทางออกท่อไฟ		

รูปที่ 4.15 แสดงส่วนต่างๆในหม้อไอน้ำแรงดันต่ำที่คำนวณหาความดันลดที่เกิดขึ้น