

รายการอ้างอิง

1. Dulline, F.A.L. Introduction to industrial gas cleaning. Sandiago, California : Academic press INC., 1989.
2. Louis, Theodore. Industrial air pollution control equipment for particulates. Cleveland, Ohio : CRC press INC., 1976
3. Strauss, W. Industrial gas cleaning. Heading Hillhall, Oxford : Pergamon press Ltd., 1966.
4. Richard C. Cokey, Principles and Practices of Incineration. New York, John Wiley & Sons., 1969.
5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial Ventilation- A manual of recommended practice. 20th ed. : Committee on Industrial Ventilation ACGIH, 1989.
6. Cheremisionf, N.P. Encyclopedia of mechanics. Vol.4 Houston : Gulf publishing Co., 1986.
7. Dorman, R.G. Dust control and air cleaning. New York : Pergamon press Ltd., 1974.
8. Henry, J. Mcdermott. Handbook of ventilation for contaminant control. Miami : Butterworth publishing, 1985.
9. Holman, J.P. Experimental method for engineers. 6th ed. NewJersey : McGraw - Hill INC., 1994.
10. Homer W. Parker. Air pollution. Englewood Cliffs, NewJersey : Prentice - Hall INC., 1977.
11. Howard E. Hesketh. Air pollution control : Traditional and hazardous pollutants. Pennsylvania : Technomic publishing Co., 1991.
12. James, P. Tomany. Air pollution : the emissions, the regulations & the controls. New York : American elsevier publishing Co., 1975.
13. John, A. Danielson. Air pollution engineering manual. Cincinnati, Ohio : Public health service, 1967.
14. P. Aarne Vesilind, Alan E.Rimer. Unit operations in resource recovery engineering. Englewood Cliffs, NewJersey : Prentice - Hall INC., 1989.

15. Robert, M. Bethea. Air pollution control technology. New York : Litton educational publishing INC., 1978.
16. Wark, K., Warner, C.F. Air pollution : its origin and control. New York : Harper & Row publishers, 1976.
17. เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์, ดร. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์, 2537.
18. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์; นิตยา มหาผล; ชีระ เกรอด. มลภาวะอากาศ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
19. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, ดร.; ชิกาโอะ คานาโอะ, ดร. มลภาวะอากาศ. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2525.

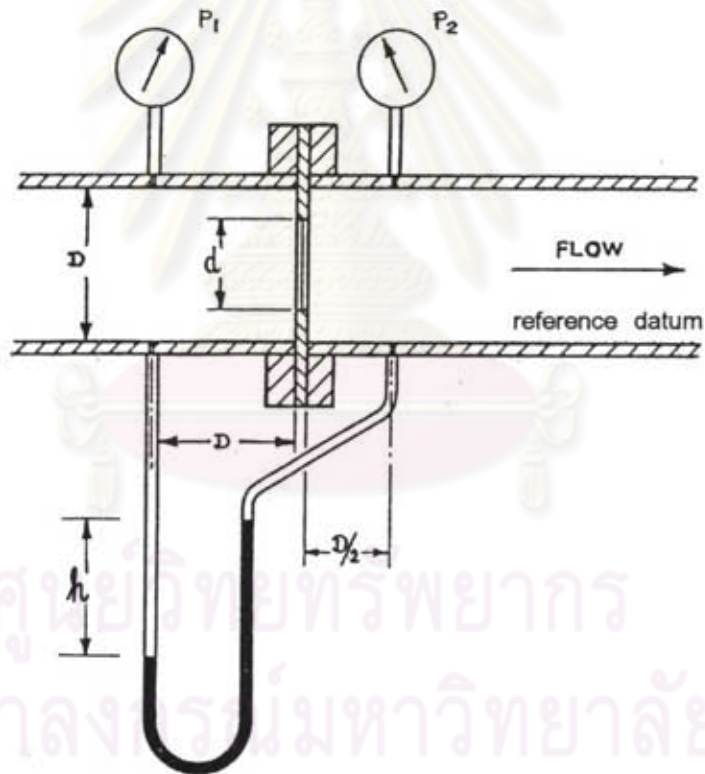


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การหาอัตราการไหลของแก๊ส

การวัดอัตราการไหลของแก๊สในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ ออริฟิซ (Orifice plate) ซึ่งค่าความดันตกของแก๊สที่ผ่านแผ่นออริฟิซนี้สามารถอ่านได้จาก ความสูงแตกต่างของระดับของของเหลวในมานอมิเตอร์ รูปตัว U โดยมีหลักการพิจารณา ดังนี้



รูปที่ ก-1 แสดงระบบการวัดค่าอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิซ แบบ $D, D/2$ tapping

จากสมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation) เมื่อเปรียบเทียบจุดวัดที่ 1 และ จุดวัดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ ก-1 จะได้ว่า

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (n-1)$$

- เมื่อ v_1 = ความเร็วของของไหลที่จุดที่ 1 ; m/s
 v_2 = ความเร็วของของไหลที่จุดที่ 2 ; m/s
 P_1 = ความดันของของไหลที่จุดที่ 1 ; N/m²
 P_2 = ความดันของของไหลที่จุดที่ 2 ; N/m²
 Z_1 = ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อ ที่จุดที่ 1 จาก reference datum ; m.
 Z_2 = ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อ ที่จุดที่ 2 จาก reference datum ; m.
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; m/s²
 γ = ค่า specific weight ของของไหล ; kg/m².s²

จากรูปที่ (n-1) เนื่องจากระดับ $Z_1 = Z_2$ ดังนั้นจากสมการที่ (n-1) จะได้

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \quad (n-2)$$

เนื่องจากสภาพการไหลของของไหลในท่อเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง (continuity flow) ดังนั้นปริมาณการไหลของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ของท่อ เมื่อพิจารณาที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 จากรูปที่ (n-1) พิจารณาตาม continuity equation และจาก conservation of mass เมื่อของไหลนั้นเป็น incompressible fluid ดังนั้น

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (n-3)$$

- เมื่อ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (volume flow rate) ; m³/s
 A_1 = พื้นที่หน้าตัด ที่จุดที่ 1 (ที่เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ = D) ; m²
 A_2 = พื้นที่หน้าตัด ที่จุดที่ 2 (ที่เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซ = d) ; m²

จากสมการที่ (n-3) จะได้ ;
$$v_1 = \left(\frac{A_2 v_2}{A_1} \right) \quad (n-4)$$

จากสมการที่ (ก-2) จะได้ ; $(v_2^2 - v_1^2) = \frac{2g}{\gamma}(P_1 - P_2)$ (ก-5)

แทนค่าสมการที่ (ก-4) ลงในสมการที่ (ก-5) จะได้

$$v_2^2 - \left(\frac{A_2 v_2}{A_1}\right)^2 = \frac{2g}{\gamma}(P_1 - P_2)$$

$$v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right) = \frac{2g}{\gamma}(P_1 - P_2)$$

$$\therefore v_2 = \sqrt{\frac{\left[\frac{(2g/\gamma)(P_1 - P_2)}{1 - (A_2/A_1)^2}\right]}}{\quad}} \quad (\text{ก-6})$$

นำสมการที่ (ก-6) แทนค่าลงในสมการที่ (ก-3) จะได้

$$Q = A_2 \times \sqrt{\frac{\left[\frac{(2g/\gamma)(P_1 - P_2)}{1 - (A_2/A_1)^2}\right]}}{\quad}} \quad (\text{ก-7})$$

จากสมการที่ (ก-7) อัตราการไหลเชิงปริมาตร (volume flow rate) ที่คำนวณได้นี้เป็นการคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรในทางทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริงแล้วจะมีค่าต่ำกว่าทางทฤษฎีเนื่องจากความเสียดทานที่ต่อต้านการไหลของของไหลนั้น ดังนั้นจึงต้องมีสัมประสิทธิ์อีกตัวหนึ่งมาคูณเข้าไป เพื่อให้ได้ค่าอัตราการไหลที่แท้จริง ซึ่งสัมประสิทธิ์ตัวนี้เรียกว่า " ค่า discharge coefficient " ; (C_d) สามารถหาได้จาก

$$C_d = \left(\frac{Q_{\text{actual}}}{Q_{\text{ideal}}}\right) \quad (\text{ก-8})$$

หรืออาจหาได้จากตารางที่ ข-6 แสดงค่า discharge coefficient; (C_d) สำหรับ $D, D/2$ tapping orifice ทั้งนี้จะต้องทราบค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ; (β) และค่า Reynolds ' number ; (Re) ของของไหลนั้น

$$\text{โดยที่} \quad \beta = \left(\frac{d}{D}\right) \quad (ก-9)$$

เมื่อ β = อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ; ไม่มีหน่วย
 d = เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซ ; m.
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ; m.

$$\text{และ} \quad Re = \left(\frac{\rho v_2 d}{\mu}\right) \quad (ก-10)$$

เมื่อ Re = ค่า Reynolds ' number ของของไหล ; ไม่มีหน่วย
 ρ = ความหนาแน่นของของไหล ; kg/m^3
 μ = ความหนืดของของไหล ; Pa.s

จากสมการที่ (ก-9) นำไปแทนในสมการที่ (ก-3) จะได้

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{[(2g/\gamma)(P_1 - P_2)]}{(1 - \beta^4)}} \quad (ก-11)$$

จากสมการที่ (ก-11) นำไปแทนค่าในสมการที่ (ก-8) จะได้

$$Q_{\text{actual}} = C_d A_2 \times \sqrt{\frac{[(2g/\gamma)(P_1 - P_2)]}{(1 - \beta^4)}} \quad (ก-12)$$

จัดรูปสมการที่ (ก-12) ใหม่ ได้เป็น

$$\therefore Q = \left[\frac{C_d A_2}{\sqrt{(1-\beta^4)}} \times \sqrt{2gh} \right] \quad (\text{ก-13})$$

เมื่อ $h = \left(\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} \right) ; \text{ m.}$

Bernoulli ได้มีการพิจารณาความเร็วของของไหล (Velocity head) ให้สัมพันธ์กับค่าความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ที่วัดได้จากความสูงแตกต่างของของเหลวในมานอมิเตอร์ รูปตัว U โดยพิจารณาจาก

$$h = \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{ก-14})$$

เมื่อ $h = \text{velocity head ; m.of air column}$
 $v = \text{ความเร็วของของไหล ; m/s}$

เมื่อค่า velocity head ; (h) แสดงอยู่ในรูปของความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ในหน่วย mm.H₂O ดังนั้นจากสมการที่ (ก-14) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$VP = \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{ก-15})$$

เมื่อ $VP = \text{ความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ; mm.of H}_2\text{O}$

ที่สภาวะมาตรฐาน ; ความหนาแน่นของอากาศ ; $\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$
 ความหนาแน่นของน้ำ ; $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$\text{จะได้ค่า specific gravity of air} = \left(\frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \right) = \left(\frac{1.2}{1000} \right) = 0.0012$$

เมื่อเทียบค่าด้วย Anemometer จะได้ว่า ที่ 1 m.of air column = 1.2 mm.of H₂O
จากสมการที่ (ก-15) สามารถเขียนได้เป็น

$$VP = \frac{v^2}{2g} \times \left(\frac{1.2 \text{ mm.of H}_2\text{O}}{1 \text{ m.of air column}} \right)$$

$$VP = \left(\frac{v^2}{(2 \times 9.81)} \right) \times \left(\frac{1.2 \text{ mm.of H}_2\text{O}}{1 \text{ m.of air column}} \right)$$

$$VP = (0.06116 \times v^2)$$

$$\therefore v = 4.0435 \sqrt{(VP)} \quad (\text{ก-16})$$

จากสมการที่ (ก-14) จะได้

$$v = \sqrt{(2gh)} = 4.0435 \sqrt{(VP)} \quad (\text{ก-17})$$

แทนค่าสมการที่ (ก-17) ลงในสมการที่ (ก-13) จะได้

$$\therefore Q = \frac{C_d A_2}{\sqrt{(1-\beta^4)}} \times (4.0435 \sqrt{(VP)}) \quad (\text{ก-18})$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร ; m³/s

จากค่าความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ที่อ่านได้จากความสูงแตกต่างของของเหลวในมานอมิเตอร์รูปตัว U พิจารณาให้อยู่ในรูปความดันของของไหล (Static pressure head) ได้จาก

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad (\text{ก-19})$$

เมื่อ ΔP = ความดันของของไหล ; N/m^2
 Δh = Static pressure head ; m. of air column

ที่สภาวะมาตรฐาน ; 1 meter of air column = 1.2 mm. of H_2O
 ดังนั้นจากสมการที่ (ก-19) จะได้

$$\Delta P = (\rho_w - \rho_a)g \times \left(VP \times \frac{1 \text{ m. of air column}}{1.2 \text{ mm. of } H_2O} \right)$$

$$\Delta P = (1000 - 1.2) \times 9.81 \times \left(VP \times \frac{1}{1.2} \right)$$

$$\Delta P = 8165.2 (VP) \quad (\text{ก-20})$$

เมื่อ ρ_w = ความหนาแน่นของของเหลวที่บรรจุอยู่ในมานอมิเตอร์ ; kg/m^3
 ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศเหนือของเหลวในมานอมิเตอร์ ; kg/m^3
 VP = ความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ; mm. of H_2O

ดังนั้นสมการที่ (ก-18) เป็นสมการที่จะใช้คำนวณหาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของของไหล ณ บริเวณทางเข้าและทางออกของไซโคลน ดังแสดงในตัวอย่างการคำนวณต่อไป

หมายเหตุ เพื่อความสะดวกในการออกแบบเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิซ (orifice plate) สามารถพิจารณาการออกแบบได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่มีชื่อว่า 'Foxboro Flowmeter Product Selection Guide' ดังแสดงในภาคผนวก ช

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตรา 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง flow area = 100% ได้ผลการทดลองดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองเผาผลาญประเภทไบโไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตรา 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง
flow area = 100% ได้ผลการทดลองดังนี้

ตำแหน่ง	อุณหภูมิเฉลี่ย ของแก๊ส; ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าความดันเนื่องจากความเร็ว, VP_{av} ; (mm.of H_2O)
บริเวณทางเข้าของไซโคลน	224.5	123.0
บริเวณทางออกจากไซโคลน	188.7	68.0

พิจารณาที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1.) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางเข้า; $(ID)_i = 105.3 \text{ mm. } (\cong 4")$
- 2.) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซ; $(d)_i = 65.5 \text{ mm.}$
- 3.) อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางเข้า; $(\beta) = 0.6448$
- 4.) ค่า discharge coefficient; $(C_d) = 0.6158$

จากรูปที่ ก-1 สามารถหาพื้นที่หน้าตัดที่จุด 1; $(A_1)_i$ และพื้นที่หน้าตัดที่จุด 2; $(A_2)_i$ ได้ดังนี้

$$\therefore (A_1)_i = \frac{\pi}{4} (ID)_i^2 = \frac{\pi}{4} (0.1053)^2 = 0.0087 \text{ m}^2$$

$$(A_2)_i = \frac{\pi}{4} (d)_i^2 = \frac{\pi}{4} (0.0655)^2 = 0.0034 \text{ m}^2$$

จากสมการที่ (ก-17) หาค่าความเร็วของแก๊ส; $(v)_i$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} (v)_i &= 4.0435 \sqrt{(VP)} \\ &= 4.0435 \sqrt{(123.0)} \\ &= 44.84 \quad \text{m/s} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (ก-18) หาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร; (Q) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q &= \frac{C_d A_2}{\sqrt{(1-\beta^4)}} \times (4.0435 \sqrt{(VP)}) \\ &= \frac{(0.6158 \times 0.0034)}{\sqrt{(1-(0.6448)^2)}} \times (44.84) \\ &= 0.123 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (ก-20) สามารถหาค่าความดันของแก๊สร้อนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta P &= (8165.2 \times 123.0) \\ &= 1004.32 \quad \text{kPa.} \end{aligned}$$

กำหนดให้ แก๊สร้อนอยู่ในสภาวะ Ideal gas;

ดังนั้นค่า gas constant of air ; $R = 0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})$

จากความสัมพันธ์ของ Ideal gas mixture สามารถหาค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume; U) ของแก๊สร้อน ได้จาก

$$PU = RT \quad (\text{ก-21})$$

เมื่อ P = ความดันของแก๊สร้อน ; kPa

U = ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของแก๊สร้อน ; m^3/kg

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์เฉลี่ยของแก๊สร้อน ; K

R = ค่า gas constant of air = $0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})$

ที่บริเวณทางเข้าไซโคลนแก๊สร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย = $224.5 \text{ }^\circ\text{C} = 497.5 \text{ K}$

แทนค่าลงในสมการที่ (ก-21) จะได้

$$\begin{aligned}
 PV &= RT \\
 (1004.32) V &= (0.287 \times 497.5) \\
 \therefore V &= 0.142 \quad \text{m}^3/\text{kg}
 \end{aligned}$$

พิจารณาค่าความหนาแน่นของแก๊สร้อน ได้จากความสัมพันธ์

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{V} \\
 &= \left(\frac{1}{0.142} \right) = 7.04 \quad \text{kg/m}^3
 \end{aligned}$$

ดังนั้นพิจารณาค่าอัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) ของแก๊สร้อน ได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad m = \rho Q \quad (n-22)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad m &= \text{อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน ; kg/s} \\
 \rho &= \text{ความหนาแน่นของแก๊สร้อน ; kg/m}^3 \\
 Q &= \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สร้อน ; m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (n-22) จะได้ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อนมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 m &= (7.04 \times 0.123) \\
 &= 0.866 \quad \text{kg/s}
 \end{aligned}$$

\therefore ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตรา 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง flow area = 100% มีค่าเท่ากับ 0.866 kg/s

ภาคผนวก ข

การหาความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

การหาความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศนั้น สามารถทำได้โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างมวลของอนุภาคที่ถูกดักเก็บไว้ในแผ่นกรอง (filter mat) กับ ปริมาตรของแผ่นกรองที่ทราบค่า ณ บริเวณทางออกสู่บรรยากาศ กล่าวคือ ที่บริเวณทางออกของแก๊สสู่บรรยากาศหรือที่บริเวณปากทางออกของพัดลมจะทำการติดตั้งแผ่นกรอง (filter mat) และถุงกรอง (bag filter) ไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศว่าหลังจากแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้นั้นถูกลดปริมาณอนุภาคด้วยระบบไซโคลนแล้ว แก๊สนั้นอยู่ในพิภพมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ตามประกาศสำนักคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ในราชกิจจานุเบกษาหรือไม่ ซึ่งการหาความหนาแน่นของอนุภาคสามารถพิจารณาได้จากสมการ

$$\left(\rho_p\right)_o = \left(\frac{\left(m_p\right)_o}{V_f}\right) \quad (\text{ข-1})$$

เมื่อ $\left(\rho_p\right)_o$ = ความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ ; mg/m^3
 $\left(m_p\right)_o$ = มวลของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วยแผ่นกรอง ; mg .
 V_f = ปริมาตรของแผ่นกรอง ; m^3

โดยที่มวลของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วยแผ่นกรอง (filter mat) สามารถพิจารณาได้จากการนำเอาแผ่นกรองที่สะอาดก่อนทำการทดลองไปชั่งหามวลโดยใช้เครื่องชั่งมวลที่มีชื่อว่า 'Mettler Toledo AB 204' ของบริษัท Diethem จำกัด แล้วบันทึกค่าเก็บไว้เพื่อนำไปลบออกจากมวลของแผ่นกรองหลังจากทำการทดลองแล้ว ส่วนมวลของอนุภาคที่ถูกดักเก็บด้วยถุงกรอง (bag filter) สามารถพิจารณาได้ด้วยวิธีเดียวกันกับแผ่นกรองหรืออาจพิจารณาได้จากการนำเอาถุงกรองนั้นมาเขย่า (shaking) เพื่อให้อนุภาคที่ติดอยู่หลุดออกแล้วนำอนุภาคนั้นไปชั่งหา

มวลของอนุภาค ซึ่งจากการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าในถุงกรองมีอนุภาคติดอยู่น้อยมาก หลังจากที่ได้แก๊สร้อนนั้นผ่านแผ่นกรองมาแล้ว ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศจะทำการพิจารณามวลของอนุภาคจากแผ่นกรองเพียงอย่างเดียว สำหรับปริมาตรของแผ่นกรองที่ใช้ดักเก็บอนุภาคจากแก๊สร้อนก่อนปล่อยสู่บรรยากาศนั้นเป็นค่าที่ทราบแน่นอน เมื่อกำหนดให้แผ่นกรองนั้นมีความกว้าง (w) เท่ากับ 0.18 เมตร ความยาว (l) เท่ากับ 0.30 เมตร และมีความหนา (t) เท่ากับ 0.02 เมตร ดังนั้นจะได้

$$V_f = (w \times l \times t) \quad (\text{ข-2})$$

เมื่อ V_f = ปริมาตรของแผ่นกรอง ; m^3
 w = ความกว้างของแผ่นกรอง ; m
 l = ความยาวของแผ่นกรอง ; m
 t = ความหนาของแผ่นกรอง ; m

ดังนั้นการหาค่าความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศสามารถหาได้จากสมการที่ (ข-1) โดยจะแสดงรายละเอียดไว้ในตัวอย่างการคำนวณต่อไป

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตรา 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง flow area = 100% ได้ผลการทดลองดังนี้

ตำแหน่ง flow area; (%)	มวลของอนุภาคจากแผ่นกรอง; (mg.)
100 %	0.000205

จากสมการที่ (ข-2) สามารถหาค่าปริมาตรของแผ่นกรองได้จาก

$$\begin{aligned} V_f &= (w \times l \times t) \\ &= (0.18 \times 0.30 \times 0.02) \\ &= 1.08 \times 10^{-3} \quad m^3 \end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (ข-1) เพื่อหาค่าความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ
ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} (\rho_p)_o &= \left(\frac{(m_p)_o}{V_f} \right) \\ &= \left(\frac{0.000205}{(1.08 \times 10^3)} \right) \\ &= 0.19 \quad \text{mg/m}^3 \end{aligned}$$

∴ ความหนาแน่นเฉลี่ยของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศที่ตำแหน่ง flow area = 100%
มีค่าเท่ากับ 0.19 mg/m^3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การหาค่าความดันสูญเสียในไซโคลน

ในการหาค่าความดันสูญเสียในไซโคลน สามารถพิจารณาได้จากความสูงแตกต่างของระดับของเหลวในमानमीटरรูปตัว U โดยการวัดค่าความดันตกคร่อมระหว่างบริเวณทางเข้าของไซโคลนกับบริเวณทางออกของไซโคลน ในหน่วย มิลลิเมตรของน้ำ แล้วพิจารณาค่าความดันของของไหลในไซโคลนให้สัมพันธ์กับค่าความดันเนื่องจากความเร็วของของไหล (Velocity Pressure) ที่วัดได้จากमानमीटर ซึ่งพิจารณาได้จาก

ที่สภาวะมาตรฐาน : ความหนาแน่นของอากาศ ; $\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$
($20^\circ \text{C}, 1 \text{ atm}$) ความหนาแน่นของน้ำ ; $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$\text{ค่า Specific Gravity of air ; } (\text{SG})_{\text{air}} = \left(\frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \right) = \left(\frac{1.2}{1000} \right) = 0.0012$$

กล่าวคือ ที่ 1 meter of air column = 1.2 mm. of H₂O
จาก

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad (\text{ค-1})$$

$$= (\rho_{\text{H}_2\text{O}} - \rho_{\text{air}}) g \times \left(\text{VP} \times \frac{1 \text{ m. of air column}}{1.2 \text{ mm. of H}_2\text{O}} \right)$$

$$= (1000 - 1.2) \times 9.81 \times \left(\text{VP} \times \frac{1}{1.2} \right)$$

$$= 8165.2 (\text{VP}) \quad (\text{ค-2})$$

- เมื่อ ΔP = ความดันสูญเสียในไซโคลน ; N/m^2 หรือ Pa
 (VP) = ความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ของแก๊ส ที่อ่านได้จาก
 ความสูงแตกต่างของระดับของเหลวในมานอมิเตอร์ ; mm. of H_2O
 Δh = ค่า Velocity head ; m. of air column
 ρ_{H_2O} = ความหนาแน่นของน้ำที่บรรจุในมานอมิเตอร์ ; kg/m^3
 ρ_{air} = ความหนาแน่นของอากาศเหนือน้ำในมานอมิเตอร์ ; kg/m^3
 g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; m/s^2

โดยที่จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ สามารถอ่านค่าความดันตกคร่อมซึ่งเป็นความดัน
 เนื่องจากความเร็วของของไหลที่บริเวณทางเข้าของไซโคลนกับทางออกของไซโคลน ได้จาก
 ความสูงแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ แล้วนำมาคำนวณหาความดันสูญเสียในไซโคลน
 ทั้งนี้ในการคำนวณจะต้องพิจารณาค่า Specific Gravity และอุณหภูมิของของไหลนั้นด้วย

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตรา 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง
 flow area = 100% ได้ผลการทดลองดังนี้

- อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สร้อน ที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน ; $T_i = 224.5^\circ C$
- อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สร้อน ที่บริเวณทางออกจากไซโคลน ; $T_o = 188.7^\circ C$
- ความดันตกคร่อมไซโคลน ; $(VP)_c = 33.1 \text{ mm. of } H_2O$

พิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สร้อนในไซโคลน ได้จาก

$$\begin{aligned}
 T_c &= \left(\frac{T_i + T_o}{2} \right) \\
 &= \left(\frac{224.5 + 188.7}{2} \right) = 206.6^\circ C
 \end{aligned}$$

- เมื่อ T_c = อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สร้อนในไซโคลน ; $^{\circ}\text{C}$
 T_i = อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สร้อนที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน ; $^{\circ}\text{C}$
 T_o = อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สร้อนที่บริเวณทางออกจากไซโคลน ; $^{\circ}\text{C}$

จากสมการที่ (ค-2) พิจารณาค่าความดันสูญเสียในไซโคลนที่สภาวะมาตรฐานได้

$$\begin{aligned}\Delta P &= 8165.2 (VP) \\ &= (8165.2 \times 33.1) \\ &= 270.3 \quad \text{kPa}\end{aligned}$$

กำหนดให้ แก๊สร้อนอยู่ในสภาวะ Ideal gas;

ดังนั้นค่า gas constant of air ; $R = 0.287 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{K})$

จากความสัมพันธ์ของ Ideal gas mixture สามารถหาค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume; U) ของแก๊สร้อนได้จาก

$$PU = RT \quad (\text{ค-3})$$

เมื่อ P = ความดันของแก๊สร้อน ; kPa

U = ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของแก๊สร้อน ; m^3/kg

R = ค่า gas constant of air = $0.287 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{K})$

จากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สร้อนในไซโคลน ; $T_c = 206.6^{\circ}\text{C} = 479.6 \text{ K}$
 แทนค่าในสมการที่ (ค-3) จะได้

$$\begin{aligned}PU &= RT \\ (270.3 \times U) &= (0.287 \times 479.6) \\ \therefore U &= 0.51 \quad \text{m}^3/\text{kg}\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าความหนาแน่นของแก๊สร้อน; $\rho_g = \left(\frac{1}{U}\right) = \left(\frac{1}{0.51}\right) = 1.96 \text{ kg}/\text{m}^3$

ผลจากการทดลอง ; ความหนาแน่นของแก๊สร้อน ; $\rho_g = 1.96 \text{ kg/m}^3$

ความหนาแน่นของน้ำ ; $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$\text{ค่า Specific Gravity of gas ; } (SG)_g = \left(\frac{\rho_g}{\rho_{H_2O}} \right) = \left(\frac{1.96}{1000} \right) = 0.00196$$

กล่าวคือ ที่ความสูง 1 meter of air column = 1.96 mm. of H₂O

จากสมการที่ (ค-1) สามารถหาค่าความดันสูญเสียในไซโคลนได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} (\Delta P)_c &= \rho g \Delta h \\ &= (\rho_{H_2O} - \rho_g) g \times \left[(VP)_c \times \frac{1 \text{ m. of air column}}{1.96 \text{ mm. of H}_2\text{O}} \right] \\ &= (1000 - 1.96) \times 9.81 \times \left[33.1 \times \frac{1}{1.96} \right] \\ &= 165.3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

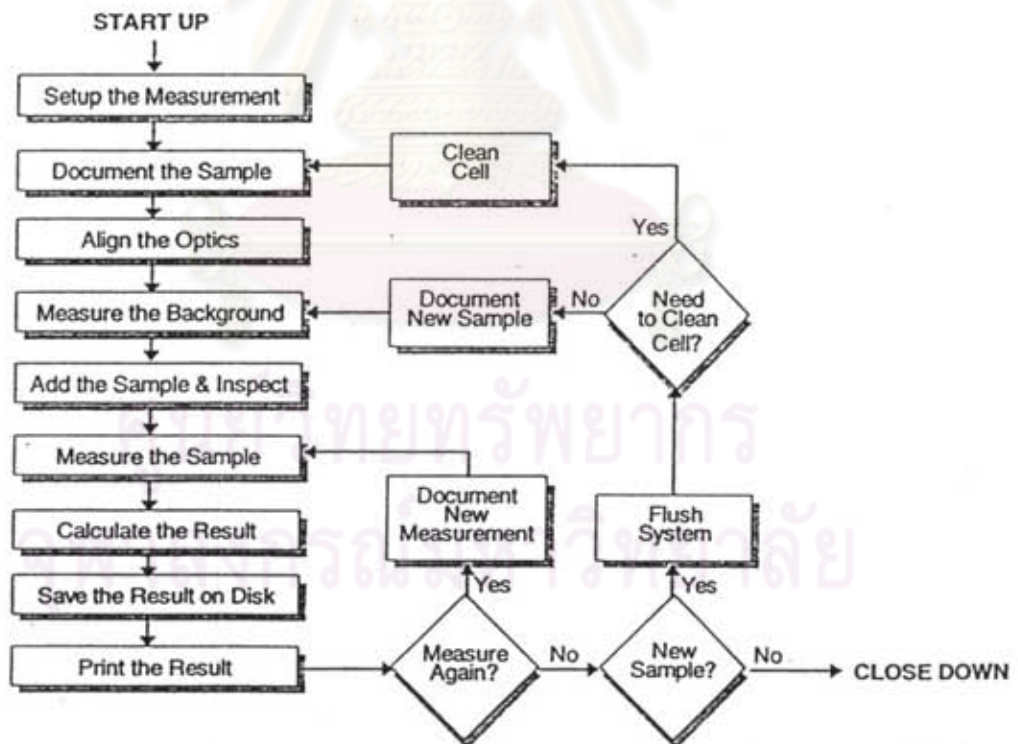
∴ จากการเผาผลาญย่อยประเภทไบโม่แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตรา 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง flow area = 100% จะมีความดันสูญเสียในไซโคลนเท่ากับ 165.3 kPa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคในแก๊ส

ในการออกแบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ไซโคลนแต่ละขนาดจะมีความสามารถในการดักเก็บอนุภาคที่ดีที่สุดในช่วงขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำเอาอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้ส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดของอนุภาค ที่มีชื่อว่า 'MASTERSIZER' โดยเครื่องนี้มีขั้นตอนในการทำงาน ดังรูปที่ ง-1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค

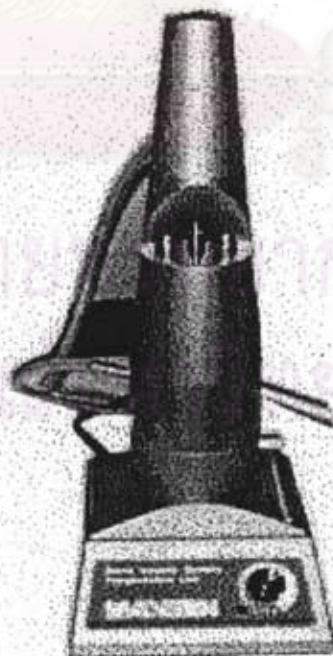


รูปที่ ง-1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค

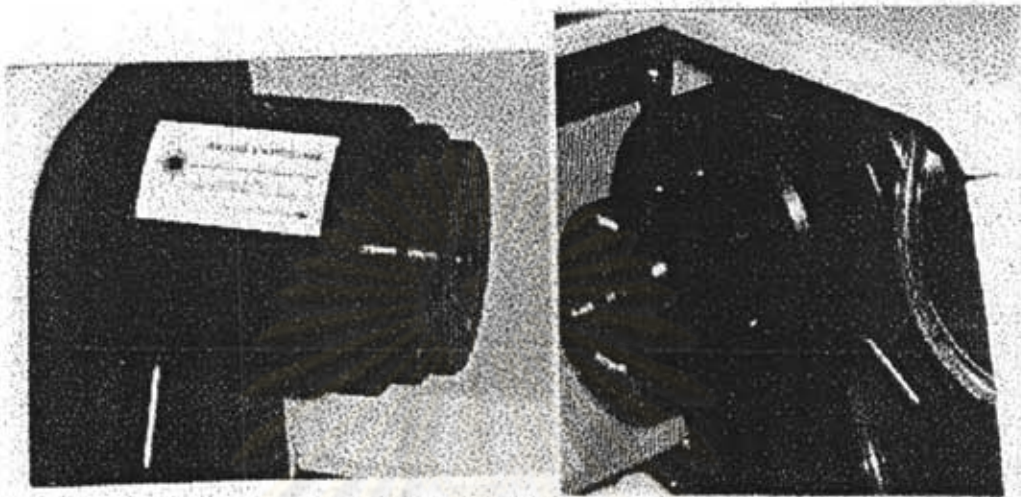
การวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ทำได้โดยการใช้เครื่องมือวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ซึ่งอาศัยหลักการตกกระทบของแสงบนอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีลำแสงส่องผ่าน ผลของการตกกระทบของแสงบนอนุภาคขนาดต่าง ๆ กัน จะมีการรายงานผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของช่วงขนาดอนุภาคนั้นๆ ในจำนวนของอนุภาคทั้งหมดที่มีอยู่ในขณะนั้น

เครื่องมือวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคดังกล่าว มีชื่อว่า ' MASTERSIZER ' ตั้งอยู่ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

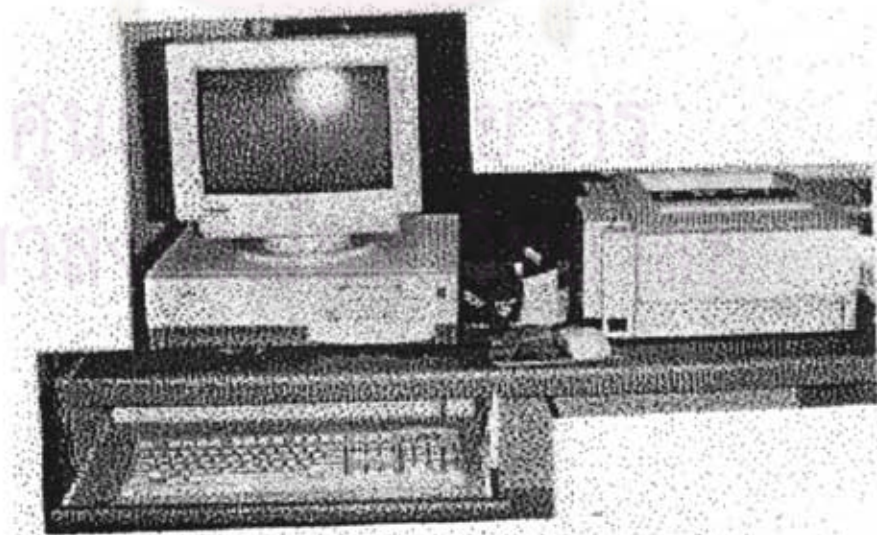
1. ส่วนป้อนตัวอย่างของอนุภาคที่ต้องการวิเคราะห์การกระจายขนาด (Small volume sample presentation unit)
2. ส่วนกำเนิดแสงและวัดการตกกระทบของแสงบนอนุภาค (Mastersizer optical measurement unit)
3. ส่วนประมวลผลและส่วนแสดงผล (Computer system)
4. ส่วนคำนวณผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Malvern operating software) เป็นส่วนที่รับข้อมูลจากส่วนประมวลผลมาแสดง โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า ' Malvern mastersizer ' มาช่วยในการคำนวณและแสดงผลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น



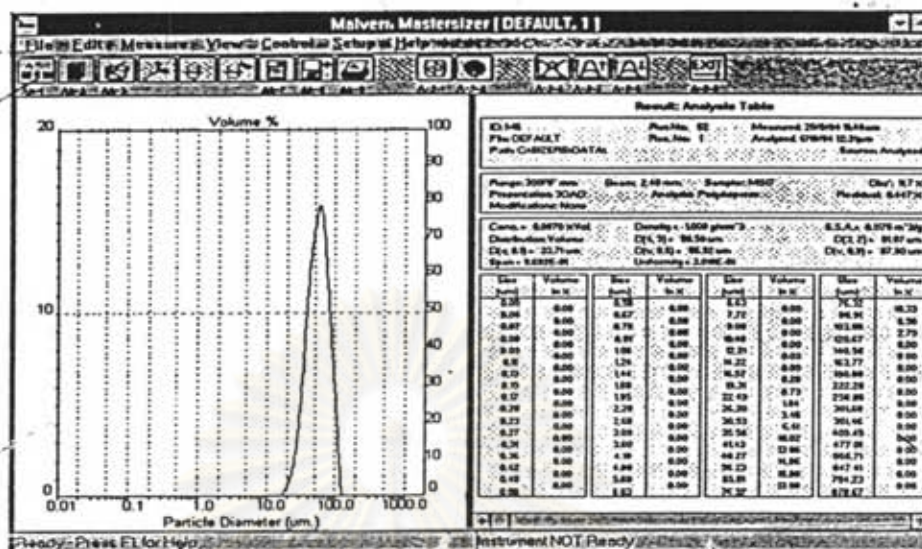
รูปที่ ง-2 แสดงส่วนป้อนตัวอย่างของอนุภาค
(Small volume sample presentation unit)



รูปที่ ง-3 แสดงส่วนกำเนิดแสงและวัดการตกกระทบของแสงบนอนุภาค
(Mastersizer optical measurement unit)



รูปที่ ง-4 แสดงส่วนประมวลผลและแสดงผล (Computer system)



รูปที่ ง-5 แสดงส่วนคำนวณผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Malvern operating software)



รูปที่ ง-6 แสดงเครื่องมือโดยรวม (Mastersizer system)

สำหรับการเตรียมตัวอย่างอนุภาคที่จะใช้วิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาคนั้นจะใช้วิธีผสมกับน้ำกลั่นหรือน้ำสะอาดในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ แล้วจึงทำการเปิดเครื่องปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

STEP 1

- 1). เปิดสวิตช์ที่ส่วนประมวลผลและแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า 'Malvern Mastersizer'
- 2). เปิดสวิตช์ที่ส่วนกำเนิดแสงและวัดการตกกระทบของแสงบนอนุภาค

STEP 2

- 1). เติมน้ำกลั่นลงใน chamber รูปรววยให้สูงเกินกว่าท่อโลหะ chamber ประมาณ 1.0 นิ้ว
- 2). เปิดสวิตช์ในส่วนป้อนตัวอย่างของอนุภาคใล่อากาศในท่อออกให้หมดแล้วปิด จากนั้นเปิดสวิตช์อีกครั้ง เพื่อใล่อากาศออกให้หมด

STEP 3

- 1). เมื่อคอมพิวเตอร์แสดงผลบนหน้าจอเป็น 'Malvern Mastersizer' แสดงว่า ส่วนประมวลผลและแสดงผลพร้อมที่จะเริ่มทำการคำนวณ
- 2). เลือกคำสั่ง 'SET UP' บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยการ click mouse button เพื่อทำการตั้งค่าตัวเลือกต่าง ๆ แล้วเลือกที่คำสั่ง 'START' ด้วยการ click mouse button อีกครั้ง เพื่อการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคในตัวอย่างนั้นด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ ที่มีชื่อว่า 'Malvern Mastersizer'

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่ต้องการ 'SET UP' ใหม่ก็ให้ข้าม STEP 3 ไปเลยเครื่องจะใช้ข้อมูล 'SET UP' ที่เก็บไว้ล่าสุด

STEP 4

- 1). เลือกคำสั่ง '#RUNS' บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยการ click mouse button แล้วจึงเลือกจำนวนครั้งที่จะให้ run ซ้ำในตัวอย่างหนึ่ง ๆ
- 2). กดปุ่ม 'F12' เพื่อเก็บค่าตัวเลือกที่ต้องการไว้ในหน่วยความจำ
- 3). เลือกคำสั่ง 'Set up - Analysis' บนจอคอมพิวเตอร์ด้วยการ click mouse button เครื่องจะทำการ Set up - Analysis และพร้อมที่จะทำงาน
- 4). นำตัวอย่างของอนุภาคผสมกับน้ำกลั่นในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้กวนให้ทั่ว แล้วจึง

ค่อย ๆ เทลงใน recirculator จนถึงระดับที่ต้องการ ซึ่งบนหน้าจอจะแสดงข้อความ 'Instrument ready'

- 5). กดปุ่ม 'Ctrl' พร้อมกับปุ่ม 's' เครื่องจะทำการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคทันที

หมายเหตุ ในการเปลี่ยนตัวอย่างของอนุภาคทุกครั้งต้องมีการทำความสะอาดส่วนป้อนตัวอย่างของอนุภาคก่อนทุกครั้ง และกดปุ่ม 'Ctrl' พร้อมกับปุ่ม 'c' เพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์ทำการ clear ข้อมูลโดยอัตโนมัติ

สำหรับการแสดงผลการวิเคราะห์ผลการกระจายขนาดของอนุภาคจะรายงานออกมาทั้งทางจอภาพและทางเครื่องพิมพ์ซึ่งจะมีรูปแบบการรายงานผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค (Analysis reports) แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนแสดงรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ (Sample Details)
2. ส่วนแสดงรายละเอียดของระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ (System Details)
3. ส่วนแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (Result Statistics)
4. ส่วนแสดงตารางผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (Histogram Result Table)
5. ส่วนแสดงกราฟความสัมพันธ์การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (Histogram Graph)

1. ส่วนแสดงรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ (Sample Details)

Sample Details		
Sample ID: S-1	Run Number: 1	Measurement Date: Fri, Sep 06, 1996 9:45AM
Sample File: S-1	Record Number: 1	Analysis Date: Fri, Sep 06, 1996 9:45AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Benjawan Equipment Centre Chulalongkorn University. Liquid medium: water		

Sample Details : date and time of day accompany printout of each run and sample information. If the result has been saved the sample file and record information is displayed. The resource term indicates the state and origin of the result.

2. ส่วนแสดงรายละเอียดของระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ (System Details)

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 20.1 %
Presentation: 35\$D	[Fraunhofer]		Residual: 0.227 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

System Details : shows the system setup for the measured data, the laser beam obscuration, the analysis mode and the presentation used in the analysis. The residual of the analysis is displayed. If any form of result modifications is applied, the details of the modification is displayed.

3. ส่วนแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (Result Statistics)

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0320 %Vol	Density = 1.000 g/ cub.cm	Specific S.A. = 0.5835 sq.m/g
Mean Diameters:	D(v,0.1) = 6.73 um	D(v,0.5) = 25.01 um	D(v,0.9) = 132.70 um
D[4,3] = 54.81 um	D[3,2] = 10.28 um	Span = 5.037E+00	Uniformity = 1.690E+00

Result Statistics : comprises the value, in microns, at any three percentile points, the mean diameter of volume distribution (MV), the calculated specific surface area (SSA), in m^2/g , and a value for total range span of the Mastersizer Analyzer is divided into range 'sizes', or spans of progressively greater width. Printed values of volume weighted mean; the surface weighted mean diameter standard deviation are optional.

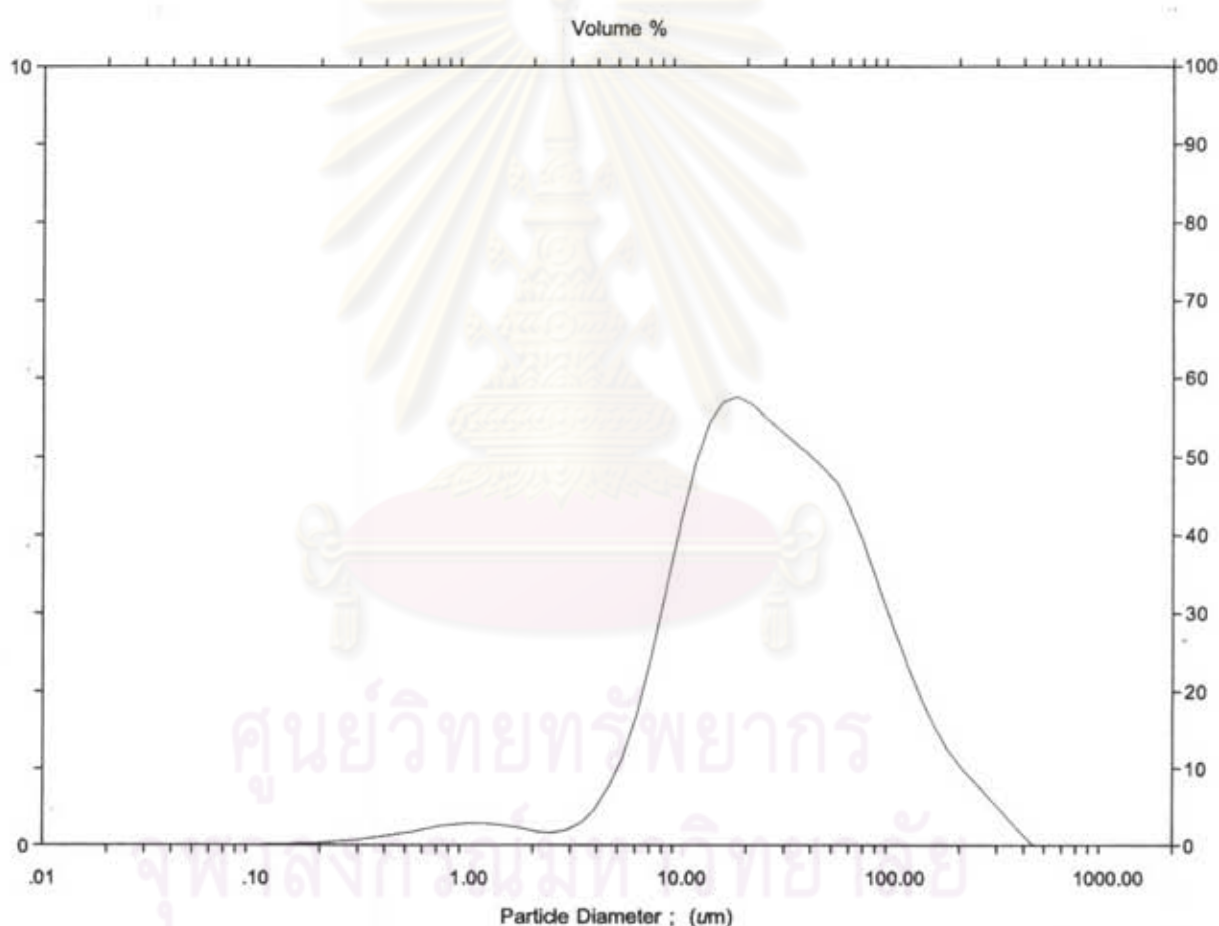
<u>remark</u>	D (v, 0.1) = 10 th Percentile
	D (v, 0.5) = 50 th Percentile
	D (v, 0.9) = 90 th Percentile
	D [4, 3] = the volume weighted mean diameter
	D [3, 2] = the surface weighted mean diameter

4. ส่วนแสดงตารางผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (Histogram Result Table)

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.84	7.72	12.59
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.54	9.00	16.13
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.18	10.48	20.32
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.74	12.21	25.06
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	5.13	14.22	30.19
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	5.36	16.57	35.54
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	5.43	19.31	40.97
0.15	0.01	0.17	0.01	19.31	5.37	22.49	46.35
0.17	0.01	0.20	0.02	22.49	5.23	26.20	51.57
0.20	0.03	0.23	0.05	26.20	5.03	30.53	56.60
0.23	0.05	0.27	0.09	30.53	4.81	35.56	61.42
0.27	0.07	0.31	0.16	35.56	4.58	41.43	65.99
0.31	0.09	0.36	0.26	41.43	4.32	48.27	70.31
0.36	0.13	0.42	0.38	48.27	4.05	56.23	74.36
0.42	0.16	0.49	0.54	56.23	3.67	65.51	78.04
0.49	0.20	0.56	0.74	65.51	3.26	76.32	81.30
0.56	0.24	0.67	0.98	76.32	2.86	88.91	84.16
0.67	0.27	0.78	1.25	88.91	2.49	103.58	86.64
0.78	0.29	0.91	1.54	103.58	2.16	120.67	88.80
0.91	0.29	1.06	1.83	120.67	1.88	140.58	90.68
1.06	0.29	1.24	2.12	140.58	1.64	163.77	92.32
1.24	0.27	1.44	2.39	163.77	1.45	190.80	93.77
1.44	0.25	1.68	2.64	190.80	1.28	222.28	95.05
1.68	0.22	1.95	2.86	222.28	1.13	258.95	96.19
1.95	0.22	2.28	3.08	258.95	0.99	301.68	97.17
2.28	0.25	2.65	3.32	301.68	0.84	351.46	98.01
2.65	0.33	3.09	3.65	351.46	0.69	409.45	98.70
3.09	0.49	3.60	4.14	409.45	0.54	477.01	99.25
3.60	0.74	4.19	4.88	477.01	0.40	555.71	99.65
4.19	1.11	4.88	5.98	555.71	0.25	647.41	99.90
4.88	1.59	5.69	7.58	647.41	0.10	754.23	100.00
5.69	2.18	6.63	9.75	754.23	0.00	878.67	100.00

Histogram Result Table and Report : the analysis result table and report the calculated size band values and distribution result values. Depending on the form of the distribution being displayed in the result graph, the values of the distribution listed can be in band, under-size or over-size values. Histogram data (" Volume In% ": percent of total volume represented by each size band), the size is identified by printing its lower and upper limit, in microns, with cumulative and histogram values on the same line

5. ส่วนแสดงกราฟความสัมพันธ์การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (Histogram Graph)



A Histogram Graph : depending on the number of size bands used in generating the sizes. The scale on the left of the result graph is for the in band distribution and the scale on the right is for under-size or over-size distributions.

การวิเคราะห์กราฟแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคที่สภาวะต่าง ๆ

การเขียนกราฟเพื่อแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคนั้น สามารถทำได้โดยการ plot ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคที่มีอยู่ในแต่ละช่วงขนาด (Size Interval) กับค่ากึ่งกลางของแต่ละขนาด (Geometric mean of the size band limits) นั้น ๆ โดยที่พิจารณาค่ากึ่งกลางของแต่ละช่วงขนาดได้จากสมการ

$$\bar{d}_x = \sqrt{(d_l \times d_h)} \quad (ง-1)$$

- เมื่อ \bar{d}_x = ค่ากึ่งกลางของช่วงขนาดอนุภาคที่ x
(Geometric mean of the size band limits); μm
- d_h = ขนาดสูงสุดของช่วงขนาดอนุภาคที่ x (Upper size diameter); μm
- d_l = ขนาดต่ำสุดของช่วงขนาดอนุภาคที่ x (Lower size diameter); μm

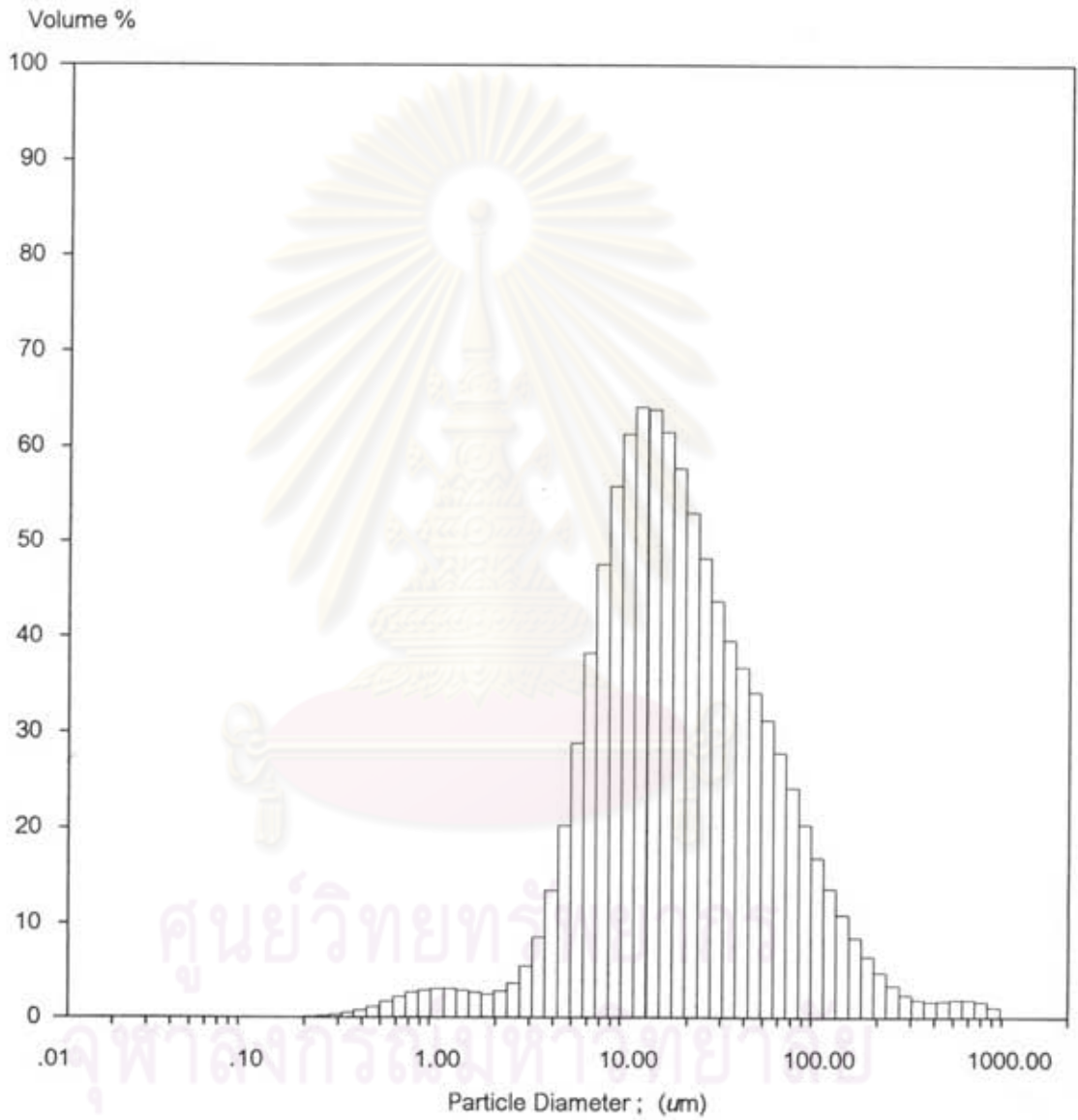
การรายงานผลการกระจายขนาดของอนุภาคจะรายงานอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอนุภาคกับช่วงขนาดต่าง ๆ ดังแสดงในส่วนตารางแสดงผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (Histogram Result Table) ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

- a) Size Low หมายถึง ขนาดต่ำสุดของช่วงขนาดอนุภาคนั้น ๆ มีหน่วยเป็น ไมครอน
- b) Size High หมายถึง ขนาดสูงสุดของช่วงขนาดอนุภาคนั้น ๆ มีหน่วยเป็น ไมครอน
- c) In % หมายถึง เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของปริมาณอนุภาคที่มีอยู่ในช่วงขนาดอนุภาคนั้น ๆ
ตัวอย่างเช่น ที่ช่วงขนาดอนุภาค 7.72 - 9.00 ไมครอน มีเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอนุภาคอยู่ 3.54% โดยปริมาตร ซึ่งหาได้จากค่า Under% ที่ช่วงขนาดอนุภาค 7.72 - 9.00 ไมครอน ซึ่งมีค่า = 16.13 % โดยปริมาตร ลบด้วยค่า Under% ที่ช่วงขนาดก่อนหน้านั้น คือ ช่วงขนาดอนุภาค 6.63 - 7.72 ไมครอน ซึ่งมีค่า = 12.59 % โดยปริมาตร (กล่าวคือ $16.13 - 12.59 = 3.54$ % โดยปริมาตร)
- d) Under % หมายถึง เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของปริมาณอนุภาคที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าช่วงขนาดของอนุภาคที่กล่าวถึง
ตัวอย่างเช่น ที่ช่วงขนาดอนุภาค 7.72 - 9.00 ไมครอน มีค่า Under% อยู่ 16.13 % โดยปริมาตร อาจกล่าวได้ว่า 16.13 % โดยปริมาตร

ของปริมาณอนุภาคสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 9.00 ไมครอนได้
 ดังนั้นจะเหลืออีก 83.87 % โดยปริมาตร ที่อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า
 9.00 ไมครอน ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนขนาด 9.00 ไมครอน

ดังนั้นการเขียนกราฟเพื่อแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคจึงต้องทำการ plot กราฟ
 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคที่มีอยู่ในช่วงขนาดที่พิจารณา ($\ln\%$) กับค่ากึ่งกลาง
 ของช่วงขนาดอนุภาคที่พิจารณา (d_x) สำหรับค่ากึ่งกลางของช่วงขนาดอนุภาคที่พิจารณานั้น
 สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (ง-1) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ตัวอย่างเช่น ที่ช่วงขนาดของอนุภาค
 7.72 - 9.00 ไมครอน จะมีค่ากึ่งกลางของช่วงขนาดอนุภาค; $(d_x) = \sqrt{(7.72 \times 9.00)}$
 = 8.34 ไมครอน ซึ่งจะนำไป plot กราฟคู่กับค่า $\ln\%$ ในช่วงขนาด 7.72 - 9.00 ไมครอน
 คือ 3.54 % โดยปริมาตร วิธีที่แสดงให้เห็นการเขียนกราฟแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค
 อย่างง่าย ๆ คือ การเขียนกราฟแท่งโดยให้ความกว้างของแท่งกราฟเท่ากับความกว้างของ
 ช่วงขนาดอนุภาคที่พิจารณา เช่น ที่ช่วงขนาดของอนุภาค 7.72 - 9.00 ไมครอน จะมีความ
 กว้างของช่วงขนาดอนุภาคเท่ากับ 1.28 ไมครอน โดยหาได้จากการนำขนาดสูงสุดของช่วง
 อนุภาค (Size High) ซึ่งมีค่า = 9.00 ไมครอน ลบออกจากขนาดต่ำสุดของช่วงขนาดอนุภาค
 (Size Low) ซึ่งมีค่า = 7.72 ไมครอน และให้ความสูงของแท่งกราฟเท่ากับค่า $\ln\%$ ของช่วง
 ขนาดอนุภาคที่พิจารณา เช่น ที่ช่วงขนาดของอนุภาค 7.72 - 9.00 ไมครอน จะมีค่า $\ln\%$
 = 3.54 % โดยปริมาตร จากนั้นจึงลากเส้นระหว่างจุดยอดที่อยู่กึ่งกลางของกราฟแต่ละแท่ง
 ซึ่งจะได้กราฟแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค ดังรูปที่ ง-7 แสดงตัวอย่างการพล็อตกราฟ
 เพื่อแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคที่ใช้โคลนดักเก็บได้ ทำเช่นนี้ทุก ๆ การทดลองก็จะได้
 กราฟแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคในแต่ละการทดลองออกมา แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบ
 ผลกันต่อไป

ศูนย์วิทยาศาสตร์พยากรณ์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-7 แสดงตัวอย่างการพล็อตกราฟเพื่อแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค

ภาคผนวก จ

การหาประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน

ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน หมายถึง ความสามารถของไซโคลนในการดักเก็บอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในแก๊ส หรือหมายถึง สัดส่วนของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้ต่ออนุภาคทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในไซโคลน โดยทั่วไปแล้วอนุภาคที่มีอยู่ในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้นั้นจะมีขนาดอนุภาคต่าง ๆ กัน ในอัตราส่วนผสมความหนาแน่นของอนุภาคที่ต่างกันด้วย การเก็บอนุภาคที่มีขนาดใหญ่หรือหยาบจะสามารถทำได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กหรือละเอียด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคของไซโคลนสำหรับอนุภาคในช่วงย่อย แทนการหาประสิทธิภาพรวมของอนุภาคทุกขนาดที่มีอยู่ โดยค่าประสิทธิภาพเฉพาะช่วงขนาดอนุภาคสั้น ๆ นี้มีชื่อเรียกว่า 'ประสิทธิภาพย่อย' (Fraction efficiency) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงเมื่อนำไซโคลนนี้ไปใช้งาน อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อช่วยปรับปรุงไซโคลนให้ดียิ่งขึ้น สำหรับอนุภาคที่ช่วงขนาด i ; สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\eta_f = \left(\frac{w_c}{w_i} \times 100 \right) \quad (\text{จ-1})$$

เมื่อ η_f = ประสิทธิภาพย่อยในการดักเก็บอนุภาคของไซโคลนที่ช่วงขนาดอนุภาค i ; %
 w_c = มวลของอนุภาคที่ดักเก็บได้ด้วยไซโคลนที่ช่วงขนาดอนุภาค i ; kg
 w_i = มวลของอนุภาคที่ทางเข้าของไซโคลนที่ช่วงขนาดอนุภาค i ; kg

ทั้งนี้ในการหาค่าประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน จะใช้อนุภาคตัวอย่างแต่ละชนิดไปวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาค ซึ่งจะมีช่วงขนาดอนุภาคที่ต่าง ๆ กันดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 : อนุภาคที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคต่ำกว่า 5 ไมครอน
เช่น ผงแป้งข้าวเหนียวบด

ตัวอย่างที่ 2 : อนุภาคที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคระหว่าง 5 - 10 ไมครอน
เช่น ผงแป้งข้าวเจ้าบดละเอียด

- ตัวอย่างที่ 3 : อนุภาคที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคระหว่าง 10 - 20 ไมครอน
เช่น ผงแป้งข้าวเจ้าบด
- ตัวอย่างที่ 4 : อนุภาคที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคระหว่าง 20 - 30 ไมครอน
เช่น แป้งข้าวเจ้าบดละเอียด
- ตัวอย่างที่ 5 : อนุภาคที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคระหว่าง 30 - 50 ไมครอน
เช่น แป้งมันบดละเอียด
- ตัวอย่างที่ 6 : อนุภาคที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคระหว่าง 50 - 100 ไมครอน
เช่น แป้งมัน
- ตัวอย่างที่ 7 : อนุภาคที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคมากกว่า 100 ไมครอนขึ้นไป
เช่น แป้งฝุ่นบด

โดยที่อนุภาคตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบ สามารถนำไปซึ่งหาปริมาณด้วยเครื่องที่มีชื่อว่า 'Mettler Toledo AB 204' ของ Diethelm Co.,Ltd. ซึ่งจะได้ผลการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ ดังตารางที่ จ-1 ถึง จ-5 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการนำอนุภาคตัวอย่างแต่ละช่วงขนาดไปทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน โดยได้แบ่งตำแหน่งของ flow area ออกเป็น 5 ตำแหน่ง คือ ที่ตำแหน่ง 100%, 80%, 60%, 40% และ 20% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมดของแก๊ส ตามลำดับ และรูปที่ จ-1 ถึง จ-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน ที่ตำแหน่ง flow area = 100%, 80%, 60%, 40% และ 20% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมดของแก๊ส ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการหาประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนต่อไป สำหรับการหาประสิทธิภาพรวมของไซโคลนที่สภาวะต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์จากปริมาณของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดจากตารางแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพย่อยในแต่ละช่วงขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพรวมของไซโคลน ได้ดังนี้

$$\eta_T = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \eta_i)}{M} \right] \quad (จ-2)$$

- เมื่อ η_T = ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนรวม ; %
 m_i = ปริมาณของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้ในช่วงขนาดอนุภาค i ; kg
 M = ปริมาณของอนุภาคทั้งหมดที่ทางเข้าไซโคลน ; kg

ขั้นตอนการทดลองหาสมรรถนะของไซโคลน

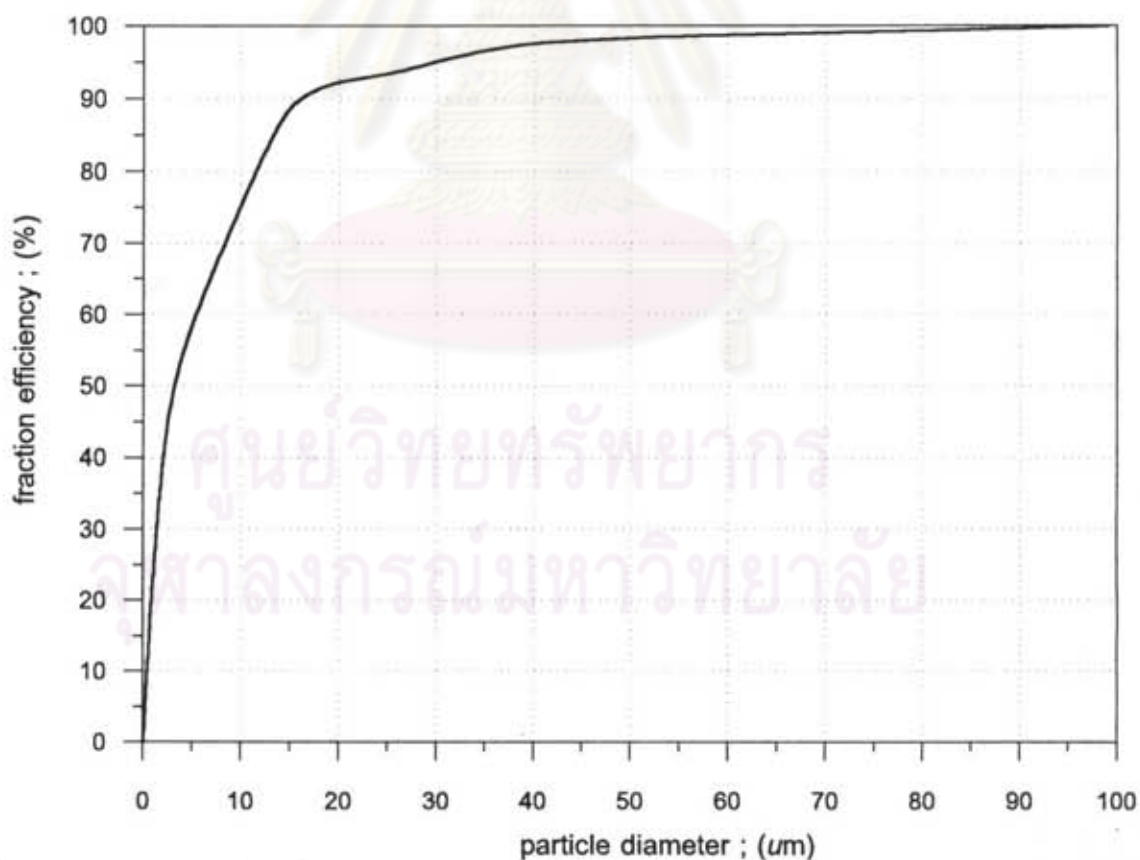
1. ที่พัดลมดูดอากาศให้เลื่อนแผ่น sliding door ปิดพื้นที่ทางออกของแก๊ส
2. เปิดสวิทซ์ให้มอเตอร์ของพัดลมเริ่มทำงาน หลังจาก que ตรวจสอบระบบและเครื่องมือต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะเริ่มทำงาน
3. ค่อย ๆ เลื่อนแผ่น sliding door ให้เปิดออกอยู่ในตำแหน่ง flow area = 100% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมด
4. นำอนุภาคตัวอย่างที่มีช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคต่ำกว่า 5 ไมครอนจำนวน 500 กรัม ใส่ในภาชนะแล้วนำมาไว้ที่ทางเข้าของไซโคลนเพื่อให้อนุภาคตัวอย่างถูกดูดเข้าไปในไซโคลน จนกระทั่งหมด
5. ปิดสวิทซ์ให้มอเตอร์พัดลมดูดอากาศหยุดทำงานแล้วปล่อยระบบทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้อนุภาคที่ยังฟุ้งกระจายอยู่ตกลงสู่ด้านล่างให้หมดเสียก่อน จากนั้นนำอนุภาคออกจากที่รองรับด้านล่างแล้วนำไปชั่งหามวลของอนุภาคที่ไซโคลนสามารถดักเก็บได้ บันทึกค่าที่ได้
6. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1 ถึง ข้อ 5 อีก 2 ครั้ง บันทึกค่าที่ได้เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย
7. ปรับตำแหน่งของ flow area เป็นที่ 80%, 60%, 40% และ 20% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมดตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึงข้อ 6
8. ทำการเปลี่ยนอนุภาคตัวอย่าง เพื่อเปลี่ยนช่วงการกระจายขนาดของอนุภาคที่จะใช้ทดลอง จากนั้นทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึงข้อ 7 โดยใช้อนุภาคตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้
9. จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นับบันทึกค่าไว้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานย่อยของไซโคลน ที่สภาวะต่าง ๆ จากสมการที่ (จ-1)
10. นำผลจากการคำนวณทั้งหมดไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของอนุภาค (particle diameter) กับประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน (fractional efficiency curve) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงต่อไป

ข้อควรระวังในการทดลอง

1. ก่อนเปิดสวิทซ์ให้มอเตอร์พัดลมดูดอากาศหยุดทำงาน ควรใช้หม้อนิยงเกาะที่ตัวไซโคลนและระบบท่อ เพื่อให้อนุภาคที่เกาะตามผนังหล่นลงมา
2. ในขณะที่อนุภาคถูกดูดเข้าไปในไซโคลนหมดแล้ว หลังจากปิดสวิทซ์มอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศแล้วควรปล่อยเครื่องทิ้งไว้สักกระยะหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อให้อนุภาคที่ยังฟุ้งกระจายอยู่ในระบบตกลงสู่ด้านล่างให้หมดเสียก่อน แล้วจึงนำอนุภาคนั้นไปชั่งหามวลของอนุภาคต่อไป

ตารางที่ จ-1 แสดงผลการทดลองการหาสมรรถนะของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.805 kg /s

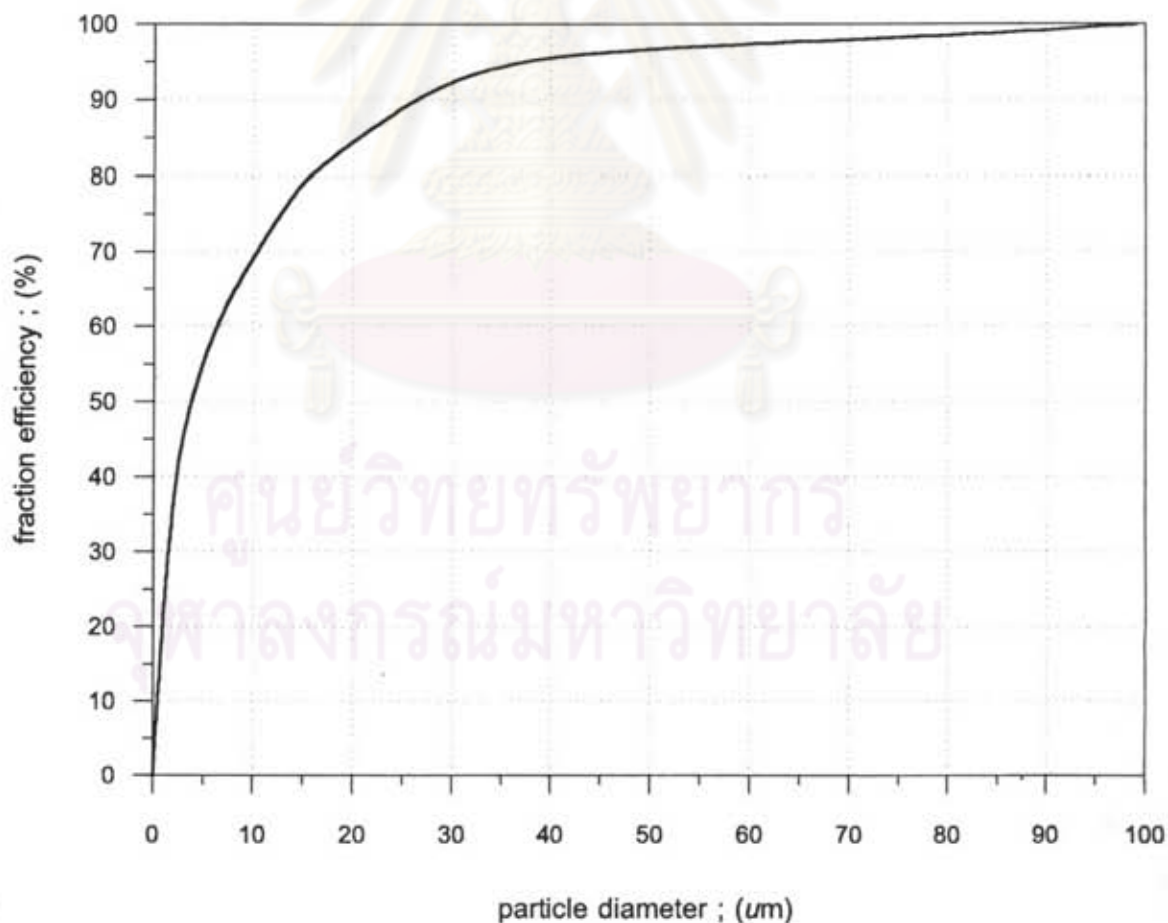
ช่วงขนาดของอนุภาค; (μm)	ค่ากึ่งกลางของช่วงขนาด; (μm)	w_c ; (kg)	w_i ; (kg)	η_f ; (%)
< 5.0	2.5	0.225	0.50	45.0
5.0 - 10.0	7.5	0.336	0.50	67.2
10.0 - 20.0	15.0	0.444	0.50	88.8
20.0 - 30.0	25.0	0.467	0.50	93.4
30.0 - 50.0	40.0	0.488	0.50	97.6
50.0 - 100.0	75.0	0.496	0.50	99.2
> 100.0	100.0 +	0.499	0.50	100.0



รูปที่ จ-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.805 kg /s

ตารางที่ จ-2 แสดงผลการทดลองการหาสมรรถนะของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.683 kg /s

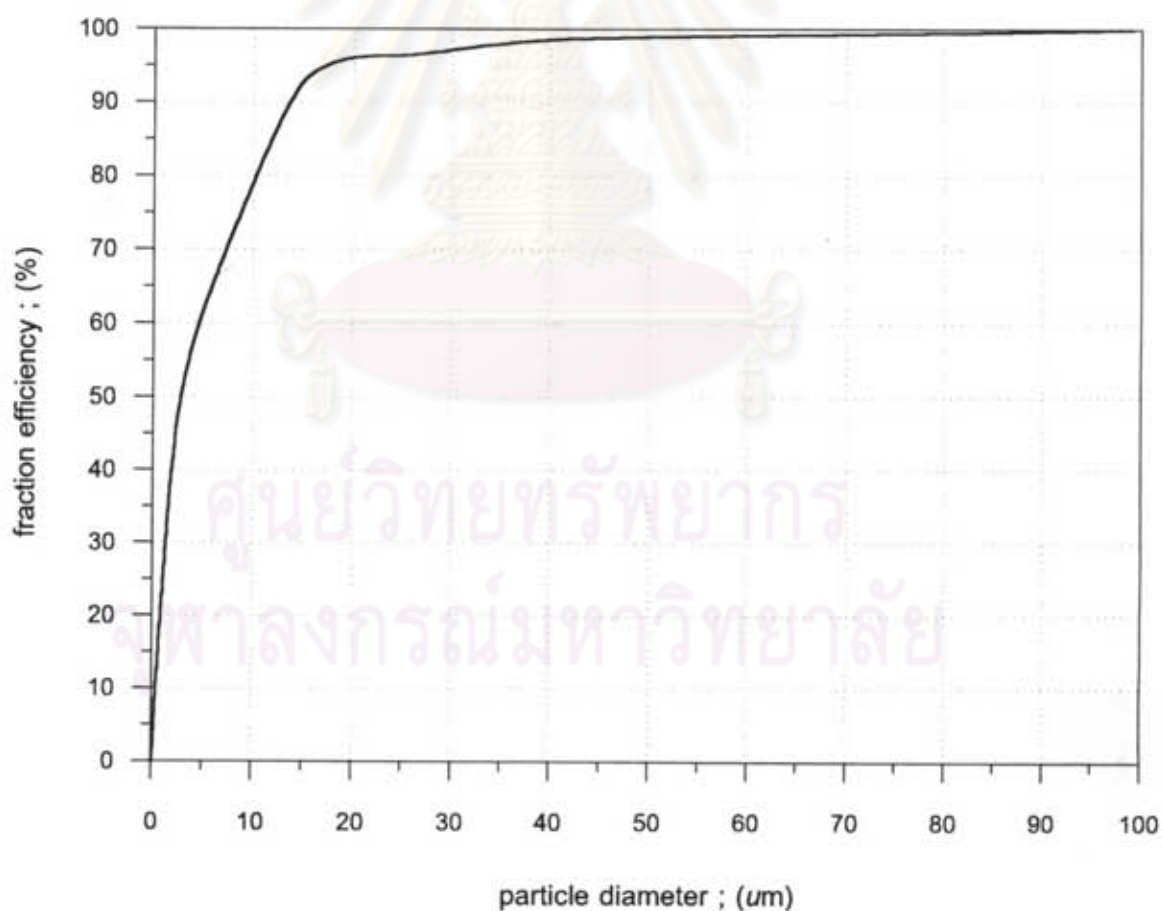
ช่วงขนาดของอนุภาค; (μm)	ค่ากึ่งกลางของช่วงขนาด; (μm)	w_c ;(kg)	w_i ;(kg)	η_r ;(%)
< 5.0	2.5	0.209	0.50	41.8
5.0 - 10.0	7.5	0.317	0.50	63.4
10.0 - 20.0	15.0	0.396	0.50	79.2
20.0 - 30.0	25.0	0.445	0.50	89.0
30.0 - 50.0	40.0	0.478	0.50	95.6
50.0 - 100.0	75.0	0.491	0.50	98.2
> 100.0	100.0 +	0.497	0.50	100.0



รูปที่ จ-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.683 kg /s

ตารางที่ จ-3 แสดงผลการทดลองการหาสมรรถนะของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.551 kg /s

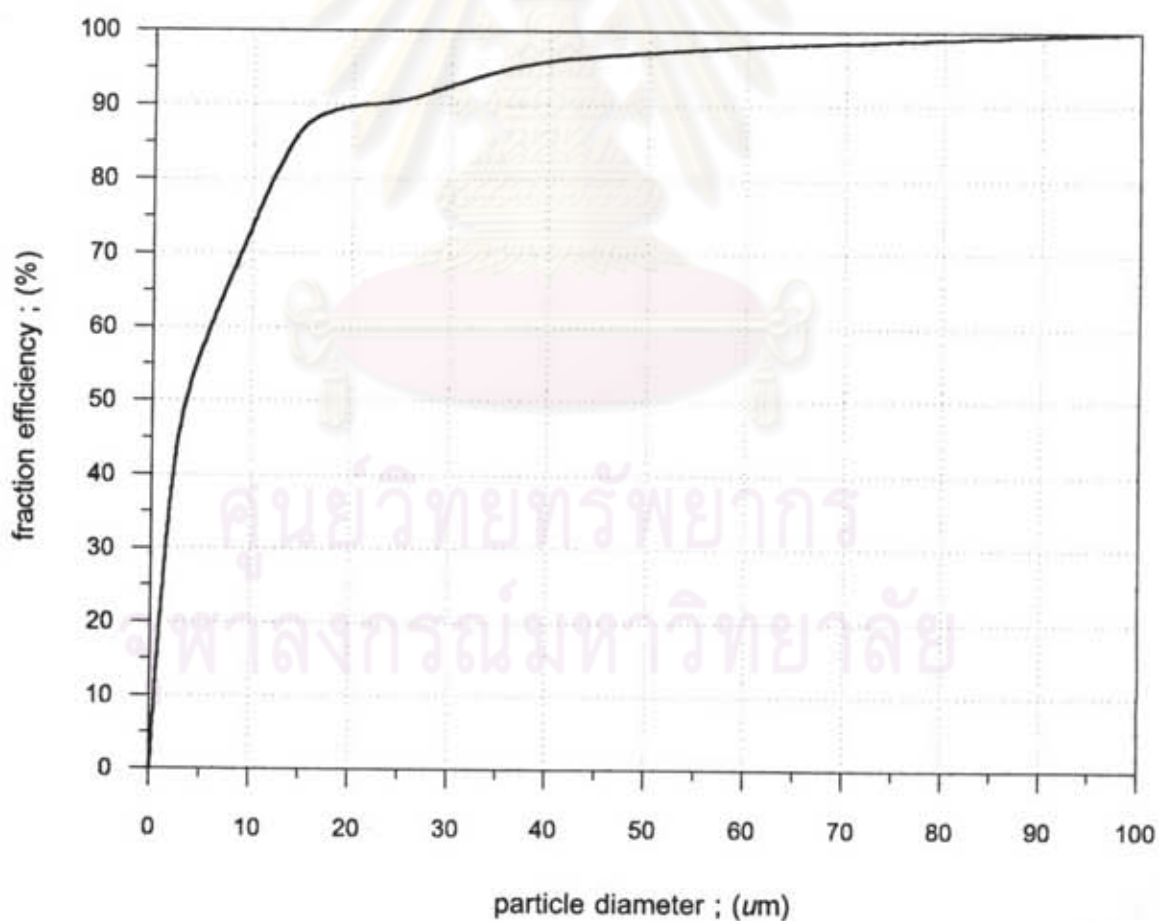
ช่วงขนาดของอนุภาค; (μm)	ค่ากึ่งกลางของช่วงขนาด; (μm)	w_c ;(kg)	w_i ;(kg)	η_f ;(%)
< 5.0	2.5	0.239	0.50	47.8
5.0 - 10.0	7.5	0.354	0.50	70.8
10.0 - 20.0	15.0	0.465	0.50	93.0
20.0 - 30.0	25.0	0.482	0.50	96.4
30.0 - 50.0	40.0	0.493	0.50	98.6
50.0 - 100.0	75.0	0.497	0.50	99.4
> 100.0	100.0 +	0.499	0.50	100.0



รูปที่ จ-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.551 kg /s

ตารางที่ จ-4 แสดงผลการทดลองการหาสมรรถนะของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.507 kg /s

ช่วงขนาดของอนุภาค; (μm)	ค่ากึ่งกลางของช่วงขนาด; (μm)	w_c ;(kg)	w_i ;(kg)	η_f ;(%)
< 5.0	2.5	0.220	0.50	44.0
5.0 - 10.0	7.5	0.329	0.50	65.8
10.0 - 20.0	15.0	0.435	0.50	87.0
20.0 - 30.0	25.0	0.453	0.50	90.6
30.0 - 50.0	40.0	0.480	0.50	96.0
50.0 - 100.0	75.0	0.494	0.50	98.8
> 100.0	100.0 +	0.497	0.50	100.0

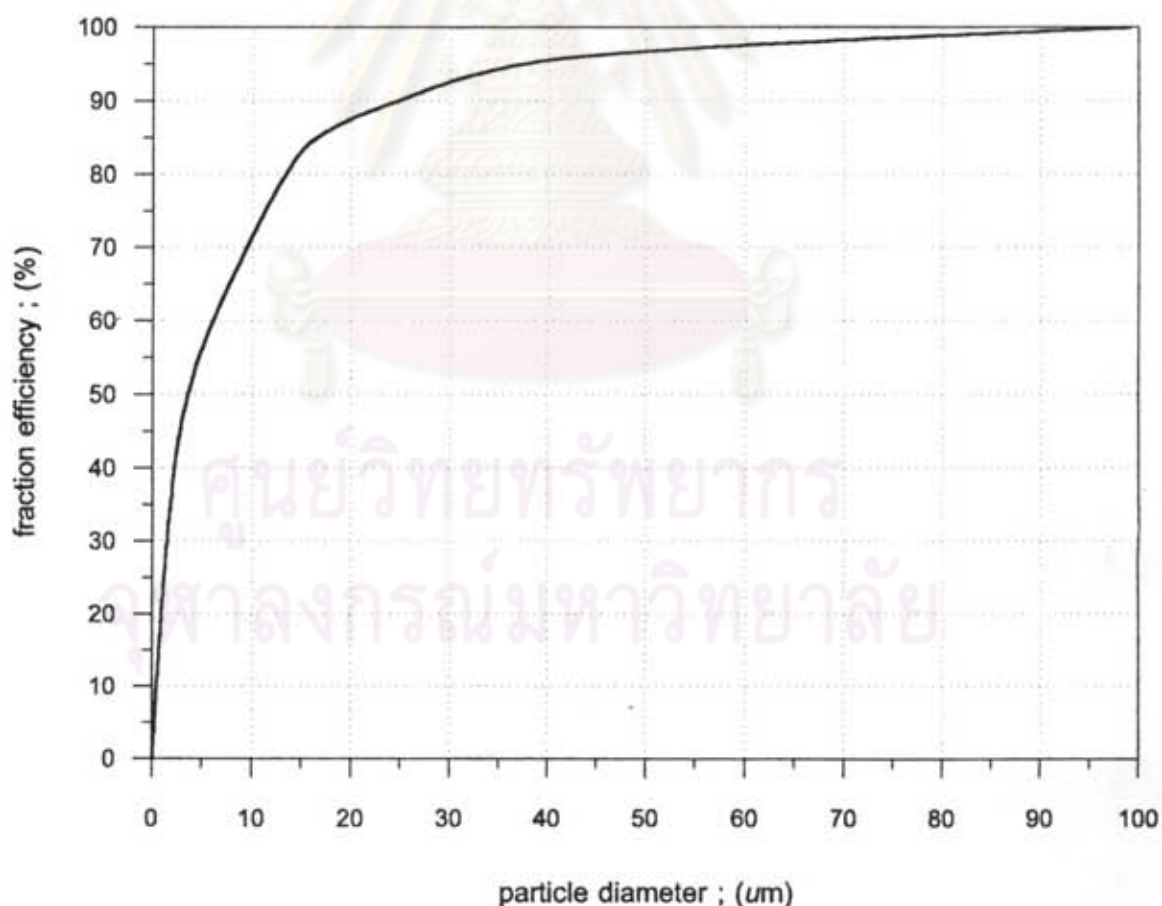


รูปที่ จ-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.507 kg /s

ตารางที่ จ-5 แสดงผลการทดลองการหาสมรรถนะของไซโคลน

ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.438 kg /s

ช่วงขนาดของอนุภาค; (μm)	ค่ากึ่งกลางของช่วงขนาด; (μm)	w_c ;(kg)	w_i ;(kg)	η_f ;(%)
< 5.0	2.5	0.216	0.50	43.2
5.0 - 10.0	7.5	0.323	0.50	64.6
10.0 - 20.0	15.0	0.417	0.50	83.4
20.0 - 30.0	25.0	0.451	0.50	90.2
30.0 - 50.0	40.0	0.478	0.50	95.6
50.0 - 100.0	75.0	0.493	0.50	98.6
> 100.0	100.0 +	0.497	0.50	100.0



รูปที่ จ-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน
ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวล = 0.438 kg /s

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองเผาผลาญสลายประเภทไบโไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตรา 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง flow area=100% แล้วนำอนุภาคทั้งหมดที่ไซโคลนดักเก็บได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดในหน่วย % โดยปริมาตร ด้วยเครื่อง 'MASTERSIZER' ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

Particle diameter range; (μm)	m_i ; (% by volume)
0.05 - 4.88	5.19
4.88 - 10.48	12.89
10.48 - 19.31	20.82
19.31 - 30.53	15.60
30.53 - 48.27	14.38
48.27 - 103.58	19.05
100.00 ++	12.08

จากสมการที่ (จ-2) แทนค่าทั้งหมดลงในสมการ จะได้

$$\eta_T = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \eta_r)}{M}$$

$$= \left[\frac{(5.19 \times 45.0) + (12.89 \times 67.2) + (20.82 \times 88.8) + (15.6 \times 93.4) + (14.38 \times 97.6) + (19.05 \times 99.2) + (12.08 \times 100)}{100} \right]$$

$$= 89.07 \%$$

\therefore ประสิทธิภาพการทำงานรวมของไซโคลน เมื่อทำการเผาผลาญสลายประเภทไบโไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง 25 kg/hr ที่ตำแหน่ง flow area = 100% มีค่า $\eta_T = 89.07 \%$

ภาคผนวก ฉ

การออกแบบเตาเผาชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว

การออกแบบเตาเผาที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้โดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัดจะต้องคำนึงถึงปัจจัย ข้อมูล และหลักเกณฑ์ ดังนี้

1. คุณสมบัติของมูลฝอยที่สามารถเผาได้โดยใช้เตาเผา เช่น คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี
2. ปริมาณมูลฝอย ทำให้สามารถกำหนดขนาดของเตาเผาได้
3. ค่าความร้อน (heating value) ของมูลฝอยที่ต้องการเผา
4. สถานที่ตั้งของเตาเผา
5. การจัดเตรียมพื้นที่ในการกำจัดเศษจากการเผาไหม้ (residue) โดยการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill)

ห้องเผาไหม้ (combustion chamber) หมายถึง อาณาเขตที่มีการเผาไหม้ มีหลักการออกแบบเหมือนกับเตา (furnace) ผนังของห้องเผาไหม้จะเป็นอิฐทนไฟ (refractory material) หรือผนังแบบท่อน้ำ (water tube wall) เพื่อที่จะช่วยลดอุณหภูมิของเตาเผาและสามารถนำเอาไอน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ การออกแบบห้องเผาไหม้ต่างๆไปจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับกระบวนการเผาไหม้ในเตาด้วย โดยคำนึงถึงอุณหภูมิของแก๊สร้อนภายในเตาจะต้องมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง $600^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$ เพื่อที่จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิจุดติดไฟ (ignition temperature) ของมูลฝอยแต่ละชนิด

ตะแกรง (grate) ในเตาเผามูลฝอยเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งจะทำหน้าที่รองรับมูลฝอยภายในห้องเผาไหม้และยังช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ โดยจะให้อากาศผ่านขึ้นมายังด้านบน ส่วนซี่เต้าจะตกลงมาด้านล่างทำให้ไม่ปิดบังการเผาไหม้ สำหรับเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยวเป็นเตาขนาดเล็ก ทำการป้อนมูลฝอยด้วยแรงงานคนหรือเรียกว่า batch-operation จะใช้ตะแกรงชนิดอยู่กับที่ (stationary grates) ความสามารถของตะแกรงเตาเผามูลฝอย (grates capacity) หมายถึง อัตราการป้อนมูลฝอยเข้าเตาต่อหน่วยพื้นที่หรือบางครั้งเรียกว่าภาระของตะแกรง (grate loading) สามารถหาได้จากสมการ

$$L_G = 10 \log R_c \quad (จ-1)$$

เมื่อ L_G = ภาระของตะแกรง ; lb/ft².hr
 R_c = อัตราการเผาผลาญ ; lb/hr

ดังนั้นสามารถหาพื้นที่ของตะแกรงห้องเผาไหม้ได้จากสมการ

$$A_G = R_c / L_G \quad (จ-2)$$

เมื่อ A_G = พื้นที่ของตะแกรงห้องเผาไหม้ ; ft²

ส่วนความสูงของห้องเผาไหม้สามารถหาได้จาก

$$H_c = \frac{4}{3} (A_G)^{4/11} \quad (จ-3)$$

เมื่อ H_c = ความสูงของห้องเผาไหม้ ; ft

ประสิทธิภาพของเตาเผาในการเผาทำลาย ($\eta_{\text{destruction}}$) หมายถึง ความสามารถในการเผาทำลายมลพิษที่เหลือเป็นขี้เถ้า (residue) สามารถพิจารณาได้จากสมการ

$$\eta_{\text{destruction}} = \left(1 - \frac{m_R}{m_{R_c}} \right) \times 100 \quad (จ-4)$$

เมื่อ $\eta_{\text{destruction}}$ = ประสิทธิภาพของเตาเผาในการเผาทำลาย ; %
 m_R = อัตราการเกิดขี้เถ้าในเตาเผา ; kg/hr
 m_{R_c} = อัตราการเผาผลาญ ; kg/hr

การคำนวณหาขนาดเตาเผามูลฝอย

At maximum refuse combustion rate; $R_c = 50 \text{ kg/hr}$ [110.23 lb/hr]
 ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ; $m_R = 2.38 \text{ kg}$

จากสมการ (ฉ-1) สามารถหาภาระของตะแกรง (grate loading, L_G) ได้จาก

$$\begin{aligned} L_G &= 10 \log R_c \\ &= 10 \log (110.23) \\ &= 20.42 \quad \text{lb/hr.ft}^2 \end{aligned}$$

เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ จึงคิดเผื่อความชื้นของมูลฝอยโดยพิจารณาที่ 90% ของภาระของตะแกรง ดังนั้น

$$\begin{aligned} L_G &= (0.9 \times 20.42) \\ &= 18.38 \quad \text{lb/hr.ft}^2 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (ฉ-2) หาพื้นที่หน้าตัดของตะแกรงได้ ;

$$\begin{aligned} A_G &= \left(R_c / L_G \right) \\ &= \left(110.23 / 18.38 \right) \\ &= 5.997 \quad \text{ft}^2 \left[= 0.557 \text{ m}^2 \right] \end{aligned}$$

จากสมการที่ (ฉ-3) หาความสูงของห้องเผาไหม้ได้ ;

$$\begin{aligned} H_c &= \frac{4}{3} (A_G)^{4/11} \\ &= \frac{4}{3} (5.997)^{4/11} \\ &= 2.557 \quad \text{ft} \left[= 0.767 \text{ m} \right] \end{aligned}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (จ-4) สามารถพิจารณาประสิทธิภาพของเตาเผาในการทำลายได้ ;

$$\begin{aligned}\eta_{\text{destruction}} &= \left(1 - \frac{m_R}{m_{R_c}}\right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{2.38}{50.0}\right) \times 100 \\ &= 95.24 \%\end{aligned}$$

หมายเหตุ เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้นและเผื่อที่สำหรับ flue gas ที่เกิดขึ้น จึงพิจารณาใช้ความสูงของห้องเผาไหม้เป็น 1.0 เมตร และใช้ความสูงของห้องเก็บซีเถ้าเท่ากับ 0.25 เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางและรูปประกอบการออกแบบระบบไฮโคลน

ตารางที่ ข-1 แสดงค่าความเร็วจับของอนุภาค (Capture velocity)

Condition of Contaminant Dispersion	Examples	Capture (Control) Velocity, m/s
Released with essentially no velocity into still air	Evaporation from tanks, degreasing, plating	0.25 to 0.5
Released at low velocity into moderately still air	Container filling, low-speed conveyor transfers, welding	0.5 to 1.0
Active generation into zone of rapid air motion	Barrel filling, chute loading of conveyors, crushing, cool shakeout	1.0 to 2.5
Released at high velocity into zone of very rapid air motion	Grinding, abrasive blasting, tumbling, hot shakeout	2.5 to 10

In each category above, a range of capture velocities is shown. The proper choice of values depends on several factors (Alden and Kane 1982):

Lower End of Range	Upper End of Range
1. Room air currents are favorable to capture.	1. Distributing room air currents.
2. Contaminants of low toxicity or of nuisance value only.	2. Contaminants of high toxicity.
3. Intermittent, low production.	3. High production, heavy use.
4. Large hood; large air mass in motion.	4. Small hood; local control only.

ตารางที่ ข-2 แสดงค่าความเร็วของแก๊สที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ (Transport velocity)

Nature of Contaminant	Examples	Minimum Transport Velocity, m/s
Vapors, gases, smoke	All vapors, gases, smokes	Usually 5 to 10
Fumes	Welding	10 to 13
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	13 to 15
Dry dusts and powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	15 to 20
Average industrial dust	Grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	18 to 23
Heavy dusts	Sawdust (heavy and wet), metal turnings, foundry tumbling barrels and shakeout, sandblast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast-iron boring dust, lead dust	20 to 23
Heavy or moist dusts	Lead dust with small chips, moist cement dust, asbestos chunks from transite pipe cutting machines, buffing lint (sticky), quicklime dust	23 and up

ตารางที่ ช-3 แสดงค่าความเร็วของอากาศในรูปของความเร็วเนื่องจากความดัน
(Velocity Pressure)

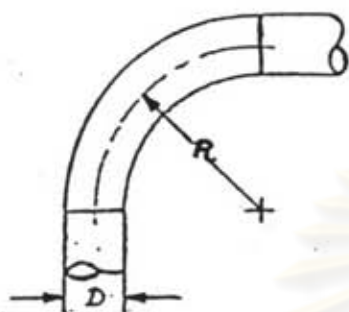
จากสมการ $v = 4.0435\sqrt{(VP)}$

เมื่อ v = ความเร็วของอากาศ ; m/s

VP = ความเร็วเนื่องจากความดัน (Velocity Pressure) ; mm.of H₂O

VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V
0.2	1.81	0.5	9.39	13.0	14.58	39	25.25	65	32.59
0.4	2.56	5.6	9.57	14.0	15.13	40	25.57	66	32.84
0.6	3.13	5.8	9.74	15.0	15.66	41	25.89	67	33.09
0.8	3.62	6.0	9.90	16.0	16.17	42	26.20	68	33.34
1.0	4.04	6.2	10.07	17.0	16.67	43	26.51	69	33.58
1.2	4.43	6.4	10.23	18.0	17.15	44	27.82	70	33.82
1.4	4.78	6.6	10.39	19.0	17.62	45	27.12	71	34.07
1.6	5.11	6.8	10.54	20.0	18.08	46	27.42	72	34.30
1.8	5.42	7.0	10.70	21.0	18.53	47	27.72	73	34.54
2.0	5.72	7.2	10.85	22.0	18.96	48	28.01	74	34.78
2.2	6.00	7.4	11.00	23.0	19.19	49	28.30	75	35.01
2.4	6.26	7.6	11.15	24.0	19.81	50	28.59	76	35.24
2.6	6.52	7.8	11.29	25.0	20.21	51	28.87	77	35.48
2.8	6.67	8.0	11.43	26.0	20.61	52	28.87	78	35.71
3.0	7.00	8.2	11.58	27.0	21.01	53	29.15	79	35.93
3.2	7.23	8.4	11.72	28.0	21.39	54	29.43	80	36.16
3.4	7.45	8.6	11.86	29.0	21.77	55	29.71	81	36.39
3.6	7.67	8.8	11.99	30.0	22.14	56	29.92	82	36.61
3.8	7.88	9.0	12.13	31.0	22.51	57	30.52	83	36.83
4.0	8.09	9.2	12.26	32.0	22.51	58	30.79	84	37.05
4.2	8.29	9.4	12.40	33.0	23.22	59	31.05	85	37.27
4.4	8.48	9.6	12.53	34.0	23.57	60	31.32	86	37.49
4.6	8.67	9.8	12.66	35.0	23.92	61	31.58	87	37.71
4.8	8.86	10.0	12.78	36.0	24.26	62	31.83	88	37.93
5.0	9.04	11.0	13.41	37.0	24.59	63	32.09	89	38.14
5.2	9.22	12.0	14.01	38.0	24.92	64	32.34	90	38.36

ตารางที่ ข-4 แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในข้องอ 90° ;
(round elbow 90°)



R, No. of Diameters	Loss Fraction of VP
2.75 D	0.26
2.50 D	0.22
2.25 D	0.26
2.00 D	0.27
1.75 D	0.32
1.50 D	0.39
1.25 D	0.55

ROUND ELBOWS

ตารางที่ ข-5 แสดงขนาดของท่อลด (reducer) ตามมาตรฐาน JIS B 2311 SGP

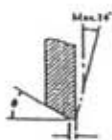
JIS B 2311 SGP Reducer Dimension																Unit : mm		
Item	Size	1/2	3/4	1	1-1/4	1-1/2	2	2-1/2	3	3-1/2	4	5	6	8	10	12	14	16
D	Std.	21.7	27.2	34.0	42.7	48.6	60.5	76.3	89.1	101.6	114.3	139.8	165.2	216.3	267.4	318.5	355.6	406.4
	Max.	23.5	29.0	35.8	44.5	50.4	62.3	78.1	91.4	103.9	116.6	143.0	168.4	219.5	271.9	323.0	360.1	410.9
	Min.	19.9	25.4	32.2	40.9	46.8	58.7	74.5	86.8	99.3	112.0	136.6	162.0	213.1	263.4	314.5	351.6	402.4
d	Std.	16.1	21.6	27.6	35.7	41.6	52.9	67.9	80.7	93.2	105.3	130.8	155.2	204.7	254.2	304.7	339.8	390.6
	Max.	17.9	23.4	29.4	37.5	43.4	54.7	69.7	83.0	96.5	107.6	134.0	158.4	207.9	258.2	308.7	343.8	394.6
	Min.	14.3	19.8	25.8	33.9	39.8	51.1	66.1	78.4	90.9	103.0	127.6	152.0	201.5	250.2	300.7	335.8	386.6
T	Std.	2.8	2.8	3.2	3.5	3.5	3.8	4.2	4.2	4.2	4.5	4.5	5.0	5.8	6.6	6.9	7.9	7.9
	Min.	2.4	2.4	2.8	3.0	3.0	3.3	3.6	3.6	3.6	3.9	3.9	4.3	5.0	5.7	5.9	6.8	6.8

Item	Size	1/2	3/4	1	1-1/4	1-1/2	2	2-1/2	3	3-1/2	4	5	6	8	10	12	14	16
H End- End	Std.	—	35.1	50.8	50.8	63.5	76.2	88.9	88.9	101.6	101.6	127.0	139.7	152.4	177.8	203.2	330.2	355.6
	Max.	—	39.9	52.6	52.6	65.3	78.0	90.7	90.7	103.4	103.4	130.0	142.7	155.4	180.8	206.2	333.2	358.6
	Min.	—	35.3	49.0	49.0	61.7	74.4	87.1	87.1	99.8	99.8	124.0	136.7	149.4	174.8	200.2	327.2	352.6

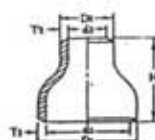
STD : Specified Standard

$\theta = 32.5^\circ \pm 2.5^\circ$

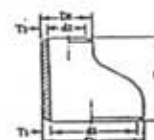
$R = 2.0 \pm 1.2$



End Preparation



Con. Reducer



Ecc. Reducer

ตารางที่ ข-6 แสดงค่า Discharge coefficient ; (C_d)

$\beta \backslash Re_b$	5×10^3	10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	10^5	3×10^5	10^6	10^7
0.20	0.5997	0.5985	0.5979	0.5976	0.5974	0.5973	0.5972	0.5970	0.5969	0.5969
0.22	0.6006	0.5992	0.5984	0.5980	0.5977	0.5976	0.5975	0.5973	0.5972	0.5971
0.24	0.6017	0.6000	0.5989	0.5985	0.5981	0.5980	0.5978	0.5976	0.5974	0.5974
0.26	0.6030	0.6008	0.5995	0.5990	0.5986	0.5984	0.5982	0.5979	0.5977	0.5977
0.28	0.6013	0.6017	0.6002	0.5996	0.5991	0.5988	0.5986	0.5982	0.5981	0.5980
0.30	...	0.6028	0.6010	0.6003	0.5996	0.5993	0.5991	0.5986	0.5984	0.5983
0.32	...	0.6039	0.6018	0.6010	0.6002	0.5999	0.5996	0.5990	0.5988	0.5987
0.34	...	0.6052	0.6027	0.6017	0.6009	0.6004	0.6001	0.5995	0.5992	0.5990
0.36	...	0.6066	0.6037	0.6026	0.6016	0.6011	0.6007	0.6000	0.5997	0.5995
0.38	...	0.6080	0.6047	0.6035	0.6023	0.6018	0.6013	0.6005	0.6001	0.5999
0.40	...	0.6096	0.6059	0.6044	0.6031	0.6025	0.6020	0.6011	0.6006	0.6004
0.42	0.6071	0.6054	0.6040	0.6033	0.6027	0.6017	0.6012	0.6009
0.44	0.6084	0.6065	0.6049	0.6041	0.6035	0.6023	0.6017	0.6014
0.46	0.6098	0.6077	0.6059	0.6050	0.6043	0.6030	0.6023	0.6020
0.48	0.6112	0.6089	0.6069	0.6059	0.6051	0.6036	0.6030	0.6026
0.50	0.6127	0.6102	0.6079	0.6068	0.6060	0.6043	0.6036	0.6032
0.52	0.6143	0.6115	0.6090	0.6078	0.6068	0.6051	0.6042	0.6038
0.54	0.6159	0.6129	0.6101	0.6088	0.6077	0.6058	0.6049	0.6044
0.56	0.6176	0.6143	0.6113	0.6098	0.6087	0.6065	0.6055	0.6049
0.58	0.6157	0.6124	0.6108	0.6095	0.6072	0.6061	0.6055
0.60	0.6171	0.6135	0.6118	0.6104	0.6079	0.6067	0.6060
0.62	0.6185	0.6146	0.6128	0.6112	0.6085	0.6072	0.6065
0.64	0.6198	0.6156	0.6136	0.6120	0.6090	0.6076	0.6068
0.66	0.6211	0.6166	0.6144	0.6127	0.6094	0.6079	0.6071
0.68	0.6223	0.6175	0.6151	0.6132	0.6097	0.6081	0.6072
0.70	0.6182	0.6157	0.6136	0.6099	0.6081	0.6071
0.71	0.6185	0.6159	0.6138	0.6099	0.6081	0.6071
0.72	0.6187	0.6161	0.6139	0.6098	0.6080	0.6069
0.73	0.6190	0.6162	0.6139	0.6097	0.6078	0.6067
0.74	0.6191	0.6163	0.6139	0.6096	0.6076	0.6065
0.75	0.6193	0.6163	0.6138	0.6094	0.6073	0.6062

Remark: This table is given for convenience. It is not intended for precise interpolation.

ตารางที่ ข-7 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของแผ่นกรอง (filter mat)

The P15 series: the ultra-durable filter mats in filter classes EU 2 to EU 4 (G2 to G4)



Coarse filtration

P 15/150 S

EU 2
DIN
24 185

G 2
EN
779

R 15/350 S

EU 3
DIN
24 185

G 3
EN
779

P 15/500 S

EU 4
DIN
24 185

G 4
EN
779

The filters

The P15 series comprises the following familiar and yet continually enhanced Viledon filter mats:

- ▶ P15/150 S
- ▶ P15/350 S
- ▶ P15/500 S

All the types in this series are tough, high performance products, suitable for filtration in all kinds of ventilation systems. P15/500 S is also used for high quality prefiltration of intake air in paint spray booths.

The special features of the P15 series

- ▶ High arrestance right from the beginning throughout their useful lifetime, thus providing maximized operational reliability.
- ▶ The high mechanical strength of the material used offers good dimensional stability throughout the operational lifetime, even when handling large air volumes, thus ensuring dependable operation of the filter system concerned.
- ▶ Thanks to the polypropylene fibers used in the medium, P15 filter mats are particularly resistant to chemicals like solvents, acids and alkalis.
- ▶ The filter material can be cleaned by washing, beating or spraying, and can then be used again.

Even after washing, the filter mat remains dimensionally stable, thus retaining its technical filtering properties. The fire class remains unaltered.

Our environment friendly filter series for users interested in avoiding waste and cutting their filtering costs.

		P 15/150 S	P 15/350 S	P15/500 S
• Weight, approx.	g/m ²	100	200	350
• Thickness, approx.	mm	10	16	20
• Thermal stability	C	up to 100	up to 100	up to 100
• Moisture resistance, rel. humidity	%	up to 100	up to 100	up to 100
• Supplied as rolls, useful width/length	mm/m	2000/40	2000/30	2000/20
• Supplied as cut pieces	mm	Pieces cut to customer's specification		
• Arrestance	A _a %	67	85	94
• Efficiency	E _i %	< 20	< 20	< 20
• Nominal media velocity	○ m/s	2	1.5	1
• Initial pressure loss	Pa	20	25	30
• Recommended final pressure loss	Pa	125	200	250
• Dust holding capacity	g/m ²	380	600	600

* The figures given here are mean values with tolerances due to the usual production fluctuations. The correctness of these particulars requires our explicit written confirmation in each individual case.

ตารางที่ ช-8 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของถุงกรอง (bag filter)

PE/PE 651

Polyester Needlefelt with Polyester Scrim

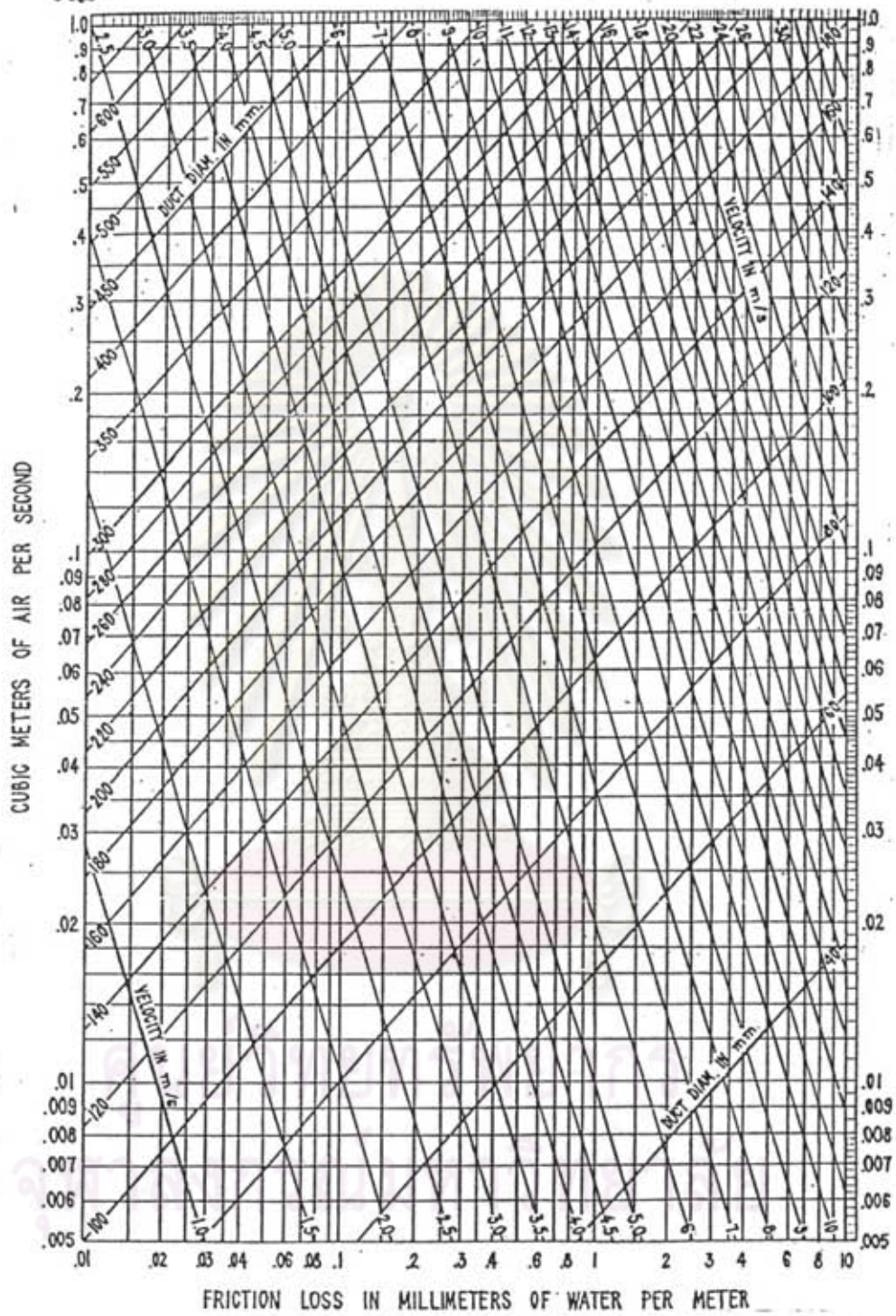
Weight: DIN 53 854	650 g/m ²
Thickness: DIN 53 855	2,1 mm
Density: DIN 53 855	0,31 g/cm ³
Pore Volume: DIN 53 855	78 %
Air Permeability: DIN 53 887	120 l/dm ² min at 196 Pa (20 mm Water Column)
Bursting Strength DIN 53 861	16 bar (sample size 50 cm ²) bubble height approx. 25 mm
Resistance to temperature:	dry-heat up to 150°C under permanent exposure
Melting point:	250 – 260°C
Spontaneous Combustion Temp.:	508°C
Moisture Uptake:	0,4 % at 65 % rel. humidity and 20°C
Water imbibition (swelling value): DIN 53 814	approx. 4 %
Resistance to acids:	good (e.g. resistant to 30 % HCl and 50 % H ₂ SO ₄ at 50°C)
Resistance to alkalis:	sufficient (e.g. resistant to 25 % caustic soda)
Resistance to hydrolysis:	bad
Resistance to organic solvents:	generally resistant, but soluble in some phenol compounds and hot nitrobenzene
Resistance to abrasion: DIN 53 863	0,087 g abrasion (sample size 50 cm ²) load 1000 g, revolutions 500
Flexing Strength:	very good
Resistance to splitting:	excellent
Max. change of dimensions in hot air at 150°C:	< 1 %
Rot Resistance:	good
Resistance to ageing:	very good
Electrostatic behaviour: DIN 53 345	The specific resistance is 1,0 x 10 ⁸ Ω cm A permanent antistatic finish can be applied on request.
Width:	standard width 200 cm Can also be supplied in other widths.
Air Permeability: DIN 53 887	120 l/dm ² min at 196 Pa (20 mm Water Column) 450 l/dm ² min at 800 Pa

ตารางที่ ข-9 แสดงพิสัยมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ
ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติในราชกิจจานุเบกษา
ตอนที่ 197 (1 ธ.ค. 2524) หน้า 4297-4300, 4322-4323

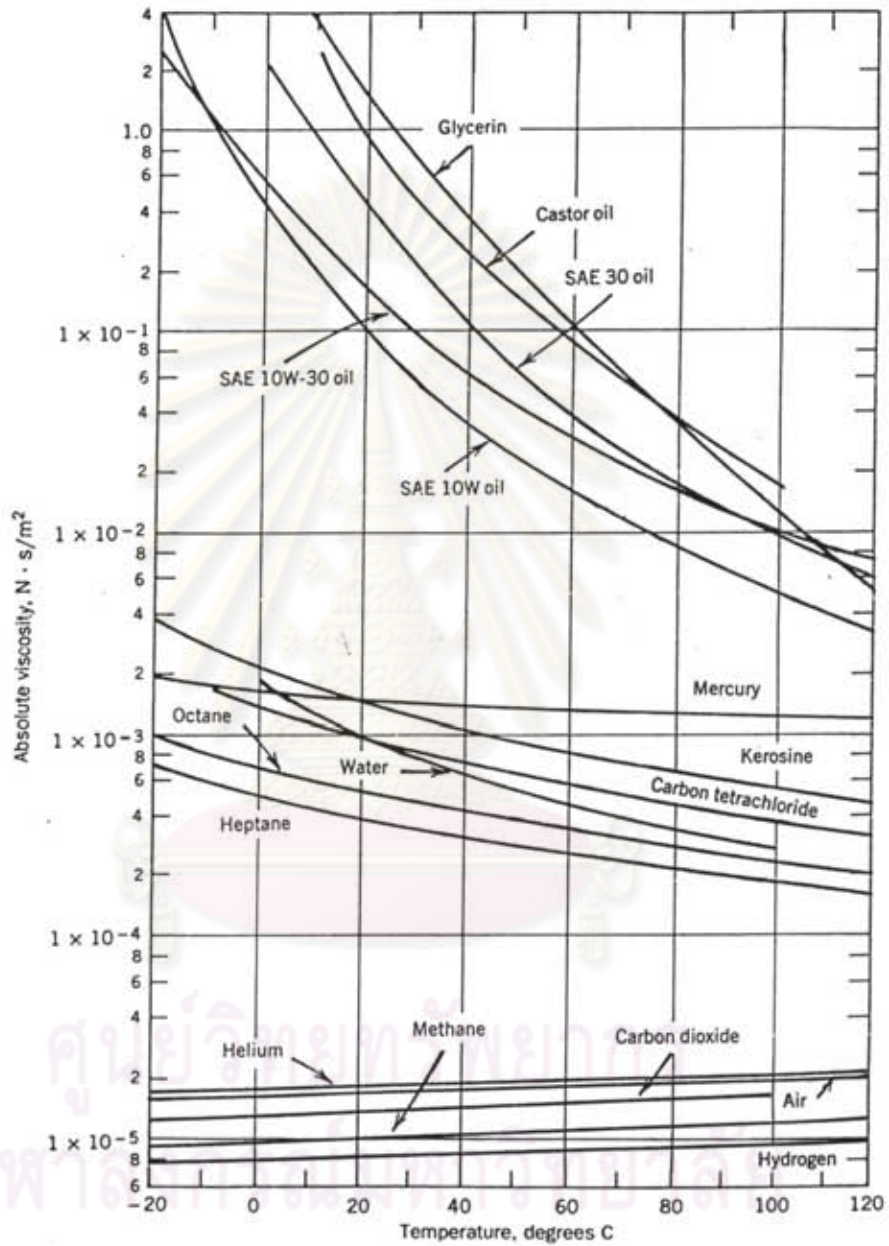
ชนิดของมลสาร	ค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ชม. ไม่เกิน	ค่าเฉลี่ยในเวลา 8 ชม. ไม่เกิน	ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชม. ไม่เกิน	ค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี ไม่เกิน	วิธีการวัด
	มิลลิกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	มิลลิกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	มิลลิกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	มิลลิกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	
คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)	50	20	-	-	Non-Dispersive infrared detection
ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen Dioxide)	0.32	-	-	-	Gas phase chemiluminescence
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide)	-	-	0.30	0.10	Pararosaniline
ฝุ่นละออง (Total suspended Particulates)	-	-	0.33	0.10	Gravimetric
โฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ (โอโซน)	0.20	-	-	-	Chemiluminescence
ตะกั่ว	-	-	0.01	-	Wet ashing

หมายเหตุ * เป็นค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (geometric mean)

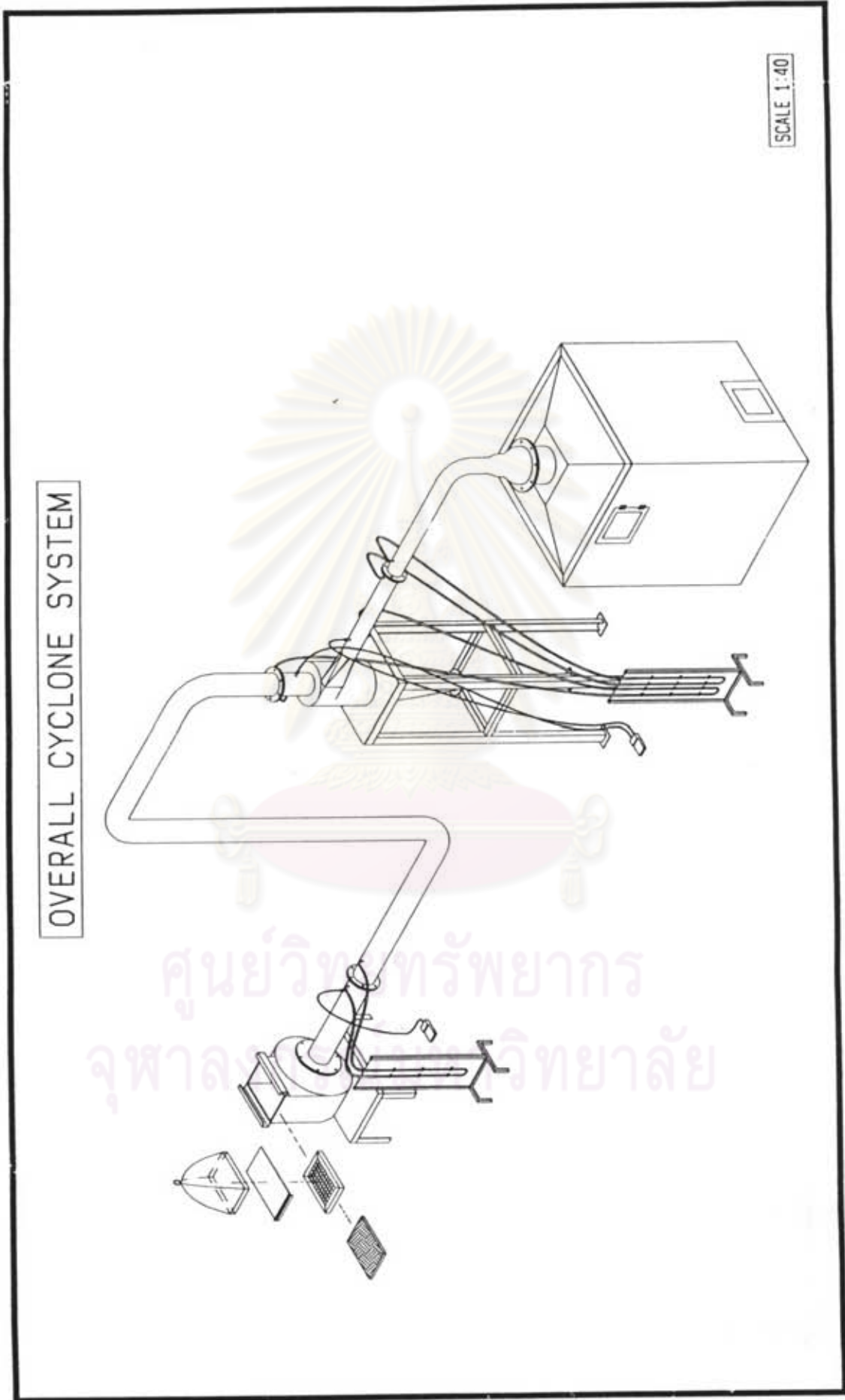
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข-1 แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ; (f_d)



รูปที่ ข-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความหนืดของของไหลชนิดต่าง ๆ

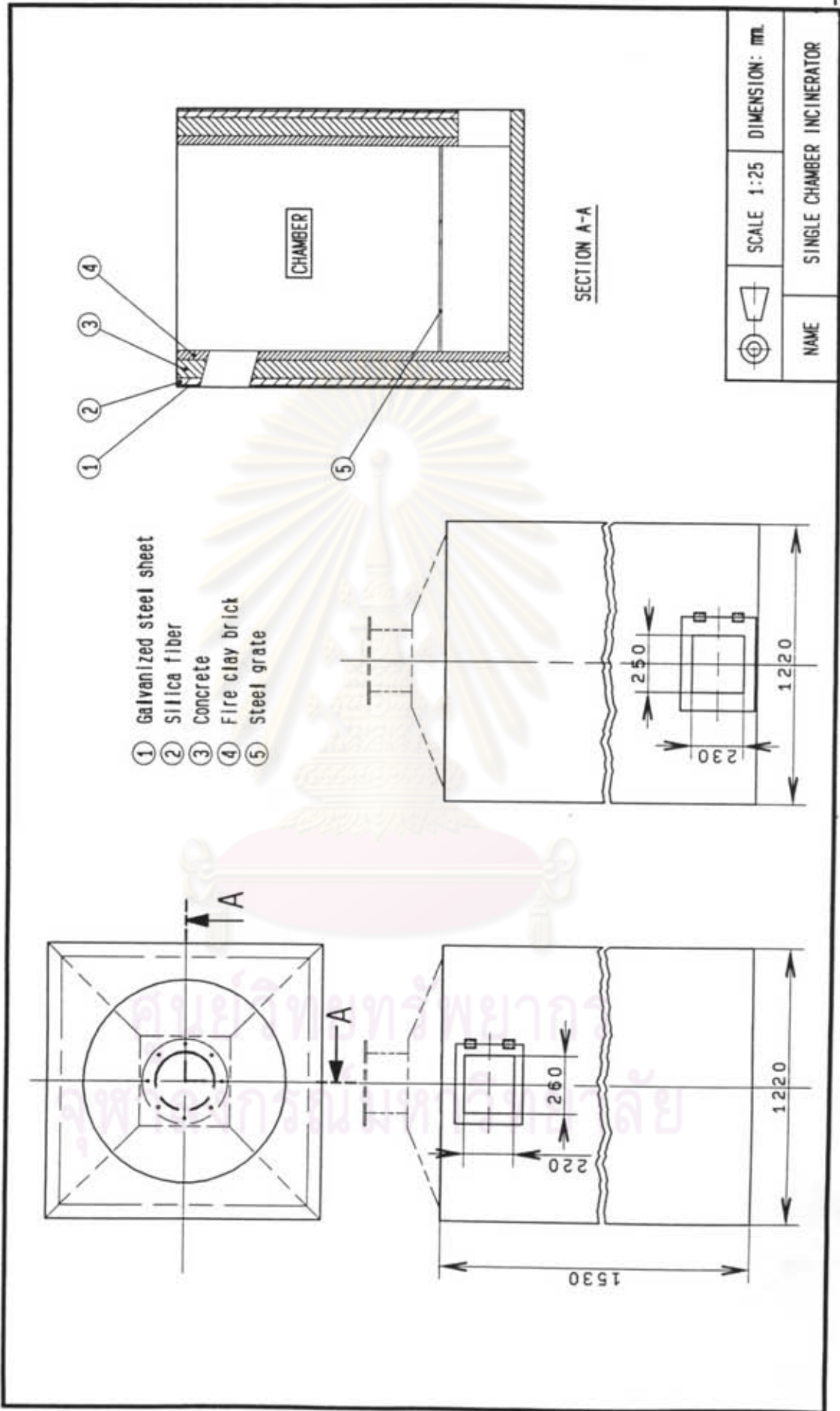


OVERALL CYCLONE SYSTEM

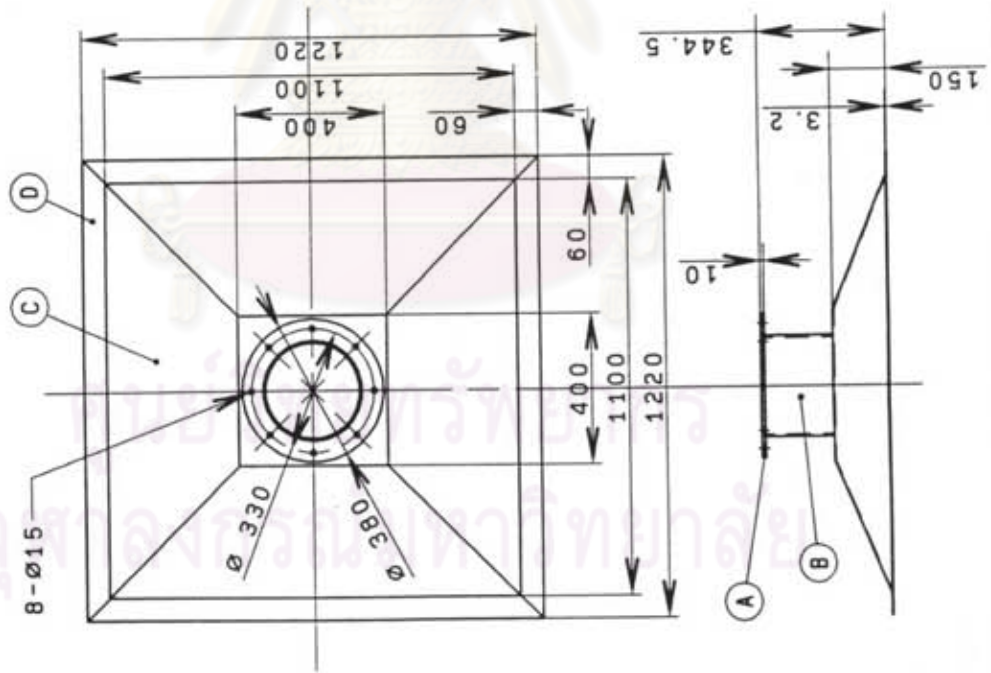
SCALE 1:40

ศูนย์วิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๓-3 แสดงภาพรวมของระบบไซโคลน



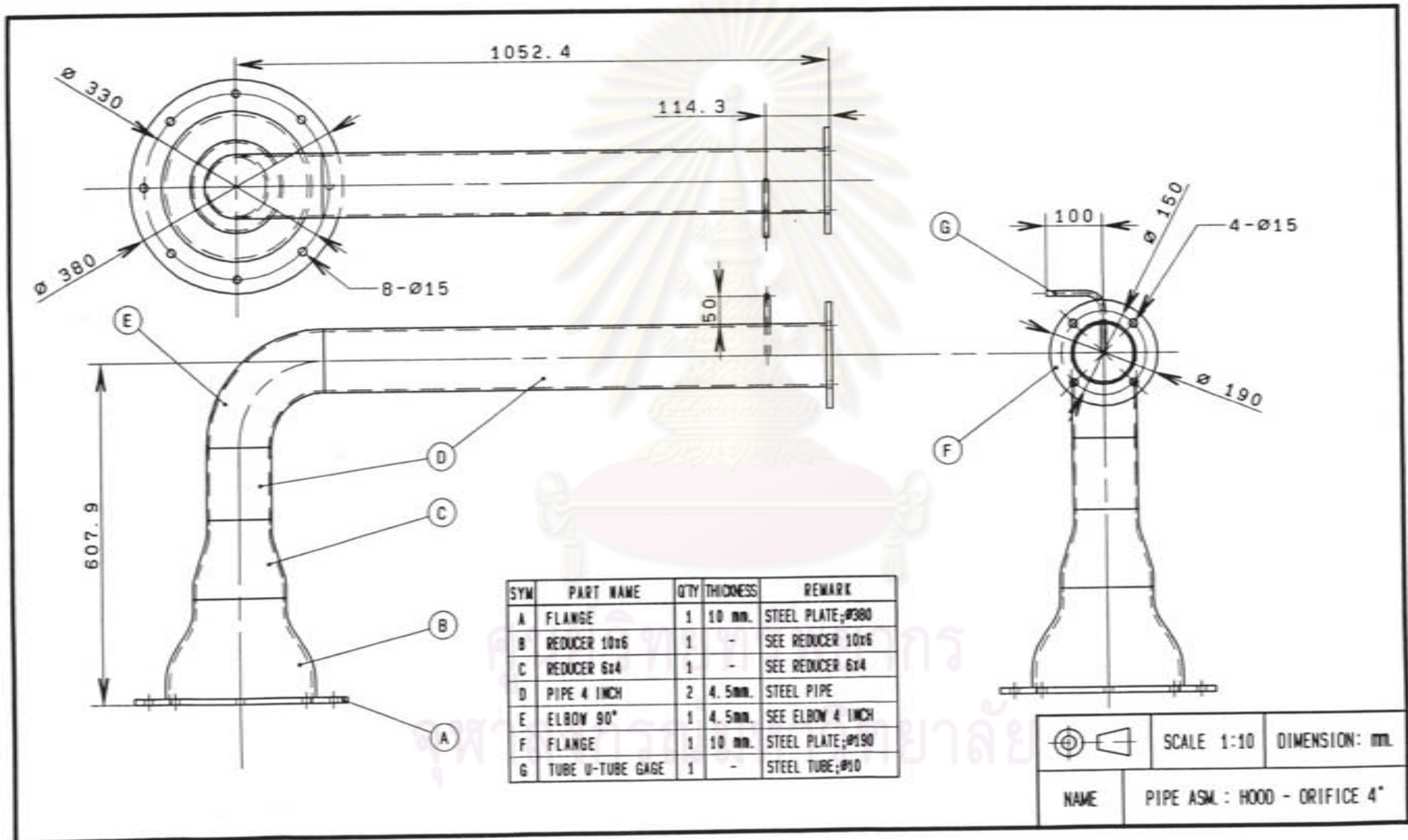
รูปที่ ข-4 แสดงเตาเผาผลุยชนิดห้องเผาไหม้เดียว



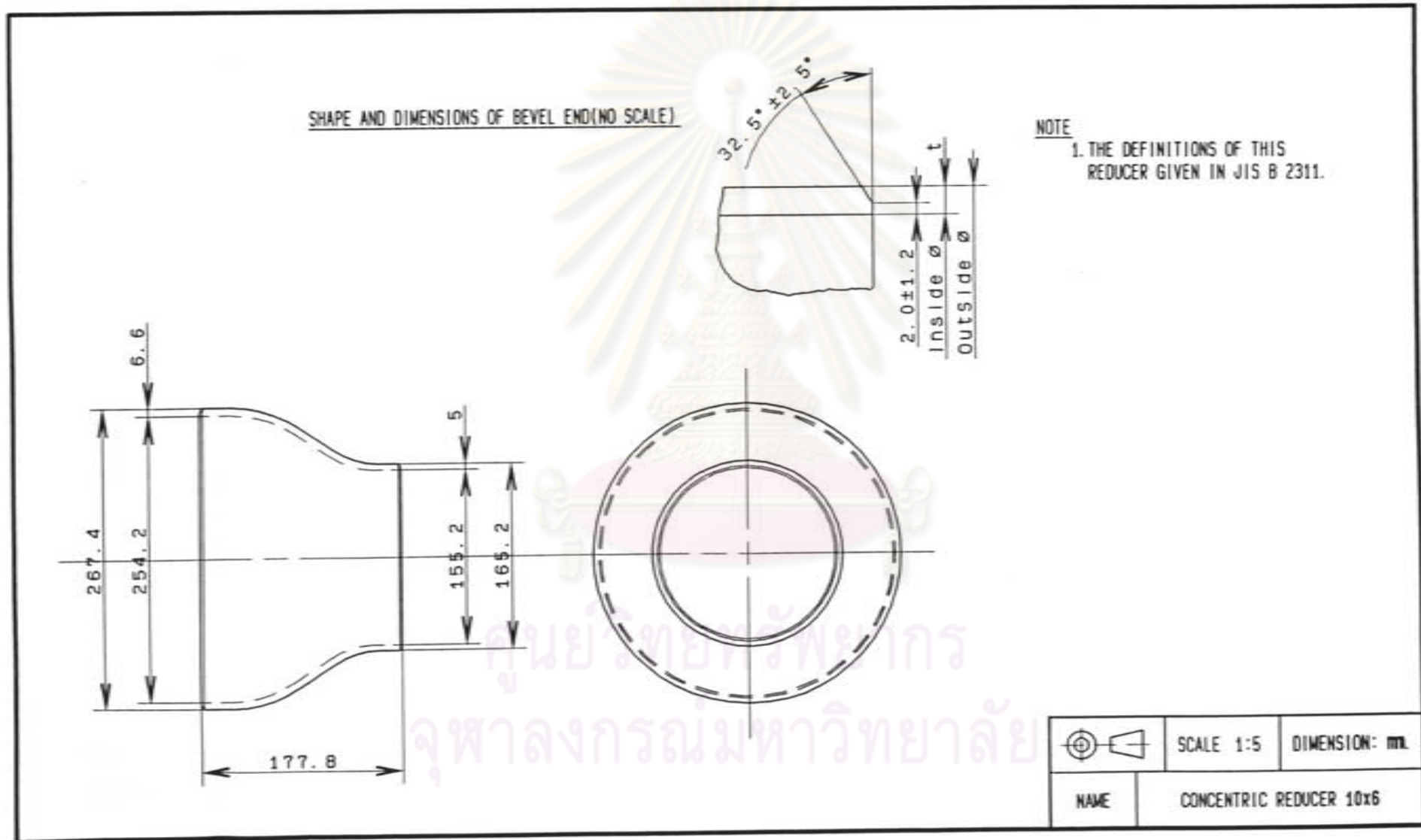
SYM	PART NAME	QTY	THICKNESS	REMARK
A	FLANGE	1	10 mm.	STEEL PLATE, ϕ380
B	PIPE 10 INCH	1	6.6mm.	STEEL PIPE
C	SIDE PLATE	4	3.2mm.	STEEL PLATE
D	BASE HOOD	4	3.2mm.	STEEL PLATE

	SCALE 1:20	DIMENSION: mm.
	NAME	HOOD

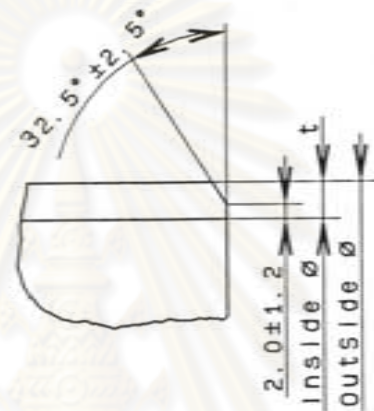
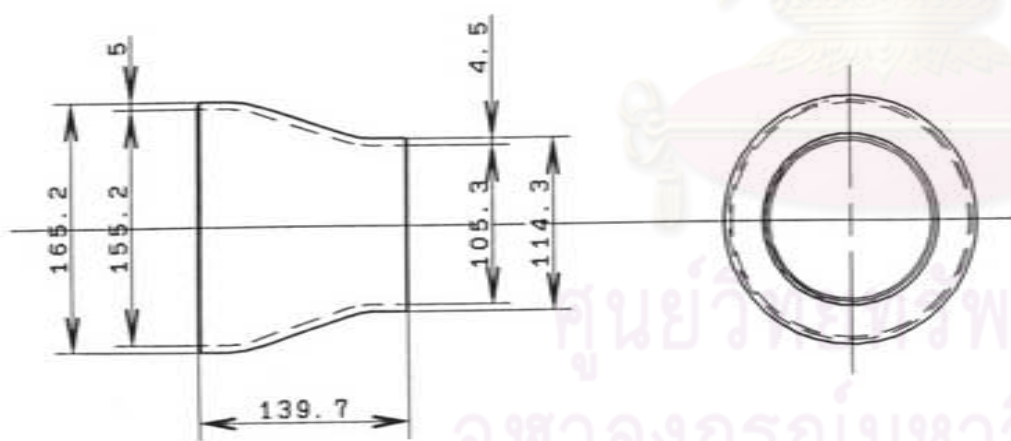
รูปที่ ๓-5 แสดงลักษณะของฝาครอบเตาเผา



รูปที่ ช-6 แสดงระบบท่อจากฝาครอบเตาเผาถึงทางเข้าไซโคลน



รูปที่ ๗-7 แสดงท่อลดขนาด 10 x 6 นิ้ว

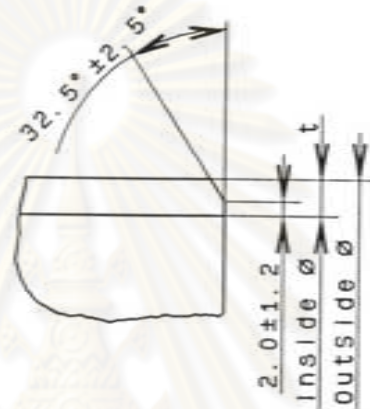
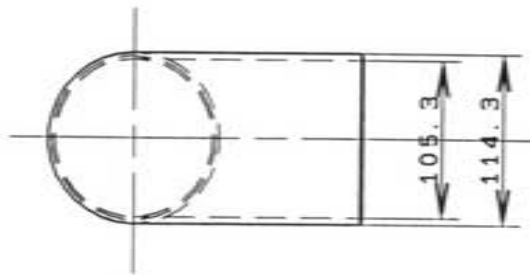


SHAPE AND DIMENSIONS OF BEVEL END(NO SCALE)

NOTE
1. THE DEFINITIONS OF THIS REDUCER GIVEN IN JIS B 2311.

	SCALE 1:5	DIMENSION: mm
	NAME	CONCENTRIC REDUCER 6x4

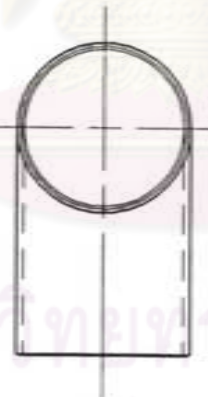
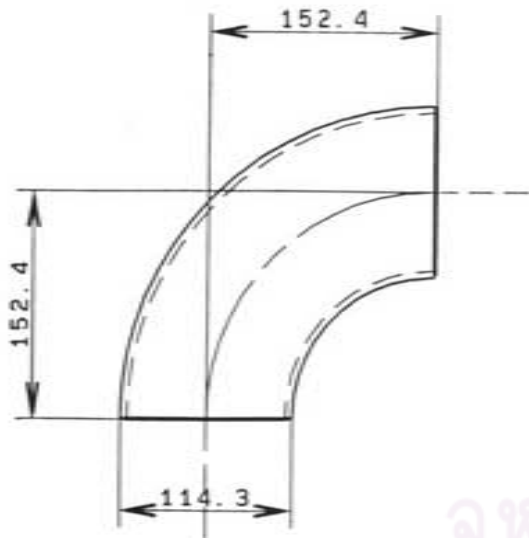
รูปที่ ช-8 แสดงท่อลดขนาด 6 x 4 นิ้ว



NOTE

1. WALL THICKNESS 4.5 mm.
2. OUTSIDE Ø 114.3 mm. AND INSIDE Ø 105.3 mm.
3. THE DEFINITIONS OF THIS ELBOW GIVEN IN JIS B 2311.

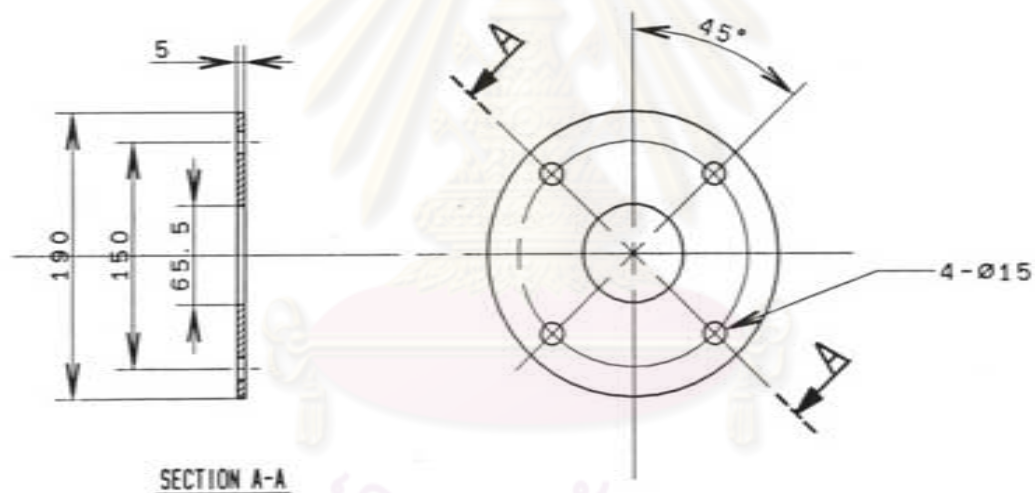
SHAPE AND DIMENSIONS OF BEVEL END(NO SCALE)



ศูนย์วิทยุโทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	SCALE 1:5	DIMENSION: mm.
	NAME ELBOW 90° : 4 INCH	

รูปที่ ช-9 แสดงข้องอ 90° ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 4 นิ้ว (R/D = 1.5)

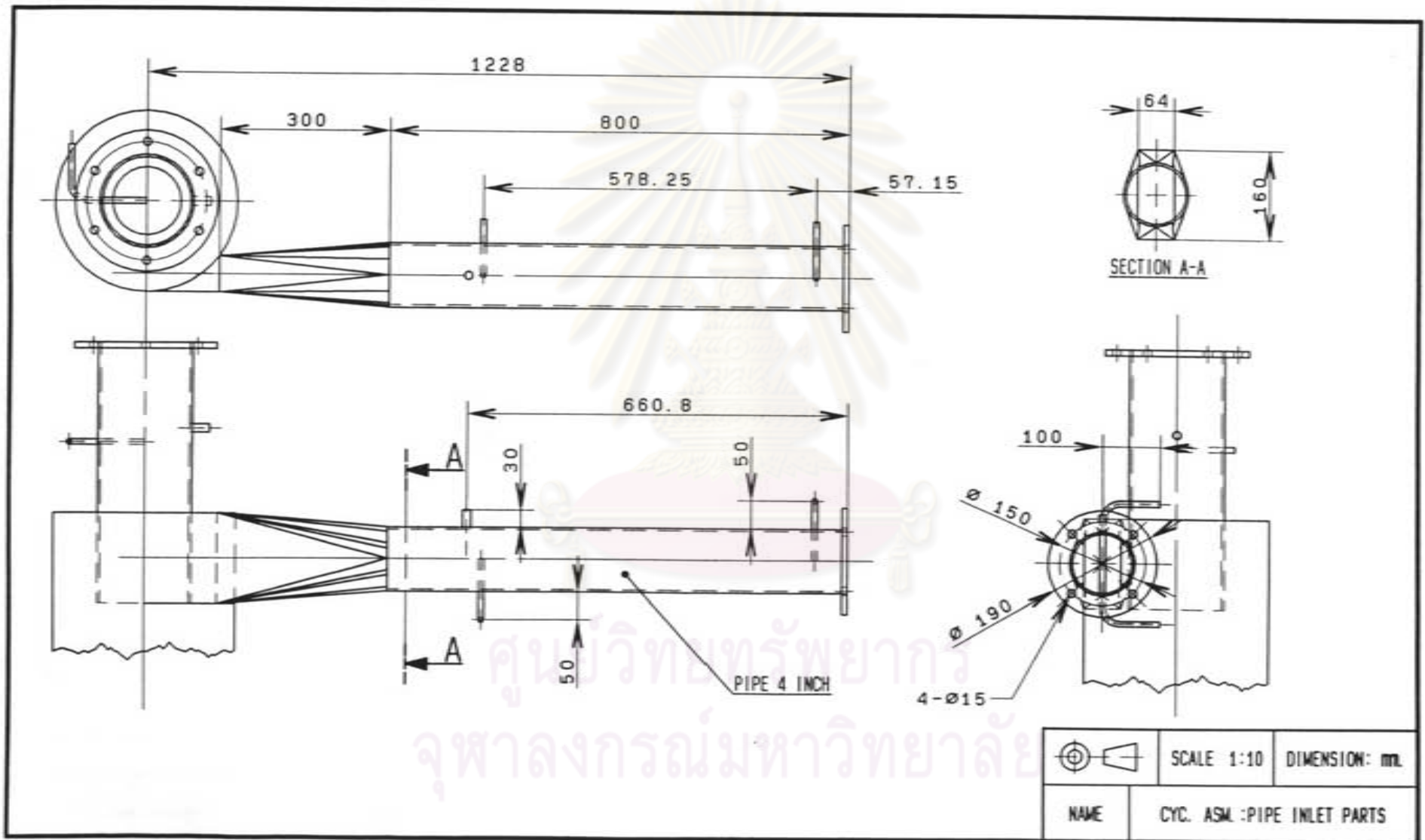


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

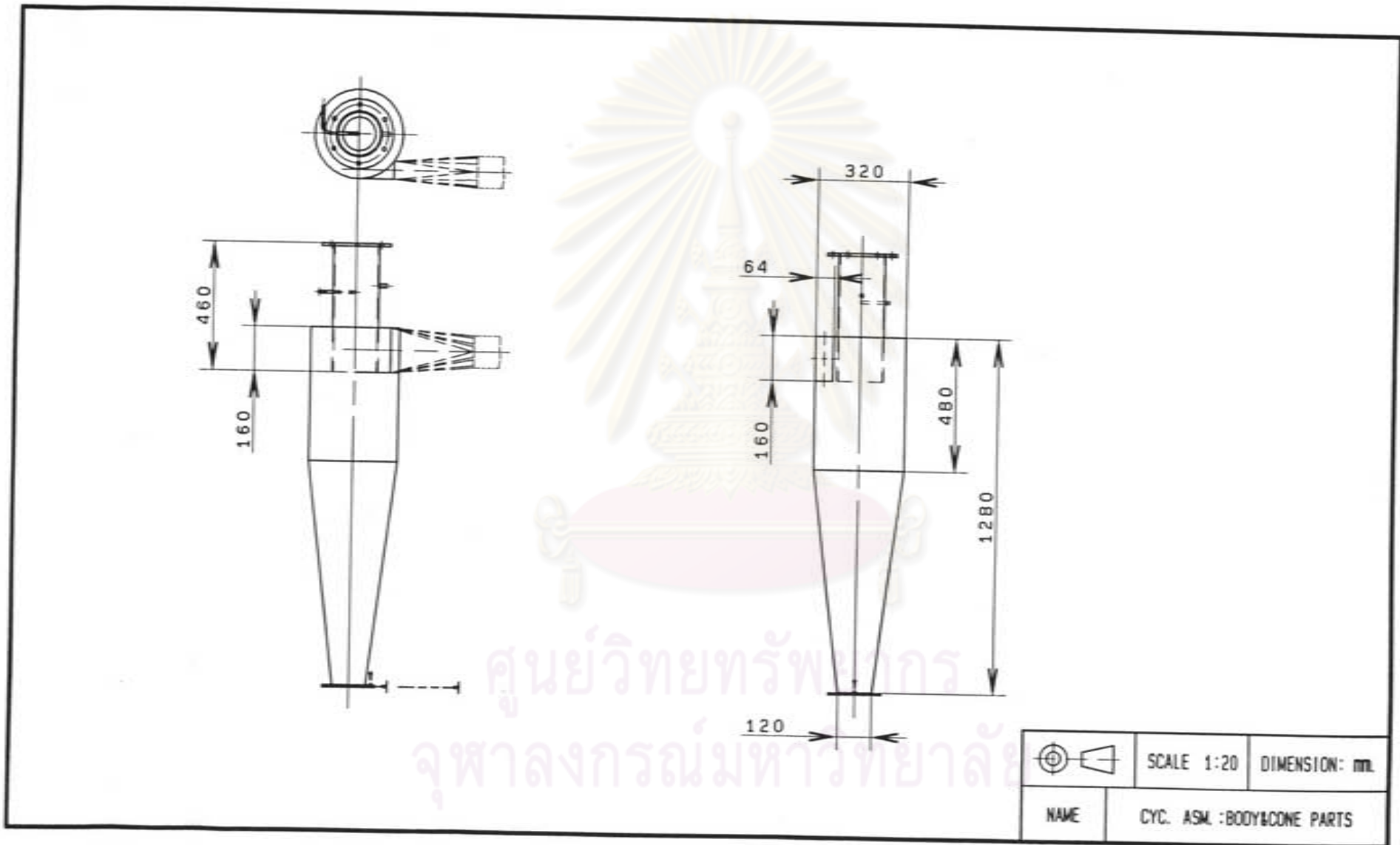
Type: Regular-edge Concentric

	SCALE 1:5	DIMENSION: mm.
	NAME	ORIFICE 4": INLET

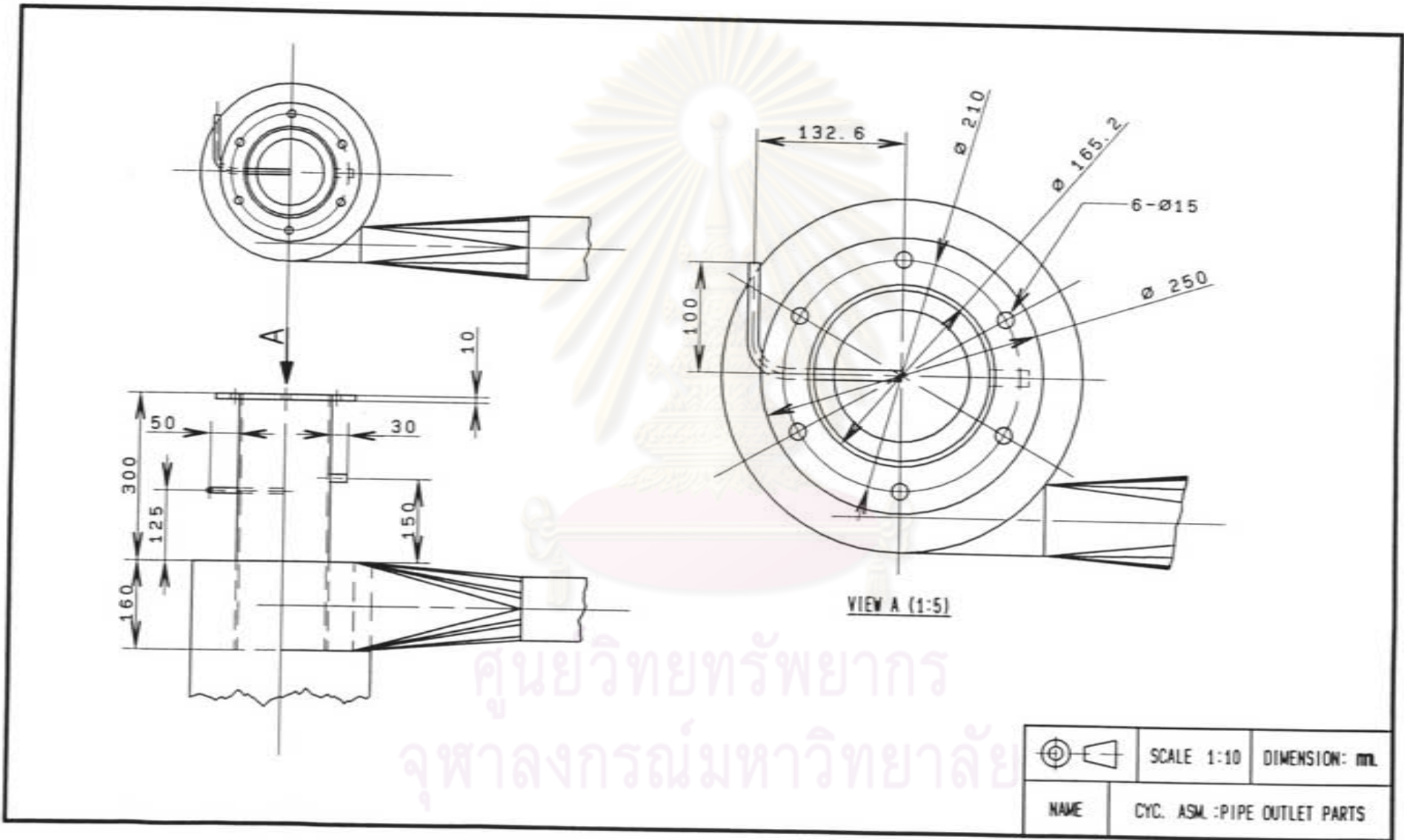
รูปที่ ข-10 แสดงขนาดแผ่นออริฟิซ ณ ตำแหน่งทางเข้าไซโคลน



รูปที่ ช-11 แสดงระบบท่อ ณ บริเวณทางเข้าไซโคลน



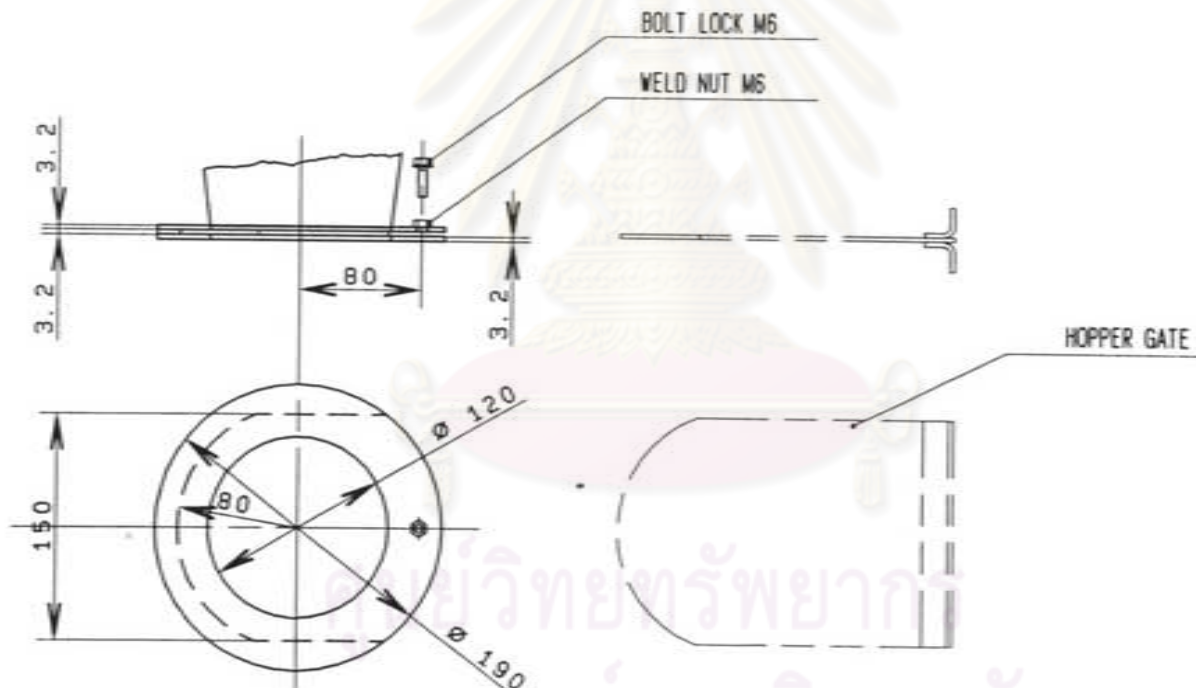
รูปที่ ข-12 แสดงสัดส่วนของตัวไซโคลน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

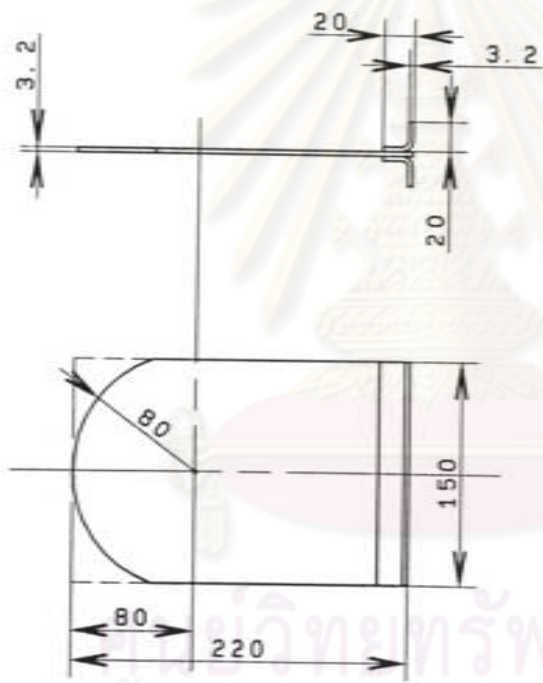
NAME	CYC. ASM : PIPE OUTLET PARTS	SCALE 1:10	DIMENSION: mm.

รูปที่ ข-13 แสดงระบบท่อ ณ ตำแหน่งทางออกจากไซโคลน



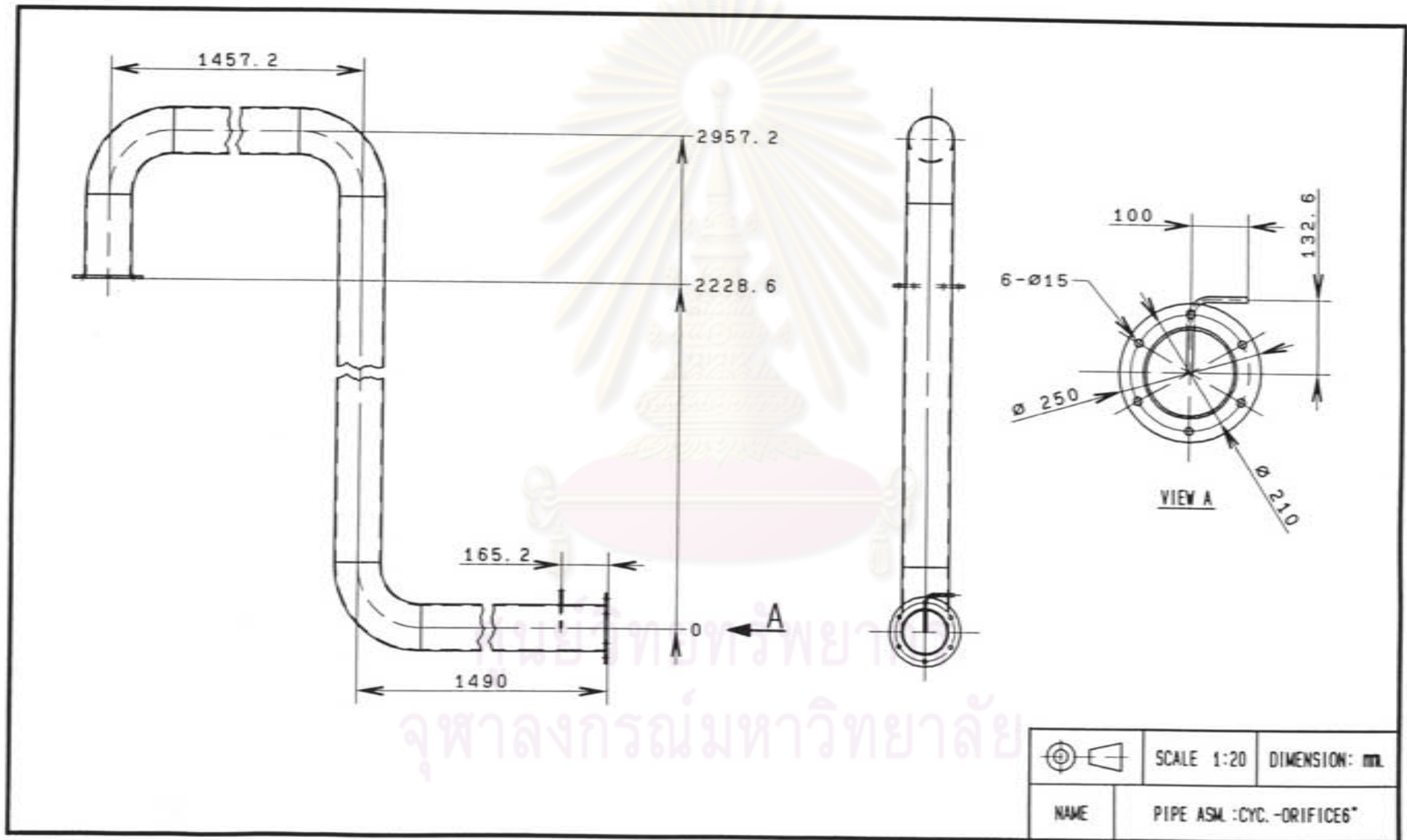
	SCALE 1:5	DIMENSION: mm.
	NAME	CYC. ASM. : BOTTOM PART

รูปที่ ช-14 แสดงขนาดบริเวณด้านล่างของตัวไซโคลนสู่ที่รองรับอนุภาค

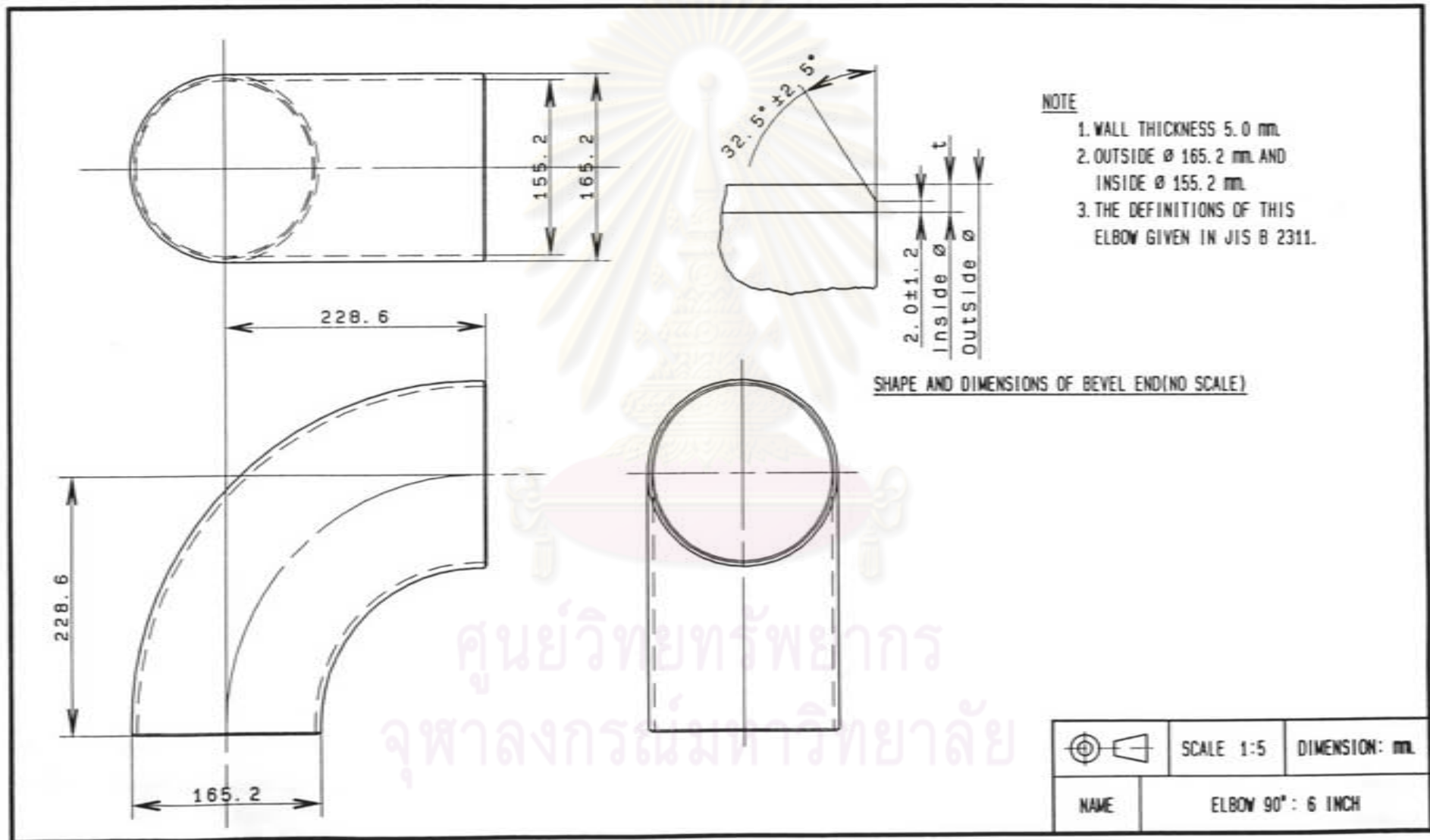


	SCALE 1:5	DIMENSION: mm.
	NAME	CYC. ASM. : HOPPER GATE PART

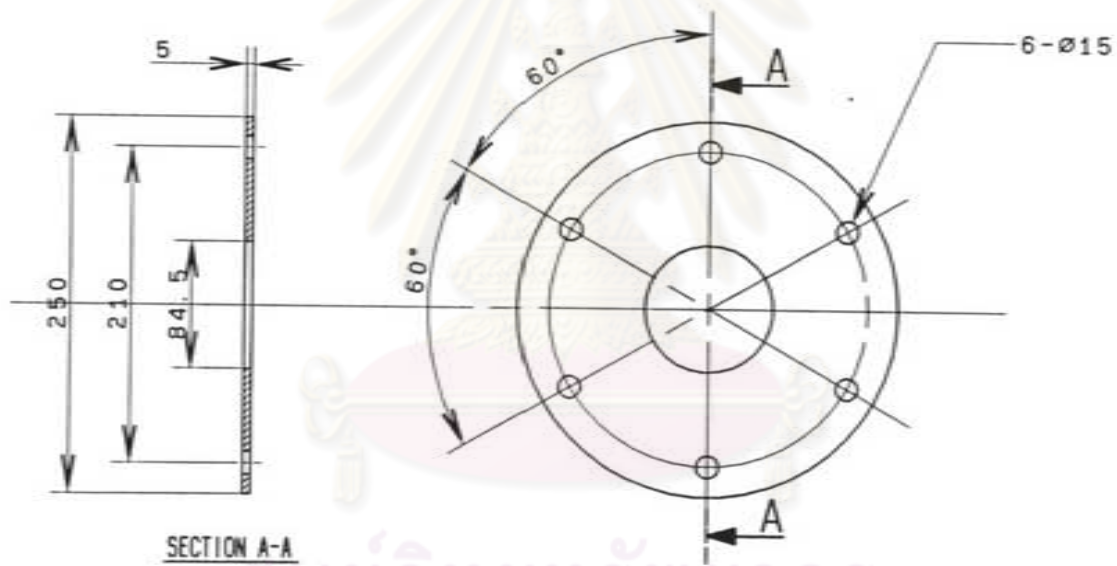
รูปที่ ช-15 แสดงขนาดของ hopper gate



รูปที่ ข-16 แสดงระบบท่อ ณ ตำแหน่งทางออกจากไซโคลนถึงพัดลมดูดอากาศ



รูปที่ ช-17 แสดงข้ออ 90° ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 6 นิ้ว (R/D = 1.5)

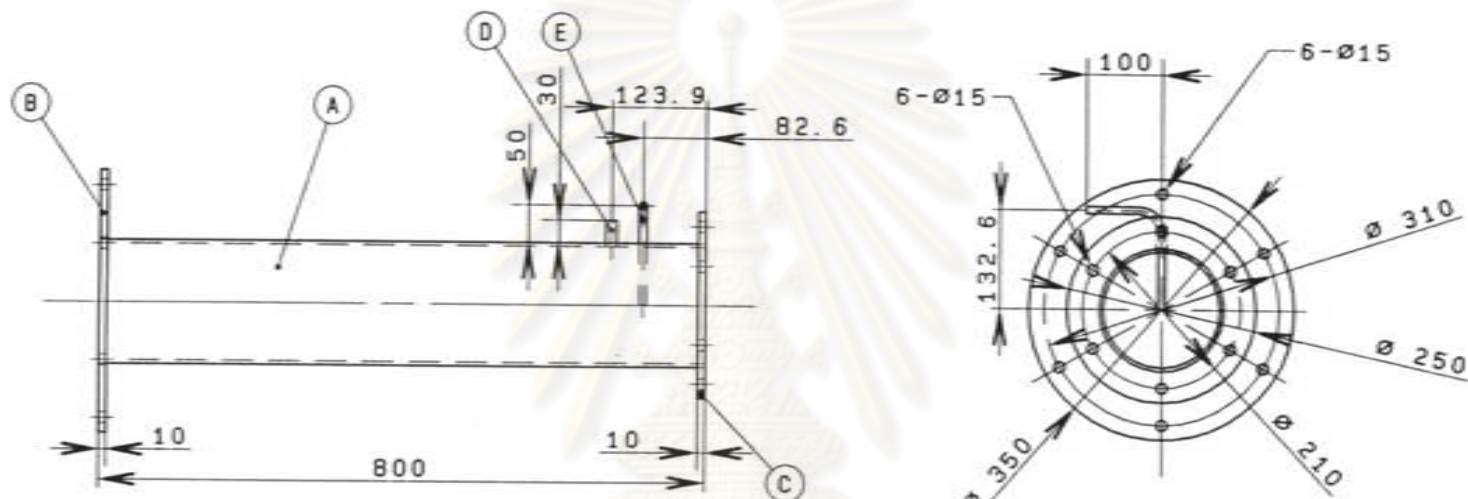


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Type: Regular-edge Concentric

	SCALE 1:5	DIMENSION: mm.
	NAME	ORIFICE 6": OUTLET

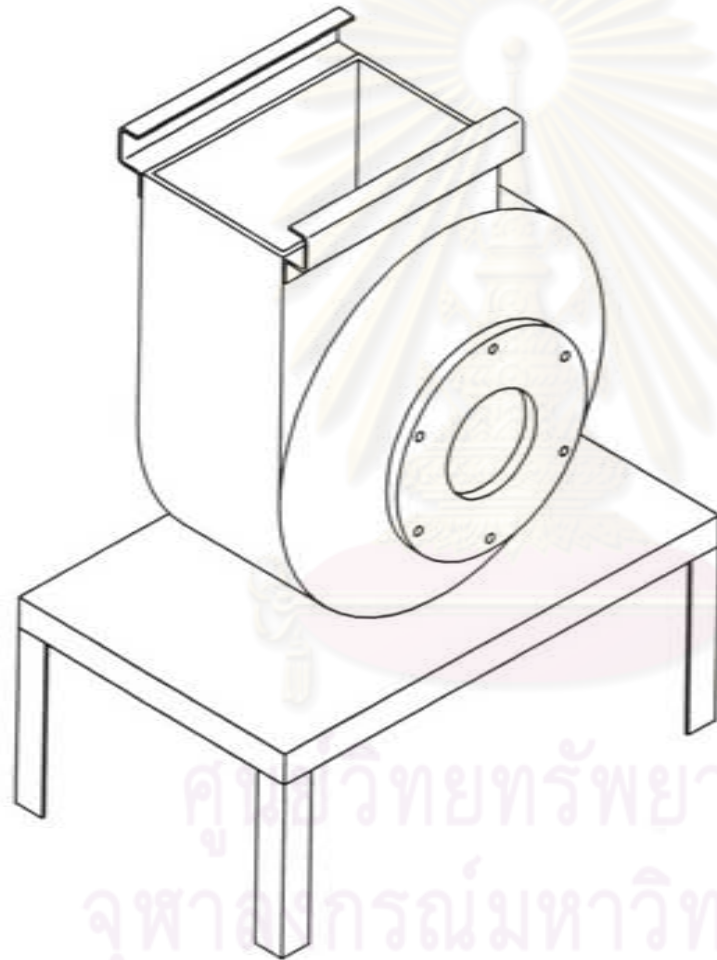
รูปที่ ข-18 แสดงขนาดแผ่นออริฟิซ ณ ตำแหน่งทางออกจากไซโคลน



SYM	PART NAME	QTY	THICKNESS	REMARK
A	PIPE 6 INCH	1	5 mm.	STEEL PIPE
B	FLANGE	1	10 mm.	STEEL PLATE;#350
C	FLANGE	1	10 mm.	STEEL PLATE;#250
D	TUBE THERMOCOUPLE	1	-	STEEL TUBE;#15
E	TUBE U-TUBE GAGE	1	-	STEEL TUBE;#10

		SCALE 1:10	DIMENSION: mm.
NAME	PIPE ASM :ORIFICE 6"- BLOWER		

รูปที่ ข-19 แสดงระบบท่อ ณ ตำแหน่งก่อนเข้าสู่พัดลมดูดอากาศ

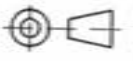


TECHNICAL DATA

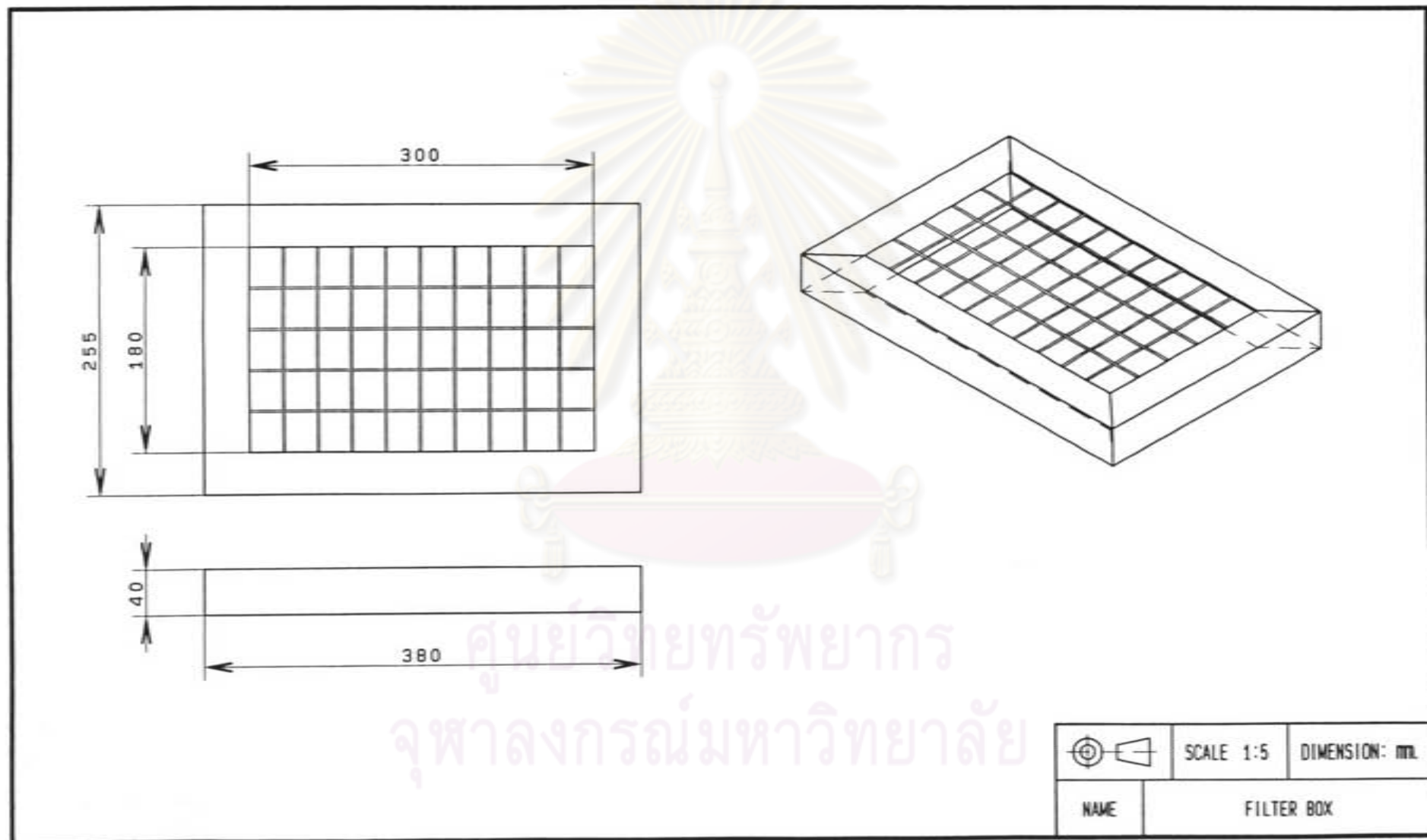
Blower Type : Centrifugal fan

Motor Power 3 hp.

Air Volume 60 m³/min at 250 mm H₂O

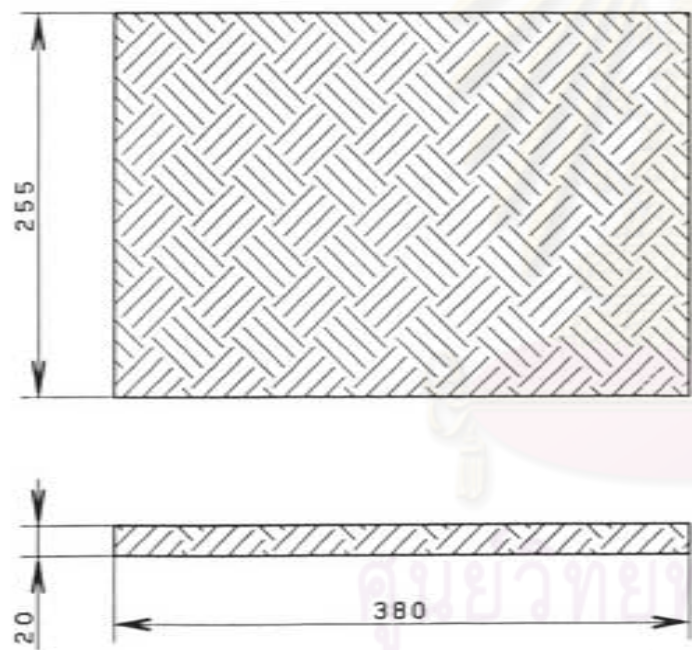
	SCALE 1:10	DIMENSION: mm.
NAME	BLOWER	

รูปที่ ๕-20 แสดงลักษณะพัดลมดูดอากาศ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข-21 แสดงลักษณะกล่องใส่แผ่นกรอง



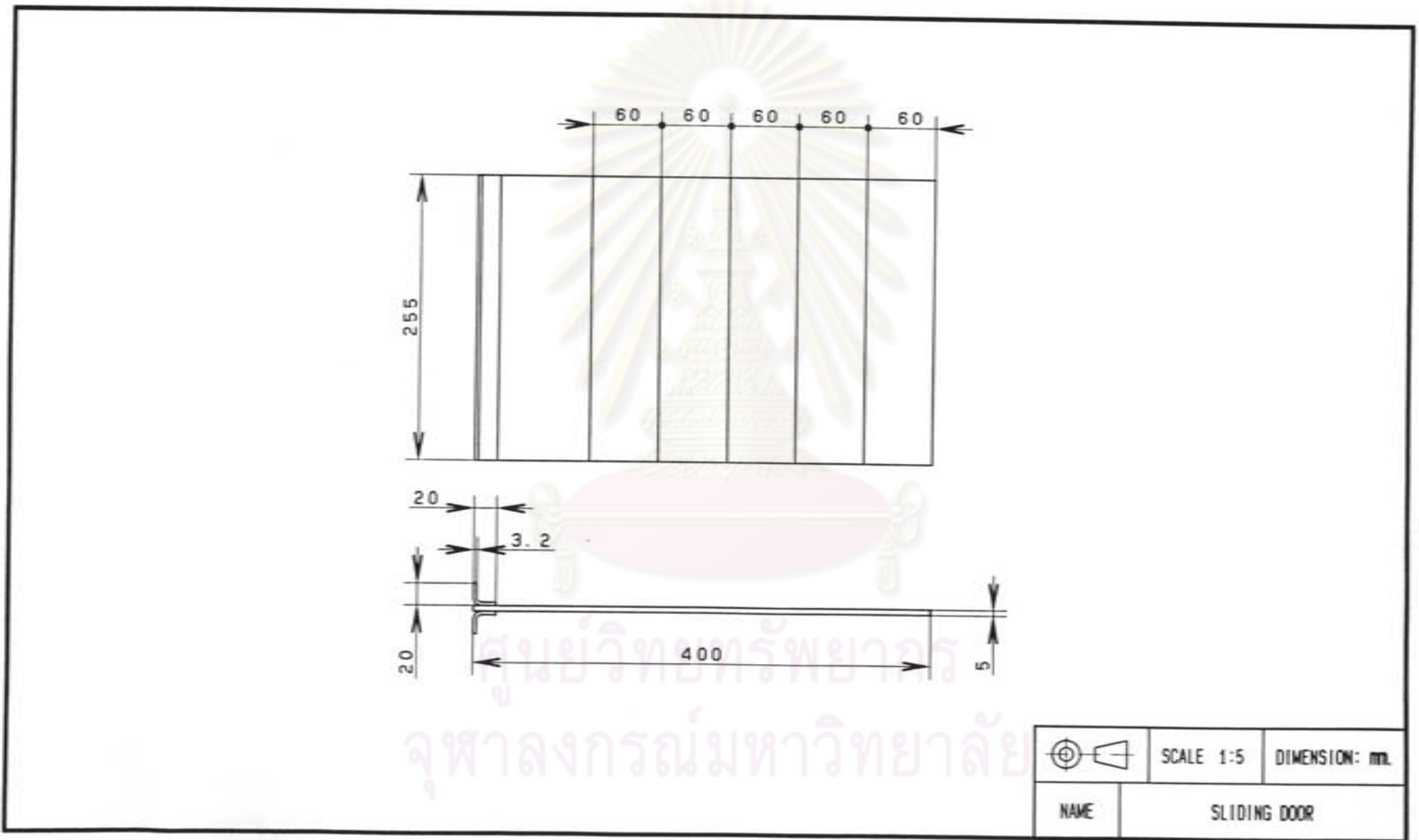
TECHNICAL DATA

Weight approx. 350 g/m²
 Thickness approx. 20 mm
 Thermal stability up to 100 °C
 Moisture resistance up to 100 %

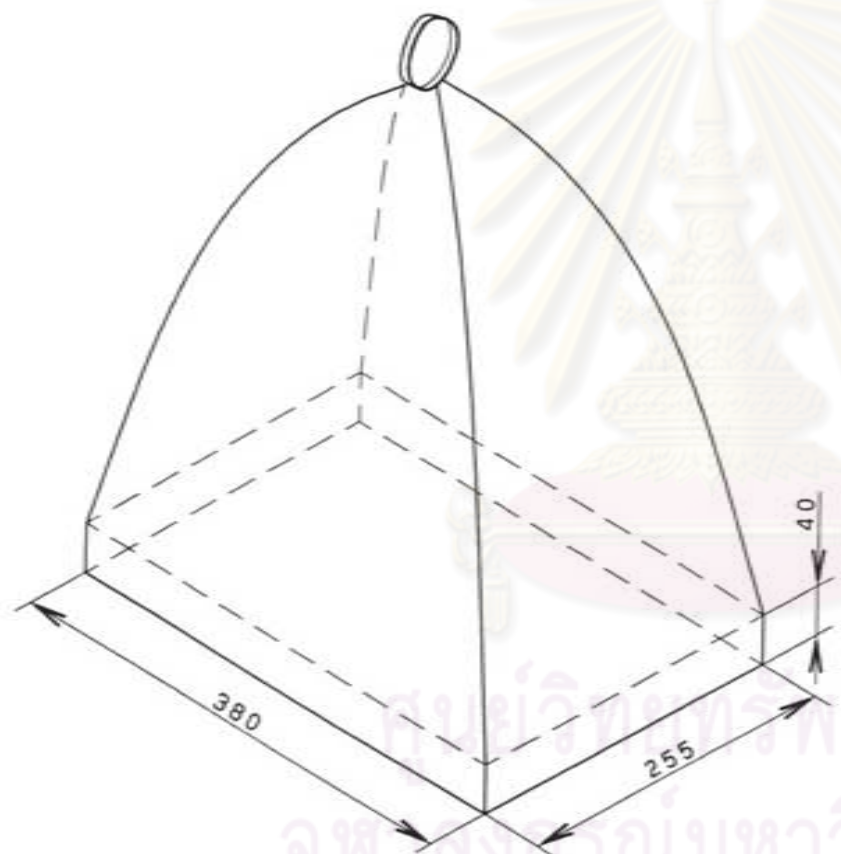
ศูนย์วิทยาศาสตร์การ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	SCALE 1:5	DIMENSION: mm.
	NAME	FILTER MAT

รูปที่ ช-22 แสดงขนาดของแผ่นกรอง

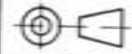


รูปที่ ช-23 แสดงลักษณะการแบ่งพื้นที่ทางออกของแก๊สด้วย sliding door

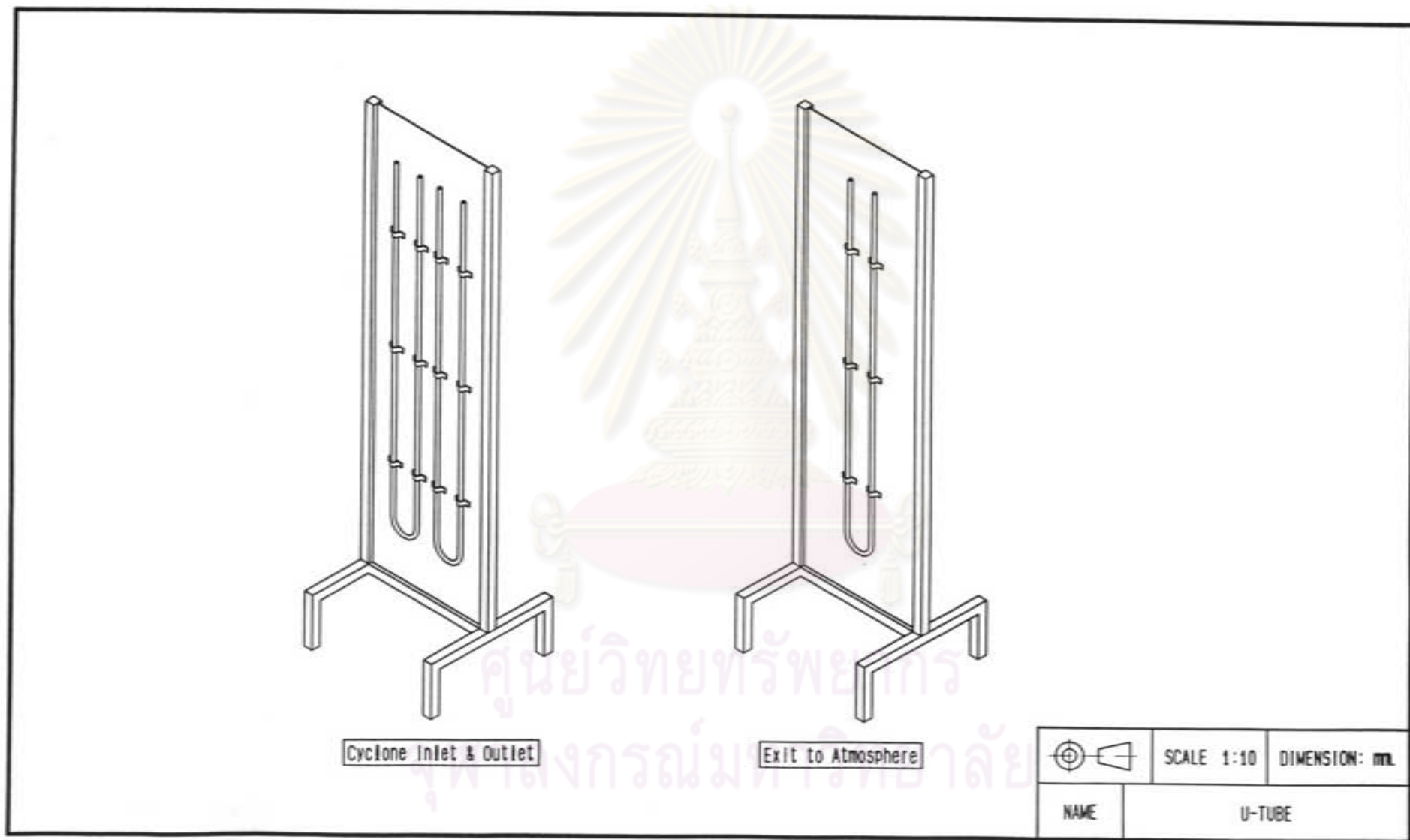


TECHNICAL DATA

Weight approx.	650 g/m ²
Thickness approx.	2.1 mm.
Density	0.31 g/cm ³
Pore Volume	78 %
Area total	0.2 m ²

	SCALE 1:5	DIMENSION: mm.
	NAME BAG FILTER	

รูปที่ ช-24 แสดงลักษณะและขนาดของถุงกรอง



รูปที่ ช-25 แสดงหลอดแก้วรูปตัว U ที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ช

โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดอัตราการไหล

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้การวัดอัตราการไหลของแก๊สในระบบที่ใช้เครื่องมืออัตราการไหลแบบออริฟิซ (orifice plate) ซึ่งค่าความดันลดของแก๊สที่ผ่านแผ่นออริฟิซนี้สามารถอ่านได้จากความสูงแตกต่างของระดับของของเหลวในมานอมิเตอร์ รูปตัว U โดยได้มีการออกแบบเครื่องมือการวัดอัตราไหลนี้จากโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่มีชื่อว่า "FOXBORO FLOWMETER PRODUCT" ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ในการใช้งานของโปรแกรมจะได้แสดงต่อไป

ในปัจจุบันโปรแกรมนี้ได้นิยมใช้สำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหลชนิดต่าง ๆ ทั้งในงานวิจัยและในงานอุตสาหกรรม เป็นการเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ที่ต้องการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานขณะนั้น โดยสามารถหาข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ได้จากทางอินเทอร์เน็ต โดยใช้ WebSite ที่ <http://www.foxboro.com/> ทั้งนี้ในการออกแบบจะมีการกำหนดให้ input ค่าที่อยู่ในสภาวะของการทำงานนั้น ๆ จาก Foxboro Flowmeter Product Selection Guide จากนั้นโปรแกรมคำนวณและแนะนำเครื่องมือที่เหมาะสมกับงานนั้น เมื่อผู้ใช้เลือกชนิดของเครื่องมือวัดแล้ว โปรแกรมก็จะให้กำหนดค่าตัวแปร ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งจะมีการเรียกเข้าไปที่โปรแกรมย่อยที่มีชื่อว่า 'Sizing Results' เมื่อกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วก็ใช้คำสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณขนาดของเครื่องมือวัดชนิดนั้น ๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิซ (Orifice plate) ทั้งที่ตำแหน่งบริเวณทางเข้าของไซโคลน และบริเวณทางออกของไซโคลน

วิธีการติดตั้ง Foxboro FlowExpert Sizing Program บน Windows

สำหรับการติดตั้งโปรแกรมนี้ต้องการเนื้อที่ว่างใน Hard disk เท่ากับ 3 MB; DOS 3.3; VGA และสามารถติดตั้งในคอมพิวเตอร์บน Windows 3.1, Windows for Workgroups 3.11, Windows NT หรือ Windows 95 โดยมีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

1. ใส่แผ่น diskette ลงในคอมพิวเตอร์ แล้วเปิดหาไฟล์ที่มีอยู่ในแผ่น
2. ทำการสร้าง Sub-directory ใน Hard disk แล้ว copy ทุกไฟล์จาก diskette ลงใน Sub-directory
3. ตรวจสอบหาไฟล์ที่มีชื่อว่า 'pkunzip.zip' เพื่อทำการเปิดโปรแกรม

4. เลือกหาไฟล์ที่มีชื่อว่า 'FOXFLOW.BAT' เพื่อเรียกใช้งาน
5. ในการ Run ผล ก็จะมีการใส่ค่า input data ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
 - 5.1 Type of fluid
 - 5.2 Conductivity
 - 5.3 Viscosity
 - 5.4 Presence of sticky, long or fibrous solids
 - 5.5 Distribution of solids and/or gas and/or liquid in primary phase
 - 5.6 Presence of entrained gas
 - 5.7 Concern about fugative emissions
 - 5.8 Steam quality
 - 5.9 Nominal diameter of process piping
 - 5.10 Sanitary clean-in-place installation
 - 5.11 Process temperature
 - 5.12 Flow direction
 - 5.13 Meter orientation
 - 5.14 Materials of construction
 - 5.15 Process density
 - 5.16 Head loss limitations
 - 5.17 Rangeability
 - 5.18 Reynolds number
 - 5.19 Measurement precision
 - 5.20 Measurement accuracy
 - 5.21 Upstream flow disturbance (s)
 - 5.22 Distance of disturbances from meter inlet
 - 5.23 Installed flow straightener or conditioner
 - 5.24 Important cost factor (s)
 - 5.25 Factor(s) that most influence flowmeter choice

หลังจากนั้นผล Run ก็เกิดขึ้น หากพบว่ามีการ input data ไม่เหมาะสมหรือไม่สามารถเป็นจริงได้สำหรับเงื่อนไขในโปรแกรมนี้ก็จะมีการ error พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ไข ก่อนทำการ Run ก็ต้องมีการเปลี่ยนค่า input data บางค่าใหม่ให้เหมาะสมด้วย

FOXBORO FLOWMETER PRODUCT SELECTION GUIDE

RESULTS

 Based on the information you have provided, several Foxboro flowmeters may meet your needs. They have been ranked based on their ability to best meet the factors you indicated.

1. Vortex
2. Orifice

VARIABLES

Fluid Name: = HOT GAS AT CYCLONE INLET =

Tag Number: # inlet 4" #

Reference: * CYCLONE INLET *

Type of fluid: Gas

Process gas type: Dirty (<1% solids)

Concerned about fugative emissions: No (not applicable)

Gas contains sticky, long or fibrous solids: No

Method that solids/liquids

dispersed in gas: Homogeneously mixed in the gas

Nominal diameter of process piping: 4 and 5 in. (100 and 125 mm)

Sanitary clean-in-place required: No

Process temperature exceeds 400 deg: Yes

Compatible with: Stainless steel

Flow direction: Unidirectional

Meter orientation: As recommended by Foxboro

Unit type: Volumetric units

Flow density: Density varies

Limitations on head loss: Between 3 and 10 psi (between 0.2 and 0.7 bar)

Desired rangeability: Between 5:1 and 10:1

Type of flow within specified

range: Turbulent only

Measurement precision

requirement: High accuracy and high repeatability

Measurement accuracy required: Greater than 3% of rate

Measurement accuracy required for

lowest flow rate: Greater than 3% of rate

Flow disturbances located upstream: None

Distance of disturbance from meter inlet: N/A

Flow straightener or conditioner installed between disturbance and meter inlet: N/A

Cost factor(s): Initial cost

Factor(s) that most influence flowmeter choice:

All

For more information, contact:

Foxboro

1 (508) 543-8750.

ORIFICE SIZING RESULTS

VARIABLES

```

*****
Fluid Name:                = HOT GAS AT CYCLONE
Tag Number:                # inlet 4" #
Reference:                 * CYCLONE INLET *
Taps:                      DIST
Material:                  CARBON plate
Internal Pipe Diameter:    4.0
Beta:                      N/A
Differential Pressure:     18.00 inches WC
Units:                     METRIC

Temperature:               500 degrees C
Normal Temperature:        N/A
Process Pressure:          1.01 bar g
Barometric Pressure:       1.0130 bar a
Normal Pressure:           1.00 bar a

Fluid Type:                GAS
Maximum Flow Rate:         19.4100 acmm
Normal Flow Rate:          13.58 acmm
Standard Density:          N/A
Flowing Density:           0.451 kg/m3
Viscosity:                 0.0362 cp
Average Molecular Weight:  N/A
Average Compressibility Factor: N/A
Specific Heat Ratio:       1.36 Cp/Cv
    
```

CALCULATED RESULTS

```

*****
Average Compressibility Factor: 1.00
Gas Expansion Factor:           .9923

Reynold's Number at Maximum Flow: 50508.89
Reynold's Number at Normal Flow:  35338.0
Discharge Coefficient C:          .6158
Thermal Correction Factor:         1.013258
Orifice Bore Diameter:             65.4576 mm
Unrecovered Head Loss:             .0251 bar
Beta:                              .6448
    
```

For more information, contact: Foxboro
(508) 543-8750

FOXBORO FLOWMETER PRODUCT SELECTION GUIDE

RESULTS

Based on the information you have provided, several Foxboro flowmeters may meet your needs. They have been ranked based on their ability to best meet the factors you indicated.

- 1. Vortex
- 2. Orifice

VARIABLES

Fluid Name: = HOT GAS AT CYCLONE OUTLET =

Tag Number: # outlet 6" #

Reference: * CYCLONE OUTLET *

Type of fluid: Gas

Process gas type: Dirty (<1% solids)

Concerned about fugative emissions: No (not applicable)

Gas contains sticky, long or fibrous solids: No

Method that solids/liquids

dispersed in gas: Homogeneously mixed in the gas

Nominal diameter of process piping: 6 to 12 in. (150 to 300 mm)

Sanitary clean-in-place required: No

Process temperature exceeds 400 deg: No

Compatible with: Stainless steel

Flow direction: Unidirectional

Meter orientation: As recommended by Foxboro

Unit type: Volumetric units

Flow density: Density varies

Limitations on head loss: Between 3 and 10 psi (between 0.2 and 0.7 bar)

Desired rangeability: Between 5:1 and 10:1

Type of flow within specified

range: Turbulent only

Measurement precision

requirement: High accuracy and high repeatability

Measurement accuracy required: Greater than 3% of rate

Measurement accuracy required for

lowest flow rate: Greater than 3% of rate

Flow disturbances located upstream: None

Distance of disturbance from meter inlet: N/A

Flow straightener or conditioner installed between disturbance and meter inlet: N/A

Cost factor(s): Initial cost

Factor(s) that most influence flowmeter choice:

All

For more information, contact:

Foxboro

1 (508) 543-8750.

ORIFICE SIZING RESULTS

VARIABLES

```

*****
Fluid Name:                = HOT GAS AT CYCLONE
Tag Number:                # outlet 6" #
Reference:                 * CYCLONE OUTLET *
Taps:                      DIST
Material:                  CARBON plate
Internal Pipe Diameter:    6.0
Beta:                      N/A
Differential Pressure:     15.00 inches WC
Units:                     METRIC

Temperature:               200 degrees C
Normal Temperature:        N/A
Process Pressure:          1.01 bar g
Barometric Pressure:       1.0130 bar a
Normal Pressure:           1.00 bar a

Fluid Type:                GAS
Maximum Flow Rate:         19.4100 acmm
Normal Flow Rate:          13.58 acmm
Standard Density:          N/A
Flowing Density:           0.7383 kg/m3
Viscosity:                  0.026 cp
Average Molecular Weight:  N/A
Average Compressibility Factor: N/A
Specific Heat Ratio:       1.39 Cp/Cv

```

CALCULATED RESULTS

```

*****
Average Compressibility Factor: 1.00
Gas Expansion Factor:           .9942

Reynold's Number at Maximum Flow: 76748.18
Reynold's Number at Normal Flow:  53696.0
Discharge Coefficient C:          .6079
Thermal Correction Factor:        1.004952
Orifice Bore Diameter:            80.4013 mm
Unrecovered Head Loss:            .0261 bar
Beta:                              .528

```

For more information, contact: Foxboro
(508) 543-8750

ภาคผนวก ฅ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการประเมินสมรรถนะของไซโคลน

```
{*****}
**
**
**      PROGRAM FOR PREDICTION OF CYCLONE PERFORMANCE
**      WITH STAIRMAND'S HYPOTHESIS
**
**
**
*****}

PROGRAM HELPME ( INPUT,OUTPUT );
{# This program used to prediction of cyclone performance for
particulate reduction in flue gas with Stairmand's hypothesis #}
Uses Crt;
Var
  a,Ao,Ad,b,bv,Bo           : real;
  C,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10 : real;
  dd,dp,D,D1,D2,Dc,De,f,g,h,He,i,k : real;
  l,Le,m,n,Ne,P,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,r,s,sv1 : real;
  sv,t,Te,Ti,u,Uo,v,vin,Vo,V1,V2,V3,V4 : real;
  vel,Vi,Visc,W,W1,W2,W3,W4,x,y,z,power : real;

Function Temp (x:real) : real;
{## Input value of Cyclone Inlet Temperature ##}
begin
  Ti := 273.15+T;
  Temp := Ti;
end;

Function Viscous (r:real) : real;
{# Calculate value of viscosity; reference from "Introduction to
Fluid Mechanics" 4th edition; of Robert W.Fox, AlanP T.McDonald #}
begin
  Ti := Temp(x);
  bv := 0.000001458;
  sv := 110.4;
  sv1 := (sv+Ti);
  Visc := ((bv*(exp(1.5*ln(Ti))))/(sv1));
  Viscous := Visc;
end;
```



```

Function diapar (f:real) : real;
{## Reference to Graph from "Introduction to Industrial Gas
Cleaning" of F.A.L Dullien in Stairmand's hypothesis ##}
begin
    diapar := 0.00002;
end;

Function Cunning (i:real) : real;
{## Reference to Value of Cunningham Correction Factor from
"Introduction to Industrial Gas Cleaning" of F.A.L Dullien
in Stokes'law case ##}
begin
    Cunning := 1.000;
end;

Function Time (vel,g:real) : real;
{## Reference to the particle velocity as a function of time from
"Introduction to Industrial Gas Cleaning" of F.A.L Dullien ##}
begin
    vel := v;
    g := 9.81;
    Time := (vel/g);
end;

Function Density (dp,C,t,Uo:real) : real;
{## Reference to Stoke's law for the special case from
"Introduction to Industrial Gas Cleaning" of F.A.L Dullien ##}
begin
    dp := diapar (f);
    C := Cuning (i);
    t := Time (vel,g);
    Uo := Viscous (r);
    density := ((18*t*Uo)/((sqr(dp))*C));
end;

Function GIH (D:real) : real;
{** Calculate value of Gas Inlet Height in Cyclone **}
begin
    GIH := (0.5*D);
end;

Function GIW (D:real) : real;
{** Calculate value of Gas Inlet Width in Cyclone **}
begin
    GIW := (0.2*D);
end;

Function GOD (D:real) : real;
{** Calculate value of Gas Outlet Diamater in Cyclone **}
begin
    GOD := (0.5*D);
end;

```



```

Function GOL (D:real) : real;
{** Calculate value of Gas Outlet Length in Cyclone **}
begin
    GOL := (0.5*D);
end;

Function MCL (D:real) : real;
{** Calculate value of Major Cylinder Length in Cyclone **}
begin
    MCL := (1.5*D);
end;

Function ACL (D:real) : real;
{** Calculate value of All Cyclone Length in Cyclone **}
begin
    ACL := (4.0*D);
end;

Function DOD (D:real) : real;
{** Calculate value of Dust Outlet Diameter in Cyclone **}
begin
    DOD := (0.375*D);
end;

Function one (a,b,D,De,He,s:real) : real;
Var Le : real;
begin
    a := GIH (D);
    b := GIW (D);
    De := GOD (D);
    He := MCL (D);
    s := GOL (D);
    k := ((sqr(D))/(a*b));
    power := exp((1/3)*ln(k));
    Le := ((2.3*De)*power);
    one := Le;
end;

Function CDL (Bo,D,l,h,He,s:real) : real;
{** Calculate value of Cone Diameter at natural Length
for evaluate efficiency of cyclone **}
Var Dc : real;
begin
    Bo := DOD (D);
    h := MCL (D);
    He := ACL (D);
    s := GOL (D);
    l := one (a,b,D,De,He,s);
    D1 := (D-Bo);
    D2 := ((s+l-h)/(He-h));
    Dc := D-(D1*D2);
    CDL := Dc;
end;

```

```

Function CGP (a,b,D,Dc,De,h,l,s:real) : real;
{** Calculate value of Cyclone Geometry Parameter
for evaluate efficiency of cyclone **}
  Var C : real;
  begin
    a      := GIH(D);
    b      := GIW(D);
    Dc     := CDL(Bo,D,l,h,He,s);
    De     := GOD(D);
    h      := MCL(D);
    l      := one(a,b,D,De,He,s);
    s      := GOL(D);
    C1     := ((3.1416*(sqr(D)))/(a*b));
    C2     := (1-(sqr(De/D)));
    C3     := ((s/D)-(a/(2*D)));
    C4     := (2*(C2*C3));
    C5     := ((1/3)*((s+l-h)/D));
    C6     := (1+(Dc/D)+(sqr(Dc/D)));
    C7     := (C5*C6);
    C8     := (h/D);
    C9     := ((sqr(De/D))*(l/D));
    C10    := (s/D);
    C      := (C1*(C4+C7+C8-C9-C10));
    CGP    := C;
  end;

```

```

Function CVE (D,Te:real) : real;
{** Calculate value of Cyclone Vortex Exponent
for evaluate efficiency of cyclone **}
  Var Vo : real;
  begin
    Te     := Temp(x);
    V1     := (1-(0.67*(exp(0.14*ln(D)))));
    V2     := (Te/283);
    V3     := (exp(0.3*ln(V2)));
    V4     := (1-(V1*V3));
    Vo     := V4;
    CVE    := Vo;
  end;

```

```

Function CIP (dp,D,P,v,Vo,Uo:real) : real;
{** Calculate value of Cyclone Inertia Parameter
for evaluate efficiency of cyclone **}
  begin
    vin    := v;
    dp     := diapar(f);
    P      := density(t,dp,Uo,C);
    Vo     := CVE(D,Te);
    Uo     := Viscous(r);
    W1     := (P*(sqr(dp))*vin);
    W2     := (18*Uo*D);
    W3     := (W1/W2);
    W4     := ((Vo+1)*W3);
    W      := W4;
    CIP    := W;
  end;

```

```

Function EOC (C,W,Vo:real) : real;
{** Calculate value of Efficiency of Cyclone **}
  Var m,n,Ne : real;
  begin
      C      := CGP(a,b,D,Dc,De,h,l,s);
      y      := CIP(dp,D,P,v,Vo,Uo);
      m      := (C*(y));
      z      := CVE(D,Te);
      n      := (1/((2*z)+2));
      Ne     := (1-(exp(-2*(exp(n*ln(m))))));
      EOC    := (Ne*100);
  end;

```

```

BEGIN      {@@@ MAIN PROGRAM @@@}
clrscr;

Writeln ('## ***** ##')
Writeln ('    && Welcome to program for Prediction of Cyclone');
Writeln ('    Performance with hypothesis of Stairmand &&');
Writeln ('## ***** ##')
Write   ('Please input value of your cyclone diameter in (mm.);D = ');
Read    (D);
Write   ('Please input value of cyclone inlet temperature in (C);Ti = ');
Read    (T);
Write   ('Please input value of cyclone inlet velocity in (m/s);Vi = ');
Read    (v);
Writeln ('## ----- ##')
Writeln ('Dimension of High Efficiency,Medium throughput Cyclone type');
      a := GIH (D);
      b := GIW (D);
      De := GOD (D);
      s := GOL (D);
      h := MCL (D);
      He := ACL (D);
      Bo := DOD (D);

Writeln ('Gas Inlet Height;          a = ',a:6:2,' mm. ');
Writeln ('Gas Inlet Width;            b = ',b:6:2,' mm. ');
Writeln ('Gas Outlet Diameter;        De = ',De:6:2,' mm. ');
Writeln ('Gas Outlet Length;          s = ',s:6:2,' mm. ');
Writeln ('Major Cylinder Length;      h = ',h:6:2,' mm. ');
Writeln ('All Cyclone Length;         He = ',He:6:2,' mm. ');
Writeln ('Dust Outlet Diameter;       Bo = ',Bo:6:2,' mm. ');
      Visc := Viscous (r);
Writeln ('Viscosity of gas = ',Visc:5:8,' Pa.s');
      Ti := Temp (x);
Writeln ('Cyclone inlet temperature = ',Ti:6:2,' K');
      Q1 := CDL (Bo,D,h,He,l,s);
Writeln ('Value of Cone Diameter at natural Length; Dc = ',Q1:6:4);
      Q2 := CGP (a,b,D,Dc,De,h,l,s);
Writeln ('Value of Cyclone Geometry Parameter; C = ',Q2:6:4);

```

```

      Q3 := CVE (D,Te);
Writeln ('Value of Cyclone Vortex Exponent;  Vo = ',Q3:6:4);
      Q4 := CIP (dp,D,P,v,Vo,Uo);
Writeln ('Value of Cyclone Inertia Parameter;  W = ',Q4:6:4);
      Q5 := EOC (C,Vo,W);
Writeln ('!! ==-----!!');
Writeln ('      **  EFFICIENCY OF CYCLONE;  Ne = ',Q5:5:2,' % **');
Write   ('!! ==-----!!');
END.

```



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


```

## ***** ##
&& Welcome to program for Prediction of Cyclone
Performance with hypothesis of Stairmand &&
## ***** ##
Please input value of your cyclone diameter in (mm.);D = 450.0
Please input value of cyclone inlet temperature in (C);Ti = 300.0
Please input value of cyclone inlet velocity in (m/s);Vi = 25.0
## ----- ##
Dimension of High Efficiency,Medium throughput Cyclone type
Gas Inlet Height; a = 225.00 mm.
Gas Inlet Width; b = 90.00 mm.
Gas Outlet Diameter; De = 225.00 mm.
Gas Outlet Length; s = 225.00 mm.
Major Cylinder Length; h = 675.00 mm.
All Cyclone Length; He = 1800.00 mm.
Dust Outlet Diameter; Bo = 168.75 mm.
Viscosity of gas = 0.00002927 Pa.s
Cyclone inlet temperature = 573.15 K
Value of Cone Diameter at natural Length; Dc = 283.7700
Value of Cyclone Geometry Parameter; C = 55.1220
Value of Cyclone Vortex Exponent; Vo = 1.7117
Value of Cyclone Inertia Parameter; W = 0.3839
!! ===== !!
** EFFICIENCY OF CYCLONE; Ne = 97.01 % **
!! ===== !!

```

```

## ***** ##
&& Welcome to program for Prediction of Cyclone
Performance with hypothesis of Stairmand &&
## ***** ##
Please input value of your cyclone diameter in (mm.);D = 480.0
Please input value of cyclone inlet temperature in (C);Ti = 385.0
Please input value of cyclone inlet velocity in (m/s);Vi = 45.0
## ----- ##
Dimension of High Efficiency,Medium throughput Cyclone type
Gas Inlet Height; a = 240.00 mm.
Gas Inlet Width; b = 96.00 mm.
Gas Outlet Diameter; De = 240.00 mm.
Gas Outlet Length; s = 240.00 mm.
Major Cylinder Length; h = 720.00 mm.
All Cyclone Length; He = 1920.00 mm.
Dust Outlet Diameter; Bo = 180.00 mm.
Viscosity of gas = 0.00003203 Pa.s
Cyclone inlet temperature = 658.15 K
Value of Cone Diameter at natural Length; Dc = 302.6880
Value of Cyclone Geometry Parameter; C = 55.1220
Value of Cyclone Vortex Exponent; Vo = 1.7602
Value of Cyclone Inertia Parameter; W = 1.1870
!! ===== !!
** EFFICIENCY OF CYCLONE; Ne = 98.60 % **
!! ===== !!

```

ประวัติผู้เขียน

นางสาว เบญจวรรณ โชคพิพัฒนาผล เกิดเมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2515
ที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ
ปีพ.ศ. 2537



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย