รายการอ้างอิง

1.วิรัช วิภู และคณะ.การศึกษาเพิ่มเพิ่มประสิทธิภาพและการประหยัดการใช้พลังงานและน้ำมันเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล.กรมวิเทศสหการสำนักงานพลังแห่งชาติ, 2524.

2. วงพันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ. มลภาวะอากาศ .สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2529.

3. Wark & Warner C.F. Air Pollution . NY: McGraw-Hill ,1976 .

4. Perkins,H.C. Air Pollution. NY: McGraw-Hill,1974.

5. Parker.H.W.Air pollution.EngleWood Cliffs,NJ : Prenfice Hall ,1977.

6. Ross,R.D. Industrial Waste Disposal.NY : Van Nostrand Reinhold ,1968.

7.Theodore , L.,and Buonicore.Industrial air pollution control equipment for particulates . Cleveland,1976 .

8. Johnstone,H.F.,and Robert, M.H.Deposition of aerosol particles from moving gas streams . J .Ind. Eng. Chem ,1949.

9. Johnstone,H.F. ,Field, R.B., and Tassler. M.C.Gas apsorption and aerosol collection in a venturi atomizer . J. Ind. Eng. Chem ,1954 .

10.Takuma Co.,LTD. Ash material balance for N-7700 bagasse firing boiler.(n.p.) , 1999.

11. Yunus .,A., Cengel.,and Michael.Boles. Thermodynamics. Hightstoen.NJ : McGrawHill,1989.

12. John ,T. Solid Waste Management Engineering. NJ : Prentice Hall , 1992.

13. Tomany, J.P. Air pollution :The emission, the regulation, the controls. NY : Elsevier, 1975.

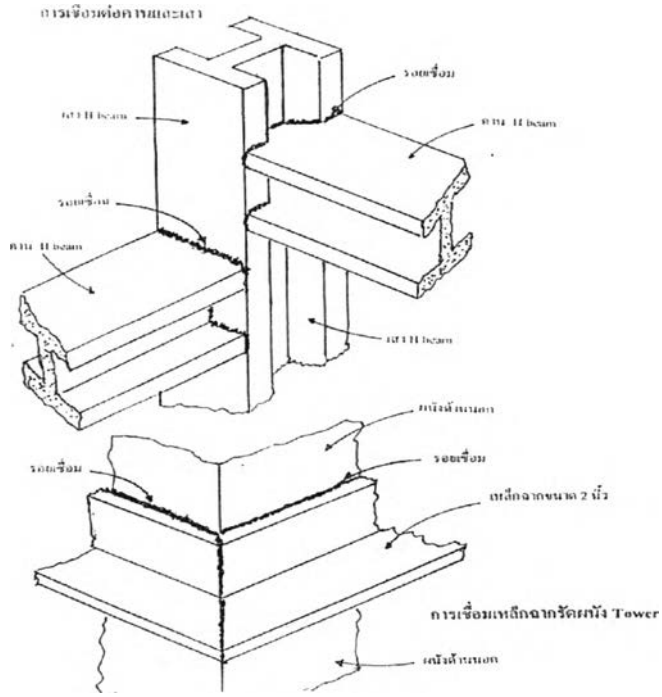
14. Muhammad,E.Fayed.,and Lambert,often .Handbook of powder sciences technology. NJ : Prentice Hall ,1980.

ภาคผนวก

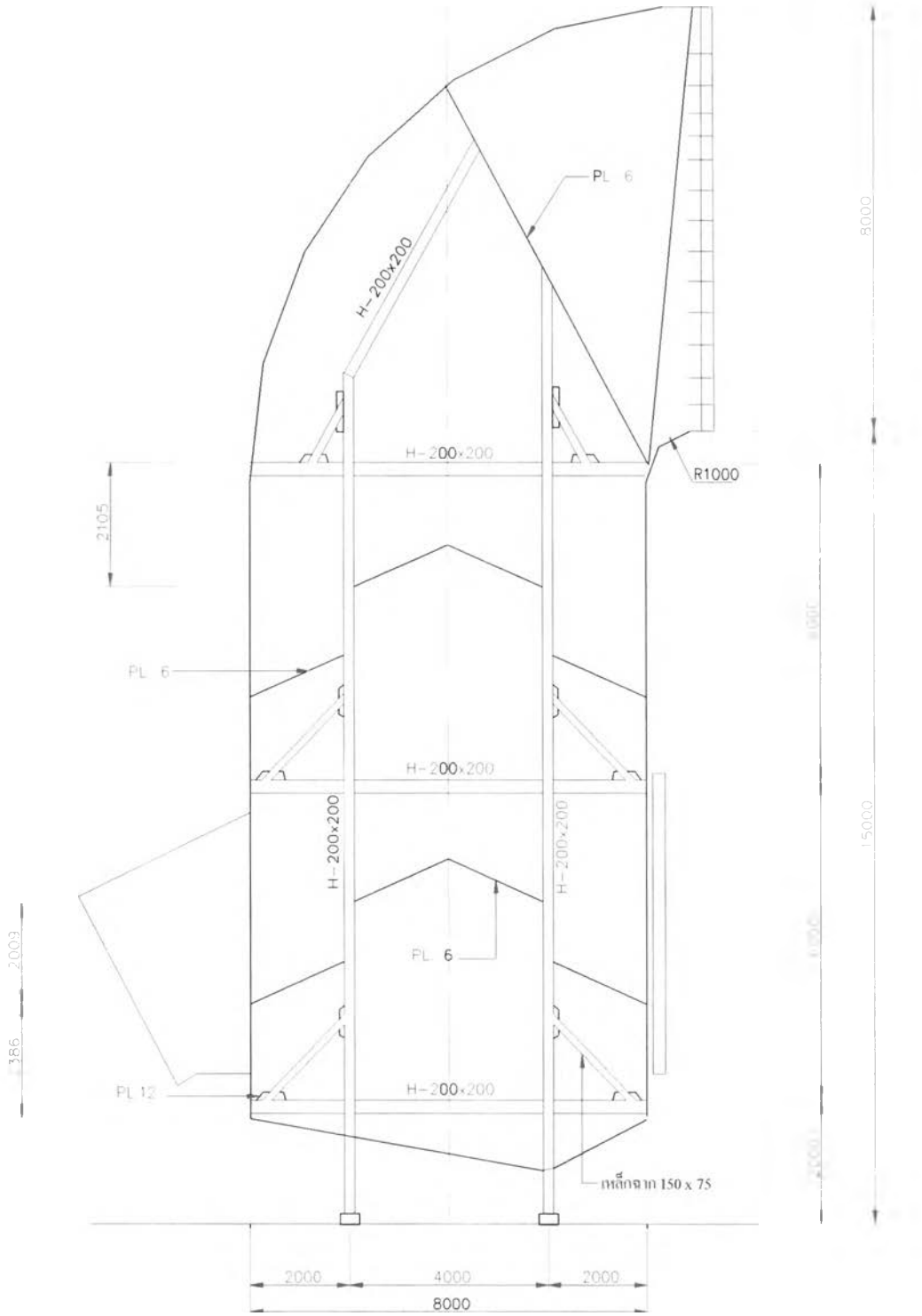
ภาคผนวก ก
รายละเอียดการออกแบบเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกหอแผ่นปะทะ

1.**ลักษณะของ** Wet scrubber รายละเอียดของเสาและคาน H-beam ภายใน ตลอดจนลักษณะการเชื่อมต่อคาน เสา และเหล็กฉากรัดผนัง แสดงในรูปที่ ก-1,ก-2 ตามลำดับ

2. **รายละเอียดภายในภายใน** มีบริเวณสเปรย์น้ำ 2 ชั้น ชั้นแรกที่ความสูง 6 เมตร ซึ่งจะสเปรย์น้ำลงมาที่แผ่นกั้นเจาะรู (Baffle plate) ชั้นแรก และบริเวณสเปรย์น้ำชั้นที่ 2 ที่ความสูง 11 เมตร จะสเปรย์น้ำลงมาที่แผ่นกั้นเจาะรู (Baffle plate) ชั้นบน ดังรูปที่ ก-3

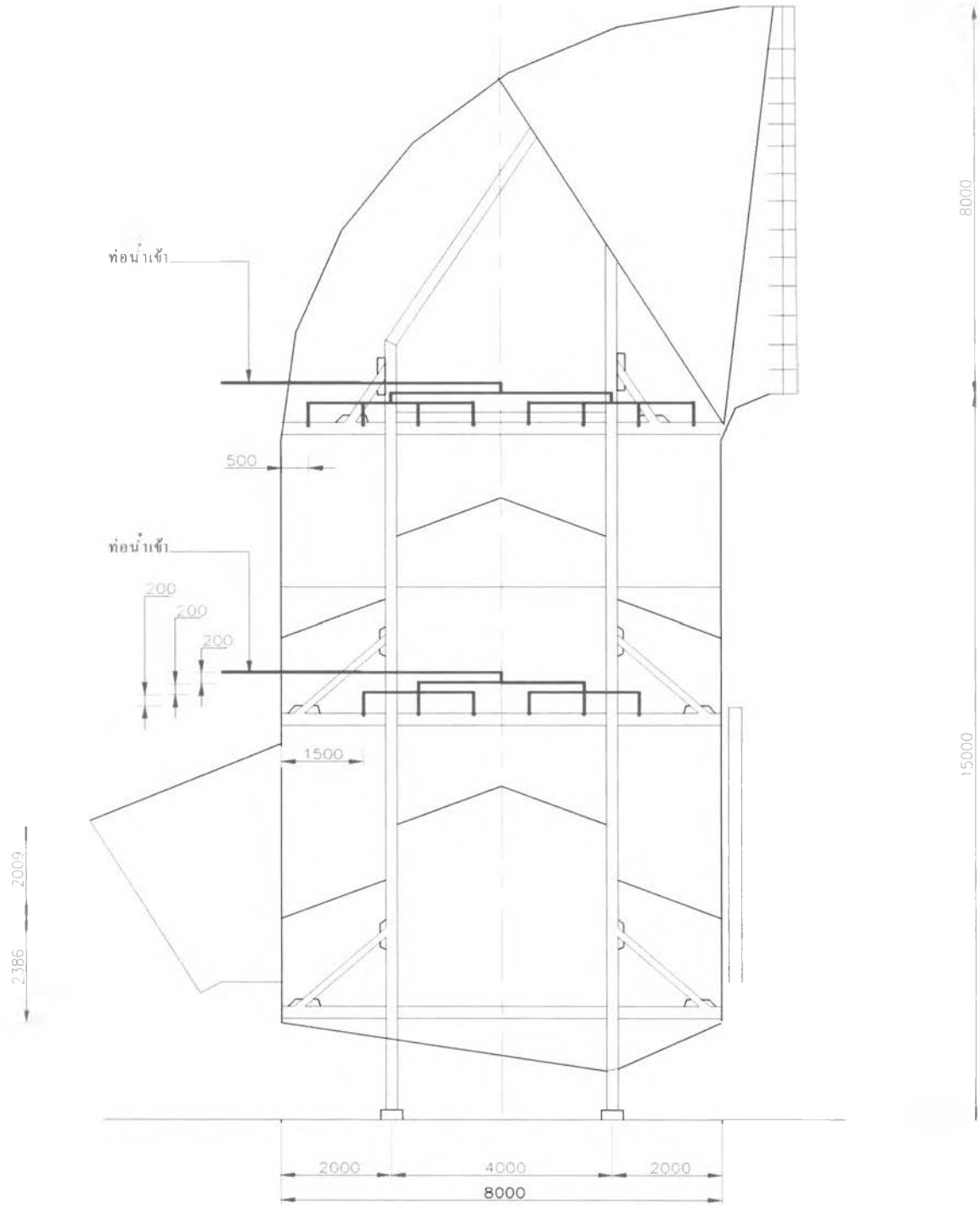


รูปที่ ก-1 ลักษณะการเชื่อมต่อคาน เสา และเหล็กฉากรัดผนัง



SECTION
NOT TO SCALE

รูปที่ ก-2 รายละเอียดเสาและคาน H-beam ภายใน



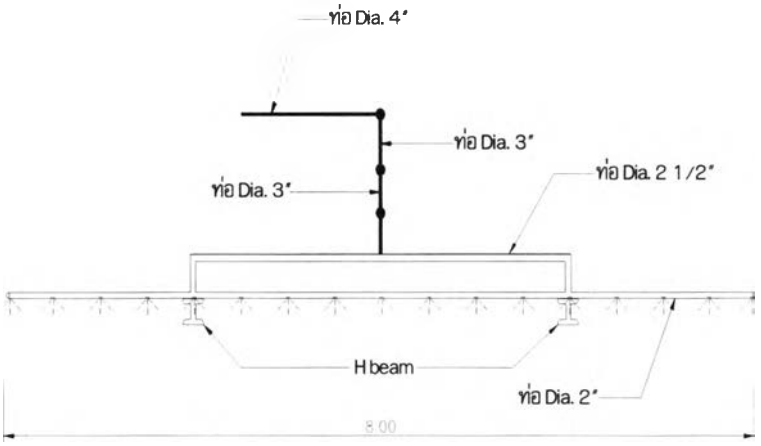
SECTION
NOT TO SCALE

รูปที่ ก-3 แสดงการวางท่อน้ำ

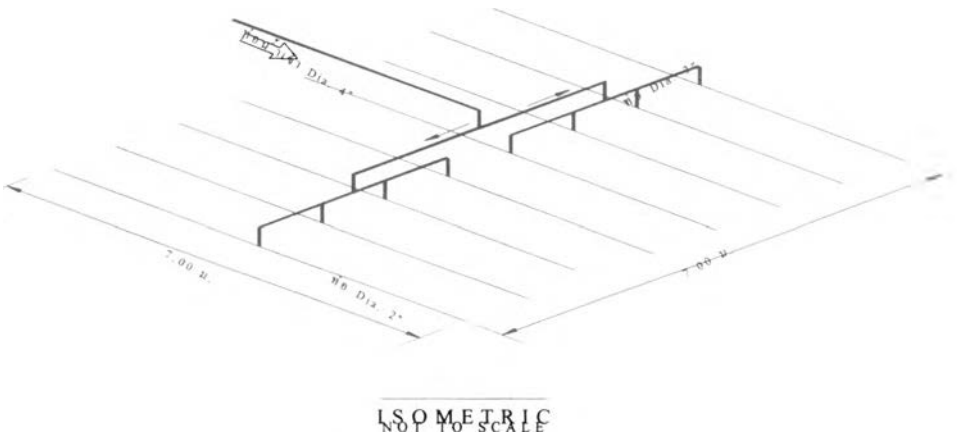
3. **รายละเอียดการวางท่อสเปรย์น้ำ**

ท่อน้ำเข้าหลัก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว แยกไปสู่ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วซึ่งมี 2 ด้าน เพื่อไปที่จุดปล่อยน้ำสเปรย์ชั้นแรกและชั้นที่ 2

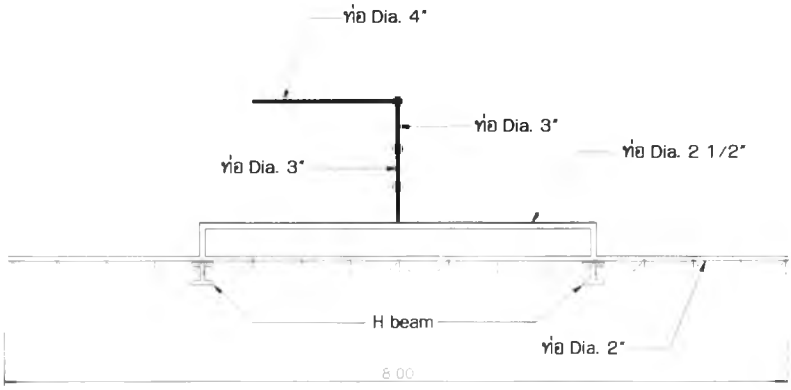
บริเวณสเปรย์ในแต่ละชั้น จากท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว แยกไปสู่ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และ 2 นิ้ว ตามลำดับ และจะมีการปล่อยน้ำจากท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้วโดยการเจาะรูตลอดความยาวของท่อ ดังรูปที่ ก-4,ก-5,ก-6



รูปที่ ก-4 ภาพการวางท่อสเปรย์น้ำมองจากด้านข้าง

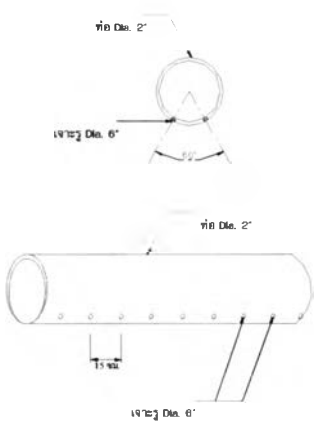


รูปที่ ก-5 ภาพ Isometric การวางท่อสเปรย์น้ำ



รูปที่ ก-6 ภาพการวางท่อสเปรย์น้ำมองจากด้านหน้า

การปล่อยน้ำจากท่อขนาด 2 นิ้ว ซึ่งยาวเท่ากับความกว้างของ Wet scrubber จะเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ระยะละ 1 คู่ (2 รู) แต่ละรูทำมุมกัน 60 องศา รูในแต่ละระยะห่างกัน 15 ซม. ดังรูปที่ ก-7



รูปที่ ก-7 รายละเอียดรูที่ทำการปล่อยน้ำสเปรย์

-การคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านรูสเปรย์

คิดปริมาตรของน้ำเข้า Wet scrubber ต่อปริมาตรอากาศเท่ากับ $1x10^{-4}$ ถึง $5x10^{-4}$ ลบ.ม.ของน้ำต่อ 1 ลบ.ม. ของอากาศ ดังนั้น ที่อัตราการไหลของอากาศสูงสุด 450,300 ลบ.ม./ชม. อัตราการจ่ายน้ำเข้า Wet scrubber เท่ากับ 50-250 ลบ.ม./ชม.

ปล่อยน้ำผ่านรูสเปรย์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ระยะห่าง 15 ซม. ตลอดความยาว 8 เมตร

จุดปล่อย = 8 m/15.6 cm

= 50 จุด

แต่ละจุดมี 1 คู่ = 50x2

= 100 รู

ท่อสเปรย์ชั้นบน มีทั้งหมด 8 ท่อ ชั้นล่างมี 6 ท่อ ทั้งหมดรวม 14 ท่อ

= 14x100

= 1,400 รู

พื้นที่หน้าตัดของแต่ละรู = $\pi x(0.003)^2$

= $2.82x10^{-6}$ m^2

พื้นที่หน้าตัดของรูสเปรย์ทั้งหมด

= $1,400x2.82x10^{-6}$

= $3.95x10^{3}$ m^2

อัตราการไหลต่ำสุดของน้ำจากรูสเปรย์

= $(50\ m^3/h)/(3.95x10^{-3}\ m^2)$

= $1.27x10^{4}$ m/h

= 3.52 m/s

อัตราการไหลสูงสุดของน้ำจากรูสเปรย์

= $(250\ m^3/h)/(3.95x10^{-3}\ m^2)$

= $6.33x10^{4}$ m/h

= 17.58 m/s

เวลากักเก็บ = 12/17.58

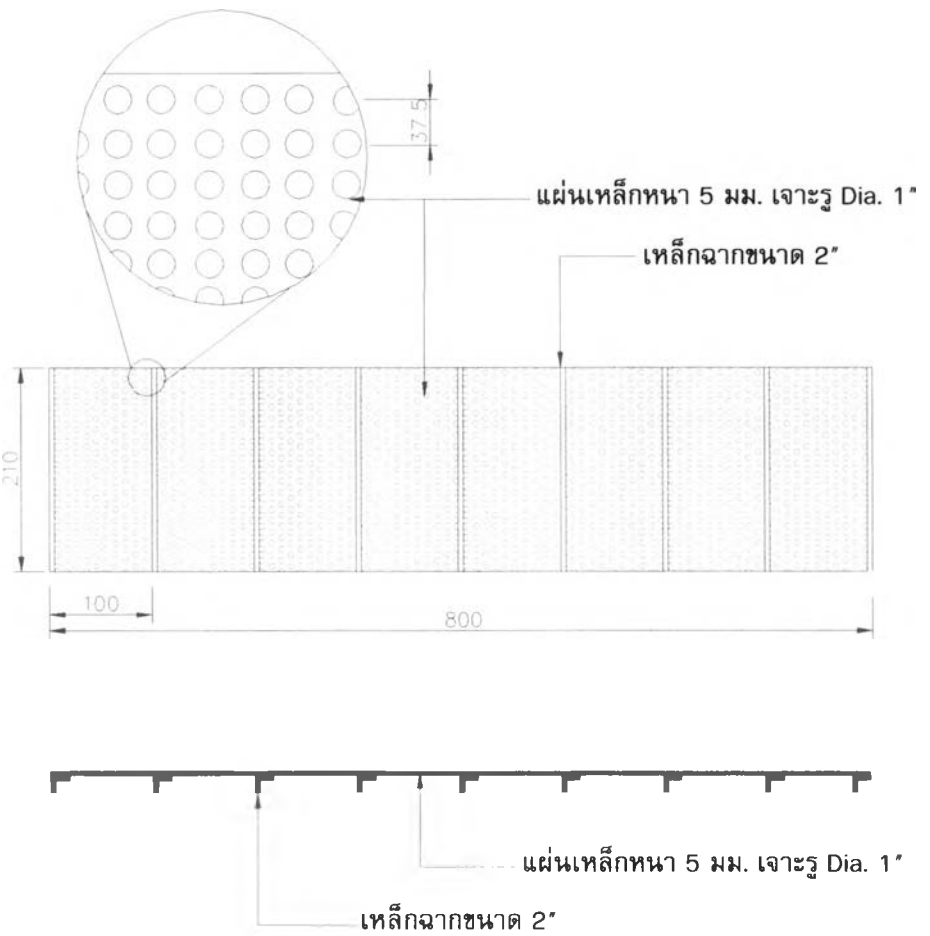
= 0.68 วินาที

เวลากักเก็บของน้ำ 0.68 วินาที ต่ำกว่าเวลากักเก็บของฝุ่น ดังนั้น เราจึงใช้แผ่นกั้น (Sieve plate) รองรับเพื่อเพิ่มเวลากักเก็บของน้ำและพื้นที่ผิวสัมผัสกับฝุ่น

4. **รายละเอียดของแผ่นกั้น** (Buffer plate)

- การเจาะรู

แผ่นกั้นที่ใช้เป็นแผ่นเหล็กหนา 5 มม. เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ตลอดทั้งแผ่น โดยให้มีระยะห่างระหว่างรู 1.25 ซ.ม. หรือวัดระยะห่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละรูเท่ากับ 3.75 ซ.ม. ดังรูปที่ ก-8

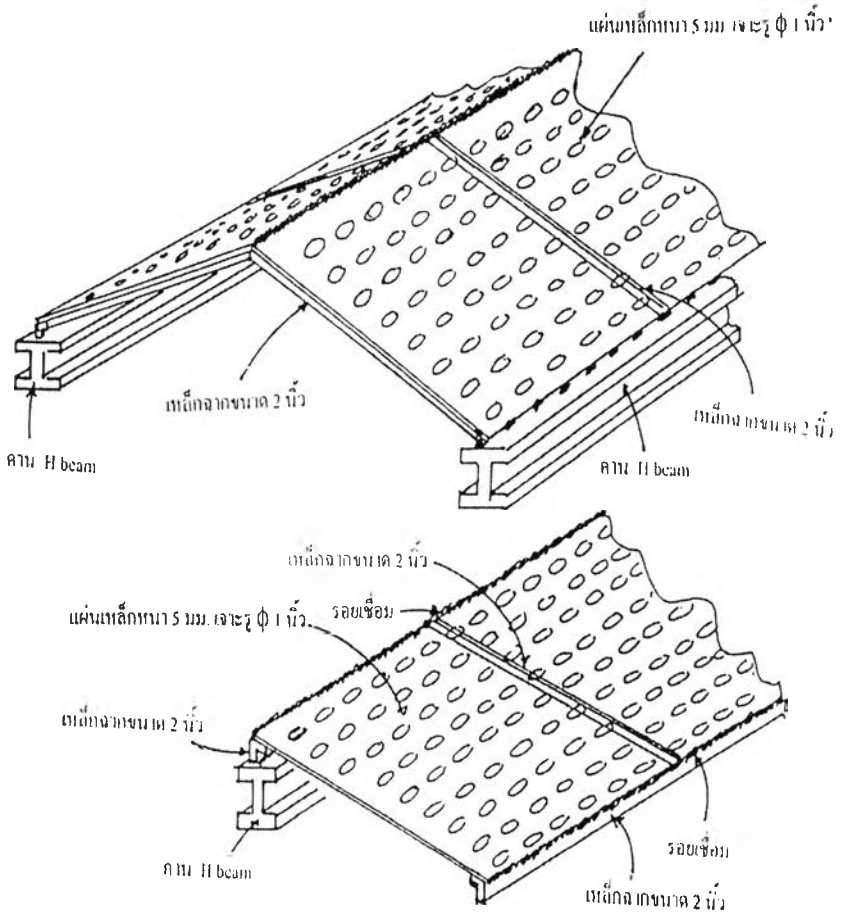


รูปที่ ก-8 ลักษณะของแผ่นปะทะและการเจาะรู

-การติดตั้งแผ่นกั้น

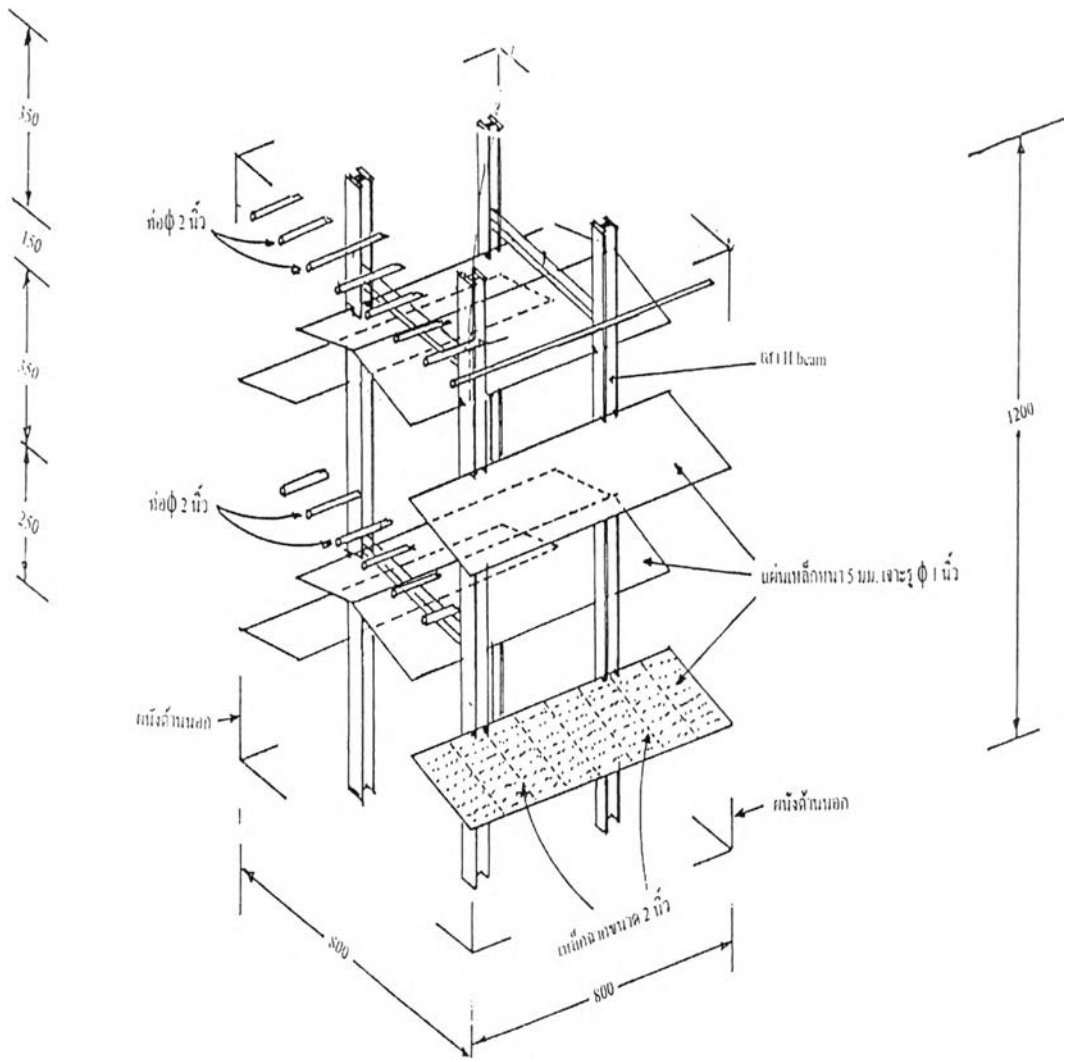
วางเอียงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและลดการปะทะตรง โดยเอียงทำมุม 15 องศากับแนวระดับ บริเวณส่วนกลางของ Wet scrubber วางแผ่นให้ประกบกันเป็นรูปหน้าจั่ว ดังรูปที่

จากการวางแผ่นเอียง จะได้ความยาวของแผ่นกั้นแต่ละแผ่นเท่ากับ 2.10 เมตร วางเรียงต่อด้วยเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว จนครบความกว้างของ Wet scrubber 8 เมตร ดังรูปที่ ก-9



การวางแผ่นเจาะรูไว้ด้านข้างของ Tower

รูปที่ ก-9 แผ่นกั้นเจาะรู (Baffle plate)



รูปที่ ก-10 ลักษณะการวางแผ่ปะทะใน Wet scrubber

5.**ความดันลด**(Pressure Drop) คำนวณได้จากสมการ[14]

$$\Delta P = k\frac{\rho V^2}{2}$$

โดยที่ : ρ= ความหนาแน่นของแก๊สเสีย (1.0 kg/ m^3)

V=ความเร็วแก๊สเสียคิดที่พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเครื่องจับฝุ่น(1.95 m/s)

K=ค่าคงที่การสูญเสียจากความเร็วลม(velocity head loss)

$$K = \left(\frac{1}{C^2}\right)\left(\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}\right)$$

C=Discharge coefficient = $0.1(Re)^{(1/2)}$

α=สัดส่วนพื้นที่เปิดแผ่นปะทะต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเครื่องจับฝุ่น

พิจารณาความดันลด ภาวะก่อนปรับปรุงความดันลด โดยที่

พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเครื่องจับฝุ่น เท่ากับ 64 ตารางเมตร

พื้นที่เปิดแผ่นปะทะเท่ากับ 24 ตารางเมตร

α=0.375, Re=20, C=0.44

$$K = \left(\frac{1}{0.44^2}\right)\left(\frac{1-0.375^2}{0.375^2}\right)$$

=31.56

ความดันลดที่เกิดขึ้นต่อชั้นแผ่นปะทะเท่ากับ

$$\Delta P = 31.56\frac{1.0x1.95^2}{2}$$

=6.0 mmH_2O

ความดันลดทั้งหมดเท่ากับ 12 mmH_2O สำหรับกรณีพื้นที่เปิดแผ่นปะทะเท่ากับ 24 ตารางเมตร

พิจารณาความดันลด ภาวะหลังปรับปรุงความดันลด

พื้นที่เปิดแผ่นปะทะเท่ากับ 36 ตารางเมตร

α=0.56, Re=10, C=0.31

$$K = \left(\frac{1}{0.31^2}\right)\left(\frac{1-0.56^2}{0.56^2}\right)$$

=22.77

ความดันลดที่เกิดขึ้นต่อชั้นแผ่นปะทะเท่ากับ

$$\Delta P = 22.77\frac{1.0x1.95^2}{2}$$

=4.3 mmH_2O

ความดันลดทั้งหมดเท่ากับ 8.6 mmH_2O สำหรับกรณีพื้นที่เปิดแผ่นปะทะเท่ากับ 36 ตารางเมตร

6. อัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นกั้น

ในการคิดอัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นกั้น คิดจาก

พื้นที่รูรวมบริเวณที่ไม่ได้เจาะ = 3.75 cmx3.75 cm

= $1.40625x10^{-3}$ m^2

จำนวนรูทั้งหมดต่อชั้น =(8mx8m)x4ชุด/$1.40625x10^{-3}$ m^2

= 45411 รู

พื้นที่รูทั้งหมดต่อชั้น = $\pi x(0.0127)^2x45411$

= (23.0741+1)m^2

ชั้นละ = 24 m^2

ถ้าสเปรย์น้ำด้วยอัตราการไหลสูงสุด 250 m^3/h

อัตราการไหลของน้ำชั้นบน = (8/14)x250 m^3/h

= 143 m^3/h

ความเร็วของน้ำผ่านแผ่น = (143 m^3/h)/24 m^2

= 5.95 m/h

= 1.65×10^{-3}m/s

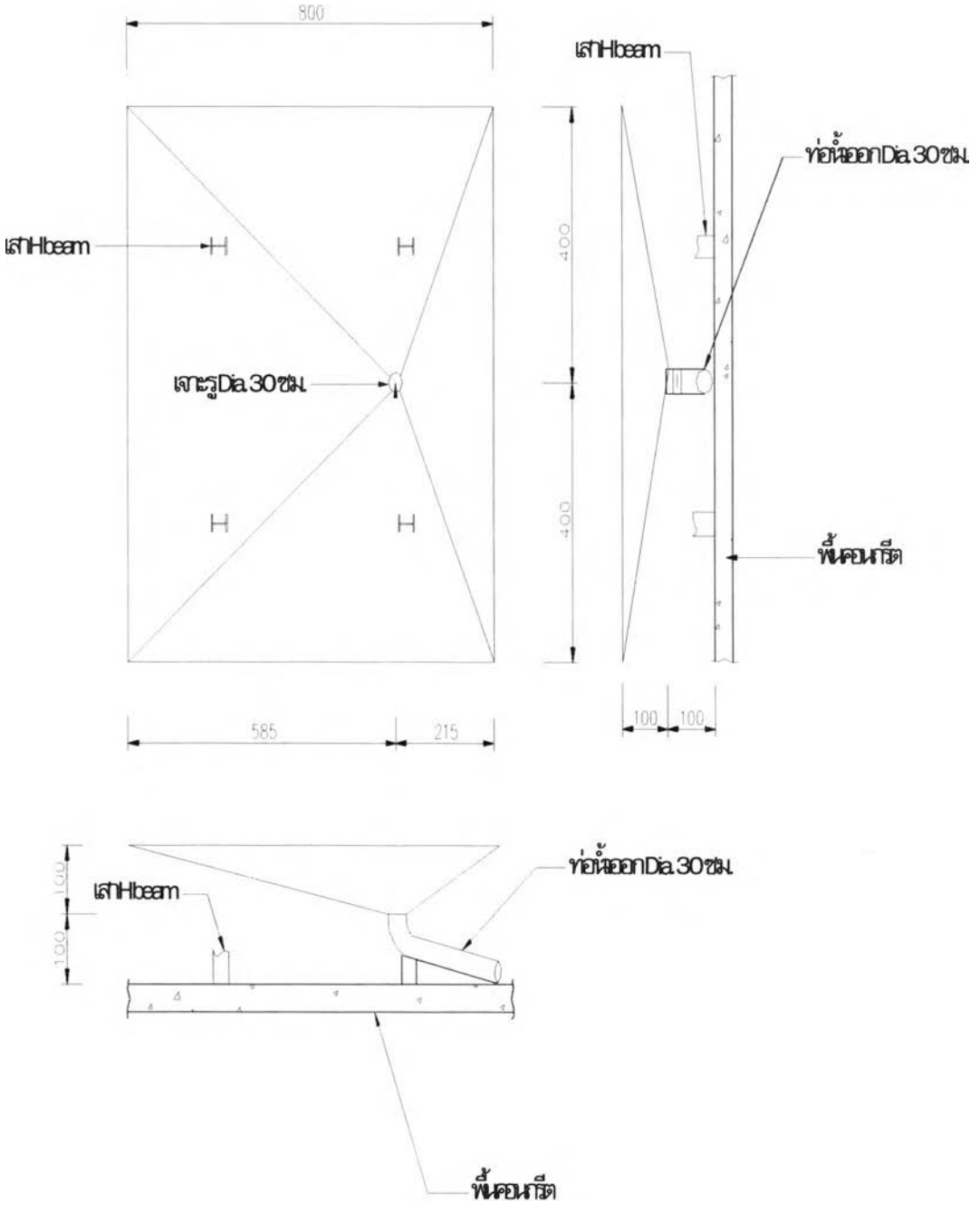
ความเร็วเริ่มต้นของน้ำจากแผ่นกั้น $1.56x\ 10^{-3}$ m/s ถือว่าต่ำมาก

7. รายละเอียดการต่อเชื่อมกับปล่อง

จากความสูง 12 เมตรของ Wet scrubber ต่อโค้งเข้ากับปล่อง โดยมีรัศมีเส้นโค้งล่าง 1 เมตร รัศมีโค้งบน 9 เมตร ซึ่งจะต่อโค้งเข้ากับปล่องด้วยช่องขนาดความสูง 8 เมตร กว้าง 4 เมตร โดยใช้แผ่นเหล็กกั้นเช่นเดียวกับตัว Wet scrubber

8. รายละเอียดส่วนรองรับน้ำด้านล่าง

ทำจากแผ่นเหล็ก 5 ชิ้น เชื่อมต่อตลอดความกว้างและยาวของตัวถัง และลู่เข้าส่วนกลางเพื่อให้น้ำไหลเข้าสู่ท่อน้ำออกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซ.ม. ด้านล่างลาดพื้นด้วยคอนกรีต มีระยะความสูงของแผ่นรวบรวมน้ำ 1 เมตร ความสูงของท่อน้ำออก 1 เมตร รวมความสูงจากตัว Wet scrubber ถึงพื้นคอนกรีต 2 เมตร ดังรูปที่ ก-11



รูปที่ ก-11 ส่วนรองรับน้ำด้านล่าง Wet scrubber

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบที่อัตราการผลิตไอน้ำ 90-100 ตัน/ช.ม.

อัตราการไหลของน้ำเข้า(m^3/h)	55.0	70.0	100.0	120.0	140.0	160.0	200.0
อัตราการไหลของแก๊สเข้า(Nm^3/min.)	3411.13	3513.21	3456.18	3389.21	3348.14	3387.21	3378.32
อัตราการไหลของแก๊สออก(Nm^3/min.)	3488.12	3615.21	3597.42	3499.54	3597.21	3546.24	3557.62
อัตราส่วนน้ำต่อแก๊ส($x10^{-4}$)	2.69	3.32	4.82	5.90	6.77	7.87	9.87
อุณหภูมิ เข้า ($^{\circ}C$)	201.12	196.56	195.21	201.46	195.20	198.41	197.12
อุณหภูมิ ออก ($^{\circ}C$)	84.12	76.21	67.57	63.87	61.98	59.54	57.19
ปริมาณฝุ่นเข้า (mg/Nm^3)	215.14	216.21	204.19	206.18	209.12	207.41	211.27
ปริมาณฝุ่นออก (mg/Nm^3)	83.17	74.91	63.51	55.21	43.51	32.21	17.16
ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น (%)	61.34	65.35	68.90	73.22	79.19	84.47	91.88
ความดันลด ($mm.H_2O$)	35.02	58.25	82.12	95.21	108.15	118.42	133.52
CO เข้า (ppm)	355.62	370.18	375.89	376.58	375.57	378.26	379.42
CO ออก (ppm)	353.12	368.24	374.19	371.52	370.91	373.11	375.87
ประสิทธิภาพการกำจัดCO (%)	0.70	0.52	0.45	1.34	1.24	1.36	0.94
SO_2 เข้า (ppm)	198.66	197.73	189.69	190.23	195.51	192.36	198.54
SO_2 ออก (ppm)	159.72	156.36	148.68	150.72	150.63	150.96	150.42
ประสิทธิภาพการกำจัดSO_2 (%)	19.60	20.92	21.62	20.77	22.96	21.52	24.24
NO_2เข้า (ppm)	210.63	210.51	213.75	219.54	223.62	217.38	213.72
NO_2 ออก (ppm)	203.43	195.51	195.96	193.53	195.39	186.33	181.02
ประสิทธิภาพการกำจัดNO_2 (%)	3.42	7.13	8.32	11.85	12.62	14.28	15.30
pHน้ำออกจากเครื่อง	8.02	7.60	7.40	7.30	7.30	7.30	7.30
SSน้ำออกจากเครื่อง (mg/l)	311.08	295.52	279.06	273.16	269.17	266.37	262.41
ความเร็วรอบพัดลมดูด(rpm)	650	650	650	650	650	650	650
เปอร์เซนต์การเปิดลิ้นพัดลมดูด(%)	45	45	45	45	50	50	75

หมายเหตุ : ค่า SS น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 245.23 (mg/l)

ค่า pH น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 7.07

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบที่อัตราการผลิตไอน้ำ 150-160 ตัน /ช.ม.

อัตราการไหลของน้ำเข้าเครื่อง(m^3/h)	55	70	100	120	140	160	200
อัตราการไหลของแก๊สเข้า(Nm^3/min.)	4124.22	4216.17	4190.19	4259.23	4185.43	4116.17	4216.51
อัตราการไหลของแก๊สออก(Nm^3/min.)	4365.21	4466.14	4391.17	4457.19	4347.21	4374.32	4416.51
อัตราส่วนน้ำต่อแก๊ส($x10^{-4}$)	2.22	2.77	3.98	4.70	5.58	6.48	7.91
อุณหภูมิ เข้า (^oC)	202.12	201.21	201.47	199.98	202.12	203.14	201.98
อุณหภูมิ ออก (^oC)	90.25	76.54	73.52	69.13	66.41	64.12	61.24
ปริมาณฝุ่นเข้า (mg/Nm^3)	493.42	500.92	499.94	491.41	490.16	499.51	495.41
ปริมาณฝุ่นออก (mg/Nm^3)	199.90	194.12	174.12	157.14	140.18	127.23	79.24
ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น(%)	59.49	61.25	65.17	68.02	71.40	74.53	84.01
ความดันลด($mm.H_2O$)	30.41	41.34	70.37	80.74	87.51	104.77	120.92
CO เข้า (ppm)	363.19	368.27	366.65	369.74	365.54	364.63	367.85
CO ออก (ppm)	359.68	359.57	350.52	358.85	357.24	355.23	355.58
ประสิทธิภาพการกำจัดCO(%)	0.97	2.36	4.40	2.95	2.27	2.58	3.34
SO_2 เข้า (ppm)	198.69	187.26	189.63	187.23	191.79	191.58	196.44
SO_2 ออก (ppm)	150.78	142.53	144.63	141.75	145.53	142.53	145.53
ประสิทธิภาพการกำจัดSO_2(%)	24.11	23.89	23.73	24.29	24.12	25.60	25.92
NO_2 เข้า (ppm)	216.42	215.43	222.00	210.60	219.30	209.40	218.10
NO_2 ออก (ppm)	214.65	213.63	216.93	204.63	209.73	195.42	187.56
ประสิทธิภาพการกำจัดNO_2(%)	0.82	0.84	2.34	2.92	4.56	7.15	16.28
pHน้ำออกจากเครื่อง	8.00	7.81	7.62	7.47	7.38	7.30	7.30
SSน้ำออกจากเครื่อง (mg/l)	324.28	306.13	287.73	281.45	275.48	271.97	267.95
ความเร็วรอบพัดลมดูด(rpm)	700	700	700	700	800	800	800
เปอร์เซนต์การเปิดลิ้นพัดลมดูด(%)	45	45	45	50	50	75	75

หมายเหตุ : ค่า SS น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 244.87 (mg/l)

ค่า pH น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 7.05

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบที่อัตราการผลิตไอน้ำ 240-250 ตัน /ช.ม.

อัตราการไหลของน้ำเข้า(m^3/h)	55	70	100	120	140	160	200
อัตราการไหลของก๊าซเข้า(Nm^3/min.)	8371.23	8256.31	8398.31	8249.23	8255.24	8316.12	8260.24
อัตราการไหลของก๊าซออก(Nm^3/min.)	8446.21	8359.45	8521.41	8479.65	8478.21	8564.52	8461.98
อัตราส่วนน้ำต่อแก๊ส ($x10^{-4}$)	1.10	1.41	1.98	2.42	2.83	3.21	4.04
อุณหภูมิ เข้า (^oC)	214.28	212.54	215.42	210.98	211.46	213.15	212.14
อุณหภูมิ ออก (^oC)	111.28	103.24	96.41	88.51	76.42	70.99	68.16
ปริมาณฝุ่นเข้า (mg/Nm^3)	705.32	704.42	698.24	695.27	703.98	704.41	706.21
ปริมาณฝุ่นออก (mg/Nm^3)	355.31	337.51	322.21	281.08	270.05	250.50	240.21
ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น(%)	49.62	52.09	53.85	59.57	61.64	64.44	65.99
ความดันลด ($mm.H_2O$)	12.72	17.74	22.55	32.34	42.31	49.67	72.87
CO เข้า (ppm)	356.14	358.41	355.32	357.25	354.31	359.09	359.74
CO ออก (ppm)	350.44	350.13	350.28	350.42	350.21	355.21	357.44
ประสิทธิภาพการกำจัดCO(%)	1.60	2.31	1.42	1.91	1.16	1.08	0.64
SO_2 เข้า (ppm)	192.69	190.02	193.23	196.08	189.42	186.96	186.33
SO_2 ออก (ppm)	172.26	156.33	156.75	152.13	145.56	141.96	142.53
ประสิทธิภาพการกำจัดSO_2(%)	10.60	17.73	18.88	22.41	23.15	24.07	23.51
NO_2 เข้า (ppm)	210.12	213.00	216.11	207.0	219.23	204.56	216.0
NO_2 ออก (ppm)	207.14	210.10	210.5	201.1	210.14	195.89	204.0
ประสิทธิภาพการกำจัดNO_2(%)	1.43	1.41	4.17	2.90	4.11	4.41	5.56
pHน้ำออกจากเครื่อง	8.20	8.20	8.20	8.0	7.80	7.80	7.60
SSน้ำออกจากเครื่อง (mg/l)	367.96	339.70	307.82	297.49	293.14	288.52	279.79
ความเร็วรอบพัดลมดูด(rpm)	750	750	750	750	800	800	800
เปอร์เซนต์การเปิดลิ้นพัดลมดูด(%)	45	45	50	50	75	75	75

หมายเหตุ : ค่า SS น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 245.93 (mg/l)

ค่า pH น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 7.07

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบหลังจากปรับปรุง

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบที่อัตราการผลิตไอน้ำ 90-100 ตัน /ช.ม.

อัตราการไหลของน้ำเข้า(m^3/h)	55.0	70.0	100.0	120.0	140.0	160.0	200.0
อัตราการไหลของแก๊สเข้า(Nm^3/min.)	3399.14	3499.08	3468.12	3393.24	3423.22	3399.45	3392.6
อัตราการไหลของแก๊สออ(m^3/min.)	3454.25	3525.65	3542.32	3464.34	3524.89	3496.44	3432.7
อัตราส่วนน้ำต่อแก๊ส($x10^{-4}$)	2.70	3.33	4.81	5.89	6.82	7.85	9.83
อุณหภูมิ เข้า (^oC)	193.92	199.56	202.24	194.25	200.56	195.25	197.9
อุณหภูมิ ออก (^oC)	85.51	77.14	65.98	64.13	60.54	58.42	55.24
ปริมาณฝุ่นเข้า (mg/Nm^3)	220.21	217.32	213.15	219.24	219.12	214.54	215.11
ปริมาณฝุ่นออก (mg/Nm^3)	90.10	80.80	71.11	69.21	55.17	43.24	15.16
ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น (%)	59.05	62.76	66.62	71.77	74.89	79.91	93.02
ความดันลด ($mm.H_2O$)	20.35	32.03	56.00	73.87	83.99	90.16	104.93
CO เข้า (ppm)	350.23	352.21	354.21	353.14	352.0	352.12	351.23
CO ออก (ppm)	348.01	346.52	346.02	349.02	347.70	350.51	349.81
ประสิทธิภาพการกำจัดCO (%)	0.57	1.70	2.26	1.13	1.22	0.46	0.41
SO_2 เข้า (ppm)	161.15	161.98	162.52	160.92	162.25	162.40	161.85
SO_2 ออก (ppm)	151.98	150.75	134.33	132.31	130.10	119.20	116.10
ประสิทธิภาพการกำจัดSO_2 (%)	5.69	6.94	17.34	17.78	19.82	26.60	28.27
NO_2 เข้า (ppm)	210.81	210.94	210.50	211.75	210.90	210.12	211.14
NO_2 ออก (ppm)	207.20	203.19	196.80	194.43	192.40	184.35	184.94
ประสิทธิภาพการกำจัดNO_2(%)	1.71	3.67	6.51	8.18	8.77	12.21	12.41
pHน้ำออกจากเครื่อง	8.03	7.61	7.39	7.31	7.29	7.29	7.29
SSน้ำออกจากเครื่อง (mg/l)	310.93	295.33	278.86	273.05	269.30	266.32	262.53
ความเร็วรอบพัดลมดูด(rpm)	650	650	650	650	650	650	650
เปอร์เซนต์การเปิดลิ้นพัดลมดูด(%)	45	45	45	45	50	50	50

หมายเหตุ : ค่า SS น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 246.98 (mg/l)

ค่า pH น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 7.06

ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบที่อัตราการผลิตไอน้ำ 150-160 ตัน./ช.ม.

อัตราการไหลของน้ำเข้าเครื่อง(m^3/h)	55	70	100	120	140	160	200
อัตราการไหลของแก๊สเข้า($Nm^3/min.$)	4144.25	4195.23	4202.21	4244.54	4199.41	4134.12	4195.21
อัตราการไหลของแก๊สออก($Nm^3/min.$)	4215.14	4256.23	4314.54	4312.89	4287.24	4284.12	4312.51
อัตราส่วนน้ำต่อแก๊ส($x10^{-4}$)	2.21	2.78	3.97	4.71	5.56	6.45	7.95
อุณหภูมิ เข้า (^oC)	201.89	201.45	204.23	203.41	207.13	204.12	202.41
อุณหภูมิ ออก (^oC)	91.25	75.64	74.51	70.24	65.21	63.12	60.29
ปริมาณฝุ่นเข้า (mg/Nm^3)	490.09	504.99	499.89	490.01	507.04	489.14	493.98
ปริมาณฝุ่นออก (mg/Nm^3)	220.98	199.97	170.08	161.20	150.40	134.15	90.12
ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น(%)	55.10	60.40	66.00	67.10	70.34	72.60	81.78
ความดันลด($mm.H_2O$)	14.10	20.80	38.20	54.80	60.90	81.60	90.50
CO เข้า (ppm)	351.23	352.21	351.20	351.31	352.24	351.54	353.10
CO ออก (ppm)	348.10	347.10	349.40	348.85	347.24	345.57	345.24
ประสิทธิภาพการกำจัดCO(%)	0.89	1.45	0.51	0.70	1.42	1.67	2.23
SO_2 เข้า (ppm)	162.00	160.50	163.20	160.60	161.70	162.01	162.32
SO_2 ออก (ppm)	156.25	153.98	143.20	137.26	131.03	130.50	120.75
ประสิทธิภาพการกำจัดSO_2(%)	3.55	4.06	12.26	14.54	18.97	19.44	25.61
NO_2 เข้า (ppm)	209.52	210.12	214.24	212.00	209.72	210.24	211.04
NO_2 ออก (ppm)	205.64	206.00	201.88	198.45	194.04	190.85	186.0
ประสิทธิภาพการกำจัดNO_2(%)	1.89	2.00	6.12	6.83	8.08	10.16	16.28
pHน้ำออกจากเครื่อง	8.00	7.81	7.62	7.47	7.38	7.30	13.46
SSน้ำออกจากเครื่อง (mg/l)	326.16	308.46	288.95	281.18	276.50	272.24	267.91
ความเร็วรอบพัดลมดูด(rpm)	650	650	650	700	700	700	700
เปอร์เซนต์การเปิดลิ้นพัดลมดูด(%)	75	75	75	45	45	45	45

หมายเหตุ : ค่า SS น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 244.87 (mg/l)

ค่า pH น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 7.05

ตารางที่ ค-3 ผลการทดสอบที่อัตราการผลิตไอน้ำ 240-250 ตัน./ช.ม.

อัตราการไหลของน้ำเข้า(m^3/h)	55	70	100	120	140	160	200
อัตราการไหลของก๊าซเข้า (Nm^3/min.)	8385.12	8261.12	8406.41	8243.87	8241.57	8296.44	8253.64
อัตราการไหลของก๊าซออก(Nm^3/min.)	8564.28	8594.23	86012.5	8498.25	8512.36	8531.02	8546.34
อัตราส่วนน้ำต่อแก๊ส ($x10^{-4}$)	1.09	1.41	1.98	2.43	2.83	3.21	4.04
อุณหภูมิ เข้า (^{o}C)	214.15	212.54	215.98	211.25	212.54	212.54	215.12
อุณหภูมิ ออก (^{o}C)	112.54	104.12	95.48	88.80	75.11	71.47	67.25
ปริมาณฝุ่นเข้า (mg/Nm^3)	714.75	710.12	708.01	716.05	711.39	714.19	716.09
ปริมาณฝุ่นออก (mg/Nm^3)	359.75	345.13	325.90	318.32	277.41	270.21	245.13
ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น(%)	49.65	51.41	53.97	55.59	61.04	62.18	65.75
ความดันลด ($mm.H_2O$)	2.75	6.81	10.82	14.61	26.32	32.42	40.09
CO เข้า (ppm)	350.56	348.98	352.40	348.98	351.25	352.47	353.11
CO ออก (ppm)	348.25	348.21	346.98	345.98	347.25	345.98	344.25
ประสิทธิภาพการกำจัดCO(%)	0.66	0.22	1.54	0.86	1.14	1.84	2.51
SO_2 เข้า (ppm)	161.98	159.12	160.92	161.70	159.63	159.53	161.20
SO_2 ออก (ppm)	159.25	156.34	157.98	155.65	152.25	151.98	140.24
ประสิทธิภาพการกำจัดSO_2(%)	1.69	1.75	1.83	3.74	4.63	4.73	13.0
NO_2 เข้า (ppm)	208.60	211.58	212.40	210.45	211.70	212.16	214.56
NO_2 ออก (ppm)	205.62	208.60	206.50	204.35	205.10	202.80	202.64
ประสิทธิภาพการกำจัดNO_2(%)	1.43	1.41	2.78	2.90	3.12	4.41	5.56
pHน้ำออกจากเครื่อง	8.20	8.20	8.20	8.0	7.80	7.80	7.60
SSน้ำออกจากเครื่อง (mg/l)	368.18	337.92	309.48	298.30	292.58	287.11	279.52
ความเร็วรอบพัดลมดูด(rpm)	700	700	700	700	750	750	750
เปอร์เซนต์การเปิดลิ้นพัดลมดูด(%)	50	50	60	75	50	50	75

หมายเหตุ : ค่า SS น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 245.93 (mg/l)

ค่า pH น้ำเข้าเครื่องเฉลี่ยเท่ากับ 7.07

ภาคผนวก ง
การหาความเร็วและปริมาตรอัตราการไหลของก๊าซ
(Determination of stack gas velocity head volumetric flow rate, US EPA Method 2)

1.หลักการและการนำไปใช้ (Principle and Applicability)

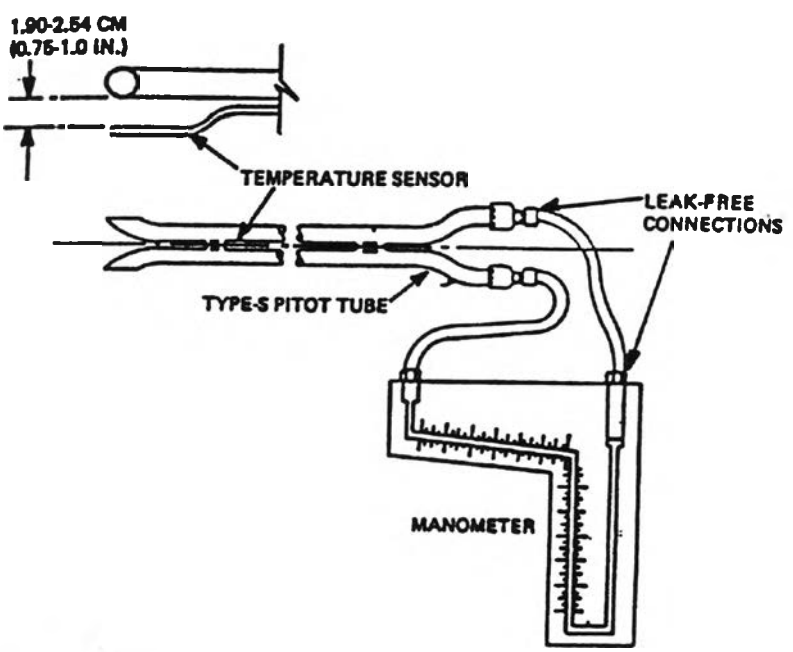
การหาความเร็วและปริมาตรอัตราการไหลของก๊าซหรือก๊าซในปล่อง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบคุณสมบัติของก๊าซที่ไหลผ่าน เช่น อุณหภูมิ น้ำหนัก โมเลกุล ความชื้น ความดันสถิตย์ ความดันบรรยากาศ และความดันแตกต่าง (Velocity head, ΔP) ที่อ่านได้จาก Pitot tube อีกทั้งต้องทราบชนิดของ พิตอททูบ (Pitot tube) ที่ใช้และคุณสมบัติที่สำคัญของ Pitot tube ซึ่งในที่นี้จะใช้ Pitot tube แบบ S ซึ่งจะทำให้การหาความเร็วของปริมาตรอัตราการไหลของก๊าซในปล่องมีความแม่นยำ

ไม่ควรใช้วิธีการวัดเช่นนี้กับปล่องที่มีสภาพการไหลเป็นแบบหมุนวน (cyclonic) หรือหมุนแปรปรวน (swirling) ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ การณีเช่นนี้ทางโรงงานต้องติดตั้งเครื่องมือวัดพิเศษสำหรับหาอัตราการไหลของก๊าซ

2.อุปกรณ์ที่ใช้หาความเร็วและปริมาตรอัตราการไหลของก๊าซ (Apparatus)

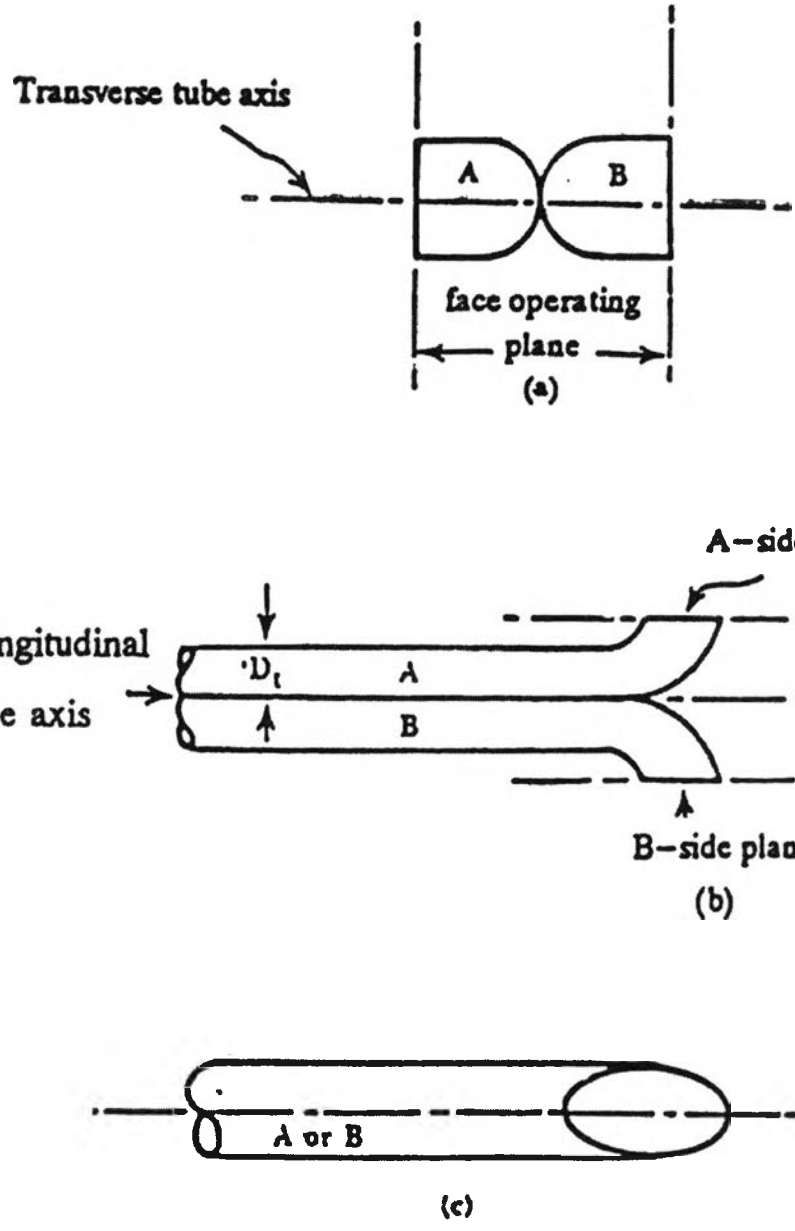
อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการตรวจวัดมีดังนี้

2.1 Pitot tube **แบบ S ตามรูปที่ ง-1**



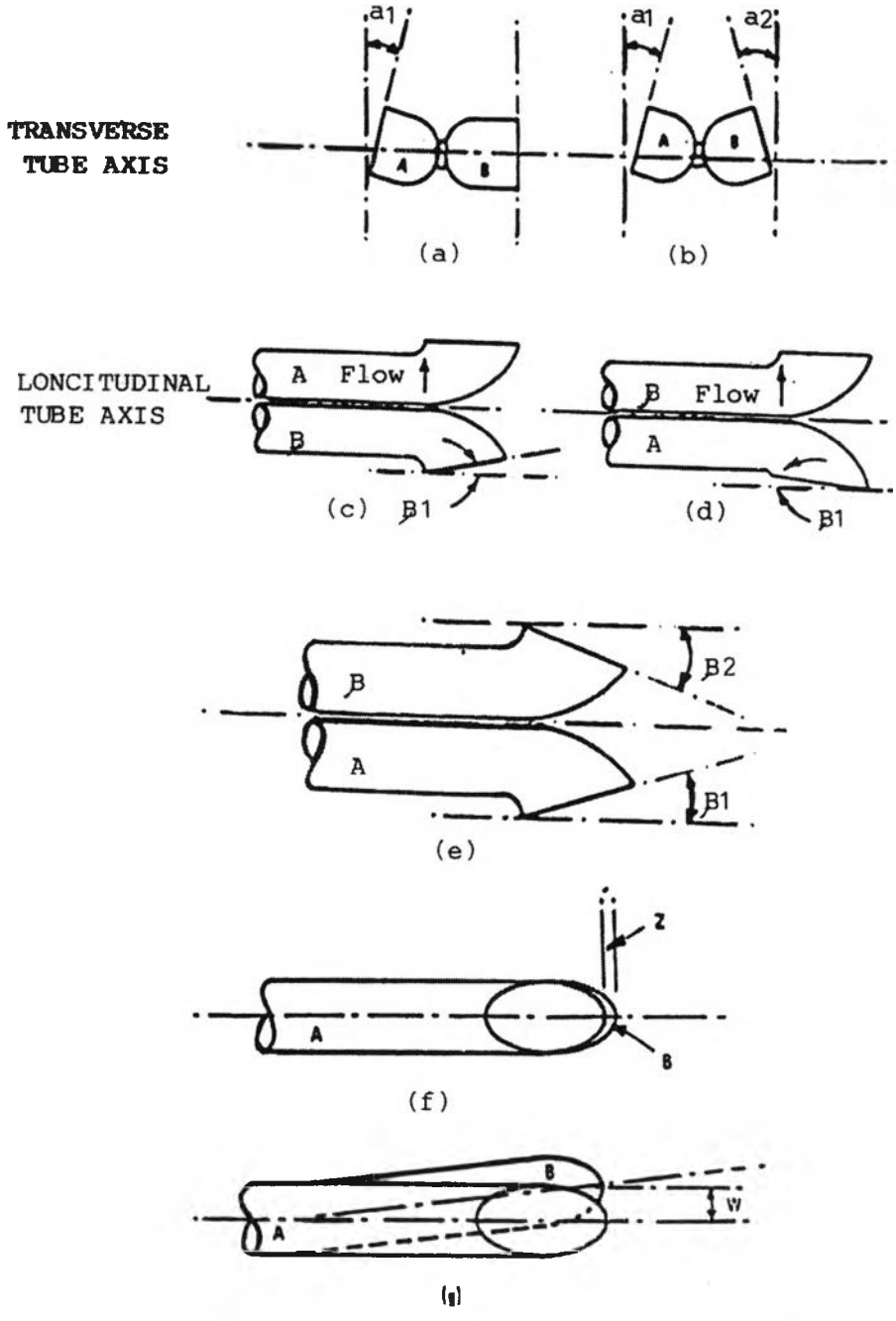
รูปที่ ง-1 แสดงการติดตั้ง Pitot tube แบบ S กับ Manometer

Pitot tube แบบ S ทำจากท่อโลหะในที่นี้คือท่อสแตนเลส มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ (Dt) ระหว่าง 0.48 ถึง 0.95 ซม. (3/16-3/8 นิ้ว) ปากท่อที่หันออกจากกันจะมีระยะห่างระหว่าง 1.05–1.50 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อและระยะห่างจากกึ่งกลาง (P_A และ P_B)จะต้องเท่ากันดังรูปที่ ง-2(b) ปากท่อของ Pitot tube ทั้ง 2 ข้างต้องตรงกันดังรูปที่ ง-2 (a) และลำตัวของ Pitot tube จะต้องตรงเป็นแนวเดียวกันดังรูป ง-2(c) ถ้าทำได้ตามนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube แบบ S นี้จะมีค่า 0.84



รูปที่ ง-2 แสดงคุณลักษณะต่าง ๆ ของ Pitot tube แบบ S

แต่เมื่อมีการใช้ไปนาน ๆ Pitot tube แบบ S จะมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีผลไปถึงค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube จึงต้องไปทำการปรับเทียบเท่าค่าใหม่ แต่ถ้าค่าต่าง ๆ ไม่เกินที่กำหนดต่อไปนี้ ยังถือว่ายอมรับได้ ดูรูปที่ ง-3 ประกอบตามรูป (a) และ (b) มุม a1 และ a2 ไม่เกิน 20° ตามรูป (c) (d) และ e B1 และ B 2 ไม่เกิน 5 องศา ตามรูป (f) ค่า Z ไม่เกิน 0.32 ซม. (หรือ 1/8 นิ้ว) และตามรูป (g) ค่า W ไม่เกิน 0.08 ซม. หรือ 1/32 นิ้ว



รูปที่ ง-3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Pitot tube แบบ S ลักษณะต่าง ๆ ที่ยอมรับได้

Pitot tube แบบมาตรฐาน ตามรูปที่ ง-4 สามารถนำมาใช้แทน Pitot tube แบบ S ได้แต่รูที่ใช้วัดความดันของ Pitot tube แบบมาตรฐานมีขนาดเล็ก ทำให้อุดตันง่าย ดังนั้น เมื่อต้องมีการนำ Pitot tube แบบมาตรฐานมาใช้ ควรพิสูจน์ว่าไม่มีการอุดตันของรูที่ใช้วัดความดันด้วย โดยวิธีการใช้การวัดของ Pitot tube แบบมาตรฐานที่ตำแหน่งสุดท้าย (Final traverse point) มีค่า ΔP (velocity pressure) เท่าไหร่ จากนั้นนำ Pitot tube แบบมาตรฐานอันนี้ไปใช้ลมเป่าย้อนทาง นั้นคือ เป่าจากด้านท้ายแล้วนำ Pitot tube แบบมาตรฐานนี้ไปวัดอีกครั้งที่ตำแหน่งสุดท้ายเช่นกัน ถ้าค่าที่ได้ไม่เกิน $\pm$ 5% ถือว่าการวัดครั้งนี้ยอมรับได้ กรณีที่ ΔP ที่ตำแหน่งสุดท้ายมีค่าต่ำมาก อาจจะเลือกตำแหน่งอื่นที่เหมาะสมแทนก็ได้

2.2 **เกณฑ์วัดความแตกต่างของความดัน** (Differential Pressure Gauge)

โดยทั่วไปจะใช้โมนิเตอร์แบบเอียง (Inclined manometer) ดังรูปที่ 10 หรืออุปกรณ์อื่นที่เทียบเท่า ถ้าเป็น Inclined manometer ควรจะเป็นชนิดใดอ่านค่าได้ 10 นิ้วน้ำ โดยที่ช่วงที่เอียงจะมีความสามารถวัดได้ 1 นิ้วน้ำ ความละเอียดของการวัด 0.01 นิ้วน้ำ ส่วนอีก 9 นิ้วน้ำ จะเป็นแบบตั้งมีความละเอียดของการวัด 0.1 นิ้วน้ำ

ใช้ manometer แบบอื่นหรือเครื่องวัดแบบอื่นที่อ่านค่าต่ำ ๆ ได้ กรณีดังต่อไปนี้

ก. ค่าเฉลี่ยของ Velocity Pressure (P) ที่อ่านได้ต่ำกว่า 1.3 มม. น้ำ หรือ 0.05 นิ้วน้ำ

ข. จุดเก็บตัวอย่างเท่ากับ 12 จุด หรือมากกว่าและมีจุดเก็บตัวอย่างมากกว่า 10% มีค่า P ต่ำกว่า 1.3 มม. น้ำ

ค. จำนวนจุดเก็บตัวอย่างน้อยกว่า 12 จุด และมีจดใดจุดหนึ่งอ่านค่า ΔP ได้น้อยกว่า 1.3 มม. น้ำ หรือ 0.05 นิ้วน้ำ

ง. ค่า T ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1.05

$$T = \frac{\sum_{I=1}^{N} \Delta Pi + K}{\sum_{I=1}^{N} Pi + K}$$

เมื่อ Δ Pi = ค่าความดันแตกต่าง (Velocity Head) ที่วัดได้แต่ละจุดหน่วย มม. น้ำหรือนิ้วน้ำ

N = จำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด

K = ค่าคงที่ใช้ 1.3 มม.น้ำ เมื่อเป็นหน่วยเมตริก

0.05 นิ้วน้ำเมื่อเป็นหน่วย อังกฤษ

2.3 **เกจวัดอุณหภูมิ** (Temperature Gauge)

สามารถใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้ในการวัดอุณหภูมิปล่อง ได้แก่ Termocouple หรือ Liquid-filled bulb thermometer, binetallic thermometer, mercury-in-glass thermometer หรืออุปกรณ์อื่นที่สามารถวัดค่าได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$1.5% ของอุณหภูมิสมบูรณ์ต่ำสุดในปล่องที่วัด การติดตั้งวัดอุณหภูมิกับ Pitot tube ต้องไม่ให้ปลายของเกจวัดอุณหภูมิสัมผัสกับโลหะ หรือบังทิศทางอากาศที่จะเข้าสู่ Pitot tube ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 16 เกจวัดอุณหภูมิอาจไม่จำเป็นต้องติดกับ Pitot tube ถ้าเรามีการปรับความแม่นยำการวัดของเกจวัดอุณหภูมิ

2.4 **อุปกรณ์วัดความดันสถิตย์ของอากาศในปล่องและเกจที่ใช้อ่านค่า** (Pressure Probe and Gauge)

ใช้ Piezometer tube และ U-tube บรรจุน้ำหรือปรองสำหรับอ่านค่าความดันสถิตย์ในปล่องหรือใช้ Pitot tube แบบมาตรฐาน ตรงรูวัดความดันสถิตย์ (static hole) ดังรูปที่ 13 หรือขาด้านใดด้านหนึ่งของ Pitot tube แบบ S แต่ต้องใช้ปากของ Pitot tube แบบ S ขนานกับการไหลของก๊าซในปล่อง สำหรับวัดความดันสถิตย์

2.5 **เครื่องวัดความดันบรรยากาศ** (Barometer)

ใช้บารอมิเตอร์แบบปรอทหรือ Aneroid หรือเครื่องวัดแบบอื่น ซึ่งสามารถวัดความดันบรรยากาศคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2.5 มม. ปรอท หรือ 0.1 นิ้วปรอท หรืออาจหาได้จากสถานีตรวจวัดอากาศที่อยู่ใกล้เคียง แล้วปรับค่าความดันให้มาอยู่ ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง โดยระดับความสูงเพิ่มขึ้นทุก ๆ 30 เมตร ค่าความดันบรรยากาศจะลดลง 2.5 มม. ปรอท ในทางกลับกันถ้าระดับที่วัดต่ำกว่าสถานีตรวจวัด ค่าความดันบรรยากาศจะเพิ่มขึ้น 2.5 มม.ปรอท ทุก ๆ ระยะที่ลดลง 30 เมตร

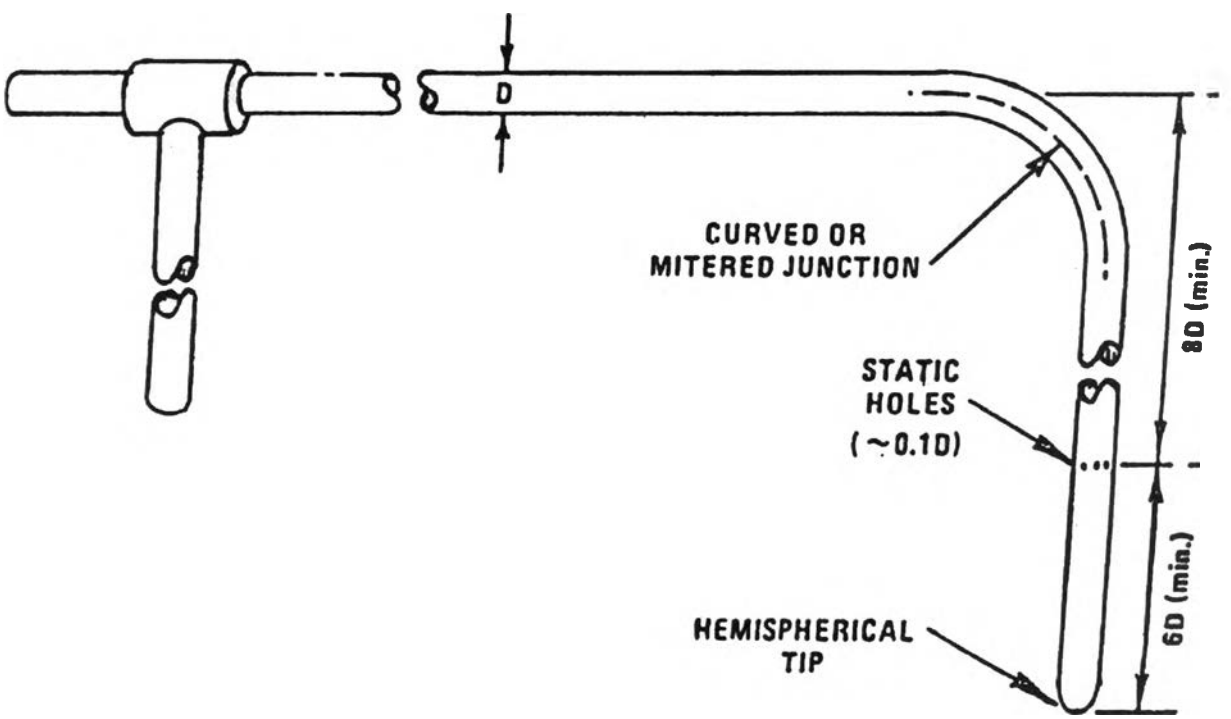
2.6 **เครื่องมือวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก๊าซ** (Gas Density Detemination quipment)

การหาความหนาแน่นของก๊าซ มีรายละเอียดอยู่ในเรื่องการวิเคราะห์ก๊าซที่จะกล่าวถึงในบทต่อไปส่วนการหาค่าความชื้น ก็จะได้กล่าวรายละเอียดในเรื่องการหาปริมาณความชื้นของก๊าซในปล่องบทต่อไปเช่นกัน

2.7 **อุปกรณ์ปรับความแม่นยำ** Pitot tube (Calibration Pitot tube)

เนื่องจากการปรับความแม่นยำของ Pitot tube แบบ S เป็นสิ่งจำเป็น และ Pitot tube แบบมาตรฐานจะเป็นตัวที่ใช้อ้างอิง เราจึงจำเป็นต้องรู้ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube แบบมาตรฐาน ซึ่งทำโดยการปรับ

ค่าความแม่นยำของ Pitot tube แบบมาตรฐานของเรากับ Pitot tube แบบมาตรานอื่นที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์แล้ว ถ้าเราสามารถทำ Pitot tube แบบมาตรฐานให้มีลักษณะเหมือนข้อ 2.7.1 ถึง 2.7.5 และ สร้างให้มีลักษณะดังรูปที่ 13 Pitot tube แบบมาตรฐานของเราจะมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.99 + 0.01 การออกแบบ Pitot tube แบบมาตรฐาน ควรมีลักษณะดังนี้



รูปที่ ง-4 แสดงลักษณะของ Pitot tube **แบบมาตรฐาน**

2.7.1 ด้านหัวมีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลม (Hemispherical) ดังรูปที่ 13 หรือมีลักษณะเป็นรูปไข่ (Ellipsoidal) หรือรูปกรวย (Conical)

2.7.2 ระยะห่างระหว่างด้านหัวถึงรูปที่วัดความดันสถิตย์ไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (6D) ตามรูปที่ 13

2.7.3 ระยะห่างระหว่างรูที่วัดความดันสถิตย์กับส่วนโค้ง 90 องศา ไม่น้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (8D) ตามรูปที่ 13

2.7.4 รูวัดความดันสถิตย์มีขนาดประมาณ 0.1 เท่าของ D เท่ากันทุกรู และมีช่องว่างระหว่างรูโดยรอบเท่ากัน

2.8 เครื่องมือวัดความดันแตกต่างสำหรับใช้ปรับความแม่นยำ Pitot tube แบบ S (Differential Pessure Gauge for type S Pitot tube calibration)

เลือกใช้ Inclined manometer หรือเครื่องมืออื่นที่มีความสามารถเท่ากัน กรณีที่ใช้ปรับความแม่นยำแบบที่ความเร็วเดียว (Single velocity) ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดอีกครั้งในหัวข้อที่ 4.1.2.3 เครื่องมือวัดความดันแตกต่าง ความดันแตกต่าง ควรอ่านค่าได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.13 มม.น้ำ (0.005 นิ้วน้ำ) สำหรับการปรับความแม่นยำแบบหลาย ๆ ความเร็ว (Multivelocity) เครื่องมือวัดความดันแตกต่างควรอ่านค่าได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.03 มม.น้ำ หรือ 0.005 นิ้วน้ำ เมื่อความดันแตกต่าง (ΔP) ที่มีค่าระหว่าง 13.25 มม.น้ำ และความละเอียดในการอ่านค่าได้ไม่น้อยกว่า 1.3 มม.น้ำ หรือ 0.05 นิ้วน้ำ สำหรับความดันแตกต่าง (ΔP) ที่มากกว่า 25 มม.น้ำ กรณีที่ค่าความดันแตกต่าง (ΔP) น้อยกว่า 1.3 มม.น้ำ ต้องใช้เครื่องมือวัดความดันแตกต่างชนิดพิเศษ

3.วิธีการวัดความเร็ว (Procedure) สามารถทำได้ดังนี้

3.1 ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ ง-1 เราอาจติดตั้ง Capillary tube หรือ Surge tanks ระหว่าง Pitot tube กับ Manometer เพื่อป้องกันการปรับตัวขึ้น ๆ ลง อย่างรวดเร็วของความดันแตกต่าง (ΔP) แต่ไม่จำเป็นต้องติดตั้งก็ได้ ถ้ามีการตรวจสอบการรั่วดังนี้

ก. เป่าอากาศผ่านจนกระทั่งอ่านค่าที่ Monometer ได้ไม่น้อยกว่า 7.6 ซม.น้ำ หรือ 3 นิ้วน้ำ จากนั้นปิดท่อด้านความดันกระแทก (Impact) ความดันจะคงที่ไม่น้อยกว่า 15 วินาที

ข. ทำเช่นเดียวกันกับข้อ ก. ทางด้าน static pressure โดยการดูดให้ Monometer อ่านค่าได้ไม่น้อยกว่า 7.6 ซม.น้ำ นาน 15 วินาที

ค. ทดสอบด้วยวิธีการอื่น ตามความเหมาะสม

ปรับระดับลูกน้ำของ Manometer1 ให้อยู่ตำแหน่งตรงกลาง พร้อมปรับน้ำยาที่อ่านค่าให้ตรงศูนย์ขณะตรวจวัดต้องระมัดระวัง เพราะความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิอาจทำให้ระดับน้ำและตำแหน่งศูนย์ของน้ำยาเปลี่ยนแปลง จึงต้องตรวจสอบเป็นระยะ ๆ ก่อนใส Pitot tube เข้าไปในปล่องต้องทำเครื่องหมายไว้ที่ Pitot tube ให้ตรงตำแหน่งและครบตามจำนวนที่ต้องตรวจวัด การใส่ให้ด้านความดันกระแทรกสวนกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมในปล่อง วัดความดันแตกต่าง (ΔP) อุณหภูมิ จากนั้นจดบันทึกในตารางของรูปที่ ง-5 จนครบทุกตำแหน่ง

ง-1 ตารางหาความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

PLANT ……………………………….

DATE ……………………………… RUN NO. …………………………….

STACK DIAMETER OR DIMENSIONS, m(in.) …………………………..

BAROMETRIC PRESSURE mm$_2$ Hg$_2$ (in.Hg) ……………………………….

CROSS SECTIONAL AREA, m (ft) …………………………………………

OPERATORS ……………………………………………………………… SCHEMATIC OF STACK

PITOT TUBE I.D.NO. …………………………………………………….

AVG. COEFFICIENT, Cp = ………………………………………….

LAST DATE CALIBRATED ………………………………………….

Traverse Pt. No.	Vel Hd. (ΔP) mm (in.) H_2O	Stack Temperature		P_g mm Hg(in.Hg)	
		t_s °C (°F)	T_s °K (°R)		
		Average			

3.2กรณีที่ความดันแตกต่าง (ΔP) บางตำแหน่ง สูงหรือต่ำกว่าที่จะอ่านได้ละเอียดพอ อาจต้องเปลี่ยน Inclined Manometer ที่อ่านค่าได้ละเอียดหรือสูงขึ้นแล้วแต่กรณี เมื่อเป็นเช่นนี้ควรจะต้องตรวจสอบการรั่วใหม่ด้วย

3.3วัดค่าความดันสถิตย์ในปล่องตามวิธีการข้อ 2.4 หาเพียงค่าเดียวก็พอ

3.4วัดความดันบรรยากาศ

3.5หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง (the stack gas dry molecular weight) ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป กรณีที่ขบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้หรือการแพร่กระจาย CO_2 O_2 CO และ N_2 สำหรับกรณีที่ขบวนการผลิตที่มีอากาศปล่อยเป็นหลัก ไม่จำเป็นต้องหาค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้ง แต่ใช้ค่า 29.0 แทนได้เลย

3.1 หาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่องตามวิธีที่จะได้กล่าวต่อไป

3.2 วัดและคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดปล่องหรือท่อ ตรงจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างโดยวัดจากของจริงจะดีกว่าการดูจากพิมพ์เขียว

4. การปรับค่าความแม่นยำ (Calibration)

4.1 Pitot tube แบบ S ก่อนจะนำไปใช้ ควรตรวจสอบทุก ๆ ด้าน เช่น ด้านบน ด้านข้าง ด้านปลาย ด้านปากหรือหน้า มีความสมดุลไม่บิดเบี้ยว ดังในรูปที่ ง-1 และ รูปที่ ง-2 ไม่ควรนำ Pitot tube มาใช้ถ้าพบว่ามีการบิดเบี้ยว

หลังจากการตรวจสอบไม่พบการบิดเบี้ยวแล้ว ต้องวัดและจดบันทึกข้อมูลของ Pitot tube ดังนี้

ก. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของหลอด (Dt) ดังรูปที่ ง-1 b

ข. ระยะห่างจากปากท่อถึงกึ่งกลาง (PA และ PB) ดังรูปที่ ง-2 b

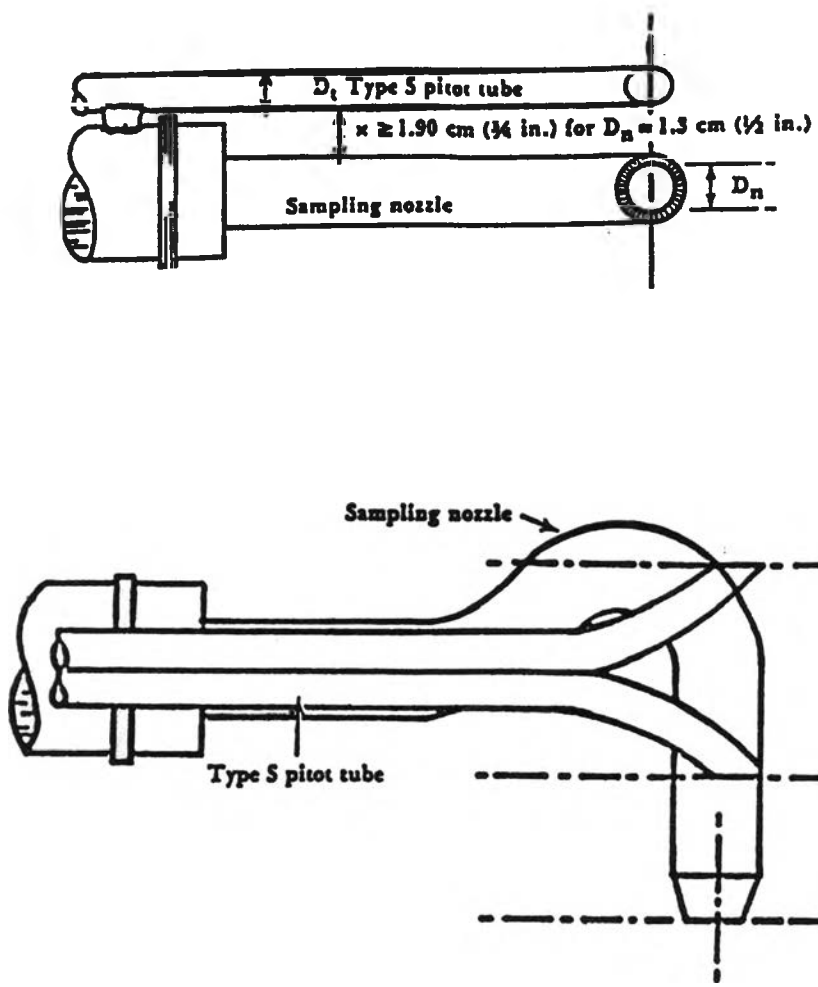
ถ้า Dt มีค่าระหว่าง 0.48 – 0.95 ซม. (3/16 – 3/8 นิ้ว) และ PA กับ PB มีค่าเท่ากันและมีค่าระหว่าง 1.05-1.50 Dt เรามีทางเลือกที่จะดำเนินการได้ 2 ทาง คือ

1) ทำการปรับความแม่นยำตามหัวข้อ 4.1.1 ถึง 4.1.5 ที่จะกล่าวต่อไป

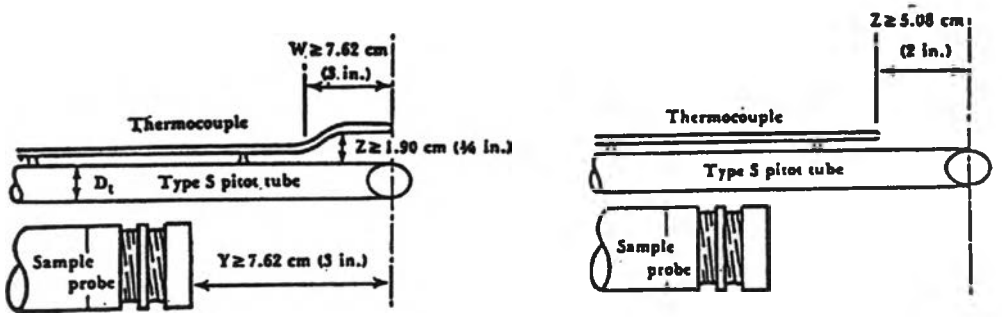
2) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.84 ได้เลย

ถ้า Dt, PA และ PB ไม่เป็นไปตามที่กำหนด ต้องนำ Pitot tube นั้นไปปรับความแม่นยำตามข้อที่ 4.1.2 ถึง 4.15

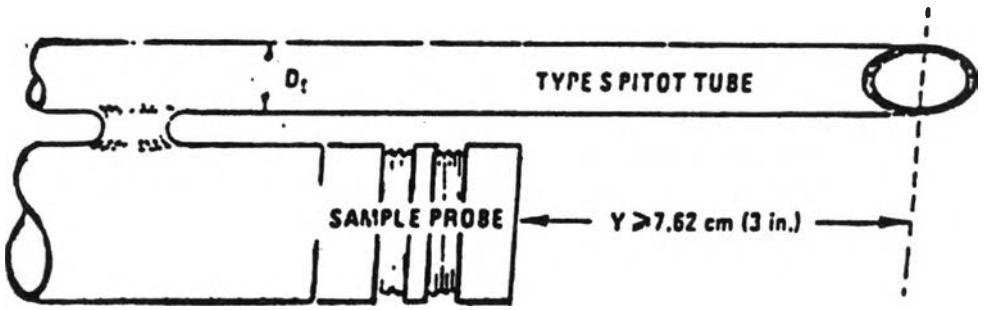
4.1.1 Pitot tube แบบ S ตามปกติจะประกอบยึดแน่นกับชุดเก็บตัวอย่างอื่น ๆ เช่น ที่วัดอุณหภูมิท่อเก็บตัวอย่าง (Probe) และหัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle) ดังนั้น จึงอาจมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube แต่ถ้าการประกอบตามรูปที่ ง-5 ถึงรูปที่ ง-7 ก็จะไม่มีปัญหาต้องคำนึงถึง ต้องระวังไม่ประกอบให้ปาก Pitot tube ทางด้านความกระแทก อยู่ต่ำกว่าปากทางเข้าของหัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle Entry) การประกอบที่ดีคือตามรูปที่ ง-5



รูปที่ ง-5 แสดงจากติดตั้ง Pitot tube แบบ S เข้ากับหัวเก็บตัวอย่าง



รูปที่ ง-6 แสดงการติดตั้งที่วัดอุณหภูมิกับ Pitot tube แบบ S



รูปที่ ง-7 แสดงระยะห่างน้อยสุดที่หัวของ Pitot tube แบบ S อยู่ห่างจากปลายท่อเก็บตัวอย่าง

4.1.2 การประกอบเพื่อปรับความแม่นยำ ควรทำเครื่องหมาย A และ B อย่างถาวรที่ปลายของท่อ Pitot tube การปรับความแม่นยำควรกระทำในระบบการไหลที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ

4.1.2.1 การไหลของอากาศในท่อที่มีขนาดเท่ากันโดยตลอด ซึ่งอาจจะเป็นวงกลมหรือ สี่เหลี่ยมก็ได้ กรณีที่เป็นวงกลม ท่อไม่ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 30.5 ซม. หรือ 12 นิ้ว สำหรับท่อสี่เหลี่ยม ด้านกว้างไม่ควรเล็กกว่า 25.4 ซม. หรือ 10 นิ้ว

4.1.2.2 พื้นที่หน้าตัดของท่อที่นำมาใช้ทำเป็นที่ปรับความแม่นยำ จะต้องเท่ากัน

โดยตลอดมากกว่า 10 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลาง สำหรับท่อสี่เหลี่ยมสามารถใช้เส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่าได้ดังนี้

$$De = \frac{2LW}{(L+W)} \qquad \text{.....(1)}$$

De = เส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่า

L = ความยาว

W = ความกว้าง

เพื่อให้การไหลของอากาศในท่อปรับความแม่นยำคงที่ ตำแหน่งที่ทำไว้สำหรับใส่ Pitot tube ทดสอบนั้น จะต้องอยู่ห่างอย่างน้อย 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางด้าน Downstream และอย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางด้าน Upstream จากจุดที่มีการหมุนเวียนหรือรบกวนการไหล

4.1.2.3 ชุดปรับความแม่นยำควรสามารถทำความเร็ว (Single-velocity caliration) ณ จุดที่ใส่ Pitot tube ได้ประมาณ 915 เมตร/นาที หรือ 3000 ฟุต/นาที และ ต้องทำความเร็วเดี่ยว (Single velocity) คงที่ตลอดระยะเวลาที่ปรับความแม่นยำ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube ที่หาได้จากการปรับความแม่นยำที่ความเร็วเดี่ยว คือ 915 เมตร/นาที จะมีความเที่ยงตรง $\pm$3% สำหรับใช้วัดที่ความเร็วสูงกว่า 305 เมตร/นาที หรือ 1000 ฟุต/นาที แต่ถ้านำไปใช้วัดความเร็วที่ 180–305 เมตร/นาที หรือ 600–1000 ฟุต/นาที ความเที่ยงตรงจะมีค่า $\pm$5.6%

4.1.2.4 ท่อของชุดปรับความแม่นยำ จะต้องทำช่องสำหรับใส่ Pitot tube แบบมาตรฐาน และช่องสำหรับใส่ Pitot tube แบบ S โดยช่องใส่ Pitot tube แบบมาตรฐานเลยไปทางด้าน Sownstream ของ Pitot tube แบบ S เล็กน้อย เพื่อให้ปากของ Pitot tube ทั้ง 2 ขณะวัดอยู่ที่หน้าตัดเดียวกัน ควรจะทำที่จับ Pitot tube ทั้ง 2 ไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้เคลื่อนไหวไปมาขณะทำการปรับความแม่นยำ

4.1.3 แนวทางสำหรับการปรับความแม่นยำ สำหรับด้าน A และด้าน B ของ Pitot tube แบบ S ดำเนินการเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

4.1.3.1 Manometer ได้บรรจุน้ำมันสำหรับวัดความดันแตกเรียบร้อย น้ำมันที่เติมนี้จะไม่มีสิ่งปนเปื้อนและมีความหนาแน่นตามที่กำหนด มีการตรวจการรั่วในระบบทางต่าง ๆ ที่ต่อ ถ้าจำเป็นก็ควรจะซ่อมหรือเปลี่ยน

4.1.3.2 ปรับระดับน้ำของ Manometer ให้ได้ระดับ พร้อมปรับน้ำมันวัดความดัน

แตกต่างไว้ที่ศูนย์ จากนั้นเปิดพัดลม รอกระทั่งความเร็วลมในท่อคงที่ ปิดช่องที่ใช้สอง Pitot tube แบบ S เข้าไปให้สนิทเพื่อป้องกันลมถูกดูดเข้าไปหรือเป่าออกมา

4.1.3.3 มั่นใจว่า ระดับน้ำของ Manometer อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และน้ำมันวัดความดันแตกต่างอยู่ที่ศูนย์ ใส่ Pitot tube แบบมาตรฐานเข้าไป โดยให้ท่อของ Pitot tube อยู่ในแนวตรงสวนทิศทางการเคลื่อนที่ของลมช่องใส่ Pitot tube ต้องปิดไว้อย่าให้ลมดูดเข้าหรือเป่าออก

4.1.3.4 อ่านค่า ΔPstd พร้อมทั้งจดบันทึกค่าไว้ตารางรูปที่ 18 แล้วนำ Pitot tube แบบมาตรฐานออกจากท่อที่ใช้ปรับความแม่นยำ ถอดสายที่ต่อไปยัง Manometer ออก จากนั้นปิดช่องนี้ไว้ให้สนิท

ตารางที่ ง-2 แสดงตารางที่ใช้ปรับความแม่นยำ Pitot tube

PITOT TUBE IDENTIFICATION NUMBER : ..... DATE : .....

CALIBRATED BY : .....

		"A" SIDE CALIBRATION		
RUN NO.	ΔP_{std} cm H_2O (in. H_2O)	ΔP_{std} cm H_2O (in. H_2O)	$C_{p(s)}$	DEVIATION $C_{p(s)} . C_p$ (A)
1.				
2.				
3.				
		$\bar{C}_p$ (SIDE A)		

		"B" SIDE CALIBRATION		
RUN NO.	ΔP_{std} cm H_2O (in. H_2O)	ΔP_{std} cm H_2O (in. H_2O)	$C_{p(s)}$	DEVIATION $C_{p(s)} . C_p$ (B)
1.				
2.				
3.				
		$\bar{C}_p$ (SIDE B)		

4.1.3.5 ติดตั้งสายต่อ Pitot tube แบบ S กับ Manometer เข้าด้วยกัน เปิดช่องที่ใช้สอด Pitot tube แบบ S ออก ตรวจสอบระดับต่าง ๆ ของ Manometer ให้อยู่ในระดับที่กำหนด ใส่ Pitot tube แบบ S เข้าไปในช่อง โดยให้ด้าน A หันเข้าหาทิศทางลมที่ผ่านมา และให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับที่ Pitot tube แบบมาตรฐานอยู่ ต้องมั่นใจว่า โดยรอบของ Pitot tube ไม่มีลมรั่วออกมา

4.1.3.6 อ่านค่า ΔPs จากนั้น บันทึกค่าในตาราง ง-2 เสร็จแล้วดึง Pitot tube แบบ S จากช่องที่ใช้วัด แล้วถอดออกจาก Manometer

4.1.3.7 ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 4.1.3.3 ถึง 4.1.3.6 จนกระทั่งได้ ΔPs รวม 3 คู่

4.1.3.8 จากนั้นกลับ Pitot tube แบบ S ให้ทางด้าน B หันเข้าหาทิศทางการเคลื่อนที่ของลมแล้วทำซ้ำตั้งแต่ 4.1.3.3 ถึง 4.1.3.7

4.1.4 การคำนวณ (Calculations)

4.1.4.1 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube แบบ S โดยใช้ข้อมูลจากค่าความดันแตกต่างทั้ง 6 คู่ จากด้าน A 3 คู่ จากด้าน B 3 คู่ ได้ดังนี้

$$Cp(s) = Cp(std)\sqrt{\frac{\Delta Pstd}{\Delta Ps}} \qquad \text{.....(2)}$$

เมื่อ Cp (s) = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube แบบ S

Cp (std)= ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube แบบมาตรฐาน กรณีที่ไม่ทราบ แต่ Pitot tube นี้สร้างได้มาตรฐานให้ใช้สัมประสิทธิ์ 0.99

ΔPstd = ค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้จาก Pitot tube แบบมาตรฐาน หน่วย ซม.น้ำ หรือนิ้วน้ำ

ΔPs = ค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้จาก Pitot tube แบบ S หน่วย ซม.น้ำหรือนิ้วน้ำ

4.1.4.2 คำนวณค่า Cp (ด้าน A) ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของ Pitot tube ด้าน A และค่า Cp (ด้าน B) พร้อมค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของ Pitot tube ด้าน B จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณหาความแตกต่างกัน

4.1.4.3 คำนวณค่าเบี่ยงเบน (Deviation) ของด้าน A ทั้ง 3 ครั้ง และค่าเบี่ยงเบนของด้าน B ทั้ง 3 ครั้ง โดยใช้สมการดังนี้

Deviation = Cp(s) – Cp(A หรือ B) ..... (3)

4.1.4.4 คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (δ) จากค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง (Mean) Pitot tube ทั้งด้าน A และ ด้าน B โดยใช้สมการดังนี้

4.1.4.5 Pitot tube แบบ S นำมาใช้ได้ เมื่อค่า δ (ด้าน A) และ δ (ด้าน B) แตกต่างกันเท่ากับ 0.01 หรือน้อยกว่า ค่าความแตกต่างระหว่าง Cp(A) และ Cp(B) เท่ากับ 0.01 หรือน้อยกว่า

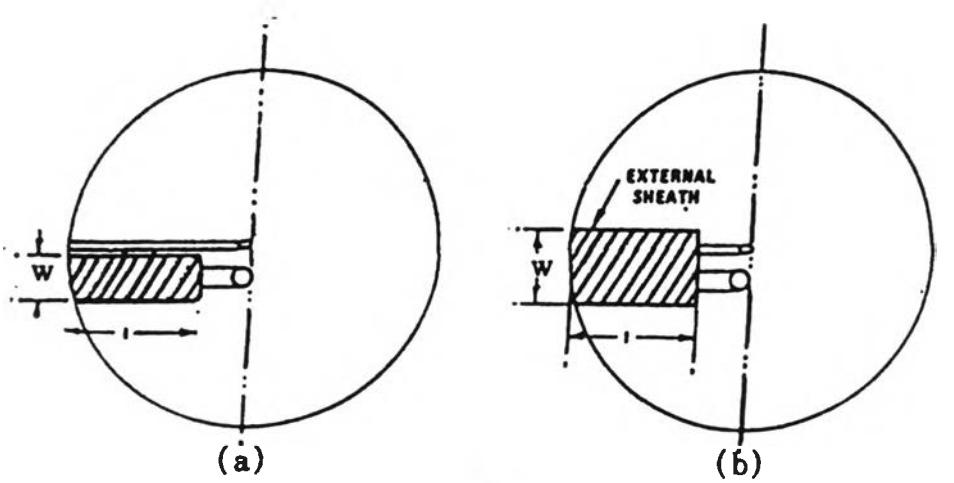
4.1.5 สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ

4.1.5.1 การเลือกตำแหน่งหรือจุดสำหรับปรับความแม่นยำ (Calibration Point)

4.1.5.1.1 กรณีที่แยกเฉพาะ Pitot tube แบบ S มาปรับความแม่นยำควรเลือกจุดที่ใช้ปรับความแม่นยำให้อยู่กึ่งกลางท่อ

4.1.5.1.2 กรณีที่ Pitot tube แบบ S ติดกับที่วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) แต่ไม่มีท่อเก็บตัวอย่าง (Probe) จุดที่เก็บตัวอย่างควรอยู่กึ่งกลางท่อ เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้คงที่ยาวนานที่สุด Pitot tube กับที่วัดอุณหภูมิ จะต้องประกอบกันแน่นและเป็นไปตามรูที่ 15 และ รูปที่ 17

4.1.5.1.3 กรณีที่ประกอบท่อเก็บตัวอย่างเข้ากับ Pitot tube แบบ S และที่วัดอุณหภูมิจุดที่ใช้ปรับความแม่นยำยังคงอยู่กึ่งกลางท่อเช่นเดิม อย่างไรก็ตาม ถ้าท่อเก็บตัวอย่างมีที่หุ้ม (Probe sheath) ขณะเดียวกันท่อที่ใช้ปรับความแม่นยำมีขนาดเล็ก จะทำให้เกิดปิดกั้นการเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณนี้สูงจนเกินที่จะยอมรับได้ ดังนั้นเพื่อให้มีผลการปิดกั้นน้อยที่สุด จุดที่ใช้ปรับความแม่นยำอาจจะขยับถอยหลังออกมาเล็กน้อย เพื่อให้ผลของการปิดกั้นมีน้อยที่สุด พื้นที่ปิดกั้นของที่หุ้มท่อเก็บตัวอย่างไม่เกิน 2% ของพื้นที่หน้าตัดต่อท่อ ดังรูป ง-10(a) แต่ถ้ามีที่หุ้มภายนอก (External sheath) พื้นที่ปิดกั้นไม่เกิน 3% ดังรูป ง-10(b)



รูปที่ ง-10 แสดงการติดตั้งที่หุ้มท่อเก็บตัวอย่างและที่หุ้มท่อเก็บตัวอย่างกับ Pitot tube

4.1.5.2 ท่อเก็บตัวอย่างประกอบเข้ากับชุด Pitot tube หัวเก็บตัวอย่างต้องอยู่ในระยะห่างตามรูที่ ง-5 กำหนด เพราะระยะนี้จะเป็นตัวกำหนด สัมประสิทธิ์ของ Pitot tube [Cp(s)] ทั้งนี้ต้องพิจารณาขนาดของหัวเก็บตัวอย่างด้วย

4.1.5.3 ท่อเก็บตัวอย่างประกอบเข้ากับ Pitot tube ด้านที่อากาศผ่านเข้าของ Pitot tube ต้องปรับความแม่นยำ Pitot tube ที่จะประกอบต้องมีลักษณะเป็นไปตามรูป ง-6 และรูป ง-7 อีกทั้งมีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (0000) ไม่เกิน 0.01 ตามข้อ 4.1.4.4

4.1.6 การนำไปใช้ในภาคสนามและการปรับความแม่นยำซ้ำ

4.1.6.1 การนำไปใช้ในภาคสนาม (Field Use)

4.1.6.1.1 เมื่อ Pitot tube แบบ S ถูกนำไปใช้ในภาคสนามค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาความเร็ว ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot tube ด้าน A จะถูกนำมาใช้เมื่อด้านนี้หันเข้าทิศทางการเคลื่อนที่ในปล่องหรือในท่อ ในทำนองเดียวกัน ถ้าหันด้าน B เข้าหาค่าสัมประสิทธิ์ก็ควรใช้ของด้าน B หรือเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของด้าน A และ B ก็ได้

4.1.6.1.2 เมื่อมีการประกอบท่อเก็บตัวอย่างอากาศ ในการตรวจวัดกับท่อหรือปล่องขนาดเล็ก 12-36 นิ้ว ที่หุ้มท่อเก็บตัวอย่าง (Probe sheath) จะไปยังหรือทำให้พื้นที่หน้าตัดปล่องลดลง ทำให้ค่า Cp(s) คลาดเคลื่อน จึงไม่แนะนำให้นำไปใช้ตรวจวัดกับปล่องที่มีขนาดเล็กกว่า 12 นิ้ว

4.1.6.2 การปรับความแม่นยำซ้ำ (Recalibration)

4.1.6.2.1 หลักจากการใช้งาน ควรแยก Pitot tube และตรวจสอบอย่างละเอียดทุกส่วนของ Pitot tube ทั้งด้านหัว ด้านท้าย ด้านข้าง และต้องมีลักษณะเป็นไปตามรูปที่ 11 และรูปที่ 12 จึง จะถือว่าค่าสัมประสิทธิ์ไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าไม่ได้ตามข้อกำหนดควรนำไปซ่อมแซม

4.1.6.2.2 เมื่อประกอบ Pitot tube ในภาคสนามเสร็จ ควรตรวจสอบทุกส่วนอย่างละเอียดเช่นเดียวกับข้อ 4.1.6.2.1 ถ้าเป็นปกติแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ไม่เปลี่ยนแปลง

4.2 Pitot tube แบบมาตรฐาน (Standard Pitot tube)

Pitot tube แบบมาตรฐาน ที่ใช้วัดความเร็วลม ถ้าสร้างตามข้อเสนอแนะข้อ 2.7 และมีการตรวจสอบสม่ำเสมอ แล้วจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ 0.99 ส่วนการประกอบเข้ากับชุดเก็บตัวอย่างต้องระวังการรบกวนการไหลของอากาศที่ผ่านด้วย เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ควรทำความสะอาดรูภายในของ Pitot tube ด้วย

4.3 เกจวัดอุณหภูมิ (Temperature Gauges)

หลังใช้งานทุกครั้งต้องมีการปรับความแม่นยำของเกจวัดอุณหภูมิ การปรับความแม่นยำ กำหนดไว้ไม่เกิน 10%ของอุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของอากาศในปล่อง กรณีที่อุณหภูมิไม่เกิน405° ซ.

ใช้ ASTM mercury-in-glass เป็นตัวอ้างอิง หรือวิธีอื่นที่เท่าเทียมกัน สำหรับอุณหภูมิสูงกว่า 405° ซ. ให้ไว้ NBS ในการปรับความแม่นยำ ถ้าผลการปรับความแม่นยำของเกจวัดอุณหภูมิแตกต่างไม่เกิน 1.5% แสดงว่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเกจวัดอุณหภูมิที่ภาคสนามยังใช้งานได้

4.4 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (Barometer)

การปรับความแม่นยำให้ปรับเทียบกับ (Nomenclature)

5 การคำนวณ (Calculations)

5.1 ชื่อสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณ (Nomenclature)

A = พื้นที่หน้าตัดของปล่องหรือท่อ หน่วยตารางเมตรหรือตารางฟุต

Bws = สัดส่วนปริมาตรไอน้ำของก๊าซในปล่อง

Cp = สัมประสิทธิ์ของ Pitot tube ไม่มีหน่วย

Kp = ค่าคงที่ของ Pitot tube ระบบเมตริก = 34.97 ม./วินาที $[\text{กรัม}/_{\text{กรัม-โมล}}\text{มม.ปรอท}]^{1/2}$ °K มม.ปรอท

ระบบอังกฤษ =85.49 ฟุต/วินาที $[\text{ปอนด์}/_{\text{ปอนด์-โมล}}\text{นิ้วปรอท}]^{1/2}$ °R นิ้วปรอท

Md = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของก๊าซในปล่องหน่วย กรัม/กรัมโมล หรือ ปอนด์/ปอนด์โมล

Ms = น้ำหนักโมเลกุลเปียกของก๊าซในปล่อง, กรัม/กรัมโมล หรือ ปอนด์/ปอนด์โมล

= Md(1-Bws) + 18.0 Bws

Pg = ความดันสถิตย์ของก๊าซในปล่อง หน่วย มม.ปรอทหรือนิ้วปรอท

Ps = ความดันสถิตย์สัมบูรณ์ของก๊าซในปล่อง หน่วย มม. ปรอท หรือนิ้วปรอท

= Pbar + Pg

Pstd = ความดันสัมบูรณ์มาตรฐาน, 760 มม. ปรอท หรือ 29.92 นิ้วปรอท

Qsd = อัตราการไหลแห้งของก๊าซในปล่องที่สภาวะมาตรฐาน หน่วย ลบ.เมตร/ชั่วโมง หรือ ลบ.ฟุต/ชั่วโมง

ts = อุณหภูมิของก๊าซในปล่อง หน่วย °ซ. หรือ °ฟ.

Ts = อุณหภูมิสมบูรณ์ก๊าซในปล่อง เป็นองศา K หรือ องศา R

= 273 + ts เมื่อ ts เป็น °ซ.

= 460 + ts เมื่อ ts เป็น °ฟ.

Tstd = อุณหภูมิสัมบูรณ์มาตรฐาน

= 20 + 273 = 293 °K.

= 68 + 460 = 528 °R.

Vs = ความเร็วเฉลี่ยของก๊าซในปล่อง หน่วย เมตร/วินาที หรือ ฟุต/วินาที

ΔP = ความดันแตกต่างของก๊าซในปล่องที่อ่านจาก manometer ใช้ Pitot tube วัดหน่วย มม.น้ำ หรือ นิ้วน้ำ

3600 = ค่าที่ใช้ปรับหน่วยให้เป็น วินาที/ชั่วโมง

18.0 = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ หน่วย กรัม/กรัมโมล หรือ ปอนด์/ปอนด์-โมล

5.2 ความเร็วเฉลี่ยของอากาศในปล่อง

$$Vs = KpCp\,(\sqrt{\Delta P})avg\sqrt{\frac{Ts(avg)}{PsMs}}$$

5.3 อัตราการไหลแห้งของก๊าซในปล่องที่สภาวะมาตรฐาน

$$Qsd = 3{,}600\ (1\text{-}Bws)\ Vs.A\left(\frac{Tstd}{Ts(avg)}\right)\left(\frac{Ps}{Pstd}\right)$$

ภาคผนวก จ
การหาปริมาณความเข้มข้นฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง
(Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources, U.S.EPA. Method 5)

1.หลักการและการนำไปใช้ (Principle and Applicability)

หลักการ ฝุ่นจะพูดดูดเข้ามาแบบ Isokinetic จากปล่องและถูกจับไว้ด้วยกระดาษกรอง (Glass Fiber Filter) ที่ถูกควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 120+14 ซ. หรือตามที่กำหนด ปริมาณฝุ่น ในที่นี้จะรวมฝุ่นทุกชนิดที่ตกค้างตั้งแต่หัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle) จนถึงท่อเก็บตัวอย่าง (Probe) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก

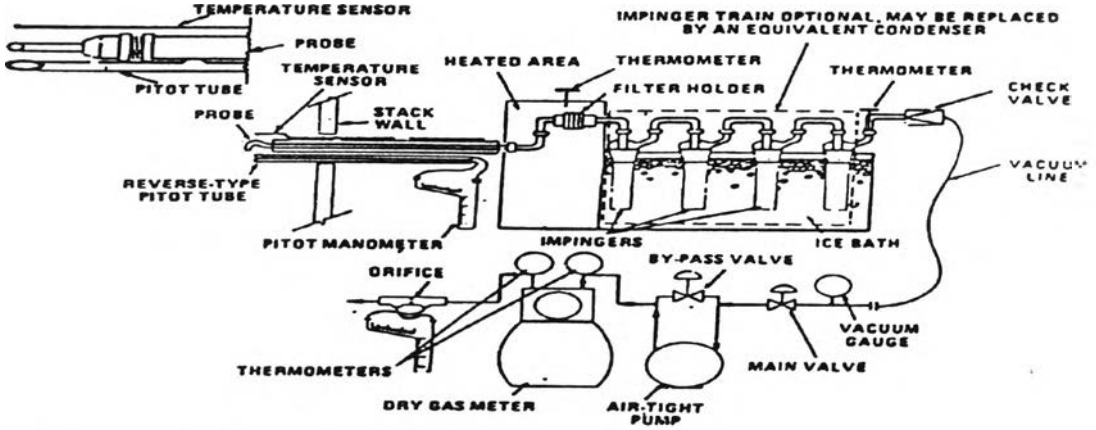
การนำไปใช้ วิธีการตรวจวัดฝุ่นวิธีนี้ ใช้หาปริมาณความเข้มข้นฝุ่น กรณีที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นอยู่กับที่

2.เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บฝุ่น (Apparatus)

2.1 **ชุดเก็บตัวอย่าง** (Sampling train) มีวงจรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ดังในรูปที่ จ-1 วิธีการทำงานและวิธีการซ่อมแซมบำรุง ได้อธิบายไว้ใน APTD-0576 ชุดเก็บตัวอย่างประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

2.1.1หัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle) ทำจากสแตนเลสหรือแก้ว ปลายด้านนอกของหัวเก็บตัวอย่างจะมีลักษณะเรียว Taper ซึ่งทำมุม 30 องศา แต่ด้านในยังมีเส้นผ่าศูนย์กลางคงที่ หัวเก็บตัวอย่างออกแบบให้มีลักษณะเป็นตะขอหรือท่อโค้ง ดังรูปที่ จ-2 ซึ่งทำด้วยสแตนเลส ขึ้นรูปโดยไม่มีการเชื่อม

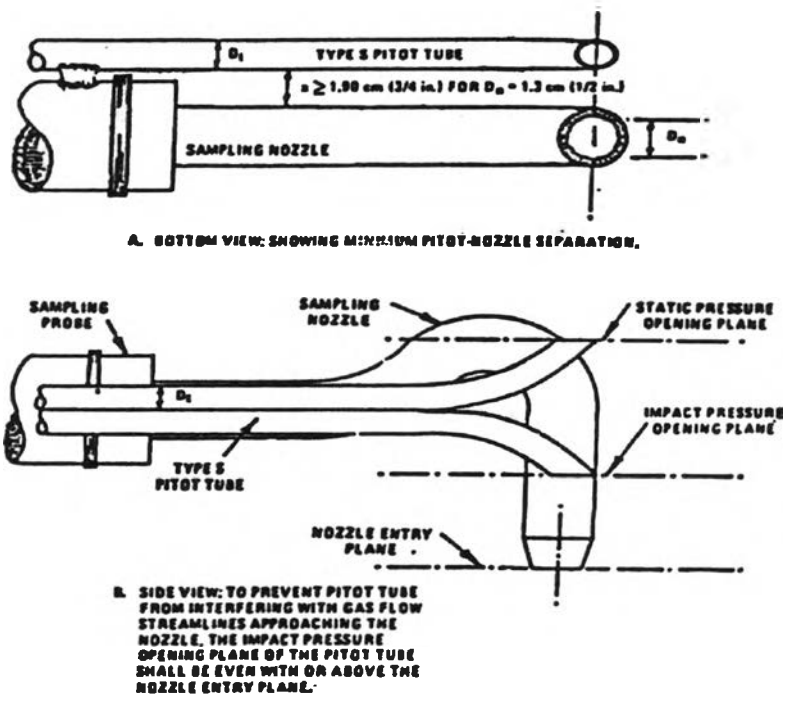
ขนาดของหัวเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างแบบ Isokinetic คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในระหว่าง 0.32-1.27 เซนติเมตร (1/8" – 1/2") หรือใหญ่กว่า กรณีที่ต้องการปริมาณอากาศเข้ามาก ๆ ขนาดของหัวเก็บตัวอย่างเพิ่มขึ้น ครั้งละ 0.16 เซนติเมตร หรือ 1/6 นิ้ว



รูปที่ จ-1 แสดงชุดเก็บตัวอย่างในปล่อง

2.1.2 ท่อเก็บตัวอย่าง (Probe) ทำด้วยสแตนเลสหรือทำจากแก้วที่มีระบบการให้ความร้อนกับก๊าซที่เข้าจนกระทั่งทางออกของท่อเก็บตัวอย่างมีอุณหภูมิคงที่ 120±14° ซ. อุณหภูมิแท้จริงที่ทางออกของท่อเก็บตัวอย่างไม่มีการตรวจวัดขณะเก็บตัวอย่าง การสร้างท่อเก็บตัวอย่างกระทำตาม APTD–0581 และปรับความแม่นยำด้วยกราฟตาม APTD 0576 จึงเป็นที่ยอมรับ

วัสดุที่ทำท่อเก็บตัวอย่างบางชนิด เช่น โบโรซิลิเคท (Borosilicate) สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 480° ซ. ได้ แต่ถ้าทำจากแก้วควอซ (Quartz glass) สามารถใช้งานได้ 480° ซ.-900° ซ. วัสดุที่ทำทั้ง 2 ชนิด สามารถทนอุณหภูมิสูงกว่านี้ได้ แต่ต้องเป็นช่วงสั้น ๆ เพราะมีอุณหภูมิ 820° ซ. ท่อที่ทำจากโบโรซิลิเคทจะอ่อนตัว แต่ถ้าทำจากแก้วควอซจะอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 1500° ซ. เราสามารถเลือกใช้สแตนเลสแทนได้ แต่ต้องเป็นชนิดไม่มีรอยต่อ



รูปที่ จ-2 แสดงลักษณะหัวเก็บตัวอย่าง

2.1.3 Pitot tube แบบ S ยึดติดกับท่อเก็บตัวอย่างดังรูปที่ จ-1 ปลายด้านรับแรงกระแทก หรือ ด้านความดังสูง (high pressure) ของ Pitot tube จะอยู่ระดับเดียวกันกับทำเก็บตัวอย่างหรือสูงกว่า ดังรูปที่ จ-2 ก็ได้

2.1.4 เกจวัดความแตกต่างของความดัน (Differential Pressure Gauge) โดยทั่วไปจะใช้แบบมานอมิเตอร์ แบบเอียง (milined manometer) จำนวน 2 ชุด โดยที่ชุดหนึ่งไว้วัดความแตกต่าง □P ส่วนอีกอันไว้วัดความดันแตกต่างของออริฟิต (Orifice)

2.1.5 ที่ใส่กระดาษกรอง (Filter Holder) ทำจากแก้วโบโรซิลิเคทกับแผ่น Glass Frit สำหรับรองกระดาษกรอง และประเก็นยางซิลิโคน (\Silicome rubber gasket) วัสดุที่ใช้ทำที่ใส่กระดาษกรองอาจทำจากสแตนเลสหรือเทปลอน (Teflon) ที่ใส่กระดาษกรองออกแบบให้มีการป้องกันการรั่ว จากภายนอกเข้าไป และป้องกันการรั่วรอบ ๆ กระดาษกรองฝุ่น ที่ใส่กระดาษกรองอาจมีไซโคลน (Cyclone) สำหรับไว้กรองฝุ่นขนาดใหญ่

2.1.6 ระบบทำความร้อนให้กระดาษกรอง (Filter Heating System) ระบบทำความร้อนต้องมีความสามารถที่จะรักษาอุณหภูมิรอบ ๆ ที่ใส่กระดาษกรองขณะเก็บฝุ่นให้มีอุณหภูมิ 120±14 ซ. หรืออุณหภูมิอื่น ๆ ตามที่มาตรฐานกำหนด เกจวัดอุณหภูมิอ่านค่าได้ละเอียด 3 ซ. และติดตั้งไว้ใกล้กับตลับใส่กระดาษกรอง เพื่อจะได้ทราบและควบคุมอุณหภูมิขณะตรวจวัด

2.1.7 ชุดควบแน่น (Condenser) ใช้สำหรับหาปริมาณความชื้นของก๊าซในปล่องประกอบด้วย Impinger 4 อัน ต่ออนุกรมกัน มีการป้องกันการรั่วตรงรอยต่อแต่ละอัน Impinger อันที่ 1,3 และ 4 เป็นแบบ Greenburg-Smith Modified ที่มีการปรับปรุงท่อตรงกลางให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร หรือ 1/2 นิ้ว และอยู่สูงจากพื้นของ Flask 1.3 เซนติเมตร ส่วน Impinger อันที่ 2 เป็น Greenburg-smith Standard ที่ท่อตรงกลางเป็นแบบมาตรฐาน Impinger อันที่ 4 ใส่ซิลิกาเจลที่มีน้ำหนัก 200 กรัม ที่ทางออกของ Impinger อันที่ 4 ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ที่อ่านค่าได้ละเอียด 1 ° ซ. ทางเลือกอื่น ด้วยวิธีการให้ความเย็นก๊าซที่ดูดเข้ามา สามารถวัดน้ำที่กลั่นตัวและความชื้นที่ควบแน่นได้ที่มีความละเอียด 1 มิลลิเมตร หรือ 1 กรัม โดยใช้กระบอกตวงวัดหรือชั่งน้ำหนัก การหาความชื้นและน้ำที่กลั่นตัว ทำได้ดังนี้ (1) วัดอุณหภูมิและความดันทางออกของชุดควบแน่น และใช้ Dalton's law หา Partial pressure หรือ (2) ผ่านก๊าซที่ตรวจวัดไปที่ซิลิลาเกจ เพื่อให้ซิลิกาเจลจับความชื้นไว้ ควบคุมอุณหภูมิก๊าซทางออกของ Condenser ให้ต่ำกว่า 20 ซ. จากนั้นหาปริมาณความชื้นด้วยการชั่งน้ำหนักซิลิกาเจล ถ้าใช้วิธีอื่นในการหาความชื้น ควรใช้ซิลิกาเจลติดตั้งระหว่างชุดควบแน่นกับปั๊ม เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำ ในปั๊มและเป็นการป้องกันไม่ให้มีความชื้นเกิดที่ อุปกรณ์วัดปริมาตร จะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

2.1.8 ระบบการตรวจวัด (Metering System) ประกอบด้วยเกจวัดสูญญากาศ ปั๊มที่ไม่มีการรั่ว เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ละเอียด 3 ซ. Dry gas meter ที่วัดปริมาตรได้ละเอียด 2 เปอร์เซ็นต์ อุปกรณ์ต่าง ๆ มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 1 ระบบการตรวจวัดสามารถที่จะคงอัตราการดูดอากาศในช่วง 10 เปอร์เซ็นต์ของ Isokinetic และ สามารถหาปริมาตรอากาศที่ดูดเข้ามาละเอียด 2 เปอร์เซ็นต์ จึงยอมรับได้ เมื่อระบบการตรวจวัดต่อเข้ากับ Pitot tube ทำให้สามารถตรวจสอบอัตรา Isokinetic ได้

2.1.9 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (Barometer) ใช้บาร์รอมิเตอร์แบบปรอท หรือ Aneroid ซึ่งสามารถวัดความดันบรรยากาศได้ละเอียด 2.5 มิลลิเมตรปรอท หรือ 0.1 นิ้วปรอท หรืออาจหาค่าความดันบรรยากาศได้จากสถานีตรวจวัดอากาศที่อยู่ใกล้เคียง แล้วปรับค่าความดันให้มาอยู่ ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง โดยระดับความสูงเพิ่มขึ้น ทุกๆ 30 เมตร ค่าความดันบรรยากาศจะลดลง 2.5 มิลลิเมตรปรอท ทำนองกลับกัน ถ้าระดับความสูงลดลงทุก ๆ 30 เมตร ค่าความดันบรรยากาศจะเพิ่มขึ้น 2.5 มิลลิเมตรปรอท

2.1.10 เครื่องมือวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก๊าซ (Gas Density Determination Equipment) ได้อธิบายไว้แล้วใน U.S.EPA Method 2 เมื่อใช้ที่วัดอุณหภูมิ และเกจวัดความดันหรือใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซ ตามที่อธิบายไว้ใน U.S.EPA Method 3 ที่วัดอุณหภูมิสามารถเลือกที่จะติดตั้งถาวรตรง Pitot tube หรือที่ ท่อเก็บตัวอย่าง ปลายของที่วัดอุณหภูมิต้องวางไว้ไม่บดบังทิศทางก๊าซที่จะไหลเข้า Pitot tube แบบ S ทางเลือกที่ 2 ถ้าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วลมไม่เกิน 1% ที่วัดอุณหภูมิไม่จำเป็นต้องติดตั้งที่ท่อเก็บตัวอย่างที่ Pitot tube

2.2 การทำความสะอาดและการล้าง (Sample Recovery) ทำตามหัวข้อที่จะได้กล่าวต่อไปนี้

2.2.1แปรงล้างท่อและหัวเก็บตัวอย่าง (Probe-Liner and Probe-Nozzle Brushes) แปรงทำจากไนลอน ด้ามแปรงทำจากลวดสแตนเลสแปรงจะต้องมีขนาดและรูปร่างเหมาะสมที่จะทำ ความสะอาดท่อและหัวเก็บตัวอย่าง ด้ามแปรงต้องมีความยาวเหมาะสมด้วย

2.2.2 ขวดมีหลอดสำหรับล้าง 2 ใบ (Wash Bottles – Two) แนะนำให้ใช้ขวดที่ทำจากแก้ว ส่วนขวดโพลีเอททีลีนเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะเลือกใช้ได้ แต่ไม่แนะนำให้ใส่อซิโตนนานเกินกว่า 1 เดือน

2.2.3 ภาชนะแก้วที่ใช้เก็บตัวอย่าง (Glass Sample Storage Containers) ควรมีความสามารถในการต้านทานสารเคมี ขวดแก้วโบโรซิลิเกท ขนาด 500 หรือ 1000 มิลลิเมตร สำหรับใส่อะซิโตนที่ล้างตัวอย่าง หรืออาจเลือกใช้ขวดโพลีเอทธีลีนก็ได้

2.2.4 Petri Dishes เป็นแผ่นรองกระดาษกรอง ทำด้วยแก้วหรือโพลีเอทีลีน

2.2.5 กระบอกตวงและหรือตาชั่ง (Graduated Cylinder and/or Balance) ใช้วัดปริมาณที่กลั่นตัวมีความละเอียด 1 มิลลิเมตร หรือชั่งได้ละเอียด 1 กรัม กระบอกตวงต้องมีขีดแบ่งปริมาตรไม่เกิน 2 มิลลิลิตร เครื่องชั่งที่มีความละเอียดในการชั่ง 0.5 กรัม หรือน้อยกว่า

2.2.6 ภาชนะพลาสติก เป็นภาชนะที่ปิดมิดไม่มีอากาศเข้า สำหรับเก็บซิลิเกจ

2.2.7 กรวยและ Rubber Policemen ใช้สำหรับส่งผ่านซิลิกาเจล ไปยังภาชนะที่ใช้เก็บ ไม่จำเป็นต้องใช้ก็ได้ถ้ามีการชั่งน้ำหนักที่ภาคสนามเลย

2.2.8 กรวย ъFunnel) ทำจากแก้วหรือโพลีเอททิลีน ใช้สำหรับเทน้ำหรือซิลกเจลเข้าและออกจาก Impinger

2.3 **การวิเคราะห์** (Analysis) **อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้**

2.3.2 จานแก้วสำหรับชั่งน้ำหนัก (Glass Weighing Dishes)

2.3.3 เครื่องดูดความชื้น (Desiccator)

2.3.4 ตาชั่งที่วัดค่าได้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

2.3.5 ตาชั่งที่ชั่งได้ละเอียด 0.5 กรัม

2.3.6 บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.3.7 ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) ใช้หาค่าความชื้นสัมผัสในห้องปฏิบัติการ

2.3.8 เกจวัดอุณหภูมิ ใช้วัดอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ

3 **สิ่งที่ต้องใช้ในการเก็บตัวอย่าง** (Reagents)

3.1 **การเก็บตัวอย่าง สิ่งที่ต้องใช้ในการเก็บตัวอย่างมีดังนี้**

3.1.2 **กระดาษ** (Filter) เป็นกระดาษกรองชนิดไฟเบอร์กลาส ที่ไม่มีสารอินทรีย์ผสมอยู่ มีคุณสมบัติเก็บฝุ่นขนาด 0.3 ไมครอน ที่มีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 99.95 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพกระดาษกรอง ทำตามมาตรฐาน ASTM D2986-71 กรณีที่ปล่องก๊าซ SO_2 หรือ SO_3 วัสดุที่ใช้ทำกระดาษกรองต้องไม่ทำปฏิกิริยากับ SO_2 หรือ SO_3

3.1.3 **ซิลิกาเจล** (Slicagel) ใช้ขนาด 6-16 เมช (Mesh) ถ้าเป็นซิลิกาเจล ที่ใช้แล้วต้องมาทำให้แห้งที่ อุณหภูมิ 175 ซม. นาน 2 ชั่วโมง ถ้าเป็นซิลิกาเจลใหม่ใช้ได้ทันที

3.1.4 **น้ำ** ใช้น้ำกลั่นสำหรับเติมใน Impinger และใช้ทำเป็น Blank

3.1.5 **น้ำแข็งบด** (Crushed Lce) ใช้เติมไว้รอบ ๆ Impinger

3.1.6 **ไข** ไขที่ใช้ทากันรั่วก๊อก เปิด – ปิด (Stopcock Grease) ไขชนิดที่ทำจากซิลิโคลนจะคงทนต่ออุณหภูมิและไม่ละลายอะซิโตน

3.2 **การล้างทำความสะอาด** เลือกใช้อะซิโตนเกรดที่มีของเหลือ < 0.001 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเป็นอะซิโตนในขวดโลหะจะมีของเหลือมากจึงไม่ควรใช้ บางครั้งผู้ขายจะถ่ายอะซิ โตนจากขวดโลหะลงในแก้วแล้วนำมาส่งจึงต้องระมัดระวัง

3.3 **การวิเคราะห์** (Analysis) สิ่งที่ต้องใช้เก็บตัวอย่างทั้ง 2 ต้องการการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.2 อะซิโตน เช่นเดียวกับข้อ 3.2

3.3.3 สารดูดความชื้น (Desiccant) ใช้แอนไฮดรัส คัลเซียม ซัลเฟต (Anhydrous calcium sulfate)

4 **วิธีการเก็บฝุ่น** (Procedure)

4.1 การเก็บตัวอย่าง เนื่องจากการเก็บฝุ่นมีวิธีการที่ยุ่งยากและซับซ้อน เพื่อให้ผลที่น่าเชื่อถือได้ ผู้ทำการตรวจวัดต้องได้รับการฝึกฝนอบรมมาอย่างดี และมีประสบการณ์ในการตรวจวัดฝุ่น

4.1.1 การทดสอบก่อนการเก็บฝุ่น (Pretest Preparation) อุปกรณ์ทุกชิ้นอยู่ในสภาพที่ดี และมีการปรับเทียบความแน่นยำ

ชั่งซิลิกาเจลให้มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 200 – 300 กรัม มีความละเอียด ในการชั่งไม่เกิน 0.5 กรัม แล้วใส่ซิลิกาเจลลงในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกันอากาศเข้าได้ จดค่าน้ำหนักรวมของซิลิกาเจลกับภาชนะบรรจุทุกอัน ซิลิกาเจลลงในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกันอากาศเข้าได้ จดค่าน้ำหนักรวมของซิลิกาเจลกับภาชนะบรรจุทุกอัน ซิลิกาเจลไม่จำเป็นต้องชั่งก่อน แต่จะถูกชั่งพร้อมกับ Impinger หรือ หลอดเก็บตัวอย่าง (Sampling holder)

ตรวจสอบกระดาษกรองด้วยสายตา เพื่อหาความผิดปกติ หรือรูรั่วเล็ก ๆ แล้วใส่เครื่องหมายไว้ที่ด้านหลังกระดาษกรอง หรือใส่เครื่องหมายไว้ที่ตลับใส่กระดาษกรองที่ทำจากแก้วหรือ

พลาสติก เก็บกระดาษกรองนี้ไว้ในภาชนะบรรจุตลอดเวลา ยกเว้นก่อนใช้เก็บตัวอย่างและขณะชั่งน้ำหนัก

ใส่กระดาษกรองไว้ในเครื่องดูดความชื้นให้แห้งที่อุณหภูมิ 20±5.6 ซ. และความดันอากาศ ปกติอย่างน้อย 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองในช่วงอย่างน้อยทุก ๆ 6 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ค่าคงที่ มีน้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม จากครั้งก่อน แล้วชั่งให้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ในระหว่างการชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง ไม่ควรให้กระดาษกรองสัมผัสกับห้องปฏิบัติการที่มีความชื้นสัมผัสเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ นานกว่า 2 นาที หรืออาจนำกระดาษกรองไปเข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ซ. นาน 2 – 3 ชั่วโมง แล้วใส่ในเครื่องดูดความชื้นอีก 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักด้วยวิธีเดียวกันกับที่ได้อธิบายไปแล้ว แต่ต้องพิจารณาผลของความชื้นสัมผัสด้วย

4.1.2 **การตรวจวัดขั้นตอน** (Preliminary Determinations) **ทำได้ดังนี้**

(1) เลือกบริเวณที่จะทำการเก็บตัวอย่าง และจำนวนจุดที่ต้องเก็บตัวอย่างน้อยสุด ซึ่งเป็นไปตาม U.S.EPA. method 1

(2) วัดความดัน อุณหภูมิ และ Velocity Head (P) แล้วจะได้ความเร็วของอากาศในปล่องตาม U.S.EPA. method 2 ตวงตรวจหาการรั่วของท่อทางที่ต่อ Pitot tube ด้วย

(3) หาปริมาณความชื้นคร่าว ๆ ของอากาศในปล่องตาม U.S.EPA. method 4 เพื่อจะคำนวณหาอัตราการดูดของปั๊มที่ทำให้การเก็บตัวอย่างเป็น Isokinetic

(4) หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของก๊าซในปล่อง ตาม U.S.EPA. method 2

(5) เลือกขนาดหัวเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม โดยพิจารณาจาก Velocity Head (P) เพื่อจะได้ไม่ต้องเปลี่ยนหัวเก็บตัวอย่างขณะทำการตรวจวัด การเลือกช่วง Velocity Head ดูได้จาก U.S.EPA. method 2 หัวข้อที่ 2.2

(6) เลือกท่อเก็บตัวอย่างที่มีความยาวเหมาะสมที่จะเก็บฝุ่นได้ทุกจุด กรณีที่ปล่องมีขนาดใหญ่มากเราก็เลือกใช้ท่อเก็บตัวอย่างที่สั้นลงได้ โดยการเก็บตัวอย่างปล่องด้านตรงข้ามแทน จึงไม่จำเป็นต้องใช้ท่อเก็บตัวอย่างที่ยาวมาก

(7) การเลือกเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่างแต่ละจุด

- เวลาเก็บแต่ละจุดไม่น้อยกว่า 2 นาที
- ปริมาตรอากาศที่ดูดเข้ามาเมื่อปรับสู่สภาวะมาตรฐาน 0 ซ. 760 มิลลิเมตรปรอท แล้วไม่น้อยกว่า 0.85 ลูกบาศก์เมตร
- เวลาที่ใช้เก็บแต่ละจุดต้องเท่ากัน

- กรณีขบวนการผลิตทำงานเป็นรอบ (Cycle) เวลาที่ใช้เก็บแต่ละจุดอาจจะน้อย จึงได้ปริมาตรอากาศน้อยตามไปด้วย

4.1.3 **การเตรียมพร้อมก่อนเก็บฝุ่น** (Preparation of Collection Train)

ใส่น้ำลงใน Impinger อันที่ 1 และ 2 อย่างละ 100 มิลลิลิตร ส่วน Impinger อันที่ 3 ปล่อยว่างไว้ส่วน Impinger อันที่ 4 ใส่ซิลิกาเจลที่ทราบน้ำหนักประมาณ 200 – 300 กรัม อาจจะชั่งน้ำหนักรวมของซิลิก้าเจลกับ Impinger ไว้ก่อนก็ได้ และบันทึกข้อมูลไว้

ใช้ปากคีบหรือถุงมือสะอาดหยิบกระดาษกรองที่เตรียมมาใส่ไว้ในที่ใส่กระดาษกรอง (Filter holder) ต้องใส่กระดาษกรองให้อยู่ตรงกลางของ ที่ใส่กระดาษกรองพอดี

ติดตั้งหัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle) กับท่อเก็บตัวอย่าง โดยใช้ Viton A O-ring เมื่ออุณหภูมิปล่องน้อยกว่า 260 ซ. และใช้ประเก็นแบบแอสเบสตอส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้ แล้วทำเครื่องกำหนดจุดเก็บตัวอย่างกับที่ใส่กระดาษกรอง ใส่น้ำแข็งบดไว้โดยรอบ Impinger

4.1.4 **วิธีการตรวจหาการรั่ว** (Leak-Check procedure)

4.1.4.1 ทดสอบหาการรั่วก่อนการเก็บตัวอย่างอากาศ มีข้อแนะนำให้กระทำ แต่ไม่ต้องทำก็ได้ ถ้าผู้ตรวจสอบได้กระทำดังต่อไปนี้

ภายหลังจากการตรวจวัดอุปกรณ์ต่าง ๆ ยังคงประกอบที่เดิมอยู่ เปิดสวิทช์ ปรับอุณหภูมิให้กระดาษกรองและท่อเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วงการใช้งาน จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่มีประเก็น Viton A O-ring หรือวัสดุที่ใช้กันรั่วรอยต่อต่าง ๆ ระหว่าง หัวเก็บตัวอย่างกับท่อเก็บตัวอย่าง สามารถตรวจสอบหาการรั่วที่ภาคสนามได้เลย โดยการอุดรูที่หัวเก็บตัวอย่าง เปิดปั๊มให้มีแรงดูด 3.8 มม.ปรอท อาจใช้แรงดูดน้อยกว่านี้ก็ได้ ถ้าอยู่ในช่องระหว่างการตรวจวัดฝุ่น

ถ้ามีการใช้เชือกที่ทำจากเอสเบสตอส (Asbestos string) ไม่จำเป็นต้องต่อท่อเก็บตัวอย่างเข้ากับชุดเก็บตัวอย่าง (train) ขณะตรวจหาการรั่ว การหารอยรั่วในชุดเก็บตัวอย่างฝุ่นทำได้ด้วยการอุดรูที่ทางเข้าของที่ใส่กระดาษกรอง แล้วเดินเครื่องให้ปั๊มดูด จนกระทั่งมีสูญญากาศเกิดขึ้น 380 มม.ปรอท ถ้ามีการต่อท่อเก็บตัวอย่างเข้ากับชุดเก็บตัวอย่าง จะตรวจหารอยรั่วด้วยสูญญากาศ 25 มม.ปรอท การหารอยรั่ว ถ้าพบว่า อัตราการรั่วเกิน 4 % ของค่าเฉลี่ยอัตราการดูดอากาศเพื่อตรวจวัดฝุ่น หรือ 0.00057 m³/min (0.02 ลบ.ฟุต/นาที) แสดงว่ามีการรั่วเกินกว่าที่จะยอมรับได้

คู่มือการตรวจหารอยรั่วชุดตรวจวัดฝุ่น ได้อธิบายไว้ใน APTD – 0576 และ APTD-0581 เปิดปั๊มขณะที่วาล์ว by pass อยู่ในตำแหน่งเปิดเต็มที่และปรับวาล์วปิดเข้ามาจนสนิท เปิด-ปิดวาล์ว by pass จนกระทั่งเกิดสูญญากาศเพิ่มขึ้น อย่ากลับทิศทางของวาล์ว by pass เพราะอาจทำน้ำไหลย้อนกลับไปที่ใส่กระดาษกรอง

4.1.4.2 การตรวจรอยรั่วระหว่างเก็บฝุ่น ทำได้เช่นเดียวกับข้อ 4.1.4.1 เพียงแต่ทำให้เกิดสูญญากาศเท่ากับที่เกิดขึ้นหรือมากกว่าขณะเก็บฝุ่น ถ้าพบว่าอัตราการรั่วไม่เกิน หรือ 0.00057 m^3/min หรือ 4% ของค่าเฉลี่ยอัตราการดูดอากาศเพื่อเก็บตัวอย่าง แสดงว่ายอมรรับได้ ไม่จำเป็นต้องไปปรับค่าปริมาตรอากาศ ของ dry gas meter แต่ถ้ามีอัตราการรั่วเกินกว่าที่กำหนด ต้องบันทึกข้อมูลไว้ แล้วมีการปรับปริมาตรอากาศที่ดูดเข้ามาของ dry gas emter ใหม่ ซึ่งจะอธิบายในข้อ 6.3 ถ้ามีการเปลี่ยนชิ้นส่วนในระบบเก็บฝุ่น ต้องมีการตรวจหารอยรั่วไหลใหม่

4.1.4.3 ทดสอบการรั่วภายหลังการเก็บตัวอย่างอากาศเสร็จแล้ว การตรวจหาการรั่วเมื่อเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ให้กระทำเช่นเดียวกับข้อ 4.1.4.2

4.1.5 **การเก็บฝุ่น** (Particulate train Operation) ขณะกำลังตรวจวัด ต้องรักษาอัตราการ
ดูดอากาศให้อยู่ในสภาพ Isokinetic หรือ $\pm$ 10% ของค่า Isokinetic ที่ถูกต้อง และอุณหภูมิรอบ ๆ กระดาษกรองมีค่า 120 $\pm$ 14 $^{\circ}$ หรืออยู่ที่อุณหภูมิอื่นตามที่มาตรฐานกำหนด

ขณะเก็บตัวอย่างแต่ละจุด ต้องบันทึกข้อมูลที่ต้องการลงในตารางที่แสดงไว้ในรูปที่ 30 แน่ใจว่าได้บันทึกค่าเริ่มต้นของ dry gas meter ต้องมีการบันทึกค่าที่อ่านได้จาก dry gas meter ก่อนและหลังทุกจุดที่เก็บตัวอย่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ก่อนและหลังการตรวจหาการรั่ว หรือหยุดเก็บตัวอย่างชั่วขณะอ่านค่าที่ต้องการแล้วบันทึกลงในตารางของรูปที่ 29 ต้องเพิ่มข้อมูลในการบันทึกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เช่น ค่าความดันแตกต่าง (ΔP) เกิน 20% มีการ

รูปที่ จ-3 ตารางบันทึกข้อมูลขณะเก็บฝุ่น

PLANT .....
LOCATION .....
OPERATOR .....
DATE .....
RUN NO. .....
SAMPLE BOX NO .....
METER BOX NO .....
METER $\Delta H@$ .....
C FACTOR .....
PITOT TUBE COEFFICIENT, Cp .....

SCHEMATIC OF STACK CROSS SECTION

AMBIENT TEMPERATURE .....
BAROMERIC PRESSURE .....
ASSUMED MOISTRUE % .....
PROBE LENGTH, m (ft) .....
NOZZLE IDENIFICATION NO. .....
AVERAGE CALIBRATED NOZZLE DIAMEER, cm (in.) .....
PROBE HEATER SETTING .....
LEAK RATE, m^3/min (cfm) .....
PROBE LINER MATERIAL .....
STATIC PRESSURE, mm Hg (in. Hg) .....
FILTER NO. .....

TRAVERSE POINT NUMBER	SAMPLING TIME (θ), min	VACUUM mm Hg (in. Hg)	STACK TEMPERATURE (T_S) °C (°F)	VELOCITY HEAD (ΔP_S) mm (in.) H_2O	PRESSURE DIFFERENTIAL ACROSS ORIFICE METER mm H_2O (in. H_2O)	GAS SAMPLE VOLUME m^3 (ft^3)	GAS SAMPLE TEMPERATURE AT DRY GAS METER		FILTER HOLDER TEMPERATURE °C (°F)	TEMPERATURE OF GAS LEAVING CONDENSER OR LAST IMPINGER °C (°F)
							INLET °C (°F)	OUTLET °C (°F)		
TOTAL							Avg	Avg		
AVERAGE							Avg			

ปรับอัตราการดูดอากาศใหม่ ต้องมีการปรับระดับและปรับระดับน้ำยาที่ใช้อ่านไปที่ 0 ของมานอมิเตอร์เพราะว่า การสั่นสะเทือนและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้คลาดเคลื่อน และต้องตรวจสอบตลอดเวลาขณะเก็บตัวอย่างที่จุดหนึ่ง ๆ ทำความสะอาดช่องที่ใช้เก็บตัวอย่างของปล่อง ก่อนที่จะเริ่มเก็บตัวอย่าง ถอดที่อุดหัวเก็บตัวอย่าง ตรวจสอบกระดาษกรอง และระบบให้ความร้อนท่อเก็บตัวอย่างให้มีอุณหภูมิสูง Pitot tube และท่อเก็บตัวอย่างวางไว้ในที่เหมาะสม ตำแหน่งของหัวเก็บตัวอย่างอยู่ที่ตำแหน่งการเก็บที่ 1 และหัวเก็บตัวอย่างหันเข้าหากระแสของก๊าซที่ไหล จากนั้น เปิดปั๊มแล้วปรับอัตราการดูดให้อยู่สภาวะ Isokinetic ถ้าใช้ Nomograph ออกแบบสำหรับ Pitot tube แบบ S ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ 0.85 ± 0.2 และความหนาแน่นของก๊าซในปล่องมีน้ำหนักโมเลกุลแห้ง มีค่า 29.00 ± 4 วิธีการใช้ Nomograph แสดงไว้ที่ APTD-0576 ถ้าค่า C_p และ M_d สูงกว่าที่กำหนด ไม่สามารถใช้ Nomograph ได้

กรณีที่ภายในปล่องมีความดันเป็นลบ (Negative Pressure) ต้องปิดวาล์วที่ใช้ปรับแรงดูดก่อนใส่ท่อเก็บตัวอย่างเข้าไปภายในปล่อง เพื่อป้องกันน้ำใน Impinger ถูกดูดเข้าไปในกระดาษกรอง ถ้าจำเป็นอาจจะเปิดปั๊มแล้วปิดวาล์วปรับแรงดูดไว้ก็ได้

เมื่อท่อเก็บตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ต้องหาทางปิดช่องเก็บตัวอย่างให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศภายนอกถูกดูดเข้าไปเจือจางก๊าซภายในปล่อง

จำนวนจุดที่ใช้เก็บตัวอย่างบนพื้นที่หน้าตัดปล่อง กระทำตาม US.EPA method 1 ขณะนำชุดเก็บตัวอย่างใส่เข้าไปที่ช่องเก็บตัวอย่าง หรือ ขณะเคลื่อนย้ายท่อเก็บตัวอย่างในปล่อง ระวังการกระแทรก เพราะในช่วงนี้ฝุ่นที่ค้างที่ช่องเก็บตัวอยางที่ผนังปล่องอาจจะหลุดออกมาแล้วถูกดูดเข้าไปในชุดเก็บฝุ่นได้

ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ให้ทำการปรับอุณหภูมิโดยรอบของที่ใส่กระดาษกรองอยู่ในช่วง 120 ± 14 ซ. ที่บริเวณ Impinger ใส่น้ำแข็งเพิ่มหรือใส่เกลือเพื่อลดอุณหภูมิให้ไม่เกิน 20 ซ. ต้องคอยตรวจสอบระดับและระดับน้ำยาของ Monometer เป็นระยะ ๆ ถ้าสูญญากาศหรือ Pressure drop เพิ่มขึ้นมาก การปรับให้เป็น Isokinetic ทำได้ยาก ก็ควรเปลี่ยนกระดาษกรองใหม่ ทุกครั้งควรตรวจหาการรั่วตามข้อ 41.4.2 น้ำหนักฝุ่นรวมหาได้จากกระดาษกรองทุกแผ่นที่ใช้รวมกัน

การเก็บตัวอย่างอากาศ 1 ตัวอย่างต่อ 1 ปล่อง เป็นที่ยอมรับได้ แต่ถ้าจะให้ดีควรเก็บตัวอย่างอากาศตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไป โดยจะเก็บที่ปล่องเดียวกัน แต่ต่างตำแหน่งหรือตำแหน่งเดียวกันเก็บ 2 ตัวอย่างก็ได้ แต่ถ้าจะให้ดีควรมีชุดเก็บตัวอย่าง 2 ชุด เมื่อมีการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไป

เมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง ปิดวาล์วปรับแรงดูด แล้วเคลื่นย้ายชุดเก็บฝุ่นออกจากปล่อง แล้วจึงปิดปั๊มจาดค่า dry gas meter ไว้ แล้วทดสอบการรั่ว ตามข้อ 4.1.4.3 ทดสอบการรั่วชุด Pitot tube ด้วย

4.1.6 **การคำนวณเปอร์เซ็นต์** Isokinetic (Calculation of Percent Isokinetic) จะได้อธิบายวิธีการคำนวณในข้อที่ 6 ใช้สำหรับหาเหตุผลหรือวิธีการทดสอบ บางกรณีรักษาสภาวะ Isokinetic ทำได้ยากเพราะขึ้นอยู่กับสภาวะของก๊าซในปล่อง

4.2 Sampling Recovery เป็นการจัดเตรียมการอย่างเหมาะสม ตั้งแต่เคลื่อนย้ายท่อเก็บตัวอย่างออกจากปล่อง เมื่อตรวจวัดเสร็จแล้วปล่อยให้ท่อเก็บตัวอย่างเย็นตัวลง

เช็ดสิ่งสกปรกภายนอกท่อเก็บตัวอย่างโดยเฉพาะบริเวณใกล้กับหัวเก็บตัวอย่าง แล้วใช้ฝาจุกปิดปลายหัวเก็บตัวอย่างไว้เพื่อป้องกันฝุ่นภายในหัวเก็บจะหลุดออกมา ไม่ควรปิดฝากจุกแน่นมากขณะลดอุณหภูมิของท่อเก็บตัวอย่าง เพราะจะทำให้เกิดสูญญากาศขึ้นตรงที่ใส่กระดาษกรอง ทำให้ดูดเอาน้ำจาก Impinger เข้ามาในที่ใส่กระดาษกรองได้

ก่อนจะเคลื่อนย้ายชุดเก็บตัวอย่าง ไปทำความสะอาด ให้ถอดท่อเก็บตัวอย่างออกจากชุดเก็บตัวอย่างเช็ดซิลิโคนออกจากรอยต่อและกระทำด้วยความระมัดระวัง ถอดข้อต่อจาก Impinger ตัวสุดท้ายออก แล้วรีบปิดทางออกของ Impinger ไว้ ถ้ามีการค้างของน้ำในสายต่อระหว่าง Impinger กับที่ใส่กระดาษกรองให้ถอดที่ใส่กระดาษกรองออก แล้วเทน้ำที่กลั่นตัวกลับเข้าไปใน Impinger หลังจากเช็คซิลิโคลนออก ให้ปิดตรงปลายทางออกของที่ใส่กระดาษกรองและทางเข้า Impinger

เคลื่อนย้ายท่อเก็บตัวอย่างและชุด Impinger ไปยังบริเวณที่จัดเตรียมไว้ บริเวณที่จัดเตรียมไว้ควรสะอาด และมีการป้องกันกระแสลมที่จะส่งผลมาถึงการเปลี่ยนแปลงฝุ่นที่เก็บได้ เทอะซิโตน 200 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง และเขียนที่ข้างขวดว่า Acetone Blank

ตรวจสอบชุดเก็บตัวอย่างว่ามีส่วนใดบ้างผิดปกติ และดำเนินดังต่อไปนี้

ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหมายเลข 1 ใช้คีมหรือถุงมีสะอาดนำกระดาษกรองออกจากที่ใส่กระดาษกรองอย่างระมัดระวัง ถ้าจำเป็นอาจพับกระดาษกรองก่อนก็ได้ แล้ววางไว้ในจานรองกระดาษกรอง ระวังอย่าให้ฝุ่นตกลง จากนั้นใช้แปรงไนลอนทำความสะอาด Petri Diskes โดยให้ฝุ่นตกอยู่ในกระดาษกรองที่วางอยู่ในจานรองกระดาษกรอง

ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหมายเลข 2 ทำความสะอาดนอกท่อเก็บตัวอย่างหรือบริเวณ ที่จะทำให้ฝุ่นตกรวมไปกับตัวอย่างที่เก็บได้ จากนั้น ล้างฝุ่นออกจากภายในหัวเก็บตัวอย่าง ท่อเก็บตัวอย่าง และส่วนอื่นที่ต่อไปยังที่ใส่กระดาษกรอง ด้วยอะซิโตน ฝุ่นที่ล้างออกมาใส่ในภาชนะแก้วที่ใช้เก็บตัวอย่าง

ทำความสะอาดภายในท่อเก็บตัวอย่าง โดยใช้แปรงไนลอนขัดและใช้อะซิโตนล้างซ้ำ จนอะซิโตนไหลออกมามองดูด้วยตาแล้วจนไม่มีฝุ่น แล้วเทอะซิโตนล้างอีกครั้งเป็นครั้งสุดท้าย

ล้างท่อเก็บตัวอย่างด้วยอะซิโตน ด้วยการวางท่อเก็บตัวอย่างให้เอียงแล้วหมุนไปขณะที่เทอะซิโตนลงไปทางด้านบน จนมั่นใจว่า อะซิโตนไหลผ่านภายในท่อเก็บตัวอย่างทั่วถึง ทางด้านปลายด้านล่างของท่อเก็บตัวอย่างจะมีอะซิโตนที่ชะล้างฝุ่นไหลออกมา เอากรวยมาลองรับใส่เข้าไป

ในขวดเก็บตัวอย่าง จากนั้น ใช้อะซิโตนเทพร้อมกับใช้แปรงขัดภายในท่อเก็บตัวอย่าง ที่ปลายด้านล่างมีขวดเก็บตัวอย่างรองรับอะซิโตนที่ไหลออกมา ทำเช่นนี้ 3 ครั้ง หรือมองเห็นว่าอะซิโตนที่ล้างฝุ่น ไม่มีฝุ่นออกมาแล้ว จากนั้น นำท่อเก็บตัวอย่างมาตรวจสอบด้วยตาอีกครั้งว่าสะอาด กรณีที่ท่อเก็บตัวอย่างทำจากสแตนเลส ต้องใช้แปรงขัดและล้างตามด้วยอะซิโตนอย่างน้อย 6 ครั้ง และใช้อะซิโตนล้างซ้ำเป็นคนครั้งสุดท้าย

การทำการล้างฝุ่นในท่อเก็บตัวอย่างอากาศ ควรใช้อย่างน้อย 2 คนช่วยกันร เพื่อไม่ให้ฝุ่นที่ถูกชะล้างออกมาหกไปภายนอก เมื่อใช้งานเสร็จแปรงต้องทำความสะอาดและมีที่ครอบป้องกันฝุ่น

เข็ดทำความสะอาดรอยต่อที่มีคราบซิลิโคลน จากนั้นทำความสะอาดภายในที่เก็บฝุ่น (Filter Holder) ด้วยแปรงไนลอนแล้วล้างตามด้วยอะซิโตน เทอะซิโตนล้างอย่างน้อย 3 ครั้ง หรือมากกว่า หรือมองด้วยตาแล้วไม่มีฝุ่นติดออกมา แล้วล้างอีกครั้งด้วยอะซิโตน หลังจากใช้อะซิโตนล้างฝุ่นแล้ว อะซิโตรั่วออกมาขณะเคลื่อนย้าย ทำเครื่องหมายที่ภาชนะบรรจุ ตรงระดับสูงสุดที่มีอุซิโตน เพื่อให้เปรียบเทียบตอนเคลื่อนย้ายเสร็จแล้วว่าไม่มีการรั่วไหล

ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหมายเลข 3 จดระดับสีที่มองเห็น ซิลิกาเจลใน Impinger อันที่ 4 แล้วเทซิลิกาเจลลงในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างแล้วปิดผนึกไว้ ควรใช้กรวยช่วยเพื่อป้องกันไม่ให้ซิลิกาเจลหาไปข้างนอกใช้ Rubber Policemen ช่วยเอาซิลิกาเจลอกจา Impinger ไม่จำเป็นต้องเอาฝุ่นจำนวนเล็กน้อยออกจากผนังของ Impinger เพราะมันได้ยาก น้ำหนักที่ได้จะเป็นความชื้นของซิลิกาเจลที่ใช้หาความชื้น ถ้ามีการชั่งน้ำหนักซิลิกาเจล ที่ภาคสนามเลย ต้องปฏิบัติต่อภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหมายเลข 3 ตาม ข้อ 4.3

น้ำใน Impinger บันทึกสีหรือฟิล์มที่จับอยู่ในของเหลว หาปริมาณหรือน้ำหนักของเหลวใน Impinger อันที่ 2 และ 3 ถ้าใช้กระบอกต้องเป็นชนิดตวงได้ละเอียด $\pm$ 1 มิลลิลิตร หรือใช้ตาชั่งที่อ่านค่าได้ละเอียด xxxxxxxxxx ชั่งน้ำหนักแทนก็ได้ บันทึกปริมาตรหรือน้ำหนักลงในตาราง ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณความชื้นของก๊าซ ของเหลวที่ชั่วหรือตวงแล้วทิ้งได้เลย ถ้าใช้การควบแน่นด้วยวิธีอื่น การวัดหาปริมาณความชื้นจะต้องปรับเทียบด้วยการตวงหรือชั่งน้ำหนัก

4.3 **การวิเคราะห์** (Analysis)

บันทึกข้อมูลที่ต้องการลงในตารางตามที่แสดงในรูป จ-4 ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างทั้ง 3 อัน ให้ดำเนินการดังนี้

ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหมายเลข 1 นำกระดาษกรองฝุ่นและฝุ่นที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง วางไว้บนจานแก้วสำหรับชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปวางไว้ใน Desiccator ที่บรรจุเอกสาร Anhydrous calcium sulfate นาน 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จึงออกมาชั่งด้วยตาชั่งที่มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม กระดาษกรองที่นำมาชั่งต้องแตกต่างไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม หรือ 1% ของน้ำหนักทั้งหมด การชั่งน้ำหนักแต่ละครั้งต้องห่างกันไม่เกิน 6 ชั่วโมง หรือจะเลือกวิธีการนำกระดาษกรองเข้าไปอบแห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 105 ซ. นาน 2 – 3 ชั่วโมง แล้วนำมาปล่อยให้เย็นตัวใน Desicctor จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำออกมาชั่วหาน้ำหนักฝุ่นก็ได้

ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหมายเลข 2 บันทึกระดับของเหลวในภาชนะไว้ เพื่อไว้ยืนยันว่า ไม่มีการหกขณะเคลื่อนย้าย วัดปริมาตรของเหลวในภาชนะด้วยความละเอียด ± 1 มิลลิลิตร หรือชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดในการชั่ง ± 0.5 กรัม จากนั้น เทของเหลวในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างลงในบิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปล่อยให้ระเหยแห้งที่ความดันและอุณหภูมิบรรยากาศนาน 24 ชั่วโมง น้ำหนักจะคงที่ จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักฝุ่นให้มีความละเอียดในการอ่านค่า 01 มิลลิกรัม

ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างหมายเลข 3 ชั่งน้ำหนักซิลิกาเจลหรือจะชั่งรวมกับ Impinger ก็ได้ ด้วยตาชั่งที่มีความละเอียดในการชั่ง 0.5 กรัม

"Acetone Blank" ใช้วิธีการชั่งน้ำหนักหรือตวงวัดอะซิโตนที่ใช้ทำเป็นตัวเปรียบเทียบ จากนั้นเทลงบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปล่อยให้ระเหยจนแห้งที่ความดันและอุณหภูมิบรรยากาศนาน 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง จึงนำมาชั่งด้วยตาชั่งที่มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

รูปที่ จ-4 ตารางวิเคราะห์

Plant.....

Date.....

Run No.....

Filter No.....

Amount liquid lost during transport.....

Acetone blank volume,ml.....

Acetone wash volume,ml.....

Acetone blank,mg(equation 5-5).....

CONTAINER NUMBER	WEIGHT OF PARTICULATE COLLECTED Mg.		
	FINAL WEIGHT	TARE WEIGHT	WEIGHT GAIN
1			
2			
TOTAL	xxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxxxxx	

	Volume Of liquid Water Collected	
	Impinger.Volume ml.	Silica Gel. Weight g.
Final		
Initial		
Liquid Collected		
Total Volume Collected		

Covert weigt of water to volume by dividing total weigt increase by density ofwater(lg/mg)

$$\frac{\text{INCREASE,g}}{\text{Lg/ ml}} = \text{VOLUME WATER ,ml}$$

ถ้าต้องการให้อะซิโตนระเหยเร็วขึ้น อาจใช้วิธีให้ความร้อน จะทำให้อะซิโตนระเหยเร็วขึ้น แต่ระวังอย่าให้ความร้อนสูงเกินไป เพราะอะซิโตนไวไฟและมีจุดวาบไฟต่ำ

5.การตรวจสอบความถูกต้อง (Calibration)

อุปกรณ์ต่อไปนี้ควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง

หัวเก็บตัวอย่าง (Probe Nozzle) ต้องมีการตรวจสอบก่อนการใช้งาน โดยใช้ Micrometer วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของหัวเก็บตัวอย่าง ด้วยคาการวัดละเอียด 0.025 มม. หรือ 0.001 นิ้ว ด้วยการวัด 3 ครั้ง ค่าที่ได้จะแตกต่างกัน แต่ค่าความแตกต่างครั้งที่มากกว่ากับครั้งที่วัดได้น้อยไม่เกิน 0.1 มม. หรือ 0.004 นิ้ว ถ้าหัวเก็บตัวอย่างมีลักษณะเป็นรอยแหว่ง รอยเว้า หรือกัดกร่อน ควรตะไบหรือขัด แล้วนำไปปรับความแม่นยำก่อนนำไปใช้

5.2 Pitot tube ถ้าเป็น Pitot tube แบบ S เมื่อมีการประกอบเข้ากับท่อเก็บตัวอย่าง หรือที่วัดอุณหภูมิต้องมีการปรับความแม่นยำก่อน ซึ่งกระทำเช่นเดียวกับ US.EPA Method 2 ข้อ 4

4.2 ระบบการตรวจวัด (Metering System) ก่อนนำไปใช้ในภาคสนามระบบการตรวจวัด ต้องนำมาปรับความแม่นยำตาม APTD-0576 แทนที่การปรับค่าทางกายภาพของเข็มที่อ่านค่าของ dry gas meter ให้สอดคล้องกับที่อ่านค่าได้จาก Wet test meter ค่าคงที่ที่ได้นำมาใช้ปรับค่าที่อ่านได้จาก dry gas meter ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น ก่อนการตรวจสอบระบบการตรวจวัดควรจะตรวจสอบการรั่วเสียก่อน สำหรับระบบการตรวจวัดที่ใช้ diaphram pump การตรวจสอบการรั่วไม่สามารถนำมาใช้ได้ เมื่อเป็นเช่นนี้จึงต้องตรวจสอบการรั่วดังนี้

เปิดปั๊มให้ดูดอากาศ 0.0057 m^3/min หรือ 0.02 ลบ.ฟุต/นาที นาน 10 นาที แล้วหาค่าความแตกต่างของปริมาตรที่อ่านได้จาก Wet test meter กับ dry gas meter นำค่าปริมาตรที่อ่านแตกต่างกันหารด้วย 10 จะได้ อัตราการรั่ว ค่าอัตราการรั่วไม่ควรเกิน 0.00057 m^3

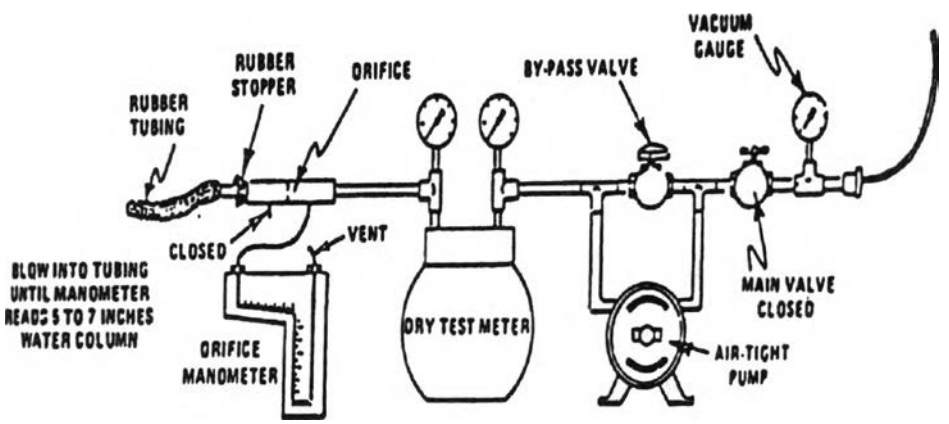
หลังการใช้งานภาคสนามทุกครั้ง ควรมีการตรวจสอบความแม่นยำของระบบการตรวจวัดด้วยการทดสอบความแม่นยำ 3 ครั้งแต่อุปกรณ์ 1 อย่าง เช่น การปรับตั้ง orifice (office setting) โดยการตั้งสูญญากาศที่ค่าสูงสุดที่หาได้ระหวางการทดลอง ใส่วาล์วที่ใช้ปรับความดันเข้าไประหว่าง Wet test meter กับทางเข้าของระบบการตรวจวัด คำนวณหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ปรับความแม่นยำ (Calibration factor) ถ้าค่าที่แตกต่างกันเกิน 5 % ต้องทำใหม่ อาจเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ Orifice meter มาแทนก็ได้ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของ dry gas meter ที่ได้ก่อนและหลังการทดลอง แตกต่างกันเกิน 5% แสดงว่าการทดลองนี้ใช้ไม่ได้

4.3 การปรับความแม่นยำระบบให้ความร้อนท่อเก็บตัวอย่าง (Probe Heater Calibration) สามารถทำได้ก่อนที่จะใช้งานจริง ณ ภาคสนาม โดยปฏิบัติตามข้อเสนอแนะของ APTD-0576 โครงสร้างท่อเก็บตัวอย่างสอดคล้องกับ APTD – 0581 ถ้าใช้ Calibration Curves ของ APTD – 0576 ก็ไม่จำเป็นต้องมีการปรับความแม่นยำ

4.4 เกจวัดอุณหภูมิ (Temperatue Gauges) ดำเนินการเช่นเดียวกันกับ US.EPA method 2 ข้อ 4.3 เมื่อปรับค่าความแม่นยำเกจวัดอุณหภูมิในปล่อง ปรับค่าความแม่นยำของเข็มปัทม์เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิทางออกของ dry gas meter และชุดควบแน่น หรือปรับเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ mercury – in – glass

4.5 ตรวจสอบการรั่วของระบบการตรวจวัด (Leak check of metering system) แสดงไว้ในรูปที่ 28 ควรมีการตรวจสอบการรั่วก่อนและหลังการขนย้ายของชุดเก็บตัวอย่างจากปั๊มไปยัง Orifice meter การรั่วหลังจากปั๊มไปจะมีผลให้ได้ปริมาตรน้อยลงกว่าความเป็นจริง ทำได้โดยการประกอบดังรูปที่ 32 ด้วยการปิดวาล์ว Main ของ Meter Box ใช้ท่อยางที่มี Rubber stopper อุดไว้ที่ทางออก ถอดสายต่อของ Orifice manometer ทาง Low side ออก แล้วเปิดสูบรรยากาศตรง Orifice tap ด้าน Low side ปิด จากนั้นเปิดปั๊มให้ระบบมีความดัน 13–18 ซม. น้ำ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Manometer ใน 1 นาที ถ้าความดันลดลงแสดงว่ามีการรั่วใน meter box

4.6 บารอมิเตอร์ (Barometer) ตรวจความแม่นยำกับบารอมิเตอร์แบบปรอท



รูปที่ จ-5 การตรวจสอบการรั่วไหลของชุดวัดปริมาตร

5.**การคำนวณ** (Calculations)

การคำนวณเผื่อทศนิยมไว้มากกว่าปกติ 1 ตำแหน่ง

4.7 **ความหมายของสัญลักษณ์** (Nomenclature)

An = พื้นที่หน้าตัดหัวเก็บตัวอย่าง หน่วย ตารางเมตร หรือตารางฟุต

Bws = สัดส่วนปริมาตรไอน้ำในอากาศในปล่อง

Ca = ความเข้มข้นของกากอะซิโตนใน Acetone Blank มิลลิกรัม/กรัม

Cs = ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นในปล่อง ในสภาวะอากาศแห้ง และปรับไปที่สภาวะมาตรฐาน หน่วย กรัม/ลูกบาศก์เมตร (สภาวะมาตรฐาน) {g/dscm} กรัม/ลูกบาศก์ฟุต (สภาวะมาตรฐาน) {g/dscf}

I = เปรอร์เซ็นต์ Isokinetic Sampling

La = อัตราการรั่วมากที่สุดที่ยอมรับได้สำหรับตรวจสอบการรั่วแบบ Pretest หรือมีค่าเท่ากับ 0.0057 ลบ.เมตร/นาที หรือ 4% ของค่าเฉลี่ยอัตราการดูดอากาศ

Li = อัตราการรั่วแบบ Individual ซึ่งสังเกตเห็นระหว่างการตรวจสอบการรั่ว ครั้งที่ 1 2.3 (I = 1. I = 2 หรือ I = 3 ... n) หน่วย ลบ.เมตร/นาที

Lp = อัตราการรั่วที่สังเกตพบขณะตรวจการรั่วแบบ Post test หน่วย ลบ.เมตร/นาที

m_n = ปริมาณฝุ่นที่เก็บได้ทั้งหมด หน่วย มิลลิกรัม

Mw = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ 18.0 กรัม/กรัม – โมล 18.0 ปอนด์/ปอนด์ – โมล

m_a = ปริมาณกากอะซิโตนที่เหลือหลังจากระเหยแล้ว หน่วย มิลลิกรัม

Pbar = ความดันบรรยากาศที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง หน่วย มม.ปรอท, นิ้วปรอท

Ps = ความดันสถิตย์สัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง หน่วย มม.ปรอท, นิ้วปรอท

Pstd = ความดันสัมบูรณ์มาตรฐาน

= 760 มา.ปรอท หรือ 29.92 นิ้วปรอท

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

= 0.06236 มม. ปรอท – ลบ.เมตร/ °K – กรัม – โมล

= 21.85 นิ้วปรอท – ลบ.ฟุต/ °R-ปอนด์ – โมล

Tm = อุณหภูมิสัมบูรณ์เฉลี่ยที่อ่านได้จาก dry gas meter หาได้จากรูปที่ 3 หน่วย °K หรือ °R

Ts = อุณหภูมิสัมบูรณ์เฉลี่ยอากาศในปล่อง หาได้จากรูปที่ 3 หน่วย °K หรือ °R

Tstd = อุณหภูมิสัมบูรณ์มาตรฐาน 293 °K หรือ °R

Va = ปริมาตรของก๊าซตัวอย่างที่อ่านได้จาก dry gas meter และปรับไปที่สภาวะมาตรฐาน หน่วย ลบ. เมตร หรือ ลบ.ฟุต

Vaw = ปริมาตรของอะซิโตนที่ใช้ล้าง หน่วย มิลลิลิตร

Vic = ปริมาตรของน้ำหนักทั้งหมดที่จับได้ใน impinger และซิลิกาเจล หาได้จากรูปที่ 4 หน่วย มิลลิลิตร

Vm = ปริมาตรของก๊าซตัวอย่างที่อ่านได้จาก dry gas meter หน่วย ลบ.เมตร (dcm) หรือ ลบ.ฟุต (dcf)

Vm(std) = ปริมาตรของก๊าซตัวอย่างที่อ่านได้จาก dry gas meter และปรับไปที่สภาวะมาตรฐาน หน่วย ลบ.เมตร หรือ ลบ.ฟุต

Vw(std) = ปริมาตรไอน้ำที่อยู่ในก๊าซตัวอย่าง และปรับไปที่สภาวะมาตรฐาน หน่วย ลบ.เมตร (scm) หรือ ลบ.ฟุต (scf)

Vs = ความเร็วของก๊าซในปล่องหาได้จาก US.EPA method 2 ข้อ 5.2 โดยใช้ข้อมูลจากตารางของรูปที่ 3 หน่วย เมตร/วินาที หรือ ฟุต/วินาที

Wa = น้ำหนักของกากอะซิโตนที่ใช้ล้างและระเหยแห้งแล้ว หน่วยมิลลิกรัม

Y = Dry gas meter calibration facfor

H = ค่าเฉลี่ยความดันแตกต่างที่ Orifice meter ดูตารางของรูปที่ 3 หน่วย มม.น้ำ หรือ นิ้วน้ำ

pa = ความหนาแน่นของอะซิโตน ดูที่ข้างขวดหน่วย มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

pw = ความหนาแน่นของน้ำ

= 0.9982 กรัม/มิลลิลิตร หรือ 0.002201 ปอนด์/มิลลิลิตร

= เวลาทั้งหมดที่ใช้เก็บตัวอย่าง หน่วย นาที

= เวลาที่ใช้เก็บตัวอย่างตำแหน่งที่หนึ่ง หน่วย นาที

= ช่วงเวลาที่เปลี่ยนจุดเก็บจากตำแหน่งหนึ่งไปตำแหน่งที่สอง หน่วย นาที

= เวลาที่ใช้ จากการเปลี่ยนแปลงครั้งสุดท้าย จนกระทั่งหยุดเดินเครื่องเก็บตัวอย่าง หน่วย นาที

13.6 = ค่าความถ่วงจำเพาะของปรอท

60 = วินาที/นาที

100 = เปลี่ยนให้เป็นเปอร์เซ็นต์

5.2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของ dry gas meter และค่าเฉลี่ย Orifive pressure drop อยู่ในตารางรูปที่ 3

5.3 ปริมาตรที่อ่านได้ dry gas meter ทำให้ถูกต้องโดยการเปลี่ยนปริมาตรที่อ่านได้จาก dry gas meter ไปที่สภาวะมาตรฐาน 20 ° ซ. 700 มม.ปรอท โดยใช้สมการดังนี้

$$V_{m(std)} = V_m.Y\left(\frac{Tstd}{Tm}\right)\left[\frac{Pbar + \frac{\Delta H}{13.6}}{Pstd}\right]$$

$$= K1V_m.Y\frac{Pbar + \left(\frac{\Delta H}{13.6}\right)}{Tm}$$

เมื่อ Kl = 0.3856 ° K/มม.ปรอท

= 17.67 ° R/นิ้วปรอท

สมการนี้จะใช้ไม่ได้ ถ้าสังเกตเห็นอัตราการรั่วเกิน La นั้นคือ Lp หรือ Li เกิน La ต้องปรับปรุงสูตรการคำนวณใหม่ ดังนี้

() กรณีที่ 1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนของชุดเก็บตัวอย่าง ขณะตรวจวัด แทนค่า Vm ในสมการ 1 หรือ สูตร ดังนี้

$$\left[V_m - (Lp + La)\theta\right]$$

() กรณีที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนหนึ่งครั้งหรือมากกว่า ขณะตรวจวัดให้แทนค่า Vm ในสมการ 1 ดังนี้

$$\left[V_m + (L1 - La)\theta 1\sum(Li - La)\theta i - (Lp - La)\theta p\right]$$

จะได้อัตราการรั่ว Li หรือ Lp ไม่เกิน La

5.4 ปริมาตรไอน้ำ (Volume of water vapor)

$$Vw(std) = V1c\frac{(Pw)(RTstd)}{MwPstd}$$

$$= K2\ Vlc \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots .(2)$$

เมื่อ K2 = 0.001333 ลบ.เมตร/มิลลิลิตร หรือ

= 0.04707 ลบ.ฟุต/มิลลิลิตร

5.5 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

$$Bws = \frac{V_{w(std)}}{B_{m(std)} + V_{w(std)}} \quad \text{.....(3)}$$

5.6 ปริมาณความเข้มข้นของ Acetone Blank

$$Ca = \frac{ma}{VaPa} \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ K = 0.003454 มม.ปรอท – ลบ.เมตร/มิลลิลิตร – °K

= 0.002669 นิ้วปรอท – ลบ.ฟุต/มิลลิลิตร – °R

5.7 น้ำหนักของกากอะซิโตนที่ใช้ล้าง (Acetone Wash Blank)

Wa = Ca Vaw pa ..... (5)

5.8 น้ำหนักฝุ่นรวม (Total Particulate Weight) ได้จากผลรวมฝุ่นทั้งหมด ดูได้จากตาราง ของรูปที่ 4

5.9 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่น (Particulate Concentration)

$$Cs = 0.001\frac{(m_m)}{V_{m(std)}} \quad \text{.....(6)}$$

5.10 การเปลี่ยนหน่วย

จาก	เป็น	คูณด้วย
ลูกบาศก์ฟุต	ลบ.เมตร	0.02832
กรัม/ลบ.ฟุต	กรัม/ลบ.เมตร	35.31

5.11 การเปลี่ยนแปลง Isokinetic (Isokinetic Variation)

5.11.1โดยการคำนวณ จากสูตร

$$I = \frac{^{100}Ts\left(K3Vic + \left(Vm/Tm\right)\left(Pbar + \Delta H/13.6\right)\right)}{60\Theta VsjPaAn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

หรือที่คำนวณจากสมการที่ 8

$$I = \frac{T_s V_{m(std)} Pstd^{100}}{PsVs^{\Theta} AnPs^{60(1-Bws)}}$$

$$= K4\frac{T_s V_{m(std)}}{PsVsAn^{\Theta(1-Bws)}}$$

เมื่อ K4 = 4.32 กรณีที่เป็นหน่วยเมตริก

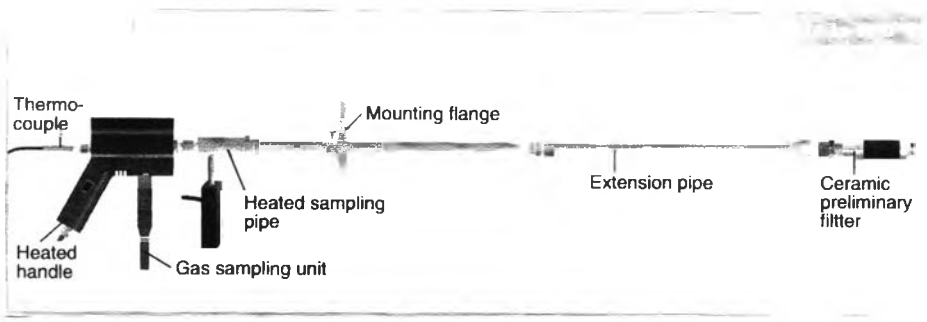
= 0.0945 กรณีที่เป็นหน่วยอังกฤษ

5.11.2 ผลที่ยอมรับได้ ถ้าผลการหาเปอร์เซ็นต์ Isokinetic อยู่ระหว่าง 90 – 110 เปอร์เซ็นต์ ยอมรับได้

ภาคผนวก ฉ
การตรวจวัดแก๊สชนิดต่างๆ

เครื่องมือใช้เป็นแบบ Portable Testo 350 หลักการทำงานโดย Electrochemicall measuring cell วัดค่าได้โดยตรงโดยมีอุปกรณ์ประกอบไปด้วย

1.Industrial probes ทำจากวัสดุสะแต็นเลสเส็นผ่าศูนย์กลาง 8 mm. ยาว 1.2 m. และยังสามารถต่อให้มีความยาวได้อีกโดยมีส่วน Extension pipes ที่จะนำมาต่อตามความยาวที่ต้องการได้ดังรูปที่ ฉ-1



รูปที่ ฉ-1 ลักษณะIndustrial probes

2.Compact gas preparation / Gas drier ทำหน้าที่เตรียมแก๊สโดยจะกำจัดฝุ่นที่มากับแก๊สและลดอุณหภูมิและกำจัดความชื้นออกจาก แก๊สลักษณะอุปกรณ์ดังรูปที่ ฉ-2

รูปที่ ฉ-2 ลักษณะของ Compact gas preparation/ Gas drier

3.Analyser Unit ประกอบด้วย Electrochemical Cell ที่ทำหน้าที่วัดค่า CO , NO_x และ SO_2 โดยมีความสามารถวัดสารต่าง ๆ ได้ดังนี้ CO วัดได้ 0-20,000 ppm,NO_x วัดได้ 0-3,000 ppm. SO_2 วัดได้ 0-5,000 ppm. ลักษณะอุปกรณ์ดังรูปที่ ฉ-3

รูปที่ ฉ-3 แสดงลักษณะของ The Analyser Unit

4.The hand-held instrument ทำหน้าที่แปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าจาก Analyser Unit เป็นตัวเลขที่สามารถอ่านค่าได้โดยอ่านค่าออกมาเป็น หน่วย ppm แล้วส่งข้อมูลไปพิมพ์หรือจะบันทึกข้อมูลก็ได้ ลักษณะอุปกรณ์ดังรูปที่ ฉ-4

รูปที่ ฉ-4 แสดงลักษณะ Hand-held instrument

5.Infrared printer รับสัญญาณจากHand-held Instrument มาพิมพ์ลักษณะอุปกรณ์ดังรูปที่ ฉ-5

รูปที่ ฉ-5 แสดงลักษณะเครื่องพิมพ์

ภาคผนวก ช
การตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำ

1.การวัดค่าของแข็งแขวนลอย(Suspended solids; SS)

1.1 อบกระดาษกรอง GF/C ที่อุณหภูมิ 105 ^{0} C เป็นเวลา 60 นาทีแล้วทำให้เย็นใน Dry Keeper

1.2 นำกระดาษกรอง GF/C ที่เย็นแล้วมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จะได้เป็น **น้ำหนักก่อนอบ**

1.3 ชั่งตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 50 กรัม ในบีกเกอร์ ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

1.4 นำตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมไว้ มากรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองที่ชั่งแล้ว

1.5 ล้างกรวยกรองบีกเกอร์ให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นให้สิ่งเจือปนในน้ำเสียอยู่บนกระดาษกรองทั้งหมด

1.6 นำกระดาษกรองที่ได้ไปอบที่ 103-105 ^{0} C นาน 60 นาที แล้วทำให้เย็นใน Dry Keeper

1.7 นำกระดาษกรองที่เย็นแล้วไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกเป็น **น้ำหนักหลังอบ**

1.8 **คำนวณหาปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในตัวอย่างน้ำเสีย**

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$Suspension\ Solid\ (ppm) = \frac{(น.น.หลังอบ - น.น.ก่อนอบ)x10^{6}}{น.น.ตัวอย่าง}$$

2. การวัด pH วัดโดยเครื่อง Testo 230 เป็น Electrodes probes

รูปที่ ช-1.เครื่องวัด pH

ภาคผนวก ซ
การวัดอัตราการไหลของน้ำ

ใช้เครื่องวัดอัตราการไหลโดยการวัดสนามแม่เหล็ก รุ่น ADMAG AE 100J **ขนาด** 6“
สามารถวัดอัตราการไหลได้ระหว่าง 0 - 636 m^3/hr

รูปที่ ซ-1.เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ(Megnetic flowmeter)

ประวัติผู้วิจัย

นายนิรุต ปัญญาสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 24 เมษายน พุทธศักราช 2516 จังหวัดอุดรธานีสำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีจากมหาวิทยาลัยขอนแก่นเมื่อปีการศึกษา 2539 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2540