

Flow nozzle을 이용한 空氣의 流量 測定

Measurement of Air Flowrate by Flow Nozzle

金 滿 秀

Man Soo Kim

忠南大學校 農科大學

1. 緒 言

流體 흐름의 正確한 測定은 모든 工學徒들에게는 자주 接하게 되는 問題中의 하나이다. 流體가 液體 일 경우에는 그 流速을 比較的 正確하게 測定할 수 있으나 氣體의 경우 매우 느리거나 매우 빠른 流速을 正確히 測定하는 것은 상당히 까다로운 일이며 이를 爲해서는 보다 精密한 測定裝置가 利用되어야 할 것이다.

流體 흐름의 測定裝置나 方法은 여러가지가 있으나 흔히 使用되고 있는 것은 流管의 斷面을 變化시켜 流速과 流量을 測定하는 裝置들(obstruction meters.)로써 orifices, ventri-tube, flow nozzle 등을 들 수 있다. 이들중 orifices는 製作이 容易하고 購入價格이 저렴하며 設置가 쉬운 反面, 損失水頭가 크며 異物質이 含有되어 있는 流體의 流量測定에는 適合치 않은 점이 있고 ventri-tube는 異物質이 含有되어 있는 流體에도 使用이 可能하며 損失水頭가 작은 利點이 있으나 價格이 비싸다는 것이 短點이다. Flow nozzle은 위의 두 測定裝置들의 特性을 고루 가지고 있는 裝置로써 보기에 構造가 아주 간단한 것 같으면서도 flow nozzle의 목부분(throat)의 製作에는 세심한 주의를 기우려야 하므로 公認機關에서 製作된 既成製品을 使用하는 것이 바람직 할 것이다.

空氣와 같은 流體의 流量測定은 液體의 경우 보다 더 까다롭고 우리들이 자주 接하게 되는 문제이므로 여기서는 ASME flow nozzle을 利用한 空氣의 流量測定 方法과 그 實例을 紹介하기로 한다.

2. Flow nozzles의 構造와 設置方法

美國機械工學會의 Power Test Codes에 依하면

流管과 노즐의 直徑比($\beta = \frac{d}{D}$)에 따라 두종류로 나누어지며 그 構造들은 그림 1에서 보는 바와 같다. 노즐의 材料는 高溫이나 流體에 依한 부식에 견딜수 있는 스테인레스 鐵이나 合金材이어야만 하고 常溫의 空氣 流量을 測定할 경우에는 알루미늄을 使用할 수 있으며 물의 경우 壓力이 1724 kPa 과 온도 208°C 以下일때는 銅쇠(brass)를 使用할 수도 있다고 한다.

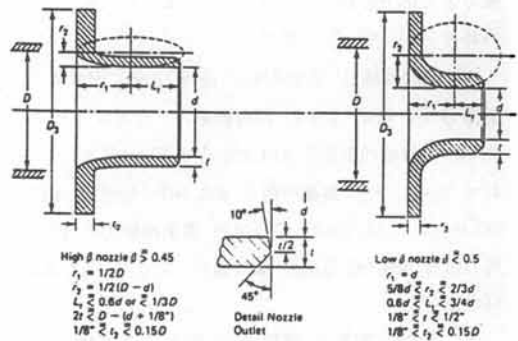


Fig. 1. Dimensional relations for ASME long-radius flow nozzles.

노즐을 設置할 때는 流管直徑의 中心과 노즐 直徑의 中心이 正確히 一致되도록 하여야 하며 노즐의 앞뒤에서 流管을 連結할 경우 流管과 노즐의 直徑比에 關係없이 노즐앞에서의 連結部의 位置는 流管直徑의 10~15배 以上の 位置에서, 노즐 뒤에서는 4~6배 以上の 位置에서 連結하여야 한다. 그림 2는 노즐 앞뒤에서의 壓力測定用탭(tap)의 位置를 圖示한 것이다. 또한 노즐을 plenum chamber의 入口에 設置할 경우에는 노즐 入口쪽의 壓力 P₁은 大氣壓이 되고 出口쪽의 壓力 P₂는 Plenum chamber內的 壓

력이 되며 만약 노즐을 plenum chamber 出口에 設置할 경우에는 그 反對가 된다.

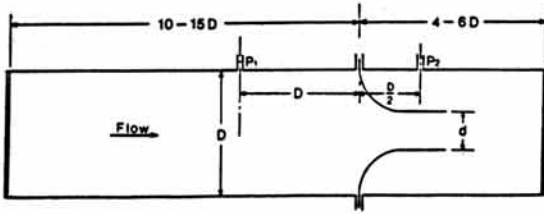


Fig. 2. Location of pressure taps and piping requirements for flow nozzle.

3. 流量測定 方程式과 流量係數

그림 2에서 流管中心線의 1, 2點에서 Bernoulli의 方程式을 適用하면 다음과 같은 式으로 表示된다.

$$\frac{V_1^2}{2} \rho + P_1 = \frac{V_2^2}{2} \rho + P_2 \dots\dots\dots (1)$$

또한 連續方程式으로부터 두點들 間的 流速은 다음과 같은 關係式으로 表示될 수 있다.

$$V_1 = V_2 \left(\frac{d}{D} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

式(2)를 式(1)에 代入하고 V_2 에 對하여 整理하면

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \dots\dots\dots (3)$$

이 되고 流管을 흐르는 流量으로 表示하면

$$Q = C \cdot F V_2 A_2 \dots\dots\dots (4)$$

이 된다.

여기서, Q = 流量, m^3/s .

C = 流量係數, 無次元

F = 速度接近係數 $(1/\sqrt{1-\beta^4})$

A = 流管이나 노즐의 斷面積, m^2

β = 流管과 노즐의 直徑比 $\left(\frac{d}{D} \right)$

ρ = 流體의 密度, kg/m^3

V = 流速, m/s

P = 壓力, Pa

式(3)에서 두點間的 壓力差 $(P_1 - P_2)$ 는 마노메타로 測定할 수 있으며 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$P_1 - P_2 = \gamma_w \cdot H \cdot S \dots\dots\dots (5)$$

여기서, γ_w = 물의 比重量 ($9807 N/m^3$)

H = 마노메타 液柱差, m

S = 마노메타液의 比重, 無次元

流量係數 (C)는 流管과 노즐間的 直徑比 (β)와 流體의 Reynolds 數에 따라 變하는데 大體로 이들間的 關係는 그림으로 表示된 것들이 大部分이다. 따라서 流量은 式(4)로서 計算하는데 이 式에서 流量係數의 決定은 初期의 Reynolds 數를 假定하여 直徑에 따른 流量係數를 求한 後 式(4)에 依하여 流量을 計算하며 다시 이 流量으로 Reynolds 數를 計算하여 流量係數와 流量을 再 決定하는 試行錯誤法을 쓰고 있다. 그러나 여기서는 이러한 번거로움을 피하기 爲하여 流量係數와 Reynolds 數와 關係를 式으로 나타내고 이 式을 (4)式에 代入하여 流量을 Newton-Raphson의 反復法에 依하여 計算하는 方法을 紹介하기로 한다.

直徑比 0.5이고 Reynolds 數가 1,000에서 30,000 사이의 범위에서는 流量係數와 Reynolds 數와 關係를 回歸分析에 依하여 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$C = 0.7233 (Re)^{0.03} \quad (r = 0.9917) \dots\dots\dots (6)$$

$$Re = \frac{4 Q \rho}{\pi D \mu} \dots\dots\dots (7)$$

여기서, Re = Reynolds 數, 無次元

μ = 流體의 絕對粘性係數, $Pa \cdot s$

式(4)에서 式(3), (5), (6), (7)들을 代入하고 整理하면 다음과 같은 式으로 表示할 수 있다.

$$f(Q) = Q - 80.1424 Q^{0.03} \cdot F \cdot H^{0.5} \cdot S^{0.5} \cdot \rho^{-0.47} D^{-0.03} \cdot \mu^{-0.03} \cdot d^2 \dots\dots\dots (8)$$

式(8)에서 流量 以外の 變數들은 주어진 조건에 따라 一定한 값을 가지는 것으로서 적당한 값으로 初期의 流量만 假定해 주면 간단히 求하고자하는 流量을 計算할 수 있다.

流量의 計算式(4)에서 流體의 팽창계수를 考慮치 않았는데 이것은 測定하고자 하는 流體가 氣體라 할 지라도 그 流速이 約 60m/S 以下の 경우에는 非壓縮性 流體로 간주할 수 있고 實際로 農業機械分野에서 應用되고 있는 범위도 大部分이 이 流速 以下일 것이므로 여기서는 그 要素를 배제하였다.

4. 流量의 測定例

여기서 例示한 流量의 測定은 穀物의 送風抵抗에

關한 研究遂行時 送風量을 測定했던 것으로서 送風管의 直徑(D)이 0.0508m(2in)이고 flow nozzle 의 口徑(d)이 0.0254m(1in)인 경우이었다.

式(8)에서 空氣의 物理的인 特性인 密度(ρ)는 壓力과 溫度에 따라 變하지만 여기서는 溫度에 依해서 變하는 것으로 간주하여 다음과 같이 計算하였다.

$$\rho = 1.2929 \times \left(\frac{273.13}{273.13 + t} \right)$$

여기서, t는 空氣의 溫度(°C), 상수 1.2929는 氣溫이 0°C이고 大氣壓이 760mmHg 일때의 空氣의 密

度(kg/m³)이다. 또 空氣의 粘性係數(μ)는 氣溫에 따라서도 크게 變하지 않는, 物理量으로서 大體로 流量의 測定이 常溫에서 遂行된다는 假定下에 0°C 때와 20°C 때의 平均值인 17.848×10^{-6} Pa·S로 하였다.

아래의 컴퓨터 프로그램은 大氣溫이 7°C이고, 마노메타 流體의 比重이 1.02인 경우에 노즐 前後의 壓力差가 水頭로 1mm에서 30mm까지 變함에 따른 空氣의 流量과 流速을 式(8)과 Newton-Raphson의 反復法에 依하여 計算하는 프로그램이다.

```

10 REM *** FLOWRATE MEASUREMENT BY FLOW NOZZLE ***
20 REM *** Q=flow rate, cu.m/s, D1=pipe dia., m, D2=nozzle dia., m ***
30 REM *** F=velocity approach factor, RHO=air density, kg/cu.m ***
40 REM *** MU=absolute viscosity, Pa.s, H=manometer height, mm ***
50 REM *** T=air temp., deg. C, V=average velocity in the pipe, m/s ***
60 T=7: MU=1.7848E-0.5: D1=.0508: D2=.0254: QO=.005
70 RHO=1.2929*273.13/(273.13+T): F=1/SQR (1-(D2/D1)^4)
80 READ N
90 DIM Q(N), H(N), V(N), Z(N), FQ(N), FTQ(N)
100 FOR I=1 TO N
110 READ H(I)
120 NEXT I
130 C1=D1^(-.03)*D2^2*MU^(-.03)*F*RHO^(-.47)
140 FOR I=1 TO N
150 FQ(I)=QO-2.5342*QO^.03*C1*(H(I))^5
160 FTQ(I)=1-.07603*QO^(-.97)*C1*(H(I))^5
170 Z(I) = QO-FQ(I) / FTQ(I)
180 IF ABS(Z(I)-QO) <.000001 THEN 200
190 QO=Z(I): GOTO 150
200 Q(I) = Z(I)
210 V(I) = 4*Q(I) / (3.14159*D1^2)
220 NEXT I
230 LPRINT "===== "
240 LPRINT " H,mm      Q,cu.m/s      V,m/s  "
250 LPRINT "===== "
260 FOR I=1 TO N
270 LPRINT USING "##.####  ###.####  ##.####"; H(I), Q(I), V(I)
280 NEXT I
290 LPRINT "===== "
900 DATA 30
910 DATA 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
920 DATA 25, 26, 27, 28, 29, 30
    
```

위의 프로그램에 의한 出力結果는 아래와 같으며
 同一한 測定裝置로서 類似한 流量의 범위를 反復해
 서 測定할 必要가 있을 경우에는 水頭와 流量이나
 流速에 對한 回歸方程式을 誘導하여 水頭를 正確히
 測定하여 流量이나 流速을 求하는 것도 實驗時間의
 節約의 한 方法이 될 수 있을 것이다.

| H, mm | Q, cu. m/s | V, m/s |
|---------|------------|--------|
| 1.0000 | 0.0019 | 0.9400 |
| 2.0000 | 0.0027 | 1.3436 |
| 3.0000 | 0.0034 | 1.6560 |
| 4.0000 | 0.0039 | 1.9207 |
| 5.0000 | 0.0044 | 2.1548 |
| 6.0000 | 0.0048 | 2.3671 |
| 7.0000 | 0.0052 | 2.5629 |
| 8.0000 | 0.0056 | 2.7455 |
| 9.0000 | 0.0059 | 2.9173 |
| 10.0000 | 0.0062 | 3.0802 |
| 11.0000 | 0.0066 | 3.2353 |

| | | |
|---------|--------|--------|
| 12.0000 | 0.0069 | 3.3837 |
| 13.0000 | 0.0071 | 3.5262 |
| 14.0000 | 0.0074 | 3.6635 |
| 15.0000 | 0.0077 | 3.7961 |
| 16.0000 | 0.0080 | 3.9246 |
| 17.0000 | 0.0082 | 4.0491 |
| 18.0000 | 0.0085 | 4.1702 |
| 19.0000 | 0.0087 | 4.2881 |
| 20.0000 | 0.0089 | 4.4030 |
| 21.0000 | 0.0092 | 4.5151 |
| 22.0000 | 0.0094 | 4.6247 |
| 23.0000 | 0.0096 | 4.7319 |
| 24.0000 | 0.0098 | 4.8368 |
| 25.0000 | 0.0100 | 4.9397 |
| 26.0000 | 0.0102 | 5.0405 |
| 27.0000 | 0.0104 | 5.1396 |
| 28.0000 | 0.0106 | 5.2368 |
| 29.0000 | 0.0108 | 5.3324 |
| 30.0000 | 0.0110 | 5.4264 |



學 位 取 得

姓 名：金 震 顯
 生 年 月 日：1955年 1月 15日
 勤 務 處：尚州農業專門大學
 取 得 學 位 名：農學博士
 學 位 授 與 大 學：慶北大學校
 學 位 取 得 年 月 日：1986年 8月 25日
 學 位 論 文：러그 設計要因이 驅動輪下的 地盤壓力에 미치는 影響