

浮子式 流量計의 性能特性에 關한 研究

(I. 理論的 考察)

金 春 植* · 金 京 根* · 李 英 浩*

A Study on the Performance Characteristics of Float Type Flow Meter

(Part I : Theoretical Study)

C.S. Kim, K.K. Kim, Y.H. Lee

Abstract

Precise measurement of flowrate is considered as an important measuring factor in mechanical and chemical experiment.

Although there are many methods to measure flowrate, Float type flowmeter is widely used because of its easy attachment to piping and high measuring precision. To design the precise float type flowmeter, much design information such as tapered-tube dimensions, float size, float shape and float material is required.

In this paper, fundamental design theory for float type flowmeter according to the given flowrate range is suggested and compensation coefficients of volumetric and weight flowrate for water, R-113 and air are calculated.

記 號 說 明

A_f : 浮子의 最大斷面積

a_1 : 그림(1)의 斷面1의 流路面積

a_2 : 그림(1)의 斷面2의 流路面積

C : 流出係數

C_v : 體積流量의 補正係數

C_w : 重量流量의 補正係數

g : 重力加速度

p : 데이퍼管內의 靜壓

Q : 體積流量

R : 氣體常數

T : 流體溫度

V : 平均流速

V_f : 浮子의 體積

W : 重量流量

Z : 基準面으로 부터의 位置해트

γ : 比重量

Subscript

1 : 그림(1)의 斷面 1

2 : 그림(1)의 斷面 2

o : 熱力學的 標準狀態

d : 流量計의 設計狀態

m : 流量計의 測定狀態

* 正會員, 韓國海洋大學

1. 序 論

流量的 精密한 測定은, 機械工業 및 化學工業 등에서 基本的인 測定項目이라 생각된다. 流量의 測定에는 많은 方法들이 應用되고 있으나¹⁾, 간편하고 精確한 流量測定, 一定流量의 유지를 위한 펌프의 運轉 또는 대형펌프를 利用한 流量分配等은 浮子式 流量計에 의하여 가능하다.

先進國에서는 1960年代에 여러形態의 浮子式 流量計가 實用化되어 研究 및 産業現場에서 使用되고 있으나^{2)~4)}, 우리나라에서는 高價品을 大量 수입에 의존하고 있는 실정이며, 수요량의 급증이 예상된다. 따라서 이의 國產化는 외화의 절약 및 基礎的 機械工學分野의 發展을 위해 필수적이라고 생각된다.

浮子式 流量計는 浮子와 테이퍼管으로 구성되어, 流量에 따라 浮子が 테이퍼管内의 힘의 平衡을 이루는 위치에서 正지하게 되어, 순간적인 流量을 판독 할 수 있게 되어 있다.

실제의 流量計의 設計에 있어서는, 측정유량의 精確도 및 측정범위에 따라서 테이퍼管의 錐수, 浮子の 錐수, 浮子の 形狀 및 浮子の 材質 등을 결정하여야 한다. 그리고, 正해진 테이퍼管에 대하여 적당히 浮子만을 設計交換함으로써 새로운 流量測定範圍를 갖는 流量計를 設計할 수 있어, 製작과정을 간단화 시킬 수 있다.

流量計에 관한 流體力學的 理論解析에 關하여는 參考文獻(5)등의 研究가 있지만, 本 研究에서는 특히 실제의 浮子式 流量計를 設計하는 立場에서, 流量計의 設計에 관한 간략화한 理論을 전개하고, 특히 設計條件(溫度, 壓力)과 測定條件이 相異한 경우에 대비하여 體積流量 및 重量流量의 補正係數에 關한 式을 유도하고, 물, R-113 및 空氣에 關한 試算을 通하여 精確한 流量測定이 可能하게 하였다.

2. 基礎理論

Fig. (1)에서 液體의 유체역학적 손실이 없다고 가정하여, 斷面1과 2간에 Bernoulli 方程式을 적용하면,

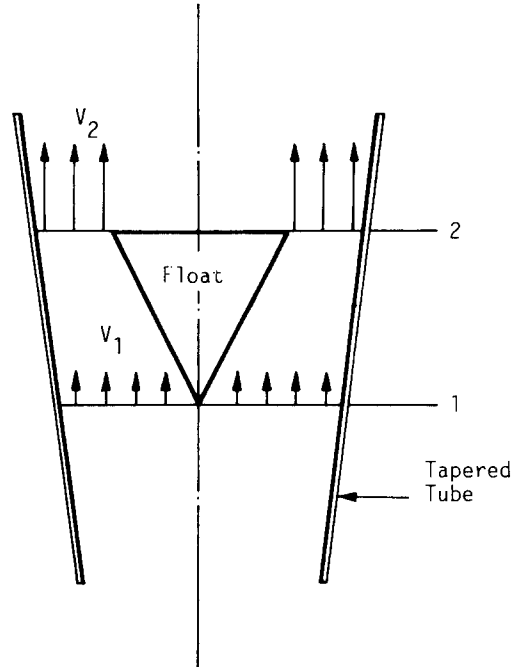


Fig. 1. Principle diagram of float type flow meter.

$$\frac{V_1^2}{2g} \times \frac{P_1}{\gamma_w} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_w} + Z_2 \quad (1)$$

위 式에서, V_1 및 V_2 는 斷面1 및 2에서의 각각의 平均流速을 의미한다. 또한 連續의 法則에서 다음 式이 成立한다.

$$V_1 = \frac{a_2}{a_1} V_2 \quad (2)$$

式(2)를 式(1)에 代입하여 V_2 에 대하여 整理하면 다음과 같이 된다.

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g}{\gamma_w} [(P_1 - P_2) - \gamma_w(Z_2 - Z_1)] / \left(1 - \frac{a_2^2}{a_1^2}\right)} \quad (3)$$

式(3)에서 浮子 상하간에서의 液頭차($Z_2 - Z_1$)은 靜壓差($P_1 - P_2$)에 비하여 미소하므로 이를 생략하면,

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g}{\gamma_w} (P_1 - P_2) / \left(1 - \frac{a_2^2}{a_1^2}\right)} \quad (4)$$

그러므로, 體積流量 Q 는

$$Q = a_2 V_2 = a_2 \sqrt{\frac{2g}{\gamma_w} (P_1 - P_2) / \left(1 - \frac{a_2^2}{a_1^2}\right)} \quad (5)$$

로 표현된다.

그러나, 실제로 浮子式 流量計를 設計하는 問題에 있어서는, 浮子の 静止位置에 따라서 a_2/a_1 의 값이 變化하고, 流路의 斷面積變化에 따른 minor loss 및 마찰손실 등이 존재하며, 이들을 精確히 推定하는 것은 용이하지 않다. 따라서, 이들 제반의 流體力學的 損失에 關하여 流出係數 C 를 도입하여, 式(5)를 다음과 같이 나타낸다.

$$Q = C \cdot a_2 \sqrt{\frac{2g}{\gamma_w} (P_1 - P_2)} \quad (6)$$

상식은 오리피스等에 의한 流量測定方法과 동일하여, 壓力差를 測定하여 流量을 計算할 수 있을을 단순히 의미하고 있다.

그렇지만, 다음과 같이 浮子の 上下間에 作用하는 힘의 평형을 생각함으로써, 浮子式 流量計의 設計에 必要한 重要한 관계式을 얻을 수 있다. 浮子の 最大斷面積을 A_f , 浮子の 比重量은 γ_f , 實驗流體의 比重量을 γ_w 라 하면, 浮子에 대하여 윗방향으로 作用하는 힘은 靜壓差에 의한 힘으로 $A_f(P_1 - P_2)$ 이며, 아랫방향으로 作用하는 힘은 浮子와 測定流體의 比重差에 의한 $V_f(\gamma_f - \gamma_w)$ 이다. 따라서, 浮子が 流量計內의 口の 위치에서 静止하고 있는 靜的 힘의 평형상태에서는

$$P_1 - P_2 = \frac{V_f}{A_f} (\gamma_f - \gamma_w) \quad (7)$$

가 성립한다. 式(7)을 式(6)에 대입하여 정리하면, 體積流量 Q 는

$$Q = C a_2 \sqrt{2g \frac{V_f}{A_f} \frac{(\gamma_f - \gamma_w)}{\gamma_w}} \quad (8)$$

가 된다. 상식은, 浮子式 流量計의 設計에 關한 基礎式으로서 流量의 測定範圍 및 流體의 種類 등이 決定되면, 그에 따른 데이퍼관의 寸수, 浮子の 形狀 및 寸수등을 設計하고, 最終的으로 流出係數 C 를 推定함으로써, 浮子式 流量計의 設計가 原理的으로 可能함을 意味하고 있다.

그렇지만, 실제의 設計에 있어서는, 流量의 測定範圍等에 따라서, 데이퍼관과 浮子와의 最小環狀面積 a_2 를 適正히 選定하고 浮子の 形狀을 잘 決定하여, 流路中에서의 浮子の 安定성을 追求함으로써, 正確한 流量測定의 可能하게 된다.

3. 補正係數의 誘導 및 計算結果

液體用 浮子式 流量計나 氣體用 浮子式 流量計에 있어서, 特定的 設計溫度에 對하여 流體의 比重量 γ_w 를 決定하여, 式(8)에 의하여 流量計를 設計하게 된다. 그러나, 實際의 사용의 경우는, 測定時의 流體溫도와 設計溫도와 一致하지 않기 때문에 流體의 比重量값이 變하므로, 流量計의 눈금에 對하여 補正을 必要로 하게 된다.

3.1. 液體用 浮子式 流量計의 補正係數

液體用의 경우에는 近似的으로 非壓縮性으로서 壓力變化에 따른 比重量 γ_w 의 變化는 거의 無視할 수 있지만, 溫度變化에 대한 比重量의 變化를 고려하여야 한다.

지금, 設計溫度 T_d 에서의 體積流量을 Q_d , 比重量을 γ_{wd} 라 하고, 口的의 測定溫度 T_m 에서의 體積流量을 Q_m , 比重量을 γ_{wm} 라고 하여, 이들을 각각 式(8)에 대입하여 補正係數 C_q 에 대하여 정리하면 다음 식과 같이 된다.

$$C_q = \frac{Q_m}{Q_d} = \sqrt{\frac{(\gamma_f - \gamma_{wm}) \gamma_{wd}}{(\gamma_f - \gamma_{wd}) \gamma_{wm}}} \quad (9)$$

단, 윗식에서 流體의 溫度에 따라 粘度가 變化하며, 이는 流出係數 C 의 값에 영향을 미치지만, 본논문에서는 比較的 溫度變化의 幅이 그다지 크지 않을 경우를 想定하여, C 값의 變化를 無視하였다.

또한, 重量流量의 溫度變化에 대한 補正係數 C_w 는, 重量流量

$$W = \gamma_w Q = C \cdot a_2 \sqrt{2g \frac{V_f}{A_f} (\gamma_f - \gamma_w) \gamma_w} \quad (10)$$

와 같이 一般的으로 表現되므로,

$$C_w = \frac{W_m}{W_d} = \sqrt{\frac{(\gamma_f - \gamma_{wm}) \gamma_{wm}}{(\gamma_f - \gamma_{wd}) \gamma_{wd}}} \quad (11)$$

이다. 윗식에서 W_d 는 設計溫度 T_d 에서의 重量流量, W_m 은 測定溫度 T_m 에서의 重量流量을 나

타낸다. 그러므로 體積流量에 대한 溫度補正係數 C_q 와 重量流量에 대한 溫度補正係數 C_w 사이에는 다음 式이 성립한다.

$$C_w = \frac{1}{C_q} \cdot \frac{(\gamma_f - \gamma_{wm})}{(\gamma_f - \gamma_{wd})} \quad (12)$$

以上の 補正係數에 關한 結果를 實驗流體로서 많이 利用되는 물 및 R-113에 關하여 試算한 것을 以下에서 記述한다. 물의 경우에는, 대개의 경우, 設計條件은 大氣壓에서 常溫인 20°C를 택하는 것이 보통이다. Fig. (2)는 設計溫度 20°C($\gamma_{wd}=998.2 \text{ kg/m}^3$) 일 경우, 測定溫度 T_m 의 變化에 따른 體積流量의 補正係數 C_q 의 計算結果를 나타낸다. 水溫이 70°C 程度로 上昇하였을 경우의 C_q 값은, 設計溫度 $T_d=20^\circ\text{C}$ 의 경우에 比하여 約 1% 程度 增加하므로, 실제의 體積流量은 눈금상의 流量보다 約 1% 增加한 값을 알 수 있다. 그림 (3)은 같은 경우에서, 重量流量의 補正係數 C_w 의 計算結果를 나타낸다. 이 그림에서 測定溫度 $T_m=70^\circ\text{C}$ 로 增加하면, 流體의 密度의 감소로 인하여, 眞의 重量流量은 設計溫度 20°C의 경우에 比하여 約 1% 程度 감소함을 알

수 있다. 단, 그림(2)및 그림(3)의 計算에 있어서 浮子の 比重量 γ_f 에 關하여는, 浮子の 材料는 SUS 304로서, 比重量의 實測值 $\gamma_f=7750\text{kg/m}^3$ 을 채용하였다.

Freon-113($\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$)은 蒸發潛熱이 물의 1/10 정도이기 때문에, 相變化를 同伴하는 沸騰 및 凝縮實驗等에 많이 利用된다. 蒸發溫度는 상당히 낮아서, 大氣壓下에서는 蒸發溫度가 47.5°C 정도이다. 그림(4) 및 그림(5)는, 上述한 물의 경우에서와 같이, 浮子로서 SUS304를 採用하였을 경우, 測定溫度變化에 따른 體積流量의 補正係數 C_q 및 重量流量의 補正係數 C_w 를 各各 나타내고 있다. 단, R-113液의 比重量 γ_w 에 關하여는, 참고문헌(6)을 參照하여 飽和狀態에서의 값을 취하였다. 이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이, R-113의 경우에는 상당히 큰 값의 補正係數 C_q 를 가져, 測定溫度가 50°C로 되면, 設計溫度 20°C에 對하여 體積流量이 約 3% 증가함을 알 수 있다.

液體流量 測定用 流量計는 他方法에 依한 流量測定에 比하여, 높은 精確度를 갖고 使用하기

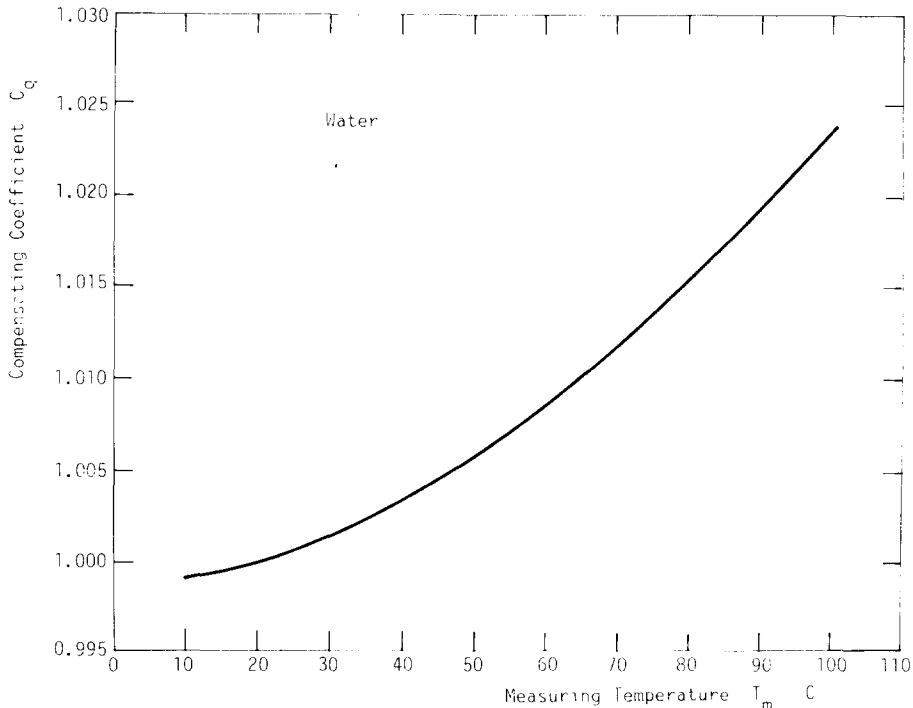


Fig. 2. Volumetric flowrate compensating coefficient of water.

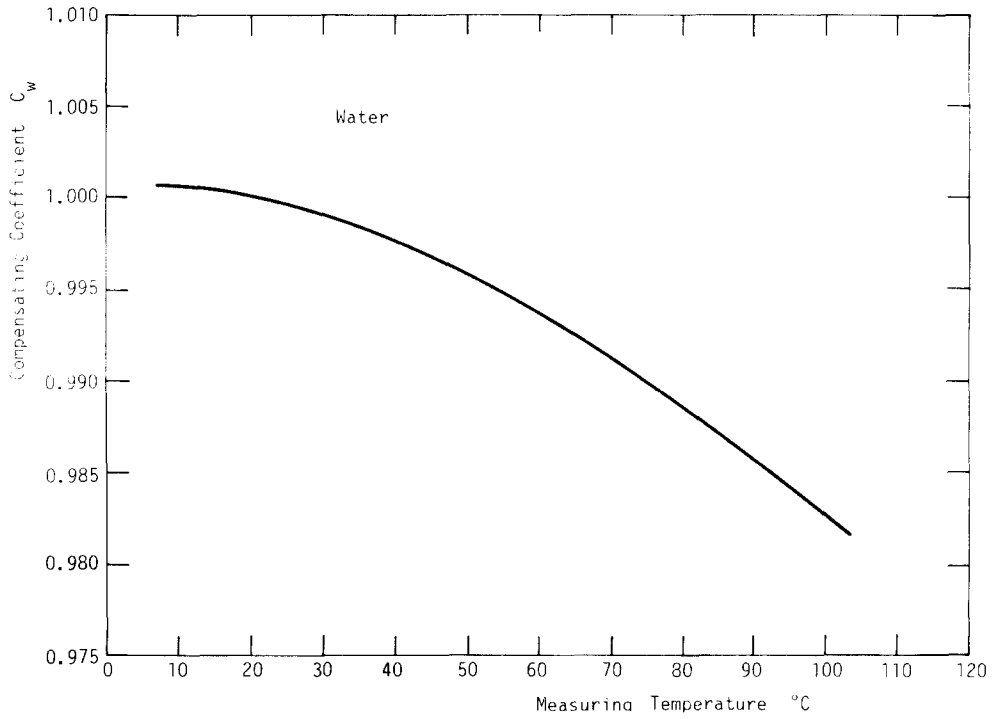


Fig. 3. Weight flowrate compensating coefficient of water.

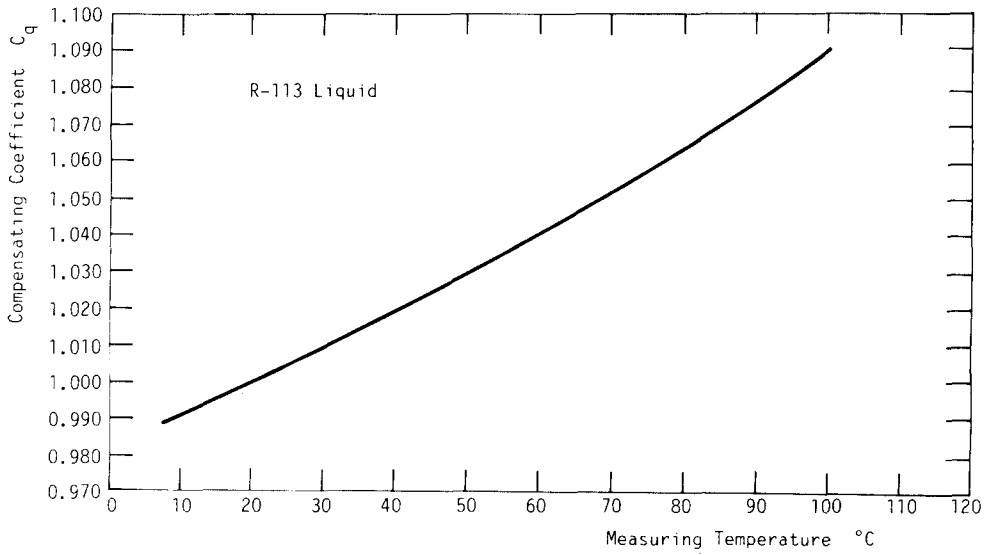


Fig. 4. Volumetric flowrate compensating coefficient of R-113 liquid.

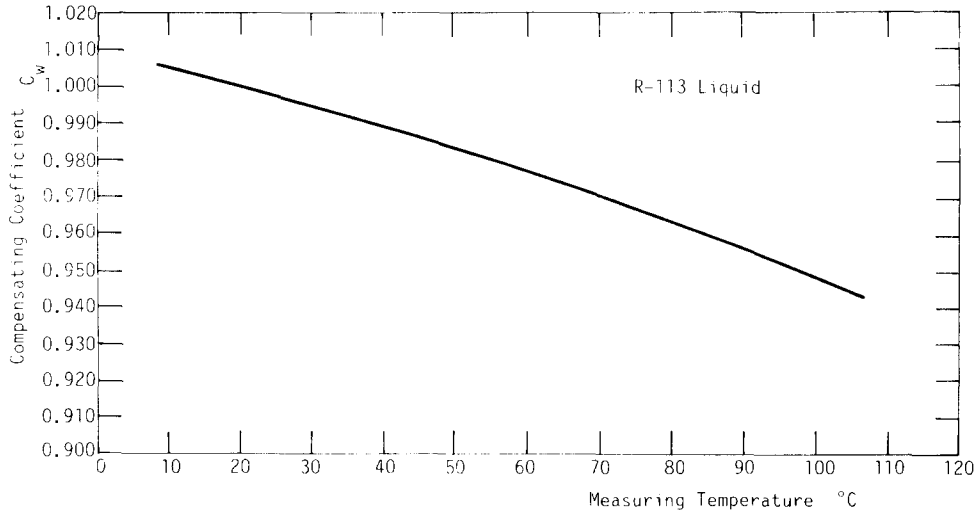


Fig. 5. Weight flowrate compensating coefficient of R-113 liquid.

에 便利하지만, 測定溫度的 變化에 따라 數%의 補正이 必要함을 알 수 있다. 이러한 流量의 測定誤差는, 熱流體分野의 實驗 및 精確性を 要하는 화학프렌트등에서, 無視할 수 없는 것이며, 實驗의 전체적인 許用誤差에 견주어 玆 밀히 고려되어야 할 事項이라 생각된다.

3.2. 氣體用 浮子式 流量計의 補正係數

氣體用의 경우에는, 液體用과는 달리, 溫度뿐만 아니라 壓力에 대한 補正도 必要하게 된다. 또한, 이하에서 記述하는 補正方法은, 氣體의 種類가 바뀌었을 경우에도 應用이 可能하여, 원래와 다른 氣體用으로의 流量計의 轉用이 可能하게 된다.

氣體用의 浮子式 流量計 設計의 基礎式도 물론 式(8)과 같이 表現된다. 玆, 設計溫度 T_d 에서의 體積流量을 Q_d , 比重量을 γ_{wd} 라 하고, 測定溫度 T_m 에서의 각각의 값을 Q_m , γ_{wm} 라고 한다. 氣體의 경우에는 浮子의 比重量 γ_f 에 比하여 γ_{wd} 및 γ_{wm} 의 값이 매우 적으므로 $(\gamma_f - \gamma_{wm}) / (\gamma_f - \gamma_{wd}) \approx 1$ 로 간주할 수 있으므로, 體積流量의 補正係數 C_q 는

$$C_q = \frac{Q_m}{Q_d} = \sqrt{\frac{\gamma_{wd}}{\gamma_{wm}}} \tag{13}$$

로 近似된다. 理想氣體의 狀態方程式을 適用하면

$$\frac{P_d}{\gamma_{wd}} = RT_d, \frac{P_m}{\gamma_{wm}} = RT_m, \frac{P_o}{\gamma_o} = RT_o \tag{14}$$

단, 윗식에서 첨자 d 는 設計狀態를, m 은 測定狀態를, o 는 標準狀態 ($P_o = 1.0332 \times 10^4 \text{ kg/m}^2 \text{ ab}$, $T_o = 273\text{K}$)를 意味한다. 式(14)에서 $\gamma_{wd} / \gamma_{wm}$ 에 대하여 정리하면

$$\frac{\gamma_{wd}}{\gamma_{wm}} = \frac{\gamma_o T_o P_d}{P_o T_d} \cdot \frac{P_o T_m}{\gamma_o T_o R_m} \tag{15}$$

그러므로 體積流量의 補正係數는

$$C_q = \sqrt{\frac{P_d T_m}{T_d P_m}} \tag{16}$$

또한, 重量流量의 補正係數 C_w 는

$$C_w = \frac{W_m}{W_d} = \sqrt{\frac{\gamma_{wm}}{\gamma_{wd}}} = \sqrt{\frac{T_d P_m}{P_d T_m}} \tag{17}$$

또한, 氣體의 種類가 바뀌었을 경우를 想定하여, 設計時의 氣體種類에 대한 첨자를 a , 使用 氣體種類에 對한 첨자를 b 로 表示하여, $\gamma_{wad} / \gamma_{wbm}$ 은

$$\frac{\gamma_{wad}}{\gamma_{wbm}} = \frac{\gamma_{ao} P_{ad} T_{bm}}{\gamma_{bo} P_{bm} T_{ad}} \tag{18}$$

단, $\gamma_{ao} = \frac{P_{ao}}{R_a T_{ao}}$, $\gamma_{bo} = \frac{P_{bo}}{R_b T_{bo}}$ 이다.

以上の 結果를 公기에 대하여 試算한 것이 그림(6)~그림(9)이다. 그림(6)은 壓力이 일정

($P_a=P_m$)일 경우 式(16)에 의해 구한 體積流量의 補正係數 C_v 의 測定溫度의 變化에 대한 값이며, 그림(7)은 溫度일정($T_a=T_m$)일 경우의 測定壓力의 變化에 대한 것이다.

또한, 그림(8)과 그림(9)는 上記의 各各에 相應하는 重量流量의 補正係數 C_w 의 變化를 나타

낸다. 단, 그림(6) 및 그림(8)의 橫軸은 섭씨 온도로, 그림(7) 및 그림(9)의 橫軸은 게이지壓力으로 表示하였다. 上記의 그림에서 알 수 있는 바와 같이 氣體의 경우에는 壓力 및 溫度의 變化에 따라서 比體積의 變化가 크므로, 氣體用 浮子式 流量計는 필히 補正이 要求된다.

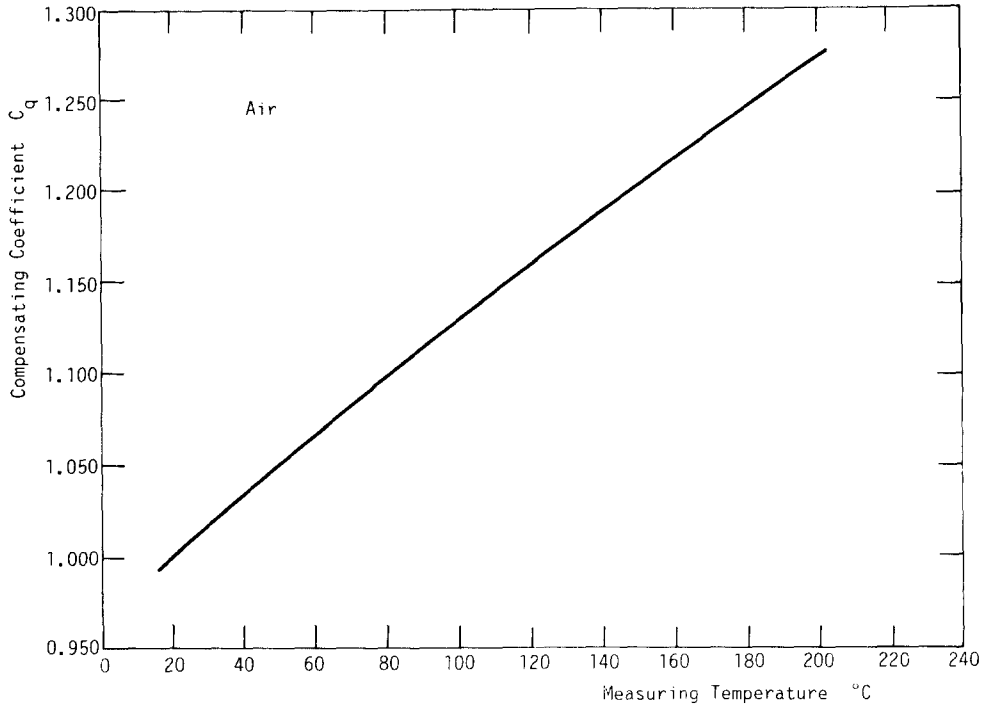


Fig. 6. Volumetric flowrate compensating coefficient of air under the constant pressure.

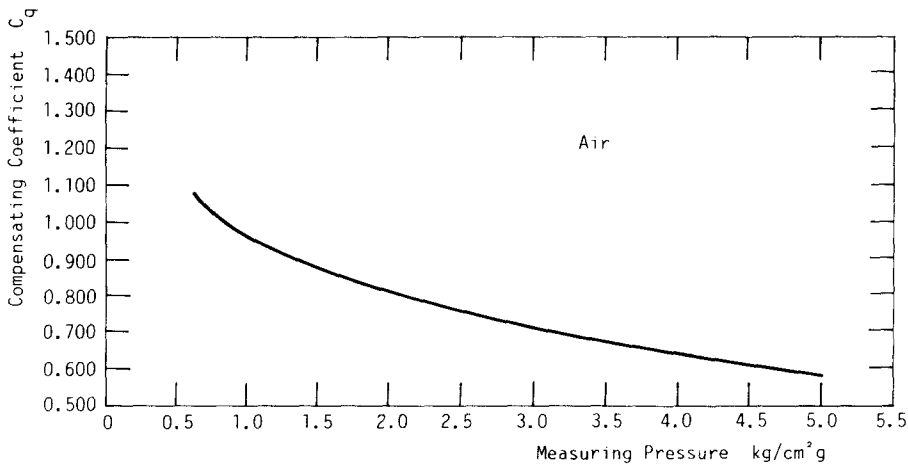


Fig. 7. Volumetric flowrate compensating coefficient of air under the constant temperature.

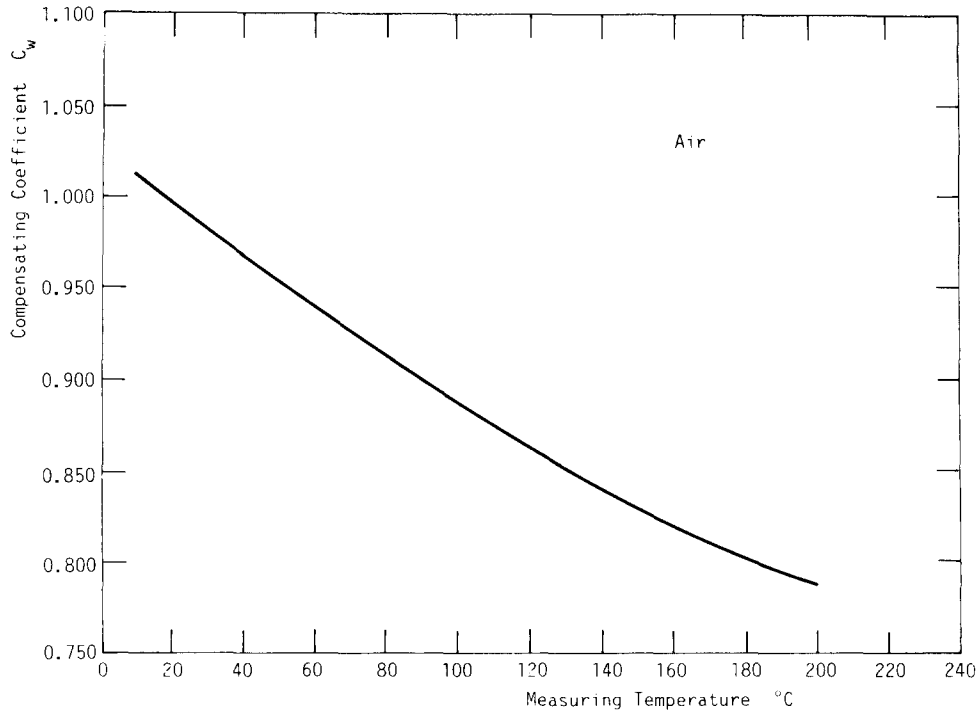


Fig. 8. Weight flowrate compensating coefficient of air under the constant pressure.

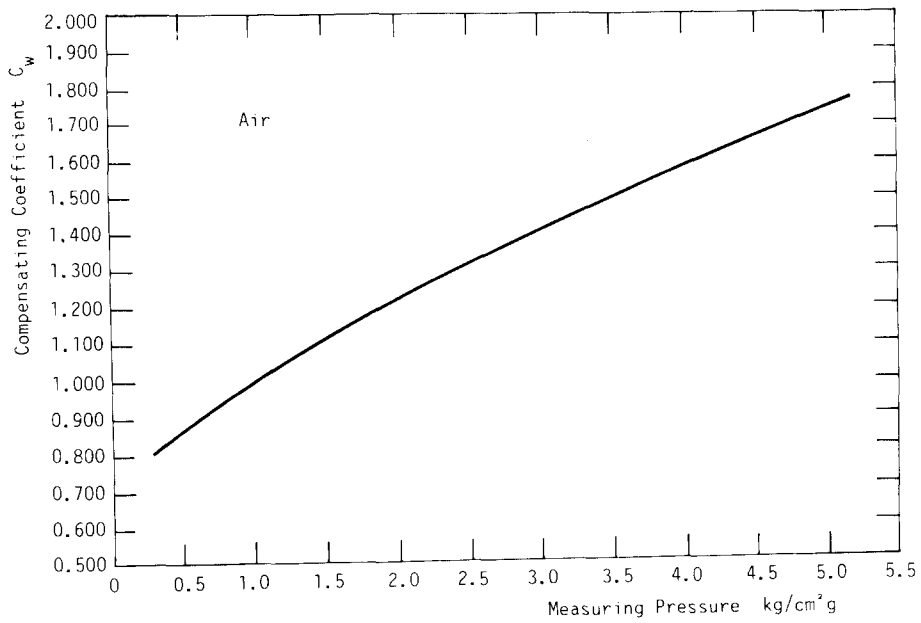


Fig. 9. Weight flowrate compensating coefficient of air under the constant temperature.

또한, 式(18)의 結果를 利用하면, 他用途의 流量計를 轉用할 수 있다. 그렇지만, 式(6)으로 定義되는 流出係數 C 는 테이퍼管内에서의 레이놀즈數에 일차적으로 關係되므로, 特히 粘性係數의 變化를 고려하여 그다지 심하게 레이놀즈數가 變動하지 않는가를 체크해야 한다.

한다.

끝으로, 본연구는 産學協同財團의 研究費支援(1985년도 Matching Fund System에 의함)에 의한 研究結果의 一部임을 여기에 밝히며, 産學協同財團 및 基元産業社에 심심한 사의를 표하는 바이다.

4. 結 論

이상과 같이 精密한 流量測定이 可能한 浮子式 流量計의 設計에 필요한 基礎式을 誘導하고, 實驗 및 産業分野에서 많이 使用되는 물, R-113 및 空氣에 關하여 測定條件이 設計條件과 다른 경우의 體積流量 및 重量流量의 補正係數를 試算한 結果를 기술하였다.

실제의 設計에 있어서는, 流出係數 C 의 값이 浮子和 테이퍼管사이의 環狀流路에 있어서의 레이놀즈數에 크게 의존하므로, 레이놀즈數에 영향을 미치는 (1) 環狀流路의 面積 (2) 流體의 粘性의 變化 (3) 流量의 最大 및 最小 測定幅의 設定等を 면밀히 고려할 필요가 있다. 또한, 주어진 流量의 測定範圍에 關하여 適切한 浮子の 무게를 決定하고, 流路內에서의 浮子の 安定성을 추구하여 測定流量의 再現성이 확실하여야

參 考 文 獻

1. 日本機械學會, 機械工學便覽, Vol. 6(1976)
2. Tentative recommended practice: Terminology, dimensions, and safety practices for indicating glass, metal, and extension type glass tube variable area meters(rotameters), ISA-RP, 16.1~16.3(1961)
3. API: Installing rotameters, Control Engineering, Vol. 7, No. 3(1960)
4. Prediction on gas-flow performance rotameters, Hougen Instruments, Vol. 26, No. 11 (1953)
5. 牧博司: 浮子式 面積流量計의 研究, 日本機械學會論文集, Vol. 39, No. 317 (1973)
6. 金京根: 沸騰二相流における 熱傳達率と 液滴流量, 東京大學 工學部 機械工學科 碩士學位論文(1979)