

천연가스 계량용 오리피스 유량계의 유량계산식 정확도 비교에 관한 연구

(A Study on the Comparism and Analysis of the Flow Rate Equations for the Natural Gas Orifice Flowmeter)

Sang Kook Yun

Department of Refrigeration and A/C Engineering,
Korea Maritime University, Pusan, Korea

1. 서 론

유체의 양을 재기 위하여 오리피스 유량계를 사용하기 시작한 것은 매우 오래 전 일이다. 오리피스 유량계는 구조가 간단하여 경제적이고, 또한 작동이 용이하여 크고 작은 액체 및 기체의 유량계측에 가장 널리 사용되는 유량계 중 하나이다. 그러나 이 유량계로 정확하게 유량계측을 하기 위한 토대가 마련된 것은 최근의 일이며, 이것을 위해 많은 노력과 시간을 투자한 바 있다. 국내 천연가스 공급량을 측정하기 위해 이 오리피스 유량계를 사용하면서 대개의 경우 AGA Report No.3(1955)나 ISO 5167(1980)의 유량계산식을 사용하고 있는데, 아직까지 이 유량계산식들에 대한 연구나 검토를 한 바 없어서 계량오차 분석이나 계량설비 선정 및 설계에 많은 애로가 있는 것이 현실이다.

이러한 국내실정을 감안하여, 본 연구에서는 세계적으로 널리 사용되고 있는 몇가지의 유량계산식을 서로 비교검토하고, 유량의 계산에 영향을 미치는 인자들에 대해 그 영향도를 분석함으로써, 현장에서 계량설비의 운영, 선정 및 설계에 필요로 하는 자료를 축적하기 위한 계산을 수행하였다.

오리피스 유량계의 유량계산식을 비교적 정확하게 도출하기 위한 DATA BASE의 구축 작업은 1932년 미국 Ohio State Univ.(OSU)의 Beitler교수의 실험연구가 최초이다. 오늘날 세계적으로 널리 사용되고 있는 AGA Report No.3(1955)나 ISO 5167(1980)의 유량계산식은 이 DATA BASE로부터 도출된 것이다. 그러나 불행하게도 이 OSU의 실험연구는 물에 대해서만 실험한 것이고, 구축된 DATA BASE 자체에도 몇가지

문제점이 발견되어 이것이 천연가스를 정확히 계량하는데 필요한 유량계산식 도출에 쓰이기에는 부적절하다고 판정된 것은 극히 최근의 일이다. 이러한 취지에서 미국 석유 연구소(American Petroleum Institute, API)와 가스 업체 협회(Gas Processors Association, GPA)에서는 보다 더 광범위하고 포괄적인 DATA BASE를 구축하기 위하여 세계 11개 연구소에 10년동안 연구비(multi-million dollars)를 투자하여 API/GPA DATA BASE를 구축하였고 이와 별도로 비슷한 시기에 구축이 추진되었던 EC DATA BASE와 합쳐서 1990년에 API/GPA & EC DATA BASE를 토대로 하여 새로운 AGA Report No.3(1990) 유량계산식을 공표하였다.

유량계산식에 대한 검토가 전무했던 현재의 국내상황, 그리고 AGA Report No.3(1990)에 실린 새로운 유량계산식의 출현과 관련하여, 이들 유량계산식들을 서로 비교검토하고 기존의 유량계산식에 대해 재평가하는 작업은 반드시 필요한 것이고, 향후 국내 천연가스 공급량이 급속도로 증가하는 추세에 있다는 사실을 감안한다면 이 작업은 매우 중요한 것임에 틀림없다.

본 연구에서 비교검토될 유량계산식은 ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990)에 각각 실려 있는 것들을 대상으로 하였다. AGA Report No.3(1990)는 보다 정확하고 방대한 최근의 DATA BASE로부터 유량계산식이 도출되어 그 정확성이 우수한 것으로 추정되고 있으나, 아직 홍보적인 측면과 공인성이 결여되어 있어서 현재로서는 실제 사용에 기술적인 측면 이외의 어려움이 있다.

한편 국내의 표준(KS)은 KS A 0612(1973년 제정)에 실려 있다. 이 표준은 1969년에 제정되었던 일본표준과 동일한데, 이 일본표준 자체가 액체에 대한 실험자료로부터 얻어진 것이고 주로 액체에 적용하여 사용하던 것으로 기체의 유량에 적용하기에는 부적절하여 일본표준은 이미 1988년에 개정이 되었다. 개정된 이 일본표준은 ISO 5167(1980)을 준용하고 있다. 불행하게도 한국의 표준은 시정되지 않은 채 사용되고 있는 실정이어서 그 정확성과 국제적인 공인성에 많은 문제점을 안고 있다.

2. 유량계산식

유량계산식을 기술하기 위하여 사용된 nomenclature는 ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990) 각각에서 모두 서로 다른 것들이 쓰이고 있다. 본 연구에서는 유량계산식 각 항들의 상호 비교를 용이케하기 위하여 본 연구에서 사용된 nomenclature와 ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990) 각각에서 사용된 것들을 통일하여 정리하였다. (기호설명 참조) 관(tube)을 통해 흐르는 유체의 양을 재기 위하여 베르누이 방정식을 사용하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$q_m = E \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p} \quad (2-1)$$

그러나 위의 식을 유도할 때에는 다음과 같은 가정이 필요하다.

- 유체가 비압축성일 것.
- 점성이 없을 것(따라서 난류와 Reynolds수에 관한 고려가 전혀 없음).
- pressure tapping이 없을 것.

실제의 유동에서 위와 같은 가정을 세우는 것은 무리이며 이때문에 실험치에 근거한 정확한 보정계수가 사용되어야 한다. 이러한 목적의 보정계수가 팽창계수 ϵ 과 유출계수 C_d 이며 이 두 보정계수를 고려하면 식(2-1)은 다음과 같이 된다.

$$q_m = C_d \cdot E \cdot \epsilon \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta p} \quad (2.2)$$

보정계수는 실험자료를 curve fitting함으로써 얻어질 수 있는데, 실험자료가 방대하다더라도 실험범위에 한계가 있고 curve fitting의 정확성에도 한계가 있으며, 또 오리피스 유량계의 자체 특성 때문에 식(2-2)의 사용에도 엄격한 제한, 즉, 사용한계가 주어지고 있다.

표 2-1 팽창계수 계산식

<p>ANSI/API 2530 (1985)</p>	$\epsilon = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \cdot \frac{\Delta p}{k \cdot p_1} \quad \text{for flange taps}$ $\epsilon = 1 - [0.333 + 1.145(\beta^2 + 0.7\beta^5 + 12\beta^{13})] \cdot \frac{\Delta p}{k \cdot p_1}$ <p style="text-align: right;">for pipe taps</p>
<p>ISO 5167(1980)</p>	$\epsilon = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \cdot \frac{\Delta p}{k \cdot p_1}$
<p>AGA Report No.3 (1990)</p>	<p>not commented</p>

2-1. 팽창계수(expansion factor)

유량을 재고자 하는 유체가 비압축성일 때에는 팽창계수 $\epsilon=1$ 이다. 대부분의 액체는 압력이 크게 변하지 않는 한 거의 수축되거나 팽창되지 않으므로 비압축성이라고 볼 수 있다. 그러나 천연가스와 같이 유체가 기체일 때에는 압력에 따라 민감하게 수축하거나 팽창하므로 팽창계수의 크기는 정확하게 계산하여서 유량계산식에 대입하여야 한다. 표 2-1에 ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990)에서 사용하는 팽창계수 산출식들을 정리하였다.

2-2. 유출계수(coefficient of discharge)

유출계수는 유체의 점성과 오리피스스의 형태, 그리고 pressure tapping의 형태등에 따라 달라지는 유량의 보정을 위해 취해지는 계수이다. ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990)에서 사용하는 유출계수 계산식들을 표 2-2, 2-3, 2-4에 각각 정리하였다. 표에 실린 이 식들은 원본에 있는 것을 보다 알기 쉽게 정리하면서 표현의 형태가 조금씩 변형되어 있고 사용된 nomenclature도 고쳐져 있으나, 원본에 있는 식과 완전히 같은 식이다.

2-3. 사용범위

표 2-2, 2-3, 2-4의 각 유량산출식들은 각기 특정 제한속에서만 의미를 갖는다. 이 제한은 오리피스 전후의 meter run길이, 오리피스 플레이트의 flatness, 관내면의 표면거칠기, 오리피스 플레이트의 두께, 관과 오리피스 플레이트의 concentricity, tapping의 형태, straightener의 설치여부 및 설치시 위치, tap hole의 지름, 관지름(D)과 오리피스 지름(d)의 허용오차(tolerance), D, d, 지름비($\beta=d/D$), Reynolds 수등에 주어진다. 오리피스 유량계를 사용하여 유량을 재고자 할 때에는 이들 사용한계를 철저히 검토해야 하고 차압으로부터 유량계산식을 이용하여 유량을 산출할 때에는 D, d, β , Reynolds 수등이 사용한계 범위내에 들어 있는지 반드시 확인해야 한다. ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990) 각각의 사용한계를 표 2-5에 정리하였다.

pressure tapping의 종류는 대체로 flange taps, pipe taps, corner taps의 3가지로 나눌 수 있다. ANSI/API 2530(1985)에는 이중 flange taps와 pipe taps 두가지에만 적용되어 있고, ISO 5167(1980)과 AGA Report No.3(1990)에서는 3가지 모두에 대한 유량계산식이 기술되어 있다.

표 2-2 ANSI/API 2530(1985)의 유출계수 계산식

$$C_d = \frac{E^{-1}}{1 + \frac{15C_1}{10^6 d}} \left[0.5993 + \frac{0.007}{D} + \left\{ 0.364 + \frac{0.076}{D^{0.5}} \right\} \cdot \beta^4 + 0.4 \left\{ 1.6 - \frac{1}{D} \right\}^5 \cdot \left\{ 0.07 + \frac{0.5}{D} - \beta \right\}^{5/2} - \left\{ 0.009 + \frac{0.034}{D} \right\} \cdot \{ 0.5 - \beta \}^{3/2} + \left\{ 3 + \frac{65}{D^2} \right\} \cdot \{ \beta - 0.7 \}^{5/2} \right] \cdot \left\{ 1 + \frac{C_1}{Re_d} \right\} \quad \text{for flange taps}$$

$$C_d = \frac{E^{-1}}{1 + \frac{15C_1}{10^6 d}} \left[0.5925 + \frac{0.0182}{D} + \left\{ 0.440 - \frac{0.06}{D} \right\} \cdot \beta^2 + \left\{ 0.935 + \frac{0.225}{D} \right\} \cdot \beta^5 + 1.35\beta^{14} + \frac{1.43}{D^{0.5}} \cdot \{ 0.25 - \beta \}^{5/2} \right] \cdot \left\{ 1 + \frac{C_1}{Re_d} \right\} \quad \text{for pipe taps}$$

* 및줄 친 부분이 zero보다 작으면 무시(즉, zero로 처리)

$$C_1 = d \cdot (830 - 5000\beta + 9000\beta^2 - 4200\beta^3 + C_2)$$

$$C_2 = \frac{530}{D^{0.5}} \quad \text{for flange taps}$$

$$C_2 = \frac{875}{D} + 75 \quad \text{for pipe taps}$$

$$Re_d = V_o \cdot d \cdot \rho_1 / \mu$$

* D and d are in inches.

표 2-3 ISO 5167(1980)의 유출계수 계산식

$$C_d = C_i + S_1 + S_2$$

$$C_i = (C_i)_{ct} + (C_i)_{tap}$$

$$(C_i)_{ct} = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.1840\beta^8$$

$$(C_i)_{tap} = (C_i)_{up} + (C_i)_{down}$$

$$(C_i)_{up} = 0.0900B \cdot L_1 \quad \text{for } L_1 < 0.4333$$

$$= 0.0390B \quad \text{for } L_1 \geq 0.4333$$

$$(C_i)_{down} = -0.0337L_2 \cdot \beta^3$$

$$S_1 = 0.0029\beta^{2.5} [10^6/Re_D]^{0.75}$$

$$S_2 = 0$$

$$B = \beta^4 / (1 - \beta^4)$$

$$Re_D = V \cdot D \cdot \rho / \mu$$

	corner taps	flange taps	radius taps (pipe taps)
L_1	0	N_1/D	1
L_2	0	N_1/D	0.47

* $N_1 = 1$ when D is in inches.
 = 25.4 when D is in millimetres.

표 2-4 AGA Report No. 3(1990)의 유출계수 계산식

$$C_d = C_i + S_1 + S_2$$

$$C_i = (C_i)_{ct} + (C_i)_{tap}$$

$$(C_i)_{ct} = 0.5961 + 0.0291\beta^2 - 0.2290\beta^8 + 0.003(1-\beta) \cdot M_1$$

$$(C_i)_{tap} = (C_i)_{up} + (C_i)_{down}$$

$$(C_i)_{up} = [0.0433 + 0.0712\exp(-8.5L_1) - 0.1145\exp(-6L_1)] \cdot (1-0.23A) \cdot B$$

$$(C_i)_{down} = -0.0116 [M_2 - 0.52M_2^{1.3}] \cdot (1-0.14A) \cdot \beta^{1.1}$$

$$S_1 = 0.000511 [10^6 \beta / Re_D]^{0.7}$$

$$S_2 = (0.0210 + 0.0049A) \cdot C \cdot \beta^4$$

$$M_1 = \max [2.8 - D/N_1, 0]$$

$$M_2 = 2L_2 / (1-\beta)$$

$$A = [19000 \beta / Re_D]^{0.8}$$

$$B = \beta^4 / (1-\beta^4)$$

$$C = [10^6 / Re_D]^{0.35} \quad \text{for } Re_D \geq 3500$$

$$= 30.0 - 6500 Re_D / 10^6 \quad \text{for } Re_D < 3500$$

$$Re_D = V \cdot D \cdot \rho_1 / \mu$$

	corner taps	flange taps	radius taps (pipe taps)
L ₁	0	N ₁ /D	1
L ₂	0	N ₁ /D	0.47

* N₁ = 1 when D is in inches.
= 25.4 when D is in millimetres.

표 2-5 각 식의 사용한계

tapping 종류	ANSI/API 2530(1985)		ISO 5167 (1980)			AGA Report NO. 3. (1990)
	flange taps(inch)	pipe taps(inch)	corner taps (mm)	flange taps (mm)	radius taps (pipe taps) (mm)	(inch)
D	$1.687 \leq D \leq 29.250$	$1.687 \leq D \leq 29.250$	$50 \leq D \leq 1000$	$50 \leq D \leq 760$		$1.687 \leq D \leq 29.250$
d	$d \geq 0.250$	$d \geq 0.250$	$d \geq 12.5$	$d \geq 12.5$		$d > 0.45$
β	$0.15 \leq \beta \leq 0.70$	$0.20 \leq \beta \leq 0.67$	$0.23 \leq \beta \leq 0.80$	$0.2 \leq \beta \leq 0.75$		$0.10 \leq \beta \leq 0.75$
Rep	not commented		$0.23 \leq \beta \leq 0.45$ 일때, $5000 \leq \text{Rep} \leq 10^8$ $0.45 < \beta \leq 0.77$ 일때, $10000 \leq \text{Rep} \leq 10^8$ $0.77 < \beta \leq 0.80$ 일때, $20000 \leq \text{Rep} \leq 10^8$	$1260D \cdot \beta^2 \leq \text{Rep} \leq 10^8$		$\text{Rep} > 4000$

3. 유량계산식의 계산

3-1. 계산방법

계산에 필요한 모든 인자들이 결정되면 질량유량, q_m 을 계산할 수 있다. 그러나 유량계산식 모두가 q_m 에 대해 음함수의 형태를 갖기 때문에 기초적인 수학적 해법이나 혹은 간단한 수치적 기법이 사용되어야 한다. 각각의 유량계산식에 대한 계산방법은 간단한 iteration 기법인 Newton-Raphson법을 이용하여 computer로부터 해를 구하였다.

계산에 필요한 모든 인자는 일단 일정한 값으로 고정하여 놓았다. 이 값들은 평택 LNG 인수기지의 고저압측 배관 계량기들의 여러 실측치들을 사용하였으며 그중 대표적인 값은 표 3-1과 같다.

표의 값은 압력 $68\text{Kg}/\text{cm}^2$ 인 고압측 천연가스 배관의 유량계측에 사용된 현장 Orifice 계량기의 조건이다.

표 3-1. 계산에 적용한 상수 대표값

D	15.246 inch
d	10.459 inch
k	1.2175
μ	$1.24 \times 10^{-5} \text{kg/ms}$
ρ_1	64kg/m^3
ρ_b	0.808kg/m^3
Δp	0.3kgf/cm^2

3-2. 검토범위

본 계산에서 비교, 검토한 사항은 다음의 3가지이다.

- 상류 유체밀도(ρ_1)의 값이 계산결과에 미치는 영향.
- 유체의 점성계수(μ)의 값이 계산결과에 미치는 영향.
- 유체의 비열비(κ)의 값이 계산결과에 미치는 영향.
- tapping 형태에 따른 각 유량계산식간의 계산결과비교
 - flange taps : ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990)
 - pipe taps : ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990)
 - corner taps : ISO 5167(1980), AGA Report No.3(1990)

각 유량계산식간의 계산결과 비교에서 pipe taps에 대한 것 중 ANSI/API 2530(1985)가 비교되지 않은 이유는, ANSI/API 2530(1985)의 pipe taps은 다른 것과 tapping의 위치가 틀리기 때문이고, corner taps에 대한 비교에서 ANSI/API 2530(1985)가 빠진 것은 ANSI/API 2530(1985)에 corner taps가 빠져 있기 때문이다.

4. 결과 및 검토

그림 4-1은 유량계산식에 상류밀도(ρ_1)의 값이 다르게 들어갈 때 값이 질량유량의

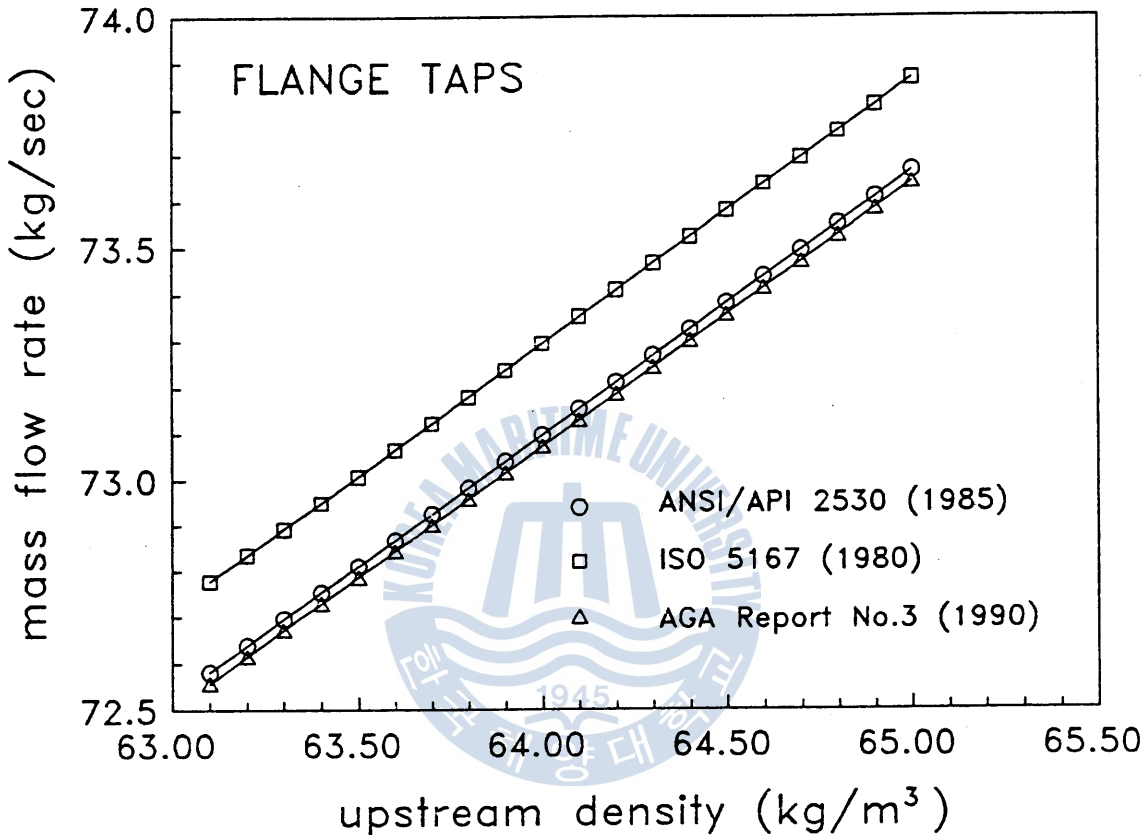


그림 4-1 상류밀도가 Flange taps의 질량유량 계산에 미치는 영향

계산결과에 어떠한 영향을 미치는가를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 질량유량(q_m)은 상류밀도(ρ_1)에 대해 거의 선형적으로 변한다. 대체로 ρ_1 의 값이 1% 변하면 q_m 의 값은 0.5% 정도가 변한다. 이러한 선형성은 ρ_1 이 미세하게 변할 때만 나타나는 것이며 실제로 ρ_1 의 값이 크게 변하면 q_m 에 대한 선형성은 사라진다.

유량계산식간 차이는 ISO 5167(1980)을 기준으로 할 때, ANSI/API 2530(1985) A가 대체로 0.27% 작게 계산되고, AGA Report No.3가 대체로 0.3% 작게 계산된다.

그림 4-2는 똑같은 조건에서 pipe taps인 경우에 대해 ρ_1 의 값이 다르게 들어갈 때

q_m 에 미치는 영향을 ISO 5167(1980), AGA Report No.3 두가지 유량계산식에 대해 나

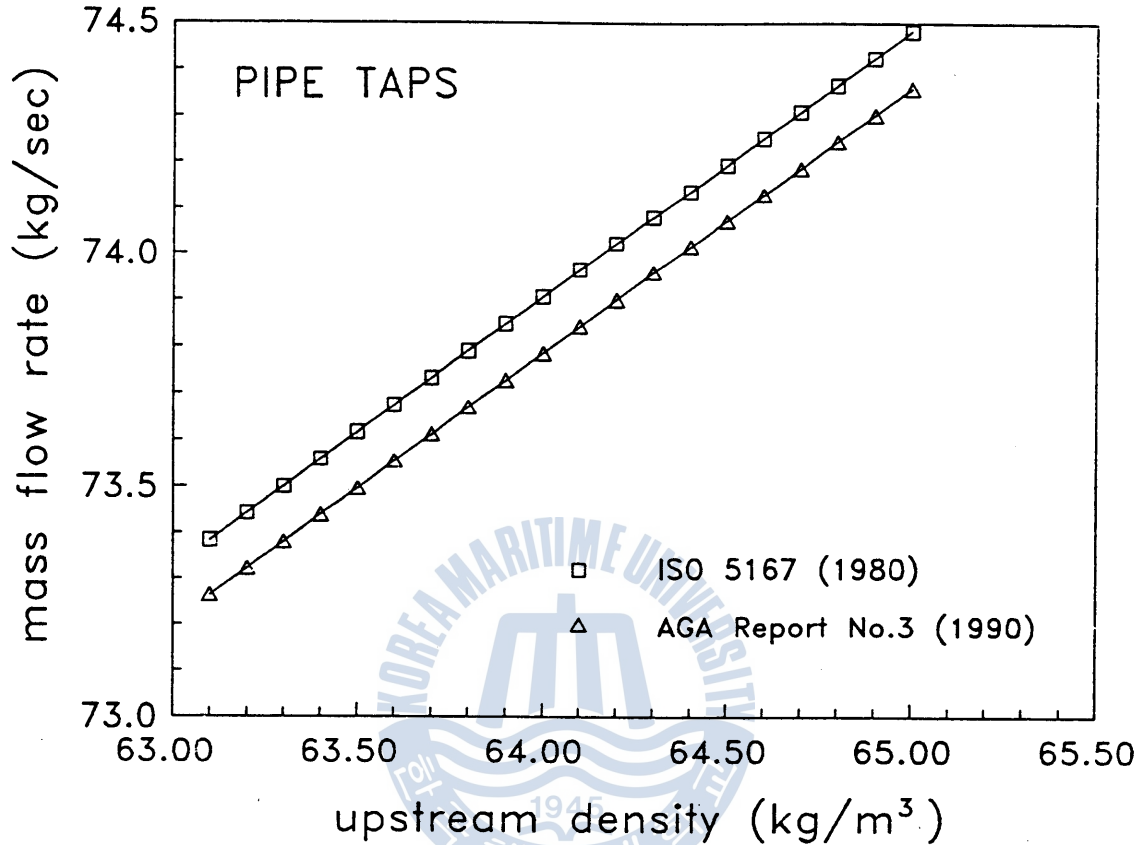


그림 4-2 상류밀도가 Pipe taps의 질량유량 계산에 미치는 영향

타낸 것이다. 이 경우에도 ρ_1 과 q_m 사이의 선형성이 그대로 나타나고 있다. 또, ρ_1 의 값이 1% 변하면 q_m 의 값은 0.5% 정도가 변한다. 유량계산식간 비교는 ISO 5167 (1980)을 기준으로 할 때, AGA Report No.3가 대체로 0.16% 작게 나온다. 그림 4-3도 corner taps라는 점 이외에는 다른 조건이 앞서의 두 그림의 경우와 똑같다. 이때에도 ρ_1 과 q_m 사이의 관계는 마찬가지로 나타나고 있다.

유량계산식간 비교는, ISO 5167(1980)을 기준으로 할 때, AGA Report No.3가 대체로 0.15% 정도 작게 나온다.

그림 4-4, 5, 6은 계산에 들어가는 인자들이 표 3-1에 나와 있는 값을 가질 경우에 다르게 들어가는 점성계수의 값이 질량유량에 주는 영향을 도시한 것이다. 세 그림 모두에서 나타나 있는 것과 같이 점성계수 μ 와 질량유량 q_m 의 관계는 대체로 선형성

을 유지하고 있고, μ 의 값이 다소 크게 변하더라도 q_m 의 값은 아주 미세하게 변한다. 수치적으로 확인해 보면, μ 의 값이 1% 변할 때 q_m 의 값은 0.0007% 이하로 변화한다. 그림 4-4는 flange taps인 경우인데, 유량계산식간 비교는 ISO 5167(1980)을 기준으로 할 때, ANSI/API 2530(1985)가 0.27% 정도 작게 나오고, AGA Report No.3가 0.28에서 0.34% 정도 작게 나온다. 그림 4-5는 pipe taps인 경우이며, 유량계산식간 비교는 ISO 5167(1980)을 기준으로 할 때, AGA Report No.3(1990)가 0.14에서 0.20% 정도 작게 나온다. 그림 4-6은 corner taps인 경우이고, 유량계산식간 비교는 ISO 5167(1980)을 기준으로 할 때, AGA Report No.3(1990)가 0.12 ~ 0.19% 정도 작게 나온다.

그림 4-7, 8, 9는 계산에 들어가는 인자들이 표 3-1에 나와 있는 값을 가질 경우에 다르게 들어가는 비열비의 값이 질량유량에 주는 영향을 도시한 것이다. 세 그림 모두에서 나타나 있는 것과 같이 비열비, k 와 질량유량 q_m 의 관계는 대체로 선형성을 유지하고 있고, k 의 값이 1% 변할 때 q_m 의 값은 0.002% 이하로 변화한다. 그림 4-7은 flange taps인 경우인데, 유량계산식간 비교는, ISO 5167(1980)을 기준으로 할 때, ANSI/API 2530(1985)가 0.27% 정도 작게 나오고, AGA Report No.3가 0.30% 정도 작게 나온다. 그림 4-8은 pipe taps인 경우이며, 유량계산식간 비교는, ISO 5167(1980)을 기준으로 할 때, AGA Report No.3(1990)가 0.15% 정도 작게 나온다.

유량계산시에 다르게 들어가는 계산인자들의 영향에 대한 계산결과를 분석하여 보면, 상류밀도 ρ 는 질량유량계산에 가장 영향이 큰 계산인자임을 이 표로부터 알 수 있는데, pressure tapping의 종류나 다른 조건에 따라 약간씩 차이는 있지만 대체로 ρ_1 이 1% 달라지면 q_m 은 0.5% 정도 변하고 있음을 알 수 있다. 이것은 유량계산식 (2-2)에서 ρ_1 의 값이 C_d 에 영향을 주는 것 보다는 $\sqrt{2\rho_1\Delta p}$ 에 보다 큰 영향을 준다는 사실을 암시하고 있다. ρ_1 의 오차가 유량계산의 정확성에 크게 작용하는 한, ρ_1 을 어떤 방법으로 산출해 내든, 정밀하지 않으면 안된다. 실제로 이 ρ_1 의 값을 결정해 주기 위해서 사용되는 방법은 크게 3가지로써, G/C를 이용하는 방법, 실밀도계를 이용하는 방법, 기준밀도계와 상태방정식을 이용하는 방법이 있다. 이 중 어떤 방법을 선택하여 상류 밀도를 추정해 내든, 질량유량계산에 0.1% 이상의 영향을 주지 않으려면 상류밀도 측정의 오차는 0.2% 이내 이어야만 한다. 또한 점성계수의 질량유량계산에 미치는 영향은 아주 미세하다. 따라서 점성계수의 값을 알기 위해 별도의 정밀한 장비를 쓸 필요는 전혀 없으며 사용조건에 가까운 적절한 온도, 압력, 조성에서의 점성계수 값을 취해 주면 된다. 극한적인 예를 들어 천연가스 점성계수의 값을 추산할 때 천연가스 조성을 메탄 100%로 하거나 에탄 100%로 하더라도 점성계수는 각각 1.180×10^{-5} , $0.852 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$ 로 되어 그 차이가 42.7%로 되며 질량유량계산결과는 0.02% 이내로 되어 거의 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있다.

마찬가지로 비열비의 질량유량계산에 미치는 영향은 다소 미세한 편이다. 각 성분 간 비열비 차이가 크게 나지 않음을 볼 수 있는데, 따라서 비열비의 값이 잘못 들어감으로써 질량유량계산에 오류가 생기는 것은 있을 수 없다. 극한적인 예를 들어 천연가스 비열비의 값을 추산할 때 천연가스 조성을 메탄 100%로 하거나 에탄 100%로 하더라도 비열비는 각각 1.305, 1.192으로 되어 그 차이가 8.7%로 되며 질량유량계산결과는 0.08% 이내로 되어 거의 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있다.

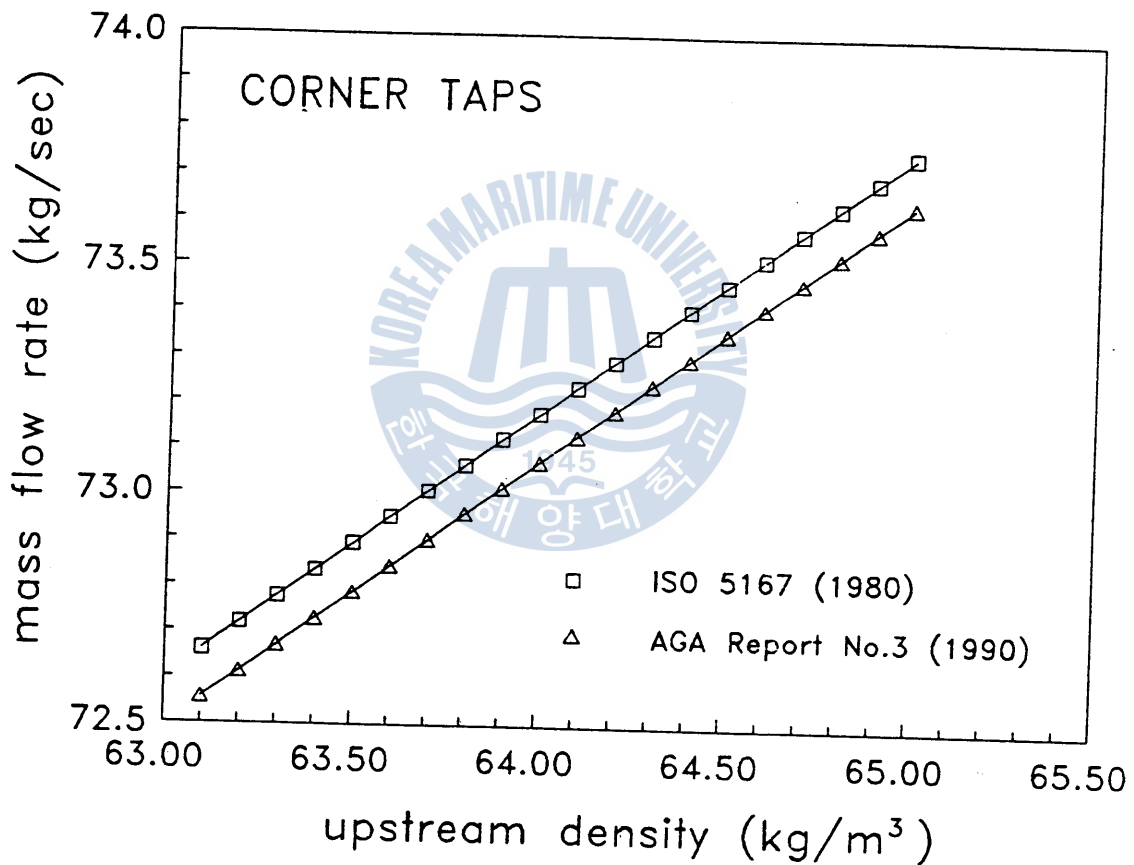


그림 4-3 상류밀도가 Corner taps의 질량유량 계산에 미치는 영향

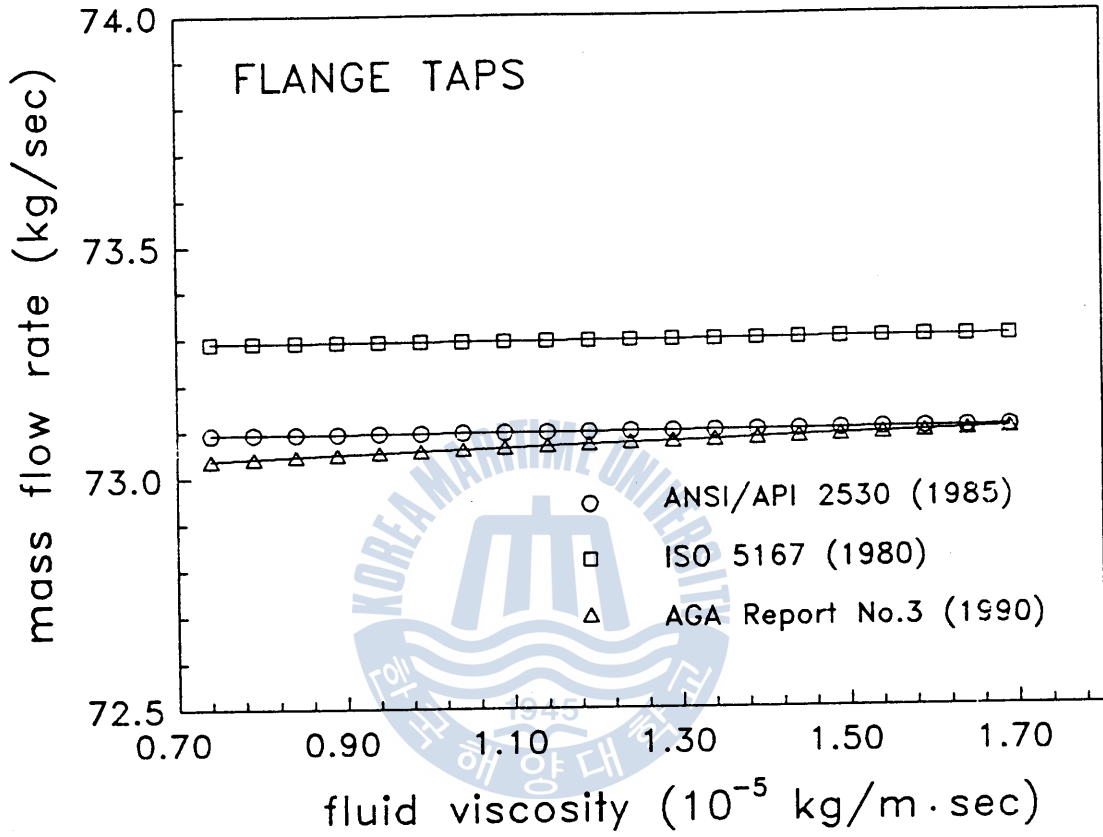


그림 4-4 점성계수(μ)가 Flange taps의 질량유량 (q_m)에 미치는 영향

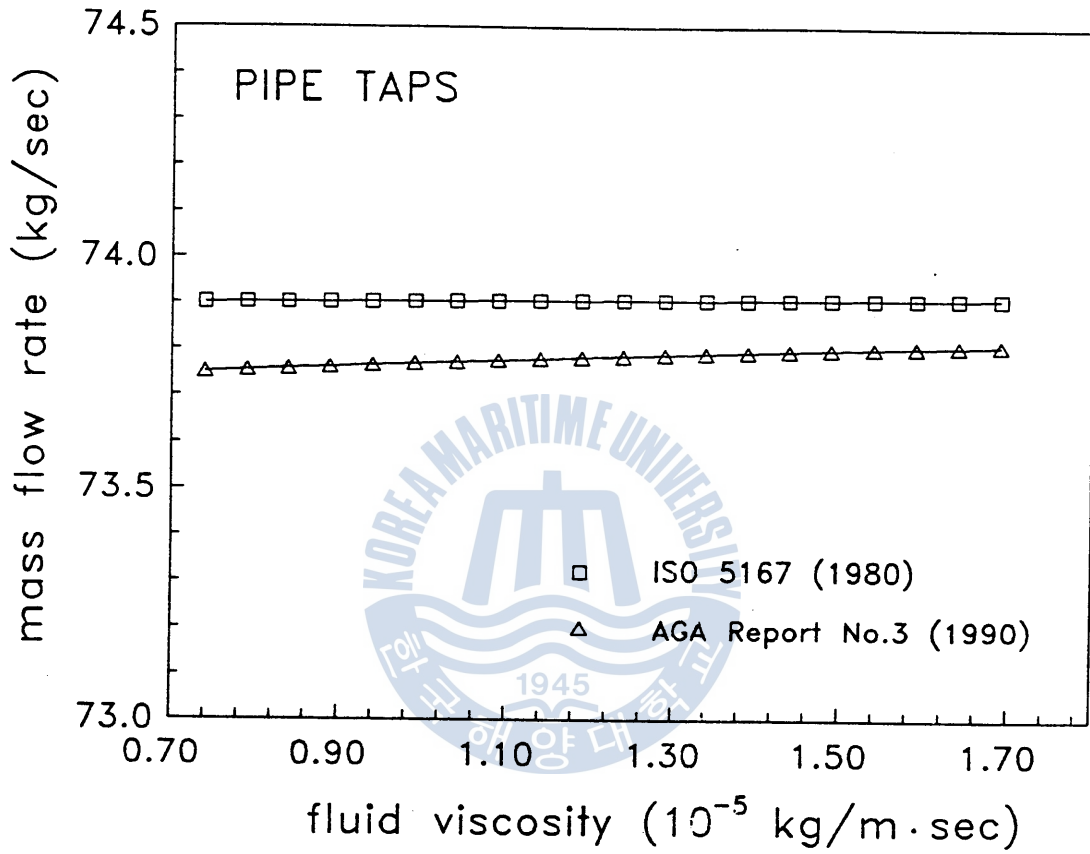


그림 4-5 점성계수가 Pipe taps의 질량유량에 미치는 영향

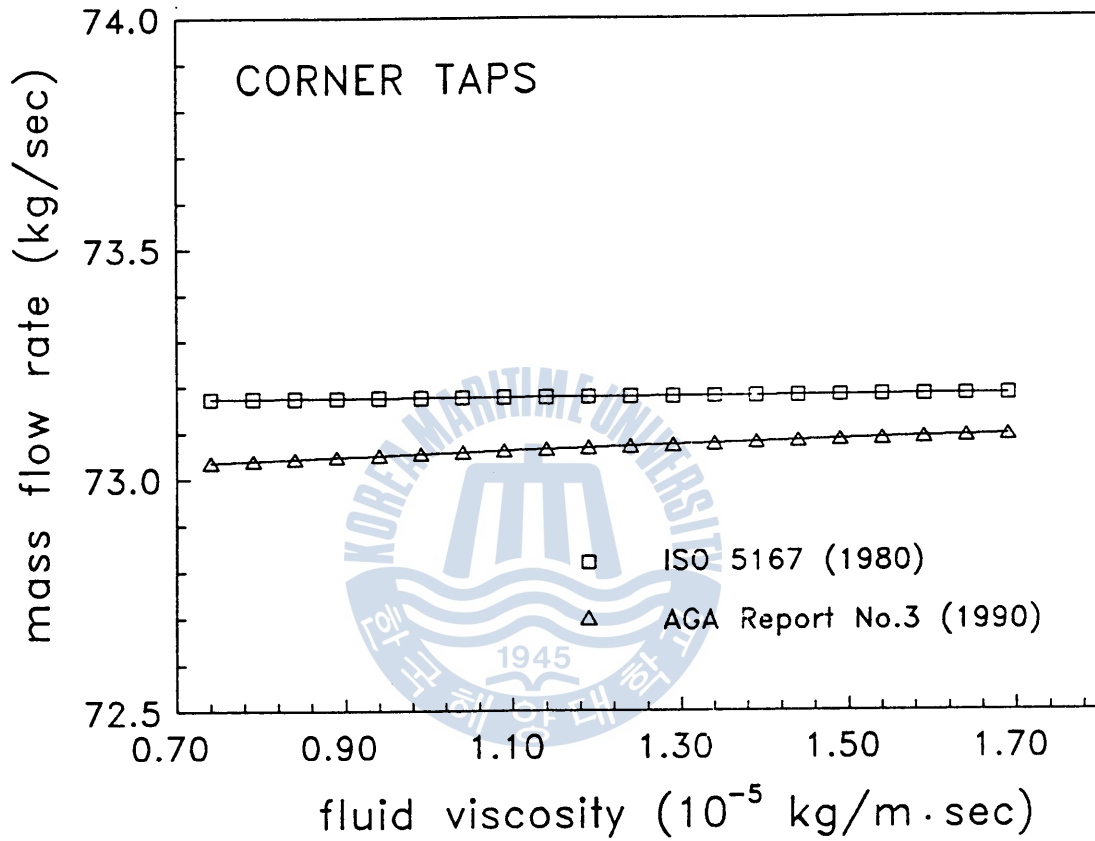


그림 4-6 점성계수가 Corner taps의 질량유량에 미치는 영향

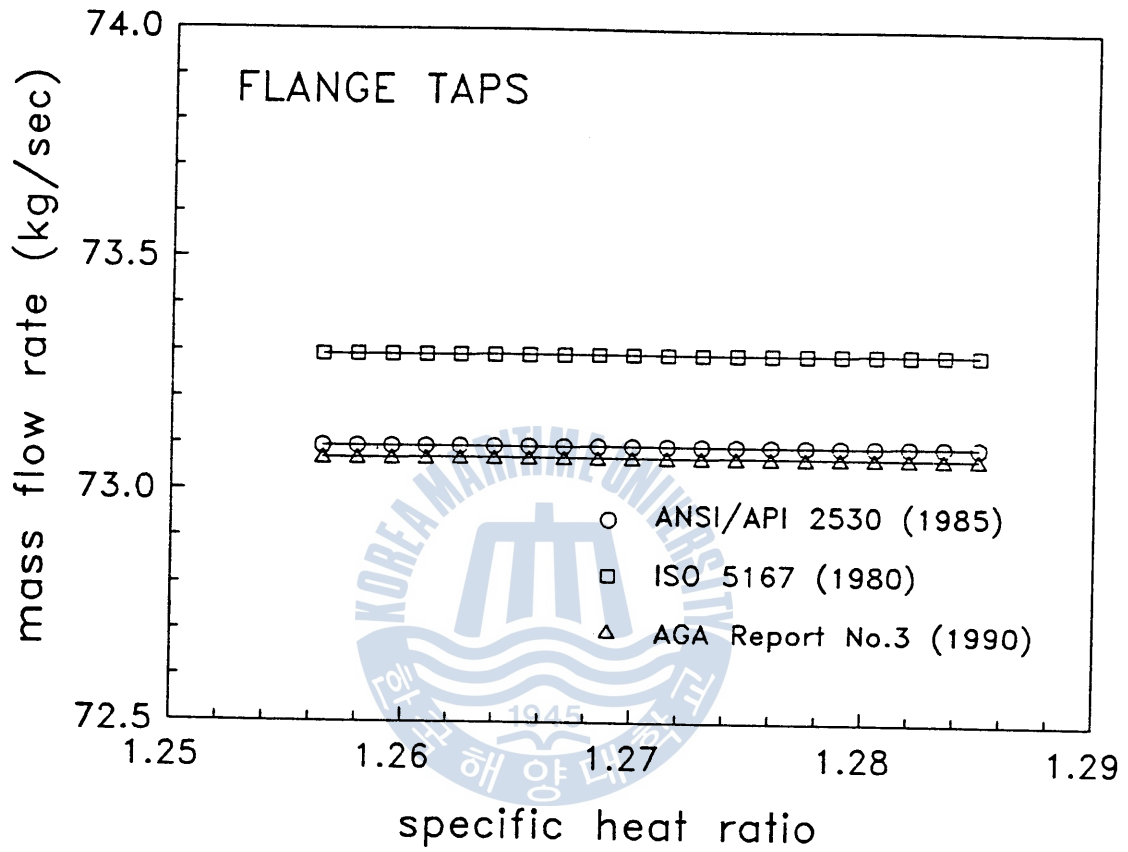


그림 4-7 비열비가 Flange taps의 질량유량에 미치는 영향

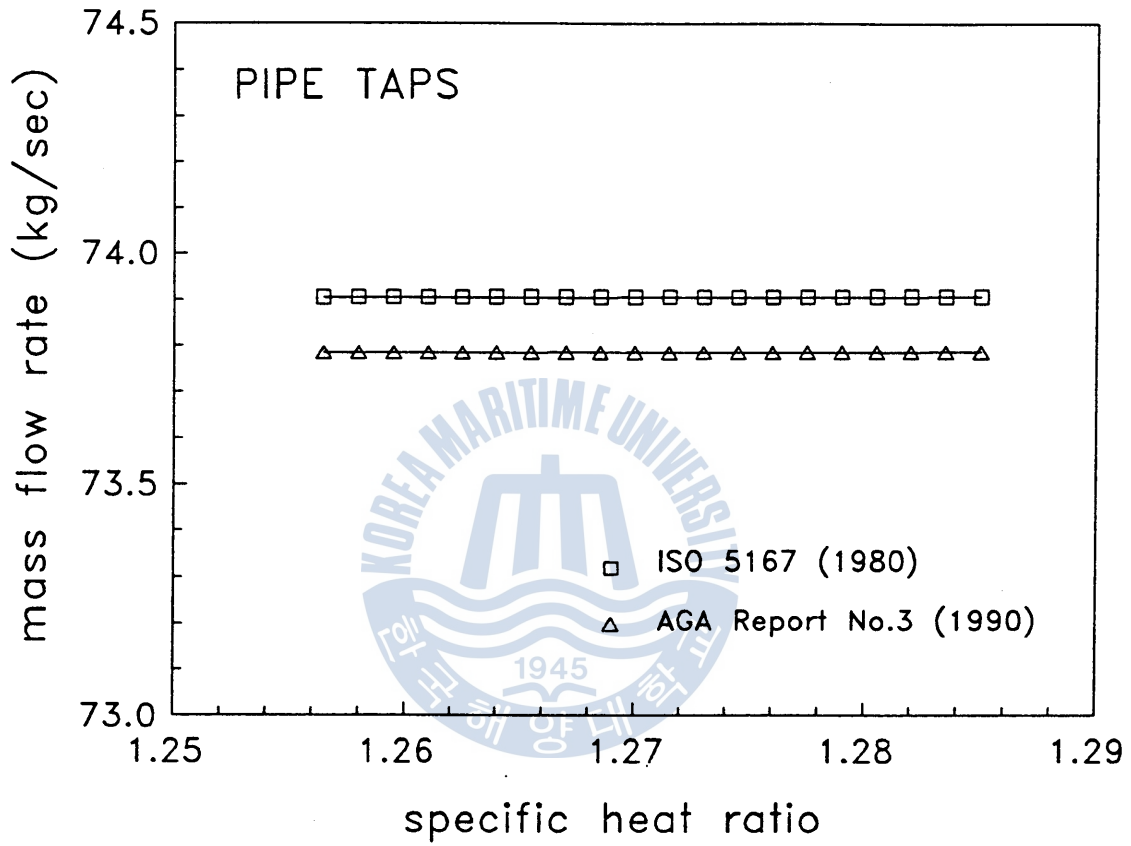


그림 4-8 비열비가 Pipe taps의 질량유량에 미치는 영향

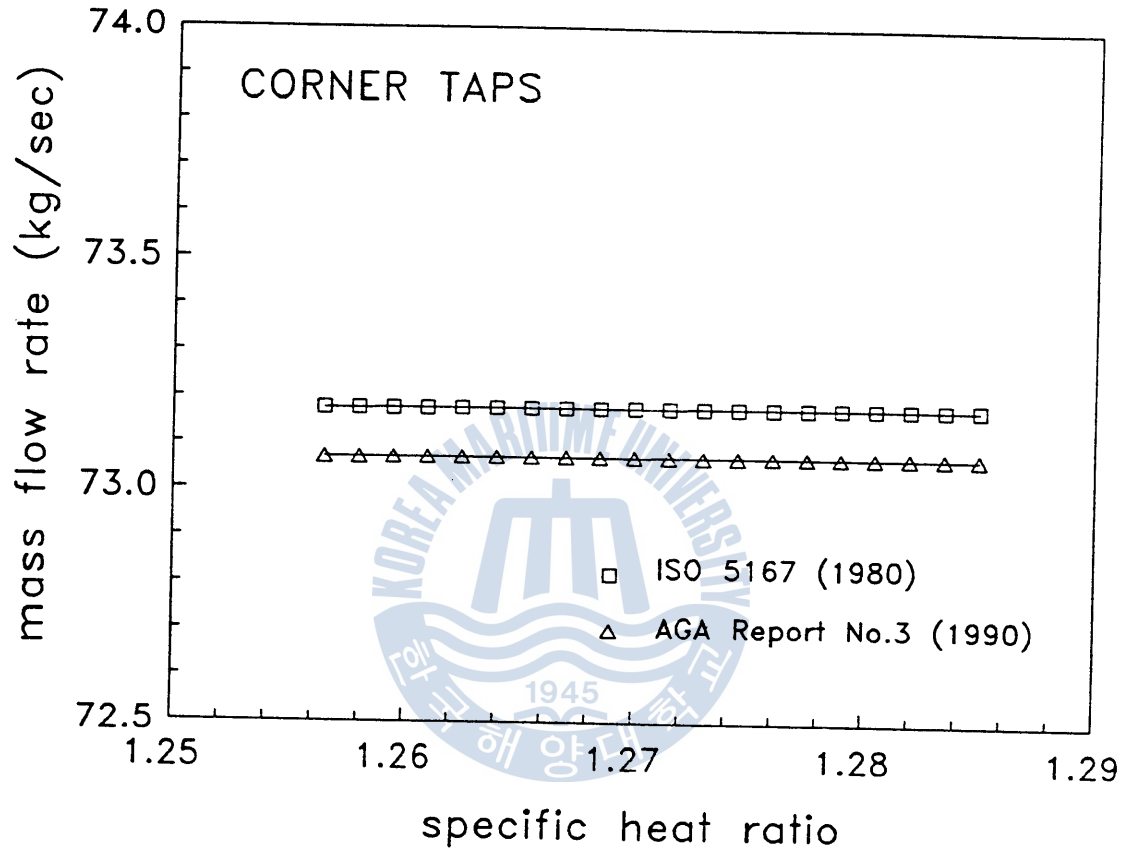


그림 4-9 비열비가 Corner taps 의 질량유량에 미치는 영향

5. 결 론

ANSI/API 2530(1985), ISO 5167(1985), AGA Report No.3(1990) 세가지의 code에 실려 있는 유량계산식에 대해 여러가지 조건에서 pressure tapping의 종류별로 계산하여, 유량계산식간 차이와 상류밀도(ρ_1), 점성계수(μ), 비열비(k)가 다르게 적용되었을 때의 질량유량 변화에 대하여 분석하였다. 그 결과로 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

○ 유량계산식간 차이는, 크지는 않으나 결코 무시할 수 없는 크기이며, 조건에 따라 특별한 경향은 없으나, 특정 조건하에서는 0.3% 정도까지의 차이가 남을 확인할 수 있었다. 사용조건에 따라 이러한 차이가 더 크게 벌어질 수 있는 가능성은 배제할 수 없으며 이에 대한 확인을 위해서는 보다 광범위한 조사가 이루어져야 한다.

○ 상류밀도는 유량계산에 아주 민감하게 영향을 미치는 인자이다. ρ_1 의 값이 0.2%의 오차를 가질 때 질량유량은 ρ_1 의 오차에 의해서만 0.1% 정도의 오차를 가진다. 따라서 이 ρ_1 의 계측 혹은 추산은 정밀하게 이루어져야 하고 계량설비 검교정시 이 ρ_1 의 정밀도도 같이 검교정되어야 한다.

○ 점성계수와 비열비의 영향은 미세한 편으로, 점성계수에 10%의 오차가 있어도 질량 유량계산에는 0.007% 이상의 오차는 발생치 않는다.

기호 설명

This Study	ANSI/API 2530(1985)	ISO 5167 (1980)	AGA REPORT NO. 3(1990)	DESCRIPTION
A			A	
B			B	
C			C	
C _d	C	C	C _d	coefficient of discharge
C _i	K _o		C _i	coefficient of discharge at infinite pipe Reynolds No.
(C _i) _{ct}			C _i (CT)	
(C _i) _{down}			Dnstrm	downstream tap term
(C _i) _{tap}			Tap Term	tap term
(C _i) _{up}			Upstrm	upstream tap term
C ₁	E			
C ₂	B			
D	D	D	D	tube diameter
d	d	d	d	orifice diameter
E		E		velocity of approach factor $E=(1-\beta^4)^{-1/2}$
k	k	κ		specific heat ratio
L ₁		L ₁	L ₁	(distance of upstream tapping from the upstream face of the plate)/D
L ₂		L ₂ '	L ₂	(distance of downstream tapping from the downstream face of the plate)/D

This Study	ANSI/API 2530(1985)	ISO 5167 (1980)	AGA REPORT NO. 3(1990)	DESCRIPTION
M_1			M1	
M_2			B	
N_1			N_1	
p	P	p		pressure
p_1	P_{f1}	p_1		upstream pressure
q_m	q_m	q_m		mass flow rate
Re_D		Re_D	ReD	pipe Reynolds number
Re_d	R_d			orifice Reynolds number
S_1			S1*X1	
S_2			S2*X2	
V		U		average velocity in the pipe
V_o	V_f			average velocity at the inlet edge of the orifice
α	K	α		flow coefficient ($\alpha = C_d E$)
β	β	β	Beta	diameter ratio ($\beta = d/D$)
ϵ	Y	ϵ		expansion factor
μ				viscosity of fluid
ρ	ρ	ρ		density of fluid
ρ_1	ρ_{f1}	ρ_1		upstream density of fluid
ρ_b	ρ_b			downstream density of fluid
Δp	ΔP	Δp		pressure difference

참 고 문 헌

1. AGA, "Orifice Metering of Natural Gas", Gas Measurement Committee Report No.3, N.Y, 1990.
2. AGA, "Gas Measurement Manual", 1963.
3. ANSI/API 2530, "Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids", 1985.
4. ISO 5167, "Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes Insurtd in Circular Cross-section Condict Running Full", 1980.
5. Morrow, T.B, Mckee R.J, "Upstream Iustallation Requirements for Accurate Orifice Measurements", 2nd International Symposium on Fluid Flow Measurement, Canada, 6, 1990, pp. 6-8.



