

선회유동 교란에 따른 벤투리 유량측정의 불확실성 해석

이정호^{*†} · 윤석호^{*} · 유청환^{*} · 박상진^{**} · 정장환^{***}

Effect of Swirl Flow Disturbance on Uncertainty of Flow Rate Measurement by Venturi

Jungho Lee^{*†}, Seok Ho Yoon^{*}, Cheong-Hwan Yu^{*}, Sang-Jin Park^{**}, Chang-Hwan Chung^{***}

Key Words : Uncertainty Analysis(불확실성 해석), Venturi(벤투리), Swirl Flow (선회유동), Flow Rate(유량)

ABSTRACT

Venturi has long been an attractive method of measuring flow rate in a variety of engineering applications since pressure loss is relatively small compared with other measuring methods. The current study focuses on making detailed uncertainty estimations as the upstream flow disturbance affects uncertainty levels of the flow rate measurement. Upstream flow disturbance can be determined by 9 different swirl generators. Measurement uncertainty of flow rate has been estimated by a quantitative uncertainty analysis which is based on the ANSI/ASME PTC 19.1-2005 standard. The results of flow rate uncertainty analysis show that the case with systematic error has higher than that without systematic error. Especially the result with systematic error exhibits that the uncertainty of flow rate was gradually increased by swirl flow disturbance. The uncertainty of flow rate measurement can be mainly affected by differential pressure and discharge coefficient. Flow disturbance can be also reduced by increasing of the upstream straight length of Venturi.

1. 서 론

일반적으로 벤투리 유량계는 액체 및 기체의 유체 유량을 측정하기 위해 유체가 흐르고 있는 관로에 설치하여 수축부 전후에서 발생하는 압력의 차로 유량을 검출하는 차압식 유량계로서, 산업전반에 널리 사용되고 있다. 이러한 벤투리 유량계는 오리피스(orifice)나 노즐 유량계(flow nozzle)에 비해 고가이지만, 유선형으로 되어 있어 유량측정 시 압력손실이 적어 방사계수(discharge coefficient)가 거의 1에 가깝고 불순물이 포함된 유동의 측정이 가능한 장점이 있다. 이러한 특징으로 인해 대유량의 측정이나 압력손실에 주의해야 하는 경우 널리

사용되고 있다. 하지만 정확도에 있어서 다른 전자유량계 등과 비교하여 차이가 있고, 방사계수 및 측정 정확도가 배관 형태, 유체의 유동 상태에 따라 크게 영향을 받는 단점이 있다. 따라서 이러한 영향으로부터 벤투리의 유량측정 정확도를 향상시키기 위해, 일반적으로 벤투리 설치 시 ASME와 ISO 5167의 규격에서 추천된 전/후단의 직관부 길이를 적용하고 있다^(1,2,3). 또한 벤투리를 이용하여 유량 측정 시 측정결과와 신뢰성을 확보하는 것은 매우 중요한 문제가 되고 있다.

이러한 측정결과와 신뢰성을 확보하기 위해 과거에는 통계 기법에 기초한 다양한 오차해석 방법들이 제안되어 왔으나 그 표현방법이 달라 통일된 지침이 필요하게 되었다. 따라서 1993년 국제 표준화 기구(ISO)에서 저명한 국제기구와 합동으로 모든 측정현장에서 통일적으로 적용할 수 있는 측정불확실성 표현지침서를 발행하여, 현재 측정결과와 신뢰성을 판단할 수 있는 지표로 불확실성의 개념이 도입되어 사용되고 있으며,

* 한국기계연구원 그린환경에너지기계연구본부

** 한국기계연구원 정책연구실

*** 한국원자력연구원 열수력안전연구부

† 교신저자, E-mail : jungho@kimm.re.kr

이러한 불확실성 해석을 통해 많은 연구자들은 자신의 연구결과에 대한 측정 및 실험의 정량적인 해석과 측정결과에 포함된 불확실성을 최소화시키기 위해 노력하여 왔다^(4,5,6). 본 연구에서는 미국기계학회에서 추천하는 ASME PTC 19.1-2005에 근거하여 불확실성 해석을 수행하였다⁽⁵⁾.

본 연구는 원자로 냉각재 펌프(Reactor Coolant Pump, RCP)와 같이 고온, 고압의 대용량 유량 측정이 요구되는 경우에, 유로 계통의 분지관 및 합지관 영향에서 발생할 수 있는 유동 교란이 유량 측정의 불확도에 미치는 영향을 파악하기 위해, RCP 유동을 모사할 수 있는 시험 장치를 제작하고 선회유동에 의한 유동교란이 벤투리 유량측정의 불확도에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 벤투리 전단 직관부 길이 변화가 유량 측정의 불확도에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 선회유동(swirling flow)

일반적으로 선회유동은 수평 원통 관에서 강제적으로 유동각(flow angle)을 주어, 유동의 접선방향 속도가 커지고 이로 인해 유선이 길어지는 유동을 말한다. 여기서 유동각의 증가는 선회수(swirl number)를 증가시키고 선회 수가 높아짐으로써 유동의 난류강도를 증가시키는 특성을 가진다. 선회수로 정의되는 선회강도는 Kerr과 Fraser⁽⁷⁾에 의해 다음과 같이 식 (1)로 표현된다.

$$S(\text{Swirl Number}) = \frac{2}{3} \left(\frac{1-\alpha^3}{1-\alpha^2} \right) \tan\theta \quad (1)$$

본 연구에서는 벤투리를 이용한 유량측정의 불확실성 해석에 선회유동의 영향을 고려하기 위해 선회수의 정도에 따라 weak(0.1, 0.2), moderate(0.3, 0.4, 0.5, 0.6), strong(0.7, 0.8, 0.9)의 3가지 구간으로 나누어 10개의 선회발생기(swirl generator)를 제작하였고, 여기서 직경비(α)는 0.25이다⁽⁸⁾. 선회발생기의 정확한 사양과 형상은 Fig. 1과 같다.

2.2 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치의 전체적인 개략도는 Fig. 2에 나타나 있다. 내경이 2"인 주관 좌우로 내경이 1.7"인 두 개의 분지관을 설치하였고, 각각의 추가 분지관에 버터플라이 밸브를 설치하고 수두를 조절하기 위해 주관에 글로브 밸브를 설치하였다. 최대유량이 30 m³/h인 입형 다단펌프(EVM1803-5.5,

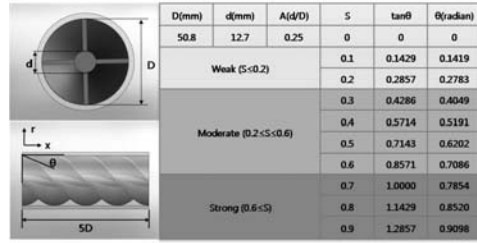


Fig. 1 Dimension and Shape of Swirl Generators

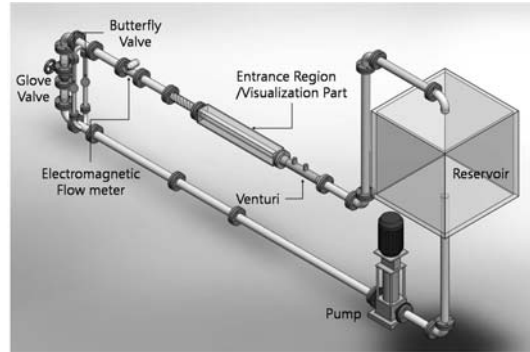


Fig. 2 Experimental Setup and Schematic Diagram

효성)와 인버터를 이용한 주파수 제어방식을 사용하여 시험장치 전체의 유량을 제어하였고, 펌프의 입구와 출구 직경은 배관직경과 동일한 2"로 선정하였다. 직경비(β)가 0.75인 벤투리(SAMIL SVT 2" ANSI 150# RF, SAMIL Industry)의 상단에 가공되어진 두 개의 hole을 통해 차압을 측정하였고, 여기서 사용된 벤투리의 방사계수(discharge coefficient, C_D)는 0.995이다. 벤투리 전단부는 다양한 전단길이(5D, 10D, 15D)로 교체하기 위해 탈착이 가능하게 제작되었으며 벤투리 전단에 유동변수가 주어질 때 변수의 영향을 받지 않고 실험장치 내부의 실제 유량을 측정하기 위해, 최대 유량이 63.8 m³/h이고 측정정확도가 0.2%인 전자기계 유량계(FMG606, OMEGA)를 유동변수의 전단에 설치하여 유동변수가 주어질 때에도 정확한 유량측정이 이루어지도록 하였다. 또한 유량측정의 오차를 줄이기 위해 충분한 입구조건이 만들어 지도록 직관부의 길이를 결정하였다. 벤투리에서 발생하는 차압을 측정하기 위해 측정범위가 0~1500 mmH₂O인 차압계(EJA110-DMS, YOKOGAWA)를 사용하였고, 차압계의 측정오차는 ± 1.125 mmH₂O이다. 그리고 보다 정확한 밀도계산을 위해 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 정확도를 가지는 K-type (Chromel-Alumel) 열전대를 사용하여 작동유체인 물의 온도를 측정하였다.

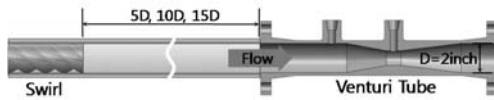


Fig. 3 Difference of Upstream Length

2.3 실험방법

본 연구에서는 선회유동교란에 따른 벤투리 유량측정의 불확실성을 해석하기 위해 선회수를 0부터 0.9까지 0.1간격으로 10개의 선회수 조건을 선정하였고, 5 m³/h, 10 m³/h, 15 m³/h 그리고 20 m³/h의 4가지 유량범위의 조건에서 실험을 수행하였다. 그리고 벤투리 전단 직관부의 변화에 따른 영향을 확인하기 위해 Fig. 3과 같이 직관부 길이를 5D, 10D와 15D의 세 가지로 변경시키면서 각각의 경우에서 실험을 진행하였다.

3. 불확실성 해석

3.1 벤투리를 이용한 유량측정 불확실성 해석

벤투리를 이용한 유량측정은 식 (2)와 같이 각각 5개의 독립 변수로 구성되어진 함수관계로 표현할 수 있고,

$$Q_{mass} = f(A_2, C_D, \Delta P, \rho, \beta) \quad (2)$$

벤투리를 이용한 유량측정은 다음과 같이 식 (3)으로 얻을 수 있다⁽⁹⁾.

$$Q_{mass} = \rho C_D A_2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho(1-\beta^4)}} \quad (3)$$

여기서 A_2 는 수축부 단면적, C_D 는 방사계수, ΔP 는 측정된 차압, ρ 는 밀도, 그리고 β 는 단면비이다.

유량측정과 같이 단일계측요소의 복잡한 조합으로 나타나는 식의 경우, 불확도 평가를 위해 각각의 측정인자에서 정확하고 체계적인 불확도 평가가 선행되어야 한다. 여기서 표준불확도는 관측값의 통계적인 분석으로 계산되는 A형 표준불확도와 측정기기 등으로부터 발생하는 B형 표준불확도로 나누어 계산하게 된다. 본 연구에서는 불확도 계산을 위해 먼저 각각 독립 변수를 A형 표준불확도와 B형 표준불확도로 정의하고 표준불확도 계산을 수행하였다. 그리고 각각의 표준불확도를 합성 표준불확도로 계산한 후, 최종적으로 확장불확도의 형태로 나타내는 해석을 수행하였다. 여기서 유량측정의 불확실성 해석은 앞에서 언급한 바와 같이 미국 기계공학회에서 추천하는 ASME PTC 19.1-2005를 기준으로 채택하였다⁽⁵⁾.

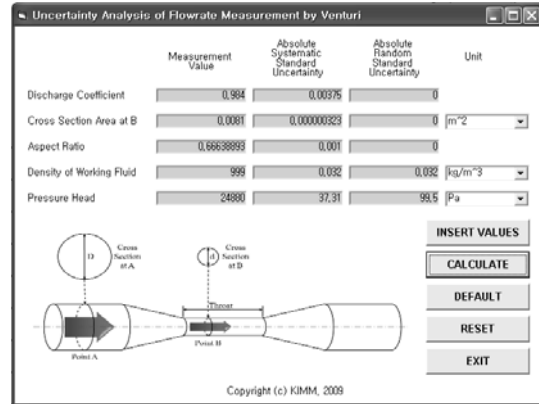


Fig. 4 Uncertainty Analysis Program

3.2 벤투리 불확도 해석 프로그램

본 연구에서는 벤투리 유량측정의 불확도해석을 위해 불확도 해석 프로그램을 작성하였다. 해석 프로그램은 Visual Basic 6.0으로 작성하였고, Fig. 4는 본 연구에서 사용한 벤투리 유량측정 불확도 해석프로그램의 일부분을 나타낸다. 이 프로그램은 크게 주 대화상자, 입력 대화상자, 그리고 결과 대화상자로 구성되며, 주 대화상자로부터 호출된 입력 대화상자에서 각각의 파라미터에 맞추어 A형과 B형 표준불확도로 분류하여 입력할 수 있다. 그리고 최종적으로 결과 대화상자를 통하여 계산된 불확도 성분을 확인할 수 있도록 작성되었다.

3.3 불확실성 요소별 불확도 평가

3.3.1 노즐단면적(A_2) 불확도

노즐 단면적(A_2)의 불확도는 직경(d)을 측정된 버니어 캘리퍼스에 의한 B형 표준불확도로서, 성적서로부터 실제 측정값의 차이가 ± 0.02 mm로 추정되는 구간 내에서 같은 확률로 어떤 값이든지 가질 수 있을 것으로 생각할 수 있다. 따라서 대칭 직사각형 분포로 가정되고, 노즐의 직경에 대한 표준불확도는 다음과 같다.

$$u(d) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.01155 \text{ mm} \quad (4)$$

그리고 단면적에 대한 표준불확도는 다음과 같이 정리된다.

$$u(A_2) = \left| \frac{\partial A_2}{\partial d} \right|_d \times u(d) = 0.69069 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

3.3.2 방사계수(C_D) 불확도

방사계수(C_D)의 변화는 성적서로부터 $\pm 1\%$ 이내로 명시되어 있는 B형 표준불확도로서 한계값만을 추정 할 수 있다. 성적서에 명시되어 있는 C_D 값이 0.995이므로 그 한계값은 다음과 같이 계산된다.

$$C_D = 0.995 \times 0.01 = \pm 0.00995 \quad (6)$$

여기서 구간 내에 측정값이 있을 확률이 동일하다고 할 수 있으므로 대칭 직사각형 분포라고 가정되고 방사계수에 대한 표준불확도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$u(C_D) = \frac{0.0995}{\sqrt{3}} = 0.00574 \quad (7)$$

3.3.3 차압(ΔP) 불확도

차압(ΔP)의 불확도는 차압계의 B형 표준불확도를 비롯하여 반복적인 측정값에서 발생하는 A형/B형 표준불확도의 합성 표준불확도로 볼 수 있다. 그리고 각각의 입력량들은 상관관계가 없이 독립적으로 구할 수 있으므로 다음의 식 (8)를 사용하여 계산할 수 있다.

$$u(\Delta P) = \sqrt{u^2(\Delta P_1) + u^2(\Delta P_2) + u^2(\Delta P_3)} \quad (8)$$

여기서 ΔP_1 은 차압계의 B형 표준불확도, ΔP_2 는 차압계로부터 반복적으로 측정되는 차압의 A형 표준불확도, 그리고 ΔP_3 은 선회유동교란이 없을 때와 비교하여 계산되는 측정량의 B형 표준불확도를 의미한다.

차압계로부터 측정된 값의 한계값은 성적서로부터 최대측정 범위의 $\pm 0.075\%$ 로 정의되고 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\Delta P_1 = \pm 0.075\% \times 1500 \text{ mmH}_2\text{O} = \pm 1.125 \text{ mmH}_2\text{O} \quad (9)$$

차압계의 B형 표준불확도는 대칭 직사각형 분포라고 가정되고 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$u(\Delta P_1) = \frac{1.125}{\sqrt{3}} = 0.64952 \text{ mmH}_2\text{O} \quad (10)$$

다음으로 측정차압의 A형 표준불확도를 확인하기 위해, 각각의 실험조건에 따라 200개의 측정값을 획득했다. 여기서 A형 표준불확도는 다음과 같이 측정값의 표준편차(s_x)부터 식 (11)과 같이 정의된다.

$$u(\Delta P_2) = \frac{s_x}{\sqrt{N}} \quad (11)$$

일반적으로 벤투리 유량측정의 불확실성 해석에서 정확히 일치하는 참값이 확정되어 있지 않기 때문에 차압 측정의 계통오차에 의한 B형 불확도는 고려하지 않는다. 하지만 본 벤투리 유량 측정의 불확실도 해석에서는 선회유동교란의 영향에 따른 벤투리의 계통효과로 인한 불확도 증가를 가정하였고, 선회수가 0일 때 압력차의 평균을 협정참값(conventional true value)으로 정의하고 선회 수의 변화에 따른 계통오차에 의한 불확도를 다음 식 (12)를 사용하여 표준불확도 성분의 계산에 포함하였다⁽¹⁰⁾.

$$u(\Delta P_3) = \sqrt{\Delta P_{swirl0} - \Delta P_{swirlN}} \quad (12)$$

3.3.4 밀도(ρ) 불확도

일반적으로 다양한 작동유체에서 밀도의 불확도는 직접 측정하기가 어렵기 때문에 측정데이터에 의한 회귀식을 사용하여 계산한다. 본 연구에서는 작동유체인 물의 밀도값을 측정하기 위해 식 (13)과 같이 한국표준과학연구원 질량그룹에서 측정된 데이터를 근거로 한 회귀식을 사용하여 밀도를 계산했다⁽¹¹⁾.

$$\rho = 1000.024246 + 0.047689T - 0.007263T^2 + 0.000032T^3 \quad (13)$$

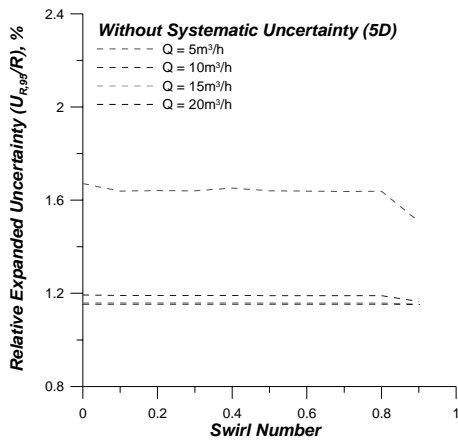
먼저 K-type 열전대의 불확도를 B형 표준불확도와 A형 표준불확도로 구분하여 계산한다. 성적서로부터 측정값의 한계값이 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 이고 대칭직사각형 분포로 가정할 수 있으므로 다음과 같이 B형 표준불확도를 계산할 수 있다.

$$u(T_1) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.05774^\circ\text{C} \quad (14)$$

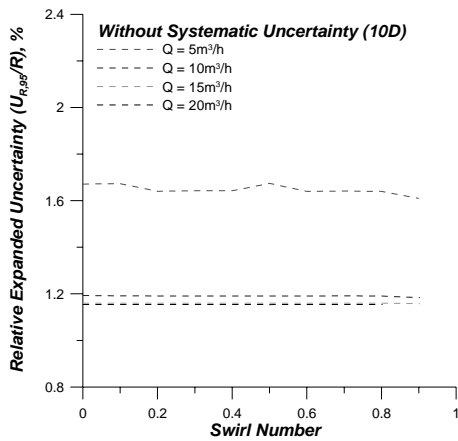
다음으로 열전대로부터 획득되어진 측정값의 우연효과에 의한 불확도를 계산하기 위해 식 (11)과 동일한 식을 사용하여 온도측정에서의 A형 불확도를 계산하였다. 여기서 측정횟수(N)는 200이다.

3.3.5 직경비(β) 불확도

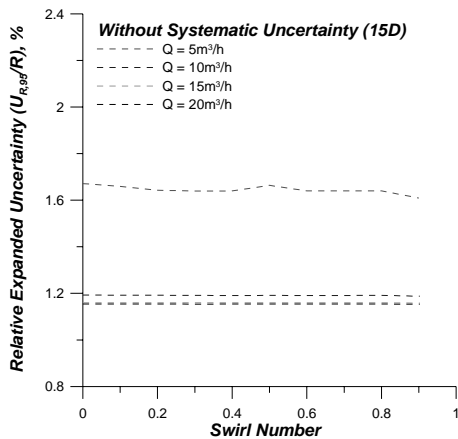
직경비(β)에 의한 표준불확도는 벤투리 제조 성적서에 의해 B형 표준불확도로 계산된다. 이 때 상한값($u(\beta_+) = 0.000684$)과 하한값($u(\beta_-) = 0.000683$)이 다르므로 비대칭 직사각형 분포라고 가정하고 온비비를 갖는 직사각형 분포로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.



(a) Upstream Length : 5D



(b) Upstream Length : 10D



(c) Upstream Length : 15D

Fig. 5 Venturi Measurement Uncertainty by Swirl Effect without Systematic Uncertainty

$$u(\beta) = \sqrt{\frac{(a_+ - a_-)^2}{12}} = 0.00039 \quad (15)$$

3.4 합성표준불확도

유량측정에 미치는 각각의 독립변수의 표준불확도에 의한 합성 표준불확도는 식 (16)과 같이 주어진다.

$$u_R(Q_{mass}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Q_{mass}}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2} \quad (16)$$

여기서 $\partial Q_{mass} / \partial x_i$ 는 각각의 독립변수의 민감도계수로서 벤투리 유량측정에서 민감도계수는 식(3)을 각각의 요소에 대해 편미분하여 얻을 수 있다.

3.5 확장불확도 계산

명시된 신뢰수준에서의 확장불확도는 다음의 식 (17)과 같이 포함인자와 합성 표준불확도의 곱으로 계산한다.

$$U = k u_R(Q_{mass}) \quad (17)$$

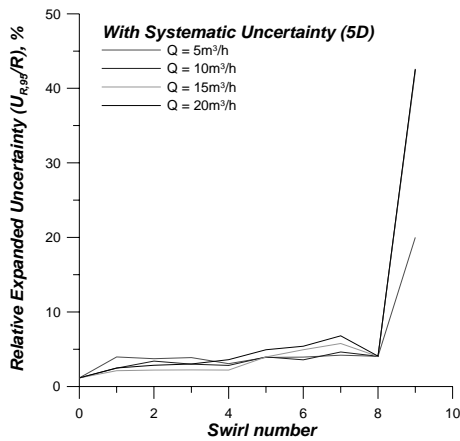
여기서 95%의 신뢰수준에서의 포함인자 k 는 1.96이다.

4. 실험결과

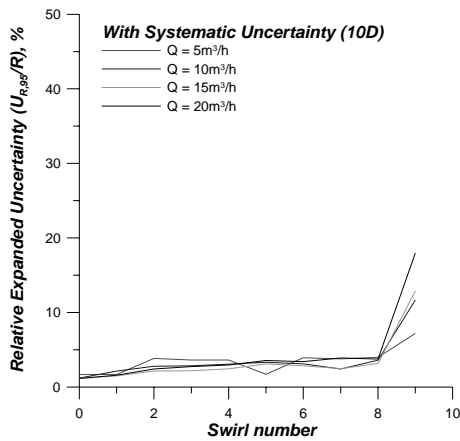
4.1 선회유동 변화에 따른 유량측정의 불확도

Fig. 5는 세 가지 직관부 길이에 대하여 벤투리 유량측정의 선회유동교란에 따른 불확도 측정결과를 보여주고 있다. 선회수가 0부터 0.9까지 10가지의 경우에 대하여 선회유동교란의 영향에 따른 벤투리 유량측정의 불확도는 유량 조건이 10 m³/h 이상에서는 선회수와 벤투리 직관부 길이에 관계없이 확장 불확도가 1.2% 정도로 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 실제로 선회유동교란은 유동의 방향성을 교란하지는 않지만 유량측정에 있어서는 거의 오차를 유발하지 않음을 알 수 있다.

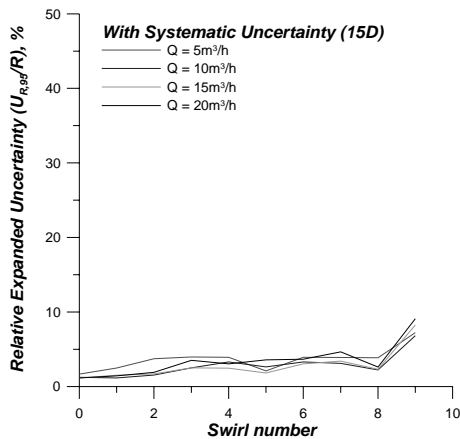
하지만 5 m³/h의 적은 유량에서는 1.7% 정도의 비교적 높은 불확도를 가지는데, 고유량 조건에 비해 저유량 조건에서 구동 펌프에 생성되는 유동 불균일이 증가하여 유량측정 불확도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 결과적으로 벤투리 유량측정에서의 불확도는 저유량을 제외하고는 1.2% 정도의 불확도를 가짐을 알 수 있다.



(a) Upstream Length : 5D



(b) Upstream Length : 10D



(c) Upstream Length : 15D

Fig. 6 Venturi Measurement Uncertainty by Swirl Effect with Systematic Uncertainty

4.2 계통오차가 포함된 유량측정의 불확도

Fig. 6은 세 가지 직관부 길이에서 선회수가 0일 때 압력차의 평균을 협정참값으로 정의하고, 각각의 선회수에서 측정된 압력차의 계통오차를 표준불확도 성분의 계산 과정에 포함한 벤투리 유량측정의 선회수에 따른 불확도 측정결과를 보여주고 있다. 여기서 선회수와 유량이 증가함에 따라 불확도가 단순하게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

직관부의 길이가 5D인 경우, 선회수가 증가함에 따라 유량의 불확도는 점차 증가하여 선회수가 0.8에 이르면 유량측정의 불확도는 5% 정도로 증가하고, 선회수 0.9에서 20 m³/h의 유량일 때, 불확도가 갑자기 증가하여 약 40% 이상의 높은 불확도가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 직관부 길이가 15D인 경우에는 선회수가 0.8에서 약 3% 이하의 낮은 불확도를 보이고, 선회수 0.9에서도 10% 이하의 불확도를 가짐을 알 수 있다. 이것은 선회수가 0.9 정도로 선회유동교란의 영향이 매우 큰 경우에 있어서는 차압 측정에서 매우 큰 계통오차를 유발시키고, 그로 인해 불확도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 벤투리 직관부 길이가 길어질수록 유동교란에 의한 영향이 줄어들면서 차압 측정에서 계통오차가 감소하고, 유량측정의 불확도가 직관부 길이의 증가와 함께 감소함을 볼 수 있다. 결과적으로 유동 교란이 주어지는 경우에 있어서는 유동 교란이 없는 경우에 비해 충분히 긴 직관부 길이가 요구되는 것을 확인할 수 있다.

4.3 불확실성에 미치는 측정인자 평가

Table 1은 선회유동에 의한 유동교란이 있을 때, 차압측정에서 발생하는 계통오차(systematic uncertainty)의 포함유무에 따른, 실제 유량측정의 불확도에 미치는 측정인자의 영향을 보여준다.

계통오차가 포함되지 않은 경우, 유량측정의 불확도에 영향을 미치는 측정인자 중에 방사계수가 최대 약 2.97%로 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있고, 다음으로 차압 측정의 영향이 큰 것을 볼 수 있다. 이 결과는 벤투리 유량측정의 불확도를 줄이기 위해서는 실제 벤투리 제작 과정에 있어 불확도를 줄이기 위한 세심한 노력이 요구됨을 보여준다⁽¹²⁾. 그리고 보다 정밀하게 압력차를 측정할 수 있는 차압계의 선정이 매우 중요함을 알 수 있다. 하지만 노즐 단면적과 직경비의 경우는 최대 약 0.5%의 결과를 보이는데, 이것은 직경을 측정할 때 측정공구로 인해 발생하는 불확도로서, 이것은 더욱 정밀한 측정공구를 사용함으로써 줄일 수 있다. 그리고 밀도의 경우는 유량측정의 불확도에 미치는 영향이 약 0.00075%로 거의 영향이 없는 것을 알 수 있다.

Table 1 Relative Uncertainty with/without Systematic error

Individual Measurand Value		$\frac{\partial x_i}{Q} \frac{\partial Q}{\partial x_i} \times 100(\%)$	
x_i	Unit	Min	Max
Relative Uncertainty without Systematic Uncertainty			
A_B	m ²	0.0972	0.501
C_D	·	0.577	2.974
ΔP	N/m ²	0.128	0.622
ρ	Kg/m ³	0.000709	0.00384
β	·	0.00971	0.501
$1.1523 \leq \frac{\delta Q_{mass}}{Q_{mass}} \leq 2.674(\%)$			
Relative Uncertainty with Systematic Uncertainty			
A_B	m ²	0.0972	0.0972
C_D	·	0.577	0.577
ΔP	N/m ²	0.0422	21.735
ρ	Kg/m ³	0.000745	0.000765
β	·	0.0473	0.0473
$1.154 \leq \frac{\delta Q_{mass}}{Q_{mass}} \leq 42.616(\%)$			

계통오차가 포함되었을 경우, 차압 측정의 영향은 최대 21% 이상으로 매우 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 차압 측정에서 발생하는 계통오차의 포함에 기인하는 것으로, 선회 유동에 의한 유동교란이 증가할수록 계통오차가 증가하고 따라서 차압 측정의 영향이 커지는 것을 알 수 있다. 반면에 방사계수, 단면적, 직경비, 그리고 밀도에 대한 영향은 상대적으로 계통오차의 영향은 크게 받지 않고 계통오차가 없을 때와 유사한 값을 가짐을 알 수 있다. 이것은 계통오차가 포함되면서 각각의 민감도계수의 변화는 있지만, 차압 측정의 영향에 비해 매우 작은 값을 가짐으로써 계통오차의 발생이 다른 요소에는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 벤투리 유량측정에서 선회유동교란과 직관부 길이의 영향에 따른 불확도를 측정 및 평가하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

(1) 계통오차가 포함되지 않은 경우 벤투리 유량측정의 불확도는 구동펌프로 인한 유동 불균일이 발생하는 저유량 영역을 제외하고는 1.2% 정도로, 선회유동교란에 거의 영향을 받지 않고 일정한 값을 가짐을 알 수 있다. 그리고 유량측정의 불확도에 영향을 미치는 측정인자는 방사계수와 차압 측정의 영향

이 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

(2) 계통오차를 포함한 경우, 선회수 0.8 이하에서는 선회수의 증가에 따라 단순하게 증가하며 약 5% 정도의 불확도를 가지지만, 선회수가 0.8을 초과할 경우 계통 불확도가 매우 크게 증가하기 때문에 전체 불확도도 따라서 매우 크게 증가함을 알 수 있다. 그리고 차압 측정에서 발생하는 계통오차로 인해, 차압 측정이 불확도에 미치는 영향이 가장 크게 나타남을 알 수 있었다.

(3) 벤투리 직관부 길이의 증가는 유동교란에 의한 영향을 줄이고, 그로 인해 측정불확도는 감소한다.

(4) 나아가 유량측정의 불확도를 낮추기 위해서는 먼저 보다 정밀하게 압력차를 선정할 수 있는 차압계의 선정과 정확한 벤투리 제작을 통해 방사계수에 의한 영향을 줄이는 것이 매우 중요하고, 유동교란이 발생할 경우 충분한 벤투리 직관부 길이를 확보하는 것이 중요함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업의 일환으로 “RCP 성능시험설비 설계개념 및 적용기술개발”의 지원 하에 이루어졌고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) ISO 5167-1:2003 (E). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross section conduits running full-Part 4: Venturi tubes.
- (2) ASME, 1989, .Measurement of Fluid Flow in Pipes Using Orifice, Nozzle, and Venturi, ASME MFC-3M-1989.
- (3) Eckert, T., 1999, “Flow Meter Guideline,” TR-109634, EPRI.
- (4) ASME, 1985, Measurement Uncertainty, ANSI/ASME PTC 19.1-1985 Part 1.
- (5) ASME, 2005, Test Uncertainty, ASME PTC 19.1-2005.
- (6) Coleman, H. W. and Marangoni, R. D., 1990, Mechanical Measurements, 4th edition, Addison-Wesley.
- (7) Kerr, N. M. and Fraser, D., 1965, “Swirl. Part I: Effect on axisymmetrical turbulent jet,” Journal of Institute of Fuel, Vol. 38, pp. 519~526.
- (8) Gupta, A. K., Lilley, D. G. and Syred, N., 1984, Swirl Flows, Energy and Engineering Science Series. Abacus Press: Kent, pp. 1~10.
- (9) Beckwith, T. G. and Marangoni, R. D., 1990, Mechanical Measurements, 4th edition, Addison-Wesley.
- (10) United Technologies, 1985, Fluid Flow Measurement Uncertainty,

Draft, Revision of ISO/DIS 5168 for International Organization
for Standardization Committee ISO TC30 SC9.

- (11) Lee. K. B., 2002, “물 유량 표준시스템 불확도 평가,” 유체
기계저널, Vol. 5, No. 4, pp. 93~102.
- (12) Bean, H. S., 1971, Fluid meters: Their theory and application,
6th edition, Report of ASME Research Committee on Fluid
Meters, ASME.