

곡관의 하류에 설치된 전자기유량계의 유량신호 특성에 관한 실험적 연구(난류 유동)

임 기 원*

(2002년 6월 8일 접수, 2002년 8월 29일 심사완료)

An Experimental Study on Installation Effects of Pipe Elbow on the Electromagnetic Flowmeter Characteristics (Turbulent Flow)

Ki Won Lim

Key Words: Electromagnetic Flowmeter(전자기유량계), Installation Effect(설치효과), Voltage Equation(전압방정식), Weight Function Method(가중함수법), Calibration(교정), Long Elbow(긴 곡관), Magnetohydrodynamics(전자유체역학)

Abstract

An electromagnetic flowmeter(EMF) essentially averages the velocity distribution over the pipe cross-sectional area, and the measured value is dependent on the velocity profiles. In this study, installation effects of 90° long elbow(KS B 1522, ISO 3419) on the EMF characteristics was investigated. A commercial EMF was adopted and the distribution of magnetic field in the electrodes cross section was measured. In the experiment, the national flow standard system, of which measurement uncertainty was evaluated in accordance with ISO 17025 recommendation, was used for characterization of EMF. The leading line has 150D long straight pipe to established a fully developed flow before entering into the elbow and the elbow was installed downstream of it, then the flowmeter was tested within 50 D from the elbow. The installation effects of the flowmeter were investigated by varying the mean velocity(Reynolds No.)in pipe section, the locations and the direction of electrodes plane.(φ) From the experimental results, we find the optimal conditions to get most accurate measurements. Generally, the deviations from the calibration value were less than 0.5 % in farther than 10D distance from the elbow and the direction of electrode plane, $\varphi = 90^\circ$ yielded the smallest measurement deviation. These characteristics were shown consistently in turbulent region regardless of the mean Reynolds number.

기호설명

B, \vec{B} : 자속밀도(스칼라, 벡터) [wb/m^2]

B_0 : 평균 자속밀도 [wb/m^2]

D : 파이프의 직경 [m]

G_F : 플럭스 미터의 감도

G_p : 록인 증폭기의 이득

k : 비례상수

R : 파이프의 반경 [m]

\vec{u} : 속도벡터 [m/s]

W : 가중함수

w_0 : 평균속도 [m/s]

u, v, w : 카테시안 속도 요소

x, y, z : 카테시안 좌표계

* 회원, 한국표준과학연구원 유체유동그룹

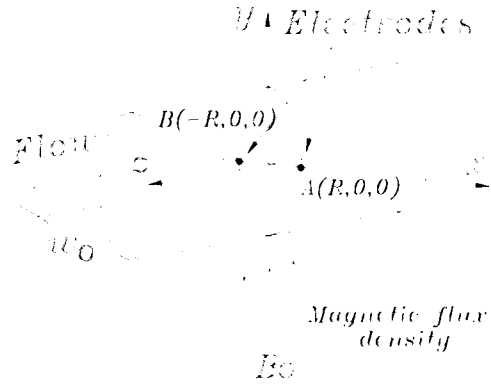
E-mail : kwlim@kriss.re.kr

TEL : (042)868-5314 FAX : (042)868-5028

그리스문자

ϕ : 전위 [V]

- ϕ_e : 전극간의 전압차 [V]
- ϕ : 곡관의 평면과 전극 면의 방향이 이루는 각
- ψ : 탐촉 프로브의 전압 [V]



1. 서론

전자기유량계는 기본적으로 파라데이 유도법칙(Faraday's induction law)에 의해 유량을 측정한다. 즉 자기장이 작용하는 공간 내부에서 전도성유체(electrically conducting fluid)가 이동하면 전극(electrode)에 전압(voltage)이 유도된다.

Fig. 1은 측정의 원리를 나타내는 것으로 유도되는 전압은 일반적으로 식 (1)과 같이 자속밀도(magnetic flux density)의 크기 B_0 , 전극간의 거리(파이프 직경) D 와 평균유속 w_0 에 비례한다.

$$\phi_e = k \cdot B_0 \cdot w_0 \cdot D \tag{1}$$

전자기유량계에서 자속밀도 B_0 와 파이프의 직경 D 는 결정되어 있다. 관로 내부의 유속 분포는 w_0 는 충분히 발달한 속도분포(fully developed velocity profile)일 때 교정(calibration)을 통하여 상수 k 값을 조정하여 전극 사이의 전압 ϕ_e 를 정의하게 된다. 교정에서는 충분히 발달한 속도 분포를 얻기 위해서 유량계의 상류에 직관부를 두고 교정한다.

그런데 유량계가 현장에 설치될 때는 공간의 부족 등으로 충분한 직관부를 확보하지 못하는 경우가 있어 측정의 정확도가 떨어진다. 예를 들면 대형 상수도 관로망에서는 직관부를 설치할 공간의 확보가 어렵거나 기존의 관로에 직관부를 설치하기 위한 공사는 단수 등의 문제가 따르기 때문에 현실적으로 어렵다. 따라서 기존의 설치된 상태에서 측정정확도를 높이기 위한 방안이 필요하다.

전자기유량계의 유량신호(flow signal)-전극 사이의 전압은 측정 원리로부터 내부의 속도 분포의 영향을 받는다. 전자기유량계의 유량신호의 해석은 1954년 Shercliff⁽¹⁾가 가중함수 개념을 도입한 이래 많은 연구자들이 이 방법을 이용하여 유량계의 특성을 개선하기 위해 연구하였다.

Fig. 1 The principle of an electromagnetic flowmeter

특히 Bevir⁽²⁾는 유체의 속도분포에 영향을 받지 않는 유량계 내부의 자속밀도의 분포를 제시하였으나 Engle⁽³⁾은 이러한 조건을 만족할 수 없음을 확인하였다. 즉 전자기유량계는 필연적으로 상류의 유동조건에 따른 속도분포의 영향을 받고 이러한 설치효과(installation effect)에 대해 많은 연구자들이 관심을 가졌다. Luntia⁽⁴⁾ 등은 측정 또는 계산된 유속 분포와 측정된 자기장으로 상류의 유동조건에 따른 전자기유량계의 설치효과를 예측하였다.

Kuromori⁽⁵⁾는 2 쌍의 전극을 이용하여 곡관과 밸브의 하류에 설치된 전자기유량계의 유동조건 측정 오차를 줄이는 방안을 연구하였다. 기존의 연구에서는 속도 분포에 의한 유량 신호의 변화에 대한 관심이 있었다.

본 연구에서는 90° 긴곡관(long elbow)(KS B 1522, ISO 3419)의 하류에 설치된 전자기유량계의 설치효과를 관찰하기 위해 상업용 전자기유량계를 선정하였다. 그리고 내부의 자기장의 분포를 측정하였고 자속밀도와 속도분포가 상호 작용하여 유량신호의 변화에 미치는 영향을 고찰하였다.

실험에 사용된 전자기유량계는 주기적인 DC 자기장 발생 방법(alternative method) 사용하고 직경(DN50)이 52 mm인 유량계로서 생산자가 주장하는 측정불확도는 전 측정범위(full scale)에서 ±0.1%이었다. 실험에서 유속은 일반 배관의 설계의 기준인 10 m/s 이하를 고려하여 평균 유속이 1, 3, 6, 7.5 m/s 로 변화시키면서 측정하였고 평균유속 각각의 레이놀즈수(Reynolds No.)수

는 5.3×10^4 , 1.6×10^5 , 3.2×10^5 , 4.0×10^5 이었다.

그리고 150D의 충분한 직관부를 두어 속도 분포가 발달한 분포를 갖도록 한 다음 직관관을 설치하고 하류에 전자기유량계의 위치를 2D에서 18D 까지 변화시키면서 측정하였다. 또 곡관의 대칭면과 전극의 방향이 측정정확도에 미치는 영향을 관찰하기 위해 전극면과 이루는 방향 φ 가 0° , 45° , 90° 가 되도록 변화시키면서 측정결과를 비교하였다.

연구의 결과 곡관의 하류에 설치된 전자기유량계의 거리에 따른 신호특성과 측정정확도 향상을 위한 전극 면의 설치방법 및 설치거리의 기준을 제시할 수 있었다.

2. 전자기유량계의 신호 특성

전자기유량계의 지배방정식은 식 (2)와 같이 전압방정식으로 표현된다.^(1,6)

$$\nabla^2 \phi = \nabla \cdot (\vec{u} \times \vec{B}) \quad (2)$$

2차원인 경우에 u_z 의 속도만 존재하고 B_z 이 일정하다고 가정하면 해를 구할 수 있다.⁽⁶⁾ 그리고 전극사이의 전압 즉 유량신호는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_e = \frac{2}{\pi R} \iint (B_y W_x - B_x W_y) u_z dx dy \quad (3)$$

여기에서 W_x, W_y 는 가중함수(weight function)라고 하며 식 (4)와 같이 표현된다.

$$W_x = \frac{R^2(R^2 + y^2 - x^2)}{R^4 + 2R^2(y^2 - x^2) + (x^2 + y^2)^2} \quad (4)$$

$$W_y = \frac{2R^2xy}{R^4 + 2R^2(y^2 - x^2) + (x^2 + y^2)^2}$$

가중함수는 Fig. 2와 같이 전극의 평면에 나타낼 수 있으며 자속밀도의 성분과 속도성분의 크기가 전극간의 전압 차에 기여하는 정도를 나타낸다. 즉 가중함수의 크기가 큰 부분의 속도와 자속밀도가 크면 전극간의 전압 차에 기여하는

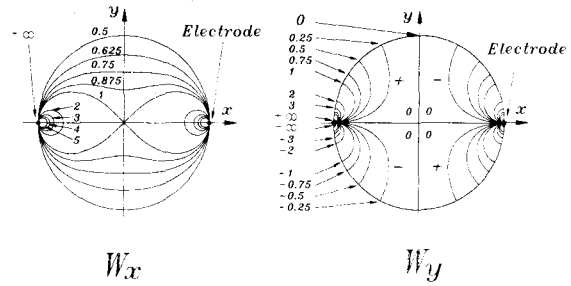


Fig. 2 The weight functions

정도가 크고, 작으면 상대적으로 기여도가 작은 것을 의미한다.

Fig. 2에서 W_x 는 전극의 부근에서 가중함수값이 가장 큰 ∞ 으로서 특이점(singular point)을 보이고 있으며 일반적으로 코일 부근에서 상대적으로 작은 값을 가지게 된다. W_y 는 분포가 다르며 전극 부근에서 최대값을 가지고 마찬가지로 전극 부근에서 특이점을 가진다. 또 원점에 대칭적이며 전극과 자석을 잇는 축에서 부호가 바뀌게 된다.

따라서 전자기유량계를 통과하는 유속의 분포가 충분히 발달한 속도 분포를 가질 때 측정값과 상류의 유동조건에 의해 유속 분포가 찌그러짐(distortion)이 발생하면 측정값이 달라지게 된다.

그런데 다음 장의 자기장의 측정결과에서 알 수 있듯이 전자석의 위치가 $(0, R, 0)$, $(0, -R, 0)$ 이므로 y 축방향의 자속밀도가 상대적으로 크다. 따라서 유량신호에 미치는 영향은 식 (3)에서 $B_y W_x$ 의 크기가 상대적으로 크다. 그리고 W_y 는 신호의 크기에 미치는 영향이 상대적으로 작고 $B_x W_y$ 값은 유량신호의 크기를 감소시키는 방향으로 작용하게 된다.

곡관을 유체가 유동하는 경우는 원심력에 의해 곡률 반경의 바깥쪽의 속도가 커지고 안쪽의 속도는 상대적으로 작아지므로 전극의 위치에 따라 측정값이 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 전극의 위치를 곡관의 평면과 이루는 각을 변화시키면서 유량계의 측정값을 실험하였다.

3. 실험장치와 실험

3.1 자속분포의 측정

실험에 사용된 전자기 유량계는 내부의 직경이

52 mm의 상업용유량계로서 1 쌍의 전극을 가졌으며 전극과 직각으로 직사각형의 전자석이 설치되어 있다. 자화(magnetizing)는 주기적인 DC 형태로 주파수는 15 Hz 이었다. 그리고 자기장은 x, y, z 방향에 모두 존재하나 전극간의 전압에 주로 기여하는 자기장의 방향이 B_x, B_y 성분이므로 2 방향만 측정하였다. 즉 B_z 는 B_x, B_y 에 비해 상대적으로 작고 또 x, y 방향의 속도 성분이 z 방향의 성분 보다 작아 유량신호에 미치는 영향이 작기 때문이다.

Fig. 3은 자기장의 측정시스템의 구성도이다. 그림에서 알 수 있듯이 탐촉 프르브(search probe), 기준 프르브(reference probe), 선형 모터(linear motor), 록인 증폭기(lock in amplifier), 플럭스미터(fluxer meter), x-t recorder(x-t 기록계)로 구성되어 있다. 측정의 원리는 식 (5)와 같으며 자기장 내부의 탐촉 프르브에 감긴 코일에 파라데이 법칙에 의해 전압이 유도되는데 이 값이 자기장 내에서 탐촉 프르브가 위치하는 곳의 자속밀도와 비례한다.

$$\phi(t) = -NA \cdot G_P \cdot G_F \cdot B(t) \quad (5)$$

여기에서 NA는 area turn으로 탐촉 프르브의 코일 감은 횟수와 면적에 관계되는 비례상수로서 탐촉 프르브 제작 후 표준 자속발생장치와 비교하여 교정하였으며 크기는 $31.3 \text{ n} \cdot \text{cm}^2$ 이었다. G_P 는 록인 증폭기의 이득, G_F 는 플럭스미터의 감도를 각각 나타낸다.

그리고 자기장의 발생이 주기적 DC형태로 이루어지므로 자기장의 방향이 변하므로 기준 프르브를 자기장 내부에 고정하고 탐촉 프르브가 이동하면서 측정하게 된다. 탐촉 프르브의 크기는 내부 직경이 1 mm, 외부 직경이 3 mm, 길이가 3 mm 로서 원통형에 코일을 감은 것이다. 측정은 전극 단면을 포함한 파이프 단면을 가로 세로 5 mm 간격으로 나누어 탐촉 프르브를 이동하면서 측정하였다.

또 파이프 단면의 측정 간격이 작을수록, 탐촉프르브의 크기가 작을 수록 자기장 분포의 변화를 정확히 측정할 수 있다. 일반적으로 상업용 유량계에서 자기장 분포의 변화는 급격하지 않으

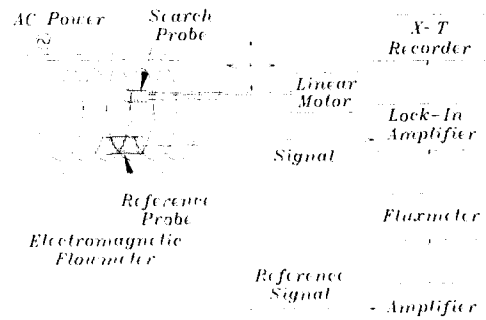


Fig. 3 The schematic illustration of magnetic flux measurement system

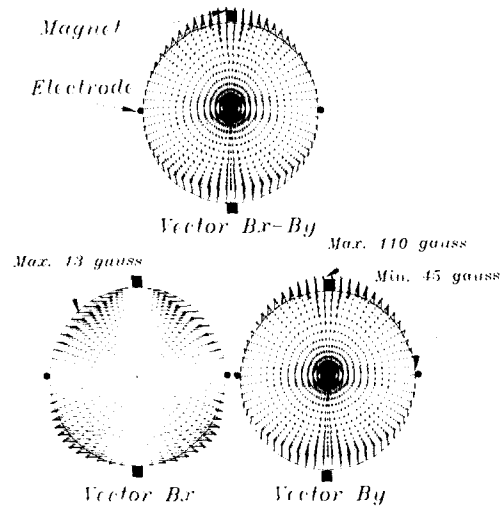


Fig. 4 The vector plots of measured magnetic flux density

므로 전술한 탐촉 프르브의 크기로 자기장의 분포를 측정하는데 문제가 없었다. 또한 탐촉 프르브의 속도가 빠른 경우는 속도에 의한 2차로 유도되는 전류가 발생하지 않도록 1 mm/s 이하의 속도로 측정하였으며 일반적인 측정 방법은 Bevir⁽⁷⁾의 경험을 참고하였다.

측정과정은 탐촉 프르브를 선형 모터에 의해 천천히 이동시키면서 측정하는데 이 때 탐촉 프르브와 기준 프르브에서 측정한 주파수와 위상은 같다. 증폭을 거쳐 플럭스미터 측정값과 록인 증폭기의 측정값이 비교되고 자속밀도 값이 x-t 기록계에 기록된다. 기록된 값은 식 (5)와 같이 사용된 계측기기의 이득과 감도 및 area turn 의 크

기에 따라 자속밀도로 환산하게 된다. 그리고 탐촉 프로브의 크기 때문에 측정하지 못한 벽 근처의 자속밀도는 외삽법으로 확장하여 전 평면에서 값을 구하였다. B_x, B_y 는 각각 측정하여 측정값의 값으로부터 끼워 맞추어진 함수를 이용하여 전극의 평면의 임의의 점에 표시하였으며 Fig. 4 같이 백터로 표시하였다.

B_y 값은 전자석 근처에서 110 gauss로 최대값을 가지고 전극 부근에서 45 gauss의 최소값을 보였다. B_x 값은 B_y 값보다 상대적으로 작아서 자석과 전극 사이의 벽면에서 최대값 13 gauss를 가지고 전극과 전극, 자석과 자석의 연결 축에서는 자기장의 방향이 바뀌면서 영(zero)이 된다.

Luntta⁽⁴⁾가 측정한 결과와 같이 4분면의 자속밀도는 x,y 축에 대하여 대칭의 모양을 이루고 있다. Fig. 4에 표시된 자기장의 분포는 일반적인 상업용 유량계의 자기장의 분포를 나타내므로 따라서 설치효과의 실험 결과는 상업용 유량계의 일반적인 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

3.2 유량계 실험장치

유량계실험 장치는 국가표준 유량계 교정장치를 이용하였고 중량식 측정방법을 채택하고 있으며 Fig. 5와 같다. 실험에 사용된 교정장치는 ISO 17025에서 권고하는 불확도 평가방법에 따라 평가했으며 평가결과 확장불확도는 $\pm 0.15\%$ 이내이었다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ 측정의 원리는 시험관로(testline)에 설치된 유량계를 통과한 유체를 수집하여 중량을 측정하고 다음 유량계의 측정값과 비교하는 장치이다.

유체는 펌프에 의해 저장탱크로부터 일정수두 유지장치(constant head tank)로 유동하여 유량계에 일정한 수두가 유지되도록 한다. 이러한 방법은 펌프에서 직접 유동하는 것보다 펌프로부터 발생하는 유체의 맥동이나 진동을 절연하여 유동을 안정화하고 일정한 유동율이 유지되도록 한다.

유량계를 교정할 때 유량조절밸브로 유동율을 변화시키면서 유동률에 따른 측정값 즉 특성곡선(characteristic curve)을 구하는데 본 연구의 실험에서도 같은 방법으로 실험하였다.⁽¹¹⁾ 우선 발달한 속도 분포를 얻기 위해서 유량계 상류에 40D 직관부를 설치하고 유동률을 5-70 m^3/h 측정범위에서 측정하여 평균값을 구하였다. 그리고

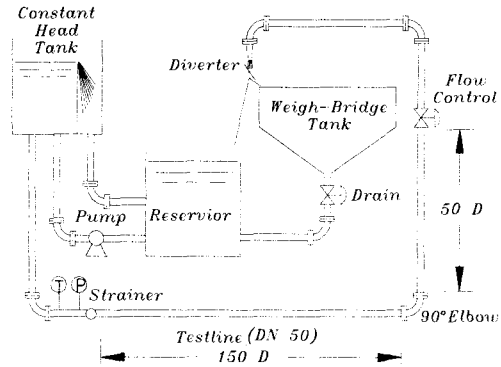


Fig. 5 The schematic illustration of flowmeter test rig

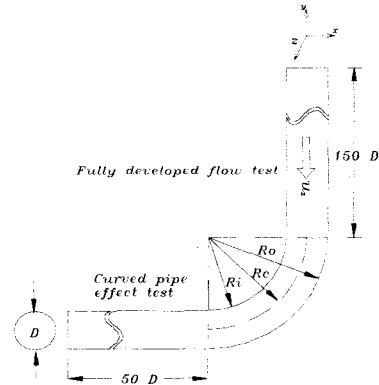


Fig. 6 Dimensions of testline and long elbow

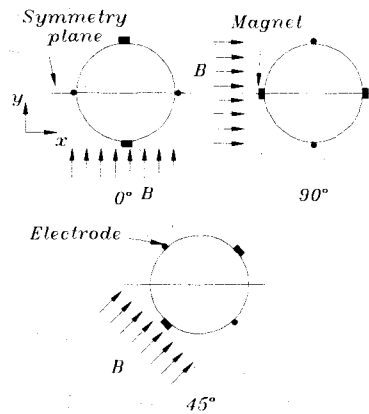


Fig. 7 The direction of electrode plane and symmetry plane

곡관에 의한 설치효과를 실험하기 위해 90° 곡관의 하류에 전자기유량계를 설치하고 측정하였다.

Fig. 6은 90° 긴곡관과 설치된 상세 도면으로 곡관의 곡률은 $R_c = 1.5D$ 이다. 곡관의 상류에서 150D의 직관부를 설치하고 발달한 속도 분포를 얻고 곡관을 지난 다음 50D의 직관부에 유량계를 설치하였다. 즉 곡관의 하류에 곡관과 유량계의 거리를 2D, 4D, 6D, 9D, 14D, 18D로 각각 변화시키고 전극면과 곡관면 사이의 각 ϕ 를 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 로 회전하면서 실험하였다. 유량계와 파이프는 플렌지로 연결하였으며 연결부는 중심선을 일치시켜 유동이 곡관에 의한 효과 이외의 영향을 배제하였다.

Fig. 7은 전극면과 곡관면 사이의 각을 나타낸다. 즉 수평면으로 표현된 곡관의 대칭면과 전극면 사이의 각을 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 로 회전했을 때 대칭면과 전극면 그리고 자기장의 방향을 각각 나타낸 것이다.

4. 실험 결과 및 논의

Fig. 8은 곡관을 지난 다음 유량계를 설치하여 측정한 결과를 나타내는 것으로 (a), (b), (c), (d)는 평균 속도가 1, 3, 6, 7.5 m/s 일 때 각각의 측정 결과를 나타낸 것이다. 우선 전자기유량계를 사용 유동을 범위 $5-70 \text{ m}^3/\text{h}$ 에서 충분한 40D의 직관부를 설치하여 충분히 발달한 난류속도 분포(F.D.T.V. profile: fully developed turbulent velocity profile)가 되도록 한 다음 교정하여 측정값의 평균을 구하였다. 그리고 곡관을 설치한 다음 하류에 유량계를 장착하여 측정한 값의 교정한 평균값으로부터 편차를 표시한 것이다. 따라서 평균값으로부터 편차는 곡관에 의한 효과라고 할 수 있다.

평균속도에 관계없이 속도분포가 난류이면 곡관을 지난 다음 가장 가까운 거리에서 “-” 방향으로 최대의 편차를 보이고 거리가 증가할수록 - 즉 유동이 발달해 감에 따라 측정값의 편차가 줄어들고 있다. 속도가 충분히 발달했을 때 전자기유량계의 측정값이 최대가 되며 곡관에 의한 교란이 측정값의 크기를 작아지게 하는 것을 뜻한다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 평균속도 크기는 편

차가 거리에 따라 줄어드는 정도에 미치는 영향을 무시할 정도라고 할 수 있다.

또 전극면이 곡관과 이루는 각 ϕ 에 따른 측정값의 변화는 90° 일 때 가장 적고 $45^\circ, 0^\circ$ 의 순서로 편차가 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 경향도 평균속도의 크기에 관계없이 같은 결과를 보이고 있다. 이는 식 (3)에서 $B_y W_x$ 와 $B_x W_y$ 및 u_z 의 크기와 방향을 고려해보면 자속밀도와 가중합수 및 속도의 크기가 전극간의 전압차에 기여하는 정도를 알 수 있다.

Fig. 2와 Fig. 7에서 B_y, W_x 를 살펴보면 모두 양의 방향의 값을 가지고 있으므로 속도의 크기에 따라 기여하는 정도가 결정되며 유량신호의 크기를 증가시킨다. 그리고 $B_x W_y$ 항은 B_x 는 1, 3분면에서는 음의 값, 2, 4 분면에서는 양의 값을 가지며 W_y 도 B_x 와 같이 1, 3분면에서는 음, 2, 4 분면에서는 양의 값을 가진다. 따라서 $B_x W_y$ 는 항상 양의 값을 가지고 식 (3)에서 알 수 있듯이 전극간의 전압의 차이를 감소시키는 방향으로 작용한다.

그런데 Fig. 4 자기장 분포의 측정값에서 알 수 있듯이 B_y 는 최대 110 gauss, 최소 45 gauss이고 B_x 의 최대값은 13 gauss 이다. B_x 의 최대값을 기준으로 하더라도 B_y 가 3배에서 9배의 정도로 크다. 또 분포에 있어서도 비교적 큰 값의 B_y 가 전극 단면 전체에 골고루 분포하고 있으나 B_x 는 최대값과 비슷한 크기의 값은 일부분이고 상대적으로 작은 값의 자기장이 전극 단면에 분포하고 있음을 알 수 있다.

따라서 단순한 산술적인 계산만으로도 B_x 의 영향은 B_y 에 비해 10% 이내라고 할 수 있다. 또 W_x, W_y 의 크기를 비교해 보면 W_x 의 값이 일반적으로 크고 W_y 값은 상대적으로 작아서 절반 이하의 크기가 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 전자기유량계의 신호에 미치는 $B_x W_y$ 의 영향은 $B_y W_x$ 의 5% 이내 또는 그 보다도 작음을 알 수 있다.

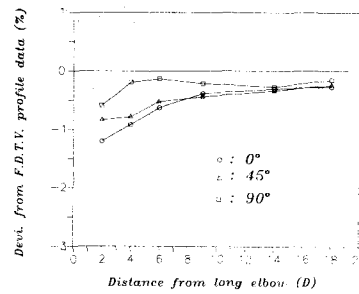
일반적으로 곡관을 지난 다음 속도는 원심력에 의해 Fig. 6에서 R_o 쪽의 속도는 증가하고 R_i

쪽의 속도는 감소하는 것으로 알려져 있다. $\varphi=0^\circ$ 일 때 즉 곡관의 평면과 전극면이 일치하면 가중합수 값이 최대인 R_o 쪽 전극 부근에서 속도는 증가하고 R_i 쪽 전극에서는 감소하게 된다. 즉 측정값의 편차가 커지는 것은 R_i 쪽의 속도 감소에 의한 영향이 R_o 쪽의 속도 증가에 의한 영향 보다 크게 작용하기 때문이다. 또 크기는 작지만 B, W_x 값이 큰 쪽에 측방향의 속도 u_z 가 발달한 속도 분포 일 때 보다 상대적으로 속도가 증가하여 유량신호의 크기를 감소시킨 것으로 생각된다.

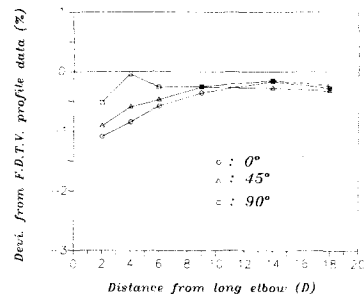
$\varphi=90^\circ$ 일 때는 속도가 상대적으로 크게 변하는 R_o, R_i 쪽의 가중합수가 작기 때문에 상대적으로 유량신호에 미치는 영향이 작으므로 측정값의 편차가 작게 나타난다. 그리고 $\varphi=45^\circ$ 일 때는 $\varphi=0^\circ, 90^\circ$ 의 설치조건 of 중간적인 특성을 나타내므로 측정의 결과도 중간값을 나타낸다고 할 수 있다. 이러한 특성은 참고문헌⁽¹²⁾에 나타난 층류의 경우와 다른 형태를 보이고 있다.

참고문헌⁽¹²⁾에서는 유동이 층류 일 때 곡률 $R_c=1.5D$ 인 곡관의 하류에 설치된 전자기 유량계의 설치효과를 나타내고 자기장의 분포는 균일한 자기장을 가진 전자기유량계 일 때 계산한 결과이다. 층류의 경우는 유동율에 따라 곡관의 하류에서 편차의 크기와 방향이 다르다 난류에서는 일정하게 “-” 방향의 편차를 보이고 있으나 층류에서는 $Re=1100, 1500$ 에서는 $\varphi=0^\circ$ 일 때는 “+” 방향, $\varphi=90^\circ$ 일 때는 “-” 방향의 편차를 보이고 있다. 이는 난류에서 $\varphi=90^\circ, 45^\circ, 0^\circ$ 순으로 “-” 방향으로 편차가 커지는 현상과 반대의 경향을 보이고 있다. 크기에 있어서도 난류의 유동에서는 최대 -1.2% 미만의 편차를 보이고 있고 층류 유동에서는 최대 $\pm 6\%$ 이고 방향이 달랐다.

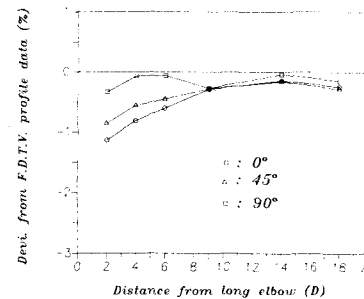
또 층류에서는 $\varphi=45^\circ$ 일 때 설치효과에 의한 측정의 편차를 가장 줄일 수 있으나 난류에서는 $\varphi=90^\circ$ 일 때 가장 작았다. 그리고 난류일 때는 거리에 따른 측정값의 편차가 φ 에 의한 영향이 레이놀즈 수에 따라 큰 차이가 없고 비슷한 경향을 보이고 있다. 그러나 층류일 때는 편차



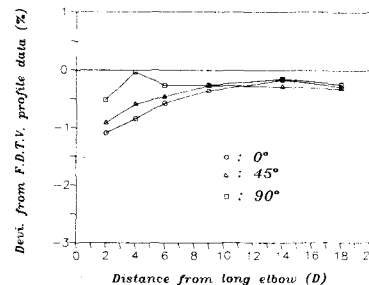
(a) Mean velocity 1 m/s ($Re=5.3 \times 10^4$)



(b) Mean velocity 3 m/s ($Re=1.6 \times 10^5$)



(c) Mean velocity 6 m/s ($Re=3.2 \times 10^5$)



(d) Mean velocity 7.5 m/s ($Re=4.0 \times 10^5$)

Fig. 8 The installation effects on the electromagnetic flowmeter

의 크기나 φ 에 의한 영향이 레이놀즈수에 따라 각각 다른 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

따라서 유동이 난류인 경우 유량계를 설치할 때는 충분한 직관부(20D 또는 생산자가 권고하는 직관부)를 두는 것이 정확한 측정을 할 수 있으며 곡관에 의한 교란이 발생하면 일반적으로 측정값이 작아지는 것을 알 수 있다. 또 이미 관로가 설치되어 변경이 곤란한 경우는 곡관의 평면과 전극평면을 수직으로 설치하는 것이 가장 정확한 측정을 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그리고 $\varphi=90^\circ$ 일 때는 설치거리에 관계없이 곡관의 직후에서 최대편차 -0.5 %이고 거리가 증가하면서 편차가 줄어들고 있다. $\varphi=0^\circ$ 일 때도 곡관의 직후에서 최대 -1.2 %의 편차를 보이고 거리가 증가할수록 줄어들어 10D의 거리에서는 -0.5 %의 편차를 보이고 있다. 즉 곡관이 설치된 하류에 유량계를 설치할 때는 유속이나 전극면의 설치 각 φ 에 관계없이 곡관으로부터 10D의 거리를 두면 측정의 편차가 0.5 % 이내임을 알 수 있다.

이러한 경향은 참고문헌⁽¹²⁾에서 레이놀즈 수 또는 φ 에 따라 거리가 증가하면 편차가 증가하거나 감소하는 종류에서의 특성과 비교된다. 즉 종류의 경우는 거리가 증가할수록 편차가 줄어드는 것이 아니라 증가하거나 감소하여 최적의 설치 위치가 존재하는 것이다. 그리고 난류의 유동에서도 8D의 위치에서 φ 값에 관계없이 같은 편차를 보이고 있으나 이는 거리의 증가에 따라 나타난 현상으로 설치의 최적의 위치로 주목할 만한 정도는 아니라고 판단된다.

이러한 실험의 결과는 산업현장에서 사용되는 전자기유량계를 대상으로 자기장의 분포를 측정하고 실험한 결과로서 일반적인 전자기유량계의 설치에 적용할 수 있다. 즉 전자기유량계는 측정 원리로부터 관로 내부의 속도 분포에 영향을 받는다. 교정을 통하여 유량계의 특성을 확인하고 현장에 설치될 때는 엄밀히 교정과 같은 조건으로 설치해야만 교정에서 확인된 특성이 유효한 것이다. 그러나 설치 현장의 환경에 따라서 이러한 조건을 만족하지 못하는 경우가 많다. 따라서 본 연구 결과는 이러한 조건에서 측정의 불확도를 최소화하기 위한 설치조건을 제시한 것으로 전자기유량계의 설치에 활용할 수 있다.

5. 결론

긴곡관(long elbow)(KS B1522, ISO 3419)에 의한 유동의 교란이 전자기유량계의 측정정확도에 미치는 영향을 실험하였다. 실험은 상업용 전자기유량계를 선택하여 전극의 단면에서 자기장의 분포를 측정하고 국가표준장치로 유량계를 교정하였다.

그리고 곡관을 지난 다음 유량계를 설치하여 교정에서 측정값과 비교하였다. 곡관과 유량계의 거리를 2D, 4D, 6D, 9D, 14D, 18D 변화시켜 거리에 따른 측정값의 변화와 곡관의 대칭면과 전극면의 각 φ 를 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 로 변화시켜 유량계의 측정값에 미치는 영향을 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 곡관의 하류에서 측정값은 발달한 난류의 속도분포에서 측정값보다 "-" 방향의 편차를 보였다.

(2) 곡관의 평면과 전극면이 이루는 각 φ 에 따른 측정값은 $90^\circ, 45^\circ, 0^\circ$ 순으로 편차가 작아지며 이는 공간이 부족할 때는 $\varphi=90^\circ$ 일 때 측정이 가장 정확함을 알 수 있다.

(3) φ 의 값에 관계없이 유량계의 설치거리가 10D 이상이면 편차가 0.5 % 이내임을 알 수 있다.

(4) (1), (2), (3)의 특성은 난류 유동에서 평균속도(레이놀즈 수)에 관계없이 같은 경향을 보이고 있다.

참고문헌

- (1) Shercliff J.A., 1954, "Relation Between the Velocity Profile and the Sensitivity of Electromagnetic Flowmeters," *J. Appl. Phys.*, Vol. 25, pp. 817~818.
- (2) Bevir M.K., 1970, "The Theory of Induced Voltage Electromagnetic Flowmeters," *J. Fluid Mech.*, Vol. 43, pp. 577~590.
- (3) Engl W.L., 1970, "Der Induktive Durchflussmesser mit Inhomogenem Magnetfeld," *Arch. für Electrotechn.*, Vol. 5, No. 6, pp. 126~134.

- (4) Luntta E. and Halttunen J., 1989, "The Effect of Velocity Profile on Magnetic Flow Measurement," *Sensors and Actuators*, Vol. 16, pp. 335~344.
- (5) Kuromori K., 1993, "An Electromagnetic Flowmeter with Plural Pairs of Electrodes (in Japanese)," *J. of the Society of Instrument and Control Engineers*, Vol. 29, pp. 1413~1420.
- (6) JIS B 7554, 1993, "Electromagnetic Flowmeters (in Japanese)."
- (7) Bevir M. K., O' Sullivan V. T. & Wyatt D. G., 1981, "Computation of Electromagnetic Flowmeter Characteristics from Magnetic Field Data," *J.Phys. D:Appl.Phys.*, Vol. 14, pp. 373~388.
- (8) ISO 4185, 1980, "Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits-Weighing methods."
- (9) ISO, 1993(E), "Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement(1st edition)."
- (10) Ki Won Lim, 2001, "A Study on the Measurement Uncertainty of Flowmeter Calibrator," *J. of KSME(B)*, Vol. 25, No. 4, pp. 561~571
- (11) Ki Won Lim, 1994, "Standard Calibration Procedure of an Electromagnetic Flowmeter," KASTO-94-10-408-107.
- (12) Ki Won Lim, Myung Kyoong Chung, 1999, "Numerical Investigation on the Installation Effects of an Electromagnetic Flowmeter Downstream of a 90° Elbow-Laminar Flow Case," *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 10, pp. 167~174.