

전자기유량계의 설계 및 제작

임 기 원*

(2003년 1월 29일 접수, 2003년 8월 21일 심사완료)

Design and Fabrication of an Electromagnetic Flowmeter

Ki Won Lim

Key Words: Electromagnetic Flowmeter(전자기유량계), Measuring Tube(측정관), Voltage Equation(전압방정식), Electrically Conducting Fluid(전도성 유체), Magnetohydrodynamics(전자 유체역학), Weight Function Method(가중함수법), Calibration(교정)

Abstract

An electromagnetic flowmeter(EMF) was developed and its characteristics were compared with a commercial EMF. The developed EMF was designed as the 100 mm nominal diameter. A signal processing circuit was also developed for generating the magnetic field and converting the flow signal to flowrate and flow quantity. In order to obtain a more stable and reliable flow signal, the double magnetizing frequency was adopted for magnetizing the coil of the EMF. For the characterization of the developed EMF, the uncertainty of calibrator was estimated within $\pm 0.5\%$. The evaluation procedure of the uncertainty followed the ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.

It was found that the flow signals between the electrodes were about $\pm 60 - \pm 300 \mu V$, which were sufficient for the discrimination of flowmeter and the protection of noise. The test results against the calibrator showed the good linearity in the range of $3 m^3/h$ and $70 m^3/h$. A commercialized design of the EMF based on the current study will be technically more competitive in domestic and foreign market.

기호설명

B, \vec{B} : 자속밀도(스칼라, 벡터) [wb/m^2]
 B_0 : 평균 자속밀도 [wb/m^2]
 D : 파이프의 직경 [m]
 k : 비례상수
 R : 파이프의 반경 [m]
 \vec{u} : 속도벡터 [m/s]
 W : 가중함수

w_0 : 평균속도 [m/s]
 u_x, u_y, u_z : 카테시안 속도 요소
 x, y, z : 카테시안 좌표계

그리스문자

ϕ : 전위 [V]
 ϕ_e : 전극간의 전압차 [V]

1. 서 론

전자기유량계(electromagnetic flowmeter)는 국내 산업용 유량계 시장(900억원, 2001년)과 세계 시장(32억불, 1999년)에서 각각 20%를 차지하고 있다.(계측기기연구조합 홈페이지 및 Frost & Sullivan 보고서 참조) 이는 차압유량계(differential

* 회원, 한국표준과학연구원 유체유동그룹
 E-mail : kwlim@kriss.re.kr
 TEL : (042)868-5314 FAX : (042)868-5028

pressure flowmeter)의 점유율 30%에 이어 2번째이며, 질량(mass), 용적식(positive displacement), 터빈(turbine), 초음파(ultrasonic) 유량계 순으로 시장을 점유하고 있다. 차압유량계는 전통적인 유량계로서 노즐, 오리피스 등 다양한 종류를 포함하고 있으며 시장이 포화되는 경향을 보이고 기술적으로 한계를 나타내고 있다.

따라서 전자기유량계는 산업용 유량계에서 시장의 수요가 가장 큰 유량계라고 보는 것이 정확하다. 대구경 유량측정에서는 초음파유량계와 정확도면에서는 질량유량계, 터빈유량계, 와유량계와 기술적인 경쟁을 벌이고 있다. 앞으로 시장은 이러한 구조로 당분간 유지될 것이다.

전자기유량계의 국내시장은 외국제품이 주종을 이루고 있다. 비교적 크지 않은 국내의 시장과 세계 시장에서 경쟁하기에 상대적으로 낮은 기술수준이 국산화 개발을 더디게 하고 이러한 결과를 초래하였다.

국산화 개발노력은 일부기업에서 시도되었으나 정확도나 신뢰도면에서 국내시장에서 조차 신뢰를 얻지 못하는 실정이다. 이는 측정원리에 대한 정확한 이해 없이 외국의 제품을 단순히 모방한 결과로서 설계기술력이 부족하여 측정 정확도 향상에 한계가 있었다.

전자기유량계는 유동하는 유체에 자기장을 가하여 유량신호를 얻는 능동형(active)유량계이다. 내부에 가동부가 없어 관로의 손실이 거의 없고 이 물질이 통과해도 무리 없이 측정할 수 있는 장점이 있다. 또 대구경 관로의 유량 측정에 유리하며 상하수도, 폐수, 우유, 맥주 등 전도성 유체(electrically conducting fluid)를 측정에 활용된다. 일반적인 측정의 범위는 유속이 0.3 m/s이고 전도율(conductivity)은 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상이나⁽¹⁾ 최근에는 유속 0.1 m/s, 전도율 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하의 유체를 측정하는 유량계가 개발되고 있다.

본 연구는 유량측정 벤처기업인 (주) MaxMet와 공동으로 전자기유량계의 개발연구를 수행하여 개발과정의 경험과 결과를 정리한 것이다. 유량계 개발은 측정관과 유량신호를 처리하는 회로의 개발로 나누어 진행되었다.⁽²⁾

연구의 결과로 시제품의 측정관과 신호처리회로의 설계 도면이 완성되었고 상품화 과정에서 (주)MaxMet의 기술력으로 산업현장의 유량측정과 제어를 위해 필요한 다양한 기능을 추가할 예정

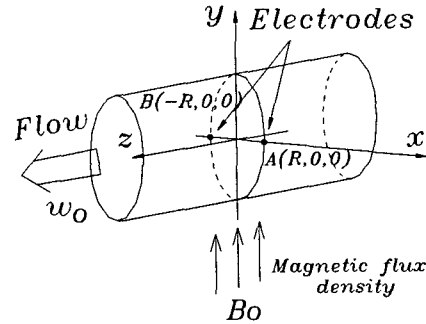


Fig. 1 The principle of an electromagnetic flowmeter

이다. 즉 측정신호 데이터의 통신 기능의 부가와 측정정확도를 높이는 연구를 수행 중이며 국내외 시장에서 기술 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 기대된다.

2. 전자기유량계의 원리 및 신호 특성

전자기유량계의 유량측정원리는 Fig. 1과 같이 자기장이 작용하는 관로 내부에 전도성 유체가 유동하면 전극에 유체의 속도에 비례하는 전압, 즉 유량신호가 파라데이 법칙에 의해 전극에 유도된다. 일반적으로 전극에 유도되는 전압 ϕ_e 는 자속밀도(magnetic flux density)의 크기 B_0 , 전극간의 간격 D 및 유체의 평균유속 w_0 에 비례하는 유량 신호가 유도되며 식 (1)과 같다.

$$\phi_e = k \cdot B_0 \cdot w_0 \cdot D \quad (1)$$

유량신호의 크기는 식 (1)과 같이 표현할 수 있으나 신호의 변환과정의 복잡성과 비선형적인 요소 때문에 교정(calibration)을 통하여 기준기의 측정값에 따라 비례상수 k 를 조정하여 사용한다. 즉 전극간의 전압을 교정결과에 따라 유량신호로 정의하여 사용하게 된다.

전자기유량계는 자기장을 작용시켜 유량신호를 얻으므로 자기장의 발생 방법이 기술적으로 중요한 의미를 가진다. 즉 유량신호가 자속 밀도에 비례하기 때문 측정정확도와 신호의 크기 및 안정성이 자속 밀도의 안정성에 따라 결정된다.

자기장 방향이 일정한 DC 방법에 의해 자기장을 발생시키는 경우는 전극에서 전기분해에 의한

저항 값의 변화가 신호의 선형성을 악화시키고 결국 신호를 얻을 수 없게 된다.⁽³⁾ 따라서 자기장을 Fig. 2와 같이 AC(교류), 주기적인 DC(직류) 방법으로 발생시켜 이러한 문제를 해결한다.

AC 방법은 측정 유체의 전도율이 낮은 경우에도 상대적으로 높은 유량 신호를 얻을 수 있는 반면 전원의 불안정으로 인한 기준 전압의 불안정성이 측정에서 오차로 작용한다. 주기적인 DC 방법은 주기적으로 일정한 자기장을 발생시켜 전극의 전기화학적 반응에 의한 저항의 변화를 방지하고 안정된 신호를 얻을 수 있는 장점이 있다.

따라서 대부분의 상업용 유량계들이 주기적인 DC방법을 사용하고 있고 식 (1)의 자속밀도 B_0 는 Fig. 2(b)의 sampling time 동안의 안정된 자속 밀도를 나타낸다. 자기장이 작용할 때와 작용하지 않을 때 출력신호의 차이가 유량신호가 된다.

또 주기적인 DC 방법에 의한 자기장의 발생방법에서 안정된 자기장이 작용하는 시간(Fig. 2에서 magnet "on" 시간)에 비례하여 코일에 열이 발생하게 된다. 코일에서 발생한 열은 유체에 의해 냉각되나 발열량이 커지면 코일의 특성을 변화시켜 유량신호의 선형성과 분해능을 악화시킨다.

그래서 자기장의 크기가 일정하게 유지되는 시간을 줄이기 위해 Fig. 3과 같은 이중주파수방법이 사용된다. 즉 같은 크기의 출력 유량신호를 얻는 경우에 코일의 열 발생을 절반 정도로 줄일 수 있다. 저주파는 최대 30 Hz 이고 고주파는 1 kHz 이상의 주파수를 혼합하여 자화(magnetizing) 주파수로 사용한다. 본 연구에서도 이 방법으로 유량계를 설계하였다.

전자기유량계의 지배방정식은 볼테지(voltage)방정식으로 표현되며 이를 해석하여 신호를 구할 수 있다. 전극 면의 전위의 분포 ϕ 는 속도 \vec{u} 와 자속밀도의 크기의 \vec{B} 함수로서 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.^(1,4)

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

유량신호 해석은 1954년 Shercliff⁽⁴⁾가 가중함수(weight function)개념을 도입한 이래 연구자들은 가중함수를 이용하여 유량계를 설계하고 특성을 개선하기 위해 연구하였다.

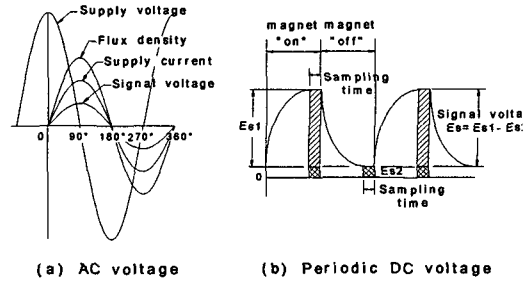


Fig. 2 Magnetic field generation

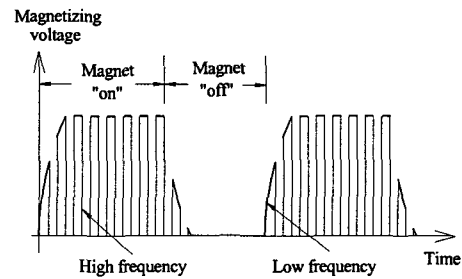


Fig. 3 Double frequency method

특히 유량신호는 유량계 내부의 속도분포에 영향을 받기 때문에 이를 줄이기 위한 연구를 수행하였다.^(5,6) 그러나 같은 유량에서 속도분포에 관계없이 일정한 크기의 유량신호를 얻을 수 있는 자기장의 분포를 구하는 해결책은 제시하지 못하고 있다.

2차원인 경우에 u_z 의 속도만 존재하고 B_z 이 일정하다고 가정하면 해를 구할 수 있다.^(1,4) 전극 사이의 유량신호는 식 (3)과 같다.

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

여기에서 W_x, W_y 는 가중함수이며 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. 4과 같이 전극의 평면에 나타낼 수 있으며 자속밀도와 속도성분의 크기가 전극간의 전압 차에 기여하는 정도를 나타낸다. 즉 가중함수 값이 큰 부분에서 속도와 자속밀도가 크면 전극간의 전압 차에 기여하는 정도가 크고, 작으면 상대적으로 기여도가 작은 것을 뜻한다.

W_x 는 전극의 부근에서 가중 함수값이 가장 큰 ∞ 로서 특이점(singular point)을 보이고 있으며 코일 부근에서 상대적으로 작은 값을 가지게 된다. W_y 는 분포가 다르며 전극에서 특이점으로 최대 값을 가지며 원점에 대해 점대칭이다.

따라서 유량이 같더라도 충분히 발달한 속도분포를 가질 때와 속도 분포가 찌그러짐(distortion)이 발생하면 측정값이 달라지게 된다. 그런데 코일의 위치가 (0, R, 0), (0, -R, 0)이므로 자기장은 y 축방향의 자속밀도가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.⁽⁷⁾ 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. 즉 가능한 유량 신호를 크게 하는 것이 분해능을 높이고 노이즈에 대해 유리하므로 코일의 설계에서는 이러한 특성을 고려하여야 한다.

3. 설계 및 제작

개발된 전자기유량계의 기본 구성도는 Fig. 5에 제시되어 있으며 측정관과 신호처리 회로로 구성되어 있다. 측정관에는 자기장을 발생시키는 코일과 유량신호를 검출하는 전극이 설치되어 있고 신호의 크기를 최대로 하기 위해 서로 직각으로 설치되어 있다. 코일의 크기는 적절한 신호가 발생할 수 있도록 회전수와 직경을 설계하였다. 전극은 유체와 직접 접촉하므로 절연과 누설을 방지하도록 설계하였다.

신호처리회로에는 주기적인 자화를 위한 회로와 이것과 동기화 된 주 신호처리회로(main signal processor)가 있다. 즉 주기적으로 자화되는 시간동안 유량신호를 측정해야 하므로 서로 동기화(synchronized) 되어야 한다. 또 주 신호 처리회로에서는 미약한 유량신호를 증폭과 정류의 과정을 거쳐서 보다 안정된 구형파 형태로 변환하여

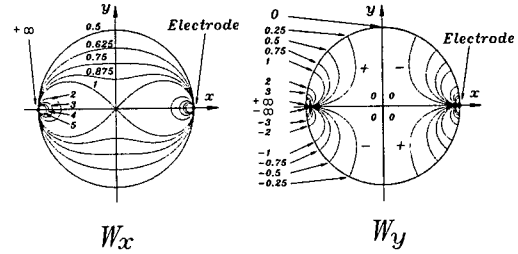


Fig. 4 The weight functions

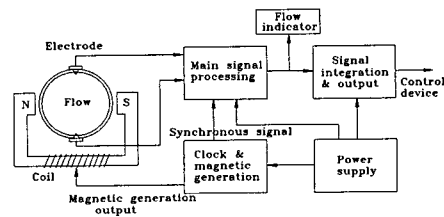


Fig. 5 Block diagram of the developed electromagnetic flowmeter

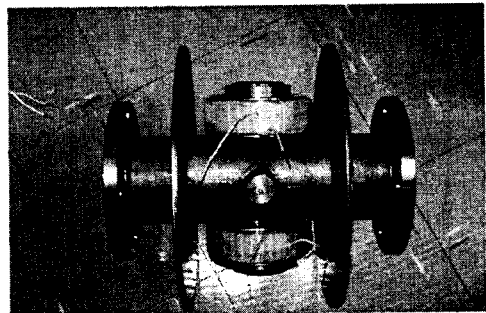


Fig. 6 The measuring tube of the developed electromagnetic flowmeter

적산회로(signal integration & output)에 전송하게 된다.

적산회로에서는 주 신호처리부에서 처리된 유량신호를 적산하여 유동량과 유동율을 표시창에 표시한다.

3.1 측정관의 구조

측정관은 몸체, 전극과 코일로 구성되며 측정관과 전극 재질의 선택, 절연과 누설방지를 위한 설계, 코일의 설계 및 자기장의 차폐가 주요한 설계 요소가 된다.

측정관의 크기는 100 mm이며 유동하는 액체와 절연이 되어야 하므로 라이닝(lining)은 가공이 비

교적 쉬운 베클라이트를 사용하였다.

Fig. 6는 개발한 측정관의 사진을 보여주고 있다. 코일의 회전수를 800 회(tum)로 하여 유체가 통과하는 측정관 내부에 자기장이 최대 200 guass가 되도록 설계하였다.

또 유량계 내부의 자기장은 외부로부터 받는 교란을 가능한 줄여야 안정된 신호를 얻을 수 있다. 즉 측정관의 몸체와 전극의 고정부분은 비자성체인 반면 자기장의 세기를 크게 하는 코일의 코아 부분과 코일의 옆과 위의 차폐 부분은 자성체 재질을 선택하여 자기장의 세기가 외부로부터 영향을 받지 않고 안정된 상태로 유지되도록 하였다.

측정관의 몸체는 코일로부터 발생하는 자기장이 통과하여 유동하는 유체에 작용하도록 해야 한다. 따라서 몸체는 자기장이 제거되었을 때 잔류자기가 없어야 한다. 즉 전자기유량계의 유량신호는 자기장의 세기에 비례하기 때문에 측정관에 잔류자기가 남아 있으면 유량신호가 시간이 지남에 따라 신호가 변하게 되므로 몸체의 재질은 비자성체이어야 한다.

전극의 상세 도면은 Fig. 7에 나타냈으며 전극은 측정관의 몸체와 절연되어 있고 측정관의 내부의 라이닝을 통과하여 유체와 직접 접촉되어 있다. 전극은 저항이 적은 비자성체 재질을 사용하고 유체의 접촉부분은 이온에 의한 전기화학적 반응을 방지하기 위해 부식에 강한 재질로 도금하였다.

3.2 신호처리회로의 설계

신호처리 회로는 Fig. 5에 나타나 있듯이 주 신호처리부, 자기장 발생회로, 적산출력부 및 전원회로로 구성되어 있다.

전극에서 검출된 유량신호는 크기가 상대적으로 작아서 주위의 자기장이나 전기회로에 의한 노이즈에 매우 민감하다. 신호처리회로와 측정관은 코일의 자화를 위한 선과 전극의 유량신호를 검출하는 신호선과 연결되어 있다. 따라서 신호선은 자기장의 직접적인 영향을 받아 기전력이 유도되어 노이즈가 발생하거나 유량신호의 크기를 변화시키게 된다. 그래서 두 전극으로부터 신호선이 골고루 자기장의 영향을 받아 절대적인 크기의 변화가 없도록 배열하였다.

주 신호 처리회로의 블록 다이어그램은 Fig. 8

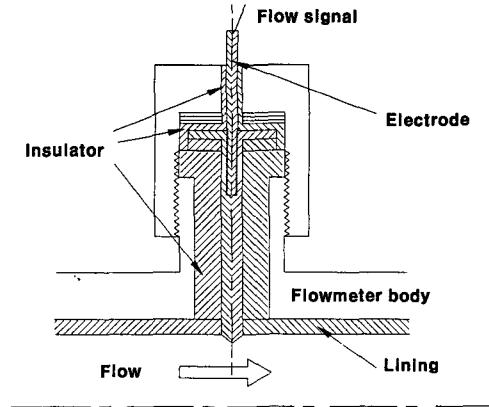


Fig. 7 The design of the electrode

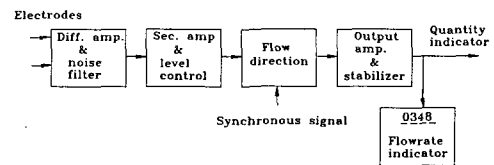


Fig. 8 Main signal processing circuit

에 나타냈으며 차동증폭회로, 노이즈 필터, 2차 증폭 및 신호제어 회로, 유동방향감지회로, 출력 증폭 및 안정화 회로로 구성되어 있다. 전극에서 검출된 유량신호는 미세하고($\pm 60 - \pm 300 \mu V$) 전극은 높은 입력 임피던스를 가지고 있어 노이즈에 매우 취약하다.

특히 전원공급장치로부터 발생하는 60 Hz의 노이즈에 민감하기 때문 능동 필터를 이용하여 노이즈를 제거하고 신호처리회로의 임피던스가 낮아지도록 설계하였다. 그리고 전극이 접지에 대해 평형 또는 floating 되어 있으므로 차동증폭기(differential amplifier)를 이용하여 신호를 증폭하도록 설계하였다.

한편 유동으로부터 발생한 미약한 신호를 증폭하여 유량의 단위로 정의하기 위해 식 (1)의 k 값을 사전 조정해야 하는데 이득조정회로에서 먼저 이득을 조정할 필요가 있다. 따라서 전극으로부터 신호를 차단하고 기준 신호(reference signal)를 이용하여 조정하도록 설계하였다. 즉 점퍼를 이용하여 1차로 x1, x2, x4, x8 4가지의 이득을 조정할 수 있도록 설계하였다.

2차증폭과 신호제어회로에서는 점퍼를 조합하

여 이득의 크기를 세밀하게 조정할 수 있다. 1차 증폭에서 조정이 불가능한 범위의 신호값을 추출한 다음 기존의 값과 비교하여 조정하도록 하였다. 즉 보다 광범위한 이득의 조정으로 k 값을 명확히 정의하고 최종적으로 신호를 수백 배까지 증폭할 수 있다.

또 유동방향 변별 회로에서는 역방향의 유동을 식별할 수 있는 기능을 부가하였다. 유량신호를 클럭 발생신호와 동기화하여 절반의 주기마다 sample/hold 소자를 사용하여 기존 값과 비교하여 방향을 판별한다.

출력 및 안정화회로에서는 차동증폭회로로 신호의 크기를 $\pm 10V$ 범위가 되도록 조정하여 표시창에 표시하는 역할을 한다. 안정화 회로에는 신호의 이득조정회로에서 불균형에 의한 오차를 보상하는 기능-제로 조정이 기능을 추가하였다. 제로조정 기능은 유체가 정지상태 일 때 유량신호를 "0"으로 조정할 수 있다.

Fig. 9는 구형파 발진기(clock generator), 자기장 발생회로 및 전원 공급회로를 나타낸다. 구형파 발진기는 자화주파수와 전극에서 신호검출을 동기화하기 위한 안정된 구형파 신호를 만든다.

기준주파수는 전원 주파수 100 - 120 Hz 를 1차 분주회로에서 1/2, 1/4, 1/8 의 주파수를 얻을 수 있으며 2차 분주에서는 1/4로 분주하여 최종적으로 30, 15, 7.5, 3.75 Hz 의 4가지 주파수를 얻을 수 있다. 기준 주파수는 유량계의 직경 또는 다른 조건에 따라 점퍼를 이용하여 선택할 수 있으며 기준주파수는 역위상으로 25%의 duty를 가진 펄스 형태로 출력된다.

한편 자기장을 발생하는 코일의 구동은 전력의 소모가 많으므로 전류를 증폭하여 사용한다. 전류의 증폭을 위한 Pre-driver로는 Op.-amplifier가 2단으로 설치되었고 초단증폭, feedback 및 정규환 회로에 의한 schmidt 회로가 구성되어 있다. 코일 구동에 공급되는 출력 전류는 120-600 mA 범위에서 조절하여 공급되도록 설계하였다.

코일의 구동은 구형파 발진기에서 만들어진 안정된 기준 주파수에 따라 자화 주기를 갖는다. 또 전극에서 신호의 검출도 자화주파수와 동기화되어 이루어진다.

주 신호처리회로(Fig. 8)에서 얻어진 유량신호를 표시장치로 나타내기 위해 Fig. 10의 출력회로를 사용하였다. 유량계의 출력신호는 4-20 mA의

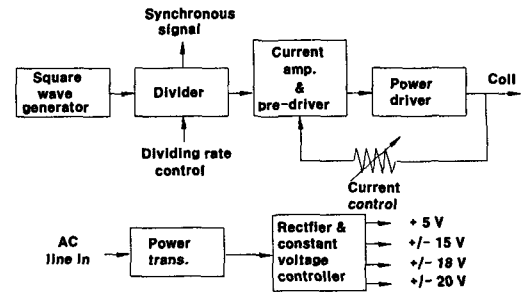


Fig. 9 Clock generator, magnetic drive and power supply circuit

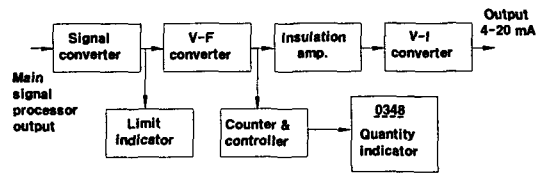


Fig. 10 Flow signal output circuit

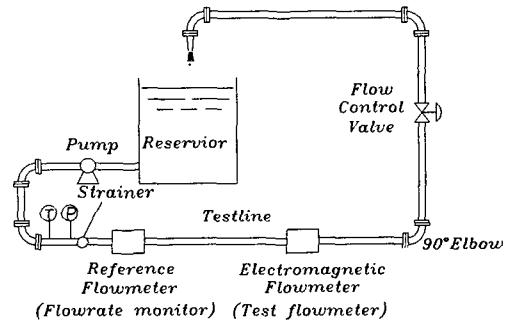


Fig. 11 The flowmeter calibrator

아나로그 신호 또는 펄스 형태의 출력이 필요하게 된다. 따라서 전압신호를 V-F 변환기로 펄스 형태의 출력과 V-I 변환기를 통해 전류신호로 출력된다.

이러한 유량신호의 출력은 유량계를 통과한 유체와 1:1 대응이 되도록 변환기의 이득을 조절하여 정할 수 있다. 그러나 전술한대로 신호의 변화 과정의 복잡성과 비선형 요소로 인하여 이득의 조정만으로 정확하게 정의할 수 없다. 따라서 유량계의 측정값은 교정을 통하여 기준기의 측정값과 비교하여 전압신호인 유량신호를 유동량 또는 유동율의 단위로 물리적 의미를 가지도록 정하여 사용한다.

4. 특성 실험

개발된 전자기유량계는 유동율에 비례하는 신호의 출력여부와 노이즈의 영향 요소를 실험하였다. 본 실험에서는 Fig. 11의 교정장치를 사용하였다. 유체가 유량계가 설치된 시험관으로 유동하면 기준유량계를 지나 시제품 유량계를 통과하게 된다. 2개의 유량계 사이에 누설이 없으므로 연속 법칙에 의해 동일한 측정값을 가리키게 된다.

기준유량계로 사용된 전자기유량계는 E사의 제품으로 구경이 50 mm이고 교정장치는 ISO에서 권고하는 방법⁽⁸⁾에 따라 평가했으며 측정불확도는 ±0.5 % 이내 이었다. 유동율 3 m³/h 부터 70 m³/h 범위에서 약 5 m³/h 간격으로 유동율을 변화시키면서 개발된 전자기유량계의 출력신호를 기준유량계와 비교하였다.

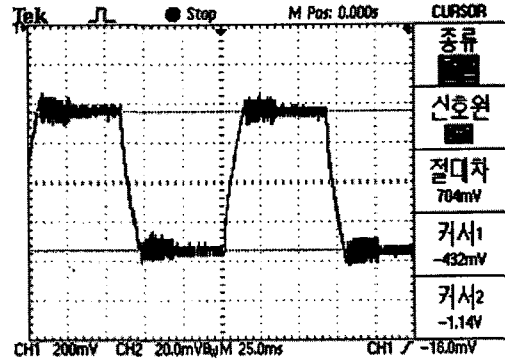
신호 변화과정의 이득을 조정하여 출력 신호의 전압을 5배하여 유동율 단위(m³/h)가 되도록 조정하였다. 실험 방법은 최대유동율에서 최소유동율까지 실험하고 다시 유동율을 증가시키는 방법으로 3회 실험하여 유동율에 따른 신호의 비례 여부를 실험하였다.

차동증폭기를 지난 다음의 측정된 유량신호를 Fig. 12에서 보여주고 있다. 유동율이 30, 60 m³/h의 신호를 각각 나타낸 것으로 상 하한 값의 절대 차가 704, 1400 mV로 유동율에 비례하고 있음을 알 수 있다.

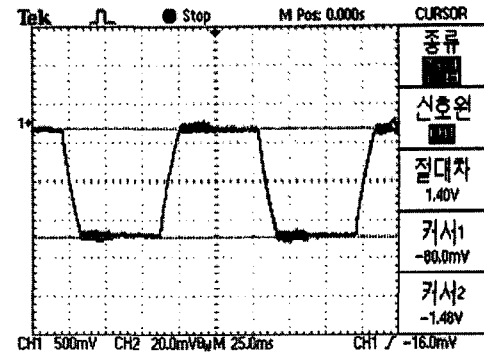
또 유량신호에 고주파 신호가 결합되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 코일의 열 발생을 줄이기 위해 이중주파수를 사용한 결과로서 고주파를 결합한 형태로 유량 신호가 나타나고 있다. 이러한 고주파 신호는 주 신호 처리과정에서 제거되고 DC 전압으로 유량신호가 출력된다.

Fig. 13는 개발된 전자기유량계 최종 전압 신호의 특성 실험 결과를 나타내고 있다. Fig. 12에서 보인 바와 같이 유동율에 따라 전자기유량계는 안정적으로 선형적인 출력을 보이고 있음을 알 수 있다. 측정값의 선형성이 유지되는 유동율 범위가 3 m³/h 부터 70 m³/h 까지 이며 따라서 측정 가능한 유동율 범위(rangeability)가 20 : 1임을 알 수 있다.

특성 실험에서는 신호 검출 선과 자화를 위한



(a) Flowrate 30 m³/h



(b) Flowrate 60 m³/h

Fig. 12 Flow signals after differential amplifier

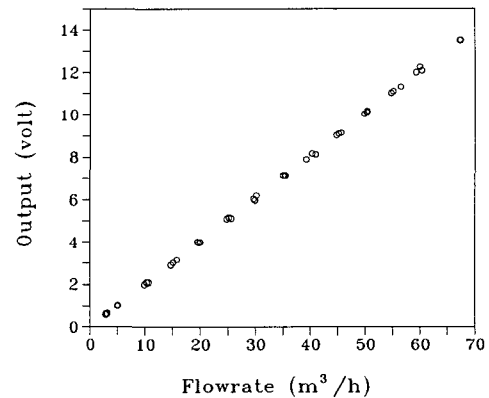


Fig. 13 The test results of the developed flowmeter

선이 비교적 길게 설치되어 있어 노이즈의 영향이 클 가능성이 높았다. 또 실험을 위해 코일과 전극 부분을 밀봉하지 못한 상태에서 실험하

여 안정성이 떨어지는 상태이었으나 만족할 만한 선형적인 결과를 얻었다.

또 신호처리회로의 각 부분에서 외부의 요소가 유량신호에 미치는 영향을 실험하였다. 즉 전자기유량계의 측정관에서 유량신호는 매우 미약하여 외부의 기계적인 진동이나 전기적인 영향에 매우 민감하였다. 이러한 결과를 정량적으로 표현할 수는 없지만 펌프의 진동에 의한 요소와 자기장의 변화에 따른 신호의 불안정성이 있음을 알았다.

측정관과 신호처리회로는 편의상 별도로 제작하여 선으로 연결된 상태이므로 시제품 전자기유량계는 외부의 영향을 많이 받았다. 즉 코일 부근의 자성물체의 이동이 있으면 출력신호는 불안정성을 보였는데 이는 자기장 분포가 변화하여 신호에 직접적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 즉 식(1)에서 유량신호는 자기장의 세기에 직접적인 영향을 받으므로 자기장의 분포가 안정되게 유지되도록 해야 한다.

개발된 시제품에 대한 상품화 연구과정에서 자기장과 노이즈의 차폐구조를 보강하고 안정된 구조로 신호선을 배열하면 보다 향상된 선형성과 불확도를 가진 전자기유량계를 제작할 수 있을 것이다.

5. 결 론

전자기유량계를 개발하기 위해 측정관과 신호처리회로를 설계 제작하였다. 측정관은 자기장을 발생하는 코일과 유량신호를 검출하는 전극으로 구성되어 있다. 신호처리회로는 코일을 구동하는 회로와 측정된 신호를 유량단위로 환산하는 주 신호처리회로, 출력회로와 전원 및 클럭 발생부로 구성되어 있다.

연구의 결과로 측정관의 재질에 따른 신호의 영향과 설계기술, 파이프 직경에 따른 코일의 설계기술, 전극의 절연과 누설방지를 위한 설계 기술과 주 신호처리회로, 코일 구동회로 및 잡음제

거를 위한 설계 및 배선에 관한 기술을 확보하고 시제품을 제작할 수 있었다.

시제품은 측정 가능한 유동율 범위(rangeability)가 $3\sim 70\text{ m}^3/h$ 로서 약 20:1의 범위를 보였다. 실험의 결과로서 상업용 유량계와 같은 수준으로 유량신호의 선형성을 확인하였다. 또 노이즈를 방지하기 위한 과정도 설계 기술과 같이 중요하며 시제품의 특성실험에서 이의 영향을 실험하고 설계에 반영할 수 있었다.

상품화 연구 과정에서 불확도 $\pm 1\%$ 이하의 제품으로 국내의 시장에서 기술 경쟁력 있는 상품을 설계 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) JIS B 7554, 1993, "Electromagnetic Flowmeters (in Japanese)".
- (2) Ki Won Lim, 2002, "Design and Fabrication of Precise Electromagnetic Flowmeter for Process Measurement," KRIS/IR--2002-049
- (3) DeCarlo J.P., 1984, "Fundamentals of Flow Measurement," *Instrument Society of America*.
- (4) Shercliff J.A., 1954, "Relation Between the Velocity Profile and the Sensitivity of Electro-magnetic Flowmeters," *J. Appl. Phys.*, Vol. 25, pp. 817~818.
- (5) Bevir M.K., 1970, "The Theory of Induced Voltage Electromagnetic Flowmeters," *J. Fluid Mech.*, Vol. 43, pp. 577~590.
- (6) Engl W.L., 1970, "Der Induktive Durchfluss-messer mit Inhomogenem Magnetfeld," *Arch. fur Electrotechn.*, Vol. 5, No. 6, pp. 126~134.
- (7) Ki Won Lim, 2002, "An Experimental Study on Installation Effects of Pipe Elbow on the Electromagnetic Flowmeter Characteristics(Turbulent Flow)," *J. of KSME(B)*, Vol. 26, No. 11, pp. 1613~1621.
- (8) ISO, 1993(E), "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(1st edition)."