

〈技術論文〉

## 2-유로 카트리지 밸브를 이용한 유압용 유량 센서의 개발

홍예선\* · 이정오\*\*

(1992년 11월 4일 접수)

### Development of a Flow Rate Sensor Using 2-way Cartridge Valve

Yeh-Sun Hong and Chung-Oh Lee

**Key Words :** Flow Rate Sensor(유량 센서), 2-way Cartridge Valve(2 流路 카트리지 밸브), Displacement Sensor(변위 센서)

#### Abstract

In this paper the design and test results of a dynamic flow rate sensor was reported. This sensor comprises an 2-way cartridge valve as standard hydraulic component and a displacement sensor. Its working principle bases on the linear relationship between the flow rate and the piston displacement of 2-way cartidge valves under constant pressure drop. This principle is well known, however it is not easy to develop a flow rate sensor with the measurement range of 300 l/min, pressure loss of less than 8 bar at 300 l/min, maximum linearity error of less than  $\pm 1\%$  and the maxium rising time of 10 ms. This paper describes the design procedure of the flow rate sensor, the improvement procedure of static performance and test method and results of dynamic performance.

#### 기 호 설 명

- $Q$  : 유량센서로 통과하는 유량 (l/min)  
 $C_d$  : 슬릿의 유량계수 (discharge coefficient)  
 $A_p$  : 피스톤의 단면적 ( $cm^2$ )  
 $A_0$  : 슬릿 전체의 단면적 ( $cm^2$ )  
 $P_1$  : 슬릿의 입구 압력 (bar)  
 $P_2$  : 슬릿의 출구 압력, 부쉬 구멍의 입구 압력 (bar)  
 $P_3$  : 부쉬 구멍의 출구 압력 (bar)  
 $\rho$  : 작동유의 밀도 ( $g/cm^3$ )  
 $U$  : 슬릿의 폭 (mm)  
 $X$  : 피스톤의 변위 (mm)  
 $X_0$  : 반력 스프링의 초기 압축변위 (mm)

#### 1. 서 론

유압회로 내의 순간 유량을 측정하여 전기적인 신호로 변환시켜 주는 유량센서는 단순히 유량을 계기 상에 표시하거나 그 이상 여부를 감시하기 위한 목적 뿐만 아니라, 유량을 정밀하게 제어해 주기 위한 방안으로서 유량을 감지하여 제어를 통해 유량조절밸브를 작동시키는 유량제어계를 구성하는 데에도 요구된다.

유량센서에 요구되는 주된 성능 항목은 선형오차, 분해능, 동적인 응답지연 시간 그리고 압력손실 등을 들 수 있다. 순간 유량을 전기적인 신호로 변환, 출력시키는 유량센서로는 터빈이나 치차형 유압모터에 작동유를 통과시켜 로터의 회전 속도를 전기적으로 측정하는 방식이 보편적으로 사용되어 왔는데, 이러한 방식의 유량측정 센서는 일반적으

\*정회원, 한국과학기술연구원 로봇응용 및 유공압 연구실

\*\*정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

로 로우터의 회전을 비접촉식 근접센서로 감지하여 일회전당 일정 수의 전기적인 펄스신호를 출력시키는 원리에 의해 작동되므로 유량을 측정하려면 일정 주기 동안 로터의 회전에 따른 펄스신호의 수를 세어서 주파수를 구한 후 이 디지털 수치를 전압신호로 변환시키게 된다. 따라서 유량센서로서의 동적인 응답특성을 좋게 하려면 주파수 측정주기를 짧게 해 주어야 하고 고유량 범위에서의 측정 분해능을 높이려면 로터의 날(blade)이나 치차수가 많아야 하며, 동시에 저유량 범위에서의 측정가능 최저한계를 낮추려면 카운터의 計數용량이 커져야 한다. 즉, 유량 센서의 사용조건에 따라서 신호처리 회로의 용량이 적절히 부합되어야 하므로 요구되는 측정범위가 넓고 응답시간이 짧으며 분해능이 높을수록 유량 센서의 가격이 높아질 수 밖에 없다.

본 논문에서는 2 유로 카트리지밸브(2-way cartridge valve)를 이용하여 간단하게 구성할 수 있는 유량측정센서의 개발에 관해 보고하고자 한다. 이 유량센서는 유량의 변화가 시간 지연이 거의 없이 카트리지밸브의 피스톤(piston) 변위로 변환되도록 하여 이 변위의 변화를 변위측정센서에 의해 전기적인 신호로 변환시키는 방식으로 작동되는데, 그 특징은 높은 유량에서도 압력손실이 낮고 동적인 응답특성이 좋으면서 구조가 간단하고 가격이 저렴하다는 데에 있다<sup>1, 2/</sup>. 본 논문에서 탈성한 유량센서의 성능은 300 l/min 까지의 측정범위에서 최대 압력손실이 7.5 bar 이고 최대선형오차가  $\pm 1\%$  이내이며, 특히 동적인 응답성능이 우수한 것을 특징으로 들 수 있다. 예를 들면, 42 l/min 의 상대적 유량변화에 대한 응답지연 시간이 1 ms에 불과하다.

## 2. 본 연구에서 개발한 유량센서의 구조 및 작동원리

Fig. 1은 본 논문에서 소개하고자 하는 유량센서의 기본적인 구조를 보여 준다. 유량센서로 작동유가 유입되면 반력 스프링을 압축시키면서 피스톤을 (+) X 방향으로 밀어 내고 피스톤의 하단에 가공된 4개의 슬릿을 통해 출구로 빠져 나간다. 그리고 슬릿을 통과하면서 압력이 감소된 작동유의 압력  $P_2$ 가 피스톤의 반대쪽 면에 작용하도록 유로가 형성되어 있다. 여기에서 반력 스프링의 탄성계수가 매우 작기 때문에 압축변위가 변하더라도 반력의

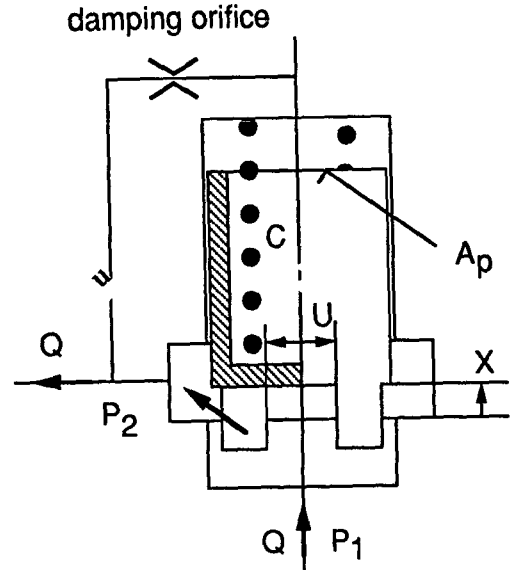


Fig. 1 Basic configuration of the flow rate sensor based on 2-way cartridge valve

변화가 초기 압축력에 비해 무시할 만큼 작다고 가정하면 스프링의 반력은 거의 일정하다고 가정할 수 있다. 따라서 피스톤에 작용하는 압력차 ( $P_1 - P_2$ )가 피스톤의 변위에 무관하게 거의 일정하게 유지되므로 슬릿을 통과하는 작동유의 압력손실은 작동유의 유량이 변하더라도 일정하게 유지된다고 가정할 수 있다. 즉, 슬릿에서의 단면형상을 尖角오리피스(sharp edged orifice)로 가정하고 피스톤에 작용하는 유동력을 무시하면 유량방정식은

$$Q = C_d A_o(X) \sqrt{2(P_1 - P_2)/\rho} \quad (1)$$

으로 표시할 수 있고 식(1)에서  $(P_1 - P_2) \approx \text{const.}$  이라고 하면  $X$ 는  $Q$ 에 비례하게 된다. 따라서 피스톤의 변위를 측정하면 간접적으로 작동유의 유량을 알 수 있다는 것이 이 유량센서의 기본 작동원리이다. 여기에서 슬릿의 전체 단면적은

$$A_o(X) = 4 \cdot U \cdot X \quad (2)$$

Fig. 2는 유량센서의 실제 구조를 보인 것이다. 부쉬(bush)와 피스톤은 유압밸브용으로 규격화되어 생산되는 카트리지 형태의 표준부품을 사용할 수 있으므로 구입이 쉽고 호환성도 보장된다. 피스톤의 변위측정용 센서로는 모듈레이터(modulator) 및 디모듈레이터(demodulator) 등 신호처리회로가 내장된 유압밸브용 차동 변압기형(differential

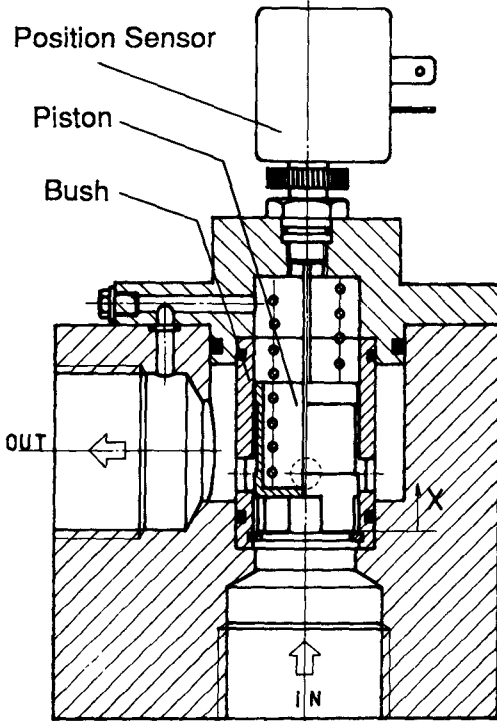


Fig. 2 Cut-off view of the flow rate sensor

transformer type) 내압형 비접촉식 변위측정센서를 사용하면 동적인 응답 성능조건 및 구조적인 밀폐 조건 등을 쉽게 만족시킬 수 있다.

### 3. 유로 카트리지 밸브를 이용한 유량센서의 설계

유량측정범위와 허용 압력손실이 주어졌을 때 유량센서의 설계에 있어서 고려하여야 할 가장 중요한 정적인 성능 조건은 최대 선형오차, 최대 압력손실, 피스톤의 최대 변위 등이다. 피스톤의 최대 변위는 변위측정센서의 선정에 있어서 고려해야 할 측정범위, 선형오차, 분해능, 가격 등과 직결이 된다. (1)식에서  $P_1 - P_2$  는 엄밀히 따지면 앞에서 가정한 바와 같이 피스톤의 변위와 무관하게 일정하게 유지되지 않고 다음의 힘 평형조건에 따라서 변한다. 즉,

$$P_1 - P_2 = C(X_0 + X) / A_p \quad (3)$$

이 관계식을 (1)식에 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$Q = C_a \sqrt{2/\rho} \cdot (4UX) \cdot \sqrt{C(X_0 + X) / A_p} \quad (4)$$

윗식에서 보는 바와 같이 유량센서에 통과시키는 유량과 피스톤 변위 간의 상관관계는 3차식으로 주어진다. 그러나 반력 스프링의 탄성계수 및 초기 압축변위, 슬릿의 폭 등과 같은 설계인자들을 적절히 조합함으로써 선형오차를 크게 줄이는 것이 가능하다. 그리고 유량센서의 구성에 사용되는 부쉬의 구멍과 유량센서의 몸체 내 유로를 유체가 통과할 때 발생하는 압력손실(minor loss)을 위의 이론식에서는 고려하지 않았는데, 이것이 실제로 선형오차에 미치는 영향은 매우 크게 나타난다. 이에 반해 피스톤에 작용하는 유동력의 영향은 무시해도 좋을 만큼 작게 나타난다. 이들 설계인자들이 선형오차에 미치는 영향을 종합적으로 밝혀려면 유량센서의 보다 정확한 이론 모델이 필요하다. Fig. 3은 부쉬에서의 압력손실을 고려한 유량센서의 모델이다.

피스톤에 작용하는 힘들의 정상조건 평형방정식을 다시 세우면

$$(P_1 - P_3) A_p - C(X_0 + X) = 0 \quad (5)$$

이다. 그리고 부쉬에서의 압력손실은

$$P_2 - P_3 = f(Q^2) \quad (6)$$

으로 표현할 수 있다. 따라서 (1)식과 위의 (5), (6)식으로부터 유량과 피스톤 변위 간의 정확한 상관관계를 얻을 수 있다. 만일 부쉬에서의 압력손실

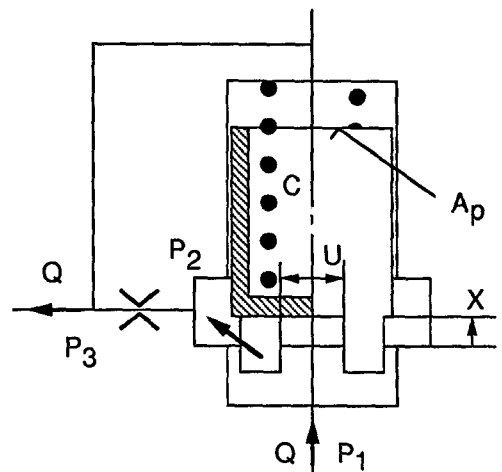


Fig. 3 Flow rate sensor model with minor loss at the holes of bush

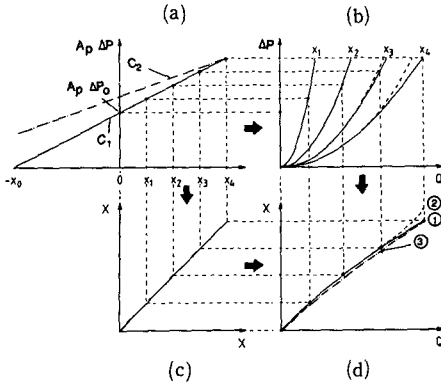


Fig. 4 Graphic deduction of the static characteristics of flow rate sensor

을 무시하면  $P_2 = P_3$ 이므로 유량과 피스톤 변위간의 관계식은 식(4)와 같아진다.

Fig. 4는 복원 스프링의 특성(Fig. 4a), 카트리리지 밸브에서의 유량-압력차 특성(Fig. 4b)으로부터 유량과 피스톤 변위 간의 관계(Fig. 4d)를 도식적으로 구하는 과정을 보여 준다. Fig. 4d의 곡선 (1)은 초기압축력  $\Delta P_0$ ,  $A_p$ 을 갖는 탄성계수  $C_1$ 의 스프링을 사용하였을 때 얻어지는 식(4)에 해당되는 이론적인 특성곡선이다. 그리고 곡선 (3)은 같은 조건에서 탄성계수  $C_2$ 의 스프링을 사용하여 얻어지는 결과이다. 즉, 스프링의 탄성계수가 작고

상대적으로 초기압축력이 높을수록 이론적인 선형 오차는 감소한다. 그러나 스프링의 탄성계수가 너무 작으면 최대 유량에서의 피스톤 변위와 스프링의 자유 길이가 과도하게 커져 실현가능한 설계조건을 벗어나게 된다.

Fig. 4(b)와 Fig. 4(d)의 선도에서 점선은 부쉬에서 발생하는 압력손실을 고려한 압력차-유량특성 곡선에 해당된다. 즉, 부쉬에서 발생하는 압력손실의 크기를 인위적으로 적절히 설정하면 Fig. 4(d)의 곡선(2)와 같이 측정범위 내에서의 선형오차가 줄어드는 방향으로 유량센서의 정특성을 개선시킬 수 있게 된다.

슬릿의 폭은 피스톤의 변위가 증가함에 따라 계량 오리피스스의 단면적이 증가하는 비율에 해당되므로 피스톤의 최대 허용변위에 영향을 주는 변수이다.

유량센서의 동적인 응답특성을 최대한으로 보장하기 위해서는 피스톤의 관성질량을 최소화하는 것이 필요하고 진동감쇠특성을 강화하기 위하여 진동감쇠용 오리피스 (damping orifice)를 Fig. 1에 표시한 것과 같이 설치할 수 있다.

실제로 다음과 같은 설계조건에 대하여 이론식(4)를 이용하여 유량센서를 1차 설계한 결과는 Table 1과 같다. 여기에서 부품들의 사양은 표준품으로 구입할 수 있는 스프링, 카트리리지 밸브 등

Table 1 Designed data of flow rate sensor

Component	Designed data	
Bush	internal diameter	26 mm
	hole diameter	8 mm
	number of holes	6
Piston	width of slit	8 mm
	length of slit	9 mm
	number of slits	4
	weight	40 g
Spring	spring rate	12.9 N/mm
	free length	64.2 mm
	initial compression	17.2 mm
Piston	measurent range	$\pm 4$ mm
Displacement Sensor	frequency response range	400 Hz
	type	differential transformer

의 것을 그대로 사용하였다. 그리고 유량계수  $C_d$ 의 값은 0.61로 가정하였다.

- 유량측정범위 : 300 l/min
- 최대 허용 압력손실 : 8 bar
- 피스톤의 최대 허용 변위 : 6 mm
- 최대 허용 선형오차 :  $\pm 1\%$

다음 절에서는 이와 같이 설계된 유량센서를 제작하고 성능실험을 통해 성능을 개선한 과정과 실험 방법 및 그 결과에 대해 기술하였다.

#### 4. 정특성 실험장치의 구성 및 실험결과

Fig. 5는 유량센서로 공급할 수 있는 유량을 300 l/min까지 변화시킬 수 있는 정특성 실험장치의 구성을 보여 준다. 유량센서로 흐르는 유량을 변화시켜 주는 방법으로서, 펌프로부터 공급되는 작동유의 압력을 일정하게 유지시키는 상태에서 가변 교축밸브를 이용하여 유량을 변화시켰다. 최대 공급유량이 매우 크기 때문에 유량센서로 공급되는 작동유의 압력을 일정하게 유지하기 위하여 압력릴리프 밸브를 사용하지 않고 定壓 제어형(constant pressure controlled) 가변용량 펌프를 사용하였다. 155 l/min까지의 유량범위 내에서는 정압 제어형 가변용량 펌프만으로 유량공급이 가능하고 그 이상의 유량은 병렬로 연결된 유량조절형 가변용량 펌프의 공급유량을 중첩시킴으로써 320 l/min까지 늘릴 수 있게 하였다. 이렇게 함으로써 0 l/min에서 320 l/min까지 유량 공급이 가능하면서 공급 압력은  $\pm 1$  bar의 오차 범위 내에서 일정하게

유지할 수 있다. 작동유의 온도는 냉각기(cooler)와 가열기(heater)를 이용하여 실험조건 별로 일정하게 설정하여 유지시켰다. 그리고 실험용 유량센서를 펌프와 가변 교축밸브 사이에 설치하고 실험용 유량센서의 측정오차를 절대적으로 검출하기 위하여 상용화된 치차형 유압 모터식(gear motor type) 정밀 유량센서를 기준신호(reference signal) 발생용 센서로 사용하였다.

Fig. 6은 Table 1과 같이 설계하여 제작한 유량센서의 유량-피스톤 변위 특성선도를 측정된 것이고 Fig. 7은 유량-압력차 특성선도를 측정된 것이다. 여기에서 유량센서의 입구 압력은 100 bar, 작동유의 온도는 섭씨 45도로 설정하였다.

Fig. 6에서 보면 유량 150 l/min까지는 선형오차가 매우 작으나, 300 l/min까지의 측정범위에서는 선형오차가 약  $\pm 2\%$  정도로 크게 나타났다. 이 선형오차를 별도의 유량-선형오차 선도로 나타낼 수 있도록 Fig. 8과 같은 회로를 이용하면 150

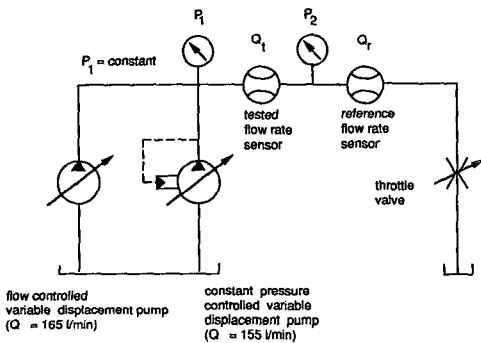


Fig. 5 Experimental setup for the measurement of static characteristics

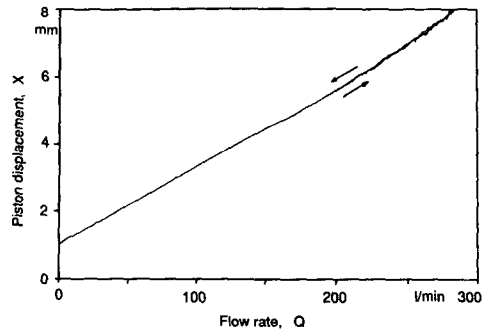


Fig. 6 Flow rate-piston displacement curve of flow rate sensor

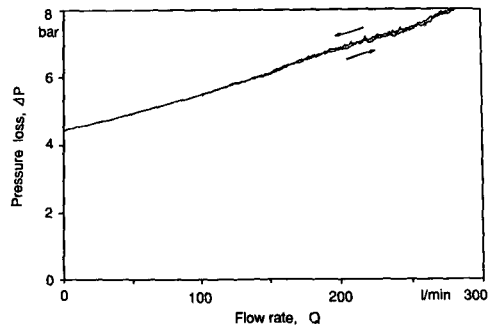


Fig. 7 Flow rate-pressure drop curve of flow rate sensor

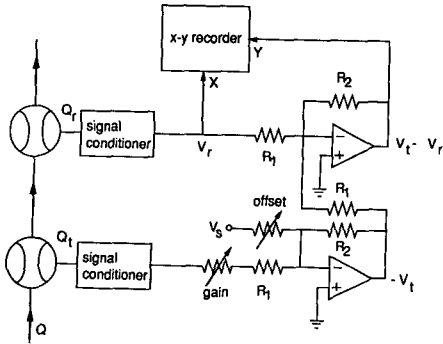


Fig. 8 Electrical signal processing circuit for direct measurement of flow rate-linearity error curve

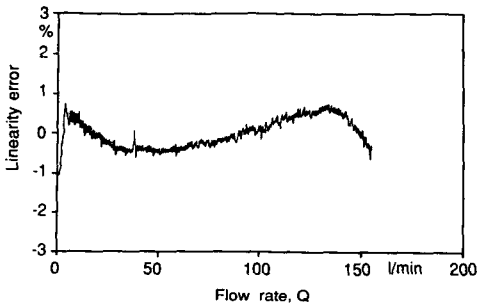


Fig. 9 Flow rate-linearity error curve of flow rate sensor

1/min 까지의 선형오차를 Fig. 9와 같이 나타낼 수 있고 최대 선형오차가  $\pm 0.7\%$  정도에 달하는 것을 알 수 있다. 따라서 유량측정 범위를 150 l/min 까지로 제한하면 유량센서로서의 성능이 만족스러우나, 300 l/min 까지의 측정범위에서는 선형오차, 최대 압력손실 및 피스톤의 최대변위가 설계조건을 초과하여 설계가 수정되어야 한다. 유량센서로 오일이 흐르기 시작할 때 피스톤 변위가 1 mm부터 시작하는 것은 구조상 피스톤이 1 mm 이상 이동해야 비로서 유로가 형성되도록 제작된 카트리지 밸브 자체의 오우버 랩 때문이다.

300 l/min 까지의 대유량 범위에서 유량센서의 선형오차에 큰 영향을 줄 수 있는 변수는 유량센서 내의 유로 중에서 가장 단면적이 작은 부위의 구멍을 유체가 통과하면서 발생하는 압력손실일 수 있음에 착안하여 유량센서에서 피스톤을 빼내고 순수하게 부쉬에서의 압력손실을 측정할 결과는 Fig. 10과 같다. 즉, 300 l/min의 유량에서 발생하는

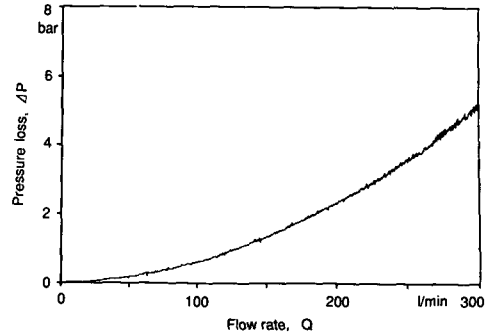


Fig. 10 Flow rate-pressure loss curve of original bush

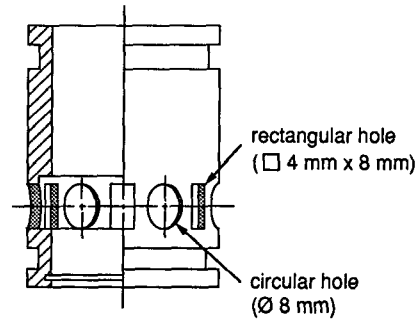


Fig. 11 Modified bush with auxiliary rectangular holes

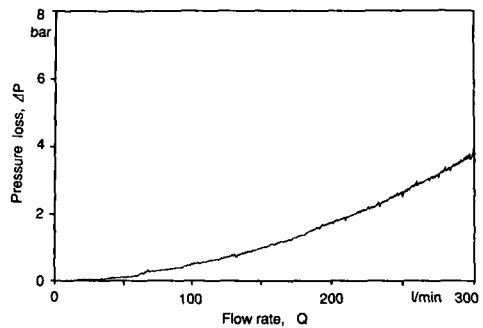


Fig. 12 Flow rate-pressure loss curve of modified bush

압력손실이 약 5 bar에 달하는 것을 알 수 있고 이것이 유량센서 전체의 압력손실이 허용치를 초과한 주된 요인임을 알 수 있다. 이에 대한 해결 방안으로서는 부쉬의 구멍 단면적을 넓혀 주는 것이 필요하므로 Fig. 11과 같이 원래의 직경 8 mm의 원형 구멍 옆에 4 mm x 8 mm 크기의 사각형 구

멍을 방전가공으로 6개를 더 뚫은 후 다시 유량-압력손실 선도를 측정하여 Fig. 12와 같은 결과를 얻었다. 여기에서 300 l/min에서의 압력손실이 3.7 bar 정도로 감소하였음을 알 수 있고 이로 인해 대유량에서의 피스톤 변위가 감소됨으로써 선형오차가 개선되는 효과를 확인하면 Fig. 13과 같다. 즉, 부쉬에서의 압력손실을 감소시킴으로써 300 l/min까지의 선형오차가  $\pm 1\%$  이내로 줄어들었다.

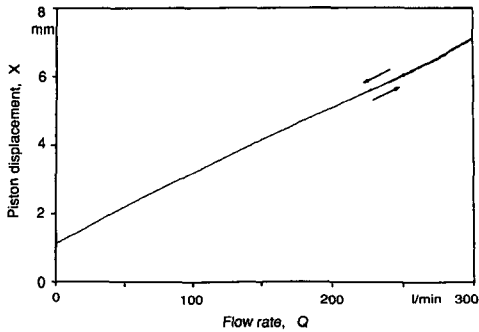


Fig. 13 Flow rate-piston displacement curve of modified flow rate sensor

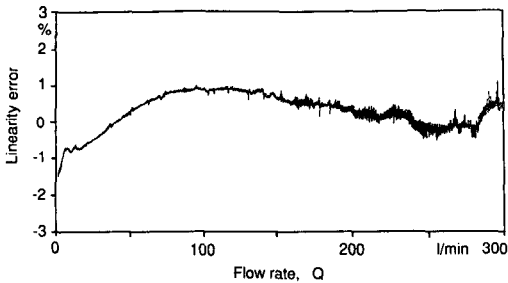


Fig. 14 Flow rate-linearity error curve of modified flow rate sensor

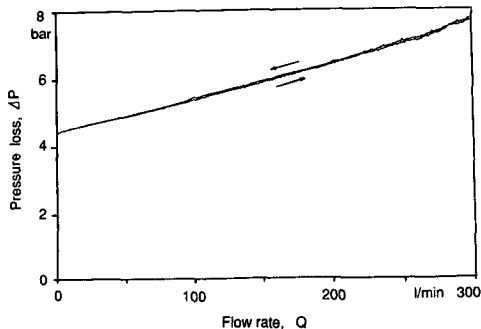


Fig. 15 Flow rate-pressure loss curve of modified flow rate sensor

Fig. 14는 유량-선형오차 특성선도, Fig. 15는 유량-압력손실 특성선도를 보여준다.

Fig. 16과 Fig. 17은 유량센서의 사용조건으로서 고려해야 할 입력포오트의 압력, 작동유의 온도를 각각 매개변수로하여 선형오차가 어떻게 변하는지를 확인한 실험결과이다. 즉, 입력포오트의 압력을 100 bar에서 200 bar 정도로 증가시키면 선형오차가 약  $\pm 1.5\%$  까지 증가하고, 작동유의 온도가 섭씨 45도 이상에서 75도 정도로 높아지면 선형오차가  $+0.7\%$  에서  $-1.5\%$  정도로 증가하나, 전체 유량측정범위와 비교하면 충분히 수용할 수 있는 수치이다. 단, 여기에서 사용된 작동유는 Shell Tellus 32로서 산업용 유압장치에 흔히 쓰이는 일반적인 작동유이다. 본 논문의 유량센서내 계량부위에서는 작동유의 흐름이 난류를 형성하게 되므로 유량센서의 온도특성이 작동유의 점도보다는 밀도의 변화에 의해 영향을 받는다. Shell Tellus 32의 경우 섭씨 45도에서 75도로 온도가 변할 때

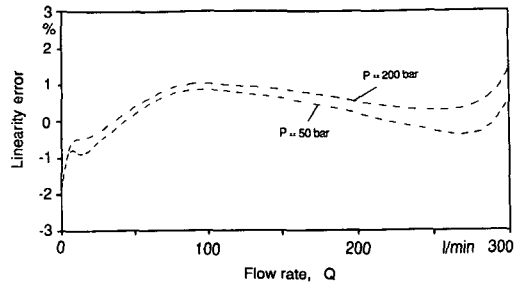


Fig. 16 Flow rate-linearity error curve of modified flow rate sensor with different inlet pressure

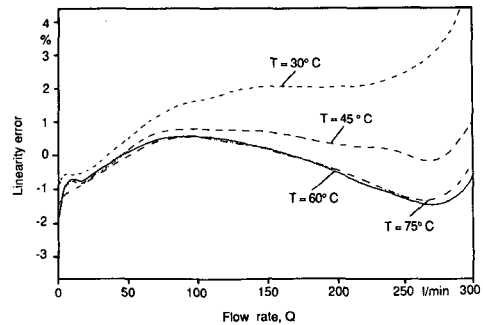


Fig. 17 Flow rate-linearity error curve of modified flow rate sensor with different oil temperature

밀도는 약 2% 감소한다. 이러한 정량적인 변화가 Fig. 17에서 300 l/min의 유량 통과시 유량측정치에 근사적으로 반영되는 것을 알 수 있다. 따라서 온도에 따른 밀도의 변화율이 Shell Tellus 32와 다른 작동유를 사용할 때에는 Fig. 17의 측정결과가 달라질 수 있다.

5. 동특성 실험장치의 구성 및 실험결과

Fig. 18은 유량센서의 동적인 응답특성을 실험하기 위한 유압장치의 회로도를 보여 준다. 교축밸브 B1은 유량 변화의 초기조건을 설정하기 위한 것으로서, 정상조건에서는 펌프에서 공급되는 유량의 일부만 B1으로 흐르고 나머지 유량은 압력 릴리프 밸브를 통해 탱크로 귀환되면서 공급압력이 약 120 bar가 되도록 하였다. 가스 압력이 80 bar로 충전된 4 리터 용량의 어큐물레이터는 유량센서에 짧은 기간동안 높은 유량의 작동유를 보내 주는데 사용된다. 초기 정상 상태에서 전기적인 신호를 가하여 약 1.5 ms 이내에 스위칭되는 2 포트 2 위치 솔레노이드 밸브를 작동시키면 교축밸브 B2를 통해서도 작동유가 탱크로 흐를 수 있기 때문에 유량 센서에 급격한 유량 증가의 변화를 줄 수 있고 반대로 솔레노이드를 닫으면 급격히 유량을 감소시킬 수 있다. 이 급격한 유량변화를 주는 동안에는 압력 릴리프 밸브가 유량변화에 대해 반응하는 데에 약 25 ms 정도의 시간지연이 있기 때문에 어큐물레이터에서 300 l/min x 0.025 sec = 0.125 리터 정도의 작동유를 공급할 수 있어야 한다. 120 bar로 충전된 어큐물레이터의 작동유 압력이 110 bar 까지 감소하도록 허용할 경우 그림과 같은 용량의 어큐물레이터는 약 0.2 리터의 작동유를 방출시킬 수 있으므로 어큐물레이터의 용량은 충분하게 설정되었다고 간주할 수 있다.

Fig. 19는 앞에서 설명한 방식대로 유량센서로 흐르는 유량을 약 15 l/min 에서 50 l/min, 100 l/min, 150 l/min, 250 l/min, 300 l/min의 크기로 변화시켰을 때의 동적인 응답특성을 측정된 것이고 Fig. 20은 반대로 유량을 50 l/min, 100 l/min, 150 l/min, 250 l/min, 300 l/min에서 약 25 l/min 으로 급격히 감소시켰을 때의 응답특성을 측정된 것이다. 그림에서 보면 15 l/min 에서 300 l/min로 유량이 변할 때 응답시간(10%~90% rising time)은 약 10 ms, 15 l/min 에서 150 l/min으로

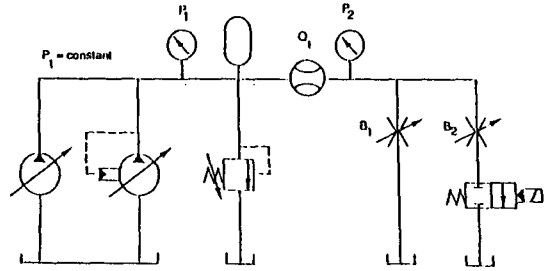


Fig. 18 Experimental setup for the measurement of the dynamic characteristics of flow rate sensor

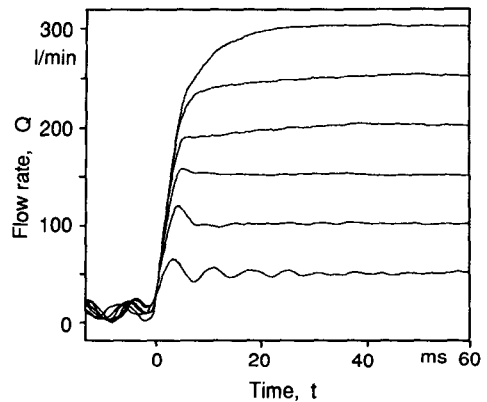


Fig. 19 Step input response of flow rate sensor

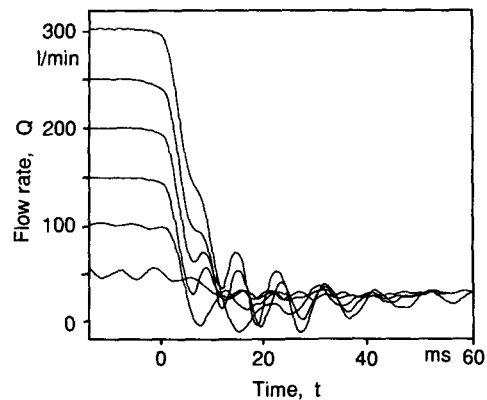


Fig. 20 Step input response of flow rate sensor

변할 때의 응답시간은 약 4 ms 인 것을 알 수 있다. 반대로 유량을 감소시킬 때의 응답시간은 이보다 더 짧고, 이 응답시간에는 개폐 솔레노이드 밸브의 응답시간 1.5 ms 까지 포함되어 있다. 그리



고 100 l/min 이하의 낮은 유량범위에서 출력신호에 약 175 Hz의 맥동이 나타나는 것은 정압제어형 가변용량 7기통 피스톤 펌프의 유량 맥동에 의한 것으로서, 낮은 유량 실험범위에서는 교축밸브 B1의 개도가 작기 때문에 맥동에 의한 유량변화가 상대적으로 민감하게 압력변화로 변환되어 유량센서의 출구에 작용하기 때문이다. 150 l/min 이상의 유량에서는 다른 주파수를 갖는 유량조절 가변용량 펌프의 유량맥동이 증첩되어 상쇄되는 효과까지 발생하기 때문에 이 리플(ripple)이 나타나지 않는다. 이와 같이 이 유량센서는 펌프의 유량 맥동(pulsation)까지 상대적으로 감지할 수 있을 정도로 동적인 응답특성이 뛰어나다고 할 수 있는데, 그 주된 요인은 본 논문에서 피스톤의 질량을 30 g 정도로 최소화시켰고, 피스톤의 단면적이 약 5.3 cm<sup>2</sup>에 달하므로 피스톤 양면에 작용하는 작은 압력차에 의해서도 상대적으로 큰 힘에 의해 피스톤이 새로운 작동점으로 가속되는 데에 있다.

한편, 유량 맥동에 의한 응답신호의 리플을 원하지 않을 경우에는 응답특성이 상대적으로 느린 변위측정 센서를 사용하거나 앞에서 설명한 바와 같이 진동감쇠용 오리피스를 유량센서에 사용할 수 있다.

## 6. 최종 검토 및 결론

본 논문에서는 2 유로 카트리지밸브(2-way cartridge valve)를 이용하여 간단하게 구성할 수 있는 유량측정센서의 개발에 관해 보고하였다. 이 유량센서는 유량의 변화가 시간 지연이 거의 없이 카트리지밸브의 피스톤(piston) 변위로 변환되도록 하여 이 변위의 변화를 변위측정센서에 의해 전기적인 신호로 변환시키는 방식으로 작동되는데, 그 특징은 높은 유량에서도 압력손실이 낮고 동적인

응답특성이 좋으면서 구조가 간단하고 가격이 저렴하다는 데에 있다.

본 논문에서 달성한 유량센서의 성능은 300 l/min 까지의 측정범위에서 최대 압력손실이 7.5 bar 이고 최대선형오차가  $\pm 1\%$  이내이며, 특히 동적인 응답성능이 우수한 것을 특징으로 들 수 있다. 예를 들면, 유량이 15 l/min 에서 300 l/min 로 순간적으로 변하였을 때 센서가 감지하여 응답하는 시간(rising time)은 10 ms에 불과하다. 따라서 이 유량센서는 유압회로 내의 순간 유량을 측정하기 위한 목적으로 뿐만 아니라, 유량을 감지하여 제어기를 통해 유량조절밸브를 작동시키는 고정밀, 고응답 유량제어계를 구성하거나, 유압 액츄에이터의 고응답 속도제어계를 구성하는 데에 비접촉식 속도센서로서 사용할 수 있다.

## 참고문헌

- (1) Backe, W., "Steuerungs-und Schaltungstechnik II," Aachen 공대 학부 강의교재 1985년도 판
- (2) Lu, Yung-Hsiang, 1981, "Entwicklung vorgesteuerter Proportionalventile mit 2-Wege-Einbauventil als Stellglied und mit gerateinterner Rueckfuehrung," Aachen공대 박사 학위 논문.
- (3) Hogrefe, W., 1982, "Auswahlkriterien fuer Durchflussmessgeraete," Regelungs-technische Praxis, 24. Jahrgang, pp. 305~310, pp. 375~380, pp. 411~417.
- (4) Schumacher, H., 1981, "Volumenzaehler als beruehrungslose Sensoren fuer hydraulische Antriebsbewegungen," Oelhydraulik und Pneumatik, Nr. 4.