2000 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 65~74
부경대학교 용당캠퍼스 종합복지관, 2000. 12. 1~2.

밸브후단에서의 다회선 초음파 유량계의 특성변화

황상윤* · 서경호* · 김병찬* · 김경식* · 장학수*

Installation Effects on the Characteristics of Multi-path Ultrasonic Flowmeter with Valve

S. Y. Hwang, K. H. Seo, B. C. Kim, K. S. Kim, H. S. Tyan.

Key Words : Multi-path Ultrasonic Flowmeter(다회선초음파유량계), Transit Time Difference Method(전파시간차방식), Dry Calibration(건접교정검사), Mean Velocity(평균유속), Velocity Distribution Curve(유속분포곡선)

ABSTRACT

A five path ultrasonic and/or magnetic flowmeter were installed after valve. Five path ultrasonic flowmeter were tested to obtain it's performance in a water flow standard system and magnetic flowmeter. It's varied with straight pipe length(nD), install direction and valve position.

All the results are summerized. The multi-path flowmeters(MUF) showed up to ±0.5% at a 2, 4, 8, 15D spacing : the MUF was significnatly better than magnetic flowmeter at disturbed flow conditions.

1. 서 론

다회선 초음파유량계의 현장 적용은 근래에 들어서면서 다양한 응용분야에서 각광받고 있다. 그 이유는 적용의 현실성과 경제성 때문이다.

예를 들어 수자원 공급량의 효율성 제고, 수력발전과 원자력 발전의 효율측정 시스템, 하수처리량의 효율성 증대, 석유류, 가스류 공급란인 등 다양한 분야에서 그 경제성을 검토하고, 계산하여 그 결과들을 발표하고 있다. 또한 유량계의 설치는 기존의 Flange 형태로 설치할 수 있고, Hot-tapping으로 직접 시공하는 경우에도 유량계 설치시 작업공간만 있으면 단수시키지 않고도 유량계를 설치할 수 있다. 도한 유지보수도 현장에서 함께 행해진다. 삽입된 초음파 진동자변환기는 유체의 흐름에 방해와 압력손실을 일으키는 장애물이 거의 없고, 진동자의 수명은 실제로 길기 때문에 1차요소에 의한 유지보수가 거의 필요치 않다.

대구경 유량측정 시스템에서 간접적으로 유량계 성능을 검사하 수 있는 간접교정검사야말로 초음파 다회선 유량계가 갖는 최대의 장점이 될 것이다. 왜냐하면, 이는 다른 방법과 대안이 없을 정도로 훌륭하고 안정된 물리식과 유체의 수리식에 근거하기 때문이다. 앞으로 이에 대한 연구와 응용은 국내에서도 눈부시게 확대되어 나갈 것이다. 특히, 수자원 분야, 수력, 원자력 발전분야, 펌프 터빈분야,송풍기 분야 등 대형기기들의 성능 개선 및 효율성 시스템에는 그 몫을 담당할 수 있을 것이다.

전파시간차 방식 다회선 초음파유량계에 대한 많은 논문이 발표되었으나 이는 주로 교정검사결과에 의한 성능을 알리기 위한 형식에 관한 것들이었고, 유체흐름 조건(이상적인 경우와 흐름에 방해가 있는 경우)에서의 성능에 관해서는 미약한 편이었다.[1]~[5]

일반적인 배관 현장에서 유체 흐름에 영향을 미치는 요인들을 찾아보면 배관의 형상(곡관부)과 직관부

* (주)창민테크 부설연구소
E-mail : cmsonic@orgio.net

그리고 여기에 함께 설치되는 밸브, 펌프 등 일 것이다. 이들 중에서 밸브에 따른 성능 변화를 시험하였다.

5회선 초음파유량계(Ø250㎜)를 간접 교정검사후 밸브 후단에 설치하고, 표준시스템과 기준유량계(전자유량계 Ø250㎜)와 비교하였다. 주요 실험요소는 밸브 후단에서 5회선 초음파유량계가 직관부 및 설치방향에 따른 성능변화 그리고 밸브 개도율에 따른 영향을 조사하였다.

2. 이 론

전파시간차 초음파유량계의 측정원리는 간단하게 설명하면 아래와 같다.

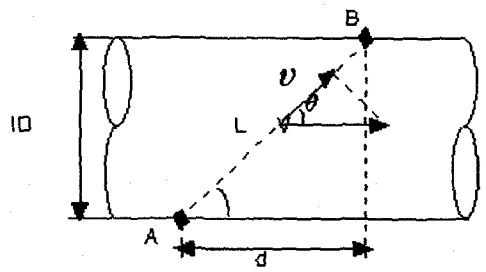
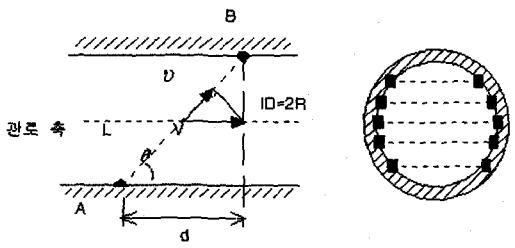
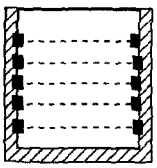


그림 1. 전파시간 방식의 초음파 유속측정 원리도



(a) 측정 회선 단면 (b) 관로 회선배치 예



(c) 개수로 회선배치 예

그림 2. 초음파 다회선 유량계의 회선배치도

그림 1과 2에 그 구성을 보였다. 그림에서 관로 양단에 진동자 A와 B가 설치되어 신호를 서로 주고받을 수 있도록 되어 있다. 유속이 없을 경우에는 진동자 A에서 B로, B에서 A로 전파하는 시간 t_1 와 t_2 는 서로 같다.

$$v=0 \Rightarrow t_{AB}=t_{BA}=\frac{L}{C} \qquad (1)$$

그러나 그림 1에서처럼 유속이 있는 경우에는 A에서 B로 전파하는 시간은 감소하고(빨라지고), B에서 A로 전파하는 시간은 증가한다.(느려진다)

$$t_{AB}=\frac{L}{C+v}=\frac{L}{C+V\cos\theta}\,,$$
$$t_{BA}=\frac{L}{C-v}=\frac{L}{C-V\cos\theta} \qquad (2)$$

여기에서 t_{AB}=진동자 A에서 B로 전파시 초음파 전파시간

t_{BA}=진동자 B에서 A로 전파시 초음파 전파시간

C=물에서의 음속, L=진동자 A, B간의 거리

V=유속, v =초음파 전파에 영향을 주는 경로방향 유속성분

θ=유속방향과 음향경로 사이의 각

윗 식을 V에 대하여 풀면 C에 무관한 식이 성립한다.

$$V=\frac{(t_{BA}-t_{AB})}{t_{AB}\cdot t_{BA}}\times\frac{L}{2\cos\theta}=\frac{L^2}{2d}\cdot\frac{\Delta t}{t_{AB}\cdot t_{BA}} \qquad (3)$$

여기에서 $d=L\cos\theta$, $\Delta t=t_{BA}-t_{AB}$이다.

그러므로 음향 경로에서 알고 있는 경로(L)과 경로각(θ) 그리고 순방향과 역방향에서 진동자 사이의 초음파 전파시간을 측정하여 유속을 측정할 수 있다.

전형적으로 관로나 수로에서 다섯 개의 평행 초음파 경로가 주어지고 이 공간에 5쌍의 진동자가 배치된다.

이들 회선별 유속들을 적분는데 아래 식에 따라 유량이 측정되는 것이다.

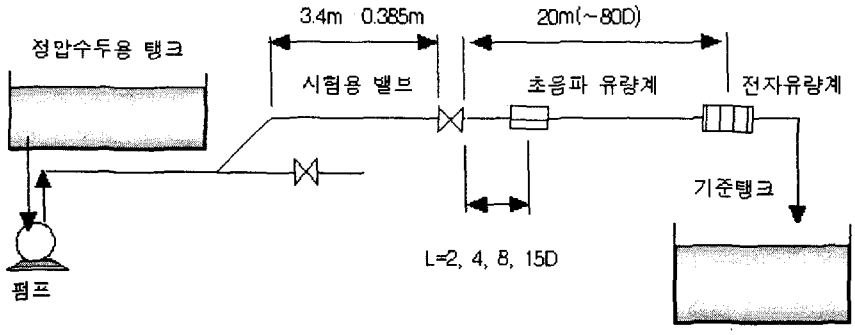


그림 3. 액체유량측정 표준 시스템 개략도

관로인 경우

$$Q = \int V_i(r)\,ds \cdot dr \qquad (4)$$

여기에서 Q=유량, r=관로의 반경, V_i=각 회선별 유속이다.

비만관이나 개수로인 경우 오직 1회선만 잠겨 있을 경우에는

$$Q = V \cdot C \cdot A \qquad (5)$$

여기에서 $A = f(depth)$, C=각 회선에서 측정 수심별로 보정한 유속에 대한 보정계수(유속/깊이 관계식에 기초한 보정계수 사용)이다. 수로의 깊이변화가 심하여 작동회선수가 1회선이거나, 혹은 1회선도 동작하지 않는 경우에는 위 연산식을 사용하게 되고 이는 기존의 개수로 유량계와 비슷한 성능을 발휘하게 된다.

2회선 이상이 동작할 경우에는 식 (6)을 사용한다.[6)~(10)]

$$Q = \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot V_i \qquad (6)$$

개수로 다회선 유량계에서는 수위도 함께 측정하여야 하는데 고정밀 수위계 정밀도는 ±2㎜ 이내로 측정이 가능한 개수로용 사용하여야 개수로 유량측정 정확도를 한 단계 높일 수 있다.

3. 실험용 장치 및 대비용 유량계

측정대상유량계 : C사의 5회선초음파유량계, 250㎜, 전류출력은 4~20㎃

대비용 기준유량계: Y사의 전자유량계, 250㎜, 전류출력은 4~20㎃

대비용 기준시스템 : K사의 기준유량측정 시스템(불확도는 ±0.25%이내)

그림 3에 기준유량측정 시스템의 개략도를 나타내었다.

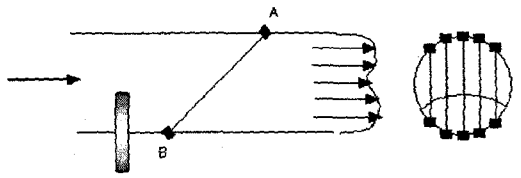
정압용 수두탱크에서 유체를 펌프로 보내서 이를 시험 라인으로 흘러 보낼 때 밸브의 개도율, 설치방향에 따른 5회선 초음파유량계의 성능을 직관부를 변화시키면서 고찰하였고, 다시 전자유량계를 위와 같은 목적에서 시험하였다.

구경 250㎜ 전자유량계를 대비용 유량계로 사용하였다. 이는 Y사(일본)의 제품으로서 상류 80D, 하류 10D에서 교정하였고 교정결과 유량측정에서 ±0.3% 이하로 평가 되었다.(교정계수는 1.636이었다.)

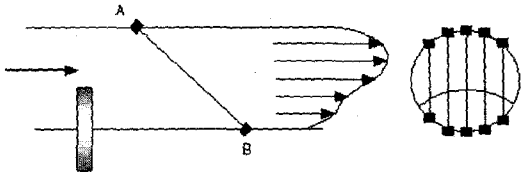
4. 실험 결과

5회선 초음파 유량계를 밸브 후단 2D지점에 설치하고 이때 유량계 설치 방향에 따른 측정오차를 살펴보았다.

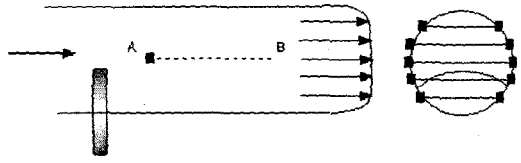
그림 4에 그 시험방향에 대한 개략도를 나타내었다.



(a) 회전전



(b) 180° 회전시



(c) 90° 회전시

그림 4. 유량계 설치방향 개략도

표 1 직관부 2D에서 개도율 50%일 때 유량계 설치방향에 따른 유량측정오차

유속 / 설치방향	0.5m/s	1.5m/s	5.5m/s
(a)	4.75%	4.60%	4.07%
(b)	-3.25%	-3.10%	-3.25%
(c)	0.60%	0.45%	0.25%

밸브 개도율에 대한 시험은 50%일때와 100%일때로 구분하였고, 유량계 직관부는 2, 4, 8, 15D에서 시험하였고 시험유속은 0.5m/s, 1.5m/s 그리고 5.5m/s에서 시험하였다.

참고로 시험시 수압 압력 맥동치는 압력계 지시값을 판독한 결과 다음과 같았다.

V ≈ 0.5m/s에서 ~6.4 ± 5% kgf/cm^2

V ≈ 1.5m/s에서 ~6.1 ± 5% kgf/cm^2

V ≈ 5.5m/s에서 ~2.1 ± 5% kgf/cm^2

또한 수은 봉 온도계를 이용하여 측정한 결과는 4일 동안 25~34℃였다.

5. 고 찰

5회선 초음파 유량계(MUF)와 전자유량계 밸브 후단 2D, 4D, 8D, 15D 지점에 설치하고 밸브의 개도율에 따른 유량계 성능을 기준탱크를 이용하여 시험하였다.

측정유속은 0.5, 1.5, 5.5m/s 세지점 부근에서 수행하였고, 밸브의 개도율은 50%일때와 100%일 때 두가지 경우이다.

5.1 초음파 다회선유량계의 직관부에 따른 오차변화

5회선 초음파 유량계를 밸브 후단에 설치하고 직관부 변화에 따른 성능 비교결과 직관부에 상관없이 ±1.0%이내에 들어오는 것으로 확인되었다.

다만 2D에서는 유체 유동의 비균일성으로 인하여 방향성에 영향을 민감하게 받는다는 사실과, 4D에서는 유량측정 오차가 일시적으로 증가되는 현상이 발생하는데 이에 대한 추가적인 실험이 요구된다.

또한 개도율의 변화에 따라서는 50% 개도시에도 영향이 적은 것으로 확인되었다. 따라서 개도율을 25% 정도로 많이 사용하는 현장 상황에 맞게 이에 따른 후속 실험이 필요하다고 하겠다.

시험결과 밸브가 약 50% 정도 개도시에는 유량계 설치방향에 따라 그 측정오차가 크게 달라짐을(±0.5~±5.0%) 알 수 있었고, 완전개도시에는 좋은 결과(±0.5%)를 얻었다.

5.2 전자유량계의 직관부에 따른 오차변화

전자유량계의 직관부 변화에 따른 성능 비교결과 직관부에 따른 영향이 다회선 보다는 크지만 ±2.0%이내에 들어오는 것으로 확인되었다. 물론 이때 사용된 기준유량계는 사전에 교정검사를 실시하였고, 이때 교정계수는 1.636이었다.

전반적으로 ~1.0% 근처에서 평균값을 형성하였다. 따라서 측정현장에 맞게 다시 교정을 실시한다면 좋은 성능을 보일수 있지만 이는 현실성이 떨어진다.

개도율에 따른 영향도 일치하는 것을 알 수 있었다.

표 2 개도율에 따른 다회선 초음파 유량계(MUF) 2D에서의 측정결과[설치빙향(a)]

개도율 50%, 2D MUF									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	405.085	88.7	0.475		10.48	92.9	0.498	4.75
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	146.519	245.7	1.318		10.46	257	1.378	4.60
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	73.605	978.2	5.246		20.81	1018.0	5.460	4.07

개도율 100%, 2D MUF									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	403.883	89.1	0.478		9.96	88.8	0.476	-0.40
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	144.976	248.3	1.332		9.98	247.8	1.329	-0.20
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	72.470	993.5	5.328		19.93	990.2	5.311	-0.33

표 3 개도율에 따른 다회선 초음파 유량계(MUF) 2D에서의 측정결과[설치빙향(b)]

개도율 50%, 2D MUF.[설치방향(a)]									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	438.818	82.0	0.440		9.68	79.4	0.426	-3.25
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	134.183	268.3	1.439		9.69	260.0	1.394	-3.10
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	75.634	952.0	5.105		19.35	921.0	4.940	-3.25

개도율 100%, 2D MUF[설치방향(b)]									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	20	856.037	84..2	0.452		20.06	84.4	0.452	0.30
시험유속 1.5m/s									
3회평균	20	272.529	264.2	1.417		20.09	265.4	1.424	0.47
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	73.395	981.0	5.261		19.98	538.1	2.886	-0.10

표 4 개도율에 따른 전자유량계 2D에서의 측정결과

개도율 50%, 2D Mag.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	464.858	77.4	0.484		9.89	76.6	0.478	-1.05
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	138.454	260.0	1.623		9.83	255.7	1.597	-1.65
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	75.175	957.8	5.980		19.80	948.2	5.921	-1.00

개도율 100%, 2D Mag.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	403.883	89.1	0.478		9.96	88.8	0.476	-0.40
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	144.976	248.3	1.332		9.98	247.8	1.329	-0.20
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	72.470	993.5	5.328		19.93	990.2	5.311	-0.33

표 5 개도율에 따른 초음파유량계(MUF) 8D에서의 측정결과

개도율 50%, 8D MUF.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	482.591	74.6	0.400		9.95	74.2	0.398	-0.50
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	137.047	262.7	1.409		9.90	260.1	1.395	-1.00
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	74.875	9601.6	5.157		19.92	957.8	5.137	-0.400

개도율 100%, 8D MUF.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	474.703	75.8	0.407		10.03	76.1	0.408	0.30
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	136.755	263.2	1.412		10.01	263.5	1.413	0.10
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	73.145	984.3	5.279		19.93	981.1	5.262	-0.33

표 6 개도율에 따른 전자유량계 8D에서의 측정결과

개도율 50%, 8D Mag.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	562.783	64.0	0.399		9.94	63.6	0.397	-0.56
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	139.870	257.40	1.607		9.88	254.4	1.588	-1.16
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	76.128	945.80	5.905		19.87	939.4	5.866	-0.67

개도율 100%, 8D Mag.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	548.289	65.7	0.410		9.95	65.3	0.408	-0.51
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	138.581	259.8	1.622		9.89	256.9	1.604	-1.11
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	74.319	968.8	6.049		19.83	960.7	5.999	-0.83

표 7 개도율에 따른 다회선 초음파유량계(MUF) 15D에서의 측정결과

개도율 50%, 15D MUF.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	511.079	70.4	0.379		10.01	70.5	0.378	0.10
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	134.898	266.9	1.431		10.00	266.9	1.431	0.00
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	75.604	952.3	5.107		19.96	950.4	5.097	-0.20

개도율 100%, 15D MUF.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(㎥)	시간(sec)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (㎥)	평균유량 (㎥/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	503.169	71.5	0.384		10.01	71.6	0.384	0.10
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	134.258	268.1	1.438		10.00	268.2	1.439	0.03
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	73.975	973.1	5.220		20.07	967.7	5.238	0.35

표 8 개도율에 따른 전자유량계 4D에서의 측정결과

개도율 50%, 4D Mag.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(m³)	시간(sec)	평균유량 (m³/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (m³)	평균유량 (m³/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	547.817	65.7	0.410		9.97	65.5	0.409	-0.31
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	140.816	255.7	1.596		9.87	252.3	1.575	-1.32
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	73.713	976.8	6.099		19.80	967.0	6.038	-1.00

개도율 100%, 4D Mag.									
	기 준 탱 크					유 량 계			
	기준탱크 증가량(m³)	시간(sec)	평균유량 (m³/h)	평균유속 (m/s)		적산치 (m³)	평균유량 (m³/h)	평균유속 (m/s)	오차(%)
시험유속 0.5m/s									
3회평균	10	547.817	65.7	0.410		9.97	65.5	0.409	-0.31
시험유속 1.5m/s									
3회평균	10	140.816	255.7	1.596		9.87	252.3	1.575	-1.32
시험유속 5.5m/s									
3회평균	20	73.313	976.8	6.099		19.80	967.0	6.038	-1.00

6. 결 론

5회선 초음파 유량계(MUF)와 전자유량계 밸브 후단 2D, 4D, 8D, 15D 지점에 설치하고 밸브의 개도율에 따른 유량계 성능을 기준탱크를 이용하여 측정유속은 0.5, 1.5, 5.5m/s 세지점 부근에서, 밸브의 개도율은 50% 일때와 100%일 때 두가지 경우에 대하여 시험한 결과,

(1) 다회선 초음파 유량계의 평균 오차는 ±1.0% 미만이었고, 전자유량계는 ±2.0% 미만이었다.

(2) 밸브가 약 50% 정도 개도시에 다회선 초음파유량계는 설치방향에 따라 그 측정오차가 크게 달라짐을 (±0.5~±5.0%) 알 수 있었고, 완전개도시에는 좋은 결과 좋은 결과(±0.5%)를 얻었다.

(3) 간접교정검사 방법으로 250㎜ 다회선 초음파유량계를 검사하고, 이를 실류시험과 비교시험을 통해 그 가능성을 확인할 수 있었다(±0.5%). 따라서 대구경 분야에서 이를 활용할 수 있도록 추가적인 시험이 수행이 필요하다.

참고 문헌

(1) J. E. Heritage. 1989, "The performance of transit time ultrasonic flowmeters", Flow Meas. Intrum. Vol 1 October 1989, pp. 24~30.

(2) 박경암, 백종승, 1995, "다회선 초음파유량계의 오차시험 방법", KRISS-95-130-IR, 한국표준과학연

구원

(3) Stanislaw Walus. Andrzej Thomas, Janusz Zelezik, "The mathmatical model of multi-path ultrasonic flowmeter for open channel", IMEKO 93, pp. 299~305, KRISS

(4) P. Grenier, "Effects of unsteady phenomena on flow metering", Flow Meas. Intrum. Vol. 2 January1991, pp. 74~80.

(5) J. L. Holden, R. J. W. Peters, "Practical experiences using ultrasonic flowmeters on high pressure gas", Flow Meas. Intrum. Vol 2 January19991, pp. 69~73.

(6) C. N. Pannell, W. A. B. Evans and D. A. Jackson, "A new integration technique for flowmeters with chordal paths", Flow Meas. Intrum. Vol 1. July 1990, pp. 216~224.

(7) Jerker Delsing, Martin Holm and Jacob Stang, " Computor simulation approach to flowmeter installation effects", IMEKO 93, pp. 92~99, KRISS

(8) G. de Boer, "Dry calibration of ultrasonic gas flowmeters", North Sea Flow Measurement Workshop, Paper 18, Intromet, 1997.

(9) J. R. Lansing, "Benefits of dry calibrating ultrasonic gas flowmeters", 4th Int. Sym. on Fluil Flow Measurement Denver, Colorado, Jane30, 1999.

(10) Alex Voser, "CFD-calculations of the protrusion effect and inpact on the acoustic discharge measurement accuracy", IGHEM Montreal 1996.