

다회선 초음파 유량계를 이용한 거래용 오일유량 측정

황상윤* · 이호준* · 박기환**

Custody Transfer Hydrocarbon Flow Measurement with Multi-path Ultrasonic Flow Measurement

Shang-Yoon Hwang*, Ho-June Lee*, Ki-Hwan Park**

Key Words : 다회선 초음파 유량계(Multi-path Ultrasonic Flowmeter), 오일유량측정(Hydrocarbon Flow Measurement), 선형성(Linearity), 거래용(Custody Transfer)

ABSTRACT

As the fastest growing flowmeter technology, multi-path ultrasonic flow-meters are gaining wider range in petroleum industry for liquid hydrocarbon custody transfer measurement. This paper describes the multi-path ultrasonic flowmeter, URO-Ex1000 the requirements necessary to prove and test in Korea & China. URO-Ex1000 have a good results with accuracy range, but a little exceed with repeatability.

1. 서론

지금까지 국내서 개발된 유량계들은 산업용이나, 수처리용 등 일반적인 계측 대상물에 대한 유량측정을 목적으로 그 영역을 확장하는데 주력을 하였다. 이제는 그 대상을 일반용이 아닌 상거래용의 기종이 되는 최고의 품질과 성능을 통한 고부가가치의 유량계를 개발하여야 한다.

초음파(다회선)유량계는 유체의 압력손실을 야기하지 않고, 기계적 구동부가 없어 내마모성을 띠지 않아 에너지 효율이 가장 좋고, 측정범위와 정확도가 높아 가장 경제적인 유량계로 각광받고 있다.⁽⁵⁻⁶⁾

초음파 유량계의 기술적 발전은 현대의 눈부신 전자측정기술의 발전과 그 궤를 같이하며 그 발전의 한계를 알 수 없을 정도로 기술발전이 가속화 되고 있다.

과거에 초음파 유량계는 부정확하고 합리적이지 못

하다는 평판이 급속하게 확산되었다. 오늘날 초음파 유량계는 가장 정확하다는 평과 함께 가장 급속하게 기술이 진보하는 분야로 변모되었다.

초음파 유량계의 적용기술의 진보를 몇 가지로 압축하여 설명하면 다음과 같다.

측정회선의 배치구조와 연산방법을 다회선 구조화하여 유동형상에 둔감하며 영향이 거의 없고, 직관부도 축소하여 유량연산오차를 0.1%대까지 가능하게 하였다. 기술적 진보의 가장 정점에는 근래에 천연가스 산업의 폭발적 성장에 힘입어 그 용도와 신뢰성에 있어서 상거래용 다회선 초음파 가스유량계의 활용에 그 해답을 찾을 수 있다.

초음파 다회선 가스유량계들은 정확도 확보로 거래용 지위를 획득하게 되었고, 정밀한 초음파 유량계 등장은 석유화학 분야와 천연가스 이송라인에서 실시간 점도 변화, 회전성분, 온도, 비정상 설치와 같은 유동상태를 함께 측정할 수 있는 특별한 유량계로 평가 받고 있다.⁽¹⁻⁴⁾

* (주)창민테크 부설연구소

** 북경창민 기술유한공사

E-mail : cmsonic@changmin.co.kr

2. 국내외 관련기술 동향

유량계 시장은 전체적인 평균 성장률은 약 3%대로 정체된 시장구조를 가지고 있지만 기존의 기계식, 아날로그식 계기들을 전자요소의 계기류가 대체하고 있는 실정이다. 이들 중 초음파 유량계의 성장은 그 기술의 혁신적인 진보로 매년 약 15.3%의 폭발적인 성장세를 보이고 있고, 이중 거래용 분야에서 가장 경쟁력을 발휘할 수 있다고 평가하고 있다. 이에 따라 독일과 미국 그리고 프랑스에서는 민관이 합동으로 제품개발과 성능시험을 통한 규격제정과 표준화 작업과 현장 적용범위와 응용을 확대시켜 나가고 있다. 현 단계로서는 국제규격 제정이 진행되고 있는 단계이다.

OIML : Organisation Internationale de Metroogie Legale

NPD : Norwegian Petroleum Directorate

국제적으로 상거래용 유량계중 가장 정확도 등급이 높은 오일류 파이프 라인 이송량을 계측하는 유량계의 정확도와 재현성에 대한 유량측정 등급을 요약하면 표.1과 같다.

Table 1 Custody Transfer Oil Flowmeter Class(Volume)

구 분	정확도	재현성 (Repeatability)
OIML	±0.02 % (10:1) Uncertainty	±0.06 %
NPD	±0.15 % (2:1) Linearity ±0.25 % (10:1)	±0.020 % (실내) ±0.025 % (현장)
API	±0.15 % (2:1) Linearity ±0.25 % (10:1)	±0.05 %

또한 부피유량의 기준은 15℃, 1.01325 bar를 기준으로 한다. 다만 국가나 규격별로 20℃를 기준으로 하거나, 부피가 아닌 질량을 기준으로 하지만 국제 상거래의 기본규정은 위와 같이 15℃를 기준으로 한다.

부피 보정방법은 보정유량=실제유량×보정계수(혹은 함수)이다.

$$Q_c = Q_{act} \times VCF = Q_{act} \times CTL \times CPL$$

여기에서 VCF는 부피보정계수이고, CTL은 해당

유체의 온도보정, CPL은 유체의 압력보정 값이다.

온도와 압력은 현장에서 직접 측정하여 유량컴퓨터에서 이를 보정하는 게 일반적이다. 따라서 환산 전의 부피유량 값을 교정하는 것이 유량계 성능평가의 일반적인 방법이다.

기존의 기계식은 용적식과 터빈방식은 정확도는 높지만 측정범위가 좁고 내마모성과 압력손실이 매우 커서 측정유체의 종류가 제한되고 이송효율이 대략 30~50%대로 매우 낮았다. 이는 대규모 장거리 유체 이송 라인에서는 대단히 중요한 문제로서 이를 타개하기 위해 전자기술의 혁신적인 발달로 인해 초음파 방식이 그 시장을 대체할 수 있게 되었고, 기존의 유량계 제조사들인 선진국들에서 이에 대한 관련 기술개발과 규격 제정이 진행되고 있다.

3. 유량계 제작 및 성능시험

3.1. 오일유량계의 구조와 특성

오일용 유량계의 성능평가를 위해 다회선 구조로 회선을 배치하였고, 유량연산방법은 측정된 유속값들을 평균화하여 이들 유속들을 최적화 할 수 있는 유속 분포 함수를 재현하여 유량을 연산하는 적분방법을 이용하였다.

유량계의 주요 제원과 구조는 아래 표. 2와 같다. 유량계 연산속도와 실제 현장에서 응답속도와 평균시간은 1~60초 임의의 시간으로 입력할 수 있도록 제작하였다.

Table 2 Multi-path Ultrasonic Oil Flowmeter, URO-Ex1000

구 분	내 용	비고
회선 수	5회선	등간격
측정구경	150 mm	
유량관 전장	450 mm	
측정속도	4회/초	회선별
유량연산	1회/초	평균값
출력신호	4~20 mA, 1 kHz	
영점안정도	0.3ns 이하	
진동자	850 kHz	
진동자 크기	∅15 mm	
방폭등급	Ex dIIBT6	

초음파 유량측정 원리는 그림. 1과 같다.

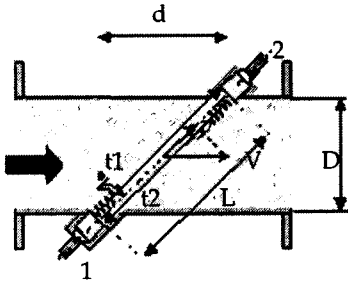


Fig. 1 Ultrasonic transit-time measurement principle

그림. 1과 같이 초음파 진동자를 배치하고 상류와 하류방향으로 전파한 각각의 초음파 전파시간을 측정하여 아래 식과 같이 유속을 계산하고 여기에서 5개 회선의 유속 값을 4회/초 평균한 수 유량적분함수를 이용하여 순간유량을 얻도록 제작하였다.

$$t_1 = \frac{L}{C + V \cos \theta}, \quad t_2 = \frac{L}{C - V \cos \theta} \quad (1)$$

$$V = \frac{L^2}{2d} \frac{t_2 - t_1}{t_1 \cdot t_2} \quad (2)$$

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \int_s V(r) \cdot ds \quad (3)$$

3.2. 성능시험

시험라인에 대하여 간단하게 소개하면 다음과 같다. 시험 시 온도에 대하여 규정하지는 않았으며, 압력은 모두 2 bar 이상에서, 직관부는 상류 20D이상, 하류는 10D이상을 보장하였다.⁽⁷⁻¹⁰⁾

한국오일의 오일 교정라인은 Prover를 이용해 교정한 Turbine유량계를 기준유량계로 한 비교법 방식으로 유량 최대범위는 20~300 m^3/h 이다. 시스템 불확도는 0.09%(95 %신뢰수준)이다.

중국 북경시 연산석화집단공사의 유량계량 검정센터는 국가공인 오일류 유량계 교정센터이다. 기준장치는 Pipe Prover를 이용한 기준 체적관 방식(LJG-150, LJG-250)으로 등유를 주로 하며, 50, 80, 100, 150, 200mm 배관으로 구성되어 있고, Prover의 표준 불확도는 $\pm 0.05\%$, 재현성은 0.02%, 유량범위는 10~400 m^3/h 정도의 측정능력을 보유하고 있다. 또한 모

든 과정은 자동으로 이루어진다.

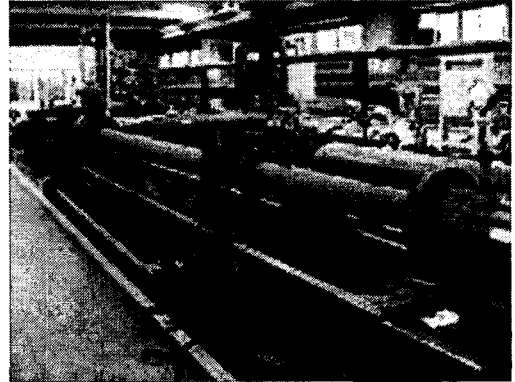


Fig. 2 The Test Facility in Oval Korea (Master : Turbine & Prover)

한국오발에서는 4~20 mA를 이용하였고, 출력장치의 오차는 0.05% 이내 였다.

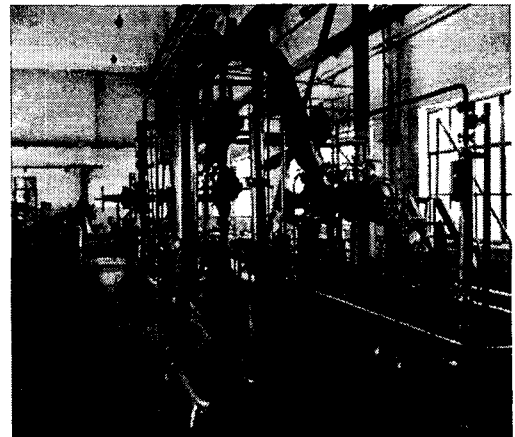


Fig. 3 The Test Facility in Yeonsan Petrochem (Master : Pipe Prover)

연산석화에서는 유량연산에 이용되는 출력 주파수를 1 kHz, 적산단위를 0.1 l/pulse 하였다.

OIML에서는 10000개 이상을 적산 데이터를 권고하고 있는지만 Prover의 크기의 제약성으로 인하여 약 7000개의 펄스를 적산하는 수준으로 시험을 수행하였다.⁽⁹⁾



Fig. 4 The Test Facility in Yeonsan Petrochem (URO-Ex1000)



Fig. 5 Pipe inside state after testing in Yeonsan

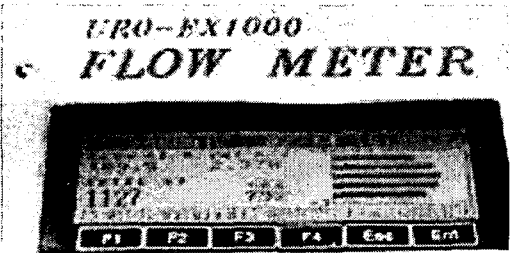


Fig. 6 The test line flow profile in Oval Korea



Fig. 7 The test line flow profile in Yeonsan

4. 시험결과

오일라인의 교정시 OIML에서 규정한 온도변화범위, 압력변화범위, 최대적산 펄스 수를 만족하지는 않았지만, 이데 대한 불확도는 0.05%를 초과하지 않는 것으로 간주하고 시스템 불확도는 0.1 %이하로 평가 되었다. 시험결과 그림. 8에 한국오발에서 시험한 평균 상대오차에 대한 것을 나타내었고, 표. 3에는 연산석화에서 시험한 결과를 나타내었다.

한국오발에서는 대략적인 압력은 2 bar를 조금 상회하는 수준이었고, 연산석화는 약 2~4 bar 정도였다.

온도는 대략적으로 25~35°C 였다.

시험유체는 경유로 전도는 온도에 따라 다르지만 약 3 cP정도 이다. 한국오발에서는 기준기와 전류신호 출력력을 상호 비교하여 평균값을 얻었는데 평균시간은 약 1분 정도였고, 시험유량은 8.8~48.6 l/s(0.5~2.75m/s) 였다.

연산석화에서는 Prover의 동작에 따른 운전시간을 유량계 적산시간으로 이용하였고, 시간은 약 15~38초 정도이었다. 기준관의 체적이 각각 727리터와 2751리터인 기준관에서 약 18~100 l/s(0.8~4.8m/s) 유량범위에서 수행하였다.

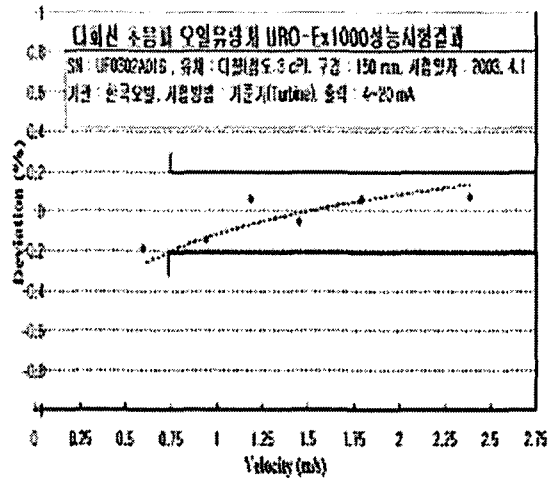


Fig. 8 The Test Results in Oval Korea (8.8~48.6 l/s(0.8~4.8m/s))

Table 3 The Test Results in Oval Korea
(8.8~48.6 l/s(0.5~2.5m/s))

유량 (l/s)	압력 (bar)	온도 (℃)	평균오차 (%)	재현성 (%)
18.75	4.18	30.4	-0.110	0.073
33.60	2.71	30.7	0.050	0.038
46.80	2.33	31.1	0.188	0.037
75.67	4.12	32.6	-0.090	0.087
99.06	2.82	34.7	-0.188	0.066
최대오차		0.18883	중복성	0.087

5. 결론

두 기관간의 시스템 불확도 크기와 유체유동 상태는 차이가 있지만 상대오차의 크기가 반대로 나타났다. 시험결과 유량오차의 선형성 혹은 정확도는 0.2%수준이었고, 재현성은 연산석화 시험결과 약 0.09% 이내였다. 따라서 여러 기관의 기준규격에 따라 다르지만 OIML의 10:1 유량범위에서 불확도 기준 0.25%(2:1에서는 0.15%)사이 존재하였고, 재현성 오차는 대략 0.05% 이내여야 하는데 이를 초과하였다. 따라서 향후 유량측정의 재현성 향상을 위한 연구와 노력이 필요하다고 본다. 이러한 결과는 유량연산방법이 이중적분을 사용하므로 적산시간이 소요되어 유량연산 시간이 1초당 1개이므로 이를 0.5초/회 이상으로 향상시키고, 주파수 출력의 분해능도 2 kHz이상으로 향상시켜야 할 것으로 예측된다.

이를 위해 유량연산방법을 가중치방법이나 연산속도 향상을 위해 측정횟수를 현재 4회/초를 10회/초 정도로 향상시켜 유량측정의 선형성과 재현성을 향상시켜 상거래용 오일유량계의 사용이 가능하도록 하여야 할 것이다.

또한 초음파 유량계의 특성을 최대화하기 위하여 온도, 압력 보정방법과 사선 및 회전성분의 크기측정, 음속을 이용한 유체상태 점검, 유속분포를 통한 배관 상태 등 다양한 기능을 평가하는 시험이 필요하다고 하겠다.

참고문헌

- (1) Oyvind Midttveit, 1997, "A Practical Example of Uncertainty Calculations for a Metering," 97 North Sea Flow Measurement Workshop.
- (2) F. J. Weber, W. W. Durgin, H. Johari, 2001, "Ultrasonic Beam Propagation in Turbulent Flow," FEDSM2001-18038, pp. 85-91.
- (3) Yeh, T. T and Mattingly, G. E., 1998, "Ultrasonic Flow Measurement Technology : Prospects for Transfer and Primary Standards," Flowmeko98 Conference, pp. 161-166.
- (4) Pamela I Moore, Gregor J Brown, Brian P Stimpson, 2000, "Ultrasonic transit-time flowmeters modelled with theoretical velocity profiles," Meas. Sci. Technol. 11, pp. 1802-1811.
- (5) KS B 5640, 2001, "다회선 초음파 유량계의 시험방법," 한국표준협회
- (6) 황상운, 2002, "다회선 초음파 유량계의 간접 교정 검사 방법 개발," 중소기업청
- (7) API 2540, "The hydrocarbon compressibility," Chapt 11.1.
- (8) Jankees Hogendoorn, Herman Hofstede, Andre Boer, Helen Danen, 2003, "A new generation of inline liquid ultrasonic flow meters," Process Products, September, pp. 44-45.
- (9) Herb Decker, 2003, "Proving Multi-Ultrasonic Flowmeter in Liquid Custody Transfer Applications," Krohne
- (10) Youssef Fraid Basrawi, 2000, "Crude & Hydrocarbon Measurement Technologies," Saudi Aramco.