

천연가스 거래용 압력전송기 특성 실험연구

이철구, 정종태, 허재영

한국가스공사 연구개발원 유체계량연구실

An Experimental Characteristic Study of Pressure Transmitters for Natural Gas Custody

Cheol Gu Lee, Jong Tae Chung, Jae Young Her
R&D Center, KOGAS

1. 서론

우리공사에서는 상거래용의 압력전송기로 $\pm 0.1\%$ 급의 고정밀 전송기를 사용하고 있으며 주기적인 교정검사를 실시하여 최적의 성능을 유지하기 위해 노력하고 있다. 이러한 고정밀급의 압력전송기는 전량 고가의 외국산 제품이며 국내에서는 아직까지 상용화된 제품을 생산하는 업체가 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 들어 국내의 일부 업체와 연구기관을 중심으로 압력전송기의 핵심 부품인 압력 셀에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어 조만간 국산화 시제품이 출시될 것으로 기대되고 있다.

압력전송기의 기본 구조는 핵심 부품인 압력을 감지하는 압력센서와 센서의 신호를 전기적으로 변환, 제어, 전송하는 전송부분으로 이루어져 있다. 핵심 부품인 압력센서의 경우 현재까지는 정전용량형(Capacitance type)이 시장을 주도하고 있다. 정전용량형의 압력센서는 가볍고, 정밀한 장점이 있는 반면 센서 제작에 필요한 공정이 복잡하고 신호 변환 부위가 고가인 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에는 우수한 성능에 비교적 생산공정이 단순하고 비용을 절감할 수 있는 반도체형(Semi-conductor type)의 압력센서의 개발이 이루어져 점차로 시장점유율이 높아져가고 있는 실정이다.

전송기에 대한 성능 평가 방법에 대하여는 국제규격 IEC 770[1]에 자세히 규정되어 있는데, 국제규격에 따라 실험을 실시하는 것은 장비 준비 등의 비용과 시간의 소요가 많이 요구되기 때문에 실제 사용자 입장에서는 제품의 사용 경험, 제작사 규격서 및 교정검사 결과에 의존하고 있다. 따라서 실제 운영 조건에서의 전송기 특성에 대한 실험적인 자료가 부족하여 사용자 입장에서의 객관적인 성능 비교, 효율성 및 적합성 검토 등이 이루어지지 못하고 있다.

따라서 본 실험은 압력전송기를 생산하는 업체가 제시하는 성능을 검증하고 실제 운영 조건과 유사한 조건에서, 특히 온도 변화가 심한 계절적 요인을 고려하여 주위 온도 변화에 따른 압력전송기의 특성 변화를 파악할 목적으로 수행하였다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험 대상 압력전송기로는 시판되고 있는 제품으로 각기 다른 제작사의 정전용량형 압력전송기 3대와 반도체형의 1대가 사용되었으며 제작사는 편의상 A, B, C사로 표기하였다.

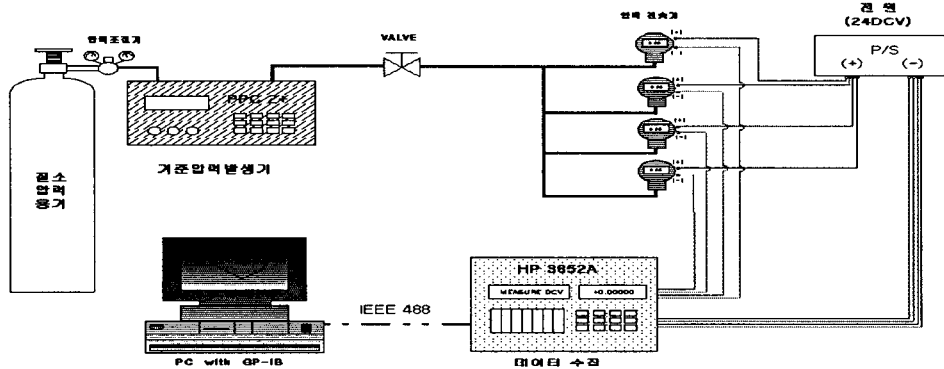


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 1에서와 같이 고압의 압력용기에 의해 발생된 압력은 기준압력조절기(DHI, PPC2+)에 의해 정밀 조절되어 각 전송기에 부하되고, 전송기들은 감지된 압력을 4~20mA의 전류신호로 변환하여 데이터수집장치의 multiplexer(HP44705A)에 전송한다. Multiplexer에서는 전송된 전류값을 분류저항(250Ω)에 연결시켜 1 ~ 5 V의 전압으로 변환하고 이 값을 PC로 보내어 저장한다.

2.2 실험방법

실험항목과 방법은 기본적으로 IEC 770의 측정 기준에 따라 수행하였으나 일부 항목에 대하여는 실제 사용 조건과 유사하도록 측정조건을 다소 변화시켰다. 압력은 전체 압력측정범위(0~10kgf/cm²)를 4등분한 5개의 점을 입력값으로 선정하였고, 최소값에서 최대값까지 단계적으로 압력을 증가시키고 다시 최소값까지 감소시키는 사이클링테스트로 실시하였으며, 이를 3회 반복하였다.

온도 변화시험은 계절적 변화를 고려하여, 실온(18±2℃), 고온(35±5℃), 및 저온(-5±5℃)조건에서 수행하였는데, IEC 770 규격서에서는 실온(20℃)-고온(55℃)-실온-저온(-25℃)-실온의 2회 반복을 권고하고 있으나 현실적인 어려움이 있어 본 실험에서의 고온 조건은 전송기의 지속적인 가열로, 저온 조건은 겨울철 대기온도에 노출시키는 방법으로 대체하였다.

2.3 실험항목 및 데이터 처리

전송기 특성 실험 항목은 IEC 770 규격서의 방법을 적용하였으나 데이터 처리 기준은 ISO 측정불확도 표현 지침[2][3]에 따라 확장불확도의 크기를 제시하였다. 아래 Table 1에 실험 데이터 처리 항목을 요약하였다. 모든 항목은 0을 기준하여 0에 근접한 값일수록 우수한 성능임을 알 수 있도록 정의되어 있다.

Table 1. Measurement items and criteria

측정항목	단위	기준	비고
측정오차 Measurement error	% of output span	IEC 770 6.1.2	3~5회 반복실험, 5 pt 이상의 입력 점. 오차 곡선을 제시하여 최대 오차로 표기.
일치도 Conformity	"	IEC 770 6.1.3	특성 곡선에 일치하는 정도
히스테리시스 Hysteresis	"	IEC 770 6.1.4	실제로는 불감대(Dead Band)를 포함한 히스테리시스 측정
반복도 Repeatability	"	IEC 770 6.1.5	동일 조건에서의 반복 측정의 결과의 일치의 근접도
드리프트 Drift	"	IEC 770 6.3.1	start-up drift와 long-term drift로 구분되어 있음.

측정오차(ϵ)는 다음의 식(1)로 구하였으며, 측정오차 그래프에는 편의상 $\epsilon \pm U$ (%)의 형태로 나타내었다.

$$\epsilon (\%) = \frac{(P - \overline{M})}{F.S.} \times 100 \quad (1)$$

측정 결과 확장불확도는 다음 식(2)에 의해 구하였으며 다른 불확도 성분은 모두 무시하였다.

$$U = k \times u_c = 2 \times \sqrt{u_{a1}^2 + u_{b1}^2 + u_{b2}^2} \quad (2)$$

여기서

$$u_{a1} = \text{측정의 A타입 표준불확도} (= S_p / \sqrt{m})$$

$$u_{b1} = \text{기준압력발생기 B 타입 표준불확도, 0.005\% F.S. (보정후)}$$

$$u_{b2} = \text{분류저항의 B 타입 표준불확도 0.003~0.005\% (보정후)}$$

3. 실험결과

3.1 실온조건

Fig. 2는 실온조건($18 \pm 2^\circ\text{C}$)에서의 측정오차와 확장불확도의 크기를 보여준다. 대부분의 전송기가 규정된 오차 범위를 벗어나지 않고 있음을 보여준다. Fig. 3은 실온조건에서의 일치도의 크기를 그래프로 보여준다. 일치도는 세 가지 방법으로 구할 수 있는데 본 실험의 경우 양단 근거 일치도(terminal based

conformity) 방법으로 구하였다. 히스테리시스 및 반복도의 결과는 Table. 2에 나타내었는데, 상용 제품의 경우 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났다.

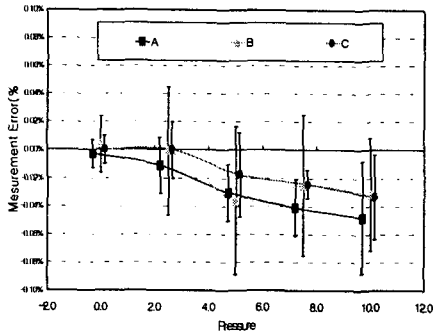


Fig. 2 Measurement Error and Expanded Uncertainty at Room Temperature

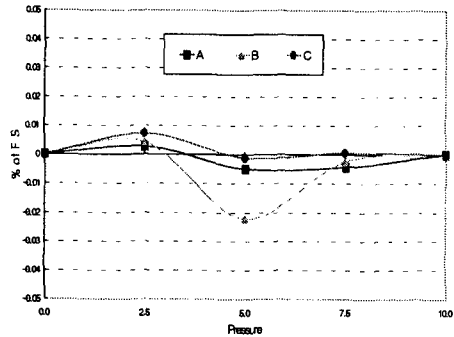


Fig. 3 Terminal Based Conformity at Room Temperature

3.2 고온조건

고온 실험은 기본적으로 전송기의 몸체를 지속적으로 가열하는 조건으로 실시하였다. 이때의 측정 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 결과에서 보듯이 실제 여름철의 온도와 유사한 조건에서 오차는 제작사 규격서에 명시된 범위를 벗어나지 않음을 알 수 있었으며 미약한 영점오차가 발생하는 것으로 보여진다.

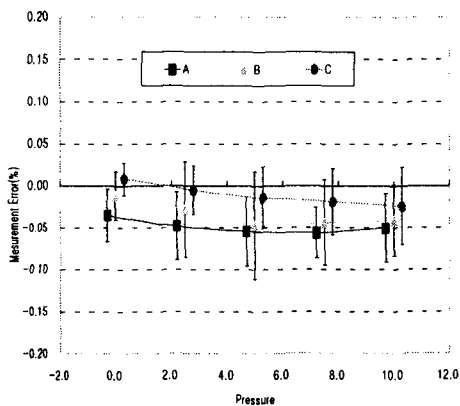


Fig. 4. Measurement Error and Expanded Uncertainty at High Temperature

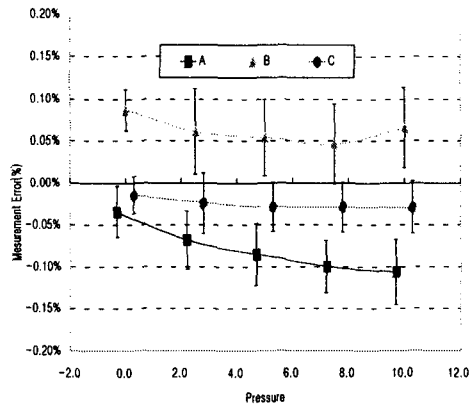


Fig. 5. Measurement Error and Expanded Uncertainty at Low Temperature

3.3 저온조건

저온 실험은 전송기를 겨울철 외부 대기에 일정시간 노출시킨 후 실시하였다. 또한 실온, 고온 및 저온의 일련의 실험을 영점 조정없이 연속하여 실험을 실시하였기 때문에 Fig. 5를 보면 고온 조건에 비해 영점오차의 크기가 다소 커졌음을 알 수 있다.

3.4 영점 드리프트 및 센서 타입별 비교

Fig. 6은 실온, 고온 및 저온의 일련의 실험 결과 측정된 영점의 추이(drift) 그래프이다. 약 20일 정도의 실험 기간 중 온도변화 급격히 이루어 졌음에도 변화는 대체로 제작사 규정 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

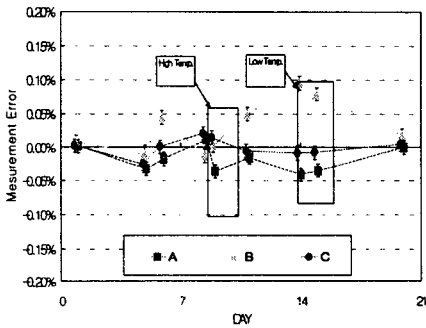


Fig. 6 Zero point Drift with the passage of time

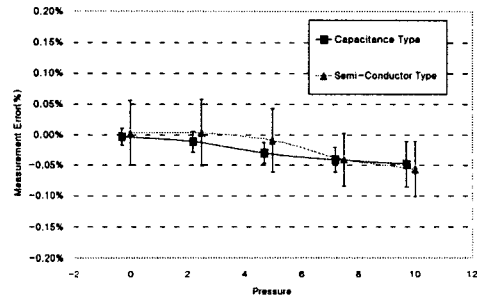


Fig. 7. Measurement Error and Expanded Uncertainty between Capacitance type and Semi conductor type

Fig. 7은 실온 조건에서 측정한 정전용량형 센서와 반도체형 센서의 비교 결과를 보여준다. 그림에서와 같이 성능에서 특별한 차이는 없는 것으로 확인되었다. 아래 Table 2.는 이상의 실험 결과를 요약한 표이다. 실온 성능평가항목에 대하여 RSS를 제시하였으며 A, B, C사 제품의 경우 $\pm 0.1\%$ 이내의 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

Table 2. Summaries of the results (% of output span)

조건	항목	A	B	C
실온	최대오차	-0.05	-0.04	-0.04
	일치도	-0.01	-0.02	0.01
	최대 히스테리시스	0.03	0.05	0.03
	반복도	0.01	0.01	0.01
	RSS	0.06	0.07	0.05
고온	최대오차	-0.06	-0.05	-0.03
저온	최대오차	-0.11	0.09	-0.03

4. 결론

이상과 같이 온도 변화에 따른 천연가스 계량용 압력전송기의 특성변화 실험을 실시하였다. 천연가스 계량에 있어서 압력전송기의 1%의 불확도는 약 0.5% 정도의 유량 계산 불확도를 갖는다고 알려져 있다[4]. 위의 실험 결과 대부분이 급격한 온도 변화에 대해서 약간의 영점오차를 발생시키는 것으로 나타났으나, 측정 오차가 제작사 자체 규격 범위 내에 있고 현장 운영시에는 전송기를 주기적으로 교정하고 있기 때문에, 실제 유량 계산에 있어 유의한 차이는 없는 것으로 보여진다. 또한 실험에 사용된 각 제품간의 뚜렷한 정확도 관련 성능의 차이가 없으며 새롭게 선보이는 반도체형 압력 센서를 사용한 제품도 기존의 정전용량형과 비교하여 유사한 성능을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 시판되는 제품간의 정확도 관련 성능의 차별성이 적기 때문에 사용자 입장에서는 가격이나 A/S 등의 다른 조건들을 고려하여 압력전송기를 선정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

Nomenclature

- ϵ : 측정오차 (Measurement error)
- k : 포함인자 (Coverage factor)
- S_p : 합동 실험표준편차
- m : 반복회수
- P : 기준입력
- \overline{M} : 측정평균
- U : 확장불확도 (Expanded Uncertainty)
- u_c : 합성표준불확도(Combined Standard Uncertainty)
- RSS : root sum of squares

참고문헌

1. IEC standard 770 "Methods of evaluating the performance of transmitters for use in industrial-process control systems", 1st ed. 1984.
2. ISO/TR 5168, "Measurement of Fluid Flow - Evaluation of Uncertainties"
3. KRISO-99-070-SP, 측정불확도 표현 지침, 한국표준과학연구원, 1999,
4. 가스유량 오차감소 기술 개발 과제 수행보고서(D-FM-034-92059212), 한국가스공사, 1992.