2004 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 321~326
인하대학교 정석학술정보관 및 2북호관 2004. 12. 3~4

# 주위 온도의 급격한 변화에 따른 압력 및 차압 전송기의 특성 변화

정종태* · 하영철 · 이철구 · 허재영

# The Characteristic Change of Pressure and Differential Transmitter due to a Rapid Change of Ambient Temperature

Jong-Tae Chung, Young-Cheol Ha, Cheol-Gu Lee, Jae-Young Her

*Key Words; Ambient temperature(주위 온도), Transmitter body temperature(전송기 온도), Differential pressure transmitter(차압 전송기, DP), Gauge pressure transmitter(압력 전송기, PT), Measurement error (측정오차)*

ABSTRACT

The pressure and differential pressure(DP) transmitters are used for gas flow rate calculation on the orifice gas metering system. On site, the pressure and DP transmitters are installed in a shelter to diminish the affects of environmental change such as an ambient temperature. But there has been an argument about the effectiveness of the shelter and this brought up the necessity to verify the affects of ambient temperature. These experiments were performed to verify the ambient temperature effects as observing the output of transmitters when the ambient temperature were changed from -30 ℃ to 50 ℃. The results showed that the most of transmitters were operated in the spec range of performance criteria presented by manufacturer but the rapid change of ambient temperature could cause the larger measurement error for the DP transmitter of low span than others. Therefore the pressure and DP transmitters need to be operated and controlled within the proper range of ambient temperature.

## 1. 서 론

천연가스 공급량을 측정하는 계량설비는 유량계 이외에 압력, 차압, 온도 전송기라는 보조계측기를 사용한다. 보조계측기는 계측된 측정값을 출력단자를 통하여 유량컴퓨터에 실측한 계측 입력치로 계산인자를 적용해주는 기기이다. 여기서 압력전송기는 계량배관의 가스 압력을 측정하며, 차압전송기는 계량배관에 설치한 오리피스유량계의 전·후단에 형성된 차압을 측정한다.

* 한국가스공사연구개발원 현장기술지원센터
E-mail : jtchung@kogas.or.kr

지금까지는 계량설비의 보조계측기를 주위 환경으로부터 보호하기 위해 단열함 혹은 보호함을 설치·운영하는 것이 보편화된 관리방법이었다. 그러나 현장 실무자들로부터 단열함을 설치·운영하는 것에 대한 실효성이 지속적으로 의문시되었고 따라서 이에 대한 실질적인 검증이 요구되었다.

압력 및 차압 전송기는 천연가스 거래량 산정에 지속적으로 사용되고 있으며 주위 환경에 노출된 상태로 운용할 때 주위 온도나 전송기 몸체 온도의 변화에 따라 전송기의 출력 특성이 변할 수 있다. 특히 여름철 태양열에 의한 온도 상승과 겨울철 영하의 온도를 고려한 사계절 온도 변화에 대해 측정오차 발생 정도는 규명해야 할 매우 중요한 사항이다.

압력 및 차압 전송기는 상거래용이기 때문에 대개 1년 주기로 주로 현장에서 교정을 실시한다. 교정 시 주위 대기 온도는 10 ℃ ~ 30 ℃ 범위이다. 현장 출장교정은 교정주기 내에서 전송기 특성 변화로 발생한 영점오차, 스팬오차, 히스테리시스를 제거하여 선형성이 유지되도록 압력표준장비를 사용하여 측정범위에 대한 전송기 출력값을 조정해 주는 작업이다. 하지만 교정 할 때 주위 온도는 여름철과 겨울철 온도와 다르기 때문에 온도 차이에 의한 전송기 측정오차 발생을 고려할 수도 있다.

더욱이 관심을 가지는 차압 전송기는 오리피스 유량계를 사용하는 계량설비에서 두 가지로 분리된 측정압력범위를 사용한다. 하나는 Low 차압 전송기로 주로 5 kPa 범위이고, 또 하나는 High 차압 전송기로 주로 25 kPa 범위이다. 이것들은 측정범위가 매우 작기 때문에 주위 온도가 변화될 때 특성 변화로 인한 측정오차가 발생할 개연성이 존재한다.

최근 들어 천연가스 공급량이 급격히 증가하고 각 지역별로 신설 및 증설되는 공급설비가 늘어나면서 계량설비에 대한 관리는 더욱 중요해지고 있다. 계량설비에 있어서 그간의 경험과 노력으로 통상적인 유지관리는 상당한 수준에 올라왔다. 하지만 세부적인 계량오차 발생요인에 대한 원인규명과 이를 줄이기 위한 연구는 보다 심도 있게 진행되어야 할 것으로 보인다.

그 중 한 예로 최근 압력 및 차압 전송기의 보호함 사용유무를 결정하는데 있어서도 전송기 특성 변화에 대한 구체적이고 실증적인 데이터가 부족하여 현장 실무자들이 추측과 경험적 판단기준에 의존하고 있다.

따라서 본 논문에서는 천연가스 계량설비에 사용하는 압력 및 차압 전송기에 대해 주위 온도 변화에 따라 전송기 특성이 어떻게 변화하는지 파악하고, 현장 전송기 관리개선의 여부를 판단할 수 있는 근거자료를 마련코자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

압력 및 차압 전송기를 교정한 후 주위 온도가 변화할 때 마다 특성 변화를 관찰하기 위하여 주위 온도를 유지할 수 있는 항온기, 표준압력 공급과 특성 차이를 비교 확인할 수 있는 압력조절교정장비, 데이터 수집 및 전환 장치인 Data aquisition/Switch unit, 전송기에 전원을 공급하는 Power Supply, 측정데이터를 전송하고 저장하는 IEEE488 Controller 및 노트북 등으로 구성되어 있다.

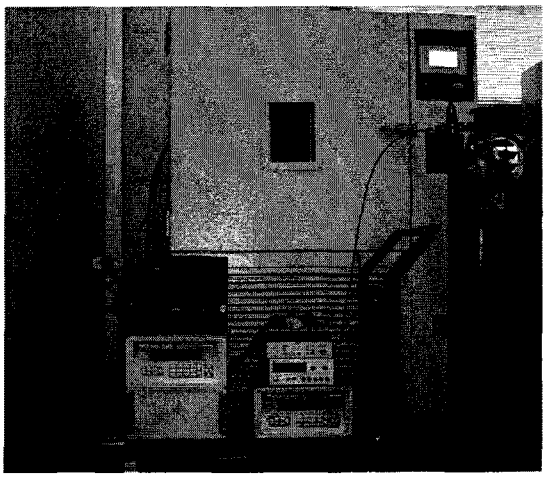


Fig. 1 The test facility of PT & DPT measurement

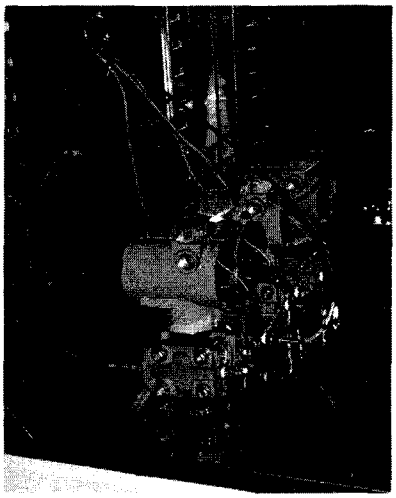


Fig. 2 The measuring transmitter

항온기는 -50 ℃ ~ 100 ℃까지 가열과 냉각을 조절할 수 있고, 이 측정범위에서 0.01 ℃까지 온도 조절이 가능하며, 정확도는 ± 0.5 ℃ 이다. 실험에서 적용한 측정범위는 -30 ℃ ~ 50 ℃까지의 구간을 설정하였다.

압력조절교정장비는 전송기에 표준압력을 공급하는 표준장비로서 기준값과 전송기 측정값을 비교하며, 질소봄베에서 압력소스를 받아 1차 조절압력을 거친 후

2차 설정압력이 형성되어 일정한 표준압력이 유지된 상태로 전송기에 공급된다. 압력표준장비는 15 kPa, 100 kPa 두 가지 차압 측정범위의 압력모듈이 장착된 것과 2000 kPa, 7000 kPa 두 가지 절대압력/게이지압력 측정범위의 압력모듈이 장착된 것으로 2대를 사용하였다. 장비의 안정성은 ±0.005 % of reading/year 이고 측정 불확도는 ±0.008 % of reading 이다.

압력표준장비와 항온기 내부에 있는 전송기 간의 압력 튜브 연결은 -30 ℃ ~ 50 ℃에서 온도의 영향을 거의 받지 않는 고압용 튜브에 의해 표준압력이 공급되었다. 각 전송기에서 측정된 출력전류는 저항을 거쳐 데이터 수집장치로 전달되며 IEEE488 케이블을 통해 노트북 프로그램에 전류 및 압력 데이터로 저장된다.

Table 1. Specifications of measuring device

| Item | | Unit | Value |
|---|---|---|---|
| Temp. Control Chamber | Meas. Range | ℃ | -50~100 |
| | Control Temp. | ℃ | 0.01 |
| | Accuracy | ℃ | ±0.5 |
| Pressure Controller /Calibrator I | Max. Pressure | kPa | 15, 100 |
| | Stability(1 year) | % of reading | ±0.005 |
| | Meas. Uncertainty | % of reading | ±0.008 |
| Pressure Controller /Calibrator II | Max. Pressure | kPa | 2000, 7000 |
| | Stability(1 year) | % of reading | ±0.005 |
| | Meas. Uncertainty | % of reading | ±0.01 |
| A, B Transmitter (Low Diff. Pressure) | Meas. Range | kPa | 5 |
| | Accuracy | % F.S. | ±0.075 |
| A, B Transmitter (High Diff. Pressure) | Meas. Range | kPa | 25 |
| | Accuracy | % F.S. | ±0.075 |
| A, B Transmitter (Gauge Pressure) | Meas. Range | kPa | 1500 |
| | Accuracy | % F.S. | ±0.075 |

실험에 사용된 전송기는 국내외에서 생산되는 A, B 두 회사제품을 선정하였고, 압력 전송기는 각각 1대, 차압전송기는 측정범위를 구분하여 각각 두 대를 사용하였다. 전송기의 측정범위는 차압 전송기가 5 kPa과 25 kPa, 압력 전송기가 1500 kPa 이며, 제작사 제시 정확도 사양은 0.075 % F.S.로 모두 동일하다. 항온기 안에 놓여진 A, B 전송기는 압력표준장비의 출력포트에서 고압용 튜브로 병렬 연결되어 동일한 표준압력을 받는다.

## 2.2 실험방법

항온기에 전송기를 넣어 실험하는 순서는 5 kPa, 25 kPa, 1500 kPa 순으로 하여 측정범위별로 실시하였다. 실험 시작 전과 후의 항온기 내부 온도는 다음과 같은 방법으로 유지하였는데, 1단계는 일정 시간동안 설정한 온도에 도달될 때까지 온도조절을 하고, 2단계는 전송기 몸체 온도와 항온기 내부 온도가 거의 비슷할 때까지 유지하며, 3단계는 데이터를 수집하기 위해 안정된 온도 상태를 일정 시간동안 유지한다.

항온기 온도를 설정하기 위한 시간은 10 ℃ 온도 간격을 조절하는데 1 시간 정도 소요되며, 전송기 몸체 온도와 항온기 내부 설정온도의 차이가 3 ℃ 이내에 들도록 유지하는 시간이다. 온도가 서로 동일해지기 위해 걸리는 시간은 0.5시간 더 소요된다. 안정화된 온도는 시험 시작부터 종료될 때까지 ± 0.02 ℃ 편차 범위에서 정상상태로 유지된다.

항온기 내부에서 전송기 주위 온도 설정을 위한 측정범위는 압력 및 차압 전송기가 현장 설비에서 외기에 노출되어 있거나 통풍이 원활하지 않은 보호함 내부에 설치되어 있으므로 우리나라 겨울철과 여름철 기후를 참고로 하여 -30 ℃ ~ 50 ℃로 하였다.

압력표준장비는 전송기의 정확도를 고려하여 교정기관에서 사용하는 장비로 선택하였다. 실험에서 표준압력 조절에 대한 편차 범위는 차압 전송기 측정용 표준장비가 ± 0.12 Pa, 압력 전송기 측정용 표준장비가 ± 1.4 Pa 이내로 유지된다.

측정데이터 수집은 각 전송기마다 20 ℃에서 교정하여 측정한 후 50 ℃까지 10 ℃ 간격으로 측정하고, 다시 항온기 온도를 낮추어 20 ℃에서 교정하여 측정한 후 -30 ℃까지 10 ℃ 간격으로 측정한다. 이 방법은 온도가 상승할 때 변화된 전송기 출력 특성이 온도가 하강할 때는 변화되기 전 특성으로 복귀되지 않아서 온도 상승과 하강을 분리하여 각각 20 ℃에서 재교정을 실시하였다.

표준압력과 비교하기 위한 각 전송기 측정점은 측정범위를 백분율 0%, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % 로 5등분을 선택하여 전송기 출력범위인 4~20 mA에 일치시켰다. 각 10 ℃ 간격의 설정 온도에서 가압과 감압을 1 사이클로 3회 측정하여 주위 온도 변화시 전송기 특

성 변화로 인한 평균 측정오차를 결정하며, 이것은 모두 동일한 방법으로 수행하였다. 이때 측정오차는 압력표준장비의 기준값과 전송기 출력값을 비교하여 발생한 차이값이다. 여기서 전송기의 출력값은 데이터수집(data aquisition)장치를 거쳐 IEEE488 조정기의 인터페이스를 통하여 컴퓨터 데이터 저장 프로그램에 의해 저장하도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 온도 간격차이에 의한 측정오차 분석

Fig. 3 은 항온기 내부에 있는 전송기 주위 온도를 설정한 온도에 도달시킨 후 전송기 몸체 온도가 주위 온도에 다가가는 상태에서 온도 간격차이가 발생되어 전송기 측정오차가 나타나는 것을 보여준다. 설정 온도별 주위 온도와 전송기 몸체 온도의 차이는 2 ℃ ~ 3 ℃ 사이이다.

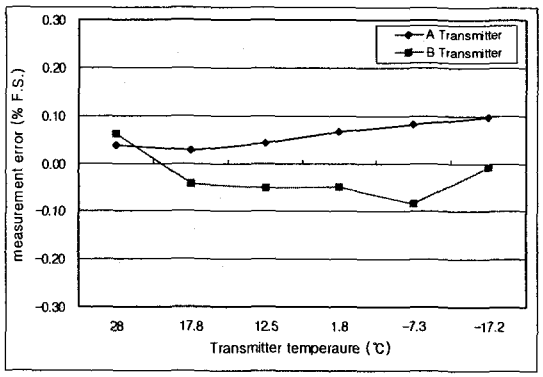



Fig. 3 The characteristic change of High DT with ambient temperature

전송기는 측정범위가 25 kPa인 차압 전송기를 사용하였으며, 설정 온도는 -20 ℃ ~ 30 ℃까지 10 ℃ 간격으로 유지하고 모든 온도에서 동일하게 12 mA 에 해당하는 표준압력을 공급하여 전송기 출력값에 대한 측정오차를 비교하였다.

Fig. 3 에서 A 전송기는 온도가 상승할 때나 하강할 때 모두 +값 측정오차를 나타내는 경향이 있으며, 전송기 주위 온도가 20 ℃ 일 때 가장 낮은 측정오차를 가지며 -20 ℃로 갈수록 커져 0.1 % 정도의 측정오차를 갖는다. B 전송기는 온도가 상승할 때 +쪽 측정오차를 온도가 하강할 때 -쪽 측정오차를 나타내는 경향이 있으며, 전송기 주위 온도가 20 ℃에서 0 ℃ 일 때 비슷한 측정오차를 유지하다가 -10 ℃에서 한차례 증가한 후 -20 ℃에서 측정오차를 거의 갖지 않는다.

Table 2. Comparison of measurement error

| 항온실 온도 (℃) | 전송기 온도 (℃) | 측정오차(% F.S.) | |
|---|---|---|---|
| | | A Transmitter | B Transmitter |
| 30 | 28 | 0.038 | 0.063 |
| 20 | 17.8 | 0.028 | -0.042 |
| 10 | 12.5 | 0.042 | -0.050 |
| 0 | 1.8 | 0.067 | -0.048 |
| -10 | -7.3 | 0.082 | -0.084 |
| -20 | -17.2 | 0.097 | -0.007 |

전송기의 특성은 출력값이 공급된 표준압력과 비례하여 4~20 mA까지 선형적으로 일정하게 나타나야 한다. 그러나 전송기 특성을 변화시키는 요인에 의해 출력값이 비선형성을 갖는 영점오차, 스팬오차, 히스테리시스의 형태와 같은 측정오차가 나타난다.

두 전송기의 특성을 분석해보면, 전송기 주위 온도와 전송기 몸체 온도가 일치하지 않고 간격이 벌어질 때 A 전송기는 영점오차와 스팬오차의 특성을 가지며, B 전송기는 영점오차와 히스테리시스의 특성을 갖는다는 것을 Fig. 3 으로부터 고찰할 수 있다.

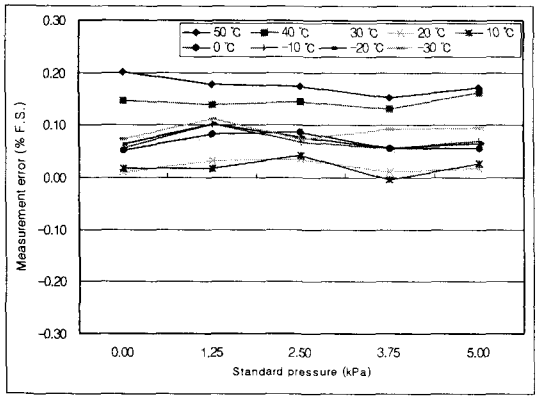
이 실험은 현장 계량설비 환경에서 주위 온도가 급격히 변하여 전송기 몸체 온도와의 차이가 발생했을 경우 전송기 특성 변화가 일어날 수 있다는 것을 보여주는 사례이며, 전송기 제작회사에서 이러한 요인까지 관찰하여 온도 보정에 의한 전송기 특성을 조정해 준다면 측정오차 절대 크기는 훨씬 줄어들 것으로 사료된다.

### 3.2 주위 온도 영역에서 측정오차 분석

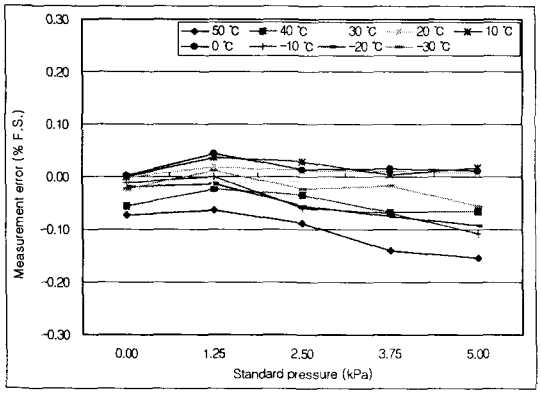
Fig. 4 는 측정범위가 5 kPa 인 Low 차압 전송기이고 Fig. 5 는 측정범위가 25 kPa 인 High 차압 전송기이며, 각각의 온도 영역별로 전송기 주위 온도와 전송기 몸체 온도가 비슷한 상태에서 표준압력을 공급하였을 때 측정오차가 나타나는 것을 보여준다.

전송기는 주위 온도가 20 ℃ 일 때 측정범위에 대한

D/A trim과 Sensor trim을 수행한 후 상승 온도 영역에서 먼저 측정하고, 다시 20 ℃에서 재교정한 후 하강 온도 영역을 측정하였다. 그래서 Fig. 4 는 온도 20 ℃ 기준에서 전송기 주위의 온도 상승과 하강 시 전송기 특성 변화를 관찰한 것이다.




(a)

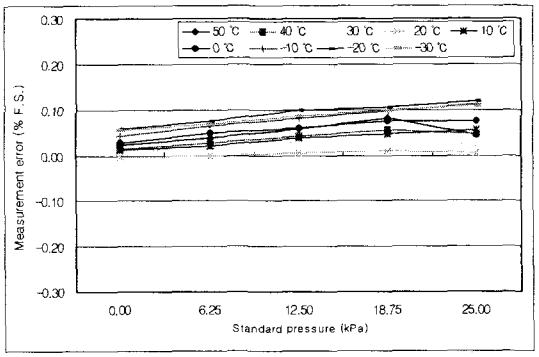



(b)

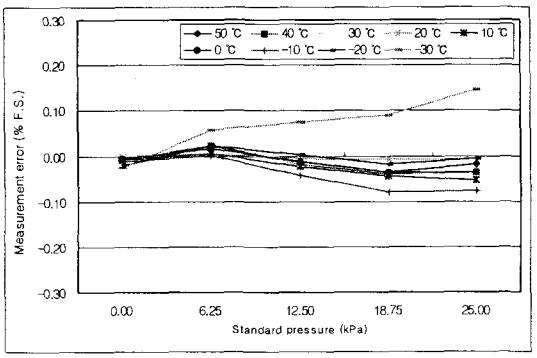
Fig. 4 Measurement error of Low DT with ambient temperature
(a) A Transmitter (b) B Transmitter

Fig. 4 와 Fig. 5 에서 A 전송기는 주위 온도가 상승하거나 하강할 때 모두 +값 측정오차를 나타내며, 오차 형태로 영점오차가 큰 특성을 보인다. B 전송기는 A 전송기와 다르게 -값 측정오차를 나타내며, 오차 형태로 영점오차와 약간의 스팬오차가 가미된 특성을 보인다.

Fig. 4 와 Fig. 5 에서 보듯이 전송기 주위 온도가 높아지거나 낮아질수록 측정오차가 커지며, 특성 변화가 일어나는 것은 전송기 측정범위가 아주 작을수록 주위 온도에 민감하고, 이에 따른 영향이 있다는 것을 고찰할 수 있다.




(a)

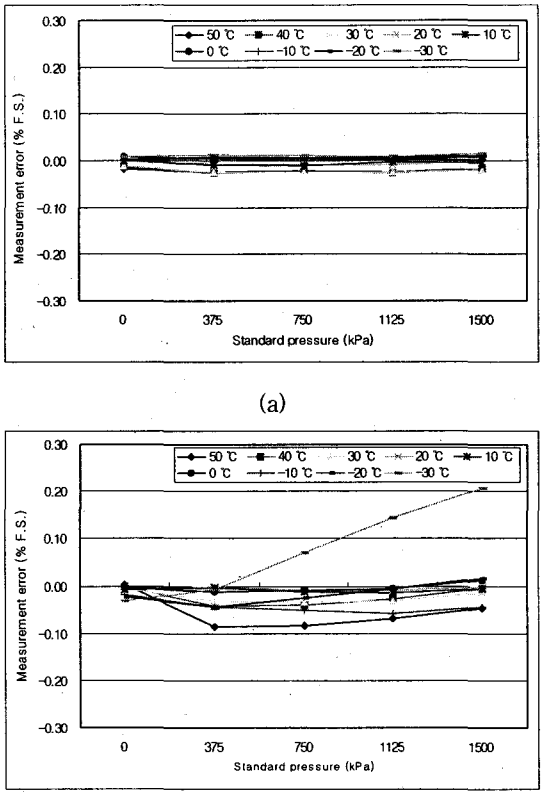



(b)

Fig. 5 Measurement error of High DT with ambient temperature
(a) A Transmitter (b) B Transmitter

현재 주로 사용되고 있는 전송기 제작사의 사양에는 온도에 의한 영향에 대하여 다음과 같은 기준을 제시하고 있다. 교정 시 온도에 비하여 주위 온도가 ± 28 ℃ 범위로 변화할 때 Low DP는 ±0.4 % F.S. 정도, High DP는 ±0.2 % F.S. 정도의 영향을 갖는다고 제시하였으며, Fig. 4 와 Fig. 5에서 보여준 측정오차가 제조사 기준에 벗어나지는 않고 있다.. 하지만 이 실험에서 관찰한 차압 전송기는 주위 온도 변화에 따른 영향으로 특성 변화가 나타나기 때문에 기온 변화가 심한 여름철 및 겨울철에 주위 온도를 적절하게 유지해 준다면 어느 정도의 측정오차를 줄일 수 있다고 판단된다.

Fig. 6 은 측정범위가 1500 kPa 압력 전송기로서 차압 전송기와 동일한 방법으로 측정오차를 산출하였다. 여기서 A 전송기는 주위 온도가 높아지거나 낮아질 때 측정오차가 증가하는 특별한 경향이 없으며, 오차 형태를 보이는 특성 변화도 없다. 그러나 B 전송기는 주위 온도 변화에 따라 -값 측정오차를 나타내며, -30 ℃에서 스팬오차 형태, 50 ℃에서 히스테리시스 형태의 특성 변화를 갖는다.




(a)

(b)

Fig. 6 Measurement error of PT with ambient temperature
(a) A Transmitter (b) B Transmitter

계량설비에서 사용하는 압력 전송기는 Fig. 6 (a)에서 보듯이 주위 온도 변화에 따른 영향을 크게 받지 않기 때문에 전송기 특성이 매우 안정된 것으로 판단할 수 있다. 이는 측정범위가 매우 커서 차압 전송기보다 주위 온도 변화에 민감하지 않다는 것을 알 수 있다. 하지만 Fig. 6 (b)의 압력 전송기는 주위 온도 변화가 아주 높거나 낮은데서 측정오차가 발생하는 경향이 나타나 특성이 매우 불안정하다고 판단할 수 있다. 이는 제품 제작공정에서 압력 센서 및 측정범위에 대한 온도보정이 정확히 이루어지지 않아 기술적인 보완이 필요할 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 실험에서는 현장 계량설비에서 사용하는 압력 및 차압 전송기 주위 온도가 -30 ℃ ~ 50 ℃ 범위까지 변화가 있을 때 각 온도 영역에서 전송기 특성이 어떤 형태의 오차를 갖게 되는지 전송기 출력에 대한 측정오차를 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전송기 주위 온도가 급격히 변화하여 전송기 몸체 온도와 간격차이가 있는 경우 온도가 높아지거나 낮아질수록 측정오차가 커지는 경향이 있다.
2) 차압 전송기는 측정범위가 아주 작은 미압이라 주위 온도 변화에 민감하여 온도가 높아지거나 낮아질 때 전송기 특성 변화로 인한 측정오차가 발생한다.
3) 압력 전송기는 측정범위가 매우 커서 주위 온도 변화에 따른 전송기 특성 변화가 나타나지 않는다.
4) 현장 계량설비에서 차압 전송기는 주위 온도의 급격한 변화로 인해 측정오차가 증가할 수 있으므로 규정된 정확도 사양을 벗어나지 않도록 현장 여건을 고려한 체계적인 관리가 필요하다.

## 참고문헌

(1) KOGAS-GSD-0011 천연가스 계량설비 기술기준
(2) ISO 2186 (1993) "Fluid flow in conduits - Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary element"
(3) ISO/TR 5168 (1998) "Measurement of fluid flow - Evaluation of uncertainties".