

## 실제조건에서 기준 밀도계와 가스 분석기에 의한 밀도 측정 결과 비교

이강진\* · 허재영\* · 하영철\*

### Density Measurement Comparisons of Specific Gravity Meter and Gas Chromatography in the Field

Kang-Jin Lee\*, Jae-Young Her\*, Young-Cheol Ha\*

Key words : Natural Gas(천연가스), Base Density(기준밀도), Specific Gravity Meter(기준 밀도계),  
Gas Chromatography(가스 분석기), Calibration(교정)

#### ABSTRACT

In contracts for sales of natural gas between sellers and buyers, it is not sufficient to only measure a volumetric quantity of gas in flowing conditions in metering station. Therefore the measured volumetric quantity must be converted to that of reference conditions. The density of the natural gas required in such a calculation can be measured directly or estimated from the equation of state or any other experimental methods. The specific gravity meter is the apparatus used to measure the density of fluids under the reference conditions and it can be widely used in industrial areas, especially in massive flow rate natural gas industry. This study has been carried out in an attempt to improve measurement accuracy of natural gas flow rate calculation, providing the adequate installation and proper operation conditions of specific gravity meter. The test results are 1) the density measurement errors in case of using methane and standard gas as calibration gases are smaller than using methane and nitrogen gas, 2) the periodical calibration to maintain accurate density measurements is essential, and 3) the specific gravity meter is sensitive to changes of environmental conditions, especially environmental temperature surrounding the specific gravity meter.

#### 1. 서 론

고압 대유량의 천연가스 계량에 있어서 단순히 계량 기지를 통하여 흐르는 가스 체적을 측정하는 것만으로는 가스 거래에 있어 충분하지 않은데, 그 이유는 계량 기지에서는 유동 조건에서 유량이 측정되는 반면, 공급되는 가스의 요금은 정해진 기준 조건에서 산정되기 때문이다. 따라서 측정된 체적은 기준조건으로 환산해야 한다. 유동 조건이나 기준 조건에서의 가스

의 밀도는 이러한 환산시 알아야만 하며 직접 측정되거나 상태 방정식 또는 그 외 다른 실험적인 방법으로 예측되어 진다.<sup>1)</sup>

밀도 결정시 1%의 오차는 오리피스 유량계에 의한 가스 유량 측정시 가스 계량 오차에 0.5%의 영향을 미친다. 대용량의 가스 계량시 0.5%의 오차는 무시할 수 없기 때문에 가스 밀도 결정은 가능한 한 절대적으로 정확하게 하여야 한다.

추론적으로 질량 유량을 측정하기 위한 2가지 기본적인 다른 시스템이 사용된다. 둘 다 모두 통과된 체적 유량을 결정하기 위해 오리피스 유량계를 사용시 밀도 결정에는 다른 방법이 사용된다.<sup>2)</sup>

\* 한국가스공사 연구개발원 유체계량연구실

첫 번째는 실밀도계(일반적으로 밀도계라 하지만 여기서는 기준 조건에서 유체의 밀도를 측정하는 기준 밀도계와 구별하기 위해 실밀도계로 칭하기로 한다.)를 계량 배관에 직접 설치하여 유동밀도를 측정한다. 이렇게 직접적으로 결정된 밀도값과 오리피스 유량계로부터 측정된 체적 유량으로 질량 유량을 결정하기 위해 2차 계산이 이루어진다.

위와 같은 시스템으로 밀도를 결정할 경우 중요한 점은 실밀도계내의 유체의 온도, 압력은 유량계 내에서의 온도, 압력과 같아야 한다는 것이다. 이것이 이루어지지 않을 경우 종종 부정확도의 원인이 된다. 또한 샘플배관내의 가스 조건은 주위 온도 변화, 태양의 복사열 또는 바람에 의해 심각하게 영향을 받아서는 안 된다.<sup>3)</sup>

두 번째는 계량할 유체의 PVT관계를 미리 알아야 한다.(즉 유체의 비체적이 압력과 온도에 따라 변한다는 것) 압력과 온도는 계량 라인에서 압력계와 온도계로 측정되고, 기준조건에서의 밀도를 가스 분석기 또는 기준 밀도계를 이용하여 구한 후 계산밀도식을 이용하여 유동밀도를 구한다. 이렇게 간접적으로 계산된 밀도값과 오리피스 유량계로부터 측정된 체적 유량으로 질량 유량을 결정하기 위해 첫 번째의 경우처럼 2차 계산이 이루어진다.

위와 같은 두 가지 시스템에 있어서 실밀도계에 의한 직접적인 밀도 측정 방법이 더 선호되지만 실밀도계가 매우 민감한 계측기이고 교정절차가 복잡해서 운영시에 매우 주의를 기울여만 원하는 정확도를 얻을 수 있는 어려움이 있다. 실지로 국외 가스회사의 경우에도 밀도 및 비중 측정에 있어서 실밀도계보다 가스 분석기를 이용한 계산밀도 방식을 더 선호하고 있는데 주요 이유는 기본적으로 계산에 의한 밀도 결정시 관련되는 오차가 줄어들었고, 실밀도계의 유지 관리가 매우 어렵기 때문이다.<sup>4), 5)</sup>

본 연구는 KOGAS(한국가스공사)의 한 공급관리에 기준 밀도계를 설치하여 측정 밀도값과 가스 분석기에 의한 계산 밀도값을 현장 실험을 통해 비교 분석하며, 운영상 발생할 수 있는 문제점 및 검토방안을 검토하여 적정 운영체계를 확립하고자 한다.<sup>6)</sup>

## 2. 실험 장치 및 방법

기준 밀도계의 특성 및 검토방안을 검토하고자 구성된 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험에 사

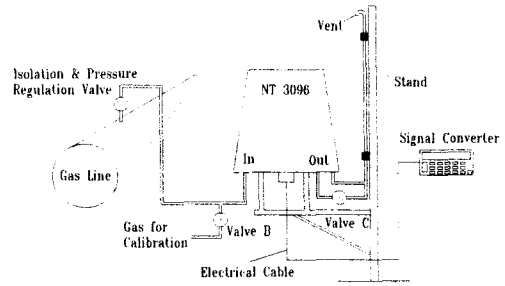


Fig. 1 Schematic diagram of test equipment

용된 기준 밀도계는 Solartron社의 모델 NT 3096으로 정확도는 최고  $\pm 0.1\%$  of reading이다.<sup>7)</sup>

현장의 실제 천연가스가 공급되는 조건에서 기준 밀도계 운영 방법 및 특성을 파악하기 위해 KOGAS의 한 공급관리소에서 실험을 수행하였고 기준 밀도계는 비교 대상으로 삼은 가스 분석기의 설치위치를 고려하여 공급라인 후단에 있는 가스 분석기실 안에 설치하였으며, 기준 밀도계로 유입되는 샘플가스 취출부는 기 설치되어 운영되고 있는 가스 분석기의 샘플가스 취출부와 가능한 동일 부위에서 추출하였다. 본 실험에서는 기준 운영 설비에 영향을 안 끼치도록 방출용으로 사용되는 배관을 기준 밀도계로 유입되는 샘플라인과 연결되도록 하였고, 압력 조절을 위해 레귤레이터를 연결하였다. 레귤레이터와 연결된 샘플라인을 통해 공급배관에서 추출된 샘플가스는 가스 분석기실 안에 설치된 기준 밀도계로 유입된다. 또한 기준 밀도계 인입 전에는 재차 압력 조절을 위해 레귤레이터가 설치되어 있으며, 정성적으로 유체 흐름 및 유량을 확인하기 위해 Float 타입 Flow meter를 설치하였다. 기준 밀도계의 측정 센서부위를 지나면서 적정 밀도 신호를 출력한 후 샘플가스는 인출라인을 통해서 가스 분석기실 지붕으로 연결된 방출라인과 연결된다. 기준 밀도계 전 후단의 가스 라인은 316L 스테인레스 스틸 튜빙을 사용하였으며 밸브를 포함한 피팅류는 외부 누설이 없는 제품을 사용하였다.

Fig. 2는 측정 장비의 계통도이다. 기준 밀도계로부터 출력되는 신호는 RS-232 cable을 이용하여, 현장 실험실에 설치된 신호 변환기(Signal Converter)에 연결되며 데이터는 산업용 586 컴퓨터로 입력된다. 현장 조건은 일반 실험실보다 기온 및 외부 조건이 열악한 상태이므로 보다 안정적으로 실험을 수행하기 위해 일반 PC가 아닌 안정적인 산업용 컴퓨터를 채택하였다.

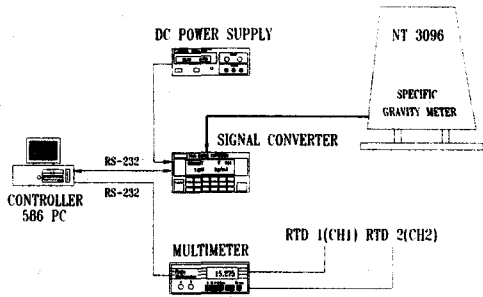


Fig. 2 Schematic diagram of measurement equipment system

신호 변환기는 DC Power Supply로부터 전원을 공급 받고 RS-232 cable을 이용하여 Controller인 산업용 586 컴퓨터로 제어 받는다. 또한 기준 밀도계의 주위 온도 변화에 의한 특성 파악을 위해 2개의 저항온도계 (RTD)도 설치하였다.

기준 밀도계로부터 출력되는 기준밀도의 정확도를 검증하기 위해 비교 대상으로 삼은 것은 공급관리소에서 거래용으로 사용되는 가스 분석기이다. 공급관리소에서 사용되는 가스 분석기 모델은 Hewlett Packard社의 HP 5890 series II로서, 1시간 주기로 가스 성분을 분석하고 그 분석값을 출력한다.

-----  
Specific Gravity Meter, 3096, Interface Program  
-----

Time : 16:21:34

Elapsed Time : 600.14 Min

Base Density	: 0.8053	kg/m3
Specific Gravity	: 0.62286	
Period Time	: 2.19680E+02 us	
Cal. Base Density	: 0.8060	kg/m3
Cal. Relative Density	: 0.623501	
Temp. in Densitometer	: 24.37708	deg.C
Temp. Gas Line	: 22.58155	deg.C
(Mea.Base/Cal.Base-1)*100	: -0.0868	
(Mea.Rela/Cal.Rela-1)*100	: -0.1028	

Fig. 3 Example of density calculation program

Fig. 3은 본 실험을 수행시 데이터의 저장과 실험의 효율성을 높이기 위해 작성된 프로그램을 실행시킨 화면이다. 24시간 On-line으로 매일 데이터를 저장하기 위해 매 1분 간격으로 하드디스크에 저장되도록 하였고 신호 변환기에서 출력된 측정 기준밀도, 비중과 주기 값은 모니터에도 동시에 display되도록 하였다. 또한 비교 대상으로 삼은 현장의 가스 분석기로부터 출력된 기준밀도 및 비중도 나타내었으며, 이 값과 기준밀도의 측정값과의 오차도 동시에 나타나도록 하여 실험을 수행하는 동안에도 오차 변화를 확인할 수 있도록 하였다. 그리고 기준 밀도계 주위 온도 측정용으로 설치된 저항 온도계의 온도도 지시되도록 하였다.

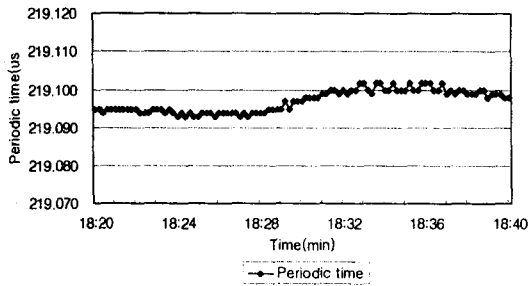
### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 교정가스 종류에 따른 기준 밀도계 특성

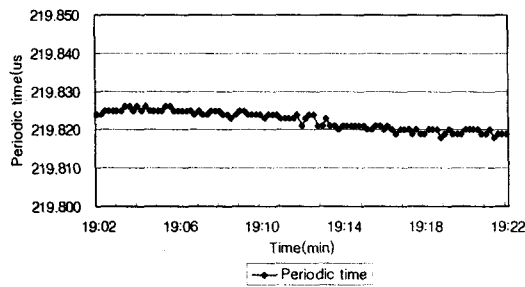
##### 3.1.1. 교정가스로 메탄과 표준가스를 사용할 때 기준 밀도계의 반응

기준 밀도계의 정확도는 주로 reference chamber 압력의 선택, 측정될 비중 범위, 교정 자체의 정확도에 좌우된다. 특히 교정 정확도가 큰 영향을 끼치는데 이러한 교정 정확도는 적절한 교정가스를 선택하고 정해진 절차로 교정을 해야만 원하는 정확도를 얻을 수 있다고 제작사의 매뉴얼 상에 명시되어 있다.

현장 실험시 사용된 기준 밀도계는 메탄과 표준가스를 이용하여 교정을 실시하였다. 선택된 표준가스는 실험이 수행될 시 공급되는 가스의 기준밀도가 표준가스의 기준밀도와 유사했기 때문이다. Fig. 4는 메탄과 표준가스로 교정시 20분 동안 출력되는 주기 값을 정리한 것이다. 이 주기 값은 기준 밀도계의 reference chamber안에 실제 공급가스를 6 bar로 채운 상태에서, 기준밀도를 이미 알고 있는 메탄 및 표준가스를 이용하여 6.4 bar의 압력으로 기준 밀도계로 흘려 보낼 시 출력되는 값을 의미한다. 어느 정도 주기 값이 안정된 후 20분간의 출력주기값을 정리한 것으로서 X축은 시간(분)이고 Y축은 기준 밀도계로부터 출력되는 주기 값(us)이다. 교정이 끝난 후 관련 계산식에 의해 교정 상수  $K_0$ ,  $K_2$ 를 구한 후 이 두 수치를 신호변환기 (Signal Converter)에 입력한다.



(a) Methane gas



(b) Standard gas

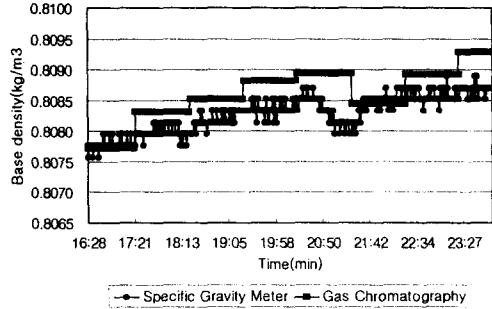
Fig. 4 Periodic time of calibration gases

이렇게 교정이 끝난 후 reference chamber안에 일정한 공급가스가 채워진 상태에서, 공급가스로부터 분기된 샘플가스를 흘려 보낼 시 기준 밀도계의 특성을 검토해 보기로 하였다. 이러한 실험의 목적은 수시로 그 조성이 변하는 공급가스의 기준밀도를, 기준 밀도계가 얼마나 정확히 측정하는지, 또한 교정가스 종류에 따라 기준 밀도계의 특성 및 측정 정확도를 알아보고자 함이다.

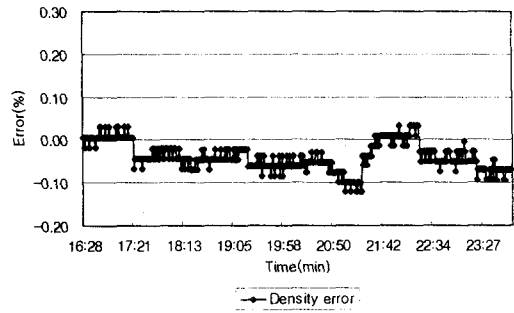
이제 공급배관의 샘플가스 취출부에 설치된 레귤레이터 압력을  $7 \text{ kg/cm}^2$ 로 고정시킨 후, 기준 밀도계 전단의 레귤레이터를 이용하여 reference chamber안의 가스 압력보다 조금 높은 6.4 bar로 샘플가스의 공급 압력을 유지하도록 조절한다.

Fig. 5의 (a)는 기준 밀도계로부터 출력되는 기준밀도와, 비교 대상으로 삼은 현장의 거래용 가스 분석기로부터 출력된 계산 기준밀도를 비교한 것이다.

X축은 실험시간으로서 교정이 끝난 후, 총 7시간 동안 출력되는 데이터를 1분 간격으로 정리한 것이다. 이 두 기준밀도의 오차를 나타낸 것이 그림 (b)이다.



(a) Measured density and calculated density

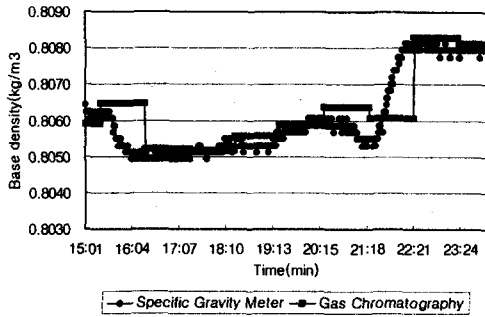


(b) Density error

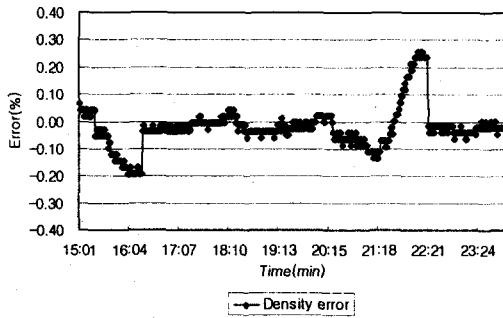
Fig. 5 Density errors due to changes of calibration gases

Y축은 기준밀도 오차를 나타낸 것으로 (측정 기준밀도 / 계산 기준밀도 - 1)  $\times 100$ 으로 계산된 것이다. 그림에서도 보듯이 짧은 시간이지만  $-0.1 \sim 0.1 \%$ 내에서 오차가 변하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 가스 분석기의 특성에 따른 밀도오차를 분석한 것이다. 비교 대상으로 삼은 현장의 가스 분석기는(HP 5890 Series II) 기본적으로 1시간 간격으로 가스 성분을 분석하기 때문에, 중간에 가스 성분 변화시 감지하지 못하는 단점이 있다. Fig. 6의 (a)를 보면 이러한 점을 알 수 있는데, 15:22부터 16:22분까지, 20:22부터 22:22분까지 데이터를 보면 기준 밀도계는 공급가스의 기준밀도변화를 바로 감지하지만, 가스 분석기로부터 출력된 계산밀도는 매 정각의 순시가스 성분으로부터 계산된 수치이고 이 수치가 동일하게 1시간 동안 계속 적용이 되기 때문에 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이러한 차이가 그림 (b)에 나타나 있으며 위에서 언급된 시간대에서만 평균오차 범위를 초과하는 것을 볼 수 있다. 이러한 오차는 분석주기를 가능한 짧게 하면 줄어들 수 있는 문제이다.



(a) Measured density and calculated density



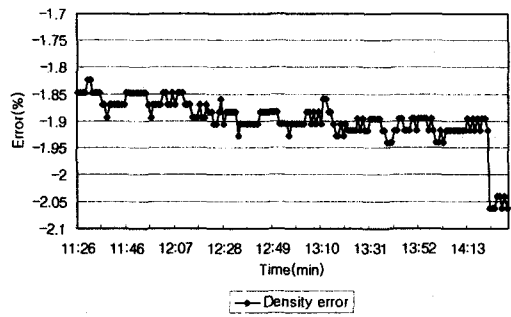
(b) Density error

Fig. 6 Density errors due to analytical characteristics of gas chromatography

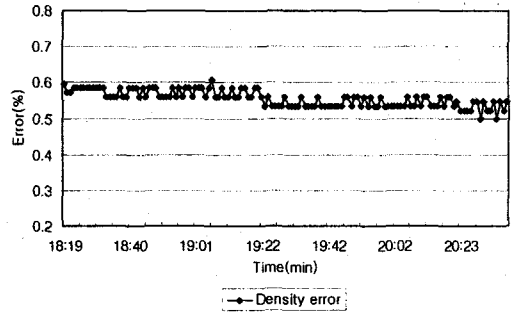
### 3.1.2. 교정가스로 메탄과 질소를 사용할 때 기준 밀도계의 반응

다음에는 교정가스로 메탄과 질소가스를 사용했을 경우이다. 앞에서의 조건처럼 일정한 공급가스를 reference chamber안에 6 bar로 채운 상태에서 기준밀도를 이미 알고 있는 메탄 및 질소가스를 이용하여 기준 밀도계로 흘려 보낼 시 출력되는 주기 값을 정리한다. 어느 정도 주기 값이 안정된 후 20분간의 출력주기 값을 정리한 후 관련 계산식에 의해 교정 상수  $K_0$ ,  $K_2$ 를 구한 후 이 두 수치를 신호변환기(Signal Converter)에 입력한다.

이렇게 교정이 끝난 후 reference chamber안에 일정한 공급가스가 채워진 상태에서 공급가스로부터 분기된 샘플가스를 흘려 보낼 시 기준 밀도계의 특성을 검토해 보았다. Fig. 7은 교정 전·후의 밀도오차를 분석한 것으로서 교정 전에는 -2%대의 오차를 보이다가



(a) Prior to recalibration



(b) Post-recalibration

Fig. 7 Density errors due to recalibration

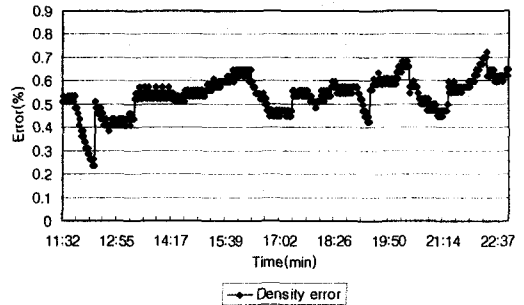
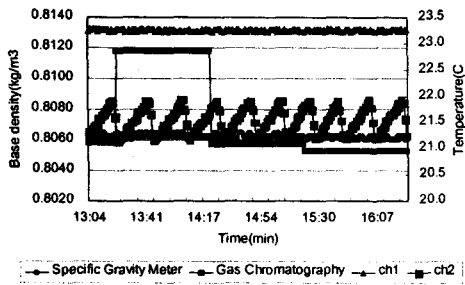
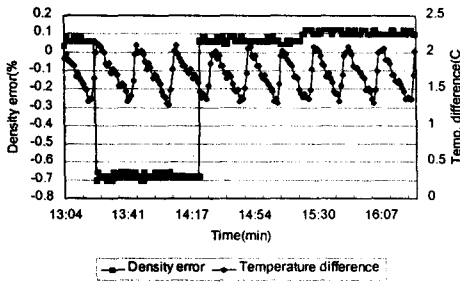


Fig. 8 Density errors due to changes of calibration gases

교정후의 오차를 보면 0.6 % 대로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 교정전의 오차가 -2 %대까지 증가한 이유는 재교정 일자가 초기 교정 일로부터 4개월이 지난 후에 이루어진 것이 원인이라고 생각된다. 즉 기준 밀도계의 적정 교정주기를 지나 오차가 증가한 것으로 생각된다.



(a)



(b)

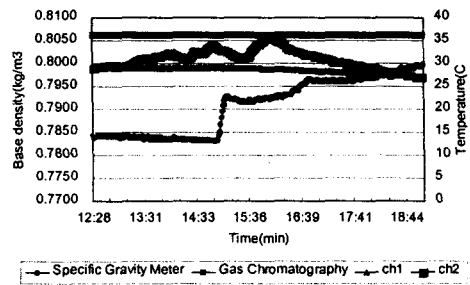
Fig. 9 Density errors due to environmental temperature variations

Fig. 8은 교정가스로 메탄과 질소가스 사용시 기준 밀도계의 밀도오차를 분석한 것으로 전반적으로 (+) 오차를 보이며, 메탄과 표준가스로 교정하여 실험한 결과와 비교시 전반적으로 오차가 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 실험결과는 이전의 기준밀도 오차와 비교시 현격한 차이를 보이는데 교정가스의 종류를 메탄과 표준가스에서 메탄과 질소로 교체한 것 외에는 다른 모든 조건이 동일한 것으로 보았을 때 교정가스 종류에 따른 기준 밀도계의 특성변화라 생각된다.

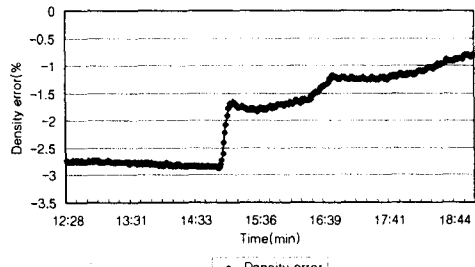
위와 같은 실험결과를 종합해 볼 때 기준 밀도계의 교정가스는 메탄과 질소보다는, 메탄과 공급가스와 유사한 표준가스가 적절한 것으로 보이며, 교정가스를 측정하고자 하는 유동가스와 가능한 한 동일한 가스를 이용하도록 권고하는 제작사의 제시조건과도 일치한다.

### 3.2. 주위 온도 변화에 따른 기준 밀도계 특성

기준 밀도계는 동등한 온도 및 압력조건에서 reference chamber안에 있는 가스와 측정가스가 Diaphragm을 사이에 두고 상호작용에 의해 기준밀도



(a)



(b)

Fig. 10 Density errors due to environmental temperature variations

또는 비중을 산출하는 측정계기이다. 따라서 주위조건에 민감하게 반응하는데, Fig. 9는 이러한 주위조건, 특히 주위온도 변화에 기준 밀도계가 어떻게 반응하는 가를 실험한 결과이다. 그림 (a)에서 Ch1, Ch2는 기준 밀도계 주위에 설치된 저항 온도계(RTD)를 나타내며, Ch1은 기준 밀도계의 Thermal Insulating Cover안에 설치된 온도계이며 Ch2는 기준 밀도계 주위의 온도, 즉 가스 분석기실의 온도를 측정한 온도계이다. 실험시간 동안 Ch1의 온도는 23.21~23.28 °C까지, Ch2의 온도는 21.13~21.92 °C까지 변화하여 온도차는 1.4~2.1 °C사이였으며 이러한 온도차는 그림 (b)에서 보듯이 편향적으로 증가하거나 감소하지 않고 일정 주기로 증가와 감소를 반복하는 것을 볼 수 있다. 이러한 온도 변화에 대해 밀도오차는 뚜렷하게 반응을 보이지 않는 것을 알 수 있으며 단지 13:22분에서 14:22분까지 밀도오차가 -0.7 %까지 일시적으로 증가한 것을 볼 수 있는데, 이것은 가스 분석기의 기준밀도가 비정상인 수치인 것으로 추정된다. 실제로 실험 당일 날 가스 분

석기의 기준밀도 일 평균이  $0.8059 \text{ kg/m}^3$  인데 반해, 13:22분 데이터만이  $0.8118 \text{ kg/m}^3$ 로 평균을 훨씬 초과하는 수치였다. 가스 분석기도 역시 민감한 계측기로서 외부 noise 및 영향에 의해서 성분 분석시 에러를 발생할 수 있으며 이렇게 잘못 분석된 가스 성분으로 계산되어진 기준밀도로 인해 큰 밀도오차를 발생한 것으로 보인다.

Fig. 10은 역시 주위 온도에 따른 기준 밀도계 특성을 나타낸 것으로서 이전의 실험결과와 달리 주위온도가 기준 밀도계에 영향을 끼치는 것을 볼 수 있다. 즉 Ch1과 Ch2의 온도는 각각  $27\sim 29^\circ\text{C}$ ,  $27\sim 36^\circ\text{C}$ 까지 변화하며 온도차도  $0.1\sim 7^\circ\text{C}$ 까지 변화 폭이 큰 것을 알 수 있다. 이전의 실험결과와 달리, 기준 밀도계 주위온도가 높아진 이유는, 가스 분석기실 안의 대기온도가 높아졌기 때문이다. 원래 가스 분석기실 안에는 냉난방 장치가 갖추어져 있어 일정온도가 유지되도록 하였는데 실험 전후일 동안 냉난방장치의 가동을 중단하여 가스 분석기실 안의 온도가 증가한 것이다. 또한 이전의 실험결과와 달리 주위온도가 기준 밀도계의 Thermal Insulating Cover안의 온도보다 높은 것을 알 수 있으며 이러한 높은 주위온도로 인하여 밀도오차가 증가한 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

본 연구는 KOGAS의 한 공급관리소에 기준 밀도계를 설치하여 측정 밀도값과 가스 분석기에 의한 계산 밀도값을 현장 실험을 통해 비교 분석한 것으로 실험 결과에 대한 결론은 다음과 같다. 기준 밀도계는 교정가스로 메탄과 질소 대신 메탄과 표준가스로 교정한 실험결과가 작은 밀도오차를 발생하는 것

을 알 수 있었으며 이러한 실험결과는, 교정가스를 측정하고자 하는 gas와 가능한 동일한 gas를 이용하도록 권고하는 제작사의 제시조건과도 일치한다. 또한 기준 밀도계는 Reference chamber안에 있는 gas와 측정gas가 동일한 성분의 천연gas라면, 그 물분율이 같거나 다소 다르더라도 정확하게 그 기준밀도를 측정하는 것을 볼 수 있었다.

또한 기준 밀도계는 일정 교정주기를 지나면 오차가 적정 범위 이상으로 증가하여 정기적으로 교정이 필요한 것도 확인하였으며, 기준 밀도계는 주위 조건에 민감하게 반응하여, 주위온도가 높으면 오차가 증가하는 것도 알 수 있어, 향후 실제 계량설비로 운영할 경우, 실내 설치를 원칙으로 하고, 주위온도도 일정온도가 유지되도록 해야 한다.

#### 참고 문헌

- (1) M. Jaeschke and H. M. Hinze, 1987, Using densitometers in gas metering
- (2) Alan T. J. Hayward, 1979, "Flowmeters", "111~112"
- (3) 한국가스공사, 1996, "가스 밀도계의 오차원인 분석 및 정상운용 절차 확립"
- (4) IGU Sub-Committee C2 Report, 1993
- (5) ISO 6976, 1995, "Natural gas - Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition"
- (6) 한국가스공사, 1999, "기준 밀도계와 가스 분석기에 의한 계산밀도와의 정확도 비교연구"
- (7) Schlumberger, 1992, "3096 Specific Gravity Transducer - Technical Manual"