

자력저울을 이용한 기체밀도의 측정 Gas Density Measurement by using Magnetic Suspension Balance

*이용재¹, #이우갑¹, 정진완¹, 오재윤²

*Y. J. Lee¹, #W. G. Lee(woogab@kriss.re.kr)¹, J.W.Chung¹, C.Y.Oh²

¹한국표준과학연구원 기술표준본부, ²전북대학교 기계시스템공학부

Key words : Natural gas density, Air density, Magnetic suspension balance, Uncertainty

1. 서론

한정된 화석연료의 감소에 따라 천연가스의 사용이 증가하고 있다. 한편 대체에너지의 필요에 따라 수소 및 각종 연료용 가스들에 대한 안전성과 경제성을 위한 다양한 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 이에 석유화학제품의 생산, 수송, 공정처리에 관련된 대부분의 공정장치들의 최적 설계를 위하여 열역학적 특성과 정확한 실험적 가스밀도측정의 신뢰성 있는 평가가 필요하다. 특별히 천연가스의 경우 탐사와 시장 그리고 사용자측면에서 높은 정확도의 상평형과 압력-밀도-온도의 데이터를 요구한다. 한편 가스의 온도와 압력과 성분을 알려지면 적절한 상태방정식을 사용하여 밀도를 계산할 수 있다. 그러나 상태방정식의 정확도는 상태방정식을 수립하기 위해 쓰인 실험데이터의 정확도에 의존하게 된다. 이런 이유로서 참조 상태방정식의 개발을 위하여 신뢰할 만한 열역학적 측정 데이터들이 이용되어야 한다. 천연가스의 경우, 유량측정에 필요한 밀도측정은 초기에는 진동식밀도측정기에 의해 기준가스와 비교 측정하였다. 그러나 밀도측정기의 복잡한 교정절차와 사용법으로 인한 정확도 구현에 어려움이 있어 현재 가스분석기에 의한 계산방법에 의하여 밀도를 간접적으로 결정하고 있다. 따라서 간접적인 가스밀도는 직접측정방법에 의한 측정결과와 비교되어 밀도측정표준의 소급성이 유지하여야 한다. 이를 위하여 자력저울(Magnetic Suspension Balance, MSB)[1]을 이용한 기체밀도절대측정시스템의 구성하고 이에 대한 성능을 평가하였다.

2. 측정시스템 구축

그림 1은 기체밀도 절대측정 시스템의 개념도를 보여주고 있다. 본 시스템은 MSB와 주변장치

로서 구성하였다. MSB는 정밀저울, 전자석, 영구자석, 실리콘 싱커, 질량보상장치, 측정챔버, 위치센서, 연동장치, 제어장치로서 구성하였다. 주변장치는 온도조절장치, 항온조, 진공펌프, 백금온도계, 압력계, 유량조절밸브로서 구성하였다. MSB의 제원으로서 저울은 최소눈금 0.001 mg의 측정용량 40 g의 마이크로저울이며, 싱커는 실리콘 재질의 부피와 질량이 각각 8.8 cm³, 20.65 g, 밀도는 약 2.33 g/cm³이다. 측정챔버는 온도는 상온에서 200 °C 범위, 압력은 진공에서 30 MPa 범위까지 사용할 수 있다.

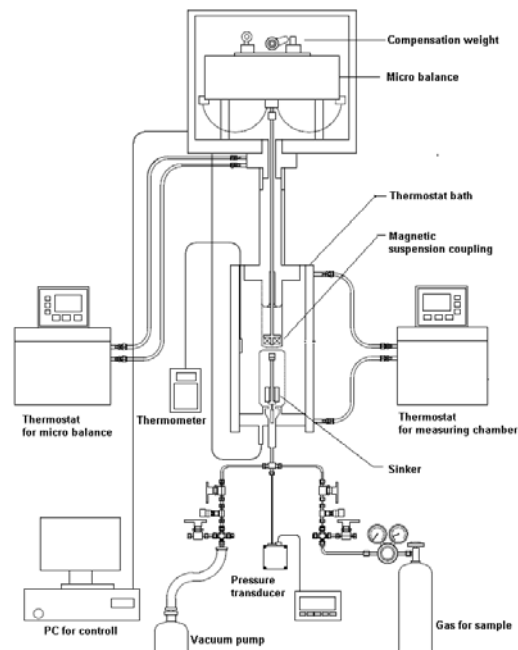


Fig.1 Gas density measurement system

측정챔버의 크기는 직경 30 mm, 높이 100 mm

로서 약 70.7 cm³의 부피를 가진다. 질량보상장치는 2개의 분동 즉, 탄탈륨과 티타늄의 재질로서 질량은 각각 약 28.74 g, 7.72 g, 부피가 각각 약 1.72 cm³, 1.71 cm³, 밀도는 각각 약 16.69 g/cm³, 4.51 g/cm³를 가진다.

주변장치의 제원으로서 진공펌프는 Turbo pumping system으로서 10⁻⁹ torr의 용량을 가지며, 백금온도계는 -200 °C에서 850 °C, 최소눈금 0.001 °C의 0.01 °C~0.02 °C의 불확도를 가진다. 압력계는 용량 0.15 MPa, 최소눈금 0.1 Pa, 불확도는 최대용량에서 0.013 %를 가진다.

3. 측정결과

구성된 기체밀도측정장치의 성능은 공기와 천연가스의 밀도를 각각 측정하여 평가하였다. 공기밀도는 NIST 공기밀도식을 적용하여 공기의 압력과 온도 그리고 습도를 측정하여 기준값으로 사용하였다. 공기는 실험실 주위 공기를 이용하였다. 공기밀도 측정은 상온 즉, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C에 측정하였고 각각의 측정결과는 표 1과 같이 얻어졌다.

공기밀도의 기준값과 측정값에 대한 상대 편차는 각각의 온도에서 0.65 %, 0.32 %, 0.13 %, 0.10 %로서 온도가 낮아질수록 높은 편차를 보였다. 이것은 본 시스템이 상온에서 고온용으로서 상온보다 낮은 영역에서 온도평형에 의한 영향으로 추정된다. 공기밀도 측정의 상대불확도는 각각의 온도에서 0.71 %, 0.43 %, 0.70 %, 0.91 %를 나타냈다. 주위 실험실 온도와 비슷한 20 °C에서 가장 작은 값을 나타냈고 주위 실험실의 온도와 격차가 클수록 큰 불확도를 나타냈다.

Table 1 Measurement results of air density

Air		Evaluated value g/cm ³	Uncertainty g/cm ³	Relative uncertainty %	Deviation g/cm ³	Deviation %
15.17 °C 1007.28 hPa	Measurement	0.0012057	0.0000086	0.71	0.0000079	0.65
	Reference	0.0012136	0.0000047	0.39		
20.01 °C 998.86 hPa	Measurement	0.0011767	0.0000051	0.43	0.0000038	0.32
	Reference	0.0011804	0.0000028	0.23		
24.93 °C 1005.90 hPa	Measurement	0.0011656	0.0000082	0.70	0.0000016	0.13
	Reference	0.0011672	0.0000044	0.38		
29.89 °C 1004.20 hPa	Measurement	0.0011426	0.0000104	0.91	0.0000011	0.10
	Reference	0.0011437	0.0000043	0.37		

천연가스는 공기 무게의 약 60 %정도로서 가벼운 기체로서 공기밀도측정할 때 보다 시스템 적용에 주의해야 한다. 먼저 공기가 들어 있는

측정챔버를 순수한 측정샘플인 천연가스를 주입하기 위하여 진공도를 최대한 높이고, 진공중에서 싱커의 질량을 측정하기 위해 진공도를 유지해야 한다. 측정챔버의 진공도는 10⁻⁵ Pa로서 누출(leak)정도는 1 시간당 약 5 Pa로 유지되었다. 천연가스를 측정챔버에 넣기 전에 측정챔버는 측정샘플인 천연가스로 3 회 반복 퍼징(purging)하여 측정 순도를 높였다. 측정절차는 온도평형을 위한 시간이 수시간 소요되는 샘플을 먼저 측정챔버에 주입하여 먼저 측정하고 진공중 측정을 나중에 측정한다. 이것은 진공을 만드는 시간이 짧아 저울의 영점 및 직선성의 변화가 줄어들고 진공작업 동안 측정챔버의 온도를 유지할 수 있기 때문이다. 측정결과는 표 2과 같이 얻어졌다. 측정점 15 °C, 20 °C, 25 °C, 1 기압에서 상대불확도 0.94 %, 0.66 %, 0.92 %로서 공기밀도측정결과와 같이 실내온도 분위기의 20 °C에서 가장 작게 평가되었다.

Table 2 Measurement results of natural gas density

Temperature °C	Pressure hPa	Measurement Value g/cm ³	Uncertainty g/cm ³	Relative uncertainty %
15.17	1013.18	0.0008012	0.0000075	0.94
20.01	1013.33	0.0007897	0.0000052	0.66
24.95	1013.28	0.0007772	0.0000072	0.92

4. 결론

기체밀도의 직접측정을 위하여 MSB를 사용한 가스밀도측정장치를 구성하고 성능을 평가하였다. 성능평가결과 공기와 천연가스의 밀도를 대기압(상압)에서 상온(15 °C~30 °C)에서 각각 상대측정불확도 0.43 %~0.91 %, 0.66 %~0.94 %를 나타냈다. 향후 산업체 기체밀도측정의 측정표준 보급을 위한 0.1 % 측정불확도를 목표로 측정시스템의 향상 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

1. W Wagner, R Kleninrahm, "Densimeters for very accurate density measurements of fluids over large ranges of temperature, pressure, and density", Metrologia, Vol 41 Number 2, S36~S37, April 2004