

초음파 유량계를 사용한 KOGAS의 천연가스 유량측정

이 승 준*

1. 서 론

천연가스가 국내에 본격적으로 쓰이기 시작한 것은 1983년 8월 한국가스공사(KOGAS)가 설립되고, 1986년 11월 평택화력발전소에 처음으로 발전용 천연가스를 공급하면서부터이다. 1987년 2월 수도권 지역에 최초로 도시가스를 공급하였고, 이후 '전국천연가스공급사업'을 지속적으로 추진하여 1993년 7월 중부권 지역, 1995년 11월 영호남 지역, 1999년 10월 서해권 지역, 12월 남부권 지역에 천연가스를 공급하였으며, 2002년 12월 강원권 지역의 주배관 공사가 완료됨에 따라 총 2,435 km의 전국 환상 공급망을 완성하여 현재에 이르고 있다.

이러한 천연가스는 국내의 에너지 소비 중 10% 수준을 차지하고 있는 에너지로서 전국적으로 천연가스 배관망을 통하여 공급되며 가정용, 산업용 및 발전용 등 이용분야가 다양하다.

연료로 주로 사용되는 천연가스는 연소시에 황산화물, 일산화탄소, 분진 등 환경오염 물질 발생이 여타 화석연료와 비교하여 현저히 적은 환경 친화적 연료로서, 지속적으로 그 수요가 증대하는 추세에 있다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 국내 총 수요는 2004년 기준으로 2,100만여 톤에 이르며 이는 매출액 기준으로 9조원을 상회한다.

2004년 이전까지 국내에서 사용하는 천연가스는 모든 양을 국외의 천연가스 생산국으로부터 LNG 상태로 도입하여 왔으며, 이러한 천연가스의 도입은 KOGAS에서 전담하여왔다.

KOGAS는 LNG를 도입하여 하역 및 저장하고, 기화, 부취제 첨가 등의 과정을 거쳐, 전국 천연가스 배관망을 통하여 각 지역으로 수송하며, 이렇게 각 수요 지역으로 수송된 가스는 각 지역의 도시가스사에

공급되어 가정용, 산업용 수요처로 최종 공급되거나, 열병합 발전소에 직접 공급되어 발전용 연료로 사용되게 된다.

이러한 일련의 천연가스 공급 과정에서 각 거래 주체인 한국가스공사와 도시가스사, 그리고 열병합 발전소간에는 대용량의 거래가 이루어지게 되며, 따라서 천연가스의 공급량을 정확히 산정하는 것은 매우 민감하고 중요한 문제이다.

특히 2004년부터는 동해-1 가스전의 가스 생산과 2005년 포스코의 LNG 직도입, 이후 예상되는 추가 LNG 직도입 등으로 천연가스의 생산, 도입 및 공급 환경이 변화를 겪고 있으며, 이러한 환경변화에 대처하기 위한 기술적, 종합적인 체계 구축작업이 시급하게 진행되고 있는 상황에서 더욱 복잡해진 거래 당사자간의 공급량 산정 문제는 그 중요성을 더하고 있다. 본 특집에서는 이러한 천연가스 공급체계 하에서 사용되는 대용량 유량측정기술, 특히 초음파 유량계 사용과 관련하여 KOGAS에서 수행하고 있는 기술적 검토 현황에 대하여 소개하고자 한다.

2. KOGAS의 천연가스 유량측정용 가스유량계

KOGAS에서 수행되는 유량측정은 크게 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 도입량 측정 (거래용)
LNG 도입량 측정, 동해-1 가스 도입량 측정
- 공급량 측정 (거래용)
수요처(발전소, 도시가스)별 공급 유량 측정
- 직도입가스 배관시설 이용물량 측정 (거래용)
- 자체의 공정관리를 위한 유량 측정 (비거래용)
자체소비량 측정, 공정 관리용 유량 측정

이러한 용도별 유량 측정을 위하여 KOGAS에서는 현재 400여대의 유량계를 전국적으로 운영하고 있다.

* 한국가스공사 연구개발원
E-mail: sjlee@kogas.or.kr

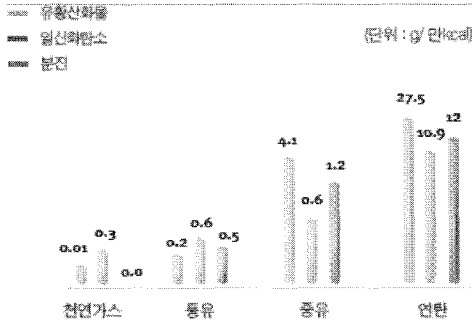


Fig. 1 연료별 공해물질 발생

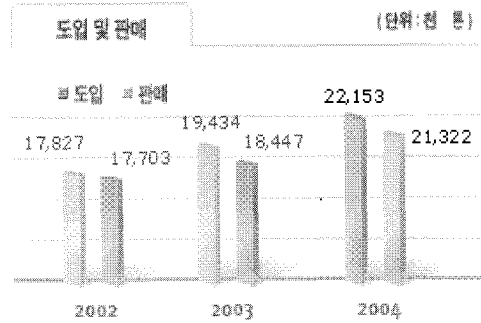


Fig. 2 연도별 천연가스 도입 및 판매량

현재 거래용 공급량 측정을 위하여 운영되고 있는 유량계의 종류는 오리피스 유량계와 터빈 유량계의 두 종류이다. 초기에는 모두 오리피스 유량계를 설치 사용하였으며, 1994년부터 일부 소유량 측정에 터빈 유량계를 도입하기 시작하였다. 1998년 이후 신규 건설되는 계량설비는 발전용 공급설비에는 오리피스 유량계, 도시가스용 공급설비에는 터빈 유량계를 설치 사용하고 있다.

이러한 두 가지 유량계는 각각 장단점을 가진다.

오리피스 유량계는 천연가스가 유량계를 통과할 때 발생하는 차압을 이용하여 천연가스 산업의 초창기부터 유량측정에 널리 사용되어 온 유량계로 구동부위가 없다는 장점을 가지고 있으며, 또한 오랜 기간 동안 구축된 데이터베이스를 바탕으로 국제규격(ISO 5167)에서 제시하는 제작, 설치 규격과 유량계산식을 사용하여 유량을 측정한다. 이에 따라 압력계, 온도계 등의 주변 계측기기 교정 이외에 유량계 자체의 교정은 필요하지 않으며, 신뢰도가 높고 누구에게나 잘 알려져 있는 유량계이기 때문에 사용 자체에 대하여 시비나 분쟁의 소지가 없는 유량계이다.

오리피스 유량계는 이러한 여러 가지 장점에도 불구하고 한 대의 오리피스 유량계로 측정할 수 있는 유량비가 작고, 또한 국제규격에서 제시하는 설치 조건을 만족시키기 위해서는 유량계 전단에 배관 직경에 비례하는 상대적으로 긴 직관부를 설치하여야 하기 때문에, 측정하는 유량의 범위가 넓고 유량계 설치 장소의 부지가 제한된 경우에는 사용이 적절하지 않을 수 있다. 따라서 천연가스 유량측정에 있어서 오리피스 유량계는 비교적 공급유량의 범위가 일정한 발전소 공급용이나 기타 직관부 길이의 충족에 문제가 없는 경우에 대하여 적용되고 있다.

이러한 오리피스 유량계의 사용상 제한에 대처하기 위하여 사용되기 시작한 터빈 유량계는 주로 유럽 국가들에서 천연가스 유량측정에 널리 사용되며 성능이 검증되어 있고, 관련 국제규격의 정비도 잘되어 있어 역시 신뢰도 높은 유량계이다.

터빈 유량계는 오리피스 유량계와 상호 보완적인 장단점을 가진다. 즉, 상대적으로 넓은 유량범위를 측정할 수 있고, 요구되는 유량계 전단 직관부 길이가 짧은 반면, 유량계 내부에 회전부위를 가지고 있어 주변 계측기의 교정은 물론 유량계 자체의 지속적인 교정이 반드시 필요하다.

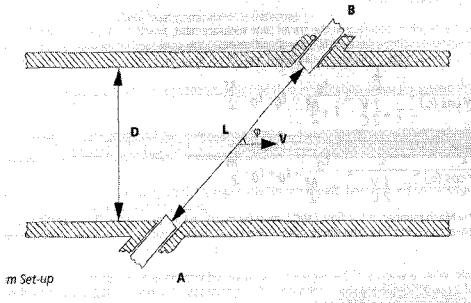
이상에서 언급한 바와 같이 두 가지 유량계들은 정확한 설치조건 및 적절한 유량측정 조건하에서 각각 만족할 만한 정확도를 가지지만 사용 여건 및 원천적인 구조에 의하여 사용상의 제한 등 일부 단점들을 가지기 때문에 새로운 유량 측정기술 및 유량계의 개발을 위한 연구들이 계속되고 있다.

3. 다경로 초음파 유량계

3.1 현황 및 측정원리

새로이 연구 및 개발되는 유량계 중 최근 들어 가장 활발하게 연구되고 또한 실제 적용 및 시험되고 있는 유량계가 다경로 초음파 유량계이다.

초음파 유량계란 배관 내에서 유동하는 유체에 초음파를 통과시키고 이때 유체 유속에 따른 초음파의 경로변화 및 이동속도 등을 측정·분석함으로써 유체의 유속을 알아내는 유량계를 말한다. 이러한 초음파 유량계는 과거 액체 유량계 분야에서 많이 쓰여 왔으나 관련 기술의 발달로 가스 유량 측정에도 쓰이기 시작



$$t_{AB} = \frac{L}{C + v_M \cos(\phi)}, \quad t_{BA} = \frac{L}{C - v_M \cos(\phi)}$$

$$v_M = \frac{L}{2 \cos(\phi)} \left(\frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right)$$

Fig. 3 기본적인 초음파 유량계 장치

하였으며, 기존 유량계가 가지는 여러 단점들을 극복할 수 있다는 점 때문에 특히 주목받고 있다.

다경로 초음파 유량계는 Fig. 3 과 같은 초음파 센서를 여러 쌍 사용하여 배관 내의 속도분포를 감안한 유량측정을 하는 것을 말하며 이로 인하여 정확한 유량 측정이 가능하다.

국외에서는 현재 유럽, 미국, 캐나다 및 호주 등의 여러 국가에서 초음파 유량계를 시험하거나 일부 거래용으로 사용하고 있다.

3.2 장단점

다경로 초음파 유량계에 대하여 알려진 장점들과 이러한 주장에 대하여 검토된 내용을 간략히 정리하면 다음과 같다.

- 정확도가 높다.

실제 사용에 있어서 적정히 운영될 경우 여타 유량계와 동등한 수준의 정확도를 가지는 것으로 보이며, 단, 해당 국제 규격에서 정하고 있는 성능 조건이 여타 유량계의 경우보다 엄격하게 규정되어 있음

- 직관부 길이가 길지 않아도 된다.

제각사가 제시하는 직관부 길이는 터빈 유량계와 동등한 수준으로 오리피스 유량계보다 짧음

- 유량측정비가 크다.

일반적으로 최대유속 30 m/s 까지를 측정범위로 하고 있어 여타 유량계에 비하여 유량 측정비가 큼. 단, 실제 적용시 배관의 침식개시속도로 알려진 20 m/s 이상의

사용이 가능한지에 대하여 매 적용 조건의 검토가 필요
- 양방향 측정이 가능하다.

여타 유량계와 가장 차별되는 두 가지 장점 중 하나임. 측정 원리상 한대의 유량계로 순방향, 역방향의 양방향 측정이 가능. 단, 양방향 측정을 위해서는 설계시 양방향 측정을 위한 설치조건(직관부 길이, 온도계 설치 등) 반영하여야 하며, 양방향 각각에 대한 유량 교정이 필요

- 오염물 부착에 강하다.
- 스윙에 비교적 영향을 받지 않는다.
- 운영 및 보수 유지가 간편하다.

여타 유량계와 가장 차별되는 두 가지 장점 중 하나로 음속 모니터링 등을 통한 각종 성능 진단기능이 강화되어 있음

- 구조가 간단하고 구동 부위가 없어 파괴나 손상 및 변형 혹은 구동 중지 등의 가능성이 없다.

등이다.

반면 현재까지 파악된 단점은 다음과 같은 것들이 있다.

- 가격이 비싸다.
- 음파 노이즈에 약하다.

음파 노이즈에 대한 유량계 성능 특성에 대한 자료는 거의 전무하며, 따라서 유량계는 유량계에 영향을 줄 수 있는 음파 노이즈가 존재하지 않는 곳에 설치되어야 함

3.3 관련 규격

초음파 유량계와 관련한 국제 규격은 크게 AGA(미국 가스 협회)와 ISO(국제 표준화 기구) 두 기관에서 발간된 자료가 있다.

AGA에서 발간된 규격은 1998년도 6월에 초판이 발간되었으며, 권고서의 성격을 가진다.

AGA Report No. 9 (1998) "Measurement of Gas by Multipath Ultrasonic Meters"

이 규격과 관련하여 현재 미국 SwRI 의 MRF(Meter Research Facility) 등에서 Report update 를 위한 연구를 진행 중인 것으로 발표된 바 있으며, 진행 중인 주요 항목들은 배관 압력, 미소 유량 측정, 설치 조건 영향 등이다.

ISO에서도 1998년도 12월에 다음의 규격이 발간 되었으나 현재는 기간 만료로 폐기되었으며, 이후 새로운 규격 수립을 위한 작업이 진행 중에 있다.

ISO/TR 12765:1998(E) "Measurement of fluid flow in closed conduits - Methods using

transit time ultrasonic flowmeters"

현재 해당 ISO 규격은 ISO TC 30에서 절차가 진행 중에 있다.

ISO/CD 17089 "Measurement of fluid flow in closed conduits -Ultrasonic meters for Gas"

결과적으로 현재 유효한 규격은 AGA 의 규격이 유일하며, 조만간 ISO의 규격 제정이 있을 예정이다.

4. KOGAS의 다경로 초음파 유량계 검토 현황

KOGAS에서는 다경로 초음파 유량계를 사용할 경우 기존의 오리피스 유량계 및 터빈 유량계를 사용하는데 존재하는 여러 가지 단점들을 해결할 수 있는 것으로 보고 일찍부터 초음파 유량계에 대한 다각적인 검토를 진행하였다. 1998년 AGA 규격 제정 이전부터 초음파 유량계에 대하여 타당성 조사를 시작하였고, 2001년부터 2004년에 걸쳐 유량계 성능에 대한 실험을 포함하는 연구를 진행하였다.

4.1 유량측정 성능 검토

다경로 초음파 유량계는 여러 가지 면에서 장점을 가지는 반면 아직까지 사용역사가 얼마 되지 않으므로, KOGAS의 설비 특성에 맞는 성능에 대한 독자적인 검증작업이 필요하다고 판단하였다.

세계적으로 천연가스 유량측정에서 높은 점유율을 가지는 몇몇 제작사의 다경로 초음파 유량계에 대하여 검토를 진행하였다. 오리피스 유량계 및 터빈 유량계와의 비교 및 교정을 통한 실험을 진행하여 유량계의 성능을 확인하였다.

4.2 노이즈 영향 검토

장단점에서 언급했듯이, 다경로 초음파 유량계는 측정에 초음파 신호를 사용하기 때문에 배관내 음파 노이즈의 영향을 받을 우려가 있다.

제작사에서조차 최대한 음파 노이즈가 없는 환경에서 유량계를 사용하도록 권고하고 있으며, 신호처리에 있어서 필터링(filtering)이나 에버리징(averaging) 등 몇몇 단순한 대처방안만을 제시하고 있다. 더욱이 노이즈 존재시 유량계의 성능 특성에 대해서는 거의 알려진 바가 없는 현실이다.

때문에 가스 공급설비의 계량설비 전단에 정압기(PCV) 등 음파 노이즈 발생원이 공존하는 KOGAS의 설비 여건을 감안하면 이에 대한 확인 작업이 반드시 필요하였다.

검토 방법에 있어서 노이즈 존재시 유량계의 성능 특성을 파악하기는 매우 어려운 것으로 판단되었다. 이는 실험실에서 현장의 노이즈를 재현하기가 매우 어렵고, 또한 노이즈가 존재하는 현장에서 실험을 진행하는 데에는 대규모의 작업이 필요하기 때문이다.

이에 따라 선택된 방법은 현장 설비의 노이즈 발생원으로부터 유량계가 설치되는 위치까지의 배관내 노이즈 존재를 실측하고, 유량계 설치 위치에서 성능에 영향을 미칠만한 노이즈가 존재하는지를 확인하는 방법이었다.

이러한 측정작업은 범용의 측정장비를 이용하기에는 한계가 있으므로, 배관내 노이즈 실측을 위한 측정장치를 별도로 구성하여 그 유효성을 확인하였으며, 확립된 측정방법을 통하여 실측 및 검토를 진행하였다.

4.3 사내기술기준의 수립

이상의 검토 작업을 통하여 현재 KOGAS에서는 다경로 초음파 유량계의 사용을 위한 사내기준을 제정중이다.

조만간 제정될 사내기준은 현재 유효한 국제 규격과 제정중인 국제규격의 내용, 그리고 자체검토된 결과들을 토대로 수립된다. 실제 초음파 유량계의 사용은 이 기준을 바탕으로 하되 신규 및 대체 유량계의 용도와 기타 여건에 따라 개별적으로 그 여부가 결정될 예정이다.

4.4 기타

현재 동해-1 가스의 계량설비와 포스코 직도입 가스의 계량설비에 보조 유량계로 초음파 유량계가 각 1대 설치 운영되고 있다. 이 계량설비들은 KOGAS의 소유는 아니나 공동으로 운영하는 설비로 이에 대한 운전을 통해 많은 현장 운영 경험을 축적할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 다경로 초음파 유량계와 별도로 배관 외부에 설치하여 사용하는 clamp-on 타입의 초음파 유량계에 대해서도 관심을 가지고 있으나 이에 대해서는 아직까지 성능을 입증하는 결과는 얻지 못하였다. (거래

용이 아닌 공정용)

5. 결 론

천연가스의 유량 측정은 KOGAS를 중심으로한 여러 거래 당사자들 간의 이해에 직결되는 중요한 과정으로 특히 최근 LNG 직도입 등이 이루어지면서 그 중요성이 더욱 강조되고 있다.

KOGAS에서는 무엇보다도 정확하고 공정한 거래의

확립을 위하여 최대한의 노력을 경주하고 있으며, 이를 위하여 지속적인 연구개발을 통해 각 설비 여건에 적절한 유량 측정 방법을 선택 적용하고 있다.

최근 그 장점이 두드러지고 있는 다경로 초음파 유량계에 대하여 다각적인 사전 검토 작업을 통하여 현재 다경로 초음파 유량계의 사용 여건이 완비단계에 있으며, 이 작업이 완료되면 다양한 상황에 적용할 수 있는 유량계 선택 폭의 확대에 보다 효율적인 천연가스 유량측정이 이루어질 수 있을 것이다.