

## 천연가스 유량계 교정 시스템의 설계·구축 및 운영

이승준 · 이강진 · 정종태 · 하영철 · 안승희 · 이철구 · 허재영

### Design, Construction & Operation of Natural Gas Flowmeter Calibration System

Seungjun Lee, Kangjin Lee, Jongtae Jung, Youngchul Ha, Seunghee Ahn, Chulgu Lee,  
Jaeyoung Her

*Key Words: Turbine Flowmeter(터빈 유량계), Calibration(교정), Natural Gas(천연 가스)*

#### ABSTRACT

Korea Gas Corporation(KOGAS) have constructed a gas flowmeters' calibration facilities at Jungdong Bucheon. The facilities consisting of 6 reference turbine meters can perform calibrations of large capacity natural gas flowmeters up to 9,600 m<sup>3</sup>/h at 95 kPa. This large capacity and high pressure natural gas facilities is traceable to the national standard of gas flow rate (KRISS). In this article the motive of construction and description of design are summarized.

#### 1. 서 론

국내에서 도시가스용, 산업 및 발전용 연료로 주로 사용되는 천연가스는 연소시에 질소산화물 등 환경 오염 물질 발생이 여타 화석연료와 비교하여 현저히 적은 환경 친화적 연료로서, 지속적으로 그 수요가 증대하는 추세에 있다.

현재 국내에서 사용하는 천연가스는 전량 국외의 천연가스 생산국으로부터 LNG 상태로 도입하고 있으며, 이러한 천연가스의 도입은 한국가스공사에서 전담한다. 한국가스공사는 LNG를 도입하여 하역 및 저장하고, 기화, 부취제 첨가 등의 과정을 거쳐, 전국에 현재까지도 건설중인 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.

한국가스공사는 천연가스 공급 유량을 측정하기 위하여 두 종류의 유량계, 즉 오리피스 유량계와 터빈 유량계를 사용하고 있으며, 특히 1998년 이후 신규 건설되는 모든 도시가스 공급설비에는 터빈 유량계를 설치 사용하고 있다.

이 중 오리피스 유량계는 천연가스가 유량계를 통과할 때 발생하는 차압을 이용하여 천연가스 산업의 초창기부터 유량 측정에 널리 사용되어 온 유량계로 구동부위가 없다는 장점을 가지고 있으며, 또한 오랜 기간 동안 구축된 데이터 베이스를 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 않다.

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 않다.

이러한 오리피스 유량계의 단점에 대처하기 위하여 사용되기 시작한 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.

천연가스 유량측정에 일찍부터 터빈 유량계의 사용이 일반화 된 네덜란드, 영국 등 유럽 국가들이나 캐나다, 미국 등에서는 이미 최대 1.5 MPa의 천연가스를 사용하는 고압 대용량의 유량계 교정설비들을 구축하여 보유 운영하면서 공칭 직경 750A 이상까지의 자국내 및 국가간 천연가스 거래용 터빈 유량계를 교정하고 있으며, 아시아 등 국가로 수출되는 천연가스용 유량계의 교정 수요도 처리하고 있다.

한국가스공사 연구개발원은 터빈 유량계의 교정을 위하여 1997년부터 2000년에 걸쳐, 경기도 부천시 중동 공급관리소 내 부지에 가스유량계 교정설비를 건설하고 가스 유량계 교정을 수행할 유량계 교정센터를 설립하였다.

유량계 교정은 유량계가 사용되는 운전 조건과 유사한 교정 조건에서 이루어져야하기 때문에, 고압의 천연가스를 직접 사용하여 유량계 교정을 수행 할 수 있도록 설계하였으며, 현재 본격적인 운영 준비중에 있다.

구축된 유량계 교정 설비는 한국표준과학연구원서 국가 유량 표준을 소급 받아 기준기(터빈 유량계)를 유지 관리하며, 이때 소급용 유량계로는 소닉노즐을 사용한다. 또한 도시가스 공급압력의 천연가스를 사용하여 최대 공칭 직경 400A까지의 터빈 유량계를 교정할 수 있도록 설계, 건설되었다. 이 설

비는 2002년부터 본격 가동되어 국내의 천연가스 유량계, 주로 한국가스공사의 도시가스 공급용 터빈 유량계 교정을 실시하게 되며, 이외에 천연가스 유량측정 관련 실험 용도로도 사용되게 된다.

## 2. 유량계 교정 시스템의 구축 배경

모든 계량 및 측정 장비는 그 성능을 검증하는 절차가 필요하다. 이에 따라 모든 계측장비는 최초 그 장비가 제작된 시점에서 올바른 계측 값을 나타내는데 대한 초기 교정을 하게되며, 또한 일정 사용기간이 지난 후 시점에서는 계속 일정한 특성을 유지하는지에 대한 교정을 통해 사용 중의 외부 요인이나 시간 경과 등에 따른 측정의 편차 또는 특성의 변화를 확인하고 보정하는 절차를 적용한다.

이러한 교정은 반드시 국제 표준으로부터 소급되는 표준소급체계를 가지는 기준기와 의 비교를 통하여 이루어지게 된다.

따라서 가스 유량계를 교정하기 위해서는 교정대상 유량계가 측정하는 유량범위 이상의 정상적인 기체 유동을 발생시킬 수 있어야 하고, 또한 국제표준으로부터 소급성을 가지는 기준기가 있어야 한다.

국내에서 주로 사용되는 가스 유량계는 크게 도시가스의 공급을 위한 가정용 및 산업용 유량계, 그리고 산업용으로 사용되는 기타 가스의 유량 측정을 위한 유량계 등이 있으며, 이러한 유량계는 대부분 그 측정범위가 크지 않아 교정에 필요한 유량을 발생시키기 위한 교정설비를 구축하는 것이 비교적 용이하다.

반면 한국가스공사에서 대규모 천연가스 거래 시 사용하는 유량계는 터빈유량계의 경우 공칭직경 400A 로서, 이러한 유량계의 최대 유량은 실유량 기준으로 10,000 또는 16,000m<sup>3</sup>/h에 이르기 때문에 이러한 용량의 유량계를 교정하기 위해서는 대규모의 유량계 교정 설비가 필요하다.

서론에서 밝힌 바와 같이 국외의 경우 이미 유럽 및 미국의 각국에서 최대 150 기압의 천연가스를 사용하는 고압 대용량의 유량계 교정설비들을 구축하여 보유 운영하면서 공칭 직경 750A 이상까지의 자국내 및 국가간 천연가스 거래용 터빈 유량계를 교정하고 있는 반면, 국내에는 현재 한국가스공사의 유량계 교정 수요에 맞는 압력 및 유량을 발생시킬 수 있는 유량계 교정 설비가 전무하며, 따라서 터빈 유량계의 적절한 교정을 위해서는 유량계 자체 교정 설비를 구축하여 운영하거나 또는 국외 기관의 유량계 교정 설비를 이용하여야 하는 실정이다.

이에 따라 한국가스공사에서는 1995년도에 유량계 교정 방안에 대한 전반적인 타당성 조사를 우선 수행하였으며, 이러한 조사 작업을 통하여 국내·외의 계량설비 운영 및 교정 설비 현황, 한국가스공사의 계량설비 현황 및 교정 여건 등을 조사·분석하였고, 그 결과 다음과 같은 결론에 의해 자체 유량계 교정 설비 구축의 필요성을 확인하였다.

- i) 현재 국내 타 기관에는 한국가스공사의 유량계 교정 수요를 만족하는 교정 설비가 전무함.
- ii) 자체 교정설비를 구축하지 않고 국외의 교정 설비를 이용할 경우 국외 교정 설비의 이용을 위해서는 교정수수료 이외에 운송비 등의 비용이 과다 지출되며(300A 터빈 유량계의 경우 교정수수료만 7백만원/대 이상), 긴급한 교정 필요시 교정이 적기에 보장되지 않음.
- iii) 현재 한국표준과학연구원(KRISS)에 고압 대용량의 기체 유량 표준장치가 보유 유지되고 있으므로 표준 소급이 용이함.

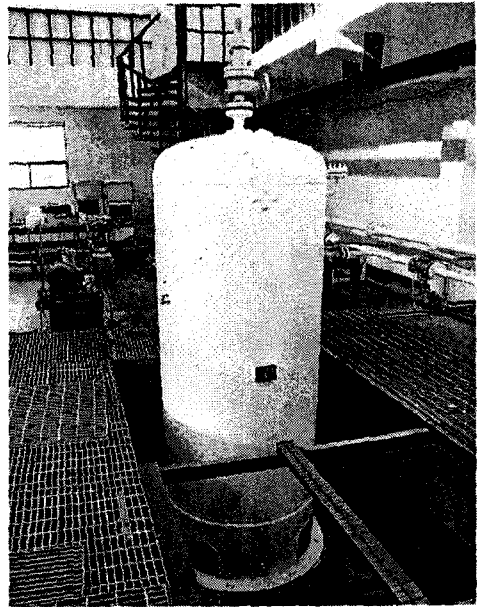


Fig. 1 Gas collecting tank  
(A part of national gas flowrate standard in KRISS)

- iv) 국내에 유량계 교정 설비를 구축할 경우, 초기 비용 및 설비 구축·운영 용이성 등의 측면에서 한국가스공사가 자체 구축·운영하는 것이 가장 타당함.

참고로 현재 국내의 고압 대용량 기체 유량계 교정설비 현황을 정리해보면 우선 국가표준으로서 KRISS에 Fig. 1에 보인 바와 같은 기체유량 표준장치가 구축되어 있다. 이 표준에서는 중량측정법에 의하여 표준유동율을 결정하며, 이 표준에서 기준기를 교정받아 여타 유량계 교정설비의 기준기로 사용하면으로써 표준을 소급하여 유량계 교정을 실시하게 된다.

표준 이외에는 역시 KRISS에 800 kPa, 100,000 Nm<sup>3</sup>/h 용량의 공기를 사용하는 유량계 교정설비가 있으며, 이 때 용량을 실유량기준으로 환산하면 약 1,300 Nm<sup>3</sup>/h 정도로 100A 정도 구경까지의 터빈 유량계의 교정이 가능한 용량이다.

이외에도 한국가스공사 연구개발원내에 3,000 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 교정 설비가 구축되어 있고, 몇몇 국내 유량계 제작업체 등에서 유량계 교정설비를 보유 또는 건설 중에 있으나, 그 용량 면에서 한국가스공사의 거래용 유량계 교정 수요를 만족할 수 있는 설비는 전무하다.

## 3. 유량계 교정 시스템의 설계 조건

유량계 교정 시스템을 설계하기 위하여 우선 고려되어야 할 조건들은 압력, 온도, 유량, 교정 가스의 종류, 불확도 등이 다.

이러한 인자들을 고려하여, 유동의 발생 방법, 사용할 계기의 정확도, 기준기의 종류, 표준의 소급 방법 등을 결정하고, 이에 따른 유량계 교정 시스템 설계를 완성하였다.

고려해야 할 조건들은 교정할 유량계의 규격 및 운전 조건에 따라 결정된다.

한국가스공사에서는 현재 약 70여 개의 터빈 유량계를 거래용으로 사용하고 있으며, 공칭 직경 범위는 50A ~ 400A

이다.

### 3-1. 압 력

한국가스공사에서 공급하는 천연가스의 압력분포를 보면, 약 95 kPa ~ 700 kPa 의 범위를 보인다.

먼저 천연가스 생산기지로부터 각 지역으로 천연가스를 수송하는 주배관이라고 불리우는 전국 배관망에서의 압력은 약 700 kPa 의 고압이다. 이렇게 각 지역으로 수송된 천연가스는 도시가스사로 공급하는 시점에서는 약 95 kPa 까지 감압되어 공급되며, 발전용 연료로 공급시에는 약 300 kPa 정도의 압력으로 감압된다.

한국가스공사에서 거래용으로 사용하고 있는 터빈 유량계는 전량 도시가스 공급용 유량계이므로 설계하는 유량계 교정 시스템은 95 kPa에서 운전될 수 있도록 설계하였다.

### 3-2. 온 도

도시가스로 공급되는 천연가스는 위의 압력 항에서 설명한 바와 같이 700 kPa 로부터 100 kPa까지 감압되는 단계를 가진다. 따라서 이 단계에서 상당한 온도 강하가 수반되기 때문에 천연가스 공급 시에는 감압 전 단계에 예열하는 공정이 포함된다. 이러한 공정을 가동할 경우 공급되는 천연가스의 온도는 대기온도에서 크게 벗어나지 않는 값을 가진다.

유량계 교정 시스템에서도 실제 천연가스 공급시와 동일한 공정을 적용하여 감압 전에 예열을 하도록 히터를 경유하게 하였으며, 별도의 온도제어 장치는 설계하지 않았다.

### 3-3. 유 량

50A ~ 400A 의 직경을 가지는 터빈 유량계를 교정하려면 10,000 m<sup>3</sup>/h 의 유량을 생성할 수 있는 시스템이 필요하다.

고압의 유동을 발생시키는 방법에는 여러 가지가 있다.

가장 간단한 방법으로는 압축기를 사용하여 저장탱크에 고압의 압축 가스를 저장한 후 이를 압력 조절 밸브를 통하여 일정 압력으로 흘려보내 유동을 형성하는 방법이 있으며, blow-down 방법이라고 한다. KRISS의 기체유량 표준장치에서 채용하고 있는 방법이다.

이외에도 질소 등의 물질의 기액 상변화를 이용하여, 액화된 물질을 기화시켜 고압의 기체 유동을 발생시키고, 순환된 기체는 다시 압축하여 액화시키는 상변화-loop 방법, 대용량의 고압 기체 배관과 저압 기체 배관 사이에 교정 설비를 건설하고 양측 배관의 압력 차를 이용하여 유동을 발생시키는 flow-through 방법, 대용량의 압축기와 송풍기를 이용하여 폐쇄된 회로 내에서 고압의 기체를 순환시키는 재순환 유동-loop 방법 등이 있다.

Blow-down 방법의 경우 저장탱크의 크기에 따라 유동 생성 시간이 제약은 받는다는 약점이 있으며, 기타 순환 loop를 사용하는 방법들도 압축기 등의 운용을 위하여 막대한 비용이 소요된다는 약점이 있는 반면, flow-through 방법의 경우 한국가스 공사가 천연가스 공급 배관 내에 있는 고압의 천연가스를 보유하고 있어 건설 비용 등이 상대적으로 저렴한 편이고, 또한 실제 사용 기체인 천연가스를 사용하여 교정을 수행할 수 있다는 장점이 있다.

Flow-through 방법의 경우도 교정에 사용한 감압된 기체를 수용할 수 있는 저압의 수요처가 있어야 한다는 약점이 있으나, 타당성 조사를 통하여 교정 소요 유량을 수용할 수 있는

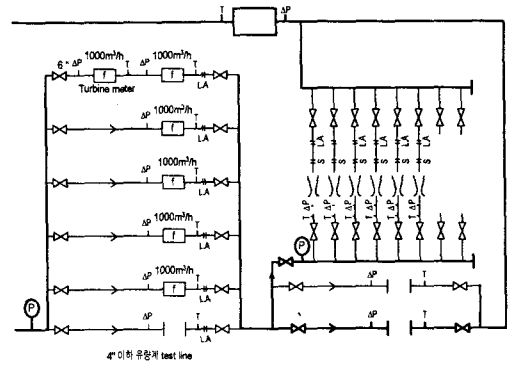


Fig. 3 Diagram of the Flowmeters' calibration system (KOGAS)

적절한 위치를 선정할 수 있었다.

선정된 곳은 부천시에 도시가스를 공급하는 경기도 부천시에 위치한 중동 '공급관리소'로 700 kPa 의 고압 천연가스 공급배관에서 교정에 사용할 가스를 인출하여, 교정 후 사용된 가스는 95 kPa 의 도시가스사 공급 배관으로 공급될 수 있도록 설계하였다.

### 3-4. 불확도

교정 설비의 불확도는 기준기 자체의 불확도, 교정에 사용되는 각종 계측기의 불확도, 환경 조건 등이 총망라되어 결정된다.

본 유량계 교정 시스템은 0.4% 이내의 불확도를 확보할 수 있도록 설계하여 각종 계기등을 선정하였으며, 전반적인 교정의 불확도 산정 작업은 현재 진행 중에 있다.

### 4. 유량계 교정 시스템

3절의 설계조건을 고려하여 Fig. 2 와 같은 유량계 교정 시스템을 설계 하였다.

시스템에 공급되는 가스의 압력은 약 700 kPa 이며, 시험 후 배출되는 가스의 압력은 도시가스 공급망에 적합한 압력으로 배출된다. 압력조절 밸브와 유량조절 밸브에서 발생하는 소음이 실험실로 유입되는 것을 차단하기 위하여 조절 밸브는 독립된 공간에 설치한다. Fig. 2 에는 압력 조절 밸브 후단부

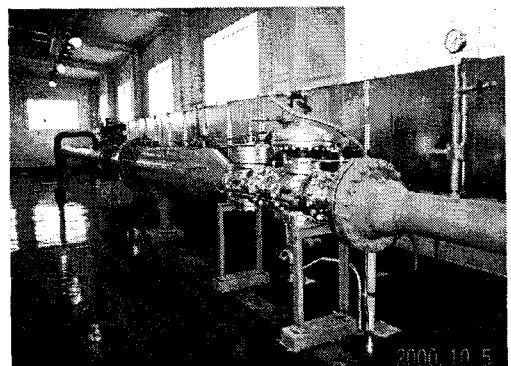


Fig. 2 Pressure Control Valve

터 나타나 있으며, Fig. 3 에 압력조절밸브를 나타내었다.

연결된 도시가스 공급설비의 안전을 위하여 교정 설비 후 단에는 긴급 차단 밸브와 체크 밸브 등을 다중 설치하였다.

기준 유량계는 KRISS의 유량 측정표준에 소급성을 유지하는 방안으로 기준 유량계로 소닉노즐을 사용한다. 한국표준과학연구원의 고압가스 유량측정 표준시스템에서 최적조건에서 교정할 수 있도록 용량이 100 m<sup>3</sup>/h의 소닉노즐을 사용한다.

소닉노즐 बैं크의 설계 역시 Fig. 2 에 나타내었으며, 설치된 모습을 Fig. 4 에 보였다.

소닉노즐은 용량 100 m<sup>3</sup>/h를 4개씩 4열, 2개를 설치한 1열은 100A 패키지에 설치한다. 용량 100 m<sup>3</sup>/h짜리 1개는 50A 패키지에 설치한다. 따라서 용량 100 m<sup>3</sup>/h짜리 소닉노즐이 18개 설치되므로 150A 터빈 유량계를 교정할 수 있다. 100A 터빈 유량계를 교정하기 위해서 용량 50 m<sup>3</sup>/h짜리 소닉노즐을 설치할 수 있는 50A 패키지를 추가하였으며 소닉노즐 패키지를 추가할 수 있는 여분의 port를 두어 용량을 확장할 수 있도록 설계하였다.

이렇게 설치된 소닉노즐 बैं크를 사용하여 실제 유량계를 교정할 때 기준기로 사용될 기준 터빈 유량계를 교정한다.

기준 터빈 유량계의 용량은 150A, 1600 m<sup>3</sup>/h이며 6열을 설치하여 용량 9,600 m<sup>3</sup>/h를 시험할 수 있게 설계하였다. 이 중 한 열에는 터빈 유량계를 2개 설치하여 국제비교에 사용할 수 있게 설계하였다. Fig. 5에 기준 터빈 유량계 unit을 나타내었다.

이 중 한 열은 6" 이하의 유량계를 시험하는 경우에 기준기

를 제거하고 교정 대상 유량계를 설치 하여 사용할 수 있도록 하였으며, 이 경우 소닉노즐 बैं크를 기준기로 하여 직접 교정을 할 수 있다.

6" 이상의 유량계는 시험관로에 설치하여 터빈 유량계로 교정하며 시험관로를 2열 설치하여 유량계를 교정하는 중에 다른 유량계를 시험관로에 설치하여 시험을 준비할 수 있게 시험 관로를 2열 설치하였다.(Fig.6)

교정 설비의 유량계산과 제어를 위하여 process panel과 유량컴퓨터를 설치하였으며,(Fig. 7) 이를 통하여 각종 자동 밸브의 제어, 기준기 및 교정 대상 유량계의 유량계산과 불확도 산정 등을 수행하게된다.

## 5. 결 론

이상에서 한국가스공사에서 설계 및 구축한 천연가스 유량계 교정 시스템의 설계·구축 내용을 서술하였다.

교정 시스템의 설계 및 구축에는 한국표준과학연구원과 한국가스엔지니어링(현 한국가스기술공업)이 참여하여 공동 작업을 수행하였으며, 현재 설비 작동 및 교정 불확도 산정 등 본격적인 시운전 작업 중에 있다.

이 교정 설비는 필요시 용량을 확장할 수 있도록 설계되었으며, 추후 교정 및 실험 수요에 따라 용량 확장 작업을 수행할 예정이다.

한국가스공사 연구개발원에서는 본 설비를 내년까지 ISO 17025에 의한 KOLAS (Korea Laboratory Accreditation

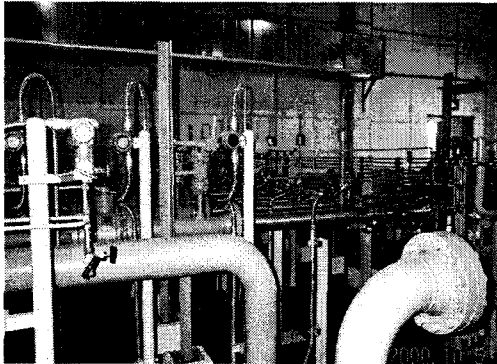


Fig. 6 Sonic Nozzle Bank

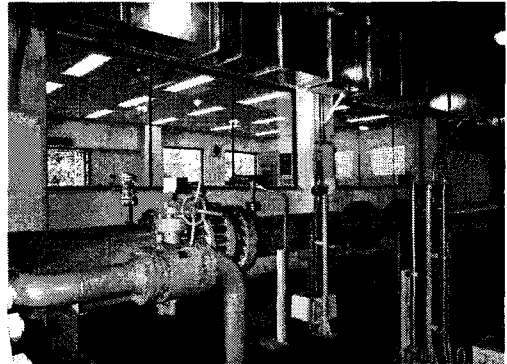


Fig. 6 Test Line Unit

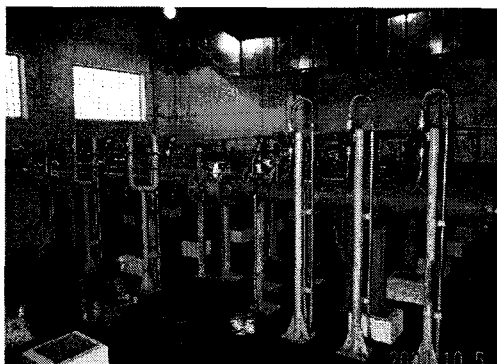


Fig. 7 Reference Turbine Flowmeter Unit

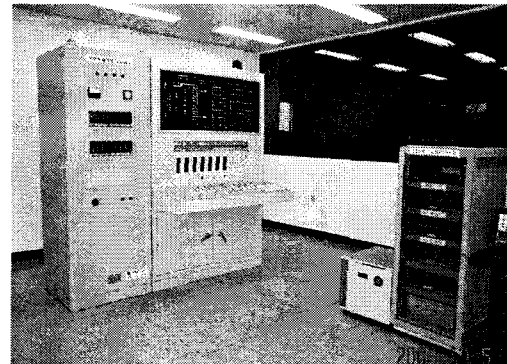


Fig. 7 Flow Computer and Process Panel

Scheme)의 교정기관 인증을 신청 획득하고, 그 이후 시점부터 본격적인 실제 거래용 터빈 유량계 교정에 사용할 예정으로 있다.

본 교정 설비와 같이 천연가스를 사용하는 고압 대용량의 유량계 교정설비는 국내에 유일한 설비이기 때문에 본래의 목적인 천연가스 거래용 유량계의 교정 이외에도 천연가스 유량 측정 분야의 연구, 시험용으로도 큰 역할을 할 수 있을 것이다.

## 6. 참고 문헌

- (1) 백종승 등, 1991, 고압 대용량 측정 기술 개발, 한국가스공사 연구 보고서, KSRI-91-35-IR
- (2) 허재영 등, 1995, 천연가스 계량 및 검교정 설비 구축에 관한 타당성 조사, 한국가스공사 연구 보고서, KA-FM-098-95039508