◎ 특 집

국내 천연가스 장거리 수송 설비 현황

허재영*

1. 서 론

천연가스는 석유와 같이 유기물질이 오랜 시간 땅속에 퇴적되어 발생되는 가스이다. 주성분이 메탄으로 되어 있어 공기의 0.8 배 정도의 밀도를 가지고 있으며 이 때문에 공기보다 무거운 프로판가스는 공기중에서 바닥에 깔리는 반면 천연가스는 공기 중에서 위로 날아가는 성질을 가지고 있다. 원래 무색 무취의 가스이나 사용중에 누설을 쉽게 감지할 수 있도록 부취제를 섞어 공급하기 때문에 황화합물 특유의 냄새가 난다. 천연가스는 다른 에너지원과는 다르게 최종 소비자까지 배관으로 배달되기 때문에 별도의 수송 수단이 필요치 않으며 이러한 특성 때문에 천연가스 수송을 위한 모든 설비는 전국에 걸쳐 설치되어 있고 이들 설비는 모든 공정이 서로 통해져 있다.

국내에 천연가스가 처음 도입되기 시작한 것은 1986년의 일로 그 당시에는 주로 발전용 연료로 사용되었다. 1990년대에 들어서면서 정부의 환경 정책에 힘입어 도시가스로의 사용이 급속하게 늘어나기 시작하였으며 1997년에는 도시가스 사용량이 발전소 연료용보다 양이 많아지는 반전이 일어났고 2002년을 기준으로 도시가스 사용량은 전체 사용량의 63 %를 차지하고 있다.(그림 1)

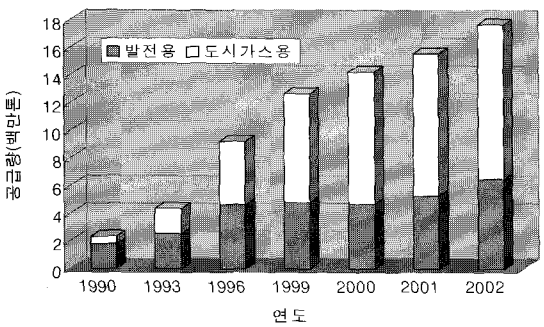

그림 1 연도별 천연가스 공급량 현황

* 한국가스공사 연구개발원
E-mail : jyher@kogas.re.kr

표 1 천연가스가 공급되는 발전소와 도시가스사

발전소	도시가스사
LG부천열병합, 분당열병합, 서울화력, LG안양열병합, 인천화력, 일산열병합, 평택화력, 평택복합, 울산복합, 한화복합	강남, 극동, 대한, 서울, 삼천리, 인천, 한진, 중부, 충남, 전북, 해양, 구미, 대구, 서라벌, 경동, 부산, 경남, 청주, 익산, 목포, 한서, 군산, 전남, 대화, 포항, 신아, 참빛원주, 강원

초기에 주로 수도권 지역의 발전소와 도시가스사에 국한하여 공급되던 천연가스는 전국배관망 건설 사업에 따라 충청, 영호남, 강원권의 순으로 확대되어 지금은 제주도를 제외한 전 지역에 배관망이 건설되어 천연가스를 전국에 공급하고 있으며 배관망의 총 연장 길이는 2435 km에 이른다. 천연가스가 공급되는 발전소는 모두 10개소이며 도시가스사는 28개사에 이른다.(표 1)

천연가스는 전량을 외국에서 수입하고 있으며 도입 산지의 다변화 정책에 따라 인도네시아, 말레이시아, 브루나이, 오만, 카타르, UAE, 호주 등의 여러 곳에서 도입하고 있다. 이들 산지에서 천연가스를 -162 ℃로 액화시켜 도입하며 평택, 인천, 통영의 3 개 생산기지에서 하역하여 압축 및 기화 후 배관망을 통해 전국으로 수송된다.

천연가스를 최종소비자까지 전달하는 배관망은 크게 나누어 수송(Transportation)용 배관망과 분배(Distribution)용 배관망의 둘로 나눌 수 있으며 수송용 배관망은 전국에 걸쳐 깔려 있고 분배용 배관망은 지역 단위로 깔려 있다. 여기서는 장거리 수송에 해당하는 수송용 배관망에 국한하여 배관망 설치 현황, 배관 매설, 관련 설비 등 기술적인 사항의 전반에 대해 개략적으로 설명코자 한다.

2. 천연가스의 일반적 성질

천연가스는 메탄이 주성분이고 이밖에 에탄, 프로판, 부탄, 펜탄, 핵산 등의 탄화수소들이 약간량씩 섞여 있다.

표 2 산지별 천연가스 평균 조성

물 성	인도네시아 아룬	인도네시아 바닥	말레이시아	부르나이	카타르	오만
메탄	89.396	90.630	89.909	90.040	89.754	86.859
에탄	8.223	5.992	5.242	5.033	6.567	8.073
프로판	1.698	2.450	3.268	3.232	2.339	3.278
i-부탄	0.286	0.460	0.749	0.707	0.431	0.798
n-부탄	0.332	0.440	0.651	0.922	0.643	0.800
i-펜탄	0.020	0.010	0.006	0.021	0.012	0.040
n-펜탄	0.005	0.002	0.000	0.008	0.001	0.006
질소	0.039	0.016	0.175	0.036	0.252	0.146
이산화탄소	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000

표 3 천연가스 각 성분의 분자량 및 발열량(출처 : GPA 2145)

성분	분자량	단위 질량당 고위발열량 (MJ/kg)
Methane	16.0430	55.575
Ethane	30.0700	51.950
Propane	44.0970	50.368
i-Butane	58.1230	49.388
n-Butane	58.1230	49.546
i-Pentane	72.1500	48.949
n-Pentane	72.1500	49.045
n-Hexane	86.1770	48.716

그 조성은 산지별로 그리고 산지에서의 처리 과정에 따라서 다 다르며 표 2에 산지별로 도입되는 천연가스의 평균 조성을 나타내었다. 이 표에 나와 있는 조성은 액화천연가스를 선박에서 하역할 때의 조성이며 생산기지에서 저장, 압축, 기화하는 과정에서 발생하는 자연기화 성분이 빠져나오므로 실제 수송되는 천연가스의 조성은 이 표의 값과 다소 다르다.

천연가스는 약 90 % 정도가 메탄으로 이루어져 있기 때문에 천연가스의 물리 화학적 성질은 메탄과 매우 유사하다. 표 3에 천연가스에 포함되는 각 성분에 대한 분자량과 발열량이 소개되어 있다. 표에서 볼 수 있듯이 주성분인 메탄의 분자량이 공기보다 훨씬 작아 천연가스의 가스비중은 약 0.62에서 0.63까지로 공기보다 훨씬 가벼워서 가스 누출 시 바닥에 가라앉지 않고 즉시 대기로 흩어지는 특성을 가지고 있다. 발열량은 10,480 kcal/m^3에서 10,800 kcal/m^3까지 나올 수 있으나 평균적으로 약 10,600 kcal/m^3 정도로 거의 일정한 값을 유지한다.

천연가스 자체는 냄새가 없는 특성을 가지고 있으나 가스 누설 시 누설 인지를 위해 인체에는 무해하지만 독한 냄새가 나는 황화합물을 인위적으로 극미량 섞어 주고 있으며 이를 부취제라고 한다. 천연가스를 수송배관에서 수송할 때에는 부취제 이외에 이물질이 섞일 수 있는데 이들 이물질들은 원래부터 천연가스에 포함된 것은 아니고 배관 설비 건설시에 유입되었던 이물질이나 배관 설비 내부에서 떨어져 나온 탄소화합물 혹은 금속 산화물들이다. 배관 설비 곳곳에 필터나 스트레이너가 있어 대부분이 걸러지게 되어 있으나 미세한 미립자들 중 극히 일부가 통과되어 섞여 있을 수 있다.

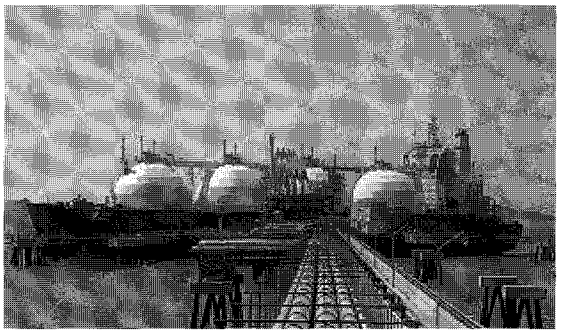

그림 2 액화천연가스를 하역하기 위해 선박이 하역설비에 접안되어 있는 모습

3. 천연가스 처리 과정

국내에 도입되는 천연가스는 처음에 산지에서 초저온으로 액화하여 액화천연가스를 운반하는 선박에 선적한다. 이 선박은 한번에 5 내지 6 만 톤의 액화천연가스를 운반하며 선박 제조는 국내 조선사들이 상당수 담당하고 있고 국외에서 제조된 선박이 이용되기도 한다. 선박 내에는 일반적으로 4 기의 탱크가 설치되어 있으며 구형 혹은 직육면체형의 형상을 하고 있다. 이 선박은 길이가 300 m에 가깝고 폭은 40에서 50 m로 대형 선박이며 국내의 근해에 도착하면 생산기지의 하역 설비가 있는 곳까지 예인선으로 예인된다.

하역 시에는 하역을 하면서 하역 연결 부위가 높아지기 때문에 이를 감안하여 특수하게 제작된 설비가

그림 3 액화천연가스 저장 탱크

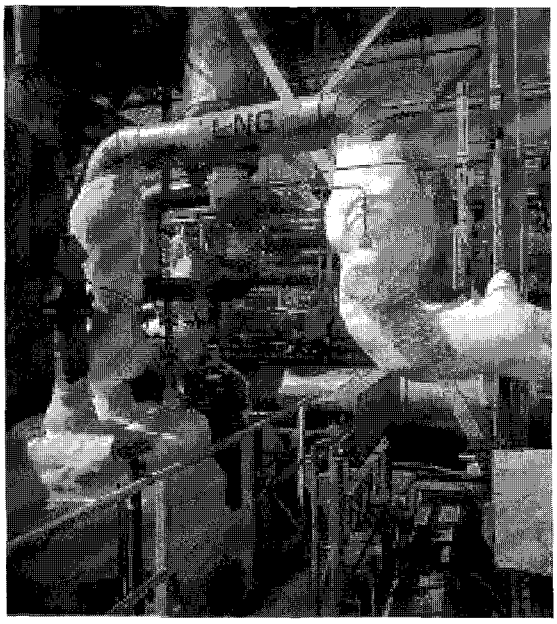

그림 4 액화천연가스 가압용 펌프

사용되며 하역되는 액화천연가스는 곧바로 액화천연가스용 배관을 통해 지상의 탱크로 저장된다. 그림 2는 액화천연가스를 하역하기 위해 선박이 하역설비에 접안되어 있는 모습이다. 초저온의 액체 상태로 액화천연가스가 저장되기 때문에 그림 3의 저장용 탱크는 단열 처리되어 있으며 탱크 1기의 저장 용량은 약 4 내지 5만 톤 정도이다. 각 생산기지에는 여러 기의 탱크가 설치되어 있어 저장 기능을 가지고 있다. 탱크의 하부에는 액화천연가스를 퍼내기 위한 펌프가 설치되

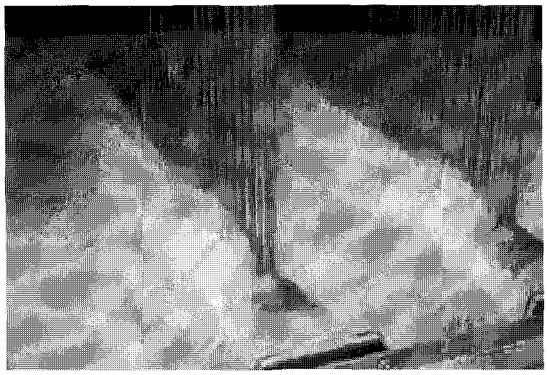

그림 5 액화천연가스 기화기

어 있으며 이 펌프를 통해 가압용 펌프까지 액화천연가스를 수송한다. 그림 4의 가압용 펌프에서는 액화천연가스를 약 70 기압까지 가압하여 그림 5의 기화기로 보내며 기화기에서 해수에 의해 기화된다. 기화기는 직경이 작고 열전달이 용이하게 제작된 배관 내부를 통해 하부에서 액화천연가스가 올라가고 이 배관의 외부에서 해수를 쏟아 부어 액화천연가스를 기화시킨다.

4. 배관망 설치 현황

기화기에서 기화된 천연가스는 생산기지에서 부취제를 섞은 후 송출배관을 통해 전국의 수송용 배관으로 보내어진다. 생산기지에서는 70 기압 정도의 압력으로 송출하며 발전소나 도시가스 공급 지역에서 수요량만큼 천연가스가 빠져나가면서 압력이 낮아진다. 배관의 두께는 '가'급 지역과 '나'급 지역으로 나누어 정해진 기준에 따라 정해진다. '가'급 지역은 '도시계획상 도시지역(주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역) 및 면급이상 지역중 도시계획 수립 예정인 도시 인근지역과 교통량이 많은 지역, 밀도지수가 46 이상인 지역'으로 '나'급 지역은 "가'급지역에 해당되지 않는 모든 지역'으로 정해져 있다. 이때 밀도지수라 함은 배관의 임의 지점에서 길이 1.6 ㎞, 배관 중심부로부터 좌우로 각각 폭 0.2 km의 범위를 임의로 설정하였을 경우 그 구역 내에 있는 가옥수를 의미한다.

천연가스 배관은 X65 이상의 특수 고강도 배관을 사용하여야 하며 배관 이음을 위한 용접의 이음매 형상이나 용접 재료, 용접 방법 및 절차는 모두 정해져 있는 기준에 따라야만 한다. 매설배관은 외부부식 방지를 위하여 절연성이 우수한 피복재로 피복이 되어 있어야 하며 피복재만으로 완전한 절연상태를 유지하

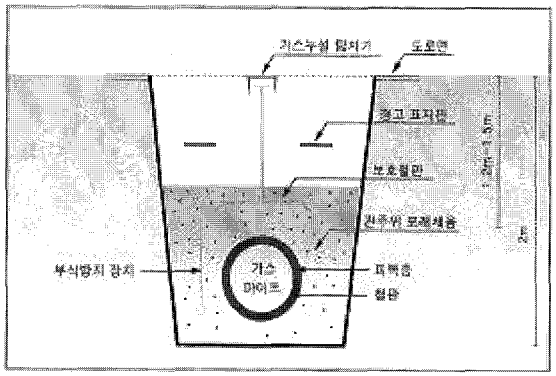

그림 6 일반적인 배관 매설 조건

그림 7 배관 매설 공사 현장 모습

기가 어렵기 때문에 방식설비를 하여 매설배관이 부식되는 것을 방지해야 한다. 또 전기적 절연 피복 외에도 배관에 절연설비를 하여 방식을 해야 하는데 절연설비는 절연조인트, 절연플랜지 및 기타 절연물이 있다. 배관과 배관 사이의 용접은 매설 현장에서 이루어지며 용접 후 열수축 피복재 또는 콜드테이프를 사용하여 절연하도록 되어 있다.

배관의 직경은 600 mm 혹은 750 mm이며 주로 도로 주변을 따라 정해진 심도에 맞추어 매설되어 있다. 타공사시 배관매설 사실을 인지할 수 있도록 라인 마크, 표지판, 표석 등을 설치하도록 되어 있으며 방식전위 측정을 위한 테스트 박스와 누설 탐지를 위한 가스누설 검지공이 매설 배관 직상부에 일정 간격으로 설치되어 있다.

천연가스의 수요는 아직도 수도권 지역에 집중되어 있기 때문에 수도권 지역에는 수송용 배관망이 비교적 거미줄처럼 복잡하게 깔려있다. 수도권 이남 지역으로는 평택에서 내려가는 서해권 배관망과 평택에서 내려가는 중부권의 배관망이 영호남권 전체를 에워싸는 환상망과 연결된다. 또 수원에서 분기되어 춘천까지 이어지는 강원권 배관망이 최근에 건설이 완료되어 현재 운용 중이다.

5. 배관망 매설 검사

천연가스 배관망은 누설이 되면 안되는 천연가스를 고압으로 운송한다는 특성 때문에 매우 엄격한 시공을 요한다. 신규 건설 및 배관이설공사가 완료된 배관에 대해서는 용접 부위에 대한 비파괴시험, 내압시험, 기밀시험 등을 시행하여야 하며 정해진 기준에 합격하여야만 매설을 종료할 수 있다.

내압시험은 주변의 하천수를 이용하여 최고 사용압력의 1.5 배 압력으로 물을 채워 가압한 후 20분을 유지하였을 때 내압에 의한 파괴, 이상변형, 누출 등의 이상이 없어야 한다. 이때 사용하는 물은 담수이어야 하며 침전물이나 부식성 물질을 함유했거나 반복사용으로 오염된 물은 사용할 수 없다. 시험수의 품질은 탁도, PH, 염분 등에 대해 정해진 최소한 기준을 만족하여야 한다. 내압시험 후에는 배관 내부에 잔류하는 이물질을 제거하기 위해 반드시 피깅을 실시해야 한다.

기밀시험에는 질소가스를 사용해야 하며 사용압력의 1.1 배 압력으로 가압한 후 매설 구간의 구분과 배관내 용적에 따라 정해진 시간 동안 유지하여 처음과 마지막 시험의 측정압력차가 압력측정기구의 허용오차 범위 내에 있어야 한다.

6. 공급설비

수송용 배관에서 발전소나 도시가스사로 천연가스를 공급하기 위해서는 여러 가지 관련 설비를 통과해야만 한다. 수송용 배관에서 분기된 후 처음 통과하는 설비는 필터 설비이다. 필터 설비는 필터링 하우징 안에 여러 개의 필터링 엘레멘트가 삽입되어 있는 구조로 되어 있고 엘레멘트 교환 시기를 판단할 수 있도록 차압계가 설치되어 있다.

수송용 배관의 압력은 일반적으로 50에서 70 기압이고 발전소의 공급압력은 27 기압, 도시가스사는 8.5 기압 정도이므로 감압이 필요하다. 감압 시에는 온도강하가 동반되는데 가스의 온도가 영하로 떨어지면 매설배관과 그 주위의 지반, 관련설비 등에 물의 빙결현상이 생기기 때문에 이를 방지하기 위해 필터를 통과한 후 감압설비로 가기 전에 히터 설비를 이용하여

가스를 가열해 준다. 가열은 천연가스를 원료로 하는 버너로 이루어지며 감압설비 후단의 온도가 약 5 ℃ 정도가 되도록 가열이 이루어진다. 이러한 온도 기준은 빙결 현상을 방지하면서 최소한으로 연료를 소비하는 운영 경험으로부터 결정되어진 것이다.

히터를 통과하면 감압설비에서 감압이 이루어지며 안전성을 확보하기 위한 비상용 감압 밸브, 긴급차단 밸브, 안전밸브, 원격차단 밸브 등이 감압 밸브와 같이 설치되어 있으며 안정적인 공급을 위해 다열화되어 있다. 감압설비를 통과하면 최종적으로 유량측정을 위한 계량설비를 통과하도록 되어 있고 이 계량설비에서 측정된 결과를 토대로 천연가스 공급량을 정산한다.

이상의 모든 공급설비는 공급관리소라는 지역 안에 모두 설치되며 공급관리소에는 이밖에도 유지 보수 시에 천연가스를 방출하기 위한 밴트스톡이 설치되어 있고 가스 누설을 감지하기 위한 누설감지센서가 여러 곳에 설치되어 누설을 감시토록 되어 있으며 외부의 침입자가 들어오는 것을 감시하기 위해 적외선 감시설비가 울타리에 설치된다.

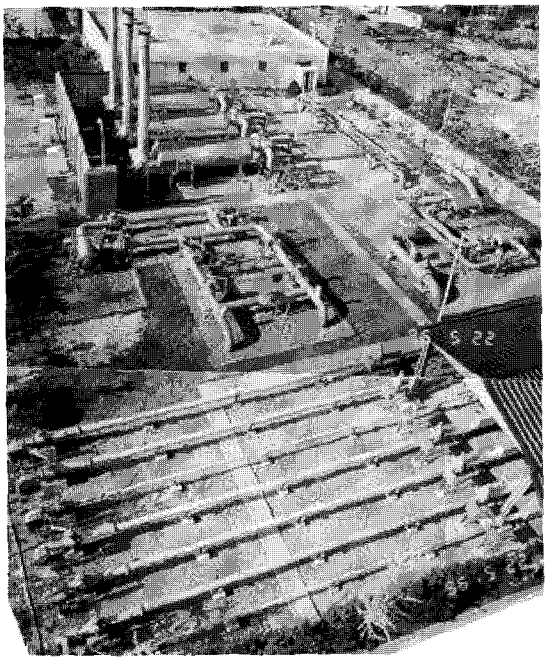

그림 8 공급관리소 전경