

# LNG 생산설비 및 배관망 공동이용제(OAS) 시행 전 선결해야할 기술적 문제점 및 대책 I

하영철, 허재영

한국가스공사 연구개발원

## Countermeasures against the problems in arising from introducing Open Access System in pipeline network and LNG terminal facilities

Young-cheol Ha, Jae-young Her  
Korea Gas Corporation R&D Center

### 1. 서론

98년 석유사업법의 천연가스 수출입계약체결이 산자부 신고사항으로 개정되고, 99년 4월 동법시행령에는 액화천연가스(Liquefied Natural Gas) 수출입업의 등록요건이 명시되면서 사실상 자가용 천연가스 직도입은 민간에게 개방되었다. 정부는 현재 가스공사의 생산/배관망 설비를 직도입자에게 개방하는 설비공동이용제(Open Access System)를 계획하고 있으며 시행 시기는 2007년 1월로 계획하고 있다. 그러나 '05년 9월 2일 포스코가 포항제철소 발전용으로 사용하기 위해 광양에서 가스공사 배관망내로 포스코 가스의 인입을 시작하여서 사실상 배관망에 대한 설비공동이용제는 이미 시행되었다고 봐야하며 다만 이 물량이 비교적 작아서 야기되는 문제가 크지 않을 뿐이다.

현재 잠정적인 직도입사 수는 포스코 외에 3-4 개사가 더 있고 도입 물량은 포스코 물량을 포함해서 대략 900 ~1,000 만톤 정도로, 가스공사 2004년 총도입량의 40 %가 넘는 물량이다. 그런데 이 물량의 1/3정도만 현 배관망에 진입해도 상당한 문제를 유발할 수 있다는 결과가 “배관망 이용 관련 기술검토”<sup>(1)</sup>에서 도출된 바 있다. 또 향후 직도입될 가스의 열량이 기존 공급가스보다 크게 낮을 것으로 추정되어 가스 품질이나 연소호환성 등도 문제시 되고 있는 등 OAS와 관련된 문제점이 상당히 많은 것으로 드러났다.<sup>(2)</sup> OAS와 관련된 기술적 문제를 크게 분류해 보면 다음과 같다.

- 생산설비
- 배관망 설비
- 계통운영 시스템
- 수송에서 가스 품질
- 연소호환성
- 거래 단위 일원화

따라서 본 논문에서는 OAS 시행 전에 선결해야 할 상기의 기술적 문제점을 논하고 현재까지 얻은 연구결과와 현재 진행 중인 연구에 대하여 언급함으로써 OAS의 기술적 가이드라인을 제시하고자 한다.

## 2. 기술적 문제점 및 대책

### 2.1 생산설비

LNG를 저장하고 기화해서 송출하는 일련의 설비를 말하며, 크게 저장설비와 송출설비로 구분한다. 생산설비 공동이용 시 가장 문제가 되는 것은 LNG 저장문제로서 저열량(41~42 MJ/m<sup>3</sup>)의 직도입 gas와 기존 고열량gas(45 MJ/m<sup>3</sup>)를 혼합 저장하기 어렵다는 점이다. 혼합 저장하면 비교적 짧은 기간 내에 Roll-over가 시작되어 과량의 BOG가 발생하고 시간이 경과함에 따라 이 양은 급증하여(그림 1 참조) 탱크의 안전에도 문제가 있을 수 있기 때문이다. 이를 피하기 위해서는 저장 후 단기 송출을 해야 하는데 가스사용량이 극히 저조한 하절기에는 단기 송출이 사실상 불가능하다.

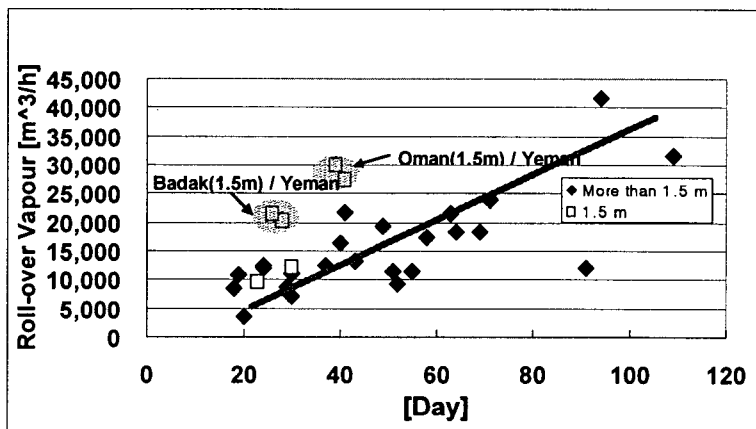


그림 1. 고열량과 저열량 가스를 혼합 저장했을 때 저장시간에 따른 Roll-over 양

LNG 탱크의 개수가 충분하면 고·저 열량 가스를 분리 저장할 수 있겠으나 현 가스공사의 LNG 탱크 수로는 매우 어려운 것이 현실이다. 따라서 수급조절용으로 증설계획에 있는 LNG 탱크 개수 채 검토와 증설시기를 앞당기는 방안이 검토되고 있다.

송출설비의 경우 최대용량에는 당분간 문제가 없으나 하절기 최소용량에는 문제가 있는 것으로 분석되었다. 기존에는 하절기 송출량에 비해 BOG<sup>†</sup> 양이 충분히 작아 송출되는 LNG로 BOG를 재 액화(BOG 양의 11배 이상의 LNG 필요)하거나 간헐적인 고압압축기<sup>‡</sup> 가동으로 가스품질과 연소호환성을 만족하면서 송출할 수 있었다. 그러나 석유공사와 포스코 생산기지 가동으로 BOG 상대량이 증가하여 더 이상 기존 방식을 적용하기 어렵게 되었다. 이 때문에 2005년도에는 가스공사 통영, 평택생산기지도 고압압축기를 설치하여 이 문제를 어느 정도 해결하였다. 그러나 생산기지를 보유한 직도입자가 더 진입할 경우 BOG의 상대량이 더 증가하여 송출가스의 가스품질과 연소호환성을 만족시킬 수 없는 어려움이 있어서 LPG를 이용한 가스 증열도 현재 검토되고 있다.

<sup>†</sup> boil off gas(증발가스) : 대기압 근방의 저온 LNG를 탱크에 저장했을 때, 탱크 외부로부터 입열에 의하여 발생하는 vapor. 주로 메탄임.

<sup>‡</sup> 고압압축기 : 저압의 BOG를 송출압력까지 가압할 수 있는 압축기

또 '08년부터는 42 MJ/m<sup>3</sup>의 에텐산 가스가 도입될 예정이고, GS도(저열량가스 도입 예상) 가스공사 생산설비의 공동이용을 희망하고 있어서 균일한 열량 조절과 증열비용 최소화 문제가 대두되고 있다. 이를 해결하기 위해 생산기지별 산지별 항차 배분프로그램, 탱크별 열량 모니터링 시스템, 균일한 열량 송출을 위한 제어시스템과 열조 시스템이 필요하고 현재 이를 구현할 방법이 모색되고 있다. 현재는 항차 배분프로그램만 일부 갖춰져 있다.

## 2.2 배관망설비

배관망설비의 스펙은 최대 수송량, 최대 허용압력/라인팩으로 구분할 수 있다. 최대 수송량은 배관유속한계 20 m/s를 기준할 수 있는데 대부분의 배관구간에서 피크 유속이 여기에 상당히 못미쳐 수송량에는 여유가 있다. 또한 전국배관의 환상망 연결로 관 말 압력에도 충분한 여유가 있다. 문제는, 하절기 가스수요량이 극히 적을 때 BOG를 흡수할 수 있는 배관망 라인팩의 여유 용량으로 현재 5 %<sup>(1)</sup> 정도의 여유 밖에 없다는 점이다. 그림 2에는 영흥도(시화)에 연간 300 만톤(가스공사 전체 물량의 13.5 %) 규모의 직도입자 생산기지가 건설될 경우의 배관망 시뮬레이션 결과인데 7-8월 절반의 기간동안 송출 압력이 72 bar를 상회하는 것을 볼 수 있다. 이는 송출설비의 과부하 문제뿐만 아니라 배관망 허용압력인 72 bar를 넘는 것이어서 송출이 사실상 불가함을 나타낸다.

또 현재 하절기 수요량의 대부분이 발전 물량인데 대부분의 직도입이 발전용이어서 향후 직도입이 계속 추진될 경우 가스공사는 하절기 가스 수요량 부족과 라인팩의 한계로 BOG의 상당부분을 소각해야 하는 문제가 발생한다. 따라서 직도입은 하절기 수요 개발과 맞물려 추진되어야 할 것으로 판단되며 가스공사가 인수기지 근방에 발전소를 보유하는 방안도 함께 검토되어야 할 것이다.

여기에 추가로 BOG+LPG의 품질(연소호환성 포함)을 면밀히 검토할 필요가 있는데, BOG+LPG의 품질이 양호할 경우 라인팩 여유는 현재보다 15 %이상 늘어날 가능성이 있기 때문이다.

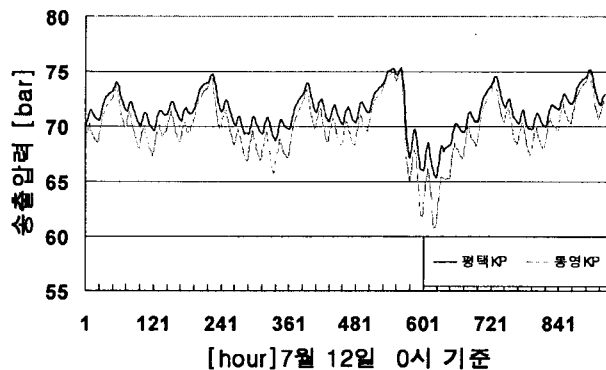


그림 2. 영흥도에 직도입자 생산기지 건설시(300만톤/년) 평택, 통영의 하절기 송출압력

## 2.3 계통운영시스템

가스 수급지점에 안정적으로 가스를 공급하기 위한 배관망운영 및 송출 통제시스템을 말한다. 현재는 가스공사 중앙지령실에서 100여개 수급지점과 3개 생산기지, 포스코 생산기지, 동해 가스전의 공급량 등을 모니터링하면서 동절기 피크시나 공급 중단 등 위급상황에 대처

하고 있다. 여기에는 부분적으로 배관망 예측시스템이 쓰이기도 하나 대부분의 경우 운전자의 경험과 과거 유사사례에 의존하는 방법이 쓰이고 있다. 하지만 200~300 만톤 규모의 직도입사가 2-3개 더 늘어날 경우 과거 경험하지 못한 사태가 발생할 수 있다. 석유공사나 포스코의 사례에서 보듯이 직도입사 생산설비는 비용문제로 안정적인 병렬시스템으로 구축되지 않을 것으로 보이며 이로 인해 생산설비의 다운 확률이 낮지 않게 될 것이다. 여기에 탱크 수 3-4 개 정도의 소규모 LNG 생산설비라면 주요 설비의 트러블이 그대로 송출 중단으로 이어지게 된다. 만일 이러한 사태가 동절기 피크시에 발생할 경우 과거에 경험하지 못한 매우 어려운 상황이 전개될 수 있다.

이러한 상황에 적절히 대처하기 위해서는 수 시간 후의 배관망 상황을 미리 예측하고 이에 대처할 수 있어야 한다. 이렇게 하기 위해서는 신뢰성 있는 예측시스템이 필수인데 여기서 가장 중요한 요소는 배관망 해석 정확도이다. 현재 가스공사에서 사용하는 배관망 프로그램은 SynerGEE 4.0으로서 남부권과 중부권 배관망의 해석 정확도가 95 % 정도이고 수도권은 이보다 다소 낮은 수준이다. 수도권의 정확도가 낮은 이유는 수도권 외곽과 서울 도심에 설치된 정압기의 모델링에서 비롯되는 것이며 이 모델데이터의 정확도를 향상시키기 위해 현재 다각도로 검토하고 있다. 2006년 중반까지는 배관망 평균 정확도를 95 %까지 향상시킬 예정이고 비상상황시나리오와 SCADA를 이용한 실시간 배관망 예측시스템은 2007년 말까지 보완할 예정이다.

## 2.4 가스품질

가스품질은 고압으로 주배관을 통해 수송할 때의 수송 품질과 기존 가스기기에 적합한 지를 판별하는 연소호환성으로 나눌 수 있다. 여기에 우리나라만의 특수한 상황에서 발생하는 가스 유량측정과 관련된 비중이 품질요소에 추가된다. 연소호환성에 대해서는 다음 절에서 다루기로 하고 여기서는 수송품질과 비중에 대해서만 언급한다. 가스의 수송과 관련된 품질 항목은 다음과 같다.

- 열량
- 탄화수소 이슬점 (또는 고탄화수소물 함량 제한)
- 물 이슬점
- 황화수소
- 이산화탄소
- 온도 및 압력

이 중 가장 문제시되는 것이 열량인데 현재 가스공사가 직도입사에 제시하는 열량 범위는  $44 \text{ MJ/m}^3 \pm 0.42 \text{ MJ/m}^3 (10,500 \pm 100 \text{ kcal/Nm}^3)$ 이다. 이는 일본을 제외한 국외의 일반적인 조건에 비해 매우 엄격한 조건이다. 여기에 비중 조건이 겹치면 실제 열량 변동 범위는 이보다 훨씬 더 작아지게 된다. 계량과 관련된 비중 조건은 0.624 ~ 0.630 이다. 이를 식(1)<sup>†</sup>을 이용하여 열량으로 환산하면  $43.976 \sim 44.345 \text{ MJ/m}^3$ (질소함량 0.2% 기준)으로 변동 폭이  $\pm 0.18 \text{ MJ/m}^3 (44 \text{ kcal/Nm}^3)$ 에 불과함을 알 수 있다. 이는 상거래 단위가 부피와 열량으로 이원화되어 있는데서 비롯되는 것으로 특정도시가스 사업자나 소비자에게 손해가 가는

<sup>††</sup> 본 연구에서 도출한 이 식은, 비중 0.624 ~ 0.630, N<sub>2</sub> 0-0.2 mol % 범위에서, LNG 조성을 이용하여 ISO 6976으로 계산한 결과와 0.01 % 이내로 일치한다.

것을 방지하기 위함이다. 거래단위가 일원화 된다면  $\pm 0.18$  MJ 조건은 사라지게 되며 또 현재 연구 중에 있는 가스 수용가조사에서 연소호환성 범위가 융통성이 있는 것으로 판명나면 열량 변동 폭도 한 층 넓어질 수 있다.

$$H_v = 5730.66 - 683.17 N_2 + 61609.6 SG + 45 N_2 \cdot SG \quad (1)$$

탄화수소 이슬점과 물 이슬점에 대해서는 현재 예측 프로그램이<sup>(3),(4)</sup> 개발되어 이들에 대한 거동이 거의 규명된 상태이며 이와 관련된 기준도 확립되어 있다. 나머지 배관의 부식과 관련된 황화수소, 이산화탄소 함량도 물의 이슬점을 규제함으로써 해결되는 사항으로 규제값 설정에 크게 어려움이 없는 항목이다.

## 2.5 가스호환성

가스 호환성은 주어진 연소기에서 다른 종류의 연료를 공급했을 때 연소기의 기하학적 형상이나 운전조건을 변화시키지 않고 그대로 사용할 수 있는 대체 가능성을 말한다. 호환성을 판별할 때 1차적으로 보는 것이 웨버지수이며 2차적으로 화염안정성과 황염을 판단한다. 그리고 내연기관에서는 메탄수도 포함하며 연소기기에 따라서는 화염온도 및 화염길이도 포함한다.

- 웨버지수(Wobbe Index)
- 화염 안정성(flame stability)
- 황염(노란 불꽃)
- 화염온도
- 화염길이
- 메탄 수(methane number) 또는 옥탄가
- 수용가 조사

웨버지수는 기기의 출력을 나타내는 지수로서 간단한 계산으로 구할 수 있고, 화염안정성과 황염 등은 AGA<sup>(5)</sup>, Weaver<sup>(6)</sup> 식 등으로 예측 가능하다. 또 화염온도, 화염길이도 분젠버너와 확산버너를 이용하여 간단히 확인할 수 있다. 그러나 이러한 호환성 결과는 어디까지나 확산화염류의 가정용이나 업소용 연소기기에 적용되는 것이며 가스터빈이나, 산업용기기에 적용되지 않는다고 보는 게 타당하다.

다양한 종류의 가스기기에 대한 가스호환성 조사와 관련하여 가장 중요한 것은 가스기기를 사용하는 수용가 조사이다. 거의 전수조사에 가까운 수용가 조사를 통하여 업체별 가스기기의 특성 목록을 작성하고 가스조성이나 열량 민감기기를 선별하는 작업이 기본적으로 선행되어야 한다. 그리고 나서 이들 민감기기의 실증실험을 통하여 호환성을 판정하게 되는 것이다.

현재까지 진행된 사항은 기초적인 수용가 조사를 했고, 직도입할 가스의 연소호환성 계산을 완료했으며 확산버너와 분젠버너 시험을 통하여 호환성 계산결과를 실증하고 화염길이와 온도를 확인하는 중이다. 그리고 2006년 초까지 수용가 전수조사를 완료할 예정이며 여기서 얻은 결과를 통하여 열량 민감기기를 선정하고 2007년 말까지 실증시험을 완료할 예정이다. 실험 범위는 가정용, 업소용 6-8가지, CNG 차량, GHP, 산업용 연소기기 3-4가지 정도이다.

## 2.6 거래 단위 일원화

현재 천연가스 상거래 단위는 열량과 부피로 이원화 되어 있다. 가스공사와 발전사 거래 시 상거래 단위는 열량이며 도시가스사와는 부피로 되어 있다.

가스공사 단독으로 가스를 공급할 때는 이원화된 거래단위가 크게 문제되지 않았다. 생산기지별로 산지별 LNG를 고르게 분배하고 송출하여, 평균열량이 거의 같은 가스를 모든 지역에 공급할 수 있었기 때문이다. 그러나 정부가 LNG 직도입을 허용하면서 직도입사 가스가 특정지역으로만 공급되는 일이 발생하게 되었고 이 경우 가스공사 공급가스의 평균비중과 유사한 가스가 공급되지 않으면 특정 도시가스사나 소비자의 손해가 예상되었다. 이때문에 매우 엄격한 비중 제한을 직도입 가스에 두게 되었으며 비중 조건은 0.624~0.630이다. 불활성 가스가 거의 없는 LNG의 경우 비중은 열량으로 정확히 환산될 수 있는데 2.3절에서 언급한 바와 같이 이 비중은 열량으로 43.976~44.345 MJ/m<sup>3</sup>이 되어  $\pm 0.18$  MJ/m<sup>3</sup>(44 kcal/Nm<sup>3</sup>)의 열량 변동 폭만 허용한다. 이는 국제적으로 유례가 없는 매우 엄격한 조건으로 경우에 따라서는 기술적으로 매우 어려운 조건이 될 수 있다. 현재 유일한 직도입사인 포스코의 경우는 송출물량이 30, 60 t/h으로 단순하고 증열 폭도 1.7~2.1 MJ/m<sup>3</sup>M (400~500 kcal/Nm<sup>3</sup>)정도로 충분하여 문제가 없지만 향후 다른 직도입사가 이 조건을 지킬 수 있는지는 의문이다. 또한 가스공사도 직도입사 가스 인입으로 계량에 어려움을 겪고 있어서 거래 단위 일원화는 OAS 개시전에 반드시 풀어야 할 것으로 판단된다. 그리고 OAS를 시행하고 있는 나라 중에 거래 단위가 이원화 되어 있는 국가는 없는 것으로 조사되었다.

## 3. 결론

정부는 현재 가스공사의 생산/배관망 설비를 직도입자에게 개방하는 설비공동이용제(Open Access System)를 계획하고 있으며 시행 시기는 2007년 1월로 계획하고 있다. 현재 잠정적인 직도입사 수는 포스코 외에 3-4 개사가 더 있고 도입 물량은 포스코 물량을 포함해서 대략 900 ~1,000 만톤 정도로, 가스공사 2004년 총도입량의 거의 40 %가 넘는 물량이다. 그런데 이 물량의 1/3정도만 현 배관망에 진입해도 상당한 문제를 유발할 수 있다는 결과가 계통분석결과 도출된 바 있다. 또 향후 직도입될 가스의 열량이 기존 공급가스보다 크게 낮을 것으로 추정되어 가스 품질이나 연소호환성 등도 문제시 되고 있는 등 OAS와 관련된 문제점이 상당히 많은 것으로 드러났다. 따라서 본 연구에서는 OAS 시행 전에 선결해야 할 생산설비, 배관망 설비, 계통운영 시스템, 가스 품질, 연소호환성, 거래 단위 일원화의 기술적 문제점과 대책을 논하고 현재까지의 연구결과와 향후 연구 계획에 대하여 언급함으로써 OAS의 기술적 가이드라인을 제시하고자 하였다.

## 기호설명

$H_v$  : 발열량 (kJ/m<sup>3</sup>, 부피기준조건 0 °C, 1.01325 bar, 열량기준온도 15 °C)

$N_2$  : 질소함량 (mol %)

SG : 비중(노말조건(=0 °C, 1.01325 bar)에서 천연가스 밀도를 공기밀도로 나눈 값, 무차원)

## 4. 참고문헌

1. 신창훈, 하영철, “배관망 공동이용 관련 기술검토”, TCSC-2004-12, 한국가스공사, (2004)
2. 허재영 외 7인, 04-SA-GF-수시-029-00, 한국가스공사, (2004)
3. 하영철, 이철구, “탄화수소 및 물 이슬점계산 프로그램”, 프로그램등록번호 2004-01-129-004635, 한국가스공사, (2004)
4. 하영철, 이철구, “천연가스 품질체크 프로그램”, 프로그램등록번호 2005-01-129-004570, 한국가스공사, (2005)
5. AGA Bulletin 36, “Interchangeability of Other Fuel Gases with Natural Gas”, American Gas Association, (1952)
6. ISO 13686, “Natural Gas—Quality Designation”, International Organization for Standardization, (1998)