

천연가스 도입산지 다변화에 따른 품질문제와 그 대처방안에 관한 연구

이철구, 이강진, 유현석, 허재영

한국가스공사

A Countermeasure Study for Gas Quality Problems According to a Variety of Importing Sites of Natural Gas.

CheolGu Lee, KangJin Lee, HyunSeok You, JaeYoung Her

KOGAS R&D Center

1. 서론

전 세계적으로 천연가스의 매장량은 확인 규모만 약 1,260억톤이며 이는 향후 60년간 사용할 수 있는 물량으로 추정된다. 또한 연간 천연가스 교역 규모는 4억톤 정도이며 이중 3억톤은 PNG(Pipeline Natural Gas)로, 나머지 1억톤 정도는 LNG(Liquefied Natural Gas)형태로 교역되고 있다. 전통적으로 천연가스 산업은 가스전 개발기간이 오래 걸리고 비용도 많이 들어가는 대규모 프로젝트로서 안정적인 투자비용 회수 차원에서 일본이나 우리나라와 같은 대량 구매자 위주의 시장이었으나 최근 들어 여러 가지 국제정세의 변화로 선진국들 간에 에너지 확보 노력이 치열해지면서 급속히 판매자 위주의 시장으로 재편되고 있는 추세이다. 또한 기존의 전통적인 PNG 사용국이었던 영국과 미국에서도 수입선 다변화 차원에서 LNG의 도입을 적극 확대하고 있어 향후 전 세계적으로 저렴하면서 안정적인 천연가스의 확보 노력이 더욱 거세어질 것으로 보인다.

우리나라는 2004년 현재 인도네시아, 말레이시아, 카타르, 오만, 브루나이, 호주 등의 도입산지로부터 장기계약에 의해 연간 2,000만톤 규모의 LNG가, 단기 스팟 물량까지 포함하면 약 2,200만톤 규모의 천연가스가 공급되고 있다. 이러한 많은 양의 천연가스는 그동안 전량 LNG로 선박을 통하여 수입하였으나, 2004년 7월부터 경남 울산지역에 동해-1 가스가 공급되면서 일부 PNG 형태의 국산 천연가스 도입이 이루어지고 있다. 동해-1 가스는 석유공사가 울산 앞바다에서 개발한 가스전으로 전체 약 450만톤 규모의 매장량이 확인되었으며 앞으로 추가 개발가능성이 있는 가스전이다. 또한 2005년 9월에는 포스코가 자가 소비용 LNG의 도입을 위해 광양에 인수설비를 구축하고 포항에서의 사용분에 대하여 한국가스공사와 배관설비공동이용 계약을 체결하여 한국가스공사 배관에 연간 35만톤 규모로 인입하고 있다. 또한 기존의 장기계약 물량에 대한 대체 분으로 2008년 이후 러시아 사할린산과 예멘으로부터 LNG가 도입될 예정이다. 이밖에도 러시아 이르쿠츠크 지역에서 PNG를, 기타 국내 유수의 에너지 기업에서 자가소비용 LNG를 도입 추진 중에 있어 국내 천연가스 산업에 있어서 도입산지 다변화는 이미 하나의 커다란 흐름으로 자리 잡았다.

2. 천연가스 품질기준

2-1. 천연가스 품질기준 현황

한국가스공사의 공급규정에는 천연가스의 품질에 대하여 표 1.과 같은 기준을 정하고 있으며 보다 구체적인 사항에 대해서는 별도의 사내기준(천연가스 조성기준)에서 따로 규정하고 있다. 품질기준 주요항목으로는 주 성분인 메탄을 비롯한 탄화수소류의 함량(또는 탄화수소

이슬점), 발열량, 웨버지수(Wobbe Index)와 연소속도지수(CP), 가스비중, 수분함량(혹은 수분이슬점), 부취제 함량, 황 함량, 기타 미량 성분함량이 있다. 그러나 이러한 품질기준은 기존의 도입선에 대해 적용한 것으로 향후의 산지 다변화에 따른 영향이 반영되지 못한 부분이 있어서 각 항목에 대하여 충분한 재검토가 필요한 실정이다.

표 1. 천연가스 공급규정에 의한 품질기준

항목	기준
1. 주요성분	메탄 85% 이상
2. 열량	표준열량 - 10,500 kcal/Nm ³ 최저열량 - 10,100 kcal/Nm ³
3. 표준공급압력	도시가스용 및 직공급용 - 8.5 kg/cm ² (±1.5 kg/cm ² : 허용압력편차) 또는 18 kg/cm ² (±2 kg/cm ² : 허용압력편차) 발전용 - 8.5 kg/cm ² (±1.5 kg/cm ² : 허용압력편차) 또는 27 kg/cm ² (±3 kg/cm ² : 허용압력편차)
4. 연소속도	최고 웨버지수 - 13,800 kcal/Nm ³ 최저 웨버지수 - 12,600 kcal/Nm ³

2-2. 품질검사방법 및 관리체계

도입된 천연가스는 선박에서 하역 시 가스분석을 실시하여 산지에서 분석결과와 비교한다. 생산기지에서는 전문부서¹⁾에서 각종 분석업무를 수행하여 품질적합 여부를 판단한다. 저장된 천연가스는 NG로 기화되어 송출배관을 통해 주배관망으로 인입된다. 이때 각 생산기지의 송출배관에도 온라인 가스분석기(Gas Chromatograph)가 설치되어 송출되는 천연가스의 조성 및 열량 등을 실시간으로 분석하고 있다. 부취제는 송출배관에서 일률적으로 주입되며 부취분석기에 의해 실시간 분석된다. 또한 천연가스는 주배관을 통해 전국에 공급되는데 발전소에 천연가스를 공급하는 공급관리소에는 온라인 가스분석기(Gas Chromatograph)가 설치 운영되고 있다. 이것은 발전소와 열량 단위로 거래하고 있어 가스분석 및 열량측정이 필수적이기 때문이다. 그러나 도시가스용 공급관리소에는 보통 가스분석기가 설치되어 있지 않은데, 동해-1 가스 도입을 계기로 천연가스의 비중 변화가 발생할 가능성이 생겨 최근에는 가스분석기의 설치를 적극 추진하고 있다. 현재까지 비교적 체계적인 품질관리를 수행하고 있으나 향후 보다 다양한 산지의 가스가 도입되는 경우에 대비하여 공급관리소의 가스분석기에 대한 관리를 더욱 강화하여야 한다. 특히 분석의 정확도를 높이기 위하여 표준가스 조성 결정과 가스분석기 교정방법에 대해 보다 합리적인 운영방안이 도출되어야 한다.

3. 천연가스 품질관련 문제

천연가스 도입산지가 늘어나게 되자 가스 도입선 확보의 경제성뿐만 아니라 가스품질 관련 사항도 중요한 문제로 대두되었다. 통상적으로 가스전은 주성분인 메탄을 비롯한 탄화수소의 함량과 기타 미량 성분들의 함량이 모두 제각각이다. 따라서 각국에서는 가스품질 기준

1) 한국가스공사 3개의 생산기지 중 평택, 인천은 국가공인기구인 KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme) 인증을 받아 분석업무를 수행 중이다.

에 적합한 가스를 선별하여 도입하거나 도입 후 각국의 실정에 맞도록 열량조절 등의 적절한 공정을 거친 후 공급하여야 한다.

천연가스의 도입지가 다변화되면서 발생 가능한 문제점들로는 다음과 같은 것이 있다. 펜탄 이상 성분의 함량이 증가하면 액적 발생 가능성이 증가되고 수분 함량이 증가하면 수화물 발생가능성이 커져 설비 안전에 문제가 발생할 수 있다. 또한 발열량, 웨버지수 등은 연소기기의 호환성과 관련이 깊고, 가스비중은 천연가스 거래에 있어 중요한 계량문제와 직결된다. 부취제 성분은 가스 안전상 적정량이 포함되어야 하며 너무 많으면 흡착량이 많아지는 문제가 발생한다. 아래에서는 천연가스 품질기준과 각국의 사례를 항목별로 보다 구체적으로 살펴보도록 하겠다.

(1) 발열량²⁾(Heating Value 또는 Calorific Value)

우리나라의 경우 2000년 이전에 도입되던 천연가스는 대부분 $44 \pm 0.5 \text{ MJ/Nm}^3$ 정도의 발열량을 갖고 있었다. 2000년 이후 비교적 높은 발열량인 오만산(45 MJ/Nm^3)이 도입되어 발열량의 변동이 다소 발생하였으나 이 정도의 변동은 업계에서는 전통적으로 인정되는 수준이었으며 가스 산업에 미치는 영향도 거의 없었다. 하지만 최근 들어서는 약 43 MJ/Nm^3 의 동해-1 가스와 41 MJ/Nm^3 의 포스코 가스가 도입되게 되어 저열량인 가스로 인한 품질문제 발생의 소지가 생겼다. 그러나 다행히도 이 두 종류의 가스는 LPG(프로판 위주)로 증열되어 약 44 MJ/Nm^3 로 한국가스공사 배관에 인입되어 현재까지는 별다른 문제없이 안정적으로 공급되고 있다. 이와 같이 LPG를 이용하여 열량을 증가시키는 방법은 이웃나라인 일본의 경우는 보편화되어 있는데, 일본의 OGC³⁾사의 경우 천연가스 도입선은 우리나라와 비슷하지만, LPG를 첨가하여 증열한 후 $45 \pm 0.5 \text{ MJ/Nm}^3$ 정도의 발열량으로 수용가에 공급하고 있다. 이와 같은 증열 공급방법은 다른 나라에서는 그 예가 흔한 것은 아니다. 향후 한국가스공사에서 도입하려는 천연가스도 43 MJ/Nm^3 이하의 저열량 가스가 포함되어 있어 적절한 대처가 요구된다. 만약 LPG를 사용하여 증열하는 방식을 선택한다면 LPG의 품질기준에 대한 검토도 추가적으로 이루어져야 한다.

(2) 탄화수소 함량 혹은 탄화수소이슬점(Hydrocarbon Dew Point)

메탄을 비롯한 탄화수소의 함량과 조성은 가스품질을 결정하는 가장 기본적인 항목이며 실험적인 분석방법으로 결정되는 품질기준이다. 가스품질에서 중요하게 다루어지는 발열량이나 웨버지수, 가스비중 등은 직접적인 분석법으로 성분이 결정된 후 간접적으로 계산되어지는 값이다. 따라서 실질적 가스분석의 정확성과 신뢰도를 향상시키는 것이 품질관리 측면에서 중요하다. 보통은 품질기준으로 탄화수소의 함량을 제한한다. 대개 펜탄이상의 고분자 탄화수소는 소수점 미만의 함량으로 제한한다. 그러나 탄화수소이슬점으로 제한하기도 한다. 탄화수소이슬점은 명시된 압력조건에서 그 이상에서는 탄화수소 응축이 일어나지 않는 온도로 정의된다. 유럽에서는 국가별로 다르나 프랑스에서는 80 bar 이하의 압력에서 $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하, 이탈리아의 경우에는 70 bar 이하에서 $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하로 규정하고 있다. 탄화수소이슬점은 고탄화수소 성분 함량과 밀접한 관계가 있다. 고탄화수소 함량이 높아지면 탄화수소이슬점도 높아지게 된다. 그림 1.은 프로판과 메탄의 조성에 따른 이슬점 곡선을 보여주는 그래프이다.

2) 여기의 발열량은 고위 발열량(Gross Heating Value 또는 Gross Calorific Value)를 의미한다.

3) Osaka Gas Company(오사카 가스회사)

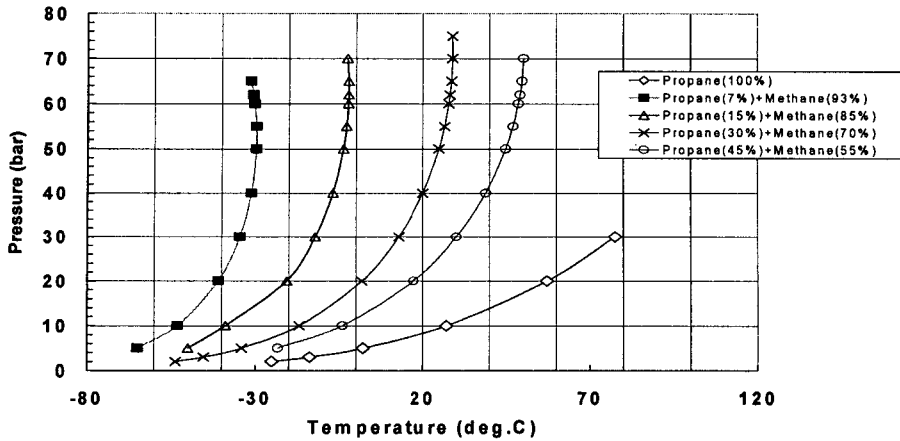


그림 1. 탄화수소이슬점 곡선

그림 1.에서와 같은 천연가스 조성에 따라 탄화수소이슬점이 겨울철 대기나 배관온도 보다 높을 경우 탄화수소 액적이 발생할 수 있다. 이때 수분이나 다른 성분들도 액적 발생에 기여하게 된다. 액적 발생이 누적되면 설비에 이상을 초래할 수 있어 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

(3) 웨버지수(Wobbe Index : WI) 및 연소속도지수(CP : Combustion Potential)

연소호환성을 판별하는 대표적인 기준으로 웨버지수와 연소속도지수가 있다. 연소의 호환성은 주어진 연소기에서 다른 종류의 연료를 공급했을 때 기하학적 형상이나 운전조건을 변화시키지 않고 그대로 사용할 수 있는 대체 가능성을 말한다. 웨버지수는 아래의 식 (1)과 같이 표현된다. 기존에 사용하던 연소기의 형상을 변화시키지 않고 공급가스의 압력도 기존과 동일하게 유지하였을 경우, 가스 조성이 바뀌어 발열량과 비중이 변했을 때 계산되는 값이며 출력의 척도가 된다.

$$WI = \frac{H}{\sqrt{d}} \text{----- (1)}$$

여기서 H : 발열량, d : 비중이다. 연소속도 지수(CP)는 수소의 연소속도를 기준으로 하고 각 가스의 연소속도를 정규화시켜 혼합가스의 연소속도를 평가할 수 있도록 아래 식(2)와 같이 정의한 것이다.

$$CP = K \frac{1.0H_2 + 0.6(CO + C_nH_m) + 0.3CH_4}{\sqrt{d}} \text{----- (2)}$$

여기서 K : 가스중 산소함유량에 따른 보상계수, d : 공기에 대한 가스비중, H₂ : 가스 중 수소의 체적비(%), CO : 가스 중 CO의 체적비(%), C_nH_m : 가스중 메탄 이외의 탄화수소 함유율(%), CH₄ : 가스 중 메탄의 체적비(%)이다. 이상의 웨버지수와 연소속도지수는 가스의 출력과 연소속도를 대표하는 특성변수로서 가스의 특성을 구분하는 그룹군 결정 및 호환성판정에 중요한 변수로 이용될 수 있다. 그림 2.는 일본 통산성에서 분류한 가스구분 기준이다. 이러한 관점에서 국내 도입 천연가스는 현재까지는 13A 그룹에 속하며, 경험적으로 같은 그룹 범위에서는 연소호환성이 있는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 천연가스 도입선이 다변화되면 연소호환성 여부도 검토하여야 하고, NGV(Natural Gas Vehicle), GHP(Gas engine Heat Pump), 가스터빈 및 화염을 제품에 직접 접촉하여 사용하는 공정 등 문제 발

생소지가 있는 산업체나 수용가에 대한 면밀한 조사도 이루어져야 한다. 일반적으로 유리산업, 브라운관 제조업 혹은 섬유업체 등이 열량변화에 민감하다고 알려져 있으나 구체적으로는 추가적인 조사가 필요하다.

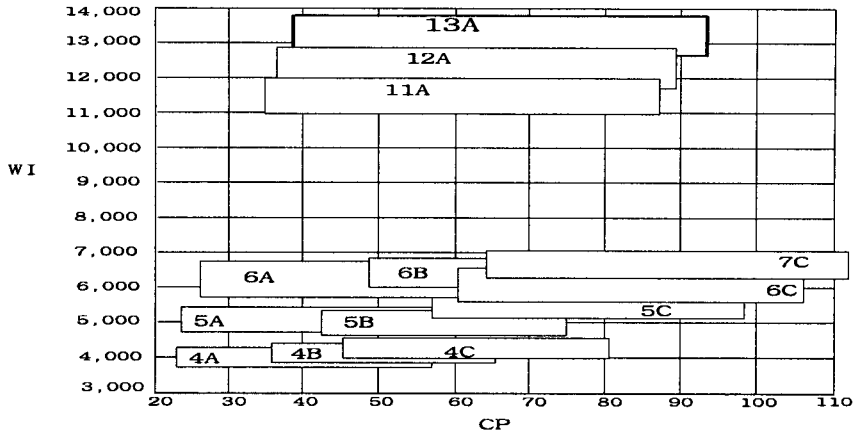


그림 2. 웨버지수와 연소속도에 의한 가스 그룹군

(4) 부취제(Odorant)

부취제는 가스 누출시 안전사고를 방지할 목적으로 첨가하는 물질로 법적인 규제 사항이다. 한국가스공사에서는 THT⁴⁾와 TBM 을 중량비 7:3으로 섞은 혼합물을 사용하고 있다. 부취제는 대부분 황화합물로서 배관에 흡착하는 성질을 가지며 따라서 배관 말단으로 갈수록 농도가 감소되는 현상을 보인다. 따라서 부취성분의 흡착과 설비영향에 대한 규명이 필요하고 적정량의 주입관리가 필요하다.

(5) 기타 항목

기타 품질관리항목으로는 대개 불순물로 분류할 수 있는 것들로 수분함량(혹은 수분이슬점(water dew point)), 수소, 산소, 금속성분등이 있다. 이러한 성분들은 연소상의 문제, 설비의 부식 혹은 안전과 밀접한 관련이 있는 성분들이다. 대개는 기존의 LNG에는 거의 포함되어 있지 않으나 노후화된 배관설비에서나 각종 작업 후에 실수로 포함될 가능성이 있다. 또한 PNG로 도입되는 경우에는 상대적으로 LNG에 비해 불순물이 많다. 따라서 이러한 불순물들의 적정함량 범위에 대한 검토도 필요하다. 이외에 유해성분인 황화수소, 암모니아 및 기타 총황 성분에 대하여는 함량과 검사방법이 법적으로 규정되어 있는데 현재까지 도입된 LNG에는 실제 문제가 될 정도로 포함되어 있지는 않지만, 보다 체계적인 관리가 요구되기는 마찬가지이다.

4. 결론

천연가스 품질관리분야에서 분석 및 검사방법은 법 및 국제기준이 체계화되어 있고 기술적으로도 발달되어 있다. 그러나 발열량 등 품질 각 세부사항에 대한 기준 설정을 위한 연구는 부족한 실정이다. 이러한 각 품질기준의 규제치를 결정하려면 수용가에 미치는 영향에

4) THT(tetra hydro thiopene) 및 TBM(tetra butyl mercaptan)

대한 조사와 각종 연소기기 실증시험 연구가 선행되어야 하는데 이것도 시급히 요구된다. 더구나 국제적 환경 변화로 천연가스 도입선이 다변화되고 있는 상황에서는 가스품질 기준과 관련된 연구에 대한 필요성이 더욱 증대되고 있다. 따라서 이에 대한 연구와 보다 체계적인 관리방안 확립이 시급히 요구되고 있다.

5. 참고문헌

1. 하영철, 이철구 “천연가스 품질체크 프로그램”, 프로그램등록번호 2005-1-129-004570, 한국가스공사, (2005)
2. 하영철, 이철구 “탄화수소 및 물이슬점 계산 프로그램”, 프로그램 등록번호 2004-01-129-004635, 한국가스공사, (2004)
3. “천연가스 조성기준”, KOGAS-GSD-0010, (2004)
4. AGA Bulletin 36, “Interchangeability of Other Fuel Gases with Natural Gas”, American Gas Association, (1952)
5. ISO 13686. “Natural Gas Quality Designation”, International Organization for Standardization, (1998)
6. ISO 6976, “ Natural Gas - Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition, (1995)