

액화천연가스를 이용한 냉열사업의 타당성 연구

김호연, 이용원, 하종만
한국가스공사 연구개발원

A Feasibility Study on Cold Energy Business using LNG

Hoyeon Kim, Yongwon Lee, Jongmann Ha
Korea Gas Corporation, R&D Division

요 약

LNG 냉열 활용에 대한 관심은 유가의 고공행진과 더불어 고조되고 있다. 본 연구는 생산기지 내에서 LNG 냉열의 이용현황 및 활용 가능량에 대한 분석을 토대로 LNG를 사용하는 6대 냉열사업에 대한 타당성 연구를 수행하였다. 하절기 생산기지 내에서 냉열의 활용 가능량은 전체 냉열량의 30%로 LNG kg당 약 60 kcal 정도로 매우 적다. 또한 생산기지 내에서 천연가스 송출량이 시간대별로 크게 차이가 발생되기 때문에 실질적으로 활용 가능한 양은 이것보다 적은 것으로 나타났다. 6대 냉열사업은 공기액화분리, 냉열발전, 저온분쇄, 액화탄산 및 드라이아이스, 냉동 및 냉장창고, 지역냉방사업이고, 사업화 가능성에 대한 타당성 연구를 수행하였다. 본 결과 전체 냉열사업의 투자비 회수기간이 15년 이상 상회하는 것으로 나타났다. 현시점에서 냉열사업 자체의 외국기술 의존도 때문에 막대한 초기투자비가 필요하고, 생산품의 부가가치가 낮으며 기존 시장에서 경쟁력을 확보하기가 어려운 것으로 평가되었다.

1. 서론

지구촌에서 에너지 자원의 고갈은 점점 심각해지고 있으며 이로 인해 유가의 상승이나 에너지 수급의 불안정은 피할 수가 없을 것이다. 이런 문제를 원초적으로 해결하기 위해 국가적 차원의 신·재생에너지 개발은 더욱 박차를 가할 시점으로 사료된다. 본 연구는 국가에너지 합리화 정책에 부합하고자 생산기지에서 미 활용되고 있는 LNG 냉열에 대한 가치를 재평가하고 냉열사업의 타당성을 검증하는 데 있다.

생산기지의 LNG 냉열은 에너지 관점과 엑서지 관점에서 접근하여 냉열에너지의 이용현황과 냉열활용 가능량을 재평가하였다. 또한, 냉열사업과 연계될 경우 에너지 관점과 엑서지 관점에서 냉열에너지의 사업별 기술적 효과를 분석하였고, 경제성 분석을 토대로 사업가능성에 대한 결론을 도출할 수 있었다.

2. 에너지 및 엑서지 해석이론

에너지 해석은 열역학 제1법칙을 근거로 하여 정립된 개념으로 다음과 같은 에너지 방정식을 사용하여 접근할 수 있다.

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right)$$

여기서, 검사체적 내의 에너지 변화량은 열전달, 일, 입구측 및 출구측 에너지 전달량으로 표기될 수 있다. 그리고 엑서지는 에너지 해석의 문제점을 보완하기 위해 도입된 개념으로 이론적으로 얻을 수 있는 최대일 량을 의미하며, 엑서지 해석은 다음의 방정식을 사용한다.

$$\frac{dA_{cv}}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) \dot{Q}_j - \left(\dot{W}_{cv} - p_0 \frac{dV_{cv}}{dt} \right) + \sum_i \dot{m}_i a_{fi} - \sum_e \dot{m}_e a_{fe} - \dot{I}_{cv}$$

여기서, 엑서지 변화량은 열전달에 동반된 엑서지, 일에 동반된 엑서지, 입구측 및 출구측 유동에 동반된 엑서지, 그리고 비가역성으로 나타낼 수 있다. 에너지는 물 기준으로 상대적 에너지 량을 표기하는 반면, 엑서지는 사상태(dead state) 까지 할 수 있는 이론적 최대일 량으로 나타내기 때문에 시스템을 해석하는 데 매우 유리한다. 일례로 냉열에너지에 펌프 일이 가해지면 냉열에너지는 감소되지만 냉열 엑서지는 증가한다. 이런 압력효과를 에너지 해석은 반영하지 못한다.

3. 생산기지 냉열이용현황 및 활용 가능량

LNG 생산기지의 일반적인 프로세스는 저장탱크 내의 LNG를 저압펌프에 의해서 약 1.013 MPa로 재액화기로 공급하고, 여기서 탱크 및 배관 내에서 발생된 증발가스(Boil-Off Gas)를 LNG와 혼합시켜 재액화 시킨 후 고압펌프에 의해 약 8.104 MPa까지 가압되어 해수나 연소가스에 의해 기화된 후 송출된다. 이런 과정에 대하여 동절기 및 하절기 에너지 및 엑서지 사용량을 분석한 결과는 Figure 1에서 보여 주고 있다. 동절기 냉열에너지는 저압펌프에 의해서 1% 감소,

BOG 재액화기 1%감소, 고압펌프 3% 감소, 해수식 기화기 82% 감소, 13%가 송출에너지로 사용된다. 반면 냉열엑서지는 고압펌프에 의해서 0.2% 증가, 해수식 기화기 36% 감소, 송출엑서지로 62%가 사용된다. 하절기 BOG 발생량 및 송출량 감소로 에너지는 재액화기에서 6% 감소, 해수식 기화기 77% 감소, 송출에너지로 13%를 사용한다. 냉열엑서지는 BOG 재액화기에서 11% 감소, 해수식 기화기 30% 감소 송출엑서지로 58%를 사용한다. 여기서, 냉열사업으로 활용할 수 있는 냉열량은 해수식 기화기로 소모되는 30%에 불과하다. 따라서 생산기지에서 가용할 수 있는 냉열에너지량은 하절기에 지배를 받으며, LNG 1.0 kg당 냉열엑서지량 198.5 kcal의 30%에 해당하는 59.6 kcal만 최대로 활용 가능하다.

현재 한국가스공사는 LNG 냉열을 일부 공급하고 있으며, 평택생산기지는 서울냉열(주)의 공기액화분리 공장에 시간당 30톤의 LNG를 공급하고 있고, 통영생산기지는 크리오텍(주)의 페타이어분쇄 공장에 냉열을 공급할 계획으로 있다.

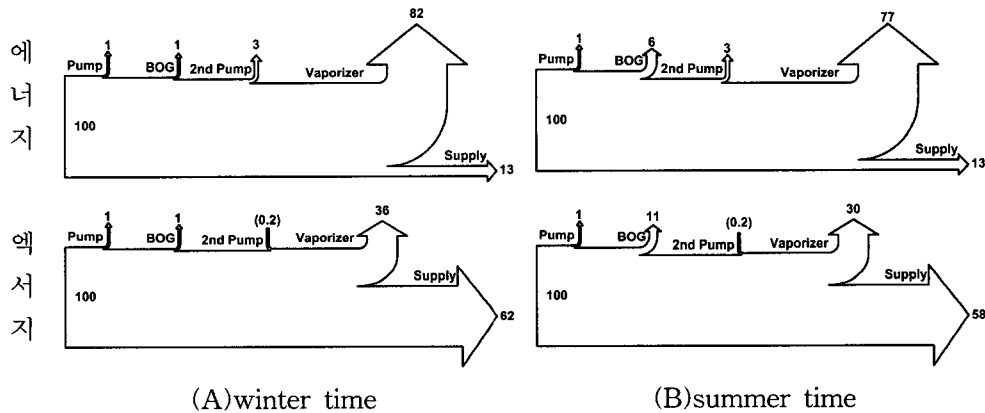


Figure 1. The ratio of energy and exergy in an LNG receiving terminal

4. 냉열사업의 기술적 효과

냉열사업은 현재까지 일본에서 가장 널리 성행하고 있으며, 한국, 프랑스, 호주, 대만은 냉열사업 중 가장 경제성이 있는 것으로 알려진 공기액화분리 사업만을 운영하고 있다.

냉열사업은 각 사업별로 냉열이용률 및 회수율, 그리고 사용온도에서 차이가 발생된다. 그 차이는 Table 1에 보여 주고 있으며, 본 결과로 개략적인 기술적 효과를 파악할 수 있다. 에너지 이용률은 전체 공급된 냉열에너지량에서 사용된 냉열에너지량의 비로 표현되며, 공기액화의 경우 10.6%, 냉열발전 61.0%, 저온분쇄 11.9%, 액화탄산 12.2%, 저온창고 11.8%, 지역냉방 13.4%이다. 에너지 이용률 관점에서 냉열발전이 가장 높게 평가되고 있으나 엑서지 이용률 관점에서 보면 공기액화사업이 54.0%로 가장 높다. 현재까지 공기액화분리 사업이 가장 경제성

이 있다고 언급되고 있으며, 엑서지 회수율을 보게 되면 더욱 확실하게 파악할 수 있다. 엑서지 회수율은 공급된 엑서지량에서 생산품 제조에 사용된 엑서지량의 비로 표현된다. 본 결과로 냉열사업의 경제성은 공기액화, 액화탄산, 냉열발전, 저온창고, 저온분쇄, 지역냉방 순으로 효과가 있는 것으로 평가할 수 있다. LNG 사용온도는 공기액화 및 저온분쇄가 매우 낮은 온도를 활용하고 냉열발전 및 액화탄산은 약 -40℃ 구간까지 활용하며, 저온창고는 -20℃, 지역냉방은 0℃까지 활용한다. 냉열사업에서 LNG를 높은 온도까지 활용하게 되면 엑서지 회수율을 감소시켜 실질적인 경제성을 얻기가 어렵다. 이것은 생산기지 내에서 LNG의 압력이 상승하게 되면 액상구간이 감소하게 되고 기상구간이 증가함으로 전열특성이 크게 낮아지게 된다. 액상구간과 기상구간의 전열차이는 10~100배 정도 차이가 발생하는 것으로 보고되고 있다.

Table 1. Technical data on cold energy business

구 분	공기액화	냉열발전	저온분쇄	액화탄산	저온창고	지역냉방
에너지이용률	(%) 10.6	61.0	11.9	12.2	11.8	13.4
엑서지이용률	(%) 54.0	36.7	13.0	48.1	30.8	40.1
엑서지회수율	(%) 80.0	32.0	-	40.0	-	10.0
LNG 사용온도	(℃) -154.7 ~-91.7	-156.0 ~-41.0	-157.0 ~-125.0	-155.0 ~-52.0	-148.0 ~-20.0	-154.0 ~0.0

5. 냉열사업의 경제성

냉열사업은 생산량과 판매단가로 매출액을 산출하여 수익을 계산하고 투자비 대비 회수기간을 산정하여 사업성을 평가하였다. 실질적으로 냉열사업은 치열한 시장경쟁체제 하에서 수익을 확보해야만 그 사업성을 인정받을 수 있다.

냉열사업의 경제성은 6대 사업에 대하여 경제성을 평가하였고 그 결과는 Table 2에 보여 주고 있다. LNG 사용량은 지역냉방이 시간당 400톤으로 가장 많이 사용하고, 냉열발전이 200톤, 공기액화가 30톤을 사용한다. 나머지 사업은 소량의 LNG로 사업이 가능하다. 투자비는 공기액화분리가 약 900억원으로 가장 높으며, 그 다음 지역냉방이 약 400억원 요구된다. 매출액은 생산품의 부가가치에 의해서 결정되는 것으로 액화탄산제조가 가장 높으며 운영비도 상대적으로 높다. 본 결과로 액화탄산이 투자비 회수기간이 가장 빠른 것으로 나타났으나, 본 결과에서 액화탄산제조 원료인 탄산가스를 파이프라인 방식으로 공급한다는 가정 하에 분석된 것이다. 현재 한국가스공사 생산기지 인근에 정유공장이 없어 파이프라인 공급방식은 불가능하며, 가능한 벌크 공급방식을 고려한다면, 투자비 회수기간은 상당히 늘어날 것이다.

본 결과로 냉열발전은 투자비 회수기간이 17.4년으로 다른 사업보다 효과가 있으나 신규사업투자를 위해서는 10년 이내의 투자비 회수기간이 확보되어야만 가능할 것으로 본다. 지역냉방 사업은 송도신도시 분석결과로 투자비 회수가 거의 불가능하며, 가스흡수식이나 전기방식이 냉열방식보다 훨씬 유리할 것이다.

Table 2. Results of economical efficiency on cold energy business

구 분		공기액화	냉열발전	저온분쇄	액화탄산	저온창고	지역냉방
LNG 사용량	(t/h)	30.0	200.0	5.0	7.5	5.0	400.0
투자비	(백만원)	90,868	23,871	19,234	16,517	13,650	39,500
매출액	(백만원)	7,004	2,089	1,724	8,660	5,606	503
운영비	(백만원)	3,312	542	770	7,529	4,969	118
수 익	(백만원)	3,692	1,547	1,087	1,130	637	386
투자비 회수기간	(년)	24.6	17.4	22.4	16.1	23.0	102.0

6. 결론

본 연구를 통하여 생산기지 냉열이용현황 및 활용 가능량을 평가하였고, 냉열 사업별 경제성을 분석하였다. 현실적으로 냉열사업의 경제성에 미치는 인자는 매우 많아 본 연구의 분석결과를 보다 상세히 검토할 여지는 있으나, 현재의 연구 결과로 보았을 때, LNG를 이용한 6대 냉열사업의 경제성은 없다고 보는 것이 맞을 것 같다. LNG 냉열이용의 기술적 한계를 간과할 경우, 냉열사업에 대한 막연한 투자로 인한 손실을 발생시킬 수 있다. 또한, 냉열사업의 투자비 회수기간이 10년 이상인 사업에 대하여 사업계획을 수립하는 것은 타당치 않은 것으로 사료된다.

결론적으로 냉열사업의 난제는 첫째, 외국기술을 도입해야 하고, 이에 따른 설비투자비가 막대하다는 것이다. 둘째, 냉열을 주로 사용하는 하절기에 천연가스 수요는 극감하는 패턴을 가지고 있으며, 특히 시간대별 수요편차가 크게 발생하여 설비투자의 효율을 높이기 어렵다는 것이다. 셋째, 냉열사업에 의한 생산품의 틈새시장 진입시 어려움과 부가가치를 높이기 어렵다는 것이다.

7. 참고문헌

1. 한국전력기술(주), 냉열발전 타당성 조사, (1989)
2. 현대엔지니어링(주), 냉열사업타당성 검토 및 기본계획수립, (1996)
3. 산업자원부, 에너지 절약형 페타이어 냉동분쇄 시스템 개발, (2000)
4. M.J. Moran & H.N. Shapiro, Fundamentals of engineering thermodynamics, (1995)
5. F.P. Incropera & D.P. Dewitt, Fundamentals of heat and mass transfer, (1990)
6. 투테이에너지, LNG냉열에너지의 효율성, (2006)
7. 한국해양대학교, LNG냉열이용 공기액화분리 사업성 분석 및 실증연구, (2006)
8. 한국가스공사, 냉열이용기술개발의 타당성 조사 및 실험적 검증 연구, (2006)