

LNG 기지 내 저장탱크는 LNG 극저온 상태를 유지하기 위해 단열재를 사용하여 기화를 최대한 억제하나, 외부 상온 온도에 의한 불가피한 열유입으로 탱크 1기(100,000m³) 기준으로 약 0.5 vol%/day의 LNG가 BOG(Boil-off gas)로 기화되며, 특히 평택 LNG 기지의 경우 2000년 평균 BOG 발생량은 하역시를 포함하여 약 30ton/hr으로 BOG 압축기에 의해 압축되어진다. 또한 1차 펌프에서 송출된 LNG는 (주)서울냉열의 공기 액화분리 공정에 냉열 공급용으로 공급되는데, 냉열 공급 후 기화된 가스는 회송되어 BOG 압축기 토출 라인으로 공급된다. 압축된 BOG와 (주)서울냉열 회송가스는 삼천리 도시가스 및 평택화력 발전소에 저압가스로 직공급되어 지며, 잔여량은 BOG 재액화기 내에서 LNG를 BOG와 직접 혼합하여 재액화시킨다. 재액화된 LNG는 기화되지 않은 LNG와 같이 필요과정을 거쳐 수요처로 공급되어진다.

그러나, 현재 삼천리 도시가스 및 평택화력발전소 공급라인의 경우, 2002년 안중라인 증설에 따른 삼천리 도시가스 공급이 불필요해질 상황이며, 또한 평택화력발전소의 경우 운영비 절감 차원에서 천연가스보다 저가의 연료인 병커 C유로 대체하고 있고, 탈황설비 증설 예정으로, 병커 C유만으로도 발전소 운영이 가능하기 때문에 실제로 저압가스 공급라인 계통이 의미가 희박해진다.

본 연구에서는, 저압가스 공급이 중단될 경우, 이에 대한 대처방안 모색을 위하여 기지내 저압가스 공급라인 및 BOG 재액화기 운전조건 변경에 따른 공정개선점을 도출하고, 이에 따른 에너지 절감효과를 분석하였다. 분석은 공정해석용 전문 시뮬레이터인 ASPEN PLUS(ver.10.1)를 사용하였고, 입력자료는 기준설정을 위해 유량은 정격사양을 입력하였으며, 단 온도 및 압력 등의 운전조건은 정격조건이 아닌, 실제 운전 조건을 기준으로 하였다.

2. 운전조건 변경에 따른 공정 개선안

기존 공정에 대한 운전조건은 저장탱크에서 발생된 BOG는 약 -120℃, 0.15 kg/cm²g로 BOG 압축기에 인입되어 약 8.8 kg/cm²g로 압축된다. BOG 압축기는 총 5기(2000년 1기 증설하여 총 6기이나, 본 분석에서는 제외함)로 2단 수직 왕복동식이며, 대당 정격유량은 12,000 Nm³/h이다. (주)서울냉열에 공급된 LNG는 냉열 공급후 기화상태로 회송되어 BOG 압축기 토출 라인에 공급되는데, 최대 회수유량은 27.5T/h이며, 상태량은 약 6~30℃, 9.8 kg/cm²g이다.

압축된 BOG와 (주)서울냉열 회송가스는 8.5 kg/cm²g로 삼천리 도시가스(해군기지, 기아자동차 등) 및 평택화력발전소에 직공급된다. 해수 저압기화기는 삼천리도시가스 및 평택화력발전소 공급가스의 압력 및 열량 보정용으로 LNG를 기

화하여 공급하는 역할을 담당하는데 총 3기로 기화열원은 해수를 사용하며, LNG 정격 기화용량은 해수온도 8.5℃ 이상에서 대당 90/h로 해수공급량은 4,500T/h이다. 앞에서 언급하였듯이, BOG 및 (주)서울냉열 회송가스 잔여량은 BOG 재액화기 내에서 LNG 1차펌프에서 토출된 LNG(약 -155℃, 14.5kg/cm²g)와 혼합되면서 액화된다. 이때 BOG 재액화기에 인입되는 가스는 약 15~40℃, 8.8kg/cm²g의 상태량을 보인다. 재액화 처리능력은 최대 60T/h이며, 이때 요구되어 지는 LNG의 양은 일반적으로 660T/h으로 BOG 대 LNG의 질량 혼합비는 1:11이다. BOG 재액화기의 운전압력은 8.5 kg/cm²g이다.

재액화기를 거친 LNG는 LNG 1차펌프에서 토출되어 LNG 2차펌프로 향하는 라인과 합류하여 2차펌프에 공급된다. 여기에서 재액화기에서 토출된 LNG의 압력(8.5kg/cm²g)과 단순히 LNG 일차펌프에서 토출되어 2차펌프로 향하는 LNG의 압력(약 14.5kg/cm²g)과는 차이가 발생하므로 재액화기에서 토출된 LNG는 우선 LNG 승압펌프에서 승압된 후, LNG 라인과 합류하게 된다. LNG 승압 펌프는 원심 잠액식으로서 총 3기이며, 승압펌프의 LNG 정격 용량은 모두 920 m³/h로서 ΔP는 14.6 kg/cm²이다.

이에 반해 운전조건 변경에 따른 공정 개선으로서 그림 2에서와 같이 삼천리 도시가스 및 평택화력발전소 공급라인을 통한 저압가스 송출이 중단된다는 전제 하에서 BOG 및 (주)서울냉열 회송가스는 BOG 재액화기에서 전량 재액화 시킨다. 이때 BOG 재액화기의 운전압력은 현재의 8.5 kg/cm²g에서 6 kg/cm²g로 낮춘다. BOG 압축기 및 재액화기의 운전압력은 삼천리 도시가스 및 평택화력발전소 공급압력에 의해 정해진 것이므로 공급이 중단될 경우 그 운전압력을 유지하여 운전할 필요는 없다. BOG 재액화기 압력을 낮출 경우, BOG 압축기의 토출압(8.8 kg/cm²g)도 6 kg/cm²g으로 (실운전 DATA 분석시 BOG 압축기 ↔ BOG 재액화기 라인에서의 배관 압력강하는 무시할 수 있다.) 낮출 수 있어 BOG 압축기의 인입 전력비용을 감소시킬 수 있다. 여기서, (주)서울냉열 회송가스의 압력은 9.8 kg/cm²g이기 때문에 BOG 재액화기 운전압력인 6 kg/cm²g로 압력강하를 시켜야 하는데 이는 현재 설치되어 있는 콘트롤 밸브로서 조절 가능하다. 또한 BOG 압축기의 토출 압력 변경은 기기의 개조 또는 신설 없이 현 기기의 운전압력 셋팅 포인트 조절 만으로서도 가능하다.

평택화력발전소에서 부정기적으로나마 연료로 천연가스 공급을 요구할 경우, (이는 현재 한국전력의 요청사항이다.) 해수 저압기를 이용하여 필요시 공급할 수 있다. BOG 재액화기의 운전압력을 6kg/cm²g로 분석한 이유와 이에 따른 운전비용 절감효과 분석은 뒤에 언급한다.

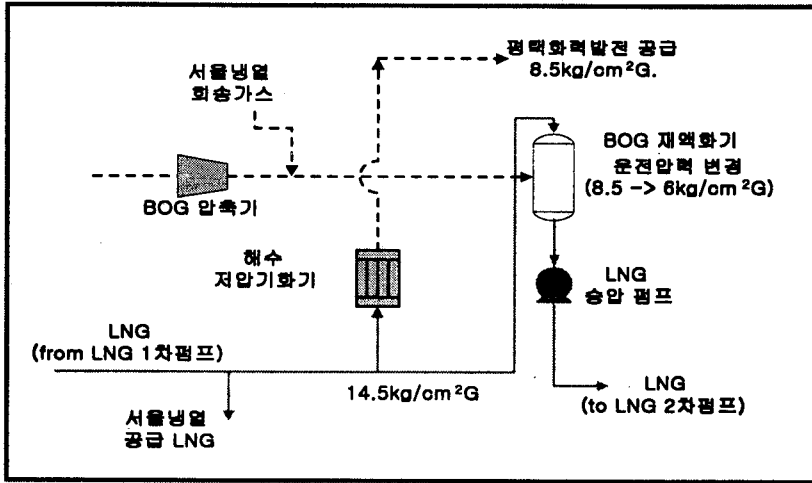


그림 2. 운전조건 변경에 따른 공정 개선도

3. 공정 개선안 분석 및 경제성 효과 분석

공정 개선안 분석은 공정해석 전용 시뮬레이터인 ASPEN PLUS를 이용하여, 위 그림 2의 BOG 압축기 및 재액화기 운전압력 변경에 따른 공정영향을 모사 및 분석하였다. ASPEN PLUS는 광범위한 산업현장 분야에서 단순한 공정으로부터 전체 공정에 이르기까지 넓은 영역에서 공정분석이 가능할 수 있도록 물성 라이브러리와 단위 조작 모델을 이용하는 툴로서 그 정확성 및 신뢰성은 이미 세계적으로 관련분야에서 검증되었다.

분석에 사용된 LNG 및 BOG의 조성은 아래 표. 1과 같이 현 LNG 기지 조건을 가장 잘 대표하는 조성을 이용하였다. 이때 사용된 LNG의 비중은 0.455이다.

표 1. LNG 및 BOG 조성 (Mole %)

composition	L N G	B O G
Methane	89.26	99.64
Ethane	8.64	0.02
Propane	1.44	-
iso-Butane	0.27	-
n-Butane	0.35	-
iso-Pentane	-	-
n-Pentane	-	-
Nitrogen	0.04	0.34
Carbon dioxide	-	-

BOG 재액화기 운전압력 변경에 대한 공정분석을 우선 실시하였다. 재액화기 내 인입 BOG유량은 재액화기 정격유량인 60T/h 과 이 중 (주) 서울냉열 회송가스는 최대 유량인 27.5T/h을 포함하는 양을 기준으로 분석하였다. BOG 재액화기 운전압력 변화시 가장 중요한 점은 현 운전에서와 같은 LNG 대 BOG(이하 (주) 서울냉열 회송가스 포함)의 동일 질량 혼합비인 11:1을 적용하였을 때 재액화기 토출온도의 변화이다. 재액화된 LNG는 결국 고압펌프인 LNG 2차 펌프 (토출압력 80 kg/cm²g)로 인입되는데, 인입되는 LNG의 토출 온도가 높을 경우 펌프 내에서 동공화(Cavitation) 현상이 발생할 우려가 있기 때문이다. 현 LNG 2차 펌프의 인입온도가 -120℃ 이상일 경우 펌프는 정지되며, 현장 운전에 있어서 BOG 재액화기의 토출 온도가 최대 -127℃ 이하가 되어야 공정한전상 문제가 없다고 한다.

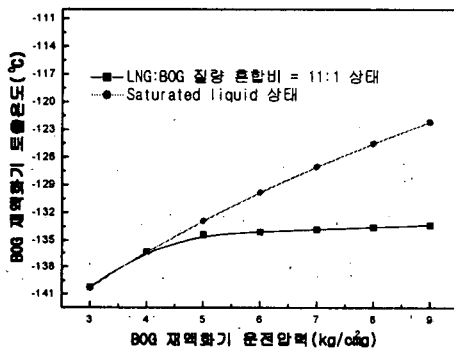


그림 3. BOG 재액화기 운전압력 변경에 따른 토출온도 변화

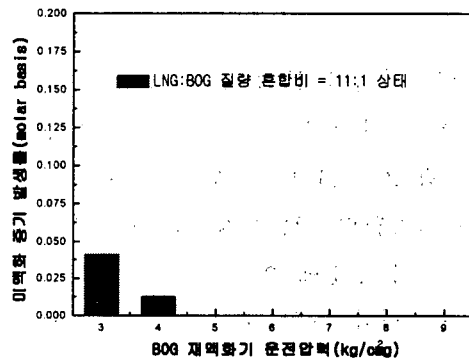


그림 4. BOG 재액화기 운전압력 변경에 따른 미액화 증기 발생률

그림 3은 BOG 재액화기 각각의 운전압력 범위에서 BOG를 100% 재액화시키기 위해 혼합시키는 최소한의 LNG 투입상태 즉, BOG가 포화액(Saturated liquid) 상태로 재액화 된 경우와 현 운전에서의 LNG : BOG의 질량 혼합비 11:1인 경우의 재액화기 토출온도를 보여주고 있다. 그림에서 질량 혼합비 11:1의 토출 온도가 포화액 상태보다 낮은 운전압력에서는 과냉 상태(Subcooled state)임을 알 수 있다. 질량 혼합비가 11:1인 과냉 영역의 운전압력은 5~9 kg/cm²g로 이때 토출온도 범위는 -134.4~-133.3℃로 거의 비슷한 온도 분포를 보인다. 따라서, 이 운전압력 범위에서는 LNG 2차펌프에 공동화 현상을 발생시키지는 않는다.

그러나 그림 4와 같이 운전압력이 4 kg/cm²g 이하일 경우 질량 혼합비 11:1이

라도 압력저하에 기인하여, BOG를 100% 재액화 시키지 못하여, 미액화 증기가 발생되어 공정상 펌프로 유입되는 위험을 초래한다. 따라서, 미액화 증기가 발생하지 않는 과냉 영역 상태 하에서 운전압력을 현재의 운전조건인 $8.5 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 에서 $6 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 로 조절한다면, 공정상의 문제를 유발하지 않고, 질량 혼합비의 변경 없이 공정운영이 가능하다. BOG 재액화기 운전압력을 $6 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 를 낮출 경우 BOG 압축기의 토출압 또한 현재의 $8.8 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 에서 $6 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 로 낮출 수 있어 BOG 압축기의 인입 전력비용을 감소시킬 수 있다. 그림 5.는 평택 2000년 BOG 압축기에 대한 총 가동시간을 나타내고 있다. 이 가동시간을 기준으로 하여 BOG 압축기의 토출 압력을 $6 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 적용하였을 경우 현재의 토출압 조건과 비교하면 압축기의 전력비용은 상당히 절감될 것으로 분석된다.

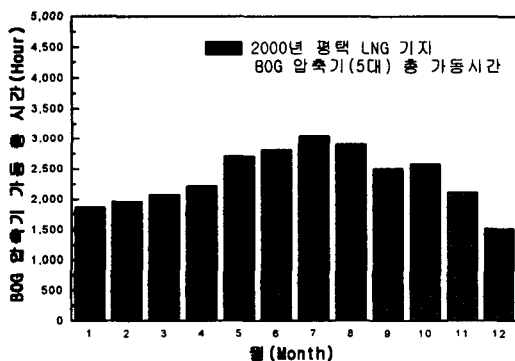


그림 5. BOG 압축기 총 가동시간

4. 결론

본 연구는 평택 LNG 기지의 삼천리 도시가스 및 평택 화력발전소 공급라인을 통한 저압가스 송출이 중단될 경우, 이에 대한 대처방안 모색을 위하여 기지내 저압가스 공급라인 및 BOG 재액화 시스템 운전조건 변경에 따른, 공정 개선점을 도출하고 이에 따른 운전비용 절감효과를 분석하였다.

저압가스 송출라인 및 BOG 재액화기 운전압력 변경시, 기지 공정운영상 아무런 문제점이 없고, 평택화력발전소에서 천연가스 공급을 부정기적으로 요구할 경우라도 공급 가능한 시스템 구성을 갖는다. 또한, 이에 따른 공정운전 에너지 비용이 상당히 절감될 것으로 보여진다.

참고문헌

1. 한국가스공사 평택생산기지, "운전지침서(프로세스설비, A권)", 1997
2. 한국가스공사 평택생산기지, "운전지침서(2차 확장 설비)", 1998
3. 한국가스공사 평택생산기지 "2000년 운전 기록 자료" 2000
4. Tractebel engineerig International, Pyongtaek LNG terminal-Recondensing system Technical note, 1997
5. Warren L. McCabe, "Unit Operations of Chemical Engineering", 5th ed., McGraw-Hill,1995
6. Aspen Tech. Inc., Aspen Plus User Guide vol. 1,2,3 ver. 10.1, 1999
7. Aspen Tech. Inc., Aspen Plus Unit Operation models, ver 10.1, 1999
8. Aspen Tech. Inc., Aspen Plus Physical property data, ver 10.1, 1999