

LNG 냉열이용 LCO₂ 생산공장 설비사례

중전의 CO₂공장의 액화탄산의 정제 및 액화하는 냉각설비는 암모니아 냉매를 사용하는 냉동설비를 LNG의 기화열을 이용한 설비를 소개하고자 한다.

액화탄산(Liquid CO₂) 제조공정

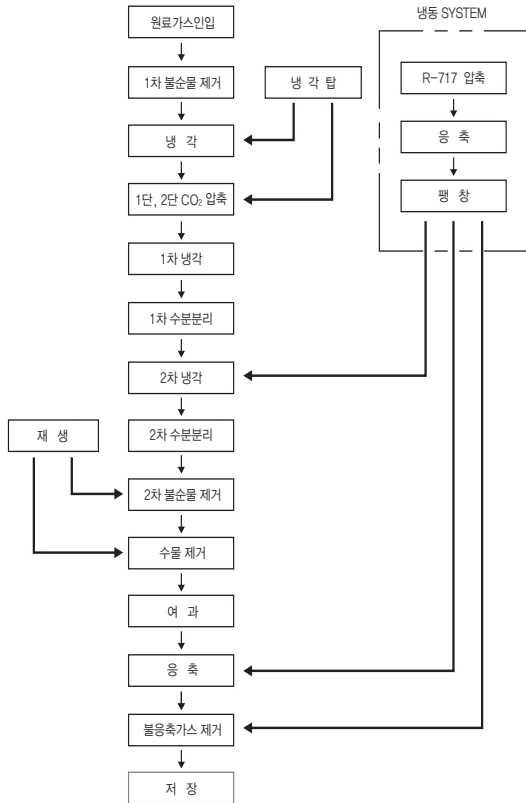
석유화학, 비료, 주정공장 등에서 발생하는 부산물인 탄산가스(CO₂)를 공급받아 고순도의 액체탄산가스를 정제 및 액화하여 산업용, 식음료, 화훼재배용 등으로 사용되며, 최근 초고순도로 정제 제조하여 반도체세정용으로 영역을 확장하고 있다.

LCO₂(액화탄산가스) 생산공장은 원료가스의 순도 98% 이상으로 0.1 bar~0.3 bar로 인입이 되어야 채산성이 가능하다. 이를 99.95% 이상의 LCO₂로 생산하여 공급하게 되는데 필요에 따라 99.99% 이상으로도 정제 액화하게 된다.

초고순도의 LCO₂라도 사용처에 따라 가스에 포함된 불순물의 포함 여부에 따라 사용이 안 될 수 있기 때문에 판매계획에 맞추어 설비를 구성하는 것이 매우 중요하다. 그림 1은 일반적인 LCO₂ 생산 공정에 필요한 냉각공정을 나타내었다.

1차 불순물 제거

CO₂ 원료가스의 경우 불순물이 많이 포함되어 있는 경우가 있다.



[그림 1] LCO₂ 생산 공정

원료가스 중에 포함된 수용성 불순물 가스를 제거하기 위해 수세식 세정장치를 설치하여 불순물을 제거하게 된다. 원료가스의 조성과 사용 목적에 따라 수세식 세정장치를 설치할 수 있다. 수세식 세정장치를 거친 가스는 원료가스 분리드럼에서 탄산가스를 정류하여 세척 및 탈취를 위해 수세식 세정장치에서 수세할 때 포함된 수분을 일부 제거하게 된다.

압축전 원료가스의 냉각

원료가스의 1차 불순물 제거 시에 원료가스는 온도상승 및 수분이 다량 포함되게 된다. 냉각기를 통해 냉각 및 수분분리를 해주어야 한다. 또한, 탄산가스 압축기에서의 흡입가스 온도는 낮을수록

압축기의 능력이 좋아진다.

예냉기를 설치하여 탄산가스의 냉각온도는 5℃~8℃ 유지 운전되도록 되어있다. 탄산가스 예냉기를 운영함에 있어 원료가스 내의 포화된 수증기를 응축하여 다음에 장착된 가스분리기에서 수분을 분리하게 하고 원료가스 온도를 낮추어 순수한 탄산가스를 압축기에서 압축하도록 하고 체적당 비중을 높여 높은 비중의 원료가스를 압축기에 이송되도록 한다. 열교환기의 냉매는 암모니아(R-717)를 이용한다.

탄산가스 압축기

탄산가스 압축기는 탄산가스의 응축열을 올리며 낮은 압력에서 응축되도록 하는 역할을 하며 압축기는 체적의 일을 하는 장치이므로 어떠한 경우라도 체적은 변동치 않아야 한다. 탄산가스 압축기는 2단을 사용하게 되며, 흡입가스의 압력은, 흡입가스 온도는 10℃~15℃로 1단 측으로 압축하여 약 7 bar 이상, 110℃~125℃에서 토출하게 된다. 토출된 가스는 중간냉각기를 통해 40℃~45℃로 냉각후 2단 측으로 인입, 압축하여 150℃~160℃이며, 이때의 토출설계 운전압력은 20 bar~23 bar 가 될 수도 있다. 통상적인 설계압력은 22 bar로 되어 있다. 중간냉각기 및 CO₂ 압축기의 냉각은 32℃의 냉각수로 한다.

1차 냉각

150℃~160℃의 탄산가스를 열교환기로 냉각수에 의해 35℃~40℃로 냉각하여 탄산가스에 포함된 수분을 응축시켜 수분분리장치로 분리하며, 분리된 수분은 외부로 방출하게 한다.

2차 냉각

35℃~40℃로 1차 냉각된 탄산가스를 최종열교환으로 5℃~10℃로 냉각하여 일부 잠재된 수분

을 응축하여 수분분리장치를 통해 외부로 방출한다. 이때 열교환기의 냉각 열원은 암모니아를 이용하여 냉각한다.

2차 불순물 제거

1차, 2차 냉각 후 분리된 탄산가스에는 불순물 가스가 존재하게 된다. 원료가스의 조성 및 사용목적에 맞게 제거하여야 한다.

사용목적과 불순물에 따라 정화장치를 여러 대 설치하며, 충전재를 선정, 적용하여야 한다. 충전재는 재사용하기 위해 2 Cycle로 설계되어 있다.

수분 제거

정화장치를 통해 원료가스가 가지고 있는 불순물을 제거 후 드라이어를 통해 수분함량을 20~15 PPM 이하의 탄산가스를 만들어 준다.

재생온도는 250℃로 하고 운전 및 재생은 24시간마다 1회씩 교번으로 하며, 2 Cycle로 이루어져 있다. CO₂의 함유된 수분을 분석기를 통해 모니터링을 하며, 연장 재생한다.

여과

여과기 내부충전재인 카본 및 드라이기의 알루미나겔이 이후 공정에 넘어가지 못하게 충전재의 찌꺼기를 필터를 설치하여 제거한다. 교체운전이 가능하도록 설치한다.

응축 및 불응축가스의 제거

불순물과 수분이 제거된 탄산가스는 리보일러(RE-BOILER)로 인입되어, 동체부분의 액체탄산과 열교환하게 된다. 동체부분에 체류하고 있는 액체탄산은 따뜻한 탄산가스와 열교환하여 끓게 된다. 이때 액체탄산이 포함되어 있는 일부 불순물과 불응축가스를 기화시켜준다.

기화된 탄산가스는 가스분리기로 보내주며, 리

보일러 내부의 열교환 튜브내에 흐르는 탄산가스는 -5℃~-10℃로 냉각되어 응축기로 보내주게 된다.

유입된 가스는 압력 22 kg/cm²에서 -25℃ 이하의 R-717에 의하여 냉각응축되어 액화된 액체탄산은 가스분리기에서 분사된다.

가스분리기에서는 증발된 불응축성 가스를 포함한 탄산가스를 액체탄산으로 재응축시키고, 응축되지 않은 탄산가스와 불응축가스는 벤트 콘덴서로 올라간다. 가스분리기에서 유입된 응축되지 않은 탄산가스를 회수하기 위해 불응축가스와 기화된 탄산가스를 R-717로 냉각시켜 액체탄산으로 응축하여 하부로 보내고, 불응축가스는 상부 압력 컨트롤밸브에서 불순물 및 불응축가스를 대기로 방출하여 액체탄산의 순도를 99.95% 이상으로 상승시키고 CO₂ 가스를 응축, 회수함으로써 회수율을 높여준다.

액체탄산(Liquid CO₂) 제조공정에 필요한 냉각설비의 용량

액체탄산 제조공정에 필요한 냉각설비는 고온층의 냉각을 위한 냉각수 설비와 탄산가스의 2차 냉각 및 응축에 필요한 암모니아 냉동설비로 크게 2가지로 되어 있다.

원료가스 냉각기와 탄산가스 압축기의 오일냉각, 자켓냉각, 중간냉각의 냉각, 압축된 탄산가스의 1차 냉각에는 냉각탑에서 제조된 냉각수로 냉각을 하며, 최종탄산가스 냉각기와 탄산가스 응축기는 암모니아 냉동설비로 냉각하게 된다.

1일 200 Ton의 액체탄산 제조공정에 필요한 총 냉각설비 및 냉동설비의 동력은 원료가스의 상태에 따라 다소 달라질 수 있으나 개략적인 용량과 동력은 표 1과 같으며 LCO₂ 제조에 필요한 총 동력은 1,605 kW로 냉각설비의 동력은 47.6%로 큰 비중을 차지한다.

〈표 1〉 LCO₂의 1일 200 Ton 생산에 필요한 냉각설비의 용량

구분	필요열량 (kcal/h)	소요동력 (kW)	비고
CO ₂ 제조설비		840 kW	CO ₂ 압축기, 등
냉각수 설비 (Cooling Water)	1,170,000 kcal/h	75 kW	
냉동 설비 (R-717)	856,000 kcal/h	690 kW	
합계		1,605 kW	

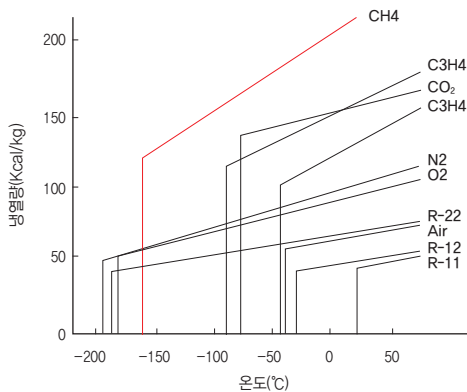
LNG의 이용가능 열원

액화천연가스(LNG)가 보유하고 있는 냉열은 가스의 성분에 따라 다르나, -160℃ 전후의 비점에서의 잠열과 기화 시에 발생하는 현열을 합한 크기를 가지고 있다.

LNG가 다른 가스가 가지고 있는 냉열량을 보면 전열(잠열+현열)이 **그림 2**와 같이 다른 가스에 비해 높으며, 보유하고 있는 온도 또한 낮은 것을 볼 수 있다.

LNG의 냉열량은 증발잠열이 약 120 kcal/h, 현열량은 -160℃→0℃까지 약 100 kcal/h로 전열량은 약 220 kcal/h가 된다.

LNG 터미널에서 LNG 이송펌프의 용량이 약 100 Ton/h일 때 22,000 Mcal/h의 냉열을 사용할 수



〈그림 2〉 천연가스 성분 및 냉매가 보유한 냉열량

있다.

P사의 LNG 터미널에서 공급되는 LNG의 온도는 -140℃이며, 5℃의 NG로 기화하여 보내주게 되며, 이용 가능한 최대 용량은 100 Ton/h이다. 이를 냉열량으로 볼 때 20,000 Mcal/h를 사용할 수 있으며, 이를 LCO₂ 공정으로 볼 때 1일 약 2,800 Ton을 처리할 수 있는 용량이다.

-160℃ 이하의 LNG와 열교환하여 CO₂를 냉각, 응축시킬 냉열체의 선택 시 반드시 동결 및 드라이 포인트를 검토하여야 한다.

LNG 냉열이용 LCO₂ 제조 설비 사례

LNG의 냉열을 이용하여 LCO₂를 제조하는 공정은 입지조건이 매우 까다롭다. 우선 제조에 필요한 원료인 CO₂가 풍부하여야 하며, 반드시 LNG가 필요하다. 국내의 이러한 입지조건을 가지고 있는 천연가스 발전소가 있으나, 천연가스 발전기에서 배출되는 배기가스에 포함된 CO₂의 농도는 85% 정도로 채산성이 매우 낮다.

P사에서 국내에 건설 중인 SNG(합성천연가스) 공장에서는 SNG 합성화 공정 중에 부산물로 98% 이상의 CO₂가 대량 생산이 된다. 이를 전량 대기로 방출되기 때문에 환경적으로 좋지 않으며, 배출에

〈표 2〉 사업개요

사업장명	CO ₂ 공장 신축공사
사업장주소	광양 SNG PLANT 內
면적개요	총면적 : 13,000 m ² (100 Mx130 m)/약 4,000평 1. 기계실동 : 783 m ² (철골구조) 2. 플랜트 구조 : 468 m ² x3층(철골구조) 3. 사무동 : 162 m ² (경량철 구조물) 4. 공작물(저장탱크) : 700 Tonx2조
사업내용	포스코 SNG Plant에서 발생되는 CO ₂ 가스를 포집, 정제하여 고순도의 액체탄산을 제조하며, 1일 생산량은 400 Ton으로 연간 146,000 Ton을 제조하는 시설임.

따른 비용도 많다.

LCO₂공장을 SNG 사업부지 내에 설치하여, SNG 공정중 발생하는 CO₂를 일부 처리하도록 하였으며, LNG 터미널에는 LNG를 공급하여 CO₂ 제조공정의 냉각열을 이용함으로써 에너지 절감을 도모하도록 하였다(표 2).

CO₂ 압축기의 적용

LNG -140℃ 이하의 냉열을 이용하면 탄산가스의 응축압력을 낮출 수 있다.

일반적인 탄산가스 액화 시에는 20 bar 이상에서 -20℃ 이하에서 응축을 하지만 LNG를 이용하면 응축에 필요한 냉각매체를 낮게 유지할 수 있기 때문에 10 bar 이하 -40℃ 이하 응축할 수가 있으며, 그림 3과 같다.

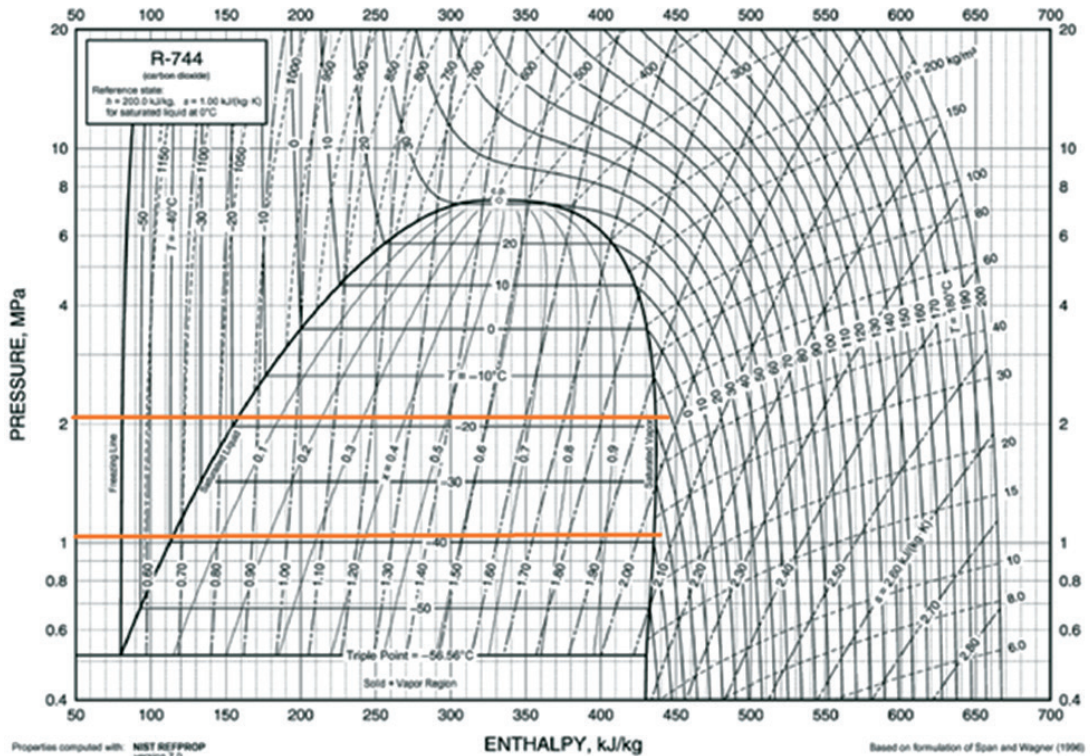
〈표 3〉 액체탄산의 1일 200 Ton 생산에 필요한 CO₂ 압축기 소비전력

구 분	응축압력	응축온도	소요동력
기존방식	20 bar 이상	-20℃ 이하	750 kW
LNG 이용방식	10 bar 이하	-40℃ 이상	600 kW

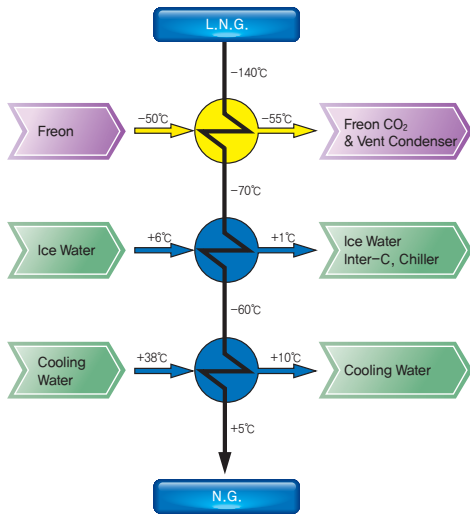
액화탄산 공정중 냉각공정을 제외한 설비동력중에 가장 큰 비중을 차지하는 CO₂ 압축기는 1일 200 Ton을 기준으로 하여 약 150 kW의 동력이 절감이 되며, 이는 압축기만 기준으로 할 때 20%의 큰 비중을 차지한다(표 3).

냉각설비의 적용

기본적인 액화탄산을 제조하는 공정은 동일하다. LNG를 이용하면 종전의 냉각 및 탄산가스 응축



[그림 3] Pressure Enthalpy Diagram for Refrigerant 744(Carbon Dioxide)



[그림 4] LNG의 냉열이용 흐름도

에 필요한 냉동시설은 필요하지 않지만, LNG의 냉열을 냉각공정에 적용하기 위한 시설은 필요하다.

LCO₂ 제조에 필요한 냉열원은 크게 고온부와 저온부로 나누어져 있기 때문에 LNG가 가지고 있는 각 온도 포인트를 검토하는 것이 매우 중요하다.

따라서 고온부는 냉수 및 냉각수를 제조하여 냉각하고, 저온부는 프레온 냉매를 제조하여 냉각

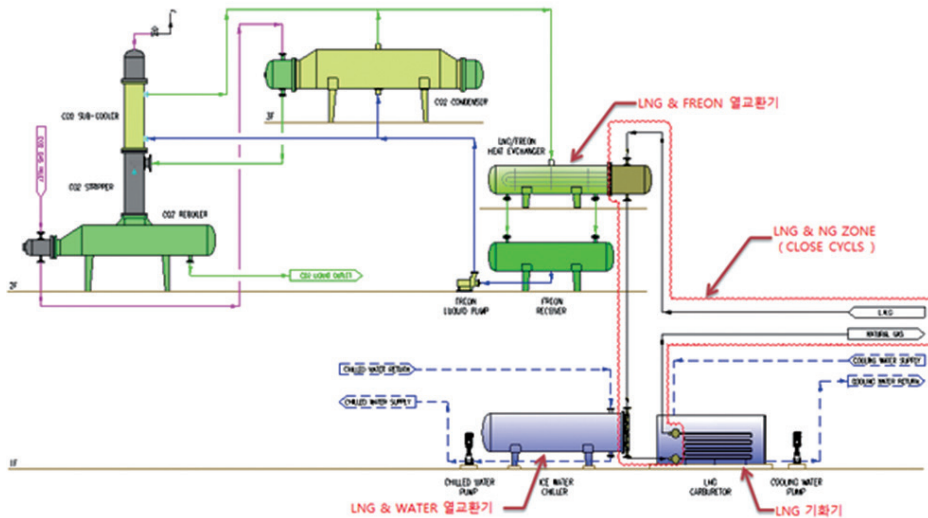
하는 방식이 LNG가 가지고 있는 총 냉열을 사용하는 방법으로 바람직하다.

-140°C의 LNG를 1차 열교환기를 통해 프레온을 -55°C로 냉각하며, 프레온 펌프를 통해 CO₂ 응축에 필요한 장비인 CO₂ 콘덴서 및 벤트 콘덴서에 사용하게 하며, -70°C의 LNG로 1°C~2°C 냉수를 제조하여, 고온부측의 냉각을 담당하게 한다. 1, 2차 냉열을 사용한 LNG를 최종적으로 냉각수를 제조하여 탄산가스 압축기의 냉각을 담당하게 하면, LNG가 가지고 있는 냉열을 모두 사용할 수 있게 되며, LNG의 적은 유량으로도 최대의 효과를 볼 수 있다.

기존의 암모니아 또는 냉각수 제조에 필요한 소요동력이 765 kW의 설비 자체가 LNG로 대체되기 때문에 이에 필요한 설비는 필요하지 않게 되나, 냉열체인 프레온, 냉수, 냉각수 등의 순환하기 위한 설비가 필요하다(그림 4, 그림 5).

초기투자비 및 운전비의 비교

LNG 냉열을 이용하게 되면, 동일제조능력을 기준으로 탄산가스 압축기 동력을 20% 줄일 수 있으



[그림 5] LNG이용 계획도



〈표 4〉 LCO₂의 1일 200Ton 생산에 동력비 및 설비비의 비교

구 분	LNG 이용방식	기존방식	비 고
CO ₂ 동력	690 kW	840 kW	
냉각설비 동력	128 kW	765 kW	
동력계	818 kW	1,605 kW	
동력비	약 670백만 원/년	약 1,300만 원/년	
냉각 설비비	약 1,200백만 원	약 3,260백만 원	

며, 냉각설비의 경우 기존설비동력에 비해 17%정도로 운전비가 매우 저렴하여 생산원가를 줄일 수 있다. 그러나 LNG의 시설비 자체가 매우 고가이며, 초저온의 설비에 따른 제조설비의 제작비가 기존시설에 비해 20% 정도 비싸다.

관리비 측면에서도 설비 자체의 유지관리비는 적게 드나, 관리에 필요한 인력에 대한 부분은 기존 시설에 비해 법적요건과 고도화 시설에 따른 전문 인력이 필요하기 때문에 관리비가 상대적으로 많이 들어간다. 표 4 LCO₂의 1일 200 Ton 생산에 동력비와 그에 따른 비용을 비교하였을 때 전체 동력은 1,605 kW 대비 818 kW로 약 50% 수준이며, 연간 전력비 또한 50% 수준이다.

〈표 5〉 국외 LNG 이용사례

구 분	지다탄산(주)	동경탄산(주)
		
설립년도	1981년 6월(1982년 7월)	1984년 4월(1983년 7월 생산)
1일 생산량	288 Ton/Day (액탄 : 200 T/D, 드라이아이스 : 88 T/D)	158 Ton/Day (액탄 : 86 T/D, 드라이아이스 : 72 T/D)
LNG 사용량	10.5 Ton/h	6.0 Ton/h
LNG 온도	IN : -162°C/OUT : +5°C	IN : -162°C/OUT : +5°C
LNG 압력	-	IN : 3.0 MPa/OUT : 2.0 MPa
LNG 열교환 시설위치	LNG 기지에서 FREON(R-23)을 냉각해서 공급	동경탄산 내에서 FREON(R-23)을 냉각

CO₂ 측 설비비가 기존방식에 비해 20%의 비용 증가분을 제외하고도 냉각측의 설비비가 2,045백만 원이 더 들어간다. 그러나 LCC(Life Cycle Cost)를 고려해본다면 초기투자비용은 약 20억이 더 소요되나, 전력비가 연간 약 6억이 절감되며, 약 3.5년이면 회수가 가능하다. 물론 유지관리비용과 초기투자비의 증가로 인한 금융비용을 감안한다면 약 5년 이내에 회수가 가능하리라고 볼 수 있다.

LNG 이용 사례

국내에 LCO₂ 제조공장의 LNG의 냉열을 이용한 시설은 전무하다. LNG 평택기지 내에 LNG이용 시설이 있을 정도이다. 외국의 경우에는 40년 전부터 LNG의 냉열을 이용한 공기분리 플랜트, 석유화학, 냉동창고, LCO₂ 제조공장 등에 폭넓게 활용되고 있다(표 5).

결 언

환경 문제는 21세기에 대두되고 있는 문제 중

의 하나로 탄산가스 배출에 대한 국제 협약에 따라 탄산가스의 배출권을 사고파는 시장이 형성되어 있을 정도로 큰 이슈이며, 우리나라의 경우 2008년 기준으로 탄산가스 배출량 기준 7위로 연간 6억 6만 6천톤으로 그 양이 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 대기환경의 주범인 탄산가스의 처리는 반드시 이루어져야 한다. 또한, 탄산가스를 액화 처리함에 있어 많은 에너지를 필요로 하며, 이 에너지를 만들기 위해 다량의 탄산가스가 발생하는 악순환이 되고 있다.

LNG의 냉열을 이용함으로써 막대한 에너지를 절약할 수 있는 시스템의 개발과 적용은 반드시 이루어져야 하며, 국가 발전을 위해서 액체탄산 제조 이외의 LNG의 냉열을 이용한 시설을 개발하여 국가 에너지 발전을 배가하고 녹색성장의 주역이 되도록 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. ASHRAE HAND BOOK 2009 Fundamentals. 