

# LNG 냉열발전의 원리와 운전

역/대한전기기사협회

## 1. LNG 냉열의 이용

세계 각지에서 산출된 천연가스는 대량 수송을 용이하게 하기 위해 액화하여  $-162[^\circ\text{C}]$ 의 LNG로 하는 과정에서 천연가스가 갖는 에너지의 약 10%가 소비되며 이 일부가 냉열 에너지로서 축적된다. LNG를 연료로서 사용하려면 소비지에서 상온의 천연가스로 재기화하여야 하는데, LNG 냉열이란 그때  $-162[^\circ\text{C}]$ 의 LNG가 상온의 천연가스가 될 때까지 흡수할 수 있는 에너지(약  $200[\text{kcal/kg}]$ , 대기압)이다.

현재 LNG 인수기지의 재기화방법은 거의 해수에 의한 단순가열방식을 채용하고 있기 때문에 LNG가 보유하는 냉열 에너지는 이용되지 않고 헛되게 바다에 버려지고 있다. LNG 수요의 증가에 따라 이 냉열 에너지의 이용에 대해서 여러 방면에서 많은 검토가 이루어지고 있으며, 각종 이용방법이 연구되고 있다<표 1 참조>.

이 중에서 현재 실용중이거나 기술개발중인 주된 것으로,  $0[^\circ\text{C}]$  부근에서의 냉방이나 냉동식 해수 담수화,  $-20[^\circ\text{C}]$ 부터  $-50[^\circ\text{C}]$  부근에서의 냉동창고나 식품 동결,  $-100[^\circ\text{C}]$  부근에서의 폐기물 처리,  $-150[^\circ\text{C}]$  부근 이하에서의 액체질소, 액체산소 제조의 공기분리를 들 수 있다. 이것들에 사용되는 LNG는 전체의 사용량으로 볼 때 극히 소량이다.

한편, LNG 냉열발전은 폭넓은 온도범위에 걸쳐

<표 1> 각종 냉열이용방법

액화가스의 비점	저온이용 프로세스
아유산가스 $-10^\circ\text{C}$	$-0^\circ\text{C}$ 공조 냉방 배연에서의 조수 레저시설 제빙 해수담수화 오니(汚泥)처리 동결공법 식품의 냉동보존·수송 암모니아 제조에서의 냉각 분리 윤활유제조
암모니아 $-33.6^\circ\text{C}$	$-50^\circ\text{C}$ 식품류 동결·건조
프롤로그 $-40.8^\circ\text{C}$	식품동결
프로판 $-44.5^\circ\text{C}$	플라스틱의 저온분쇄 액화탄소가스 드라이아이스제조
탄소가스 $-78.9^\circ\text{C}$	
에틸렌 $-104^\circ\text{C}$	$-100^\circ\text{C}$ 에틸렌제조공정에서의 에탄심냉 분리 타이어(고무)의 저온파·분쇄
	$-150^\circ\text{C}$ 금속스크랩의 저온파·분쇄 동 력이용
LNG메탄 $-162^\circ\text{C}$	원자력폐기물처리
산소 $-183^\circ\text{C}$	혈액 균주 정액의 저온보존
질소 $-196^\circ\text{C}$	저온캐비틀
	$-200^\circ\text{C}$ 액체산소·질소제조
네온 $-246^\circ\text{C}$	수소의 액화, 저장, 수송
수소 $-253^\circ\text{C}$	초전도현상의 이용
헬륨 $-269^\circ\text{C}$	$-273^\circ\text{C}$ 헬륨의 액화, 저장, 수송

냉열을 이용할 수가 있다. 또, LNG 기화량의 변동에 대한 추종성이 양호하고 일정유량 운전이 필요한 공기분리나 냉동창고 등에 비해 화력발전소 부하 등의 변동, 즉 LNG 유량에 항상 적응할 수가 있다. 또한 수급의 밸런스면으로도 아무런 제약이 없기 때문에 전기사업자에게 있어서는 가장 적합한 냉열이용방법이라고 생각된다.

## 2 냉열발전의 원리

열을 동력으로 바꾸는 기관에는 열의 공급원(고열원)과 열의 배출선(저온원)이 필요하다.

화력발전의 증기터빈 플랜트나 자동차 엔진 등의 일반 열기관은 연료의 연소가스를 고온원으로 하고, 주위의 자연환경을 저온원으로 하고 있다.

냉열발전이란 LNG를 화력발전소 등의 연료로서 기화하는 동시에 그 냉열을 동력형으로 회수하고 상온의 천연가스로서 송출하는 것이다. 즉, 상온인 해수 등의 자연환경 또는 연료의 연소가스를 고온원으로 하고 LNG를 저온원으로 하는 열기관에 의한 것으로서, 고온원으로부터의 열 중에서 동력으로 회수되지 않은 것은 LNG의 기화열로 사용된다. 또, 고온원으로서 자연환경만을 이용한 경우 연료는 일절 소비하지 않게 된다 <그림 1 참조>.

이 열기관에 의해 LNG에 축적되는 냉열 약 200 [kcal/kg]의 20~35[%], 즉 40~70[kcal/kg]을 전기 에너지로서 회수할 수가 있다. 바꾸어 말하면 LNG 1톤당 45~80[kWh]의 발전이 가능하며, 이것은 기화한 같은 양의 천연가스에 의한 화력발전소

출력의 1[%] 전후에 상당한다.

## 3 냉열발전의 종류

냉열발전방식에 대해서는 내외의 많은 기업과 대학 등에서 여러가지의 것이 제안되고 있다. 사이클의 작동매체는 다르지만 화력발전소와 동일한 랭킹 사이클을 사용하는 방법과 가스터빈 엔진과 동일한 브레튼 사이클을 사용하는 방식이 주된 것이다<표 2 참조>.

### (1) 직접팽창방식

직접팽창방식은 LNG를 사이클의 작동유체로 하는 방식으로, 가압한 LNG를 기화기에 의해 해수 등을 가열원으로서 기화하고 터빈으로 팽창시켜 출력을 얻는 것으로서, 가압한 물을 보일러로 증기화 하여 터빈으로 동력을 발생시킨 후 공작용 증기로서 배출하는 배압식 증기 플랜트와 유사하다<그림 3, 4 참조>.

이 방식은 다른 방식에 비해 출력, 즉 냉열 이용도는 크지 않으나 시스템이 간소하기 때문에 발전원가가 낮고, 소요 스페이스가 좁아도 되는 이점이 있는 반면, LNG 기지와 화력발전소가 멀리 떨어져 있는 경우, 냉열발전후의 천연가스 송출압력이 고압을 요구하는 경우는 그 출력이 상당히 제약을 받는다.

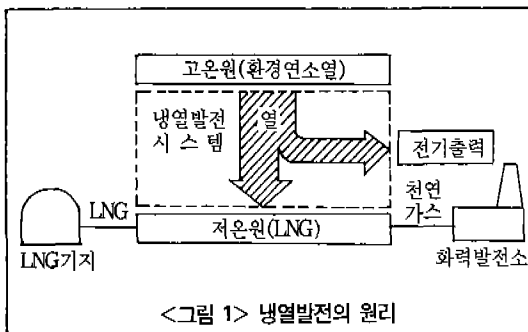
### (2) 2차냉매방식

2차냉매방식은 LNG를 저온원, 해수 등을 고온원으로 하는 랭킹 사이클에 의한 것으로, 2차매체로서는 프로판 등의 탄화수소나 프론 등이 사용된다. 이 방식에 의하면 송출압력이 높아도 비교적 큰 출력이 얻어지고 또한 직접팽창방식과 조합하면 대출력을 얻을 수가 있다 <그림 4, 5 참조>.

이 직접팽창-2차매체조합방식에 의한 경우 대출력이 얻어질뿐 아니라 경제적, 기술적 양면으로 실용성이 높은 것으로 평가된다.

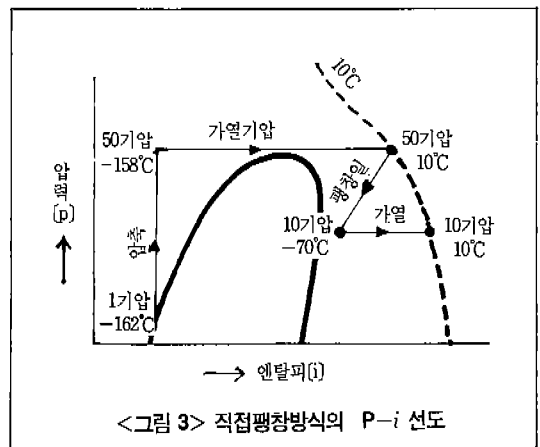
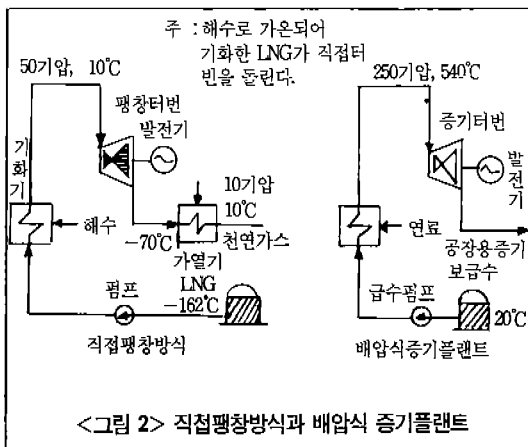
### (3) 혼합매체방식

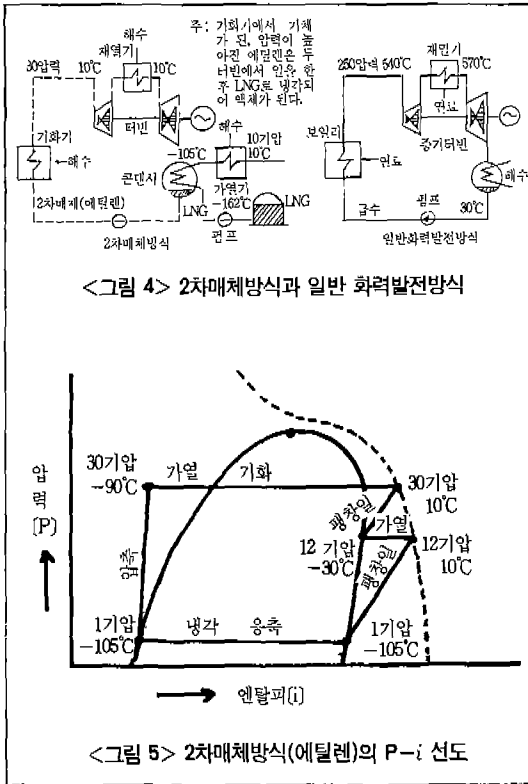
혼합매체방식은 2차매체방식의 한 가지이지만 2차매체로서 메탄, 에탄, 프로판, 부탄 등 수종의 탄화수소를 혼합한 혼합매체를 사용함으로써 비교적 단



<표 2> 냉열발전방식의 비교

냉열발전방식 비교항목	직접팽창식	직접팽창식과 2차매체식 (단일매체사용)의 조합	혼합매체식	크로즈드 가스터빈방식	오픈 가스터빈방식	
특징과 문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>○출력이 작다.</li> <li>○송출 가스 압력이 낮은 경우에 효과적</li> <li>○발전 코스트가 낮다.</li> <li>○구성이 간단하고 스페이스도 작다.</li> <li>○기존기술로 실시 가능하다.</li> <li>○LNG 이외의 매체는 사용하지 않는다.</li> <li>○환경영향이 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○출력이 크다.</li> <li>○기존기술의 조합으로 실시할 수 있다.</li> <li>○2차매체로서 탄화수소 또는 프론 등</li> <li>○환경영향이 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○출력이 크다.</li> <li>○혼합매체로서 탄화수소의 혼합물</li> <li>○매체의 특성이 복잡</li> <li>○각종 운전에 대해서 검토가 필요</li> <li>○환경영향이 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○정출력이 약간 작다.</li> <li>○복잡하고 대규모</li> <li>○대형 고온가스 가열로가 필요</li> <li>○연료를 수반하므로 대기에의 영향이 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○정출력이 가장 크게 기대된다.</li> <li>○복잡하고 대규모</li> <li>○공기중의 습기제거 기술 확립이 필요</li> <li>○연소를 수반하여 대기에 영향을 주기 때문에 안전설계의 확립이 필요</li> </ul>	
냉열발전방식의 냉열발전방식의 비교항목	출력 [kW]	7,900	11,900	11,900	54,000(연료사용량 7.8t/h)	7,800(연료사용량 11.5t/h)
	냉열이용출력 [kW]	7,900	11,900	11,900	8,500	14,800
	냉열이용효율 [%]	24	36	36	26	45
시 산 조 건	송가스압력 5.5ata 사용이용량 180t/h 해수온도 17°C					
구 성						





순한 사이클에 의해 앞서의 직접팽창-2차매제조합 방식에 필적하는 출력을 얻으려는 것이다. 반면, 여러 종류의 혼합매체 열교환기내에서의 상 변화가 복잡해져 LNG 유량의 변동에 대한 추종성에 대해 충분한 실증이 필요할 것으로 생각된다.

#### (4) 가스터빈방식

가스터빈방식에는 크로즈드 사이클 및 오픈 사이클의 두 방식이 있다.

크로즈드 사이클방식은 질소가스 기타를 작동매체로 하는 폐사이클 가스터빈을 사용하며, 작동매체의 냉각원에 LNG를 이용하고 가열원에는 LNG의 연소열이나 오픈사이클 가스터빈 배기의 여열을 이용하는 방식이다. 이 방식은 연료를 연소시키기 때문에 외견상 출력이 커지고 질소 등 매체의 압축동력을 LNG의 여열을 이용함으로써 작게 할 수 있어 사이클 효율은 커지지만 LNG 냉열이용도는 그다지 크

지 않다.

오픈사이클 가스터빈방식은 통상적인 오픈사이클 가스터빈의 매체가 되는 공기가 압축기에 들어가기 전에 LNG로 냉각되어 압축동력을 경감하고, 그 후 가스터빈 배가스로 여열함으로써 통상적인 가스터빈을 대폭 상회하는 열효율이 얻어지며 냉열이용효율도 상당히 높아지지만 설비가 복잡하고 대규모가 되며 또한 공기중의 습기제거 등 더 한층 기술개발이 필요하다.

#### 4. 냉열발전의 운전

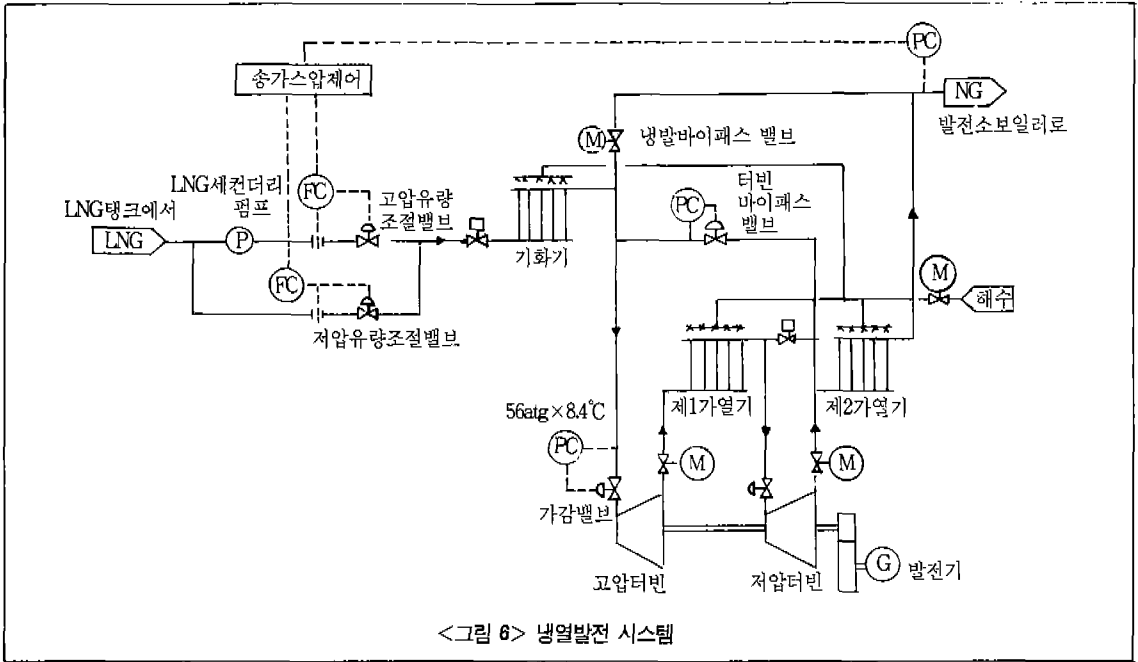
일본 모 LNG 기지에 건설된 냉열발전의 설비 및 운전의 개소를 소개한다.

<표 3>은 주요 설비시방을 표시한 것인데, 각종 냉열발전방식중에서 화력발전 플랜트에서의 사용압력(냉열터빈 배기압력), 경제성, 운전성능, 배치 스페이스 등을 고려하여 직접팽창방식을 채용하였다. 또한 주요부의 재료에는 다른 화력의 실증 플랜트에 있어서의 각종 시험결과를 참고하여 저온피로강도가 우수한 재료를 선정하였다.

<그림 6>에 이 플랜트의 시스템을 표시했는데, 발전소의 기화설비로서 특히 부하추종성, 기동·정지

<표 3> 주요 설비시방

항 목	1 호	2 호
발전방식	직접팽창방식	직접팽창방식
터빈		
출 력 [kW]	3,300	8,000
압 력 [kg/cm <sup>2</sup> ]	56	56
온 도 [°C]	84	84
LNG유량 [t/h]	100	170
배기압력 [kg/cm <sup>2</sup> ]	92	5.1
발 전 기		
용 량 [kVA]	3,900	9,500
전 압 [V]	6,900	6,900
재 료		
터빈차실	25Ni주강	25Ni주강
터빈날개	12Cr-4Ni단강	12Cr-4Ni단강



특성이 우수한 기능이 요구된다.

한편, 만일 냉열발전설비에 고장이 발생한 경우에도 발전소의 출력을 확보하기 위해 냉발 바이패스 계통을 설치하는 등, 공급신뢰도의 향상을 도모할 설비구성으로 하고 있다.

운전방법으로는 중앙조작실에서 터빈 기동, 승속, 바이패스 운전, 동기투입, 부하조정, 해열 등 일련의 조작이 되도록 하였다. 출력제어는 전기출력을 어떤 값으로 설정하여 유지하도록 제어하는 것이 아니고 항상 발전소의 가스 소비량에 상응하는 냉열터빈

통과 가스량이 출력이 된다. 즉, 발전소에의 가스 송출압력을 일정하게 유지하기 위해 고압유압 조절밸브가 자동적으로 유량을 조절한다. 한편, 터빈은 터빈 입구압력을 항상 일정하게 하도록 가감밸브가 자동적으로 가스유량을 조정하지만 전체의 유량은 고압유압 조절밸브의 조절로 결정되고 그 유량 상당분이 출력된다.

또, 터빈의 기동·정지 등에서 저출력으로 하고자 하는 경우는 터빈 바이패스 밸브를 열고 가감밸브를 닫는다.

절약하는 생활속에 웃는 가정 밝은 미래

절약은 미덕이다. 절전은 내가 먼저