



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경영학석사 학위논문

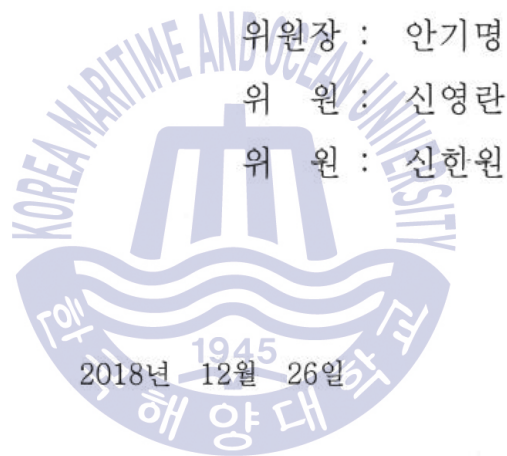
친환경 신재생 에너지를 활용한
항만물류산업 발전 방안에 관한 연구

A Study on the Development of Port Logistics Business
using Eco-friendly New Renewable Energy



한국해양대학교 글로벌물류대학원
해운항만물류학과
문지애

이 논문을 문지애의 경영학석사 학위논문으로 인준함



한국해양대학교 글로벌물류대학원

< 목 차 >

Abstract	i
제1장 서론	1
제1절 연구의 배경과 목적	1
제2절 연구의 방법 및 구성	2
제2장 이론적 배경	3
제1절 친환경 물류의 현황과 전망	3
제2절 신재생 에너지 산업에 관한 고찰	10
제3장 신재생 에너지를 활용한 항만물류 사례	18
제1절 풍력을 활용한 군산항	18
제2절 태양광을 활용한 부산, 광양, 인천, 평택항	19
제3절 LNG 냉열을 활용한 평택오성물류센터	24
제4절 해외 항만의 신재생 에너지 활용 사례	38
제4장 신재생 에너지를 활용한 항만물류산업의 발전 전략	48
제1절 신재생 에너지의 활용 방안과 기대 효과	48
제2절 발전 전략	50
제5장 결론	52
제1절 연구의 요약과 시사점	52
제2절 연구의 한계점과 향후 연구과제	53
참고문헌	54

<표 목차>

<표 2-1> 천연가스 판매실적	8
<표 2-2> 액체탄산제조공정 전력비 비교	15
<표 3-1> 광양항 태양광 발전 시설 적용 현황	22
<표 3-2> 인천항 태양광 발전 설비 현황	23
<표 3-3> 향후 추진일정	38
<표 3-4> 후쿠오카와 요코하마 LNG 냉열이용 물류센터	39
<표 3-5> 가스송출압력과 LNG 냉열이용	39
<표 3-6> 미국 RPS 법안	47
<표 4-1> 기계식과 냉열식 창고의 비용 비교분석	48



〈그림 목차〉

<그림 2-1> 세계 천연가스 매장량	4
<그림 2-2> LNG 수입국과 수출국	4
<그림 2-3> 우리나라 천연가스 도입경로	5
<그림 2-4> 천연가스 주요 수입국	7
<그림 2-5> 국내 1차에너지의 천연가스 수요추이	8
<그림 2-6> 천연가스 보급률 추이 및 수요전망	8
<그림 2-7> 공기액화분리공정 흐름도	12
<그림 2-8> Rankine 사이클 방식 냉열발전	13
<그림 2-9> 냉동창고 공정흐름도	14
<그림 2-10> LNG 냉열이용 액체탄산, 드라이아이스 제조 공정	16
<그림 3-1> 액화천연가스의 가치사슬	25
<그림 3-2> LNG 생산기지 프로세스	26
<그림 3-3> LNG 냉열의 활용 분류	27
<그림 3-4> 2013년도 LNG 냉열의 활용비율	28
<그림 3-5> 하역조정실 냉방프로세스	29
<그림 3-6> LNG 배관의 외관	30
<그림 3-7> LNG 저장탱크	31
<그림 3-8> LNG 펌프	31
<그림 3-9> 증발가스(BOG) 재액화기	32
<그림 3-10> LNG 냉열이용 저온 냉동·냉장 시스템의 핵심기술 개요도	36
<그림 3-11> LNG 냉동냉장시스템의 실증 Test Bed 구축현황	36
<그림 3-12> 로테르담 항구 에너지 계획도	44

Abstract

친환경 신재생 에너지를 활용한 항만물류산업 발전 방안에 관한 연구

문 지 애

해운항만물류학과

한국해양대학교 글로벌물류대학원

전세계적으로 에너지 자원의 고갈은 점점 심각해지고 있으며 이로 인한 유가의 상승이나 에너지 수급의 불안정은 피할 수가 없다. 최근 들어 미세 먼지 등 여러 가지로 대두되고 있는 환경 문제에 대한 사회적 관심이 대단히 높아지고 있으며, 이러한 사회적 관심 속에 기존의 석유, 석탄과 같은 화석연료, 원자력을 대체할 수 있는 친환경 신재생 에너지가 새로운 에너지원으로 주목받고 있다.

기존에는 유럽과 북미 지역의 선진국을 중심으로 단순히 에너지 보조수단으로써만 사용하였으나, 그 단계를 넘어 화석 연료를 대체할 수 있는 주요한 에너지원으로 인식하기 시작하였으며, 특히, 일본의 후쿠시마 원전사고를 기점으로 신재생 에너지에 대한 관심은 더욱 고조되었고, 2015년 파리협정(Paris Agreement)을 채택하며 선진국과 개발도상국 등 195개국이 모두 온실가스 감축 의무에 참여하는 것을 선언하면서 전 세계적으로 고효율 에너지에 대한 근본적인 패러다임 전환을 추구하고 있다.

특히 유럽의 경우, 해저지형이 완만한 지리적 이점과 양질의 풍력자원을 이용하여 최근 해상풍력이 급성장세를 보이고 있다.

이러한 세계적인 관심과는 달리 우리나라에서는 경제성을 이유로 화석발전과 원자력발전에 비해 친환경 신재생 에너지에 대한 추진력은 매우 낮았으며, 따라서 관련 산업분야도 초기 단계에 머무르고 있는 수준이었다. 우리나라에서 친환경 신재생 에너지 산업분야가 발전하지 못한 가장 큰 이유는 초기투자비

용, 즉 높은 발전단가라 할 수 있고, 이로 인해 국내 전력생산의 대부분은 화력 및 원자력 발전이 담당하고 있었다.

하지만 최근 들어 더욱 심해진 환경오염, 미세먼지와 함께 2020년에는 해운 역사 상 가장 강력한 국제해사기구(IMO)의 환경 규제를 앞두고 우리나라 역시 세계의 환경에 대한 인식 흐름에 발맞추어 저탄소 그린 정책을 추진하며 친환경 신재생 에너지 산업 분야가 충분한 경제적 효용성을 가지고 자리 잡을 수 있도록 발판을 마련하려는 노력이 각지에서 이루어지고 있다.

특히 청정연료로 간주되는 LNG를 이용한 인천항만공사의 LNG 냉열 물류센터 구축은 우리나라에서 처음으로 시도되는 사업으로 많은 기대효과가 예상된다. 미활용된 LNG 냉열을 이용한 냉동냉장 물류센터 개발을 통해 냉동·냉장 창고 건설에 대한 미래 청사진을 제시할 뿐만 아니라 향후 이러한 물류센터의 구축이 우리나라 항만배후단지 및 해양경제특구 개발 전략에도 새로운 아이টে็ม으로 활용될 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 무엇보다 가장 중요한 기대효과는 기존냉동·냉장창고 운영비의 절감 및 냉동냉장화물의 유통비용 절감을 통해 생활의 안정성 도모에 크게 기여할 것으로 기대된다는 점이다.

따라서 신재생 에너지에 대한 관심이 높아진 것 뿐만 아니라 관련 기술도 지속적으로 개발하여 현재는 상업성을 논할 수 있을 만큼 발전단가가 다소 낮아진 상태이며, 그동안 크게 부각되지 않았던 원자력발전이나 화력발전이 갖는 환경비용을 고려했을 때 신재생 에너지 관련 산업의 기반을 다지는 것은 매우 중요하다. 또한 해상풍력발전이 급상승하는 유럽의 사례는 삼면이 바다로 둘러 쌓여 있고 활용 가능한 국토면적에 한계가 있는 우리나라에도 시사하는 바가 크다.

에너지 공급의 불안정 문제를 원초적으로 해결하기 위해 국가적 차원의 친환경 신재생 에너지 개발은 더욱 박차를 가할 시점이라 보여진다. 그러므로 이 연구에서는 에너지 합리화 정책에 부합하고자 친환경 신재생 에너지, 즉 풍력, 태양, 수력, 조력, 지열, 수열, 생물자원, 수소 연료 전지, 미활용되고 있는 LNG 냉열 등에 대한 국내·외 활용 사례를 살펴보고, 친환경 신재생 에너지의 활용 및 발전 방안을 연구하고자 한다.

Abstract

A Study on the Development of Port Logistics Business using Eco-friendly New Renewable Energy

Jee-Ae Moon

Department of Shipping and Port Logistics
Graduate School of Global Logistics

The depletion of energy resources is globally getting worse and it is inevitable that oil prices rise and supply or demand of energy become unstable. In recent years, social interest in environmental issues such as fine dust has been increasing. In addition to these social concerns, eco-friendly new renewable energy that can replace existing fossil fuels such as petroleum and coal and nuclear energy.

In the past, only developed countries in Europe and North America have used it as an energy aid, but they have started to recognize it as a major energy source to replace fossil fuels. In particular, interest in new renewable energy was heightened with the start of the Fukushima nuclear plant accident in Japan, adopting the Paris Agreement in 2015, and declaring that 195 countries including developed and developing countries, it is calling for a fundamental paradigm shift to high-efficiency energy around the world.

Especially in Europe, maritime wind power is growing rapidly due to its geographical advantages and high quality wind resources.

Unlike this global interest in new renewable energy, momentum for

eco-friendly renewable energy was very low in Korea compared to fossil power generation and nuclear plant because of the economic efficiency, and related industries were still in the early stages. The main reason why the eco-friendly new renewable energy industries has not developed in Korea is the initial investment cost, therefore, most of the domestic power generation is in charge of thermal power and nuclear power generation.

However, in recent years, in addition to the increasing environmental pollution and fine dust, ahead of the environmental regulations in 2020 of the International Maritime Organization(IMO), which is the most powerful maritime history, Korea is also pursuing low carbon green policy in line with global environmental awareness. Efforts are being made in various parts of the world to lay the foundation stones for the eco-friendly new renewable energy industry to be positioned with sufficient economic efficiency.

In particular, the construction of LNG cold logistic center of IPA(Incheon Port Authority) using LNG which is regarded as a clean fuel is expected to be the first LNG logistic center in Korea. This situation is proposing the future blueprint for the construction of refrigeration warehouses through the development logistic centers using unused LNG cold energy, in addition to the construction of such LNG cold logistic centers will be utilized as a new industry in the development of the port subdivision complex and maritime economic development zone in Korea. Most important thing is expected to contribute to the stability of life through reduction of existing refrigeration warehouse operation cost and logistic cost of cargo.

Therefore, not only the interest in renewable energy has increased, but also related technologies have been continuously developed. The cost of power generation today has been lowered to discuss commercially.

Considering the cost of nuclear power generation and thermal power generation, it is very important to lay the foundation stones for the renewable energy related industry. In addition, the case of Europe where marine wind power is increasing rapidly is suggested in Korea where the three sides of country are surrounded by the sea and the available development land area is limited.

In order to solve the unstable problem of energy supply and demand, it is time to accelerate the development of eco-friendly new renewable energy at the national level. To comply with the energy rationalization policy, this study researches the examples of domestic and overseas use of eco-friendly new renewable energy such as wind, solar, hydro, hydrothermal, biomass, hydrogen fuel cell and unused LNG cold energy and studies how to develop these in Korea.



제1장 서론

제1절 연구의 배경과 목적

지구촌에서 에너지 자원의 고갈은 점점 심각해지고 있으며 이로 인해 유가의 상승이나 에너지 수급의 불안정은 피할 수가 없다. 이런 문제를 원초적으로 해결하기 위해 국가적 차원의 친환경 신재생 에너지 개발은 더욱 박차를 가할 시점이라 보여진다.

LNG(액화천연가스)는 메탄이 주성분인 천연가스를 -162°C 의 극저온으로 냉각시켜 부피를 1/600로 압축시킨 무색투명한 액체로, 2013년 기준 연 3,670만 톤이 국내에 도입되었다. 천연가스는 수송 편의를 위해 생산국에서 소비처로 공급할 때 천연가스를 극저온의 LNG로 전환시키며, 국내 소비처에 공급하기 전에 다시 극저온의 LNG를 상온의 천연가스로 전환시키는 과정을 거치게 된다. 국내외 대부분 생산기지에서는 극저온의 LNG와 해수와의 열교환을 통하여 LNG를 천연가스 상태로 전환시키는 해수식 기화방식을 사용하고 있다. 또한, 기화시 LNG 냉열이 회수되지 않고 바다로 방출되어 에너지 낭비 및 바다 환경오염을 유발시킨다.

바다에 버려지는 막대한 양의 LNG 기화열을 냉열 사용처에 적용함으로써 소비 전력을 대폭 절감하는 획기적인 '저탄소 녹색성장'의 대표 산업으로 LNG 냉열이용 사업에 대한 관심이 높아가고 있다. LNG 냉열 활용의 필요성은 지금까지 수차례 거론되어 왔으며, 버려지는 에너지를 효율적으로 활용하자는 것이다. 이를 위해서는 막대한 투자비가 들어가고 투자회수기간이 길어 효율성이 낮고 기술적인 부분도 걸림돌로 남아있지만 냉열 사업은 향후 추진되어야 할 새로운 녹색에너지 사업이다. 현재 일본은 공기액화 8개소, 냉열발전 16개소, 저온분쇄 1개소, 액화탄산 4개소, 저온창고 3개소를 가지고 있으며, LNG 냉열사업이 세계에서 가장 활발하게 이루어지고 있다. 우리나라와 프랑스, 호주, 대만은 공기액화 분리 사업만을 하고 있다.

우리나라에서도 LNG 냉열을 재활용해 다양한 산업분야에 저비용으로 냉동·냉장창고 건설과 운영이 가능한 물류센터를 신항 배후단지에 구축하고 창조산업을

도입할 필요가 있다. 이에 따라 건설비와 전기료를 크게 경감시켜 냉동·냉장창고 업체들의 운영비용 절감과 국가 에너지절약 시책에도 기여할 수 있다. 즉, 해당 규모에 냉열이 도입되면 기존 전기 냉각방식 물류센터에 비해 운영비를 무려 67%가량 절감할 수 있고, 건설비 역시 설계가 간소화돼 28% 절감하는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 냉열을 활용할 경우 지속적이고 안정적인 저온 형성이 가능하며, 신선식품 품질 유지도 탁월해 냉동·냉장 물류센터에 냉열이 적합한 것으로 알려지고 있다.¹⁾ 본 연구의 목적은 국가에너지 합리화 정책에 부합하고자 미활용되고 있는 LNG 냉열을 활용한 물류사업의 발전방안을 연구하는 데 있다.

제2절 연구의 방법 및 구성

본 연구는 국내 천연가스 산업의 추이를 알아보고, 청정 연료인 LNG 냉열을 물류사업에 접목시키기 위해 문헌 연구를 바탕으로 하였다. 국내 및 해외 사례를 조사하여 LNG 냉열을 활용해야 하는 이유와 그를 활용하여 국내 물류사업의 발전 방안을 모색해내고자 한다.

본 연구의 내용은 다음과 같이 구성되어 있다.

제1장에서는 연구의 배경 및 목적을 설정하고 연구방법과 구성을 기술하였다.

제2장에서는 본 연구의 이론적 배경으로 신재생 에너지의 개요를 서술하고 및 이용 사례에 대하여 조사하여 기술하였다.

제3장에서는 제2장의 이론적 개요를 이용하여 국내 및 해외 현황에 관한 사례를 분석하였다.

제4장에서는 이러한 LNG 냉열을 국내 활용할 수 있는 방안을 모색하고 그에 따른 기대 효과와 발전 방안에 대해 제시하였다.

제5장에서는 결론으로 연구결과를 요약하고, 본 연구의 시사점과 한계점 및 향후 연구과제의 방향을 제시하였다.

1) 장기창(2015), "LNG 냉열 이용기술", 「설비저널」, 대한설비공학회 제44권 2월호, p.15.

제2장 이론적 배경

제1절 친환경 물류의 현황과 전망

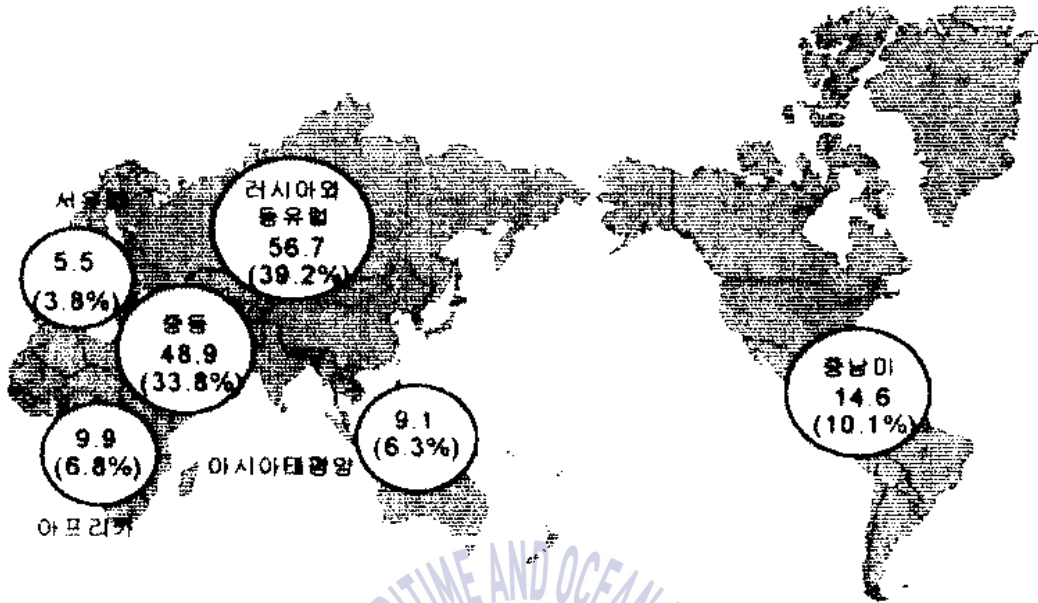
1. 세계 천연가스 매장량과 도입경로

1987년 LNG 공급을 시작한 이래 1997년에는 공급이 연간 1,000만톤 이상이었으며, 수요는 매년 증가하고 있다. LNG란 액화천연가스(Liquefied Natural Gas)의 약자로 천연가스 생산지에 따라 그 조성이 약간씩 차이는 있지만, 메탄을 주성분으로 하는 천연가스를 액화시킨 것이다. LNG는 -162°C 의 초저온이므로 에너지 가치가 매우 크기 때문에 에너지 절약 차원에서 냉열회수를 위한 기술개발이 세계각국에서 진행되고 있다. 우리나라에서도 1987년 인천 생산기지 준공과 함께 LNG 사업 다각화를 위하여 LNG 냉열이용산업에도 노력을 기울이고 있다.

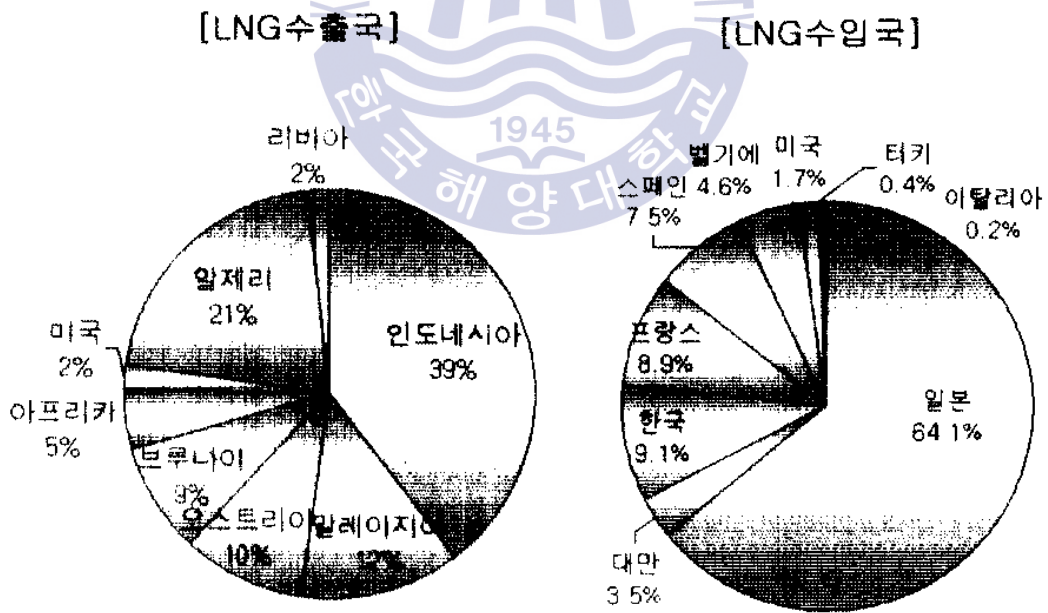
천연가스는 환경부하가 가장 작은 화석연료이다. 천연가스의 주성분은 탄화수소 중에서도 가장 탄소의 함유율이 낮은 메탄이다. 천연가스에는 대부분 유황분이 포함되어 있지 않아 연소에 따른 CO_2 배출량은 적고 SO_x 양은 무시될 수 있을 정도로 미량이다. 천연가스는 경질가스 연료이기 때문에 저 NO_x 연소법을 채용하기 용이하여 이에 발생하는 NO_x 를 낮게 제어할 수 있다.

그림 1에 나타낸 것과 같이 천연가스는 세계각지에 널리 매장되어 있어, 석유가 중동지역에 66%나 편중되어 있는 것과는 대조적이다. 천연가스의 확인매장량은 약 144.7조 m^3 로, 이 양은 석유 확인매장량의 95%에 상당한다. 최대매장량은 약 400조 m^3 로 추정되고 있다.

<그림 2-1> 세계 천연가스 매장량

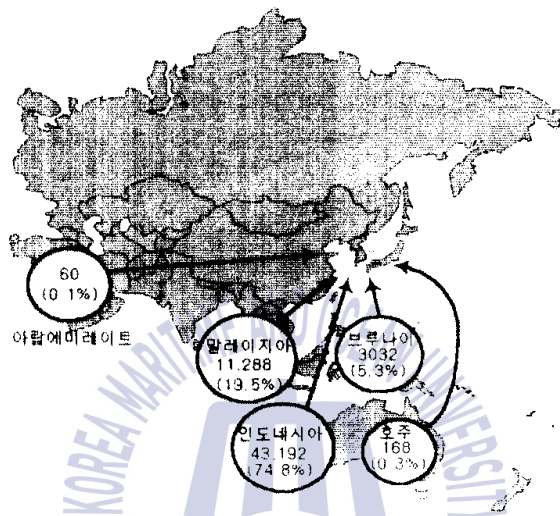


<그림 2-2> LNG 수입국과 수출국



<그림 2-2>에 LNG 주요 수출국과 수입국을 나타내었다. 주요 수입국은 동아시아의 나라들로, 이중 일본은 전 LNG의 65%, 연간 약 4,000만톤 이상을 수입하고 있다. 우리나라에서 소비하는 천연가스의 대부분은 LNG를 재가스화한 것으로, 우리나라의 천연가스 도입경로는 그림 3과 같다.²⁾

<그림 2-3> 우리나라 천연가스 도입경로



액화천연가스(이하 LNG : Liquefied Natural GAS)는 대기압 하에서 비점이 약 -162°C 의 초저온 액체로, 1Kg당 약 840kJ의 냉열을 보유하고 있다. 통상 냉동기에서 냉열을 발생시키는 경우, 온도가 자하할수록 냉열발생을 위한 일량이 많게 되어 기계효율이 저하되므로 소요 동력이 지수함수적으로 증가한다. 따라서 LNG의 냉열을 이용하는 경우 가능한 낮은 온도 수준에서 이용할수록 높은 가치가 있다. 일반적으로 LNG를 기화시키는 경우 열원을 해수에서 얻어 냉열이용 설비를 사용하지 않을 경우에는 냉열은 유효 이용되지 않고 그대로 바다로 버리게 된다. 그러므로 고질의 냉열을 적극적으로 이용하는 것은 국가 에너지 절약이나 요즘 문제시 되고 있는 온실가스의 환경문제 면에서도 상당히 의의 있는 일이라고 할 수 있다.

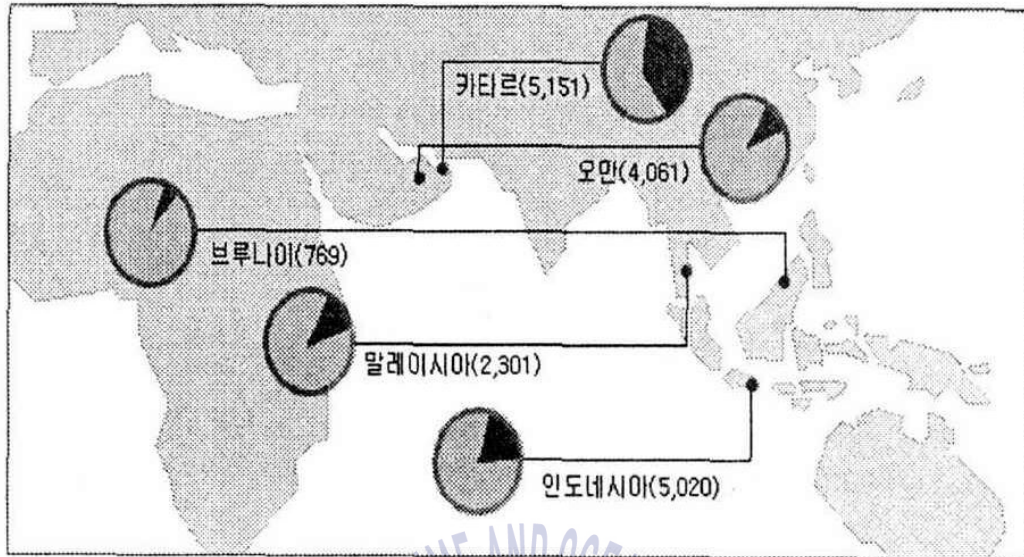
2) 윤정인(2011), "LNG 냉열이용 기술개발 동향", 「한국동력기계공학회지」, 제5권 제4호 11월호, p.5.

한국가스공사는 청정에너지인 천연가스의 공급을 통한 국민생활의 편익 증진 및 복리 향상을 위하여 1983년 8월에 설립되었으며, 천연가스의 제조, 공급 및 그 부산물의 정제, 판매, 생산기지와 공급망의 건설, 운영, 천연가스와 액화석유가스의 개발, 수출입 등의 업무를 수행하고 있다. 한국가스공사는 인도네시아, 말레이시아 등 해외로부터 LNG를 도입하여 그림4와 같이 평택생산기지(부지면적 18만 5천평, 10만 kl급x10기), 인천생산기지(30만평, 10만 kl급x10기, 14만 kl급x2기, 20만 kl급x10기), 통영생산기지(40만평, 14만 kl급x2기)에서 NG(Natural Gas)를 생산하여 발전소와 일반 도시가스사 등지로 판매하고, 전국적인 가스인프라 구축을 위한 건설 공사를 수행했다.

1986년 11월 평택화력발전소에 처음으로 발전용 천연가스를 공급한 이래, 1987년 2월 수도권 지역에 도시가스를 공급하였다. 이후 “전국천연가스공급사업”을 지속적으로 추진하여 1993년 7월 중부권 지역, 1995년 11월 영·호남 지역, 1999년 10월 서해권 지역, 12월 남부권 지역에 천연가스를 공급하였으며, 2002년 12월 강원권 지역의 주배관 공사가 완료됨에 따라 전국을 총 2,435Km의 하나로 잇는 환상 공급망을 완성하여 언제 어디서나 보다 편리하고 안전하게 천연가스를 공급받을 수 있게 되었다.

1986년 10월 국내 최초로 인도네시아로부터 LNG를 도입한 이래 도입량은 해마다 급증하여 2001년 16,164천톤을 도입하였다. 전국 확대공급에 따른 수요공급 증가에 대비하여 물량의 적기 확보로 공급의 안정성을 도모하고자 그림 5에서 보는 바와 같이 인도네시아, 말레이시아 외에 브루나이, 카타르, 오만 등으로 도입선을 다변화하였다.

<그림 2-4> 천연가스 주요 수입국



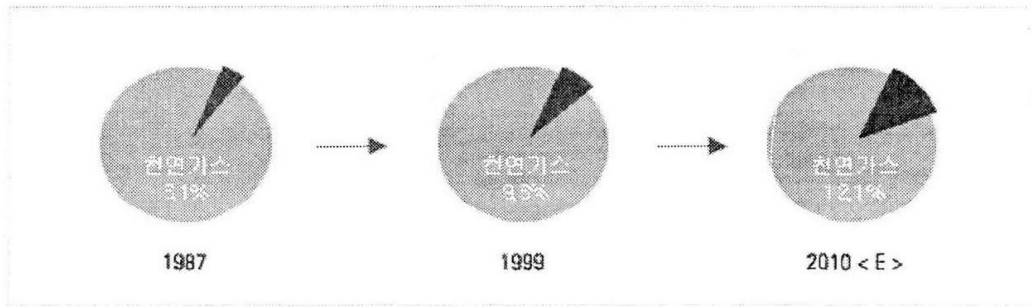
2. 세계 천연가스의 수요

천연가스를 단순히 수입하여 소비하는 단계를 넘어서 천연가스전의 개발사업에도 적극 참여하였고, 러시아 이르쿠츠크 PNG 프로젝트에 러시아, 중국, 일본, 몽골과 함께 프로젝트 타당성 조사를 위해 긴밀해 협의하기도 하였으며, 또한 오만 및 카타르 등지의 지분참여 등을 통해 천연가스사업의 영역을 확대 개발하기도 하였다.

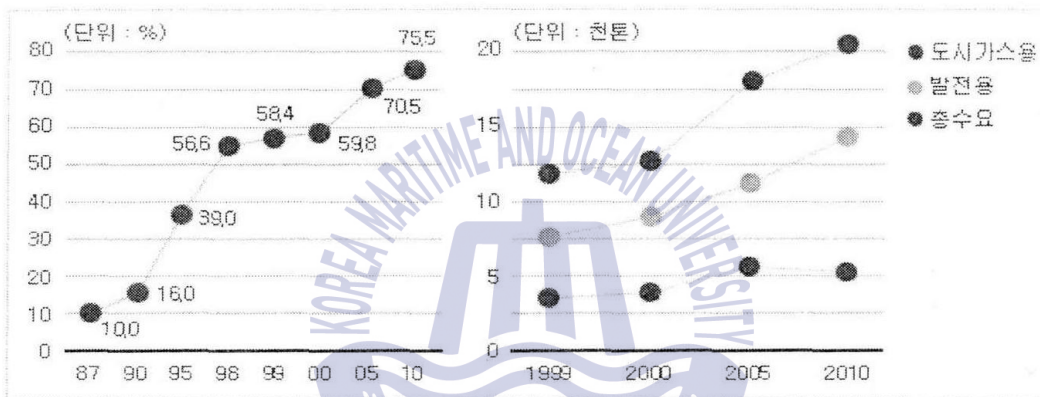
현재 세계적으로 천연가스의 보급 및 소비는 확대되고 있으며, 1차에너지인 천연가스 수요는 그림 6과 같고 우리나라는 1999년도 기준으로 약 9.3%에 달하고 있다. 1987년 천연가스 보급 이후 그림 7과 같이 2000년도 기준으로는 59.8%의 보급률에 달했으며, 표1은 천연가스의 판매량을 나타내고 있다.³⁾

3) 권옥배(2003), “미이용 LNG 냉열의 냉동냉장 물류센터의 이용”, 대한설비공학회 강연회 및 기타간행물, pp.9-11.

<그림 2-5> 국내 1차에너지의 천연가스 수요추이



<그림 2-6> 천연가스 보급률 추이 및 수요전망



<표 2-1> 천연가스 판매실적

(단위 : 천톤)

구 분		1999	2000	2001	2002
도시가스	주택용	4,756	5,463	5,707	6,084
	일반용(냉방)	1,164	1,384	1,614	1,765
	산업용	1,967	2,681	2,979	3,345
발전용		4,769	4,689	5,288	6,509
총 계		12,655	14,217	15,588	17,703

3. LNG 공급 공정 개요 및 문제점

- 1) 천연가스는 총 13단계(한국가스공사기준)를 거쳐 생산국에서 각 소비처로 공급되며, 그 가운데 수송의 편의를 위하여 천연가스를 극저온의 LNG로 전환하며, 소비처에 공급하기 전 다시 극저온의 LNG를 상온의 천연가스로 전환하는 과정을 거친다.
- 2) 극저온의 LNG를 상온의 천연가스로 전환시키는 장치가 기화기이며, 기화기는 크게 바닷물의 현열을 이용한 해수식 기화기와 가스 자체의 연소열을 이용한 연소식 기화기로 나뉜다.
- 3) 해수를 이용한 기화기는 극저온의 LNG와 해수와의 열교환을 통하여 LNG를 천연가스상태로 전환한다.
- 4) 현재 각 생산지에서 주로 해수식 기화기를 적용하고 있으며, 기화 시 LNG 냉열이 회수되지 않고 바닷물이 냉열을 포함한 상태에서 바다로 방출된다(에너지 낭비).

그리고 LNG 해수식 기화기에서 일반적으로 5°C 이하일 때는 연소식 기화기로 기화하며, 해수식 기화기에서 LNG 1kg을 기화시키는데 필요한 해수량은,

- ① 해수 출입구의 온도차가 5°C 일 때 해수량은 40 kg
 - ② 해수 출입구의 온도차가 6°C 일 때 해수량은 33 kg,
 - ③ 해수 출입구의 온도차가 7°C 일 때 해수량은 29 kg
- 이다.

따라서 해수식 기화기는 LNG양의 29~40배의 바닷물을 필요로 하며, 기화장치에는 해수관계의 설비인 해수펌프가 중요한 부분을 차지하고 있으므로 유지관리 비용도 많이 들어간다.

4. LNG 냉열의 활용 기술개발 배경

- 1) LNG 냉열은 -162°C 의 LNG가 보유하고 있는 저온에너지로, LNG가 기화되는데 필요한 열량은 약 $202 \text{ kcal/kg LNG(lata)}$ 이다.
- 2) 국내 LNG 생산기지에서 주로 사용하는 기화기는 기화기 1대당 약 180톤/h의 LNG를 기화시키며, 이때 필요한 열량은 $180,000 \text{ kg/h} \times 200 \text{ kcal/kg} = 36,000,000 \text{ kcal/h}$ 이다.
- 3) 180톤/h의 해수식 기화기 사용 시 필요 해수 펌프의 유량은 약 $10,000,000 \text{ l/h}$ 이며, 펌프 소요 동력은 약 $1,000 \text{ kW/h}$ 이다(2011년 현재, 180톤급은 29기 국내 보유).
- 4) 기화 시 발생하는 LNG 냉열을 적극적으로 이용하도록 권장하여야 하며, 중앙 정부에서 적극적으로 행정지원을 하여 민관합동 프로젝트로 추진하여 하루 빨리 국가 에너지절약과 창조경제 산업으로 전후방 경제 활성화와 더불어 고용을 창출하여야 한다.⁴⁾

제2절 신재생 에너지 산업에 관한 고찰

1. 신재생 에너지의 개념

신재생 에너지(NRE :New RenewableEnergy)는 기존에 광범위하게 사용되었던 화석연료(석탄, 석유, 원자력 및 천연가스 등)를 변환 또는 사용하지 아니하고, 태양에너지(태양광, 태양열)나 수자원(수력, 조력, 수열), 지열, 강수, 폐기물, 생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 이용하는 에너지를 의미하고 있다.

(진상현(2011), 신재생 에너지 보급정책의 지역별, 에너지원별 성과분석. 한국지역개발학회지) 화석연료가 아닌 태양에너지, 바이오매스, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄의 액화, 가스화, 해양에너지, 폐기물에너지 및 기타로 구분되고 있고 이외에도

4) 이동건(2015), “미활용 LNG 냉열 기술”, 대한설비공학회, 「설비저널」, 제44권 2월호

지열, 수소, 석탄에 의한 물질을 혼합한 유동성 연료를 의미한다. 그러나 실질적인 신재생 에너지란, 넓은 의미로는 석유를 대체하는 에너지원으로 좁은 의미로는 신·재생 에너지를 나타낸다.

우리나라에서 신재생 에너지란, 「신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법」 제2조의 규정에 의거 『기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지』로 정의하고 있으며 신에너지 3종인 연료전지, 석탄액화·가스화, 수소에너지와 재생에너지 8종인 태양열, 태양광, 풍력, 수력, 지열, 해양, 바이오, 폐기물 총 11개 분야로 구분한다.

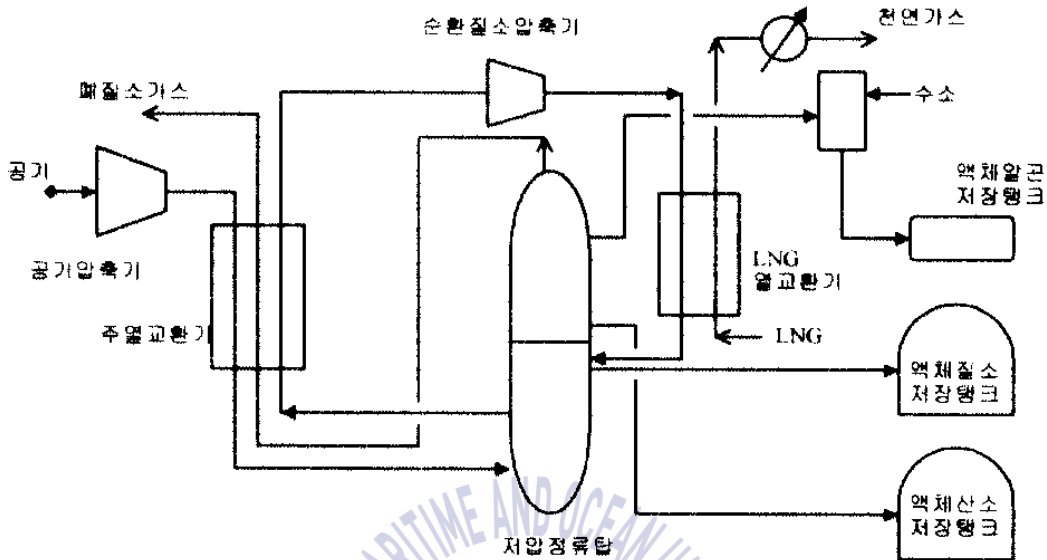
(「신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법」 제2조)

신에너지 및 재생에너지 분류 방식은 국가별로 조금씩 차이가 있으며 IEA (International Energy Agency)는 재생 에너지 분류에서 ‘가연성 재생에너지와 폐기물’을 고품 바이오매스, 목탄(숯), 바이오가스, 액체바이오연료, 도시폐기물로 세분화하는 특징이 있고 EU는 재생에너지 분류에서 매립지가스를 구분한다. 본 논문에서는 신에너지와 재생에너지를 따로 구분하지 않고 신재생 에너지로 통칭하여 기술하고자 한다.

1) 공기액화분리

공기를 냉각하여 액화시키면 산소는 -183°C , 질소는 -196°C 에서 액체가 된다. 공기액화분리란 공기 중의 각 성분의 액화온도 차이를 이용하여 산소와 질소로 분리하여 액체질소 및 액체산소를 생산하는 것을 말한다. LNG 냉열을 이용하지 않고 전기 구동으로 생산할 경우, 순환질소 압축기와 팽창터빈을 사용하여 액화에 필요한 냉열을 공급하는데, 이 때 생산량 10배 정도의 순환질소량이 필요하기 때문에 압축기 동력이 커지게 된다. 그러나 LNG 냉열을 이용할 경우 직접 LNG와 순환질소가 열교환하여 냉열을 획득하기 때문에 순환질소량이 감소되어 압축기가 소형화된다. 전기사용량이 60% 정도 절감된다. <그림 2-7>은 평택생산기지에서 현재 운영 중인 흐름도이다.

<그림 2-7> 공기액화분리공정 흐름도



공기분리과정은 1) 원료공기의 압축, 냉각 2) 공기 중 수분, 아황산가스, 탄산가스 제거 3) 공기 예냉기에서 냉각, 액화 4) 분리기 공급 5) 분리기에서 산소와 질소의 비점차를 이용하여 액체산소와 질소가스로 분리 6) 순환질소가스는 공기예냉기에서 열교환된 후 압축과정을 거쳐 LNG와 열교환되어 냉각 7) 냉각된 순환질소가스는 분리기하부탑에 공급되어 응축되는 과정으로 이루어진다.

2) 냉열발전

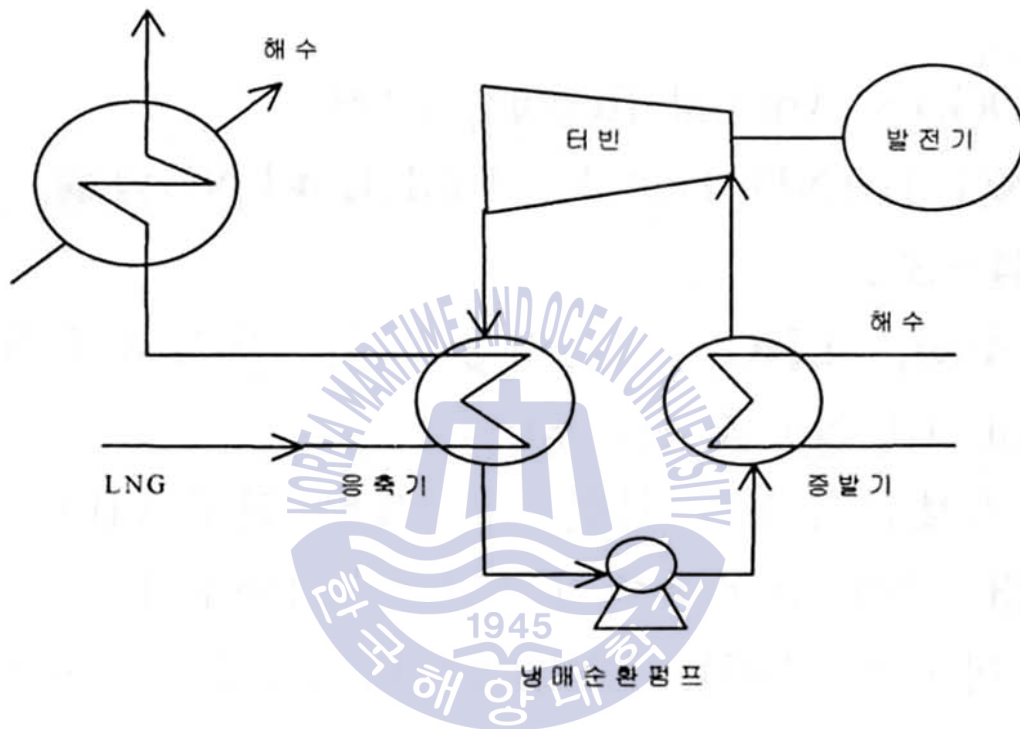
LNG 냉열발전이란 수요처에 배관을 통해 공급하기 위해 -160°C 의 초저온 상태인 LNG를 0°C 의 가스로 기화시킬 때 발생하는 냉열을 이용하여 발전하는 것으로서 현재 세계 최대의 LNG 수입국인 일본에서는 활발히 건설 및 운전되고 있다.

냉열발전으로 발생하는 전력은 대개 6,000kW이하의 소형으로 대부분 인수기지 자체동력으로 소비된다. 냉열발전은 시동, 정지가 용이하고 LNG 부하변동이 큰 경우에도 적용이 가능하다. LNG 소비량이 많은 주간에 냉열 엑서지(exergy)를 회수하고 소비량이 적은 심야시간대에는 정지가 가능한 장점이 있다. 현재 일본에서

실용화되고 있는 냉열발전 방식에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 저온엑서지를 이용한 Rankine 사이클 방식
- LNG 압력 엑서지를 이용한 직접팽창방식
- Rankine 사이클과 직접팽창을 혼합한 방식

<그림 2-8> Rankine 사이클 방식 냉열발전

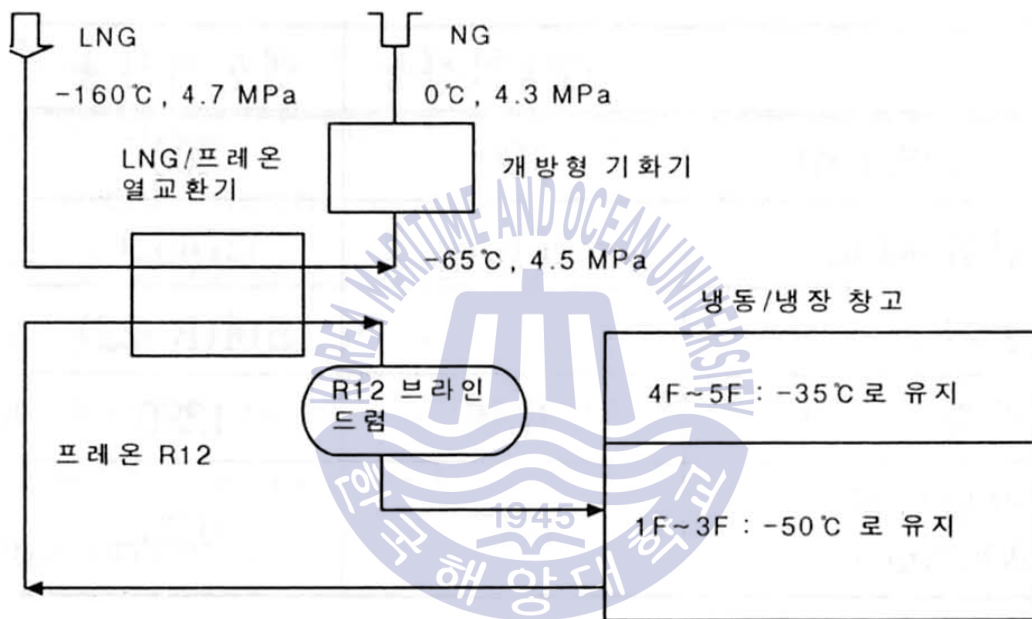


<그림 2-8>은 일본 Osaka Gas에서 적용하고 있는 Rankine 사이클 방식의 흐름도로 작동매체는 프로판을 사용하고 있다. 이 방식은 프로판이 응축, 승압, 증발, 팽창의 과정을 거치며 순환하고 응축열원으로 LNG 냉열을, 증발열원으로 해수를 사용하며 팽창과정에서 터빈을 회전시켜 발전하는 방식이다. 효율 향상을 위하여 프로판 대신 다성분매체를 사용하는 경우도 있으며 열원수로 해수를 사용함에 따라 해수온도가 높은 여름철에는 발전효율이 높으나, 해수온도가 낮은 겨울철에는 여름철에 비해 효율이 20% 정도 감소한다.

3) 냉동·냉장창고

냉동·냉장창고에 LNG를 이용하는 방식은 공기 등 냉매를 직접 열교환시켜 이용하는 직접이용방식과 LNG 냉열을 이용하여 저렴하게 생산된 액체질소를 이용하는 간접이용방식이 있다.

<그림 2-9> 냉동창고 공정흐름도



식품은 저장온도를 낮추면 일반적으로 장기간 저장이 가능하다. 일본의 경우 <그림 2-9>에서와 같이 LNG 냉열을 이용하여 프레온을 -65°C 까지 냉각시킨 후 저장창고의 온도를 -55°C , -35°C 로 유지시키며 -55°C 에서는 참치, -35°C 에서는 일반냉동어류를 저장하고 있다. LNG 냉열을 이용하는 냉동·냉장창고는 생산기지와 근접한 곳에 있어야 하는 입지적 제약이 있으나 냉동기, 냉각탑 등이 필요없기 때문에 건설비가 적게 든다. 그리고 소음, 진동이 적고, 전력비가 60% 정도 절감가능하고 온도조절이 용이한 장점이 있다.

4) 액체탄산, 드라이아이스 제조

액체탄산가스는 석유화학공업의 정제과정 중 부산물로 발생되어 대기로 방출되는 폐가스를 원료로 하여 액화시켜 제조하며 용접용, 주물용, 음료용으로 사용된다. 일반적인 제조방법은 CO₂ 가스의 압축, 예냉정제, 액화 공정으로 이루어지며, 냉열원으로는 냉동기를 사용한다. LNG 냉열을 이용할 경우 온도범위는 -55℃ 정도로 저온, 저압 운전이 가능하여 냉동기, 압축기동력 절감이 가능하다. 따라서 <표 2-2>에서와 같이 전력절감효과가 커 전기구동방식과 비교하여 50% 정도 절감이 가능하다.

<표 2-2> 액체탄산제조공정 전력비 비교

	LNG냉열사용	냉동기사용
제조능력(t/d)	100	200
운전압(kPa)	676.7	2745.9
냉동기	-	5대(R-22)
전력량	370	1380
전력원단위(kWh/Nm ³)	0.17	0.33

<그림 2-10>과 같이 탄산가스 액화를 위해 LNG와 열교환할 경우 직접 열교환하는 것은 탄산가스가 고체화될 위험이 있기 때문에 중간 열매체를 사용하여 열교환하며 이 때는 보통 프레온을 사용한다.

6) 기타 이용분야

현재 실용화 검토되고 있는 LNG 냉열이용 분야로는 우주개발용, 연료전지, 자동차, 항공용 연료로 사용 가능한 수소의 액화에 필요한 냉열공급, 압축기 흡입온도 저하 등에 LNG 냉열을 이용한다. 또한 대규모 전력 수송 시 발생하는 전기저항 감소를 위한 극저온 저항케이블과 초전도현상을 이용한 초저온케이블 개발 등이 있으며, 해수를 냉각, 결빙시켜 담수를 분리 생산하는 해수담수화 기술 등이 있다. 그리고 LNG 생산기지 공정에서는 LNG 송출부하 변동에 대응하여 송출량이 많을 때 냉열을 저장하고 필요할 때 사용하기 위한 냉열저장기술 등이 실용화 연구되고 있다.⁵⁾



5) 윤정인(2011), “LNG 냉열이용 기술개발 동향”, 「한국동력기계공학회지」, 제5권 제4호, pp.8-10.

제3장 신재생 에너지를 활용한 항만물류 사례

제1절 풍력을 활용한 군산항

우리나라의 경우 국내 최초 해상 풍력 단지인 서남해 2.5GW 해상 풍력 개발 사업이 진행 중에 있는데 이는 부안 위도에서 영광 안마도에 걸쳐 해상 풍력 단지를 개발하는 것을 골자로 한 사업으로 총 3단계로 구성된 바 있다. 이는 2013년까지 1단계로 실증연구 즉, 원 해상풍력 단지의 축소 규모로 테스트 단지를 구성하여 국산 부품을 테스트하고 결과를 기록하는 단계이며 이 기간 동안 기술을 확보하고, 운영에 관련한 경험을 2단계는 2016년까지이며 실증연구 단계보다 더 큰 규모로 시범사업을 운영하는 단계로 1단계를 통하여 검증된 기술과 축적된 노하우를 바탕으로 경제성 및 효율성을 확보하는 것이다. 마지막 3단계는 확산 단계로 2017년에서 2019년까지 시행 예정이었으며 상업적 생산을 목표로 20,000MW 이상의 전력 확보를 계획하고 있다.

이를 위하여 정부는 2012년에 지원항만으로 군산항을 지정하고 해상풍력 건설의 효율성을 높이기 위해 2016년까지 약 700억 원을 투자하여 전용 크레인, 조립시설, 배후단지, 타워 등이 들어서고 더불어 제 7부두를 신설하고 이를 해상풍력에 관한 전용 부두로 선정하려고 계획하는 등 1, 2, 3단계의 거창한 계획을 세웠다.

군산항이 지원 항만으로 선정된 이유 중 하나는 군산항이 풍력산업의 최대 시장인 중국 산둥성 등과 인접해 있어 배후단지 개발 이후에도 중국과 동남아 수출 전진기지로서의 역할을 톡톡히 해낼 수 있고, 새만금 개발 지구에 풍력시범단지가 조성된 것과 맞물려 배후단지 조성을 기반으로 국내 풍력산업을 선도해 나가겠다는 전북도의 기본 복안이 주효한 것으로 보인다.

특히 국내 최대의 총 47백만m² 규모의 군산·새만금 배후 산단에 KM, 데크항공 등 전국 유일하게 풍력발전기 완제품을 생산할 수 있는 클러스터화까지 추진하여 새만금 풍력산업 클러스터 조성사업이 완료되고 본격적인 해상풍력 발전단지 조성사업이 추진되면 군산항을 중심으로 한 새만금 지역이 명실상부한 대한민국의 풍력산업의 중심지로 급부상하며, 누적 매출은 42조원, 고용창출은 7만6000명에 이를

것으로 추산되었고, 특히 정부의 서남해 2.5GW 해상풍력발전단지 건설사업 추진에 맞추어 지원항만으로 선정된 군산항 주변에 현대중공업과 같은 풍력시스템 기업과 기자재 공급업체의 투자가 가속화될 것으로 기대하였으나, 현대중공업 군산조선소도 폐쇄되었고 실상은 2단계에서 사실 상 사업 추진이 중단되었다.

해상풍력 지원항만으로 선정되었던 군산항을 중심으로 한 해상풍력단지 건설이 마무리될 경우 군산항을 해상풍력으로 발전된 친환경 에너지를 확보할 수 있다는 측면과 더불어 해상풍력의 Value Chain을 확보할 수 있게 되므로 향후 항만의 해상풍력 발전 적용의 측면에서도 긍정적인 역할을 할 것으로 기대하였으나 기대에만 그쳤을 뿐 현재는 기존 계획하였던 결과를 내지 못한 상황이다.

제2절 태양광을 활용한 부산, 광양, 인천, 평택항

현재 국내에 위치한 무역항의 다수는 2010~2011년에 정부의 그린 포트 정책의 일환으로 항만 내의 물류센터 및 건물의 지붕에 태양광 발전기를 설치하고 이후 이를 확대해 나가는 중이며 현재 국내의 경우 신재생 에너지원 발전기 설치의 측면에서는 계획 중인 경우가 많다. 항만의 경우 항만 내 물류창고와 배후단지에 위치하는 물류창고들의 지붕이 넓고 근처에 고층 빌딩들이 위치하지 않아 태양광 발전기 설치 최적의 장소로 평가받아왔다. 국내의 경우 해상풍력 발전은 서해를 중심으로 계획하였고 실제 적용한 경우는 전무하나 다수의 항만에서 태양광 발전을 적용한 사례는 있다. 이에 관하여 항만공사들은 태양광에너지를 설치할 에너지회사와 MOU를 체결하고 물류 터미널 지붕을 임대하는 방식으로 항만 신재생 에너지화를 진행하고 있다.⁶⁾

6) 조은진(2015), “우리나라 항만의 신재생에너지 도입과 발전방안에 관한 연구”, 성균관대학교 석사학위논문, p.47.

1. 부산항

부산항은 이미 2009년에 부산 신항에 위치한 북컨테이너 건물에 지열을 이용한 냉난방 시스템을 도입한 바 있으며 이후 부산항만공사(BPA)는 한국 남부 발전과 태양광 사업에 대한 업무협약(MOU)을 체결하고 2010년에 부산신항 배후 물류단지 내에 위치한 물류단지 지붕에 태양광 발전기를 설치하여 연간 81GWh의 전력을 생산하고 이를 주변 일반 가정들과 부산 신항에 그 전력을 공급할 전략을 세웠다. 이 사업이 순조롭게 실행된다면 66MW 규모의 태양광 발전기에서 발전된 전기는 36,000ton의 이산화탄소를 감소시키는 효과와 더불어 에너지 구입 비용 절감 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대하였다. 이를 위하여 1차로 2011년에 120kW 규모의 태양광 발전 시설을 컨테이너 화물 작업장(CFS:Container Freight Station) 지붕의 정남쪽과 정북쪽에 총 120kW 규모로 결정질, 박막 Glass형, 박막 Film형의 세 가지 태양광 모듈을 설치해 발전성과 비용을 평가하였으며 아시아에서 가장 큰 규모의 단지가 되는 것을 계획하고 있다.

이를 위하여 부산광역시와 부산항만공사, 부산 신항 물류센터, 부산지역 신재생 에너지 관련기업이 함께 참여하고 프로젝트파이낸싱(PF) 형식으로 자금을 조달할 방침이며 잔여전력과 탄소배출권 판매를 통한 수익을 기대할 수 있게 되었다. 이러한 신재생 에너지 발전시설 적용을 통하여 부산 신항 배후 물류단지는 물론이고 강서국제물류산업도시 등으로 태양광발전을 확대할 수 있고 관련 기업들을 집적화해 클러스터 형성도 가능할 것으로 전망된다.⁷⁾

또한 부산항만공사는 2008년부터 항만 내의 신재생 에너지 시설을 확충 및 개발하겠다는 의지로 2013년까지 태양광을 비롯하여 지열, 풍력 에너지 등의 시설 확충에 1단계로 50억 원을 투자하고, 2단계인 2014~2016년에는 해양 에너지에 30억 원을 투자하여 안정적이고 지속적인 청정에너지를 확보함과 동시에 친환경 항만을 구축하고 정부의 그린 포트 정책에도 부합하겠다는 의지를 가지고 있다.

7) 조은진(2015), 전계서, pp.47-48.

2. 광양항

여수광양항만공사는 앞선 2010년 10월에 동서발전과 MOU를 체결하고 총 2단계로 태양광 발전 설비 설치를 진행하였으며 2013년에 전남도시가스와 MOU를 체결하여 3단계 발전 시설 설치를 마무리하였다. 광양항은 그동안 일조량이 전국의 평균보다 약 10% 높고 부두의 건물의 지붕이 넓어 태양광 발전기 설치의 적격지로 평가받아왔다. 앞서 동서발전과 항만공사는 2010년 컨테이너 화물 부두 및 CFS 물류창고의 61,000m²지붕에 태양광 발전시설을 설치하기로 합의하고 공사를 시작하여 이듬해인 2011년 9월에 1단계 공사를 마무리 짓고 신재생 에너지 생산을 시작한 바 있다. 광양항에 설치된 태양광 발전기는 2.3MW의 규모이며 사용된 비용은 100억 원에 달한다. 이로써 2,630,000kWh의 전력이 신재생 에너지로 발전되어 연간 1,600ton의 이산화탄소를 감축시키는 효과를 보고 있다.

또한 동서발전은 태양광 사업의 2단계의 실행을 위하여 2013년에 여수광양항만공사와 업무 협약을 체결하고 28억 원을 투자하여 동측배후단지에 위치한 황금물류센터의 지붕에 1.1MW 태양광 사업을 확장하였다. 2단계 태양광 발전 설치를 통하여 148만 kWh의 전력 생산이 친환경적인 방법으로 생산됨에 따라 603ton의 이산화탄소가 절감되는 효과가 있으며 또한 설치 확대방안으로써 3단계로 항만의 신재생 에너지 적용을 계획하고 전남도시가스와 MOU를 통하여 광양항 동측 배후단지 내 CJ대한통운 물류창고 지붕에 1.7MW의 태양광 발전기를 설치하였다. 2단계와 3단계의 설치가 완료되어 광양항은 태양광 발전기로 연간 5,656MWh 이상의 전력을 얻게 된다. 이를 정리하면 다음의 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 광양항 태양광 발전 시설 적용 현황

단위 : MWp, MWh, ton

단계	설치장소	MOU	설비용량	발전 용량(년)	CO ₂ 절감량(년)
1	CFS(8동) 및 국제물류센터	한국동서발전	2.3MWp	2,610MWh	1,234ton
2	황금물류센터	한국동서발전	1.1MWp	1,260MWh	591ton
3	CJ대한통운	전남도시가스	1.7MWp	1,950MWh	915ton
합계	-	-	5.1MWp	5,820MWh	2,740ton

자료 : 여수광양항만공사(2014), 「광양항 그린포트 추진실적」, p.4 참고.

3. 인천항

인천항과 연안솔라는 2013년 총 100억 원을 투자하여 인천내항 물류창고 14개동 70,000m² 면적의 지붕에 4MW의 태양광 발전기를 설치하고 하루 3.5~3.7시간 발전기를 가동하여 연간 4,818MWh의 전력을 생산하고 있다. 이는 인천항 내항 8개, 부두 48개의 전력 수요인 7.6MW의 52%를 차지하는 규모이다. 인천항 신재생 에너지 설치의 지분을 투자하는 정도에너지와 한국남동발전이 맡고, IPA와 인천시는 지원을 하기로 하는 방식으로 신재생 에너지 적용을 진행하였다. 세부적으로는 정도에너지가 설계·구매·시공을, 한국남동발전이 건설사업과 시설운영·유지관리를, 인천시는 관련 인허가 협조 등 행정적 지원을 나눠 맡았다.

인천항만공사는 태양광 발전 시스템을 설치하는데 100억 원이 투자되었지만 연간 약 20억 원의 수익을 기대하고 2단계로 2013년에 민간 자본 120억 원을 유치하여 인천 서구 북항로 163 일대 북항 안에 위치한 인천 북항 벌크터미널 창고, 인천 북항 다목적부두(주) 창고 등 8개 창고에 연간 전력 생산량 4.75MW 규모의 태양광 발전설비를 설치하였다. 또한 인천항만공사는 이들 창고 지붕에 7만6668m² 규

모의 태양광 패널을 설치함에 따라 연간 24,927MW의 전력을 생산하고, 11,690ton의 이산화탄소 저감 효과가 있을 것으로 기대하였다. 또한 인천항만공사는 전력 생산으로 얻어진 수익의 일부를 임차료 명목으로 창고 운영자들에게 돌려주는 방식을 채택하였으며 이후 아암 물류단지로 확대해 나갈 방침이다. 이를 정리하면 다음의 <표 3-2>와 같다.

<표 3-2> 인천항 태양광 발전 설비 현황

연도	에너지원	내용
2013	태양광	10MW 규모 -1단계: 4MW-내항 13창고 지붕설치 -2단계: 6MW-북항 2창고 지붕 아암물류 1단지 감문
2012	지열	인천내항 신축 랜드마크센터, 지열 냉난방 시스템 도입

자료 : 이희관 외 20(2013), 「인천항 Green Port 구축 종합계획」, 인천항만공사, p.479.

4. 평택항

경기평택항만공사는 마린센터, 포승물류부지, 배후단지, 홍보관 등지에 태양광 발전소를 건립할 목적으로 케이디 파워와 2014년에 MOU를 체결하였다. 이번 MOU는 BOT방식으로 경기평택항만공사는 케이디파워에 부지를 제공하고 채원조달을 하며 케이디파워는 설계 및 시공을 맡게 된다. 이번 태양광 발전 시설 도입은 최신 태양광 설치 기술인 TCS(Team Control System) 태양광 시스템을 도입한다는 측면에서 그 의의가 있다. 평택항의 태양광 발전소는 복합물류센터를 건설하면서 계획된 것으로 건축단계에서부터 신재생 에너지가 도입된 사례로 이는 정부의 그린포트 정책의 일환으로 신규 공공 건축물에 적용되는 RPS에 따른 것으로 분석된

다.

이에 따라 300억 원을 투자하여 태양광 발전소를 앞서 언급한 건물의 옥상 10,960m²의 넓이에 설치될 예정이며 이 건물 입주기업은 지붕 임차에 따른 임대수익을 기대할 수 있게 된다. 이번 태양광 발전으로 앞으로 약 10~15MW의 전력을 생산할 수 있을 것으로 보이며 연간 9,000,000ton의 이산화탄소가 절감될 것으로 기대하고 있다.

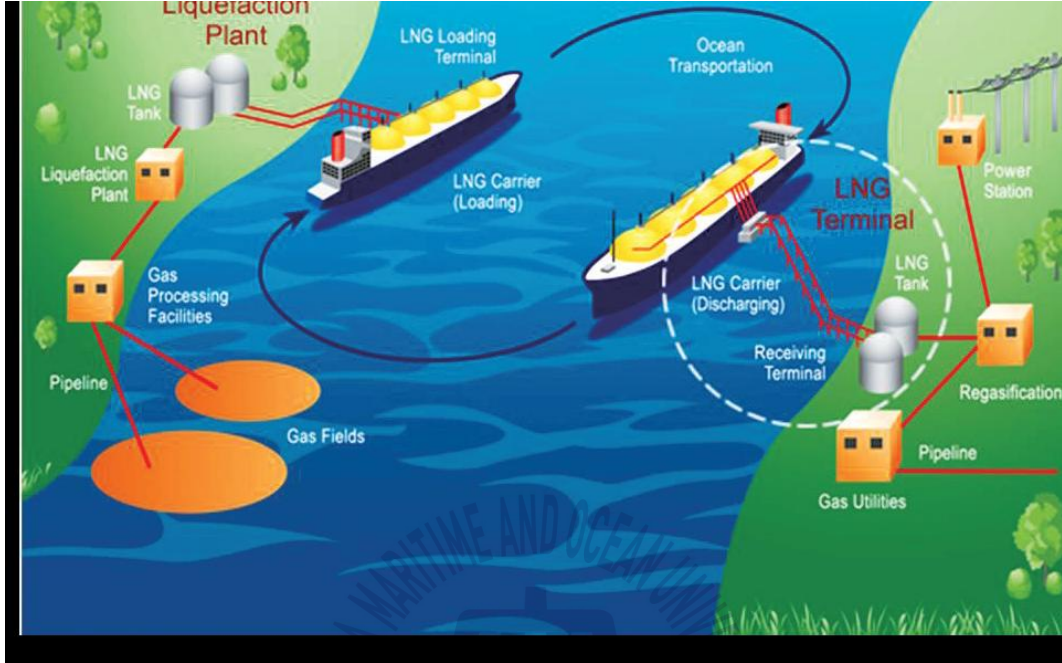
제3절 LNG 냉열을 활용한 평택오성물류센터

LNG 냉열은 액화천연가스가 가지고 있는 초저온 에너지를 의미하는데 한국가스공사는 2013년 39.3백만 톤의 LNG를 수입하였으며, 그 양을 냉열에너지로 환산하면 약 7.86 Pcal에 해당한다. 이런 엄청난 냉열에너지의 활용에 대해서 지자체, 학계 및 산업계에서 관심을 갖는 것은 피할 수 없는 현실이며, 더욱이 근래 들어 원자력발전에 대한 불안한 국내 현실을 감안할 때, 냉열활용에 대한 관심은 최고조에 달하고 있다.⁸⁾

액화천연가스(LNG) 냉열은 초저온의 액체 천연가스가 가지고 있는 열을 의미하며, 에너지 관점과 엑서지 관점에서 그 양을 평가할 수 있다. 우선, LNG 냉열이 생성되는 과정에 대해서 간단히 소개하고자 하며, 그것은 <그림 3-1>에서 보여주는 바와 같다.

8) 김호연, 김철만(2014), “LNG 냉열의 현황,” 한국에너지학회 학술발표회, p.80.

<그림 3-1> 액화천연가스의 가치사슬



가스전(Gas Fields)에서 압축된 천연가스를 뽑아내어 가스처리설비(Gas Processing Facilities)에서 불순물을 제거하게 되고, LNG 액화플랜트(Liquefaction Plant)에서 냉동기를 이용하여 기체상태의 천연가스를 액체상태의 천연가스로 상변화를 시키게 된다. 이것은 선박수송 시, 천연가스의 부피를 최소로 하기 위함이며, 약 1/600로 감소하게 된다. 이 때, 천연가스는 약 -162°C 의 액체상태로 변화하며, LNG 냉열을 생산하게 된다. 초저온의 LNG는 탱크에 저장되어 있다가 LNG 선박에 선적되고, 이 과정은 천연가스 산지에서 모두 이루어진다.

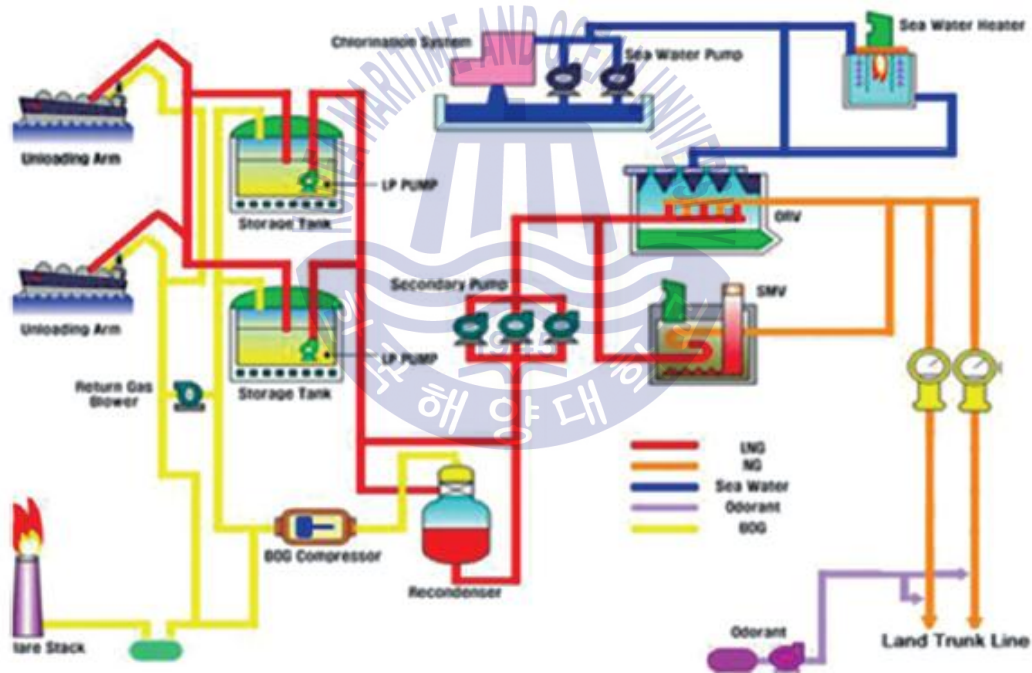
한국가스공사는 LNG 선박을 통하여 액화천연가스를 수입하여 LNG터미널에서 LNG 저장탱크에 하역하게 된다. 이때까지의 LNG는 약 -162°C 를 유지하게 된다. 이 포화온도는 LNG 저장탱크의 압력에 의해서 결정되는 온도이며, 압력이 상승하면 포화온도가 올라가게 되고, 압력이 낮아지면 포화온도가 내려가게 된다. 액체상

태의 초저온 천연가스는 재기화장치를 통하여 0℃ 이상의 기체상태 천연가스로 상변화되어서 발전소와 도시가스사에 공급하게 된다.

1. LNG 생산기지

한국가스공사에서 LNG 생산기지는 LNG를 수입하여 하역하고, 재기화하여 주배관망에 공급하는 역할을 하는 LNG 하역터미널을 의미한다. 또한, LNG 냉열측면에서는 모든 LNG 냉열이 100% 사용되는 곳이기도 하다. 우선, LNG 생산기지 프로세스에 대해서 간단히 소개를 드리고자 한다.

<그림 3-2> LNG 생산기지 프로세스



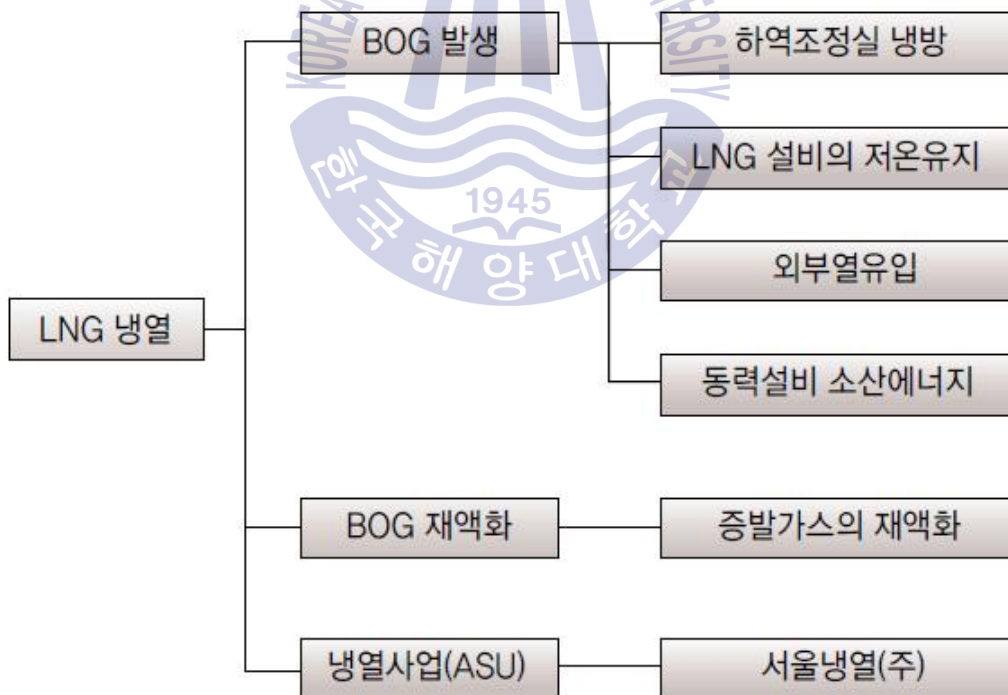
<그림 3-2>에서 보는 것과 같이 LNG 선박으로부터 수송된 LNG는 언로딩암을 통하여 저장탱크에 보관되며, 저장탱크 내에 있는 잠액식 저압펌프로 저압송출하게 되며, 그 과정에서 생산기지 내 발생하는 증발가스를 재액화시키게 된다. 그리

고 고압펌프는 저압의 LNG를 고압으로 기화설비로 보내 액체의 천연가스를 기체의 천연가스 재기화시켜 미터링을 통과한 후, 주배관망을 통하여 발전소와 도시가스사에 공급하게 된다. 천연가스는 LNG 저장 탱크에서 기화설비 전단까지 액체상태로 머무르게 되고, 그 때의 온도는 증발가스 처리량에 따라 다르게 되며, 생산기지 내에서 LNG 냉열을 활용할 수 있는 유일한 구간이기도 하다.

2. LNG 냉열 현황

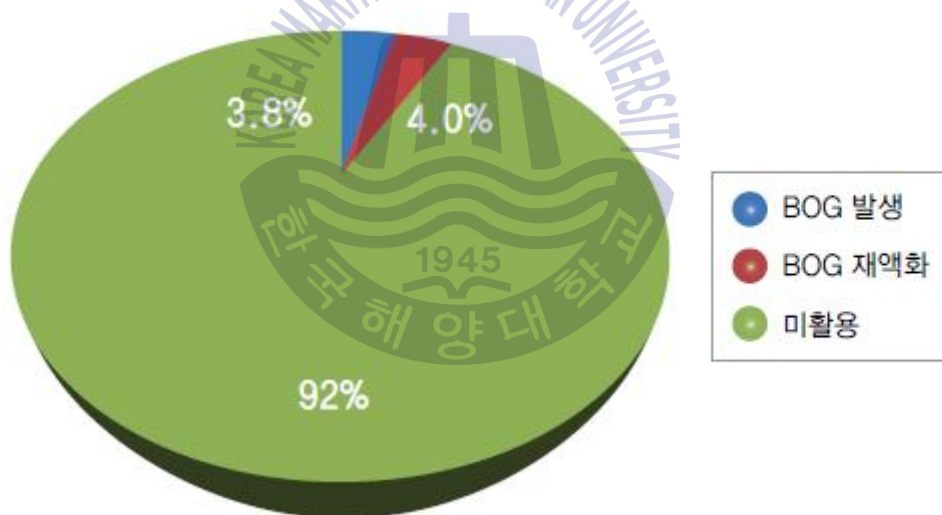
LNG 생산기지 내에서 LNG 냉열은 전량 사용된다. 그것의 활용가치는 앞서 언급한 바와 같이 어려운 문제이기 때문에 다음 기회에 기술하고, 본 논문에서는 한국가스공사의 LNG 냉열에 대한 활용 현황에 대해서 기술하고자 한다.

<그림 3-3> LNG 냉열의 활용 분류

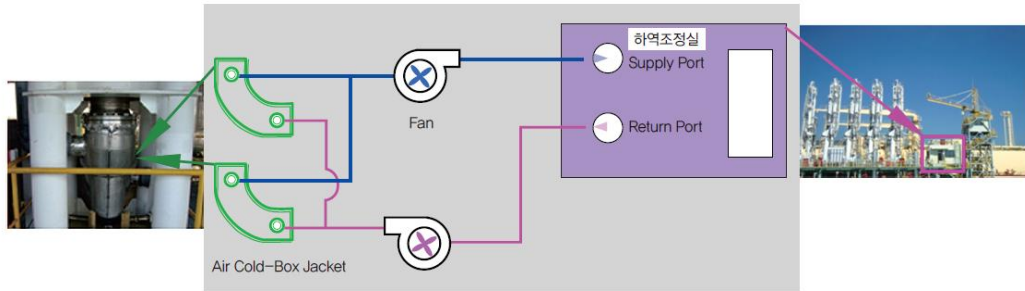


한국가스공사는 2013년도 39.3백만 톤의 LNG를 수입하였으며, 이를 LNG 냉열량으로 환산하면, 7.9 Pcal에 해당한다. LNG 냉열의 활용현황은 그림 21에서 보는 바와 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 증발가스가 발생하는 데, 두 번째는 증발가스를 재액화하는 데, 마지막으로 냉열 사업의 일환인 공기액화분리 사업을 위한 서울냉열(주)의 사용이다. 특히 공기액화분리사업에 활용된 LNG 냉열의 사용은 첫 번째의 증발가스 발생 범주에 포함될 수 있다. 이것을 2013년도 LNG 수입량 기준으로 정량적으로 평가하면 <그림 3-4>에서 보는 바와 같다. 2013년도 전체 LNG 냉열량의 3.8%가 증발가스 발생에 사용되었고, 증발가스 재액화에 4.0%가 활용되었으며, 나머지는 미활용되었다. 이것은 에너지관점에서 평가한 것이다.

<그림 3-4> 2013년도 LNG 냉열의 활용비율



<그림 3-5> 하역조정실 냉방프로세스



증발가스 발생의 세부적인 것에 대해서 언급을 하고자 한다. 한국가스공사는 LNG 하역 시, 하역 조정실을 냉방하기 위하여 공기냉각자켓을 이용하여 LNG 냉열을 사용하고 있으며, 그 프로세스는 그림 23에서 보여주는 바와 같다. 하역조정실의 냉방은 방폭지역으로 LNG 하역 시 하절기에만 실시되고 있으며, 이것도 증발가스를 발생시키게 된다.

LNG 설비의 저온유지 Keep Cooling은 LNG가 있는 모든 설비 및 배관을 -120°C 의 저온상태로 상시 유지하는 것을 말한다. 금속은 온도에 따라 수축 및 팽창률이 크게 변화하기 때문에 급격한 온도변화로부터 설비 및 배관의 심각한 변형을 방지하기 위하여 일정한 온도로 유지해야만, 필요 시 LNG를 오랜 시간이 소요되는 Cool-Down 과정 없이 공급할 수 있다. 이런 과정에 LNG 냉열을 사용하고 있다. <그림 3-6>은 단열 처리된 LNG 배관을 보여 주고 있다.

<그림 3-6> LNG 배관의 외관



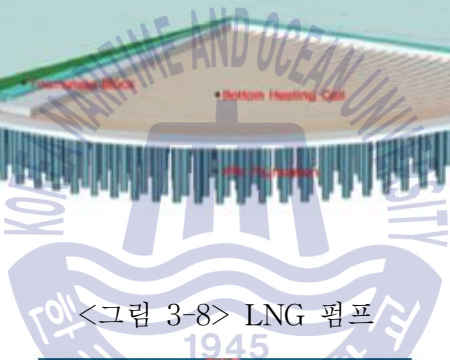
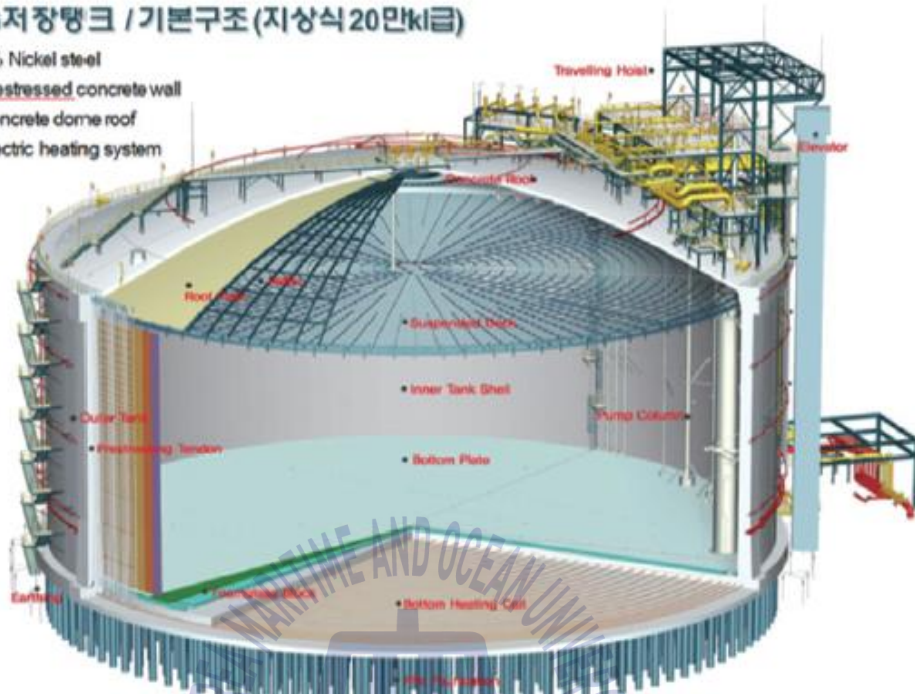
외부열유입은 초저온의 LNG가 들어 있는 모든 배관 및 설비에서 발생하는 피할 수 없는 물리적인 현상 중의 하나이다. Keep Cooling도 이런 현상 중의 하나이지만, 인위적으로 설비의 조건을 유지하기 위한 것이기 때문에 분리된 개념으로 이해해야 한다. LNG 생산기지 내에서 외부열유입이 가장 많은 곳은 LNG 저장탱크이며, 그림 25에서 보는 바와 같다. 생산기지 내에서 가장 많은 LNG를 담고 있는 곳이며, 가장 온도가 낮은 LNG가 있는 곳이고, 이 곳을 통한 열유입량이 가장 많다. 또한, 외부열유입에 사용되는 냉열량 중에 가장 많은 곳으로 평가되어진다.

동력설비의 소산에너지는 LNG에 동적인 움직임을 주는 펌프 및 압축기 일량의 일부가 열에너지로 변환되기 때문에 발생하는 것으로 이것에 LNG 냉열의 일부가 사용된다. <그림 3-6>은 LNG 펌프가 분리되는 외관을 보여 주고 있다.

<그림 3-7> LNG 저장탱크

2. LNG저장탱크 / 기본구조 (지상식 20만ki급)

- 내부 : 9% Nickel steel
- 외부 : Prestressed concrete wall
- 지붕 : Concrete dome roof
- 바닥 : Electric heating system

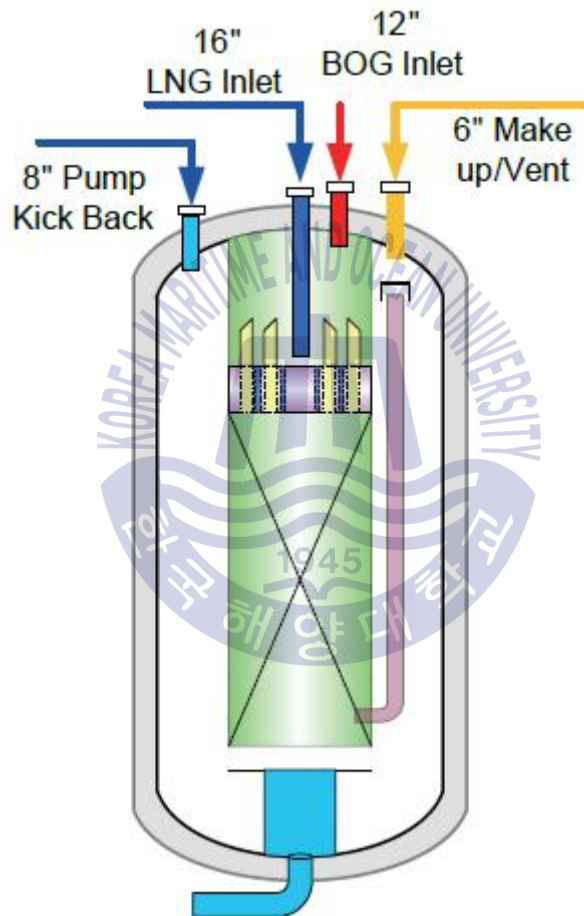


<그림 3-8> LNG 펌프



앞서 언급한 증발가스 발생에서 인위적으로 또는 자연적으로 일어나는 현상 등에 의하여, LNG 냉열이 사용되고 있으며, 그로 인하여 생산기지 내에는 증발가스가 발생이 된다. 생산기지 내에서 증발가스를 처리하는 방법은 세 가지가 있으나 LNG 냉열을 사용하는 방법은 증발가스를 재액화하는 것이기 때문에 이 방법에 대해서 간단히 설명하고자 한다.

<그림 3-9> 증발가스(BOG) 재액화기



증발가스 재액화기는 <그림 3-9>에서 보는 바와 같으며, 생산기지 내 발생된 증발가스는 액체상태의 천연가스와 약 1:10의 비율로 혼합되어 다시 액체 상태로 상

변화되어 고압 LNG 펌프로 흘러가게 된다. 따라서 발생된 증발가스를 재액화하는데 역시 LNG 냉열을 사용하고 있다.

한국가스공사에서 LNG 냉열사업에 냉열을 유일하게 공급하고 있는 기지는 평택 생산기지이며, 서울냉열의 공기액화분리사업에 시간당 약 27톤의 LNG 냉열을 사용할 수 있도록 공급하고 있다. 현재까지 알려진 냉열사업 중에서 가장 많은 나라에서 사업을 하고 있는 분야이다.⁹⁾

3. LNG 수급 전략

1) 제도적 요인

한국의 LNG 수급과 관련된 계획, 법안은 도시가스사업법 1조, 한국가스공사법 1조에 근거하여 장기적이고, 안정적으로 가스를 공급받는 것을 골자로 하고 있다. 이러한 안정성을 증시하는 기조는 2010년대 발표된 계획, 전략에도 그대로 유지되었다. 이는 대규모 물량을 안정적으로 공급받을 수 있는 카타르에 대한 LNG 수입 의존도가 높은 상태인 것을 통해서도 확인할 수 있다. 또한, 스팟계약보다 장기간 물량 공급이 가능한 장기계약 비중이 크다는 사실을 통해서도 알 수 있다.

2) 시장 구조적 요인

시장 구조적 요인은 기업이라는 행위자에 영향을 미치는 요인으로 독점시장과 경쟁시장, 민간기업과 공기업으로 나누어 살펴볼 수 있다. 배관을 통해 가스가 공급되는 가스 사업은 배관의 설비, 정비, 유지가 필요하므로 자연독점인 특성을 가진 사업으로 간주한다. 한국의 경우, 도시가스사업법에 근거하여 도입도매부문에서는 공기업이, 소매부문에서는 민간 기업들이 참여하는 수직구조로 시장이 운영되고 있다. 따라서 도매부문과 소매부문에 대한 사업자 구분이 명확한 편이다. 소매의 경우 공기업인 한국가스공사는 참여하지 않고, 각 지역별 도시가스 회사가 운영하

9) 김호연(2015), “LNG 냉열의 현재와 미래,” 「설비저널」, 대한설비공학회, 제44권 2월호, pp.44-47.

는 형태이다. 따라서 대부분의 인수시설과 저장시설은 한국가스공사가 소유하고 운영하고 있다. 또한, 한국은 공기업을 중심으로 집중 투자를 통해 전국적인 장기 배관망 구축을 비교적 단기간에 완비할 수 있었다. 그 결과, 2015년 기준 전국 보급률이 80.8%에 이를 정도로 높은 공급망을 형성하고 있다. 이러한 높은 공급설 비율을 갖출 수 있었던 것은 공기업을 중심으로 공익에 주안을 두고 사업을 운영했기 때문이었다. 그리고 이러한 시장 구조적 요인으로 인해 국제 LNG 시장 구조 변화에도 한국은 안정성에 무게를 두고 LNG 수급 전략을 유지하려는 것이다.

3) 가격적 요인

가격 요인은 크게 LNG 도입가격과 국내 가스요금으로 나뉘어 살펴볼 수 있다. 한국의 경우 LNG 도입계약이 장기계약 중심으로 구성되어 있다. 그로 인해 의무 인수조항(Take-or-Pay)과 목적지제한조항(Destination Clause)에 묶여 도입물량을 조정하기에 어려운 편이다. 한국은 2010년대 초반부터 스팟계약을 늘려 10%대였던 스팟계약을 2014년에는 25% 수준까지 늘려왔다. 이는 스팟계약을 활용하여 2011년 정전사태에 따른 발전용 가스 소비를, 2012년과 2013년에는 동절기 한파에 따른 난방 수요를 충당해온 것이다. 그러나 2014년 이후 가스 수요가 감소하자 스팟계약 비중도 18%로 줄어 드는 추세를 보였다. LNG 수입 물량이 늘어가면서 점차 LNG 수입에 따른 재정 부담이 늘어났다. 그러나 2013년도를 제외하고는 전체 지출에서 LNG 지출 차지하는 비중이 5% 이하에 머물렀으며 2014년부터는 비중이 줄어 국가 재정 부담이 낮은 편에 속했다.

따라서 국제 LNG 시장 변화에도 가격 인하에 대한 유인 동기가 크지 않아 한국은 기존의 안정성 중심의 기존 LNG 수급 전략을 유지할 수 있었다.

한국은 저장비율을 확대하고, 현재 저렴한 스팟계약 물량을 늘려 발전용 가스 수요를 확대하는 방안을 고려할 필요가 있다.

IEA에 따르면, 한국은 2025년에서 2028년에 상당수의 도입계약이 만료된다. 이 시기에 한국은 민영화를 통한 산업구조개편을 모색하고 있다. 또한 2016년 옥스퍼드 에너지 연구원(The Oxford Institute for Energy Studies)에서 발표한 바에 따르

면, 한국은 2014년 이후 가스 수요가 감소하다가 2020년 초부터 발전용 가스 수요의 증가로 총 가스 수요가 증가할 것으로 전망된다. 이 두 가지 전망을 놓고 보았을 때, 한국의 가스시장은 점차 유동성을 증시하며 수요가 확대되는 방향으로 갈 전망이다.¹⁰⁾

산업통상자원부에서 LNG 냉열에너지를 신산업분야로 분류하여 산하기관인 에너지기술평가원을 통하여 산업기술혁신사업(에너지기술개발사업)으로 2016년 12월부터 약 34개월간 유진그룹의 유진초저온(주)가 주관기관으로 추진 중인 ‘LNG 냉열(-100℃ 이상) 이용 저온 냉동·냉장 시스템의 핵심기술 개발’ 사업의 추진현황은 다음과 같다.

4. LNG 냉열이용 냉동·냉장창고의 핵심기술개발사업

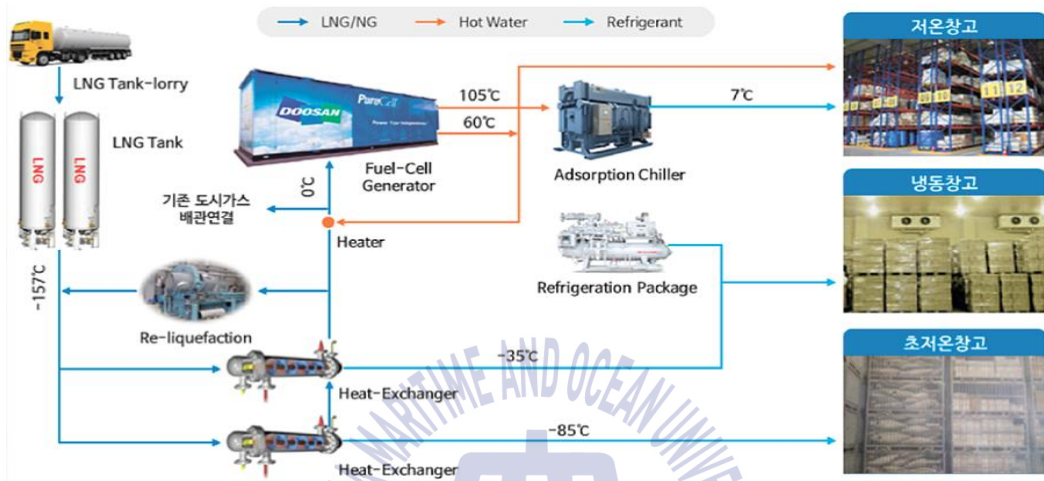
“LNG 냉열(-100℃ 이상) 이용 저온 냉동·냉장 시스템의 핵심기술 개발”사업의 기술개발 목표는 1) 고효율 열교환기의 압력과 온도에 따른 최적 열교환기 설계, 2) 냉동·냉장창고로 순환하는 냉매의 현열과 잠열을 동시에 이용하는 시스템 개발, 3) LNG 냉열 이용률을 50~60%에서 80~85%으로 향상, 4) 열교환기 효율을 70~80%로 약 5~10%향상, 5) LNG 냉동·냉장 시스템이 단순하기 때문에 전기식 설비의 초기투자비에 비해 약 10% 이상 절감, 6) 시스템의 운전비용을 55% 이상 절감하는 LNG 냉열이용 냉동·냉장창고 실규모(LNG 2톤 이상) 플랜트 구축 및 기초설계기술 확보를 목표로 하고 있다.

주관기관인 유진초저온은 개발업무 총괄, 고효율 열교환기 개발, 실증 Test Bed 구축 및 실증시험(2 ton/hr, 평택오성물류센터, 그림 28 참조), LNG 냉열 이용 융·복합 최적제어 시스템 개발을 수행하며, 중원냉열은 융·복합용 -60℃ 유닛쿨러 개발과 신냉매용 팽창기관 개발이며, 벽산엔지니어링은 실규모 플랜트의 기초 설계, 삼진야드는 가스엔진 GVU 개발 및 이중진공단열배관 개발, 인천항만공사는 test

10) 손승욱,이재승(2017), “한국과 일본의 LNG 수급 전략에 대한 비교연구,” 「국제정치연구」, 동아시아국제정치학회, 제20집 1호, pp.39-42.

bed 제공 및 LNG 냉열을 이용한 타업종 비즈니스 모델 개발, 수원대학교는 고효율 열교환기 및 시스템 공정해석에 의한 최적화 연구, 시스템 경제성 분석 및 사례 연구를 수행하고 있다.¹¹⁾

<그림 3-10> LNG 냉열이용 저온·냉장 시스템의 핵심기술 개요도



<그림 3-11> LNG 냉동냉장시스템의 실증 Test Bed 구축현황(유진초저온 평택오성물류센터 내)



11) 백영순(2018), “LNG 냉열 이용 기술개발 현황과 전망”, 「가스신문」

LNG는 액화 과정에서 분진, 유황, 질소 등의 불순물이 제거되어 연소 시 공해물질이 거의 발생하지 않으며, 발화온도가 높고 누출이 되어도 대기 중에 쉽게 확산되므로 매우 안전하다. 따라서 이 버려지는 냉열을 이용한 다양한 LNG 냉열이용 산업이 일본에서는 이미 오래 전에 개발되어 시행되고 있고, 국내에도 평택인수기지에 공기분리공장을 건설, 운영하고 있으며, 이용기술을 소개하면 다음과 같다.

- 1) 공기분리공장 : LNG 냉열이용하여 공기 중의 질소, 산소, 아르곤을 액화 분리(전력 절감)하고 있으며, 평택 LNG 생산 기지 인근에 서울냉열(주)이 공기분리공장을 건설하여 1990년부터 운영 중
- 2) 아이스링크, 스키 및 냉동·냉장물류센터 : 저온의 냉매를 LNG 냉열이용하여 냉각시킴으로써 약 70%의 전력원단위 절감효과 기대
- 3) 냉열 발전 : LNG가 기화될 때 600배로 팽창되는 원리를 이용한 가스터빈 발전
- 4) 급속 냉동(커피분말 제조) 및 저온 파쇄(타이어 파쇄 등), 드라이아이스 제조 등¹²⁾

5. 향후 추진일정

LNG 냉열(-100℃ 이상) 이용 저온 냉동·냉장 시스템의 핵심기술 개발을 위해서 2018년 7월까지 핵심기술인 1, 2차 초저온 열교환기, 초저온 unit cooler, 진공단열 배관의 시제품과 성능시험을 완료하고, 2019년 5월 2ton/hr 규모 LNG 냉열 이용 냉동냉장시스템의 test bed 구축하여 2019년 9월까지 약 2,000시간 실증시험 실시 및 개선하여 실규모의 기본설계를 작성할 계획이다.¹³⁾

12) 이동건(2015), “미활용 LNG 냉열 기술,” 대한설비공학회, 「설비저널」, 제44권 2월호

13) 백영순(2018), 전게서,

<표 3-3> 향후 추진일정

번호	개발 내용	추진 일정		
		'18.07	'19.05	'19.09
1	고효율 저온 열교환기 개발	← 시제품 제작 →	← 시운전 및 성능평가 →	
2	최적제어시스템 개발	← 시스템 제작 →	← 설치 및 시운전 →	← 성능평가 →
3	고효율 저온 Unit Cooler 개발	← 유닛콜러 설계 →	← 유닛콜러 제작 →	
4	가스엔진 GPU 및 진공단열 배관 개발	← 시제품 제작 →	← 설치 및 시운전 →	← 시운전 →
5	시스템 설계 및 Engineering Design datd 작성	← P&ID, PFD 작업 →	← Layout 작성 →	← Basic Data 작성 →
6	시스템 운전 조건별 최적화 해석 및 경제성 분석	← 최적화 해석 →	← 경제성 분석 →	
7	성능시험 Test Bed 구축, 실증 성능 시험 및 분석		← TEST BED 구축 →	← 실증 시험 및 분석 →

제4절 해외 항만의 신재생 에너지 활용 사례

1. 일본의 LNG 냉열 이용 냉동·냉장창고의 현황

LNG 냉열은 각 산업분야에 적용되고 있으며, 현재까지는 공기 액화, 냉열발전과 저온창고에 적합하여 많이 활용한다(일본은 다양한 LNG 냉열기술을 개발하여 많은 분야에서 적극적으로 활용함).

냉열을 이용하는 기술은 저압에서 이용하는 경우와 고압에서 이용하는 경우로 나눌 수 있으며, 대부분 저압에서 이용하다 보니 BOG 처리에 많은 에너지가 소요되어 경제성에 제약을 받고 있다.

LNG 냉열이용 기술은 고압측에서 연속적으로 이용 가능하며, LNG를 바로 기화하여 공급할 수 있으므로 BOG 재처리 비용을 줄일 수 있고 기화에 필요한 에너지를 고압측 폐온열원에서 가져오므로 1석 2조의 효과를 얻을 수 있다.¹⁴⁾

14) 이동건(2015), 전게서,

일본의 LNG 냉열 이용 동결냉장 및 냉동식품 사업현황 실태를 조사해보았다. 조사대상은 두 업체였으며, 일본 후쿠오카와 요코하마에 LNG 냉열이용 냉동물류센터가 운영 중이다. 후쿠오카(세이부가스, 1997년에 완공)는 1개 센터, 4층 구조, 2만 5천톤의 규모이고, 요코하마(동경가스, 1973년에 완공)는 3개 센터 3~5층 구조, 3만 3천 톤의 규모이다.<표 3-4>.

<표 3-4> 후쿠오카와 요코하마 LNG 냉열이용 물류센터



일본 LNG 기지 도쿄가스 송출압력은 <표 3-5>와 같다.¹⁵⁾

<표 3-5> 가스송출압력과 LNG 냉열이용

도쿄가스	가스 송출 압력	LNG냉열 엑서지 (-160℃→-20℃)	내역	
			압력 엑서지(송출압→대기압)	온도 엑서지(-160℃→-20℃)
네기시 공장	2 MPa(20 K)	919 kJ/kg (219.5 kcal/kg)	390 kJ/kg(93.1)	529 kJ/kg(126.4)
소데 가우라 공장	7 MPa(70 K)		542 kJ/kg(129.3)	378 kJ/kg(90.2)

* 1 MPa = 10.3 kg/cm² = 9.9 atm.

15) 이동건(2015), 전계서,

2. 풍력을 활용한 독일 함부르크항과 브레머하펜항

독일의 북부에 위치한 함부르크항 항만공사(HPA)는 독일 정부와 합작하여 “Smart Port Energy” 프로젝트를 수립하였다. 이를 통하여 항만에 재생 가능한 에너지를 이용함으로써 환경 친화적인 에너지를 재분배하고 에너지 소비 및 배출뿐만 아니라 비용까지 절감한다는 계획이다. 구체적으로는 재생 가능한 자원으로부터 생성된 환경 친화적인 에너지를 공급하고, 수요에 따라 재생 에너지 공급을 조절함으로써 기존 에너지에 대한 의존도와 전체적인 에너지 소비를 줄인다는 것이다. Smart Port Energy를 통하여 현재 사용되는 전력의 40% 이상이 신재생 에너지로 발전되고 함부르크 항만 공사는 이 프로그램을 통하여 친환경적인 항구 건설을 기대하고 있다.¹⁶⁾

특히 함부르크 항만은 풍력 자원이 풍부한 지역에 위치하고 있다. 구체적으로는 지상 100m에서 6.3m/s, 120m에서 6.7m/s으로 이는 풍력발전의 경제적 효율성을 보장하는 수치이며 이러한 지역적 이점 덕분에 함부르크항은 최대 풍력발전 항만 중 하나로 꼽히고 있다. 현재 함부르크 항만에는 연간 630Gwh 규모의 전력이 발전 가능한 풍력발전기가 설치되어 있으며 이는 한 가정이 연간 2,500Kw의 전력을 소모한다고 가정하였을 때 12,000의 가정의 전력 소모분과 맞먹는 수치이다.

항만에 설치되어 있는 풍력발전 시설은 2013년에 항만의 신재생 에너지 적용 계획에 따라 480,000유로를 투자하여 이루어 졌으며 높이 200m, 시간당 8.7MW의 전력을 생산 가능하다. 이는 함부르크 항만이 연간 사용하는 전력인 2,000,000의 30~50%에 해당하는 수치로 함부르크 항만공사는 연료 구입비 절감 및 독일의 FIT 제도를 통한 수입을 통하여 7년 안에 투자금 회수를 기대하고 있다.

또한 함부르크 항만청은 풍력발전에 더불어 태양광 적용도 고려 중에 있으며 29,000m²에 달하는 물류창고 지붕에 4,000장 이상의 태양광 발전기를 설치하고 이를 통하여 시간당 460,000kW의 전기를 생산할 방침이다. 또한 태양광 적용 사업을 기초로 하여 연장선상으로 4,000m²에 달하는 컨테이너 터미널 지붕에 태양광 발전기를 설치할 계획을 가지고 있으며 이를 통하여 시간당 113,000kW의 전력을

16) 조은진(2015), 전계서, pp.37-41.

생산할 것으로 기대하고 있다.

특히 독일은 2000년에 재생에너지법(erneuerbare Energien Gesetz: EEG)을 제정하고 재생에너지 생산자에게 시장가격과 고정가격과의 차액을 법적으로 보상해 주고 있다. 이 때 보조금은 정부가 아니라 최종 전력 소비자인 국민들이 운영 비용을 부담하는 방식이며 전송망 사업자들은 우선적으로 재생에너지를 사용해야 한다는 규정이 있다. 따라서 독일의 경우 결과적으로 FIT 제도가 재생에너지가 원자력이라 다른 에너지를 앞지르게 된 결정적 이유라고 할 수 있다. 성공적 FIT의 요소로 발전비용과 적정한 이윤을 보전하는 장기적인 지원금 보장, 시간경과에 따른 인센티브 강도 감소(tariffdegression), 특정 재생에너지 기술에 대한 인센티브, 특정 정책 목표를 달성하도록 고안된 인센티브 등을 들고 있는데, 독일의 FIT는 대체적으로 이러한 형태를 띠고 있다는 평가를 받는다.

함부르크 항만은 신재생 에너지를 항만에 적용함에 있어 항만 근처에 위치한 신재생 에너지 클러스터의 영향을 많이 받았다. 이 신재생 에너지 클러스터는 전 세계의 신재생 에너지 기업 약 100개가 위치해 있으며 신재생 에너지 전 분야를 통틀어 1,500여개 정도의 회사가 함부르크항 및 인근지역에 소재하고 있다. 이에 따라 독일 정부는 Hamburg Renewable Cluster Agency를 설립하고 신재생 에너지 관련된 기업들의 정책, 마케팅, 서비스, 기술개발에 이르기까지 신재생 에너지에 관련한 거의 전 분야를 지원하고 있다. 클러스터 안에 위치하고 있는 업체들은 대부분 엔지니어링, 연구개발, 사업총괄, 전문 컨설팅 등 기술 및 산업발전에 중요한 분야로 집중되어 있으며, 고급 일자리 창출을 통하여 지역경제 활성화에 기여하고 있다. 구체적으로 이 클러스터에는 신재생 에너지 관련 기후변화 연구소, 12개의 풍력장비제조사, 에너지 공급업체, 기술 및 기타서비스를 제공하는 여러 기업이 다수 포함되어 있다.

이 가운데 절반 이상의 회사들은 풍력에너지 분야에서 두각을 보이고 있다. 독일의 에너지 공급업체뿐만 아니라 동 에너지(Dong Energy), 바텐팔, 아레바 윈드, 가메사, 제너럴 일렉트릭, 유럽 미쯔비시 파워 시스템, 노텍스 등의 글로벌 전력공급업체와 에너지 대기업이 본사 또는 지사(연구센터)를 함부르크에 설립했다.

이 클러스터는 신재생 에너지 관련 업체들뿐만 아니라 대학과 연구소가 풍력 분

야의 연구 클러스터 기반을 이루고 있다는 것이 그 특징이다. 여기에는 함부르크 응용과학대학(HAW)의 신재생 에너지 연구센터(CC4E)를 비롯하여 함부르크-함부르크 공과대학(TUHH)의 기계공학 및 기초건축물 연구, 함부르크 인근 대형 공공 연구기관인 게수타프트연구소(GKSS), 함부르크대학(Univ.Hamburg)과 막스플랑크 기상학 연구소의 기상연구 등이 결합되어 있다. 또한 이 클러스터는 신재생 에너지 관련 업체들과 대학 및 연구소의 연구 역량을 결집하여 특히 해상풍력분야의 연구개발 활동을 강화하는 한편 우수한 전문 인력을 육성하기 위해 기존의 기후분야 클라마캠퍼스(Klimacampus)와 같은 풍력에너지캠퍼스의 구축이 추진되고 있다.

다른 사례로 독일의 북해 인근의 브레머하펜에 위치한 Bremerhaven 항은 독일의 최초 해양 풍력 단지인 알펜투스라 지리적으로 매우 근접하며 작은 소도시임에도 불구하고 블레이드 전문업체인 파워블레이드를 비롯하여 리파워(독일)와 아레바(프랑스) 등 세계 풍력발전기 생산업체가 항만 근처에 들어와 운영되고 있다. 해상 풍력발전단지 건설을 위한 길이 50~60m, 폭 6m 이상의 블레이드나 중량 200톤 이상의 나셀, 약 1,000여 톤 기초구조물 등의 초중량물은 일반 도로로 운송이 불가능하여 인근지역에서 관련 부품을 생산할 필요성이 있으며 또한 블레이드와 타워, 나셀 등 주요 대형 부품의 사전조립 및 적재 시설을 완비하고 특수설치선 기지로도 활용할 수 있는 항만시설을 갖추어야하므로 Bremerhaven항이 이러한 역할을 수행하고 있다. Bremerhaven항은 이에 더불어 물류 및 수송 시스템이 잘 갖추어져 해상 기초물과 타워, 나셀 및 로터블레이드 생산뿐만 아니라 야적을 위한 보관 및 해상풍력기기 최종 설치를 위한 조립지원이 가능하다. 브레머하펜의 산업 지역 해상풍력지원항만은 항만 내부와 외부개발 뿐만 아니라 고속도로, 철도, 해로와 내륙 수로의 유기적인 물류링크를 확보하고 있다.

또한 Bremerhaven항만청은 항만을 포함한 시 소유 토지 개발과 판매를 담당하는 시 출자회사인 BIS사의 적극적 기업유치 노력(산단 조성, 인허가 지원 등 추진)으로 윈스톱서비스를 제공하고 있다. 특히 RE Power System AG, Powerblade, PowerWind, Areva Wind GmbH 등 풍력관련 우수기업들을 성공적으로 유치하였으며 풍력산업의 가치사슬 전 분야의 기업들이 입주하여 산업클러스터 구축에 용

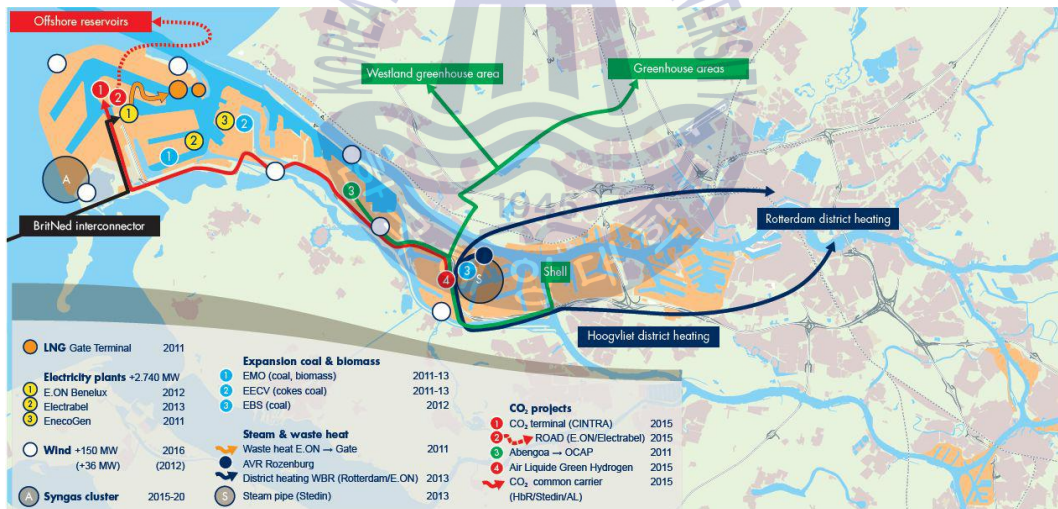
이하며 산업 내 연관효과를 높여 통합적 효율성을 제고하였다. 해상풍력산업 전용 산업단지를 풍력지원항만 인근에 조성, 항만과 산업단지의 연계성을 강화하고 브레머하펜대학교, Hschshchule Bremerhaven 등 지역교육기관이 풍력연구를 강화시켰다. 또한, IWES(Fraunhofer Institut for Windenergie und Energiesystemtechnik), 로터블레이드 성능센터, 풍동실험센터 등 우수 연구기관을 유치하고 기업-연구기관의 네트워킹을 통해 신뢰성 높은 해상풍력 부품의 제조역량 강화 및 인증 지원을 통하여 수출 경쟁력을 갖추는 것에 주력하고 있다. Bremerhaven항의 해상풍력산업은 WAB(Windenergie-Agentur Bremerhaven)를 중심으로 긴밀한 네트워크 관계를 유지하고 있다. WAB가 2002년 설립되어 2015년 기준으로 300개 기업과 기관이 회원으로 등록되어 있으며 주요 활동은 풍력에너지 홍보, 회원들과 네트워킹 정보 교환 구심점 역할, 프로젝트 및 연구활동 지원, 풍력에너지 수출 지원, 세미나 개최, 시장분석 등 다양한 업무를 추진하고 있다. 또한, BIS에서 투자 및 인허가를 지원하고, 경제전문가로 구성된 팀이 전력공급 및 행정허가, 관련허가 및 기관서비스 공급 등 파트너 연락처 및 메일링 리스트를 지원하고 연구개발 사업을 위해 브레머하펜 은행이 참여하여 중요한 프로젝트에 보조금을 지급하는 한편 랜드 브레멘개발은행은 독립적인 자금 조달이 필요한 성공 가능성 높은 프로젝트를 지원하고 있다.

3. 석탄, 바이오, 풍력, 태양광, 지열을 활용한 네덜란드 로테르담항

네덜란드의 로테르담항은 네덜란드 정부의 지원을 바탕으로 로테르담 기후 이니셔티브(RCI)와 제휴하여 신재생 에너지 적용률을 현재 10%에서 2030년까지 30%를 목표로 가스화 석탄, 바이오, 풍력, 태양광, 지열 등의 신재생 에너지를 항만에 적용시켜왔다. 특히 로테르담항이 북해에 위치해 있어 바람이 풍부하다는 지역적 특성을 이용하여 로테르담항만청은 2009년에 연관 기업 및 기관들과 '로테르담 풍력에너지 협약'을 체결하고 2020년까지 최소한 150MW 이상의 전력을 풍력 발전을 통하여 생산하기로 협약하였다. 이에 따라 2009년에 항만과 인근 산업단지에 150MW급의 풍력발전기를 설치하였고 현재 풍력을 이용한 누적 발전량이 170MW

에 달하고 있으며 이는 네덜란드의 풍력을 이용한 총 발전량의 10%에 달하는 수치이다. 또한 로테르담 항만청은 2010년 수립된 풍력발전 계획에 따라 2020년까지 300MW급의 풍력발전 시설을 추가로 설치하여 총 6,000MW의 전력을 생산할 계획을 가지고 있으며 이는 해상풍력 발전의 사업 진행 및 연구과 더불어 진행되고 있다. 현재 로테르담항 안에 위치한 Maasvlakte2 지역에는 24개의 풍력발전기의 설치가 가능하며 앞에 언급한 추가 설치가 이 지역에서 이루어질 계획이다. 이를 통하여 평균적으로 60MW~80MW의 전력이 생산 가능하며 이는 평균적으로 120,000ton의 이산화탄소가 감축되는 양이다. 구체적으로는 또한 아래의 <그림 3-12>에서 볼 수 있듯이 주황색으로 표시된 Maasvlakte 지역의 물류시설에 100MW의 풍력단지를 건설하고 하얀색으로 동그라미 표시가 된 일곱 곳에 풍력발전기를 설치한다는 계획이며 이에 더불어 표시된 바이오매스 발전 시설을 통하여 7,000MW의 전력을 생산할 계획이다.

<그림 3-12> 로테르담 항구 에너지 계획도



자료 : Pot of Rotterdam(2010), 「Rotterdam Energy Port」, p.2.

또한 로테르담 항만청은 400 헥타르에 달하는 물류시설 지붕과 유희시설의 100 헥타르에 달하는 지붕에 태양광 발전 시설을 설치할 계획을 가지고 있으며 태양광

발전 시설에 더불어 바이오매스 에너지, 폐열을 통한 스팀파이프라인 구축을 통하여 신재생 에너지 발전 시스템을 이용하여 3,000MW의 전력을 생산하여 최종적으로 2025년까지 지금의 이산화탄소 배출량의 50%를 감소시킬 계획을 가지고 있다.¹⁷⁾ 특히 로테르담 항만공사는 항만청 단독으로 신재생 에너지 사업을 추진하는 것이 아니라 지역 산업과 대학 등 지역의 관련 사업체 및 연구소와 연계하여 정책 및 기술 발전에 대한 부분을 연구 및 지원하여 사업을 추진하고 있다는 것이 그 특징이라 할 수 있다.

4. 태양광을 활용한 미국 LA항과 웨스트 사크라멘토항

미국 캘리포니아에 위치하고 있는 LA항은 미국에서 가장 많은 물동량을 기록하고 있는 항구로 인근 롱비치항과 더불어 San Pedro만에 위치하고 있다. LA항은 에너지 수도 관리국(LADWP: Los Angeles Department of Water and Power)이 주도하는 Solar LA 프로그램의 일환으로 2006년부터 롱비치항과 합작으로 Clean Air 프로젝트를 공동으로 진행하고 실행되고 있으며 이를 통하여 약 1.3GW의 전력 생산을 목표로 삼고 있다. 또한 2010년에 태양광 발전에 의한 에너지 발생을 전체 에너지 사용량의 20%로 목표한 것에 더 나아가 2020년 35%까지 끌어올릴 것을 목표로 하고 있다.

그 시작으로 2010년에 월드크루즈 센터의 지붕에 연간 약 1.2MWh의 전력 생산이 가능한 71,500제곱피드의 태양광 발전기의 설치를 마쳤다. LA항은 Solar LA 프로그램을 통하여 연간 200,000달러의 에너지원 구입비용을 절감할 수 있으며 22,800ton의 이산화탄소를 감소시킬 것으로 기대하였다. 이에 더불어 LA항은 앞으로 태양광 발전기 설치를 늘릴 계획으로 이로써 10MW의 전력을 생산함에 더불어 더 많은 에너지를 태양광 발전으로 충당할 계획이다.

LA항은 Solar LA 프로그램의 연장선상으로 화석연료 및 오염물질의 사용이 적은 신생 중소기업들을 위해 제품개발과 시험, 제품 상품화, 제조, 마케팅 등 일련의 운영과정을 위한 작업 공간 및 자금을 원조하는 유료 및 무료 서비스를 제공하

17) 조은진(2015), 전계서, pp.41.~43.

는 PortTech LA 프로그램을 실시하였다. 이 프로그램은 신생 중소기업들의 초기 사업자금 제공에 한정됐던 기존의 신기술 보조프로그램(Technology Assistance Program)과 달리 친환경 신기술의 상용화 및 상품화를 위한 사무실 및 공장부지 확보에서부터 기술인력 확보와 교육, 투자자 및 고객 유치에 이르는 전 과정을 지원해 준다는 점에서 더욱 적극적인 형태로 진보한 중소기업 지원 프로그램인 것에 그 의의가 있다.

이러한 PortTech LA 프로그램은 비영리 기술상용화센터(Nonprofit Technology Commercialization Center)로 불리기도 하며 LA시와 LA항을 중심으로 인근에 위치한 롱비치항, 산 페드로(San Pedro)항 그리고 윌밍톤(Wilmington) 상공회의소의 협력 하에 운영되고 있다. 이 프로그램은 구체적으로 오염물질 배출이 적고 운영 과정에 있어서 친환경 기술을 이용하는 기업들을 지원 대상으로 하며, 항만 시설에 필수적 구성요소인 물류 운송수단 관련 업체, 운송수단 부속 장비 제조업체, 스마트 그리드 기술 및 신재생 에너지 관련 기술보유업체, 그리고 항만의 물류 정보 보안 및 관리 기술 업체 등이 여기에 해당되며 LA 지역의 중소기업개발센터(LA Basin Small Business Development Center)와 파트너십을 체결하고 중소기업의 은행대출지원 및 PortTech LA 등록을 위한 컨설팅 서비스를 무료로 제공하고 있다.

또한 LA 지역 중소기업개발센터와는 별개로 PortTech LA 자체적으로 지적소유권(Environmental and Intellectual Property law), 벤처자금(Venture Finance) 및 전기 기술(Electric Engineering)과 같은 구체적인 전문 분야에 대한 상담 서비스도 제공한다. 현재 PortTech LA는 산 페드로(San Pedro) 지역에 프로그램 관련 사무실을 운영하고 있으며 더 많은 친환경 신생기업을 지원하기 위해서 10~15개의 기업 육성에 필요한 1만2000~1만5000ft²(약 337~422평)에 이르는 부지를 확보 중이다.

PortTech LA에서 지원하는 서비스 기술 분야와 내용은 구체적으로 디젤미세먼지(DPM), 질산화물(NOx), 황산화물(SOx)의 배출이 낮은 디젤엔진 개조업체, 디젤미세먼지 필터장비 업체, 구형 엔진 재활용업체 등 관련 기술 업체들에 대한 지원, 태양, 풍력, 조력 등과 같은 신재생 에너지를 항만에 접목시키는 업체들을 지원,

항만에서 스마트 그리드 기술을 접목시키는 다양한 기술 분야 지원 등이며 이 프로그램을 통하여 LA항은 신재생 에너지를 항만에 적용하는 기업들을 지원함으로써 향후 친환경적인 항구를 구축할 기초를 마련하였다.

또한 캘리포니아에 위치한 LA항 인근의 웨스트 사크라멘토 항만청은 637kW의 전력이 생산 가능한 태양광 발전 시설을 설치하기로 하였다. 이 발전량은 사크라멘토항이 필요한 전력의 100%로 태양광 설치를 통하여 25년간 연간 20,000달러의 자금이 절약, 34,000,000ton의 이산화탄소가 감축될 것으로 예상하였다. 사크라멘토항의 태양광 시설 설치에 곡물 저장 창고의 지붕 약 30,000m²에 3,536장의 태양광 판넬이 설치될 예정이며 태양광 시스템은 캘리포니아 내에 위치한 에너지 기업들과, 대학들과 협력하여 구축하기로 하였다.

이를 위하여 미국은 RPS(Renewable Energy Portpolio Standard) 제도를 시행하고 있는데 이는 주별로 상이점이 있으나 LA항이 위치하고 있는 캘리포니아 주는 다음과 같은 기준으로 RPS를 시행 중이며, LA항은 이를 바탕으로 신재생 에너지를 항만에 적용 중이다. 이를 정리하면 다음의 <표 3-6>과 같다.

<표 3-6> 미국 RPS 법안

	Ringaman 법안(상원)	Watman-Markey 법안(하원)
RPS 목표량	-2021년 까지 20% -2039년 까지 지속	-2021년 까지 20% -2025년 까지 25% -2039년 까지 지속
의무산정 기준량(Baseline)	=[전력량-(수력+MSW)]	=[전력량-(수력+MSW)]
의무 대상자	-소매사업 전력회사 -4백만 MWh/년 이상	-전력공급자 -1백만 MWh/년 이상
기존 및 신재생에너지	2006년 이전의 기준 신재생에너지에 대한 REC는 시장에서 교환 불가	구별 없음
Energy Efficiency 포함여부	매년 목표량의 최대 25%까지 사용가능	Utility에 부과 시에 주에 연간 목표량의 최대 20% 감축 청원 가능

자료 : Lori Bird(2009), 「Federal RPS Bill Comparison」, NREL, p.42.

제4장 신재생 에너지를 활용한 항만물류산업의 발전 전략

제1절 신재생 에너지의 활용방안과 기대효과

동냉장 물류센터 설계시 건축면적 6,300평(보관면적 5,000평)×3층×5개동, 공칭수용톤수 43.5만톤 규모의 냉동창고 소요동력은 기계식과 냉열식으로 구현할 때 기계식 냉동창고는 약 31,000kW(컴프레서:18,000kW, 기타:13,000kW) 소요되며, LNG 냉열식 냉동창고는 약 5,000kW(컴프레서:0W, 액펌프:4,100kW, 기타:900kW) 소요된다.

<표 4-1> 기계식과 냉열식 창고의 비용 비교분석

구분	기계식 창고	냉열식 창고	절감률(%)	비용절감효과
전기료	40억원/년(8h)	13억원/년	69	14~27억원/년
	34억원/년(6h)		63	
	27억원/년(4h)		53	
유지관리비	9억원/년(6h)	2.7억원/년	70	6.3억원/년
초기투자비	6,700억원	6,100억원	9	600억원 절감

본 연구의 핵심기술개발을 통해 -100°C 이상의 저온을 'LNG 냉열'로 이용함으로써 기존 전기냉동기 대비 운전전력의 약 50~70% 절감 효과가 있어 경제적 측면에서 국가 물류 산업의 활성화에 크게 기여할 것이다. 또한, LNG 기지 부근이나 LNG 탱크로리에 의한 운송으로 LNG를 공급하고 냉열 활용 후 기화된 천연가스를 가스엔진발전에 의한 분산형 전력생산에 활용함으로써 환경적 측면에서 CO_2 저감 및 녹색성장에 크게 기여할 것으로 기대된다. 구체적인 기대효과로 1) 친환경 대체냉매(CO_2 , 암모니아, 탄화수소, 수소, 헬륨, 질소, 산소 등) 사용으로 오존층 파괴 및 지구온난화 방지 기대, 2) LNG 냉동 기술에 의한 초저온 고효율 열교환기, 팽창기구와 Unit Cooler 개발에 따른 저온냉열 산업창출로부터 기술 수출

기대, 3) 석탄, 경유 등으로부터 생산한 전기에 의한 냉동기를 100% LNG 냉열로 대체함으로써 에너지의 수입대체효과 기대, 4) LNG 냉열 사용에 따른 기화 비용 및 LNG 연료추진선박의 에너지비용이 기존 시스템에 비해 약 50~70% 절감되므로 큰 경제적 효과가 기대된다.¹⁸⁾

미활용되고 있는 LNG 냉열이용 기술에 대한 정성적 효과를 살펴보면 극저온 연구분야를 개척하여 부가가치를 창출할 수가 있고, 저온 냉열이용 사업을 부각시켜서 LNG기지 지역경제를 활성화시킬 수 있다. LNG 냉열이용은 기화열량 200 kcal/kg의 약 50%를 회수 재활용이 가능하므로 기존 산업대비 약 60~70% 정도의 에너지절약을 가져와 매출원가 대비 15~20% 원가 절감을 할 수가 있다. 또한, 수소연료전지로 전력생산할 경우 에너지 발전효율 약 72% 이상(전력 46%, 열에너지 26%)도 가져올 수 있다.

그리고 LNG 배후부지 맞춤형 비즈니스 개발과 정부 주도 항만정책 변화에 맞춰 냉열사업 개발 등을 통한 창조경제 일환으로 사업 추진이 가능하다. 중국, 동북아 관광 물류거점으로 저온, 냉열이용기업 유치 가능성이 증대되고, 극저온 냉열이용 기초 연구환경을 제공하며, 저비용, 고효율 에너지 제공으로 다양한 산업군에 활용이 가능하다.

지역사회 공헌으로는 친환경 동계스포츠 시설을 국민들에게 제공하며, 동계 스포츠 꿈나무 프로젝트의 운영을 통해 세계적 동계스포츠 선수 육성과 중국 및 동남아시아 등 다양한 인접 국가의 해외 관광객 유치에 가능하다.

기술적 파급효과는 초저온 과학발전에 기여하며, 저온기술이 요구되는 다양한 산업으로의 추가 활용이 기대된다. 그리고 LNG 냉열이용 기술을 응용한 향후 창조경제산업 창출 및 기술 수출 가능성이 기대되고, 수소연료전지 기술로 전기와 냉·난방, 급탕, 건조열, CO₂ 등 다양한 산업으로의 추가 활용이 예상된다.¹⁹⁾

18) 백영순(2018), 전계서,

19) 이동건(2015), 전계서, p.61.

제2절 발전 전략

1. LNG 냉열 이용 시 검토 사항

LNG 냉열이용을 실제 적용하기 위해서는 다음과 같은 항목에 대한 검토가 필요하다.

1) 신뢰성

생산기지 운영의 목적은 안정적인 천연가스 공급에 있다. 따라서 냉열이용으로 인하여 생산기지 운영에 영향을 주지 않도록 면밀한 검토와 설비 및 공정설계가 이루어져야 한다.

2) 경제성

냉열이용 산업에 대한 수요 및 경제성이 우수하여야 한다. 전력 절감 등의 에너지절약 효과가 크다 할지라도 수요가 적으면 실용화 가능성이 없으며, 전력 절감 효과가 작더라도 수요가 많으면 실용화 가능성이 크다.

3) 입지조건

LNG 공급을 위한 초저온 재료 및 단열재로 이루어진 배관을 사용하므로 초기투자비가 많이 든다. 따라서 냉열이용설비는 생산기지과 근접한 곳에 위치해야 경제성이 있다. 사업성이 우수하더라도 생산기지 위치가 수요가 적은 곳이면 실용화는 곤란하다.

4) LNG 부하변동

LNG는 발전용 및 도시가스용으로 사용함에 따라 주야간, 계절 간 LNG 송출량의 변동이 크다. 따라서 연속적으로 LNG 냉열을 회수하기 위해서는 LNG 부하변동 상황을 고려하여 총 LNG 송출량의 20~30% 정도의 기저부하(base load)만을 사용한다.

5) 이용온도 및 압력

냉열온도가 낮을수록 냉동기 효율이 저하되므로 전력소비량이 급격히 커지게 된다. 따라서 LNG 냉열이용 온도가 낮을수록 에너지 회수효율이 높게 되므로 가급적 냉열이용온도는 낮을수록 유리하다. 또한 회수가능한 LNG 냉열에너지는 LNG 운전압에 크게 영향을 받는다.

따라서 낮은 압력에서 냉열을 회수할수록 냉열회수율이 크나 냉열회수 후 기화된 천연가스 처리에 대한 대책이 필요하다. 이는 저압에서 냉열회수 후 천연가스 수요처에 공급하기 위한 압축기 동력 비용이 크기 때문이다. 따라서 LNG 냉열 회수 온도 및 압력에 대한 검토가 요구된다.²⁰⁾

20) 윤정인(2011), "LNG 냉열이용 기술개발 동향," 「한국동력기계공학회지」, 제5권 제4호 11월호, p.8.

제5장 결론

제1절 연구의 요약과 시사점

친환경 신재생 에너지를 활용한 물류 기지나 물류 창고를 구축하여 부가 가치를 창출하고, 추후 성장할 LNG 냉열을 이용한 초저온 물류 사업의 기초 자료로 활용할 수 있도록 한다.

본 연구에서 언급한 바와 같이 LNG 냉열의 이용기술은 전세계적으로 실용화되고 있다. 한국가스공사에서도 LNG 냉열을 이용하여 통영생산기지에 타이어분쇄 공장을 설립, 국내의 환경보전에 힘쓰고자 노력하고 있다.

그러나 천연가스사업에 있어서 LNG 냉열이용은 냉열이용 플랜트에서 반송된 LNG 또는 NG를 도시가스사에 공급하는 관계 상, LNG의 가동(최저부하)에 제약을 받고 있는 것이 현실이다. 예를 들면, 도시가스수요가 적게 되는 야간에는 LNG 냉열의 활용이 어렵게 된다.

장래에 LNG 냉열을 더욱 이용하기 위해서는 기존에 연구 개발되었던 냉열이용 기술 뿐만 아니라 LNG 기지의 수요변동에 직접 영향을 받지 않는 축냉기술의 개발, 실용화가 되어야 한다. LNG의 초저온을 비축하는 기술에는 아직 많은 요소를 개발해야 되고, 이와 같은 축냉기술이 실용화되면 LNG 취급량이나 입지조건에 적합한 냉열이용 시스템이 평택생산기지, 인천생산기지, 통영생산기지에 다양한 형태로 LNG 냉열이 유효하게 이용될 것으로 기대된다.

냉열산업의 지속적인 발전을 위해서는 신·재생에너지 수준의 획기적인 정책적인 지원과 투자가 선행되어 사업자를 유인하고, 기반기술의 자립화가 이루어져야 할 것이다.²¹⁾

21) 김호연(2016), “LNG를 이용한 냉열사업의 타당성 연구,” 한국가스신문,

제2절 연구의 한계점과 향후 연구과제

연구의 한계점으로서 2차적인 자료에 의존할 수 밖에 없었다. 그러므로 향후 연구에서는 인터뷰나 1차적인 자료를 활용한 보다 정교한 연구가 이루어져야 할 필요가 있다. 또한 친환경 재생에너지의 중요성을 고려할 때, 우리나라도 이를 활용할 수 있는 구체적인 정책방향이 세워져야 할 것이다. 따라서 향후 신재생 에너지의 활용 방안에 대한 심도있는 연구가 필요하다.



참 고 문 헌

<국·내외 문헌>

- 권옥배(2003), “미이용 LNG 냉열의 냉동냉장 물류센터의 이용”, 대한설비공학회 강연회 및 기타간행물
- 김호연, 김철만(2014), “LNG 냉열의 현황”, 한국에너지학회 학술발표회
- 김호연(2006), “LNG를 이용한 냉열사업의 타당성 연구”, 「가스신문」
- 김호연(2015), “LNG 냉열의 현재와 미래”, 「설비저널」, 대한설비공학회 제44권 2월호
- 대한전기기사협회(1992)역, “LNG 냉열발전의 원리와 운전”
- 백영순(2018), “LNG 냉열 이용 기술개발 현황과 전망”, 「가스신문」
- 손승욱, 이재승(2017), “한국과 일본의 LNG 수급 전략에 대한 비교연구”, 동아시아국제정치학회, 「국제정치연구」, 제20집 1호
- 윤정인(2011), “LNG 냉열이용 기술개발 동향”, 「한국동력기계공학회지」, 제5권 제4호
- 이동건(2015), “미활용 LNG 냉열 기술”, 「설비저널」, 대한설비공학회, 제44권 2월호
- 장기창(2015), “LNG 냉열 이용기술”, 「설비저널」, 대한설비공학회, 제44권 2월호
- 조은진(2015), “우리나라 항만의 신재생 에너지 도입과 발전 방안에 관한 연구”, 성균관대학교 석사학위논문

감사의 글

아무것도 모른 채, 오롯이 용기와 의지만으로 한국해양대학교와 첫 인연을 맺었던 2017년 3월의 따사로운 햇살이 아직도 생생한데, 벌써 모든 과정을 마무리할 때가 되었다고 생각하니 가슴 한 켠이 몽클해집니다. 소중한 인연을 맺어 지난 2년간 뵈게 된 교수님, 선후배님 그리고 그 누구보다 힘이 되어 준 24기 동기들과 함께 지내면서 많은 것을 배우고 성장하게 된 뜻 깊은 시간이었습니다.

특히 마지막 학기에 잦은 해외 출장 속에 논문을 준비하면서 과연 이 과정을 무사히 마칠 수 있을까, 심지어 포기할까 하는 생각도 수 차례 했으나, 주로 해외에 있었던 저를 동기들과 함께 졸업할 수 있도록 열정으로 이끌어 주신 신한원 지도교수님께 진심을 다해 감사의 말씀을 올리고 싶습니다. 논문 심사 시 격려의 말씀을 아끼지 않으셨던 안기명 교수님과 바쁘신 일정 속에서도 끝까지 챙겨주셨던 신영란 교수님, 사업단을 잘 이끌어주신 김환성 교수님과 김율성 교수님께도 감사의 말씀 드립니다. 그리고 한국해양대학교와 인연을 맺을 수 있도록 도움주시고, 회사 생활과 학업을 병행하는데 있어 늘 든든히 지원해 주셨던 남점범 대표님, 대학원 생활에 많은 시간을 할애할 수 있도록 업무 도움 주신 안남수 과장님, 논문 마무리 작업에 후배를 위해 늦은 밤까지 많은 도움을 주셨던 김의재 선배님, 같은 랩이라 자주 챙겨주셨던 주재진 선배님, 송선제 선배님, 관련 자료를 힘들게 구해 주시며 묵묵히 응원해 주셨던 최현용 선배님께도 깊은 감사를 드리고 그 외에 여러 가지로 큰 힘이 되어주셨던 회사 및 대학원 선후배님들께도 감사의 마음 전합니다. 또한, 항상 제 건강을 신경써주시고 잘 챙겨주신 부모님, 동생 문상수, 정말 예쁜 울케 이은희, 그리고 눈에 넣어도 아프지 않을 것 같은 우리 조카들 현준이, 현성이, 많이 사랑한다고 다시 한 번 표현하고 싶습니다. 감사합니다.

2019년 2월

문 지 애