

# 도시지역 발전비용 저감을 위한 천연가스 혼소 발전시스템



**허광범**  
한전 전력연구원 미래기술연구소 책임연구원

## 1. 개황

최근 세계 각국은 해상선박 뿐만 아니라 도시지역 발전시장에서 유해배출가스 배출규제 강화와 세계적인 지구온난화의 대책으로 CO<sub>2</sub> 배출규제를 검토 중에 있다. 이에 대한 대책으로 도시지역 디젤발전기에 천연가스를 혼소하는 분산형 발전시스템 개발이 추

진되고 있다.

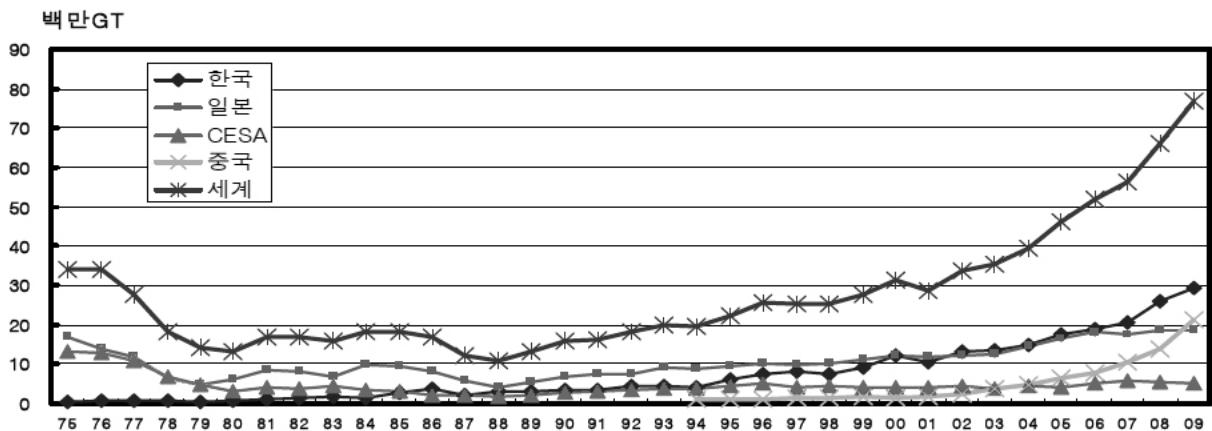
천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG)는 주성분인 메탄이 90% 이상 함유된 연료로서 탄소성분이 기존의 가솔린(C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) 및 디젤연료(C<sub>17</sub>H<sub>36</sub>)보다 현저히 적을 뿐만 아니라 분진, 황 등의 불순물도 거의 함유하지 않은 청정연료이다. 또한 천연가스는 옥탄가(RON 120 정도)가 높은 내 노크성 연료이므로 엔진

의 압축비를 상대적으로 높일 수 있어 열효율과 출력의 향상을 도모할 수 있다. 그리고 가연한계가 넓어 희박연소가 가능한 청정연료이므로 배기성능과 기관의 내구성 및 안전성이 우수하여 비교적 내연기관으로의 적응성이 우수한 연료로 평가되고 있다. 이렇게 천연가스를 연료로 사용하는 엔진은 전소엔진과 혼소엔진(또는 겸용엔진)으로 구분되며 전소엔진은 천연가스만을 연료로 사용하고 혼소엔진은 천연가스와 디젤연료를 동시에 사용한다. 최근 천연가스의 공급망이 확충됨에 따라 대기오염 개선효과가 큰 전소방식의 보급이 확대되고 있지만 천연가스 공급망이 부족하거나 비상 시 엔진운전에 적합하지 않은 단점으로 혼소엔진에 대한 시장은 보다 더 확대되고 있다. 또한 LNG 병커링을 통한 동력 엔진 적용이 증가하고 상황이다.

선박 및 해운산업은 각국 경제성장과 함께, 성장에 필요한 물자나 생산된 물품을 전 세계에 공급하기 위해, 급격히 성장하였다. 1985년 기준으로 2009년에는 100% 증가되었으며, 특히 LNG산업의 발달에 따라 LNG운반선 등의 청정 선박산업도 급격한 성장을 하고 있다. 이러한 선박산업과 해운산업의 성장에 의하여 한국 조선산업은 현재 세계 1위 위치를 점유하고 있다.

국내 조선 사업은 수출주도 산업으로서 국가경제에서 차지하는 위치는 매우 중요하나, 중국 조선산업의 급격한 추격으로 그 자리가 위태로운 상황이다. 조선산업은 수작업이 많고, 기자재 산업과 밀접하여, 일자리 창출 효과가 매우 높다. 이에 따라 선진국에서는 지속적으로 조선산업 유지를 위해 노력하고 있으며, 우리나라 보다 앞서가기 위한 신성장 선택분야 산업을 육성하기 위해 노력하고 있고 그 대안이 그린쉽(Green Ship)분야이다. 아울러 우리의 경쟁국인 EU와 일본 등의 선진국들은 기존 선박산업 대신, 1990년대 후반부터 그린쉽 중심의 산업전환에 관심을 두고 기술개발과 실증을 진행하고 있다. 그 중심에 LNG 추진 선박이 위치에 있다.

해운사업은 다른 운송수단에 비하여 경쟁력을 확보하고, 더 많은 화물을 운송하기 위하여 선박도 중소형에서 대형화, 전용선화된 사업이 진행되고 있다. 하지만 선박 운송량 및 운행횟수 증가는 연료사용에 의한 선박 배출가스로 인한 대기오염 및 온실가스 배출을 대폭적으로 증가시키고 있는 실정이다. 이러한 문제와 전 세계적인 저탄소 녹색성장 및 온실가스 감축 이슈가 운송분야 중에서 그동안 상대적으로 관심이 적었던 조선 및 해운업계에도 예외 없이 적용되어



자료 : 한국조선협회(2010년 11월)

[그림 1] 세계 선박 건조량 추이

야 한다는 민관의 요청이 있어 왔다. 이에 국제해사기구<sup>1)</sup>를 중심으로 선박유 연소에 의한 선박의 대기오염 저감 협약을 적용하고 있다.

MARPOL(Prevention of Pollution from Ship) 협약-부속서 6

- 규제대상물질 : SOx, NOx, ODS<sup>2)</sup>, VOC
- 적용일자(원안) : 2005년 5월 19일 이후
- 적용일자(개정안) : 2010년 7월 1일 이후



또한, 선박에 의한 전 세계 온실가스 배출량은 2007년 기준 2.7%(843백만 톤) 수준에서, 2050년에는 12~18% 수준으로 증가될 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 대처 방안이 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한 최근 중동지역의 민주화 바람에 따른 내전 상황이 원유가격 상승으로 이어져 연료비 부담이 높은 해운업계에 경쟁력 확보를 위한 새로운 대체연료가 절실한 상황이다.

현재 선박연료로 사용하고 있는 연료는 HFO(Heavy fuel oil), MDO(Marine diesel oil), Gasoline 등으로 황 함량이 매우 높고 육상연료보다

저품질유를 사용하고 있어 운항 시 대기오염을 유발하며 정박, 충전, 하역 시 유출되는 연료는 해양오염을 유발하고 있다.

유럽연합 등 선진국에서는 선박배출가스에 대한 규제를 크게 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx)에 초점을 맞추고 있다.

## 2. LNG 벙커링의 필요성 및 분류

LNG 추진 선박용 벙커링(Bunkering)의 정의는 가스연료 추진 선박에 LNG, DME(LPG포함)와 같은 가스연료를 공급하는 행위, 설비 등을 포괄적으로 지칭하는 것을 말한다. 벙커링은 기술적으로 탱크로리에서 선박으로 LNG를 충전하는 방식, 고정식 LNG 충전소에서 선박으로 충전하는 방식, 그리고 LNG 터미널에서 선박으로 충전하는 방식으로 나뉘며, 그 방법은 선박 크기, LNG 충전량 등의 다양한 인자에 의해 결정되며 LNG 추진 선박 운영을 위해서는 필수요소이다. LNG벙커링은 연료를 공급하는 것과 연료를 받는 가스추진 선박 간의 닭과 달걀의 관계와 같으며, 어느 한 분야가 앞서나갈 수 없고, 상호 동반 진출해야 성공적인 Value Chain을 구성하는 구조이다. 다만 선박은 조선회사에서 제작하고, 벙커링은 에너지회사 주도로 가스 연료를 공급하는 역무에는 변함이 없다.

벙커링 기술개발과 사업을 위해서 한국가스공사는 한국·스웨덴 국제공동연구 방식으로 LNG 벙커링에 대한 기지 타당성 및 안전성 평가, 벙커링 관련 국제법규를 정리하고, 한국가스안전공사에 대한 용역을 통해 국내 실정에 맞는 법규 마련을 목표로 하는 LNG 추진선박용 벙커링 타당성 연구를 수행하고 있으며 후속과제로 조선사, 해운사, 해외 메이저에너지

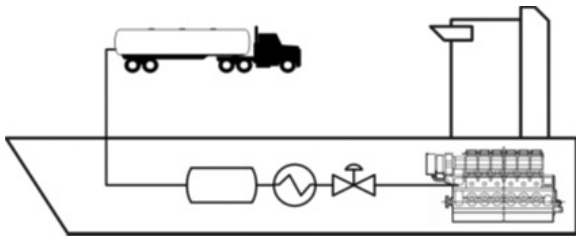
1) IMO(국제해사기구) 홈페이지, Marine Environment, Air Pollution and GHG Emissions 섹션

2) ODS : Ozone Depleting Substances; 오존층 파괴를 유발하는 물질

사 등이 참여하는 LNG 병커링 인프라구축에 관한 전략수립을 진행하고 있다.

현재, 가스연료추진선박용 병커링은 아래의 병커링 분류 중에서 Tanker to ship과 Terminal to Ship(중소규모)의 두 가지가 노르웨이 베르겐(Bergen), 오슬로(Oslo) 등에서 가스노르사(Gasnor) 등에 의해서 실시되고 있다. 다음은 향후 병커링 사업에 고려해야 할 사항 등에 대하여 각 병커링 분류별로 정리하였다.

### 가. Tanker to Ship 병커링



[그림 3] LNG탱크로리를 통한 LNG추진선박 병커링(노르웨이)

- 개념 : 육상 LNG 등의 탱크로리부터 가스연료 추진 선박까지의 연료 병커링
- 고려 사항
  - 청정에너지 병커링 법규 등의 제도개선
  - 청정연료 병커링 안전성 평가
  - 청정연료 병커링 시 증발가스 등의 회수기술
  - 청정연료 병커링 계측
  - 청정연료 품질기준 서비스(선박용 연료품질 기준)
  - 청정연료 병커링 부품 개발, 설치 및 운영서비스(호스, 펌프 등)

### 나. Terminal to Ship 병커링

- 개념 : 육상에 설치된 가스 저장탱크(고정식충전소, 중대형 청정연료 인수기지 등)부터 가스 연료 추진선박까지의 연료 병커링



[그림 4] LNG충전소를 통한 LNG추진선박 병커링 개념

- 고려 사항
  - 고정식 청정에너지 병커링(연료공급 등)
  - 고정식/터미널 청정연료 병커링 안전성 평가
  - 고정식충전소에서 청정연료 병커링 증발가스 등의 회수기술
  - 고정식충전소 및 터미널에서의 청정연료 병커링 계측
  - 청정연료 품질기준 설정(선박용 연료품질기준)
  - 기존 청정연료 인수터미널에 로딩 설비를 추가·개조하여 연료를 공급할 수 있는 설비의 변환
  - 터미널 기반의 단기간 대용량 청정연료 공급
  - 청정연료 병커링 터미널 설계 및 운영
  - 청정연료 병커링용 초저온 배관 및 설비 진단
  - 청정연료 가격구조 연구 및 가격

### 다. Ship to Ship 병커링 서비스

- 개념 : 해상의 청정연료 탱커 바지선 또는 청정에너지 저장 선박으로부터 청정연료 추진선박이나 섬 등의 청정연료 병커링
- 고려 사항
  - 선박 간의 청정에너지 병커링 연료공급 등
  - 선박에서 섬 등의 도서지역으로의 병커링(발 전용 연료공급 등)



[그림 5] 벙커링 선박(ship)에서 청정에너지 추진선박까지의 벙커링

- 벙커링 선박에 대한 청정연료 벙커링 안전성 평가
- 선박 간의 청정연료 벙커링 시 증발가스 등의 회수기술
- 벙커링 선박에서의 청정연료 벙커링 계측
- 벙커링 선박에서의 청정연료 품질기준 검사 및 관리
- 선박 기반의 단기간 대용량 청정연료 공급
- 청정연료 벙커링 선박 설계 및 운영
- 청정연료 벙커링 선박 실증/진단
- 중소형 석유선박에 청정연료를 연료로 사용하는 선박 개조기술
- 중소형 선박용 가스엔진 개발
- 청정연료 가격구조 연구 및 가격

### 3. 천연가스 연소방식의 특성

#### 가. 전소방식 (Dedicated system)

천연가스연료만을 공급하여 운전하는 방식으로 연료의 우수한 청정성과 독특한 연소특성을 활용하여 출력성능 및 배기성능을 향상시키는데 유용한 방식이다.

이 방식은 천연가스연료를 착화시키기 위한 점화

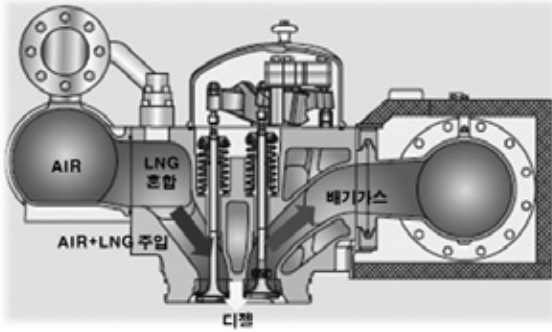
시스템이 필요하며 디젤연료 공급시스템이 불필요하기 때문에 실린더 헤드 등과 같은 관련 부품의 설계 변경이 이루어져야 한다. 또한 천연가스연료에 의한 연소는 오토 사이클을 형성하므로 높은 압축비 및 고과급비 등과 같이 노킹발생의 원인이 된다. 따라서 압축비 등은 기존 디젤엔진과 비교하여 반드시 감소시켜야 한다. 또한 공기만을 흡입하는 디젤엔진과 달리 천연가스연료는 공기와 혼합되어 연소실로 공급되므로 밸브오버랩 기간의 감소가 요구되고 그에 따라 캠축 등의 설계 변경이 반드시 필요하다. 동시에 이 방식은 천연가스연료의 공급인프라가 구축되지 않은 지역에서는 운전이 불가능한 단점이 있다.

#### 나. 혼소방식(Dual-fuel system)

이 방식은 연소실 내에 천연가스 연료와 디젤연료를 동시에 공급하는 방식으로 디젤연료를 단순히 천연가스연료를 착화시키기 위한 점화용으로 사용하는 경우와 주 연료를 디젤로 사용하며 천연가스를 유해배출가스의 저감 및 연료비의 절감을 목적으로 대체 사용하는 두 가지 경우로 구분할 수 있다.

전자의 경우 전소방식의 가스엔진과 점화시스템만 구분될 때 구성 시스템은 동일하다. 즉, 가스연료를 점화시키기 위한 약 1% 내외의 디젤연료공급 시스템을 필요로 하고 기존 디젤연료 공급시스템은 불필요하다. 현재 겸용방식을 접목한 혼소엔진으로 디젤연료로만 운전하는 디젤모드와 가스연료로만 운전하는 가스모드로 구성된 엔진들이 LNG 등에 적용되고 있다. 이 엔진은 디젤모드에서는 기존 디젤엔진과 동일한 시스템으로 운전되고 가스모드에서는 주 연료인 가스연료를 점화시키기 위한 착화용 디젤연료 공급시스템이 추가적으로 구성된다. 이 경우, 가스모드 운전에서는 60~70% 정도의 가스연료가 공급되므로 원활한 가스모드 운전을 위해서는 전소방식 및 겸용방식에 준하는 설계 변경이 요구된다. 마찬가지로 가스모드 운전 및 모드전환에

따른 천이구간에서의 엔진 성능확보 및 엔진 안정화를 위해 엔진 제어시스템의 개발이 무엇보다 중요한 사항이다.



[그림 6] 천연가스-디젤 혼합연소 개념도

#### 4. 전망

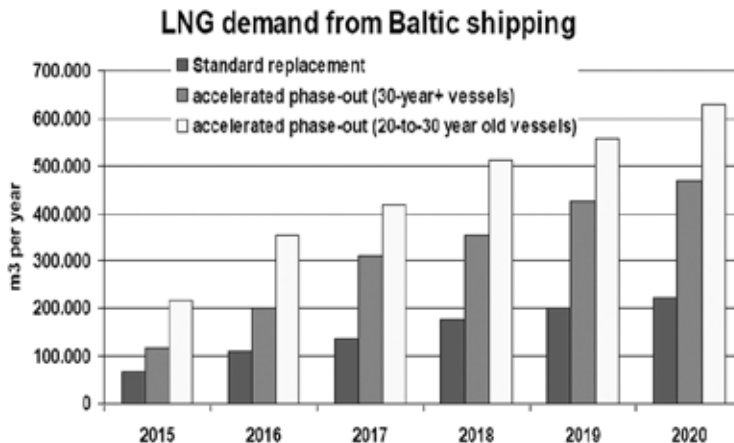
전력연구원은 발전설비의 안정적인 운영과 동시에 원천기술 확보를 통하여 국내의 중요 사업모델을 개발해 회사의 수익창출 및 관련 산업의 고도화를 이루고자 노력하고 있다. 또한 LNG 혼소발전 기술의 도서지역 발전시스템 개발 및 적용이 새로운 미래 유망 기술로 판단하고 있다. 가스연료 추진 선박 및 병커

링(우선 적용 연료는 LNG)은 기존 석유계연료에 비해 매연과 이산화황 배출이 거의 없고 질소산화물은 50% 이상, 온실가스도 20% 이상 감축할 수 있으며 연비도 거의 대등하다. 더불어 LNG 가격이 석유보다 저렴하여 환경적, 경제적 두 측면을 만족시키는 매력적인 대안이 되기 때문에 향후 급격한 시장 확대가 예상된다.

청정에너지 선박시장이 2012년 이후 연 30% 이상 성장할 것이 예상되므로, 병커링 발전도 2012년 이후 동반성장할 것으로 전망된다.

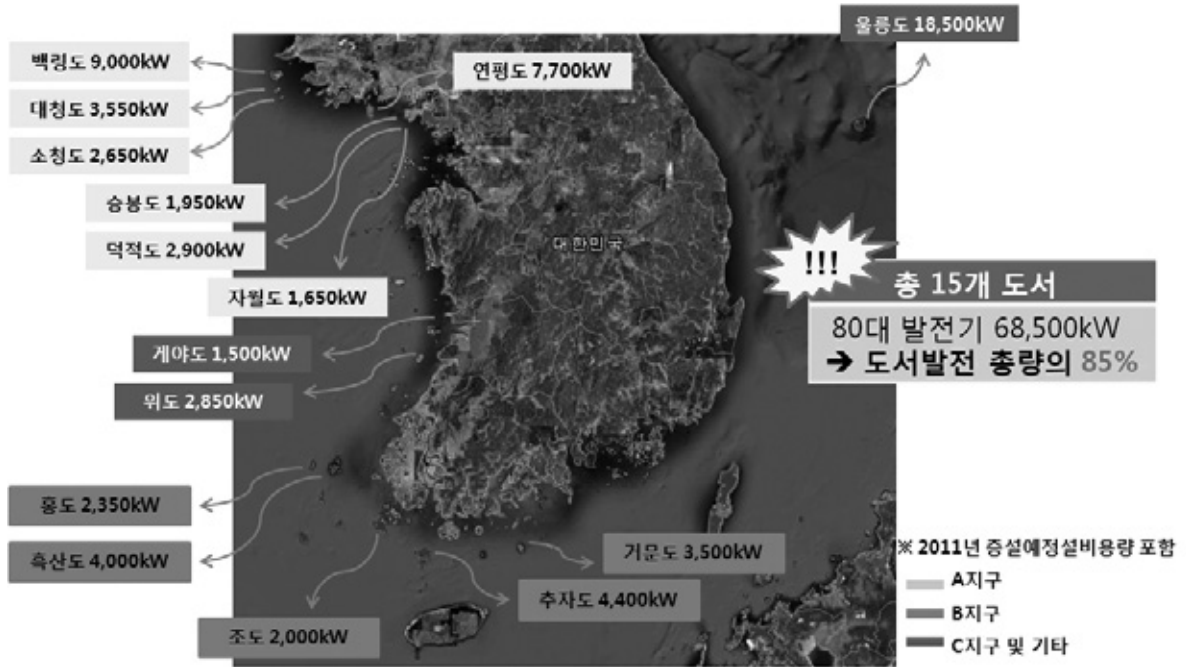
- 총 시장규모 : 약 5.6조 원 이상/년 (2020년 까지)
- 병커링용 LNG연료시장 : 300만 톤(2020년까지), 약 2.2조 원/년, LNG가격 기준 : 12달러/mmbtu, 1,200원/달러

가스 연료추진 선박 및 병커링은 국제해사기구, EU, 미국 등 선진국을 중심으로 선박배출가스 규제 강화 및 온실가스 감축에 의하여 시장이 급속하게 확대될 수 있는 상황이며, 특히 북유럽 국가들은 관련 기준과 사업기반을 구축하면서 시장선점에 박차를 가하고 있다. 우리나라는 세계 1위의 조선강국으로서 향후 친환경 그린쉽(Green Ship) 시장 도래에 선



자료 : Germanischer Lloyd사 발표자료(2010)

[그림 7] 발틱해 지역의 LNG추진선박에 의한 LNG 수요전망



[그림 8] 우리나라의 도서발전기 운영 현황

제 대응하고, 세계 가스연료 벙커링 시장을 선도하기 위한 정부, 에너지업계 그리고 조선업계 등의 긴밀한 공조가 반드시 필요하다.

한전에서는 총 67개 도서에 87MW의 도서발전

기를 운영 관리하고 있다. 전국에 산재해 있는 도서에 앞서 언급한 LNG 혼소 발전을 적용할 경우 친환경 저비용 발전을 달성할 수 있을 것으로 전망된다. 