



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](#)

經營學碩士 學位論文

港灣의 大氣汚染 低減과 綠色物流을 위한
LNG ENGINE 의 港灣 曳引船 適用

Application of LNG engine to harbour tug for reduction of
emission in harbour and Green logistics

指導教授 劉成眞



2010年6月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

港灣物流學科
李啓奉

本 論文을 李啓奉의 經營學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 안기명 (인)

위 원 김환성 (인)

위 원 유성진 (인)



2010 년 월 일

한 국 해 양 대 학 교 해 사 산 업 대 학 원

本 論文을 李啓奉의 經營學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 安奇明 (인)

委 員  金煥成 (인)

委 員 劉成眞 (인)

2010 年 6月 25日

韓 國 海 洋 大 學 校 海 事 產 業 大 學 院

- 목 차 -

표 목차 -----	iii
그림 목차 -----	iv
ABSTRACT -----	v
제 1 장 연구의 배경과 목적 -----	1
제 2 장 문헌연구 -----	4
2.1 온실가스 -----	4
2.2 각국의 온실가스 감축방안 -----	5
2.3 대기오염물질 -----	7
2.4 대기오염 저감 장치 -----	7
2.5 LNG 화물자동차 적용에 관한 선행 연구 -----	10
2.6 세계 각국의 천연가스 자동차 현황 -----	15
2.7 MARPOL Annex VI 개정안 중 NO _x & SO _x 관련 주요내용-----	24
제 3 장 LNG Engine 의 선박적용과 기대 효과 -----	28
3.1 항만의 대기 오염실태 -----	28
3.2 LNG 연료의 특성 -----	30
3.3 LNG 연료 엔진의 비교 -----	36
3.4 LNG 엔진의 대기오염 저감 효과 -----	39

제 4 장 LNG Engine 의 항만 예인선 적용 -----	41
4.1 LNG Engine 의 항만예인선 적용 시 경제성 -----	41
4.2 LNG Engine 의 항만/ 연안선박 적용 시 환경적 편익-----	47
4.3 LNG Engine 적용 시 손익 상환 기간 -----	48
4.4 LNG Engine 의 보급 지원을 위한 정부의 지원 -----	50
제 5 장 연구의 시사점 및 향후 과제 -----	53
참고문헌 -----	56



- 표 목 차 -

표 2-1: 각국의 온실가스 감축 목표 수준 -----	6
표 2-2: NOx Emission Limit -----	25
표 2-3: SOx Emission Limit -----	27
표 3-1: 천연가스 조성 -----	30
표 3-2: 천연가스 물성 -----	32
표 3-3: 에너지원별 가격 -----	34
표 3-4: 연료별 발열량 -----	35
표 3-5: 연료별 공해물질 비교 -----	40
표 4-1: MCR 100% 기준 경제성 및 CO2 저감효과 -----	44
표 4-2: MCR 75% 기준 경제성 및 CO2 저감효과 -----	45
표 4-3: MCR 50% 기준 경제성 및 CO2 저감효과 -----	46

- 그림 목 차 -

그림 3-1: 연료별 대기오염물질 배출량 -----	31
그림 3-2: 천연가스 매장량 분포 -----	33
그림 3-3: LNG TANK 의 선내 배치 예 -----	37
그림 3-4: DF Engine 의 연료공급장치 및 배기가스 저감 장치 -----	38
그림 3-5: 천연가스와 MDO 의 공해물질 배출량 비교 -----	39
그림 4-1: LNG and MGO price vs Crude oil price on energy basis -----	42
그림 4-2: LNG Engine 의 Gas Fuelled System -----	49
그림 4-3: 탱크로리를 이용한 LNG 충전 -----	51
그림 4-4: 항만에 설치된 고정식 충전소를 이용한 LNG 충전(상) 및 본선의 충전설비(하) -----	52

Application of LNG engine to harbour tug for reduction of emission in harbour and Green logistics

Gye-Bong, Lee

Department of Port Logistics

Graduate School of

Korea Maritime University



This paper provides an overview of the effects between existing diesel engines and eco-friendly lean burn LNG (Liquefied Natural Gas) fuelled engines in economic and environmental aspects in application of harbour tug.

Climate change is now widely recognized as the major environmental problem facing the globe.

GHG (Greenhouse gas) emissions have grown markedly since pre-industrial time, especially emissions from the transport and energy sectors.

Without additional measures to mitigate climate change, GHG emissions will continue to grow in near future and beyond.

Legislations and regulations to reduce emissions had been tighten in globally, for instance October 2008 MARPOL amendments- revised Annex VI regulations

to reduce harmful emissions from ships, this protocol including a progressive reduction in sulphur oxide (SOx) and nitrogen oxide (NOx) emissions from ships.

According to this research, application of LNG engines instead of existing diesel engines to harbour tugs in Busan can reduce fuel cost KRW 9.3 billion and reduce CO2 emission 6,576 tons annually based on MCR 75% rating.

Also above application can save fuel cost KRW 55.1 billion and cut CO2 emission up to 38,000 tons annually when apply the LNG engines to all 183 harbour tugs in the whole country.

To reduce GHG emissions have a certain cost. However, they also constitute an economic & environmental benefit, reducing air pollution and energy resource depletion.

Variety of policy tools can be applied by governments to create incentives for the popularization of LNG engines to harbour tugs or costal vessels and support establishing infrastructure of LNG supply in port, such as regulation, taxation and subsidies.

LNG is set to become an important marine fuel of the future and LNG engines with related technology will contribute effectually toward green growth and green logistics.

제 1 장 연구의 배경과 목적

1992 년 브라질의 리우데자네이루 환경개발회의에서 채택되고 1994 년 발효된 기후 변화에 관한 국제연합 기본 협약(UNFCCC)을 기점으로, 1997 년 채택되고 2005 년 발효된 교토의정서(Kyoto Protocol)로 인하여 선진 38 개국의 제 1 차 의무 이행 기간인 2008 년 ~ 2012 년 동안 1990 년 대비 5.2%의 온실가스 감축 목표를 설정하였고 2009 년 12 월 덴마크의 코펜하겐에서 개최된 기후변화 정상회의 등 기후변화가 국제사회의 주요 이슈로써 부각되었다.

국내적으로는 대통령산하 국가에너지위원회의 기후변화대응에 관한 안건의 통과를 계기로 온실가스 감축이 현실화되고 있고 녹색성장위원회의 구성, 녹색성장 5 개년 계획이 수립되었다.

현재 서울을 비롯한 대도시에서는 천연가스로 운행되는 CNG 버스로 교체가 진행 중이고 서울은 2010 년까지, 부산시는 2012 년까지 천연가스버스로 전면 교체 예정이다. 또한 LNG 화물차 운행개시, 고속버스 개조 사업 등이 시행되거나 계획되어 있고 탄소 배출권 거래제등 대기 오염 저감과 온실가스감축을 위한 광범위한 정책이 시행되고 있다.

이와 같이 육상에서의 온실가스 감축 및 대기오염방지를 위한 여러 가지 제도적 뒷받침을 바탕으로 한 실천이 행해지고 있는데 반하여 항만을 비롯한 연안의 대기오염방지 대책이 미흡한 바 IMO 의 대기오염방지 협약을 비롯한 선진국에서 행해지고 있는 항만이나 연안의 대기 오염 방지

대책 등을 알아 보고 국내 항만이나 연안 대기 오염 방지에 적합한 방안을 연구하고자 한다.

부산이나 인천 등 항만에 인접한 지역 대기오염의 많은 부분이 선박이나 항만에서 배출되고 특히 황화합물(SOx)의 경우 육상에서의 엄격한 황함유량 규제(0.003%)와 달리 선박의 연료유에는 최대 황함유량 4.5%까지의 고유황유의 사용이 가능하여 부산시의 경우 2002 년 기준 전체 SOx 배출량의 42%와 NOx 배출량의 7% 정도가 선박에서 배출된다고 조사되었으며¹ 이로 인한 해당 지역의 대기오염 개선에 대한 지속적인 요구가 제기되고 있다.

최근 노르웨이 선급협회 (DNV)가 액화 천연가스를 주연료로 사용하는 신개념 컨테이너선인 퀀텀(Quantum) 을 발표하였고 삼성중공업과 대우조선해양에서도 천연가스를 주연료로 사용하는 선박이나 기술 개발을 선언하는 등 천연가스가 친환경 연료로써 크게 주목받고 있으며 또한 석유자원에 비해 전세계적으로 광범위하게 분포되어 있고 매장량이 풍부하여 안정적인 공급이 가능하며 앞으로 예상되는 고유가 시대에 상대적으로 석유 대비 경제성이 더 커질 것으로 예상되는 천연 액화 가스의 항만 예인선 적용에 관한 고찰을 통하여 경제성과 환경오염 저감의 효과를 확인하고자 한다.

기존 육상에서 시행되고 있는 천연가스를 사용하는 차량에 대한 경제성, 환경에 대한 영향, 정부의 지원책과 세계 각국의 천연가스 자동차 현황에 대한 문헌 연구를 통해 현재 항만의 대기오염실태, LNG 연료의 특성과 LNG Engine 을 항만에서 운항중인 예인선에 적용할 경우의 경제성,

¹ 부산일보(2010.1.06) <부일시론> 녹색성장과 부산항, 남기찬

대기오염 저감 효과, 유사시 선박 연료유출에 의한 해양오염 방지를 비롯한 환경적 편익과 필요한 추가장치에 대한 소요 비용의 상환 예상기간을 알아보고 앞으로 LNG 연료를 사용하기 위한 필수 요소인 공급 인프라 구축 등 정부의 입법 지원이나 경제적 지원 대책을 제시하고자 한다.



제 2 장 문헌 연구

2.1 온실가스

대기를 구성하는 여러 가지 기체들 가운데 온실효과를 일으키는 기체를 온실가스 (GHG: Greenhouse Gas)라 하며 온실 가스로는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 오존(O₃), 프레온(CFCs), 과불화탄소(PFCs), 수소불화탄소(HFCs), 육불화유황(SF₆) 등이 있다.

이 중에서 제 3 차 당사국총회(COP: Conference of the Parties)에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 과불화탄소(PFCs), 수소불화탄소(HFCs), 육불화유황(SF₆)을 6 대 온실가스로 지정하였다.

이들 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도는 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)가 제시한 지구온난화지수(WP: Global Warming Potential)에 의하면 이산화탄소를 1로 했을 때 메탄 21, 아산화질소 310, 프레온가스 1,300 ~ 23,900 이다. 이산화탄소(CO₂)의 경우 지구온난화지수 자체는 낮지만 규제 가능한 가스로서 전체 온실가스 배출량 중 약 80%를 차지하고 있기 때문에 가장 비중있는 중요 온실가스로 분류된다. 석유, 석탄과 같은 화석연료가 연소할 때 탄소가 공기중의 산소와 결합하여 생성된다.

자연계에서는 이산화탄소는 식물의 광합성에 사용되고, 바다에 흡수되고 남은 양은 대기중에 계속 축적된다.

메탄(CH₄)은 천연가스의 주성분이며 음식물쓰레기의 부패 시, 소나 돼지, 닭과 같은 가축의 배설물에서도 발생한다.

메탄의 발생량은 이산화탄소에 비해 아주 작은 양이지만 메탄 1 분자가 일으키는 온실효과는 이산화탄소의 21 배로 지구 전체 온실효과의 15 ~ 20%를 차지한다.

아산화질소(N₂O)는 연료의 고온 연소 시 발생하며 석탄 채굴 시에도 발생하는 온실가스의 일종이다.

수소불화탄소(HFSc)는 불연성 무독가스로 취급이 용이하며 화학적으로 안정하여 냉장고나 에어컨 등의 냉매로 주로 사용된다.

과불화탄소(PFCs)의 경우 탄소와 불소의 화합물로서 전자제품, 도금산업에서 세정용으로 사용되며 우리나라에서는 반도체 제조공정에 많이 사용되고 있다.

육불화황(SF₆)은 주로 전기제품이나 변압기 등의 절연체로 사용된다.

2.2. 각국의 온실가스 감축방안

우리나라의 경우 온실가스 배출통계에 의하면 에너지 연소로 발생하는 온실가스가 대부분을 차지하고 있으므로 에너지 사용량의 감축을 통하여 기후변화에 적극적으로 대처하여야 할 것이다.

한국은 OECD 국가 중 2007년 기준 에너지부문 CO₂ 배출량 기준 세계 9위이나 교토의정서 의무감축국 38개 국가에는 포함되지 않지만 제조업

중심의 경제성장으로 온실가스 배출증가율이 OECD 국가 중 1990 ~ 2005 년 사이 가장 높으며 에너지 다소비 산업구조를 가지고 있다.

또한 세계 주요국은 지구온난화문제를 해결하기 위하여 ‘교토의정서’를 중심으로 글로벌 차원의 온실가스 감축 방안을 마련하여 다음 표와 같이 추진중이다.

국가	주요내용
 EU	- 2020 년까지 1990 년대비 20% 감축 - EU 기후변화 종합법(Directives)」 발효(‘09.4) - 배출권거래제(EU-ETS) 도입 및 시행 (‘05) - 자동차 온실가스 배출규제 도입(‘09)
 영국	- 세계최초로 기후변화 법안 도입, 감축목표 명시(‘08.12) - 2020 년까지 1990 년 대비 34% 감축목표(‘09)
 미국	- 10 년간 신재생에너지 산업 1,500 억달러 투자계획(‘09.1) - 2020 년까지 2005 년 대비 17% 감축을 담은 “청정에너지·안보법안 (Waxman-Markey)” (‘09.6, 하원통과)
 일본	- 저탄소 사회구축을 위해 「Cool Earth 50」 발표 (‘07.5) - 저탄소혁명전략 등을 담은 미래개척전략(J Recovery plan)(‘09.4) - 2020 년까지 2005 년 대비 15% 감축(‘09.6)

표 2-1: 각국의 온실가스 감축목표 수준²

² 녹색성장위원회>녹색정책>온실가스감축목표

2.3 대기오염물질

대기오염물질은 입자상 물질, 황화합물, 질소화합물, 유기화합물, 일산화탄소, 할로젠화합물, 광화학 산화물, 방사성 화합물, 그 외 무기화합물 등으로 분류되며, 이 중 황화합물은 대기중에 대부분 이산화황이나 삼산화황으로 존재하며 일정 농도 이상에서 호흡기계 질병을 유발하고 금속의 부식을 증가시키며 산성비를 만들어 토양이나 산림에 피해를 주고 수자원을 산성화 시키기도 한다.

또한 질소산화물은 대기중에서 햇빛에 의해 탄화수소와 반응하여 광화학 스모그를 일으키고 일정농도 이상으로 노출되었을 때 천식을 유발하고 폐렴이나 기관지염을 일으킨다.



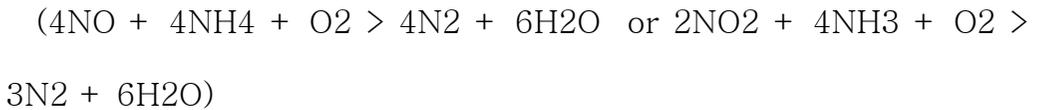
2.4 대기오염저감장치

대기오염을 저감시키는 장치는 오염물질의 종류나 용량, 적용장치에 따라 구분될 수 있으며 대표적인 장치는 아래와 같다.

1) SCR (Selective Catalytic Reduction) 선택적 촉매 처리 장치

대기중으로 배출되는 배기 가스의 오염 물질을 제거하는 방법으로 질소산화물을 제거하기 위하여 암모니아를 배기 가스내에 흡입하여 그 가스를 백금, 바나듐, 티타늄 등의 촉매와 접촉시켜 NO_x 를 N₂ 와 H₂O 로 분해하며 제거하며 촉매 재생 방식으로는 열풍 건조 방법이 보편적으로 사용되며 제거효율은 80 ~ 90%로 비선택적 환원법

(SNCR) 보다 높고 촉매에 의해 다이옥신의 분해 제거도 가능하나 초기 시설 비용이 높다.



2) 저과잉 공기 연소: 보통 연료의 완전 연소를 위하여 10 ~ 20%의 과잉 공기를 사용하는데 이 경우 연소 후 질소가 반응할 수 있는 산소가 많이 남아 있으므로 과잉 공기량을 적게 주입하여 연소 영역의 산소 농도와 화염온도를 낮추어 질소산화물의 발생을 억제시키는 방법으로 10 ~ 25% 정도의 저감 효과를 가져 오는 LEA (Low Excess Air Firing) 이나, 연소시 단계적 공기 주입으로 연소 영역에 공급되는 공기량을 줄여 고온 화염 영역에서 환원성 분위기를 조성하여 질소화합물 발생을 억제한 후 필요한 공기를 충분히 공급하여 저온 영역에서 완전 연소를 시키므로 10 ~ 20% 의 저감 효율을 기대 할 수 있으나 추가적 2 차 연소 공간이 필요한 2 단 연소 방식이 있다.

3) 배기가스 재순환 (ERG: Exhaust Gas Recirculation or FGR: Flue Gas Recirculation): 일부 냉각되고 세척된 배기 가스를 연소용 공기와 함께 연소실에 공급하여 재 순환된 배기가 불꽃을 냉각시키는 효과로 산소 농도를 감소시켜 연소를 지연시키므로 불꽃이 연장되고 이로 인해 불꽃의 최고 온도를 감소시켜 질소산화물의 생성량을 감소시키는 방법으로 10 ~ 25%의 저감 효율이 기대된다.

4) 플라즈마 처리 방식: 고전압의 펄스를 이용하여 배기 가스중의 산소, 질소, 수분 및 암모니아를 라디칼로 전환 후 라디칼 + SO₂ 및 NO 를 황산암모늄과 질산암모늄입자로 생성시켜 집진기에서 포집하는 기술로서 상온에서 90% 이상의 저감 효율이 있다.

5) 물을 이용한 기술: 연료 밸브를 통해 물을 연소실내에 분사하여 물이 증발하는 동안 연소 과정으로부터 열을 흡수함으로써 NO_x 의 배출을 줄일 수 있는데 물 1%는 NO_x 1%의 저감 효과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 흡입 공기에 수분을 인위적으로 더하여 연소용 공기의 습도를 증가시켜 NO_x 를 저감 시킬 수 있으며 70% 이상의 저감 효과를 나타낸다.



2.5 LNG 화물자동차 적용에 관한 선행 연구

1) 친 환경성³

천연가스 자동차는 연료인 천연가스가 액화과정에서 미세먼지, 황 등의 불순물이 제거되기 때문에 경유 차량 대비 매연의 경우 100% 저감되며 휘발유를 연료로 하는 자동차 대비 CO₂는 20 ~ 30%, CO의 경우 30 ~ 50% 배출량이 감소되며 질소산화물 등 오존 영향 물질의 경우 70%이상 저감 된다고 보고하였다.

2) 안정성⁴

천연 가스는 공기보다 비중이 낮아 (0.6 배) 외부 유출 시 신속하게 확산 희석되어 폭발의 우려가 없지만 LPG 의 경우 공기보다 무거워 (비중 2 배) 유출 시 지상에 정체되어 폭발 위험이 높으며 천연가스는 다른 연료에 비해 연소 하한계가 높고 자연 발화 온도가 높기 때문에 안전하다. 충돌 사고의 안전성은 19070 년에서 1979 년 사이 10 년 동안 미국에서 천연 가스 자동차의 총 운행거리 2 억 8 천만 Km 중 1,360 건의 충돌 사고가 발생하였으나 천연가스장치와 관련된 파손이나 화재는 없었던 것으로 확인되었다.

³ <LNG 화물자동차 도입방안연구> (2008:13) 한국교통연구원

⁴ <LNG 화물자동차 도입방안연구> (2008:15) 한국교통연구원

3) 천연 가스 자동차의 기술 개발 현황⁵

천연 가스 자동차에 적용되는 엔진 기술은 엄격한 배기규제를 만족하기 위하여 초기 믹서방식에서 공기량 측정과 연료 압력 및 온도 보정을 적용한 전자제어식 인젝션 시스템으로 전환되고 있는데 믹서 방식의 경우 가솔린 자동차 엔진의 기화기 방식과 같이 고압의 연료를 대기압으로 감압하여 공기와 혼합하여 공급하는 방식으로 가솔린 대비 출력이 떨어지고 배출가스 측면에서도 한계가 있다.

이에 반해 인젝션 방식의 경우 TBI, MPI, PING 의 3 가지가 있으면 TBI (Trottle Body Injection) = SPI (Single Point Injection) 의 경우 스로틀 바디에 인젝터를 장착하여 연료를 분사하는 전소 방식으로 현재 우리나라에서 운행중인 천연가스버스에 장착된 시스템으로 모든 연소실에 공급되는 연료량이 여러 개의 인젝터로 이루어진 미터링 밸브로 조절하여 스로틀 바디 앞에서 공급하는 방식이며 MPI (Manifold Ported Injection or Multi Point Injection) 방식의 경우 엔진의 각각의 실린더로 들어가기 직전의 흡기 매니폴드에 설치된 각각의 인젝터로 연료량을 제어하는 연료 분사 방식으로 배기변의 단함 시기를 고려하여 연료를 분사 함으로서 탄화 수소 배출을 저감 시킨다.

PING (Pilot Ignited Natural Gas) Engine 은 연소실에 천연가스와 공기혼합기를 먼저 공급한 후 적정량 분사된 경유를 점화원으로 이용하는 연소 방식으로 저부하 영역에서는 경유의 사용량이 많으나 일정 부하이상에서는 천연가스 사용량이 80% 이상이고 최대 90%까지

⁵ <LNG 화물자동차 도입방안연구> (2008:16) 한국교통연구원

대체가 가능하며 충전소 인프라가 제대로 구축되지 않는 경우 초기에 천연가스와 경유를 모두 사용할 수 있는 Duel Fuel Engine 방식이다.

4) 천연가스 충전소⁶

천연가스 충전소는 충전 연료에 따라 LNG 만을 충전하는 LNG 충전소와 LNG 와 CNG 를 동시에 충전할 수 있는 LCNG 충전소의 두 가지 형태로 운영되고 있다. LNG 충전소의 경우 대형 화물차나 장거리 운송용 버스등에 적합하도록 용량이 설계되어야 하며 구성 설비로는 저장탱크, 가압펌프, LNG 충전기, 부속 장치 등으로 구성되어 있으며 전체적인 시스템은 CNG 충전소에 비하여 간단하다. 상용압력이 5~8 기압으로 낮아 압력에 의한 위험성은 CNG(약 200 기압) 비해 낮으나 초저온 액체의 사용에 따른 위험성과 충전 시설에 사용되는 구성품의 극저온에 대한 충분한 기계적 성질, 저장용기내의 증발가스의 처리 등이 고려되어야 한다. 저장설비는 LNG 수송용 탱크로리로부터 공급 받는 초저온 액화천연가스를 저장하는 저장탱크와 내부압력을 상승시키기 위한 가압증발기 및 압력조절밸브 등으로 구성된다. 초저온 LNG 저장탱크는 이중 구조로 설계되며 내조에는 천연가스를 저장하고 내조와 외조 사이의 공간에는 단열재를 충전하거나 고진공 상태를 유지하여 외부 열원의 복사, 전도, 대류를 최대한 억제한다. LNG 의 경우 비점이 섭씨 -162 도로 매우 낮아서 초저온 상태로 저장하여야 하기 때문에 온도차이에 의한 열변형이나 저온에서의 취성 문제 등을 해결하기 위하여 저장탱크의 내조는 통상 천이 온도가 거의 일어나지

⁶ <LNG 화물자동차 도입방안연구> (2008:69) 한국교통연구원

않고 열팽창계수가 작으며 가공성과 용접성이 우수하고 천연가스에 대한 내식성이 뛰어난 스테인레스스틸이나 니켈강이 사용된다. 충전설비는 자동차에 장치된 탱크에 LNG 를 충전하기 위한 설비로 충전기(Dispenser)와 그 부속 장치로 구성된다. 충전설비는 차량의 초저온 연료 용기에 5 ~ 8 기압의 압력으로 액화천연가스를 충전하게 되는데 공급펌프, 충전기, 계량기, 호스, 제어반으로 구성되며 충전설비 주위에는 자동차의 충돌로부터 충전기를 보호하기 위한 구조물을 설치해야 하며 또한 충전중인 자동차가 충전호스와 연결된 상태로 출발할 경우에 대비, 수평 방향으로 당길 때 일정 이상의 힘에 의하여 분리되는 긴급분리장치와 긴급차단장치를 지면 또는 지지대에 고정 설치해야 한다. 극저온 펌프는 초저온용 LNG 저장탱크로 이송하거나 송출하는데 사용되어지며 초저온 액화가스는 상온의 액체에 비해 잠열이 작고 온도가 낮아서 적은 열에도 증발하는 특성이 있어 펌프 작동시 구성부품이 마찰이나 외부 침입열에 의해서 기화되기 쉬우므로 왕복 또는 회전운동의 마찰열에 의해 증발되지 않을 정도의 과포화 상태로 흡입되어야 하고 외부의 가연성가스에 인화되지 않는 내압 방폭구조 이어야 하며 천연가스의 주성분인 메탄의 발화 온도 섭씨 595 도 보다 더 낮은 온도 범위의 온도등급과 방폭등급을 적용하여 안전을 도모하여야 한다. 또한 극저온 펌프의 기초 및 섬프는 동결현상을 방지하도록 설계 시공하고 펌프에 초과 압력이 발생하지 않도록 적합한 방출구나 릴리프밸브의 설치가 요구되어 진다. 고정식 충전소는 저장탱크 및 충전설비 등이 일정한 장소에 고정적으로 설치되어 운영되고, 연료 충전을 필요한 차량이 고정식 충전소에 들러

연료를 공급 받는 형식으로 LNG 를 기지로부터 탱크로나 트레일러로 충전소의 저장탱크에 운송하고 극저온 펌프를 사용하여 자동차의 연료탱크에 충전하는 방식이다. 이동식 충전소는 저장탱크 및 충전설비 등이 이동 가능한 차량에 탑재된 상태로 충전을 필요로 하는 차량이나 차고지로 이동하여 충전하는 방식으로 LNG 차량 보급 초기 충전소 인프라 구축이 미비한 지역이나 고정식 충전소를 운영하기에 이용 대수가 적은 경우에 적합하며 비상 충전 시에도 활용이 가능하다.

5) LNG 화물자동차의 경제성

초기 화물자동차 관련 LNG 전환 지원사업은 배출 가스 저감에 따른 환경적 측면에서의 편익에 초점이 맞추어 졌으나 현재 LNG 화물자동차의 경제성은 국제 유가의 상승에 따라 더욱 더 증가될 전망이다. 대기오염 저감에 따른 환경적 편익을 고려할 경우 해당 개조비용 2 천만원 (정부 지원으로 차주 부담 없음) 을 감안하더라도 경제적인 가치가 충분히 있는 것으로 연구되었다.

2.6 세계 각국의 천연가스 자동차 현황

1) EU의 천연가스 자동차 보급 지원 정책⁷

EU는 대기 오염의 심각성에 따라 오염의 원인이 되고 있는 자동차의 저공해화를 위해 '2020 Project'를 시행 중이며 우선 2020년까지 전체 차량의 20%를 저공해 차량으로 전환 보급하고 'The Blue-Corridor Project'를 통한 천연가스 충전소 네트워크를 구성 예정이다.

2020 Project는 유럽의 14개국이 2020년까지 경유 사용 차량의 20%를 대체 연료로 전환하도록 정책적 지원과 법적 규제를 가하는 것으로 이는 2005년 2%를 시작으로 2020년까지 23%의 연료를 대체연료로 전환하기로 합의한 것이다. 전환 예정인 23%의 대체 연료로는 바이오 연료, 수소, 천연가스를 선정하였으며 이중 천연가스 10%, 바이오 연료 8% 그리고 수소가 5%를 차지한다. 바이오 연료는 대부분 농장용 연료를 활용할 예정이며 수소의 경우 아직 개발 단계로 활용에는 긴 시간과 많은 비용이 소요될 것으로 예상되어 결국 천연가스가 본 프로젝트의 실질적인 수송용 대체 연료로 예상된다. 이러한 정책에 따라 유럽천연가스차량협회(ENGVA)에서는 상업용 차량 290만대, 승용차 2,300만대를 보급하기 위해 EU는 2010년까지 중기 목표로 상업용 차량 50만대와 승용차 400만대를 보급하고 충전소 인프라를 구축 중이며 본 사업에 소요될 예산은 EU와 관련 사업자 및 각각의 정부가 분담 지원 계획이다. The Blue Corridor Project는 러시아를 중심으로 한 유럽 전역의 화물 운송 경로를 천연가스

⁷ <천연가스자동차 보급성과 평가 및 보급 활성화 방안 연구> (2008:139) KEI

화물자동차로 네트워크를 구축하는 사업으로 네트워크상에 천연가스 화물자동차의 이용을 위해 연료 공급 배관 및 충전소를 연결하고 이 도로를 이용하며 이 사업을 통해 차량 수명이 40% 증가하고 공차 거리가 1.5 배 정도 개선되며 천연가스 연료 사용으로 석유 대비 40 ~ 50% 의 연료비 절감 효과가 되며 또한 본 프로젝트로 연간 1,800 만톤의 화물 운송 효과를 발생시킴으로써 30 억 달러 이상의 경제적 효과가 기대된다. 본 프로젝트의 참여 기관은 가스 공급사, 자동차 제작사, 정부 등이 참여할 예정이다.

2) 미국의 천연가스 자동차보급정책⁸

미국은 1970 년대 오일 쇼크 이후 수입 석유에 대한 의존도를 감소시키기 위한 목적으로 비석유계 연료의 사용을 촉진하였고 최근에는 대기질 개선에 대한 관심이 증대되면서 대기 오염 저감 차원에서 대체연료 자동차의 이용을 확대해 나가고 있다. 주요 관련 법규로는 1988 년 대체 자동차 연료법, 1990 년 대기정화법 개정안, 1992 년 에너지 정책법을 비롯하여 대체 연료 차량의 연간 구입 요구 사항을 수록한 정령 12844 가 있다. 2001 년에는 대체 연료 차량 촉진법을 제정하여 대중 여객 수송, 공항 차량 시범 사업과 상업 육성을 위하여 2 억 달러의 정부 보조를 시행하였다. 기타 관련 규정으로는 청정 학교 버스 프로그램, 청정법이 있다. 그리고 초저공해 공항 차량 시험 프로그램으로 10 개 공항을 선정하여 개소당 200 만불까지 지원하는 공항 대기질 개선법, 교통부와 연방항공청, 환경보호국에서 공동으로 지원하는 저공해 배출 공항 차량 확대 프로그램을 통해 공항

⁸ <천연가스자동차 보급성과 평가 및 보급 활성화 방안 연구> (2008:136) KEI

개선 계획 보조금 및 공항 시설 이용료 일부를 재원으로 마련하여 대기질 개선을 도모하고 있다. 대체 연료 촉진법 관련 예산 승인에는 상, 하원, 천연 가스 자동차 협회, 제조사연합, 대체연료 전문가 그룹, 환경단체 등 관련 전문가가 광범위하게 참여하고 있다. 1984 년부터 천연가스 자동차의 기술 발전과 보급이 본격화되어 13 만 여대 이상의 천연가스 자동차가 보급되었으며 경제적 인센티브와 보조금 지급 정책은 연방정부와 주정부의 차원에서 서로 보완적으로 이루어 지고 있다. 미국대중교통협회(APTA)에 의하면 2006 년 현재 미국에서는 천연가스 버스가 8749 대 보급되어 운행 중이며 이는 전체 버스대수의 15% 이상을 차지하고 있다. 저공해버스 보급을 위한 미국 정부의 재정 지원 프로그램으로서는 크게 혼잡 완화와 대기질 개선 프로그램(CMAQ), 도시지역 투자 프로그램과 청정 연료 투자 기금 마련 프로그램으로 나눌 수 있다. 그 중 혼잡 완화와 대기질 개선 프로그램은 2005 ~ 2009 까지 저공해 대체 연료 차량 및 충전소 건설을 위해 총 890 억 달러를 지원하는 계획이다. 이 프로그램에 따라 대기 오염이 심각한 지역의 도시 계획 및 교통담당 기관에 지원하고 있는데 교통부는 1992 년부터 1999 년까지 8 년간 1 억 93 백만 달러를 대체 연료 차량 보급에 활용했다. 또한 도시지역 프로그램은 2004 년 5600 만 달러의 지원금 중 460 만 달러를 천연가스 버스 구매 자금으로 사용했다. 천연가스 자동차를 구입한 해에 한하여 소득세 감면 등 조세지원, 대기정화법개정 (1990 년)으로 주별로 일정 비율의 청정 연료 사용 자동차 사용 강제화, 1992 년 에너지 정책법 시행으로 1996 년부터

연방정부 차량의 25%, 주정부 차량의 10% 이상을 대체 연료 자동차로 구매할 것을 의무화하였다.

3) 아르헨티나의 천연가스 자동차⁹

현재 아르헨티나 정부는 천연가스 자동차의 더 많은 보급을 위해 각종 연구 및 법령 개정을 추진하였으며 주요내용은 다음과 같다. 에너지 소비관리 정책을 담당하고 있는 에너지담당관(Secretariat of Energy)은 천연가스 자동차에 대한 연방 법령을 마련하였으며 에너지 소비관리 정책에서 압축천연가스에 많은 비중을 두고 있다. 상원은 압축천연가스의 대체연료로의 가능성에 관한 많은 연구를 수행했으며, 압축천연가스 자동차 생산에 유리한 법안을 만들기 위해 Argentina Chamber for CNG 와 Association of Gas Distribution Companies 와 협력 중에 있다. 특히 부에노스아이레스 자치정부와 부에노스아이레스 지역 에너지국 역시 도시지역에서의 압축천연가스 버스 운영이 가장 효율적이 대체연료가 될 수 있음을 인식하고 모든 노력을 경주하고 있다. 이를 통해 2005년 12월 기준으로 총 1,459,236대의 천연가스차량이 운행 중이며 이는 전 세계 천연가스차량 보급의 26.8%를 차지하는 것이며 보급 국가들 중 가장 많은 운행대수를 자랑하고 있고, 충전소도 1,400 곳이 운영 중에 있다.

⁹ <천연가스자동차 보급성과 평가 및 보급 활성화 방안 연구> (2008:138) KEI

4) 일본의 대체 연료 자동차¹⁰

일본은 제 2 차 세계대전으로 인한 석유위기 이후 여러 종류의 대체연료 자동차 개발을 추진해 오고 있으며, 최근 날로 심각해지는 자동차로 인한 대기오염문제와 지구환경문제 해결을 위해 천연가스차량의 보급을 활성화하고 있다. 1990 년 통상성의 협조하에 천연가스자동차 실용화조사 실시를 계기로 1993 년에는 저공해자동차 보급기반 정비 계획인 ‘Eco-station 2000 계획’을 시작하여 각종 보급정책 및 법적 제도를 정비해 나가고 있으며, 1994 년 2 월에는 종합에너지대책추진 각료회의에서 ‘신에너지도입대강령’이 결정되면서 청정에너지 자동차 도입을 촉진하고 있다. 특히 일본 환경청은 도심 내 차량으로 인한 NOx 오염문제 해결을 위해 NOx 차량배출저감 특별대책으로써 1992 년 공포한 차량 NOx 저감법률(Automobile NOx Reduction Law)을 통해 저공해 연료 자동차 보급을 추진하고 있다. 이 법률은 NOx 로 인한 대기오염문제를 최우선 해결과제로 선정, 자동차 1 대의 배출가스 규제만으로는 대도시의 NOx 오염 저감에 효과가 미비한 것으로 평가하고, 도심내의 자동차 NOx 배출량을 20-30% 저감 시킬 목표로 시작된 NOx 총량 규제이다. 이러한 자동차 NOx 총량 저감의 기본정책방안에는 NOx 배출이 적은 저공해연료차량의 보급 확대가 포함되어 있어 저공해연료차량의 이용개발과 연료공급설비의 개선 및 보급에 대한 지원방안을 중앙과 지방정부에서 수립하고 있다. 일본의 저공해 연료차량 보급확대는 전지구 환경보전 차원에서 진행하고 있는 자동차 배출가스 저감 정책의 기본방향과도 일치하는

¹⁰ <천연가스자동차 보급성과 평가 및 보급 활성화 방안 연구> (2008:141) KEI

것으로 에너지 효율적인 차량개발과 에너지 전환정책을 위한 신에너지원 차량개발과 맥을 같이 하고 있다. 특히 일본 자동차업계는 저공해연료차량 중에서 전기자동차 개발에 가장 주력해 왔으며, 최근에는 천연가스자동차 개발에도 주력, 행정당국에서도 대대적인 지원을 하고 있으며, 일본 정부의 통상산업성, 환경청, 교통성의 보조금 프로그램은 다음과 같다. 통상성은 총 예산 약 400 만달러로 가장 대규모의 보조금을 지급하고 있으며, 천연가스 자동차 구입시 소요되는 비용의 1/2 를 보조하고 있다. 교통성은 관광용 자동차 및 일본 트럭협회(AJTA) 등 운송업체에 지원을 하고 있으며, 혁신적인 청정자동차에 대한 검사기준 개발과 차량비용의 1/4 를 보조하고 있다. 또한 환경청은 주로 지방정부에 대하여 보조금을 지원하고 있으며, 그 내용으로는 차량 대체비용 및 충전소 설치비용의 1/2 를 보조한다. 이 밖에 조세혜택으로 천연가스 자동차의 표준 구매가격 및 충전소 설치 비용의 7% (법인세와 구입세)에 대해 선택적 조세공제를 하거나 첫째 30%의 특별 감가상각 혜택을 부여하고 있고, 천연가스 자동차 연료 공급 시설에 대한 고정자산세를 3 년간 2/3 만 납부하는 혜택을 부여한다. 또 천연가스 자동차 관련시설을 포함한 토지에 대한 보유세를 3 년간 면제시켜 주고, 천연가스 자동차 구입시 차량 취득세는 2.7% 가량 줄여주는(민간차량은 5%에서 2.3%, 상업용 차량은 3%에서 0.3%로 감소) 혜택을 주고 있다. 일본 정부는 천연가스 보급 및 충전소 설치를 위해 다음과 같은 유인책을 실시하고 있다. 먼저 천연가스버스의 경우, 환경청, 운수성 등에서 경유버스와의 가격차이분 100%(1 대 당 천만엔 이상)를, 충전소 설치에 필요한 비용은 1/3~1/2 를 각각

보조하고 있다. 지난 1995년부터 허용된 휘발유, 경유, LPG 등 여타 연료와 같이 설치할 수 있는 Eco-Station 에 대해서도 100% 보조를 해주고 있다. 둘째, 차량 및 충전소에 대한 세제 감면조치로 천연가스 차량 구매자 및 충전소 설치자에게 천연가스 차량의 표준 구매가격 및 충전소 설치비용의 7%를 법인세와 구입세에서 감면 받거나 또는 첫째에 30%의 특별 감가상각을 받는 것 중 하나를 선택하도록 하고 있다. 또한 충전시설에 대한 고정자산세를 3년 동안 2/3 감면하고 관련시설 토지에 대한 특별 토지 보유세를 3년간 면제하고 있다. 셋째, 차량 제작 및 충전소 설치와 관련된 법규를 정비하여 천연가스 차량 보급을 간접적으로 지원하고 있다. 천연가스 차량에 장착되는 가스저장용기는 고압가스보안법에 의해 규제되고 있는데, 국제 기준인 ISO 기준과 차이가 있어 이를 조정하였다. 또한 용기 검사 항목을 완화하고 검사도 차량에 장착한 채로 할 수 있도록 함으로써 3일 이상 걸리던 검사기간을 1시간 이내로 대폭 축소하였다. 이 밖에 충전소를 주택가에도 설치할 수 있도록 하였고, 설치에 따른 안전거리 기준을 크게 완화하였다.

5) 중국의 천연가스 자동차 현황¹¹

중국은 1차 에너지 소비의 3/4 가량을 석탄에 의존하고 있는 가운데 생산 활동이 증가함에 따라 대기환경이 급속히 악화되고 있으며, 특히 대도시의 경우, 자동차의 급증으로 인해 대기오염이 매우 심각한 사회적 문제로 부각되고 있다. 한편 중국은 서부 산시 지역에 국내 공급량을

¹¹ <천연가스자동차 보급성과 평가 및 보급 활성화 방안 연구> (2008:143) KEI

충족할 수 있는 비교적 풍부한 천연가스 매장량을 보유하고 있다. 중국 정부는 따라서 심각한 대기오염을 유발하는 석탄을 청정 연료인 천연가스로 대체하는 정책을 추진하고 있다. 중국은 지난 1995년 미국 포드자동차와 가스 자동차 분야 협력 계약을 체결한 이후 중앙 정부에 가스 자동차 보급을 위한 조직이 구성되어 규제 및 세제 지원정책 등을 추진하고 있다. 또한 정부가 중국 내 12개 도시를 시범지역으로 선정하여 각 도시별로 중, 장기 계획을 수립하여 추진 중에 있다. 중국 북경시의 경우, 도시지역 매연 감소와 국내 부존 에너지 자원 활용을 주목적으로 1999년부터 버스 연료로 천연가스 사용을 장려하고 있다. 특히 2008년 북경올림픽 개최를 위해 획기적인 대기질 개선을 위해 적극 노력하고 있으며 그 일환으로 천연가스 자동차의 도입을 적극 추진하고 있는 실정이며, 그 결과로 2005년 1월 기준으로 97,200대의 천연가스버스가 도입되었고, 355곳의 충전소가 운영 중에 있다.

6) 호주와 뉴질랜드의 천연가스 자동차 현황¹²

호주가 계획하고 있는 대표적 보급계획으로는 10년 이내에 10%의 차량을 천연가스 자동차로 대체하겠다는 10/10 계획이 있으며, 지구 온실가스인 CO₂ 저감 대책을 위하여 운영중인 Greenhouse Office 는 그 목적 달성에 있어 천연가스자동차의 보급에 가장 큰 주안점을 두고 있다. 가스충전소 설치를 위해 주요 도시 및 교통지역에 가스충전소 네트워크를 설립하기 위하여 4년 동안 Greenhouse office 가 운영하는 7,300만 달러 규모의 자금을 지원 중에 있고, 자동차구입 및 개조비용에 대한 지원으로

¹² <천연가스자동차 보급성과 평가 및 보급 활성화 방안 연구> (2008:144) KEI

압축천연가스 자동차의 구입 및 개조비용(대략 70,000 달러)의 50%를 지원하며 경유에 대한 청정연료의 할인 계획이 이루어짐에 따라 천연가스 가격에 대한 할인을 하고 있다. 뉴질랜드는 국내의 풍부한 매장량과 지원정책으로 1970년대 말 1980년대 초에 천연가스 자동차 시장이 성숙하였으나 1986년 중고 디젤차 수입이 허용되고, 천연가스 자동차에 대한 인센티브제도가 전면 백지화되었으며 연료 가격이 경유보다 비싸게 책정됨에 따라 천연가스 자동차의 보급은 급격히 줄고, 자동차 개조 산업이 거의 붕괴하였다. 현재에도 천연가스 자동차 보급을 확대하기 위한 특별한 지원제도가 없으며 자동차 연료에 대한 세금은 가솔린 > CNG > LNG > 디젤의 순으로 저렴한 구조를 갖고 있다.



2.7 MARPOL Annex VI 개정안 중 NO_x & SO_x 관련 주요내용

2008 년 10 월 21 일 국제해사기구 (IMO: International Maritime Organization) 해양환경보호위원회 (MEPC: Marine Environment Protection Committee) 제 58 차 회의에서 개정안이 채택되었으며 2010 년 7 월 1 일부터 발효 예정이며 주요 내용은 다음과 같다.

1) 질소 산화물(NO_x): 연소 과정 중 공기중의 질소가 고온에서 산화되어 발생하는 질소와 산소 화합물로서 NO, NO₂, NO₃, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ 가 있다.

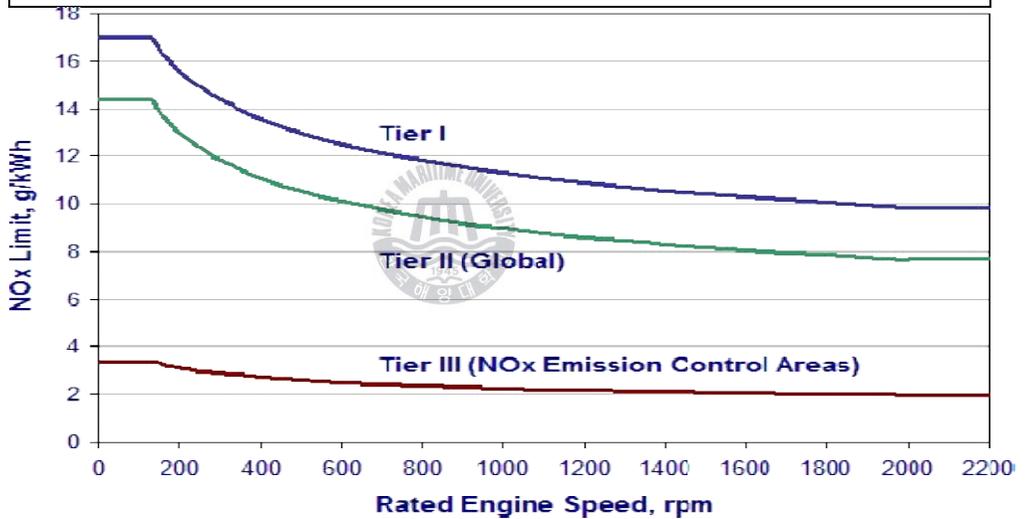
(1) Tier II 기준은 2011 년 1 월 1 일 이후 건조된 선박에 탑재된 디젤 엔진부터 적용되며 Tier I 대비 배출량 약 15.2% 감축된다. 상세내용을 알아보면 분당 회전수 (RPM) 130 미만의 경우 14.4 g/KWh 으로 제한되며 분당 회전수 (RPM) 130 이상 2000 미만의 경우 $44 \times n^{-0.23}$ g/KWh 으로 또한 분당 회전수 (RPM) 2000 이상의 경우 7.7 g/KWh 이하로 강화된다.

(2) Tier III 기준은 2016 년 1 월 1 일 이후 건조된 선박에 탑재된 디젤 엔진부터 적용되며 Tier I 대비 배출량 약 80% 저감된다. 분당 회전수 (RPM) 130 미만의 경우 3.4 g/KWh 으로 분당 회전수 (RPM) 130 이상 2000 미만의 경우 $9 \times n^{-0.2}$ g/KWh 이하로 엄격해지면 분당 회전수 (RPM) 2000 이상의 경우 2.0 g/KWh 이하 제한된다.

표 2-2 NOx Emission Limit¹³

Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		N < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016*	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

* In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).



¹³ DieselNet> Emission Standard> International: IMO Marine Engine Regulations

2) 황 산화물(SO_x): 유황을 함유한 석유나 석탄의 연소시 발생하며 광화학 반응이나 촉매 반응에 의하여 SO₃(삼산화황), 황산, 기타 황산염 등의 2차 오염물질을 형성하여 시야의 감소나 빛의 분산, 금속이나 재료의 부식을 촉진시키며, 인간이나 동,식물에 영향을 미친다.

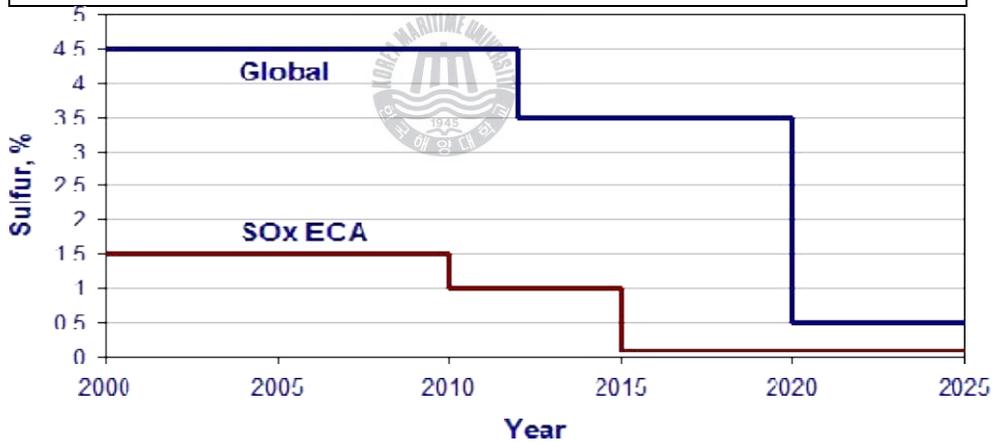
(1) 선박용 연료유 중의 황함량 기준이 강화되어 전세계 기준의 경우 2012년 1월 1일 이전의 경우 4.5 % m/m 이나 2012년 1월 1일 이후에는 3.5% m/m 으로 제한되며 2020년 1월 1일 이후에는 0.5% m/m 으로 엄격한 기준이 적용될 예정이다.

(2) 특히 황 산화물 배출 통제 지역(SECA: Sulphur Emission Control Area)에서의 연료유 중의 황함량 기준은 더욱 강화되어 2010년 7월 1일 이전에는 1.5 % m/m 이었으나 2010년 7월 1일 이후에는 1.0% m/m 으로 제한되며 2015년 1월 1일 이후에는 0.1% m/m 으로 더욱 강화된 기준이 적용될 예정이다.

표 2-3: SOx Emission Limit¹⁴

Date	Sulfur Limit in Fuel (% m/m)	
	SOx ECA	Global
2000	1.5%	4.5%
2010.07	1.0%	
2012	0.1%	3.5%
2015		0.5%
2020 *		

* - alternative date is 2025, to be decided by a review in 2018



¹⁴ DieselNet> Emission Standard> International: IMO Marine Engine Regulations

제 3 장 LNG Engine 의 선박 적용과 기대 효과

3.1 항만의 대기오염 실태

1) 부산의 대기오염¹⁵: 실제 부산권역에서 발생하는 총 CO₂ 의 60% 정도가 항만부문에서 발생한다는 통계가 있다. 부문별로는 항만을 오가는 선박 63.18%, 항만 하역 21.24%, 외부 차량 15.59%이다. 그리고 2007 년 12 월 부산광역시의 ‘온실가스 배출량 조사 용역’ 부록에 의하면 2002 년 기준 부산시 전체의 SO_x 배출량의 42.63%와 NO_x 배출량의 7.02%가 선박에서 배출된다고 조사되었다.



2) 인천항의 대기오염실태¹⁶: 인천항만 내에서 배출되는 질소산화물의 경우 선박에서 나오는 게 81.2%나 차지했으며 하역장비는 17.5%였고, 차량은 1.1%에 불과했다. 특히 황산화물은 99% 이상이 선박에서 발생했다. 이는 2007 년부터 하역장비와 차량의 연료에는 저유황 경유 사용 의무화가 이뤄졌으나 선박 연료는 아직까지 이 같은 규제를 받지 않고 있기 때문으로 보인다. 2007 년도 인천항에서의 대기오염 배출총량을 조사 결과 질소산화물이 가장 많이 배출되는 것으로 확인되었으며 그 다음은 황산화물, 일산화탄소, 탄화수소, 미세먼지 등의 순이었다. 인천항 대기오염물질 1~2 위를 차지한 질소산화물과 황산화물이 대부분 선박에서 배출된다는 것이 이번 연구로 확인되었다.

¹⁵ 부산일보(2010.1.06) <부일시론> 녹색성장과 부산항, 남기찬

¹⁶ 경인일보(2010.1.28) 인천발전연구원 조경두

선박 연료에 유난히 많은 황 함유량도 문제로 꼽혔다. 자동차 연료의 황 함유량이 0.003%이고, 공장 등에서 쓰는 연료의 황 함유량이 0.2%인데 반해 선박 연료의 황 함유량은 최고 4.5 %에 달한다. 최근 들어 환경에 대한 관심과 우려가 높아지면서 국제적으로 항만의 대기오염을 규제하는 각종 조치들이 잇달아 도입되고 있으며 항만에 기항하는 선박들은 국제기준에 적합한 배출 장비를 부착하거나 배출 기준에 부합하는 선박연료유를 사용해야 하는 등 여러 가지 부담을 안게 될 전망이다. 실제 미국의 연구 조사에 따르면, 선박에서 발생하는 질소산화물이나 디젤 미세먼지가 자동차나 발전소 보다 많이 나오는 것으로 나타났으며 이러한 오염된 항만 지역의 발암 확률도 높다는 연구 결과도 발표되었다.



3) 그리고 부산항이나 인천항 등 인구가 밀집한 도시 항만의 경우 지역 주민의 대기 환경 개선요구가 증가될 가능성이 크므로 사전 실태조사를 실시하여 오염원을 차단하거나 삭감해야 할 것이다.

3.2 LNG 연료의 특성

천연가스는 해저, 유전지대 등의 지하에서 채취하는 탄화수소의 혼합물로, 메탄(CH₄)이 주성분인 가연성가스를 총칭하는 것이며, 수송 및 저장을 위하여 -162℃로 냉각하면 부피가 1/600로 축소되어 무색 투명한 액화천연가스(LNG: Liquefied Natural Gas)가 된다. 천연가스는 매장지역이 석유계 연료처럼 중동지역에 편중되어 있지 않고 세계 각지에 분포되어 있으며, 매장량도 풍부하여 안정적이고 장기적인 공급이 가능한 석유대체 에너지이다. 또한 천연가스는 석유, 석탄 등 화석연료 중 청정성과 안정성이 가장 뛰어나 자동차나 선박 등의 배출가스 저감 및 지구온난화 방지를 위한 최적의 대안으로 평가되고 있다.



표 3-1: 천연가스조성¹⁷

항목	조성(%)
메탄	89.95
에탄	6.32
프로판	2.54
부탄	1.09
펜탄	0.01
질소	0.09

¹⁷ 인천도시가스(주) 홈페이지

1) 청정성: LNG는 액화과정에서 황, 질소, 분진 등이 제거되어 연소 시 대기 오염 물질을 거의 발생하지 않는다.



그림 3-1: 연료별 대기오염물질 배출량¹⁸

2) 안전성: 천연가스는 공기보다 가벼워 누출 시에도 대기중에 빠르게 확산되며 연료 공급 시 누출로 인한 해양오염의 염려가 없으며 연소 하한계 (연소 가능한 공기중의 연료 농도의 하한치)가 상대적으로 높고 자연 발화 온도가 높아 폭발의 위험이 적어 안전하다.

¹⁸ 한국천연가스차량협회 홈페이지

표 3-2: 천연가스 물성¹⁹

항목	단위	도시가스 기준치
고위발열량	Kcal/Nm ³	10,500
웨버지수 (W.I)	-	13,300
비중 (S.G)	Air = 1	0.625
연소속도 (C.P)	cm/sec	39 ~ 41
이론연소 공기량	Nm ³ /Nm ³	10.45
연소온도	°C	2,165
폭발한계	%	4.60 ~ 14.50
공급압력	Kg/cm ²	5.0
노점	°C	-82.0 ~ - 160
착화온도	°C	630 ~ 730

3) 안정성: LNG 는 전세계에 광범위하게 매장되어 있어 장기 안정적으로 공급이 가능하다.

¹⁹ 인천도시가스(주) 홈페이지



그림 3-2: 천연가스매장량분포²⁰



4) 경제성: 석유에 비해 상대적으로 가격이 안정적이고 다른 연료에 비해 열효율이 높아 경제적이다. 또한 윤활유의 소모량이 낮고 운전 및 유지 보수 비용이 디젤에 비하여 적게 들어 경제적이다.

²⁰ 한국천연가스차량협회 홈페이지

표 3-3: 에너지원별 가격²¹

	현물가격(\$/Bbl)					싱가폴 현물가격(\$/Bbl)			현물가격(\$/MMBtu)		계약가격(\$/MMBtu)	계약가격(\$/t)
	WTI	Brent	Dubai	Oman	OPEC Basket	Gas Oil	Bunker-	Bunker-380	New York	Henry	OS유럽평균	LNG CIF Japan
2004-01	34.23	31.33	28.86	29.3	30.26	39.44	27.41	26.59	13.55	6.14	3.39	246.96
2004-04	36.71	33.39	31.53	31.49	32.26	38.99	28.23	27.23	6.24	5.71	3.48	255.57
2004-07	40.81	38.52	34.74	35.13	36.31	45.26	29.81	28.76	6.34	5.93	3.81	263.81
2004-10	53.24	49.8	37.99	39.92	45.08	57.02	32.75	31.41	6.69	6.34	4.34	287.41
2005-01	46.84	44.44	37.97	39.25	40.52	49.24	30.18	28.38	12.26	6.15	5.06	281.78
2005-04	52.94	50.9	47.21	48.33	49.51	63.93	42.35	40.87	7.69	7.16	5.51	298.04
2005-07	58.68	57.66	52.84	53.61	53.18	69.43	41.76	40.02	8.29	7.63	6.13	313.73
2005-10	62.3	58.53	53.95	55.31	54.35	72.59	51.8	49.55	14.51	13.69	6.96	337.13
2006-01	65.47	63.01	58.45	59.36	58.48	69.33	49.14	47.59	9.35	8.69	7.66	336.53
2006-04	69.55	70.51	64.22	65.74	64.44	83.06	55.4	53.84	7.8	7.16	8.14	345.76
2006-07	74.42	73.65	69.16	70.32	68.89	86.39	54.62	52.74	7.09	6.15	8.4	351.41
2006-10	58.84	57.51	56.58	57.6	54.97	71.17	45.52	44.42	6.35	5.85	8.65	367.31
2007-01	54.21	53.62	51.75	52.21	50.79	66.19	43.91	43.12	9.75	6.55	8.39	361.67
2007-04	63.85	67.55	63.98	64.45	63.55	79.94	54.75	53.27	8.57	7.6	7.83	356.02
2007-07	74.14	77.51	69.68	70.48	71.89	85.74	60.8	59.61	6.84	6.22	7.79	376.54
2007-10	85.91	82.8	77.23	77.78	79.32	95.13	68.6	67.5	7.19	6.74	8.56	439.13
2008-01	92.99	92.32	87.24	88.64	88.35	105.71	74.27	73.09	12.06	7.99	10.27	521.21
2008-04	112.64	108.85	103.62	104.31	105.16	138.38	81.92	80.28	11.03	10.18	11.9	571.48
2008-07	133.36	133.6	131.31	132.78	131.22	166.15	112.54	111.2	12.24	11.09	14.36	634.58
2008-10	76.62	72	67.65	68.35	69.16	83.29	65.45	63.49	7.29	6.74	16.02	772.58
2009-01	41.82	43.63	44.12	44.53	41.54	58.38	43.2	41.39	9.41	5.24	14.47	652.02
2009-04	49.84	50.37	49.99	50.27	50.21	58.12	47.4	46.51	4.09	3.49	8.6	417.07
2009-07	64.16	64.64	64.97	65.26	64.59	71.25	65.71	64.97	3.7	3.38	6.18	387.32
2009-10	75.77	72.81	73.17	73.47	72.67	79.62	71.17	70.72	4.48	4.01	6.45	467.34
2010-01	78.34	76.39	76.75	77.12	76.01	84.28	77.07	76.29	8.29	5.83	7.59	514.03
2010-02	76.45	73.82	73.6	74.05	72.99	82.35	73.15	72.36	6.69	5.32	7.59	520.7
2010-03	81.25	78.95	77.34	77.81	77.21	87.78	74.01	73.07	4.67	4.29	7.59	N.A
2010-04	84.5	84.91	83.64	83.81	82.33	94.77	77.48	76.69	4.38	4.03	8.35	N.A

²¹ 에너지경제연구원 통계정보시스템

표 3-4: 연료별 발열량²²

구분		환산기준		석유기준	
		단위	발열량	단위	발열량
석유류	원유	kcal/kg	10,000	kg/kg	1.0
	휘발유	kcal/l	8,300	kg/l	0.83
	납사	kcal/l	8,000	kg/l	0.80
	등유	kcal/l	8,700	kg/l	0.87
	경유	kcal/l	9,200	kg/l	0.92
	병커 A	kcal/l	9,400	kg/l	0.94
	병커 B	kcal/l	9,700	kg/l	0.97
	병커 C	kcal/l	9,900	kg/l	0.99
	제등 A-1	kcal/l	8,700	kg/l	0.87
	JP-4	kcal/l	8,500	kg/l	0.85
가스류	프로판가스	kcal/kg	12,000	kg/kg	1.20
	부탄가스	kcal/kg	11,800	kg/kg	1.18
	도시가스	kcal/Nm ³	7,000	kcal/Nm ³	0.70
	도시가스	kcal/Nm ³	11,000	kcal/Nm ³	1.10
	도시가스	kcal/Nm ³	15,000	kcal/Nm ³	1.50
	천연가스	kcal/Nm ³	10,500	kcal/Nm ³	1.05
	천연가스	(kcal/kg)	(13,000)	(kcal/kg)	(1.30)

²² 에너지관리공단 홈페이지

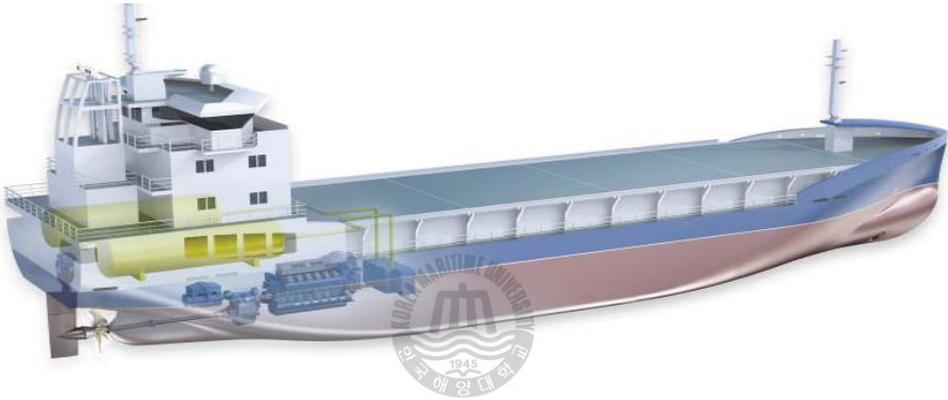
3.3 LNG 연료 엔진의 비교

현재 천연 가스를 연료로 사용하는 선박용 엔진은 순수 가스엔진과 이중 연료 엔진 (Duel Fuel Engine)으로 구분될 수 있다.

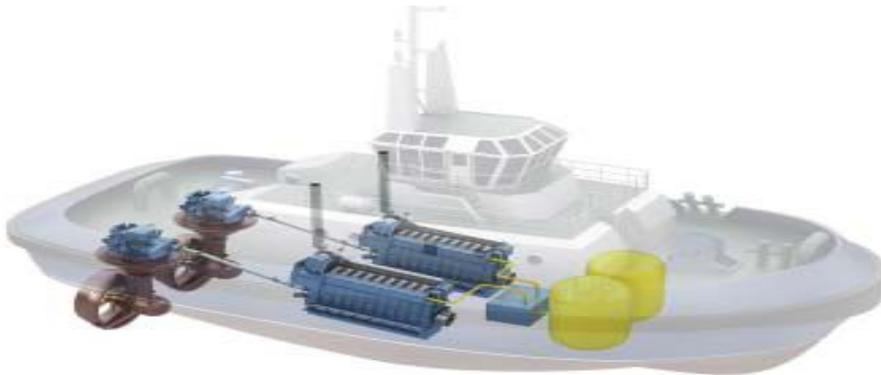
1) 순수 가스엔진은 Fuel Gas Storage & Supply System, Gas Control Unit (Gas Regulating Unit) 및 Gas Engine 으로 구성되는데 Fuel Gas Storage & Supply System 은 LNG 저장 탱크, 기화장치 (Vaporizer) 및 LNG 수급 장치 등으로 구성되며 자체의 가열 및 압력 조절 장치에 의해 탱크에서 요구되어지는 압력을 유지하며 엔진으로 적정 온도와 압력을 유지하여 IMO 와 각 선급에서 요구하는 각각의 안전 규정을 만족하는 이중관을 통하여 공급된다. 엔진으로 공급된 가스는 예비연소실에서 불꽃 점화되고 주연소실에서 희박한 혼합비로 운전함으로 연비가 향상되고 대기오염물질을 저감 시킬 수 있다. 현재 가스공급 인프라가 잘 갖추어진 북유럽이나 항만 또는 연안 항해에 적합하며 향후 가스엔진의 보급이 확대되면 장거리 운송에도 확대 적용될 수 있으며 추가적인 대기오염 저감 장치의 설치 없이도 향후 엄격해지는 대기오염기준을 충족시킬 수 있다.



LNG tanks and propulsion machinery are situated low in the vessel to enable easy vehicle access via the ramp and maximize the available cargo space. The tanks may also be situated on open deck.



To maximize the cargo space and avoid intrusions, the LNG tanks are positioned above the propulsion machinery and below the crew block.



For a short range vessel, such as a tug, smaller LNG tanks can be installed and orientated vertically to optimize space in the vessel.

그림 3-3: LNG TANK의 선내 배치 예²³

²³ Rolls-Royce Marine (2010:39) Marine Propulsion(PPT)

2) 이중 연료 엔진 (Duel Fuel Engine)은 가스 연소와 중유나 경유를 함께 연소하기 위하여 가스 공급 장치와 중유나 경유를 연소하는데 필요한 연료 정제 장치, 가열 장치 뿐만 아니라 배기 가스 규정을 만족시키기 위한 별도의 배기 가스 정화 장치를 설치해야 하고 일정부하 (MCR 15%) 이하에서는 일반적으로 가스 연소가 아닌 중유나 경유를 사용해야 하며 가스 연소 시에도 Pilot oil로서 경유를 사용하여 점화해야 한다. 가스 공급 인프라가 제대로 구축되지 않은 지역이나 원양 항해에 유리하며 대형 LNG수송선에서 사용하던 스팀터빈을 대체하여 DFEP (Duel-Fuel Electric Propulsion)에 적용되고 있으며 현재 50여척이 운항중이거나 건조되고 있다.



그림 3-4: DF Engine 의 연료공급 장치 및 배기 가스 저감 장치²⁴

²⁴ Rolls-Royce Marine (2010:28) Marine Propulsion(PPT)

3.4 LNG 엔진의 대기오염 저감 효과

LNG Engine 의 경우 예비 연소실에서 농도가 짙은 혼합기에 점화하고 주연소실에서 희박 혼합기(공연비 1.6 이상)에 착화 시키는 희박연소방식 (Lean Burn) 즉 공기의 주입량을 연료를 연소하는데 필요한 양보다 더 많이 공급하여 연소온도를 저하시키므로 연소 과정 중 공기중의 질소가 고온에서 산화되어 발생하는 질소와 산소 화합물인 질소산화물의 발생량을 급격히 감소시키며 천연가스의 액화과정에서 황, 질소, 분진 등이 제거되어 그림 3-5 와 같이 연소 시 CO₂ 의 경우 약 30 %, SO_x 의 경우 약 100 %, NO_x 의 약 86 % 및 디젤 분진의 경우 100% 가까운 저감 효과를 기대할 수 있는 친환경엔진으로 대기오염물질의 배출을 획기적으로 줄일 수 있다.



Emissions - MDO versus Natural gas

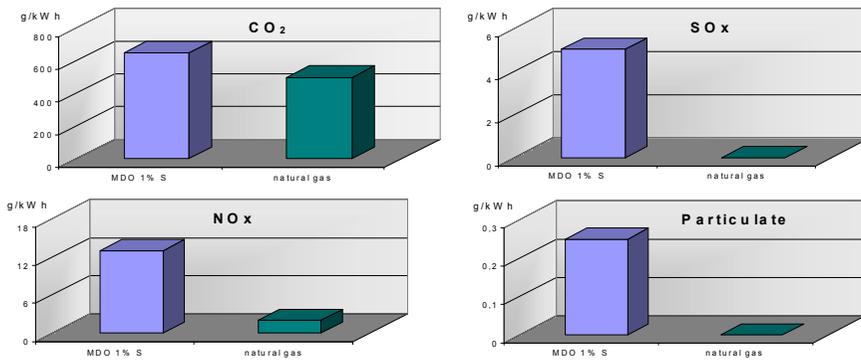


그림: 3-5: 천연가스와 MDO 의 공해물질 배출량 비교²⁵

²⁵ Rolls-Royce Marine (2010:6) Marine Propulsion(PPT)

표 3-5: 연료별 공해물질 비교 (단위: mg/만 Kcal)²⁶

연료생성물	SOx	NOx	CO	분진
LNG	15	1,519	304	27
등유	1,955	2,530	690	345
경유	3,706	2,398	654	327
중유	30,704	6,666	606	2,404
연탄	22,866	2,886	71,484	1,332



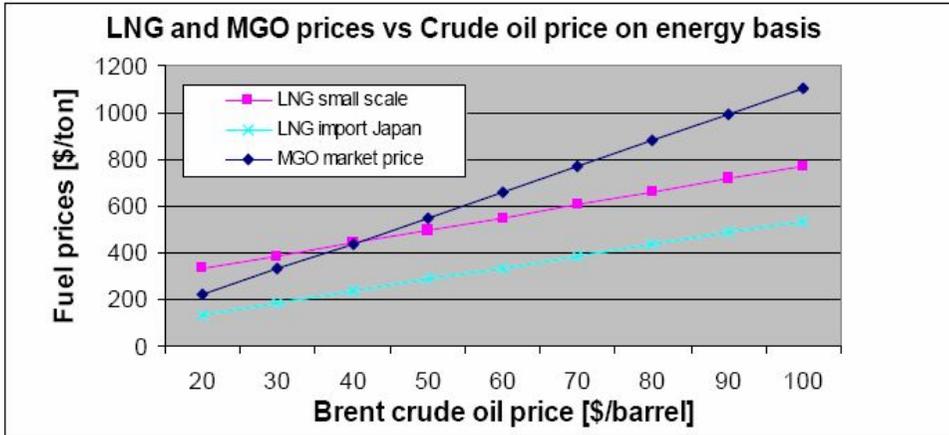
²⁶ 인천도시가스(주) 홈페이지

제 4 장 LNG Engine 의 항만 예인선 적용

4.1 LNG Engine 의 항만 예인선 적용 시 경제성

1) 경제성 분석을 위하여 다음과 같은 경우를 가정하여 분석하였다.

- 현재 전국 항만에 운항중인 항만 예인선 183 척 (2008 년 예선협회 등록선 기준)을 대상으로 본선에 장착된 주기관의 출력만을 대상으로 MCR 100%, 75% & 50%로 운항할 경우의 경유와 액화천연가스 사용 시 각각의 연간 연료비와 연간 CO2 발생량을 산정하여 경제성 및 온실가스 감축 기대 효과를 Diesel Engine 대비 LNG Engine 을 비교하여 산정하였다.
- 본선의 1년 운전시간을 산정하기 위해선 각 선박의 운항일지에 의거한 집계가 가장 정확하지만 선사에서 공개를 꺼리고 있어 예선협회에 전화로 문의하여 1항차 평균 운항 시간을 1.5 시간, 1일 평균 4항차 운항 기준으로 산정하였다.
- 이때 연료유의 단가는 그림 4-1 을 기준으로 Diesel 의 경우 USD 1100/ton, LNG 의 경우 LNG small scale 을 기준으로 USD 800/ton 으로 환율 1100 원/USD 로 계산하였다.
- 각각의 연비는 디젤 엔진의 경우 Rolls-Royce C25:33L9P 모델을 , 가스 엔진은 Rolls-Royce C25:33L9PG 모델을 기준으로 산정하였다.



At high crude oil price LNG has a significant price margin to Marin Diesel Oil (MDO)

그림 4-1: LNG and MGO prices vs Crude oil price on energy basis

27



2) 위의 조건으로 부하별 운전 시 아래와 같은 결과를 산정할 수 있다.

- 최대출력 100% 일 경우 부산항에서는 연간 124 억 57 백만원의 연료비 절감과 CO2 8,768 톤의 저감 효과를 기대 할 수 있었으며 전국 항만 예인선 전체 기준일 경우 연료비 차액 735 억 여원과 5 만 1 천톤 이상의 CO2 저감 효과가 산정되었다.
- 최대출력 75% 일 경우 부산항에서는 연간 93 억 43 백만원의 연료비 절감과 CO2 6,576 톤의 저감 효과를 기대 할 수 있었으며 전국 항만 예인선 전체 기준일 경우 연료비 차액 551 억 여원과 3 만 8 천톤 이상의 CO2 저감 효과가 산정되었다.

²⁷ Marintek, Sea Japan (2008) Per Magne Einang

- 최대출력 50% 일 경우 부산항에서는 연간 62 억 29 백만원의 연료비 절감과 CO2 4,384 톤의 저감 효과를 기대 할 수 있었으며 전국 항만 예인선 전체 기준일 경우 연료비 차액 367 억 여원과 2 만 5 천톤 이상의 CO2 저감 효과가 산정되었다.



4.2 LNG Engine 의 항만/연안 선박 적용 시 환경적 편익

천연가스를 연료로 사용할 경우 CO₂ 의 경우 Diesel 연료 대비 최대 약 30%의 저감을 가져오며 별도의 배기가스 저감 장치 없이도 황화합물(SO_x)이나 디젤분진도 100% 가까이 감소되며 질소화합물은 90% 가까이 저감 되므로 이에 따른 환경적 편익을 가져온다.

CO₂ 는 전체 온실 가스 중 80%를 차지하고 있으며 규제 가능한 중요 물질로 LNG Engine 을 사용할 경우 별도의 배기가스 저감 장치 없이도 연료의 변경만으로 이산화탄소 배출량의 감소를 가져 올 수 있다. 화물 수송에 의해 발생하는 연간 환경오염비용 3 조 4,539 억원 중 연안 해운의 연간 환경 비용은 1 조 220 억원으로 추정하고 있으며 1 TEU 의 화물을 서울에서 부산으로 운송할 경우 도로 운송에 비해 연안 해송의 경우 환경오염 개선 편익은 약 139 만원으로 추정된다.²⁸ 또한 추가적인 사회적 비용인 교통혼잡비용, 연료비용, 도로파손비용, 교통사고비용 등을 고려할 경우 그 비용은 훨씬 크게 증가할 것으로 추정되는바 교통 수단간의 합리적 시설 배분이나 국가 차원의 지원을 통한 CO₂ 감축을 위해 연안 항행선 이나 항만 운항 선박등에 대한 지원책으로 국민적 환경비용 감소와 삶의 질 향상에 기여할 수 있는 정책적 유인책이 강구되어야 할 것이다. 또한 탄소배출권의 경우 현재 유럽에서 약 EUR 20/Ton 에 거래되고 있고 향후 그 비용은 증가할 것으로 예상된다. 따라서 최대 출력 75%기준 전체 항만 예인선의 CO₂ 절감량은 약 11 억 4 천만원의 탄소배출권에 해당한다 (EUR20/ton x 38000 ton x 1500 원/EUR). SO_x (황화합물)은 육상에서는

²⁸ 한국해양수산개발원(2001:12) <운송수단별 환경비용 추정과 시사점>

저유황경유의 사용이 의무화되어 있어 1996 년 4 월 이후 황함유량 30PPM 의 초저유황경유가 사용되나 선박의 연료유는 현재 4.5%미만으로 규정되어 있어 연안이나 항만의 경우 선박에 의한 황화합물 대기 오염이 심각한 것으로 보고되고 있으며 생태계에 미치는 영향이 증대되고 있다. 따라서 항만이나 연안운항 선박의 연료를 천연액화가스로 변경 시 SO_x 에 의한 항만이나 대기 오염을 획기적으로 줄일 수 있다.

천연액화가스의 경우 공기보다 가볍고 공기 중에 누출 시 급격히 확산되므로 특히 항만에서의 연료의 보급이나 운항 중 좌초, 충돌 등 해상 사고 시에도 기존 연료유의 누출에 의해 일어날 수 있는 엄청난 환경 재앙이나 이로 인한 경제적 손실도 최소화 할 수 있는 환경 친화적인 연료이다.



4.3 LNG Engine 적용 시 손익 상환 기간

LNG Engine 을 장착하여 운항하기 위해선 일반적인 연료 탱크 대신에 천연액화가스 연료 공급 장치 등이 추가로 필요하며 이에 따른 추가비용 및 상환 예상 기간은 다음과 같다.

표 4-1 에 의하면 전국예선의 평균 출력 (MCR 기준)은 393,961 KW/ 183 척 = 2152 KW/ 척이다.

Diesel 을 LNG 로 전환 할 경우 척당 연간 연료비 차액은 73,552 백만원/ 183 척 = 4 억 2 백만원/ 척/년이다.

전국예선 평균 MCR 기준 5 일마다 충전할 경우 요구되는 용량은 24 m³ (2152 KW x 0.163 Kg/KWh/0.43 Kg/m³ x 6 시간/일 x 5 일 = 24 m³) 으로 현재 약 10 억원의 추가 비용이 발생한다.

따라서 연료 차액 기준 LNG Engine 으로 전환시 추가 비용의 상환 기간은 약 2년 6개월 정도 소요(1,000 백만원/ 402 백만원 = 2.48) 되나 향후 대량 생산의 경우 추가 비용은 점진적으로 감소할 것이며 향후 천연가스 대비 경유 등 액체 연료와의 가격 격차는 더 커질 것으로 예상된다.

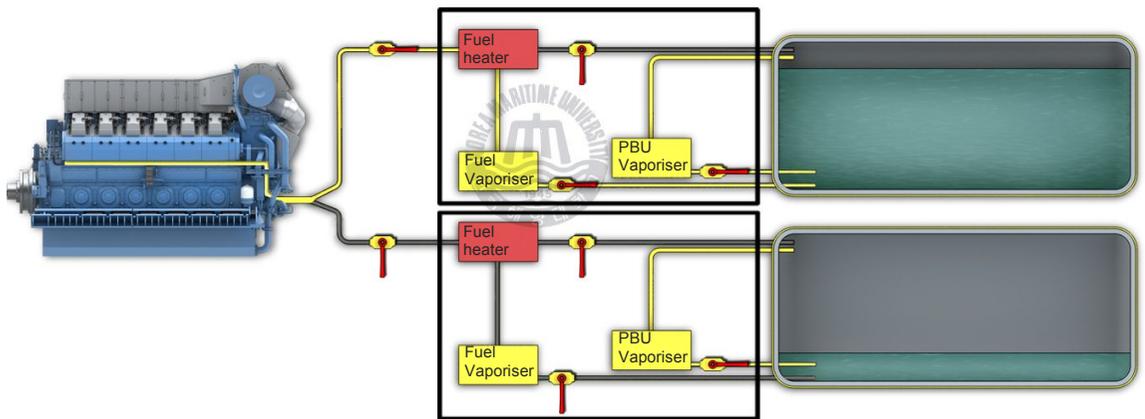


그림 4-2: LNG Engine 의 Gas Fuelled System²⁹

²⁹ Rolls-Royce Marine (2010:32) Marine Propulsion(PPT)

4.4 LNG Engine 의 보급 지원을 위한 정부의 지원

LNG Engine 의 보급을 지원하기 위해선 <대기환경보전법> 등에 근거하여 입법화를 통해 항만이나 연안 운항선의 LNG 전환에 따른 경제적 지원 근거 및 보급에 절대적으로 필요한 충전소 설치 운영등에 대한 지원 대책이 마련되어 져야 한다.

입법화: 현재 화물자동차 운수사업법 제 43 조에서는 화물자동차 등을 친환경 운송 수단으로 전환시 시설, 장비 투자에 대해 지원이 가능하도록 규정하고 있으며 국토해양부는 한국가스공사와 공동으로 2008 년 12 월 LNG 화물자동차 상용 운행 발대식을 개최했으며 현재 경유 화물 자동차를 전액 (대당 약 2 천만원) 국고 지원을 통해 LNG 화물자동차로 전환하는 사업을 시행 중에 있으므로 이를 근거하여 선박에 LNG 엔진 적용에 관한 입법화 및 지원 대책이 마련되어 져야 한다.

충전소 설치: 현재 LNG 화물차를 위한 충전소의 건설 비용은 100 대 기준으로 약 10 억원이 예상되며 전국의 주요 항만이나 공항이나 내륙물류기지 등 주요 교통지점에 설치되었거나 건설 중에 있으므로 정부에서는 기존 천연가스 인프라와 연계하거나 주요 항만을 시작으로 항만이나 연안 운항 선박을 위한 LNG 충전시설을 갖추고 수요가 적은 곳은 탱크로리나 연료 공급 바지선 등을 지원하여 충전시설을 확충하여 LNG Engine 의 보급 확대를 지원하여 친환경 저 탄소 녹색 물류 정책을 확대할 필요가 있다.



그림 4-3: 탱크로리를 이용한 LNG 충전³⁰



³⁰ Rolls-Royce Marine (2010) Marine Propulsion(PPT)

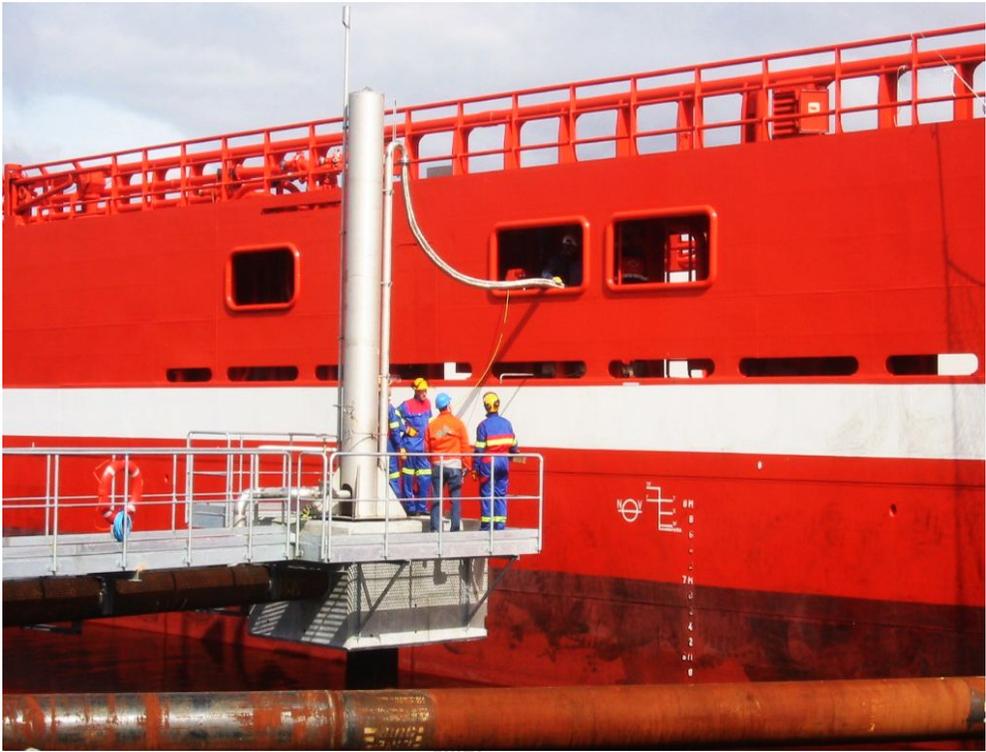


그림 4-4: 항만에 설치된 고정식 충전소를 이용한 LNG 충전(상) 및 본선의 충전설비(하) ³¹

³¹ Rolls-Royce Marine (2010) Marine Propulsion(PPT)

제 5 장 연구의 시사점 및 향후 과제

영국에서는 수송과 산업분야에서 발생하는 대기오염으로 인하여 한해 5 만명의 사람들이 사망할 수 있다³² 고 보도하였다. 육상 뿐만 아니라 이제 항만이나 연안의 대기 오염을 줄이기 위한 세계 각국의 노력은 이미 시작되었고 북유럽은 현재 20 여척의 선박이 LNG 를 연료로 운항하고 있으며 향후 많은 선박이 천연 액화가스를 주연료로 운항하기 위해 건조 중이거나 계획되어 있다. 실제 노르웨이의 피요르드를 운항하는 있는 Car/Passenger Ferry(12,370 Kw) 한 척을 천연가스로 교체할 경우의 상당한 양의 대기 오염물질의 저감 효과를 얻을 수 있어 노르웨이 정부에서는 친환경 선박의 건조나 개조 시 뿐만 아니라 LNG 공급망 인프라 구축에도 막대한 지원을 제공하여 깨끗한 환경 보전에 적극적으로 대처하고 있는 등 항만이나 연안의 대기 오염 저감을 위한 노력은 중요하고도 긴급한 현안이다.

본 연구에서는 문헌연구를 통해 온실가스를 비롯한 대기오염물질과 그에 대한 각국의 저감 대책, 대기오염 저감 장치, 천연가스자동차에 대한 선행연구 및 세계 각국의 현황과 NOx & SOx 관련 주요 규제 내용을 파악하였다. 선행연구를 바탕으로 항만의 대기오염실태, LNG 연료의 특성과 각 선박용 LNG Engine 의 비교, 대기 오염 저감 효과와 LNG Engine 을 항만 예인선에 적용 할 경우의 경제성 및 환경적 편익을 디젤엔진과의 비교 분석을 통하여 최대출력 75%를 적용할 경우

³² Bloomberg 통신 (2010.3. 21)

부산항 기준 연간 93 억 43 백만원의 연료비 절감과 CO2 6,576 톤의 저감 효과를 기대 할 수 있었으며 전국 항만 예인선 전체 기준일 경우 연료비 차액 551 억 여 원과 3 만 8 천톤 이상의 CO2 저감 효과가 산정되었으며 이를 바탕으로 LNG 엔진을 적용할 경우 추가되는 본선의 Gas Supply System 에 대한 손익 상환기간과 보급 지원을 위한 정부의 지원책에 대하여 제시하였다.

또한 연구의 정확한 자료 분석 및 결과 도출을 위해선 항만이나 연안을 운항하는 선박의 연료 소비량을 기준으로 연구가 이루어야 할 것이나 선박 운영선사에서 자료공개를 꺼려하고 있으므로 국토해양부등 관련 기관을 통한 각 선박의 실제 연료소비량에 대한 객관적인 자료 확보를 통한 향후 연구가 필요하다.

본 연구가 증가하고 있는 항만의 대기 오염에 효과적으로 대처하고 이를 기반으로 현재 육상 운송 수단에 확대 적용되고 있는 LNG 의 사용과 공급에 관한 인프라 구축 및 관련 법규를 항만이나 선박에도 확대 적용하고 향후 증가가 예상되는 연안 항행이나 내륙 수로 운송 등으로 점차 확대 적용하여 궁극적으로는 대기 오염기준이 엄격할 것으로 예상되는 북극항로 등 원양 항해에도 적용하기 위한 관련 기술이나 산업 발전에 필요한 국가차원의 인센티브 제공이나 재원 마련을 위한 계기가 되었으면 한다. 현재 국내 기업에서도 천연가스 엔진과 관련 장치의 개발과 생산을 위한 여러 가지 연구 및 합작 생산 등이 진행 중이므로 향후 항만 예인선뿐만 아니라 연안 운항 선박이나 원양 항행 선박에의 천연가스 엔진 적용에 필요한 광범위한 조사 연구가

경제성과 환경적 측면에서 더욱 심도 있게 이루어져야 할 것으로 사료된다.

천연가스는 향후 차세대 에너지로 개발중인 신재생 에너지원이나 수소 연료전지 등의 상용화가 예상되는 향후 20 ~ 30 년간 가장 현실적이고 경제적이며 환경 친화적 에너지로서 온실가스 감축 및 기후변화협약 이행을 대비하기 위한 제반 기술의 선점과 관련 산업 경쟁력 확보를 통해 녹색 물류, 저탄소 녹색 성장의 중요한 역할을 담당할 것으로 예상된다.

세계 각국은 항만이나 연안의 대기 오염을 저감시키기 위한 광범위한 연구와 실천에 나서고 있다. 우리도 정부와 기업, 학계 등 모든 이해 당사자들이 깨끗한 환경보전과 탄소 배출권 거래제 등에 대비한 자발적이고 적극적인 조사와 연구 및 협력이 요구된다.



6. 참고문헌

- 1) 한국교통연구원(2008) <LNG 화물자동차 도입방안 연구>
- 2) 한국환경정책.평가연구원/KEI(2007) <천연가스자동차 보급성과 평가 및 보급 활성화 방안 연구>
- 3) 신승식(2001.12) <운송수단별 환경비용 추정과 시사점>
- 4) KOGAS 경영연구소(2010) <10년 유가, 환율 및 연료비 전망>
- 5) 한철환(2009) <에너지기후시대 해운항만산업의 Code Green 전략>
(ppt)
- 6) Rolls-Royce Marine (2010) <Marine propulsion-powered by natural gas> (ppt)
- 7) United Nations(2003) <Blue Corridor Project>

8) David McCollum, Gregory Gould, David Greene(2009.12)
<Greenhouse Gas Emissions from Aviation and Marine
Transportation: Mitigation Potential and Policies> Pew Centre on
Global Climate Change

9) Joint Transport Research Centre of The OECD and International
Transport Forum (2009) < Greenhouse Gas Emission Reduction
Potential from International Shipping>

10) Rolls-Royce(2009) Fact sheets for Diesel Engine

11) Rolls-Royce(2009) Fact sheets for Gas Engine

