

국내 선박 엔진의 NOx 배출현황 및 저감기술 개발에 관한 고찰

강국진 · 김상현 · 김은찬
해양시스템안전연구소/한국해양연구원

A Study on the NOx Emission Status and Reduction Technologies of Domestic Marine Engine

K. J. Kang, S. H. Kim, E. C. Kim

Korea Ocean Research & Development Institute/Korea Research Institute of Ships
& Ocean Engineering (KORDI/KRISO), Daejeon 305-343, Korea

요 약

본 논문에서는 국내 선박 디젤엔진의 NOx 배출 현황과 그 저감기술에 대해서 살펴보고자 하였다. 우선, 국내 선박 디젤엔진의 생산현황에 대해서 살펴보고, 다음으로 NOx 배출현황에 대해서 조사를 하였다. 마지막으로 NOx 배출 저감기술의 현황을 조사해 보았다. 본 연구를 통하여 국내에서 생산되는 선박용 디젤엔진이 IMO의 현재 NOx 배출 규제안을 만족하고 있는 것으로 파악이 되었다. 그러나 향후 더욱 엄격해질 IMO의 NOx 배출 규제안에 대응하기 위해서는 보다 더 고도화된 NOx저감기술의 개발이 필요할 것으로 예상된다.

Abstract – In this paper, the NOx emission and the reduction technologies of NOx emission for domestic marine diesel engine were investigated. At first, the present production status of domestic marine diesel engines was investigated. In the next, the NOx emission of domestic marine diesel engines was investigated. Finally, the present status of a reduction technologies of NOx emission was investigated. From this investigation, It could be founded that the domestic marine diesel engines satisfied the IMO current NOx regulations, however the higher technologies must be studied to prepare the more severe IMO regulations of the near future.

Keywords: IMO(국제해사기구), Marine diesel engine(선박용 디젤기관), NOx emission(NOx 배출현황), Reduction technology of NOx emission(NOx 배출저감기술)

1. 서 론

최근 들어 전 세계적으로 환경오염규제가 크게 강화되고 있는 가운데, 국제해사기구(IMO)는 1997년 9월 26일 런던 IMO 본부에서 개최된 제 3차 MP Conference에서 선박으로부터의 대기오염물질 배출을 규제하는 “선박으로부터 대기오염방지협약”을 채택하였다. 이 협약의 조기 발효를 위하여 별도의 협약을 제정하지 않고 기존의 해양오염방지협약인 “73/78 MARPOL”의 새로운 부속서(Annex VI)로 채택되었다. 이 협약의 발효 시기는 MARPOL 협약당사국 15개국 수락 및 수락한 국가의 선박량이 전 세계 상선 선박량의 50% 이상의 조건을 만족한 후 1년 이후이다. 그러나 질소산화물(NOx) 배출규제 및 선내소각기의 경우에는 2000년 1

월 1일 이후에 건조되는 선박 또는 탑재되는 경우에 적용하도록 되어 있다. 현재 MARPOL 협약당사국가운데서 11개국이 비준하였고 이미 총선박량이 50% 이상인 상황이며, 4 개국이 곧 2003년 내에 비준할 예정이므로 늦어도 2003년도 말까지는 부속서의 발효 요건을 충족시킬 것으로 예상된다. 따라서 12개월 후인 2004년도 말에는 협약이 발효될 것으로 전망된다[1].

이에 따라서 국내에서도 국제적인 정세에 발맞추어 연안선박에 대한 선박엔진의 배출가스 가운데서 NOx 배출에 대한 규제안을 제정하고 발효시킬 필요가 있어서, 저자 등이 이에 대해서 과제를 수행한 바가 있다[2].

본 논문에서는 상기 수행 연구가운데서 IMO의 NOx 배출규제의 발효에 대비해서 국내 제작사에서 생산되는 선박 엔진의 NOx 배출현황과 그 저감기술 개발 현황에 대해서 살펴보고자 한다.

Corresponding author: reskkj@kriso.re.kr

2. 국내에서 생산되는 선박엔진 현황

국내의 선박용 중대형 디젤엔진은 현대중공업, HSD, STX의 3개사에 의해서 거의 생산되고 있으며, 중소형 어선용 디젤엔진은 대우종합기계에서 주로 생산하고 있다.

2.1 현대중공업의 선박엔진

현대중공업 엔진기계사업본부에서 생산하는 선박엔진이 세계 대형 엔진시장의 35%를 점유하고 있는 것에서 알 수 있듯이 현대중공업은 세계최대의 엔진제작사이다. 1979년 대형 엔진 1호기를 생산한 이래 2001년 4월 대형엔진 생산 3,000만 마력을 최단 기간인 22년 만에 돌파하였으며, 2003년에는 생산량 4000만 마력을 달성하였다. 이 기록은 세계 최단 기간에 이뤄낸 것으로 일본보다 50년이 빠르다. 또한 현대중공업에서는 엔진뿐만이 아니라 프로펠러, 타, 축까지 포함하여 선박 추진시스템을 일괄 생산하여 국내외 조선소에 공급을 하고 있다. 현대중공업은 초대형 엔진(K98MC 및 RTA96C)시장의 약 50% 점유함으로써 대형 엔진의 시장을 주도하고 있으며, 차세대 엔진으로 불리는 대형 전자제어 엔진을 세계 최초로 생산한 것을 비롯하여 1988년부터 대형 엔진 시장에서 세계 1위의 자리를 유지하고 있다. 또한 2002년 말까지 대형엔진 1,598대(3,853만 마력)와 중형엔진 2,620대(463만 마력)를 생산하여 국내외 조선소 등에 공급해왔고, 2003년도에는 대형엔진과 중형엔진 및 HiMSEN엔진을 포함하여 약 450만 마력의 생산을 계획하고 있다. 특히 현대중공업이 독자 개발한 HiMSEN엔진은 ABS(미국), DNV(노르웨이), LR(영국) 등 8개의 세계 유수의 선급승인을 획득함으로써 선박엔진의 국산화 기술을 한 단계 높이는 데 기여한 것으로 평가되고 있다.

현대중공업에서 제작하는 선박엔진은 크게 대형 엔진(저속 엔진), 중형 엔진(중속 엔진), 힘센 엔진의 세 가지로 나눌 수 있다. 대형 엔진으로는 Hyundai-MAN B&W 추진용 2행정 디젤엔진과 Hyundai-Sulzer 추진용 2행정 디젤엔진이 생산되고 있는데, 전자는 약 6,500PS~108,900PS, 후자는 약 1,580PS~108,900PS의 엔진 출력을 가지고 있다. 중형 엔진으로는 MAN B&W 보기용과 주기용 4행정 디젤엔진을 생산하고 있으며 약 680PS~29,340PS의 엔진 출력을 가지고 있다. 힘센(HiMSEN)엔진은 현대중공업이 20여년의 엔진제작 기술의 노하우를 바탕으로 지난 10여 년간 400억 원의 연구개발비를 투자하여 2000년 8월에 개발 완료한 순수 국산 엔진브랜드 1호이다. 800~2,700kW의 출력을 갖춘 힘센엔진은 실린더 당 160~300 kW의 출력으로 H21/32와 H25/33 두 가지 모델이며, 선박의 발전 및 육상발전용, 중 소형선박의 추진용으로 육·해상에서 모두 사용할 수 있도록 개발되었다.

2.2 HSD엔진의 선박엔진

HSD는 대형 선박용 엔진 제조와 디젤엔진을 이용한 내연발전소 건설의 전문업체로서 700마력에서 100,000마력에 이르는 선박용 중·저속 디젤 엔진의 생산, 공급 및 보수를 하고 있다.

HSD는 대형선박 즉, 컨테이너선, 벌크선 및 VLCC/ULCC와 같은 대형 유조선 등의 주 추진엔진으로 사용되고 있는 30,000마력 이상의 엔진을 국내 조선소는 물론이며 덴마크, 독일, 중국, 대만 등의 세계 조선소에 공급하고 있다. 또한 선박용 보조 기기용 엔진(Auxiliary Engine)도 생산 및 공급하고 있다.

대형 저속 2행정 디젤 엔진은 HSD의 주 생산품으로서 대형 선박 즉, 컨테이너선, Bulk선, VLCC 및 ULCC와 같은 원유 수송선 등의 추진엔진으로 사용되고 있다.

HSD는 HSD-MAN B&W 2stroke Diesel Engine과 HSD-SULZER 2stroke Diesel Engine의 두 가지 제품의 대형 저속 2행정 디젤 엔진을 생산하고 있다. 1983년 9월 덴마크 MAN B&W사와 기술계약을 체결한 이래 L50MC에서 K98MC-C까지 주로 대형 엔진을 중심으로 생산하여 왔으며, 2003년 5월말 현재 595대, 총 1천 6백만 마력을 생산하였다.

또한 1984년 11월 스위스 Sulzer사와 기술계약을 체결한 이래 RTA48T에서 RTA96C까지 주로 대형엔진을 중심으로 생산하여 왔으며, 2003년 5월말 현재 192대, 총 8백2십만 마력을 생산하였다.

선박용 중속 디젤 엔진은 1983년 두산중공업(구 한국중공업)과 프랑스의 S.E.M.T-Pielstick사와 기술제휴 계약을 체결함으로써 중속 엔진의 생산을 시작하였고, 특수선의 주엔진 및 원자력 발전소의 비상발전용으로도 중속 엔진을 생산해 왔다. 또한 2001년 독일 MAN B&W AG사, 일본 Daihatsu Diesel사와 기술계약을 맺고 주 엔진(여객선, 특수선등), 보조엔진(컨테이너선 등) 등 450~24,000 kW 범위의 다양한 중속 엔진을 생산하고 있다. 그리고 HSD는 중속 보조기기용 엔진으로 500 kW~4,300 kW 용량의 엔진을 생산하고 있다.

2.3 STX의 선박엔진

STX는 전자, 함정 등 방위산업용 엔진, 대형상선과 LNG선 등의 선박용 엔진, 발전기와 철도차량 등의 산업용 고속 및 중, 저속 디젤엔진을 생산하고 있다. STX는 1976년 처음으로 중속 디젤엔진을 생산하였으며 1983년 중소형 선박용 주 엔진의 국산화, 1985년 대형 선박용 보조엔진의 국산화 등에 성공하였다. STX는 400~17,200 마력 급의 다양한 선박용 주기 및 보기엔진을 생산하고 있으며 특히 선박용 디젤엔진은 90%를 해외에 수출하고 있다. 생산 엔진도 저 연비와 내구성 측면에서 세계적 수준인 것으로 평가받고 있다.

STX의 선박용 디젤엔진은 다음의 세 종류로 분류 가능하다.

- STX-CUMMINS 4행정 주기용 고속 엔진
- STX-NIIGATA, STX-MAN B&W 4행정 주/보기용 중속 엔진
- STX-MAN B&W 2행정 주기용 저속 엔진

2.4 대우종합기계의 선박엔진

대우종합기계는 5개의 사업본부(엔진·소재, 건설기계, 산업차량, 공기자동화, 특수사업)로 구성되어 있으며, 이중 엔진·소재사업본부에서 1500 마력이하의 자동차용, 산업용, 발전기 및 선박용 디젤

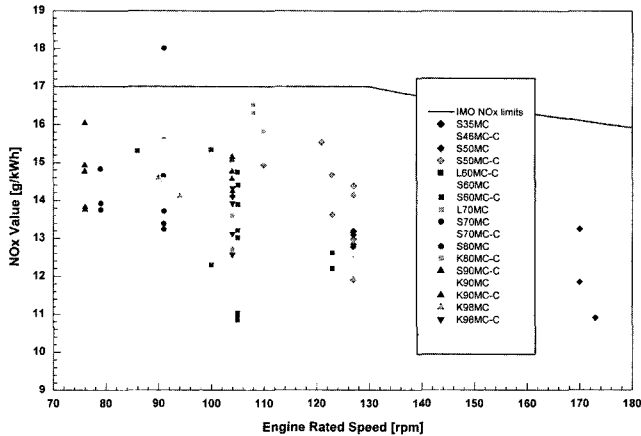


Fig. 1. HYUNDAI-MAN B&W 선박용 저속 디젤엔진의 NOx 배출량.

엔진 및 천연가스(CNG)엔진을 연간 4만대 규모로 생산하고 있다.

특히 선박용 엔진은 70마력급 4기통 엔진에서부터 1,500마력급 V형 12기통 엔진까지 독자모델을 개발하였으며, 자동차 및 산업용 엔진에서의 해외 배기구제에 대응하면서 축적된 저감기술을 바탕으로 IMO 기준치 이하의 질소산화물(NOx) 수준으로 선박엔진을 생산 중에 있다.

대우중합기계는 소형고속엔진들에 대한 미국(EPA)이나 유럽 일부 지역(CCNr)에서의 선박용 엔진 배출가스 규제기준을 만족시키고 있다.

3. 국내에서 생산되는 선박엔진의 NOx 배출량 현황

3.1 현대중공업 선박엔진의 NOx 배출량 현황

HYUNDAI-MAN B&W 선박용 저속 디젤엔진의 엔진 부하별 NOx 배출량을 IMO NOx 배출 기준과 비교한 결과를 Fig. 1에 보이는데, HYUNDAI-MAN B&W S70MC의 1개 엔진을 제외하고 IMO NOx 배출 기준을 만족하고 있다.

그리고 HYUNDAI-SULZER 선박용 저속 디젤엔진과 HYUNDAI-MAN B&W 및 HYUNDAI-HIMSEN 선박용 중속 디젤엔진도 모든 모델이 IMO NOx 배출 기준을 만족하고 있다.

3.2 HSD 선박엔진의 NOx 배출량 현황

HSD에서 제작하는 선박용 중·저속 디젤 엔진의 NOx 배출량 계측 결과의 일부분을 Table 1에 보이는데, 모든 모델이 IMO NOx 배출 기준을 만족하고 있다.

3.3 STX 선박엔진의 NOx 배출량 현황

STX에서 생산되는 모든 모델이 IMO NOx 배출 기준을 만족하고 있으며, Fig. 2에 선박용 저속 주기용 엔진 S26MC, S35C의 NOx 배출량 계측 결과 일부를 보인다.

Table 1. HSD 선박용 중·저속 디젤 엔진의 NOx 배출량 계측치

NO.	Engine Type	Output (BHP)	RPM	Flag state	NOx 인증기관	NOx (g/kWh)
1	7RT84C	38,570	102	Danish	LR	16.12
2	12K90MC	74,640	94	Singapore	DNV	16.12
3	7L70MC	26,915	108	Germany	GL	16.1
4	7S80MC	34,650	79	HongKong	DNV	13.5
5	7L70MC	26,915	108	Germany	GL	16.2
6	7S80MC	34,650	79	Greek	ABS	16.1
7	5S70MC	19,100	91	Bahamas	DNV	14.5
8	12K90MC	74,640	94	Germany	GL	16.3
9	6RTA72U	24,420	97	Panama	GL	15.7
10	6S70MC	22,920	91	Panama	DNV	14
11	8K90MC-C	49,680	104	Malta	LR	15.6
12	8K90MC-C	49,680	104	Malta	LR	15.6
13	8K90MC-C	49,680	104	Malta	LR	15.6
14	8K90MC-C	49,680	104	Malta	LR	15.6
15	8K90MC-C	49,680	104	Malta	LR	15.6
16	10K98MC-C	77,600	104	Germany	GL	14
17	12RTA96C	85,160	98.3	Panama	LR	16
18	12K90MC	74,640	94	Germany	GL	16.2
19	8RTA84T-D	44,640	76	Bahamas	ABS	14.7
20	8RTA84C	44,080	102	Panama	GL	15.6

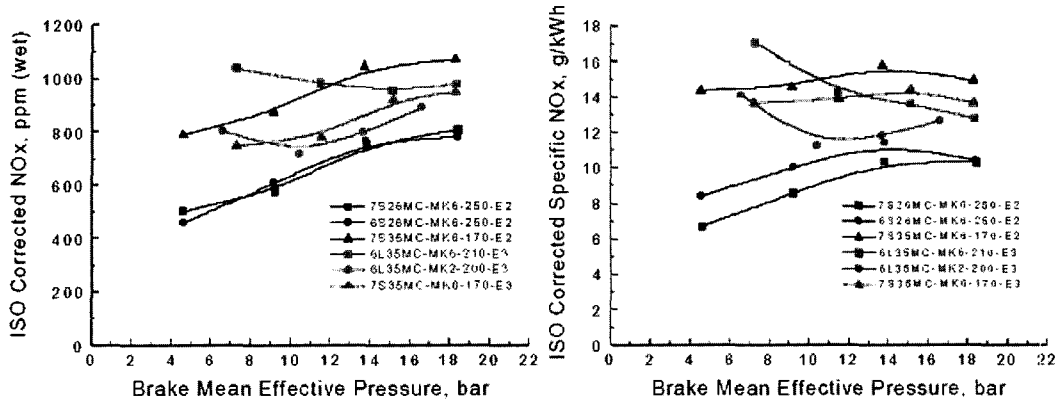


Fig. 2. 선박용 저속 주기용 엔진 S26MC, S35C의 NOx 배출량.

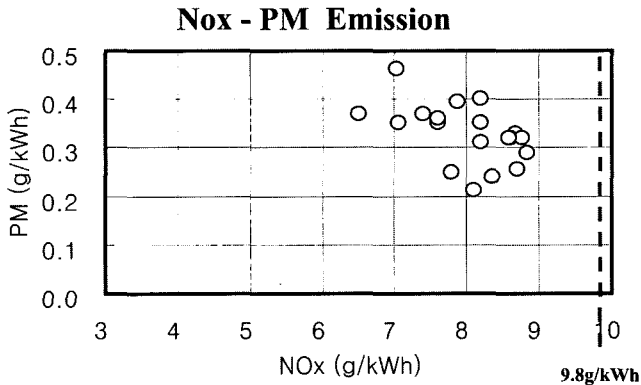


Fig. 3. 대우중합기계의 선박용 엔진 주요 모델의 NOx 배출량.

3.4 대우중합기계 선박엔진의 NOx 배출량 현황

대우중합기계의 주요 선박용 엔진 모델의 NOx 배출량 계측 결과를 Fig. 3에 보이는데, 모든 모델이 IMO NOx 배출 기준을 만족하고 있다.

3.5 국내 생산 선박엔진 제작사의 특징

국내 주요 선박용 디젤엔진 제조업체인 현대중공업, HSD엔진, STX, 대우중합기계의 특징을 정리하면 다음과 같다.

엔진 제작사	생산 엔진의 특징	IMO의 NOx 배출 기준
현대중공업	① 680PS급~ 110,000PS급의 다양한 크기의 중·저속 선박용 엔진을 생산 ② 30,000PS급 이상의 대형 선박용 저속 엔진이 주력 상품	만족
HSD엔진	① 100,000PS급 이하의 다양한 크기의 중·저속 선박용 엔진을 생산 ② 30,000PS 전후의 중형 선박용 저속 엔진이 주력 상품	만족
STX	① 35,000PS급 이하의 중·저속 선박용 엔진을 생산 ② 20,000PS 전후의 중형 선박용 저속 엔진이 주력 상품	만족

4. 선박엔진의 NOx 배출 저감기술 개발 현황

4.1 NOx 배출 저감기술의 개요

선박용 디젤엔진으로부터 발생하는 NOx는 연소 과정에서의 화염 온도와 연소실내 산소 농도에 의존하기 때문에 NOx 저감대책과 기술은 크게 이 두 가지의 양을 제어하는 방법이다.

NOx 저감방법은 1차적인 방법(Primary Methods)과 배기가스의 후처리 방법으로 크게 나눌 수 있다. 1차적인 방법은 다시 Further Equipment와 Engine Tuning으로 나누어진다.

1차적인 방법은 엔진 내에서 산소농도와 화염온도의 저감을 꾀하여 연소 중에 발생하는 NOx를 줄이는 방법이다. 따라서 소형이며 저비용으로 저감율이 높은 저감 장치의 개발이 필요하다. Further Equipment는 물 분사 장치와 같은 추가적인 장치를 필요로 하는 방법이며 Engine Tuning은 엔진부에서의 개조만으로 대응하는 것이다. Further Equipment보다는 Engine Tuning이 비용이 적게 든다.

여러 가지 NOx 저감대책 중에서 배기가스 후처리로 분류되는 SCR(Selective Catalytic Reduction)은 엔진으로부터 배출된 배기가스를 처리하는 방법으로 저감율이 가장 좋으나 대단히 큰 장치이며 비용이 비싼 것이 단점이다.

이 가운데서 Low NOx Fuel Nozzle, 물 분사, EGR(Exhaust Gas Recirculation), SCR(Selective Catalytic Reduction) 방법에 대하여 살펴보면 아래와 같다.

1) Low NOx Fuel Nozzle: Low NOx Fuel Nozzle은 연료 분사의 방향, 분사 노즐의 크기, 분사 노즐 구멍의 개수 등의 조정을 통하여 NOx 배출을 저감하는 방법이다.

2) 물 분사: 실린더 내 물 분사를 통하여 연소 온도를 낮추는 것으로 NOx 배출을 저감하는 방법이다. 이 방법은 육상용 디젤엔진에 많이 사용되고 있는 방법으로 선박에 적용된 사례는 거의 없다. 물 분사에 의해서 물과 연료를 혼합한 경우에도 적절한 점도 관리를 통하여 C중유와 거의 비슷하게 연소시키는 것이 가능하다. 선박에서 실린더 내 물 분사를 위해서는 물 분사 장치, 물 제조 장치 등이 필요하다.

3) EGR(Exhaust Gas Recirculation): EGR은 배기가스 재순환

Table 2. 주요 NOx 배출 저감 기술의 활용 현황

NOx Reduction Methods		MAN B&W	WART-SILA
Primary Methods	Low NOx Fuel Nozzle	●	●
	Delayed Fuel Injection	●	●
	Water Emulsified Fuel	■	●
	Scavenge Air Humidity	○	○
	Higher Scavenge Air Pressure	×	●
	EGR (Exhaust Gas Recirculation)	○	○
	Direct Water Injection	○	○
	Stratified Water/Fuel Injection	×	×
	IMO-Optimized VIT	×	●
	Higher Compression Ratio	●	●
Fuel Injection	○	○	
Exhaust Gas After Treatment	■	■	

Remarks)

- : Applied to Meet IMO 2000 NOx Limits
- : Useful (under development)
- ×: Not Useful or Not Considering
- : Applied to Meet Special NOx Limits

Notes) The measures to be taken are different at various rated engine speed.

장치로 배기가스를 재순환하여 흡기에 혼합하여 연소 온도를 낮춤으로써 NOx 배출량을 줄이는 방법으로 일반적으로 EGR에 의해서 엔진의 연비가 좋아진다.

4) SCR(Selective Catalytic Reduction): SCR은 선택적 촉매환원법으로 암모니아나 요소와 같은 환원제와 배출가스중의 질소산화물이 촉매반응기에서 반응하여 질소 및 산소로 환원시키는 기술이다. SCR법은 현재까지 신뢰성이 높고, 정화효율이 높아 상업적 질소산화물 처리기술로 발전하였다. SCR법은 촉매를 이용하는 NOx 저감기술로 촉매는 크게 금속산화물 촉매와 Zeolite로 구별되며, 환원제로는 NH₃, CO, 탄화수소 등이 사용된다. 환원제에 따라 탄화수소 반응법과 암모니아 반응법으로 구별된다.

5) 그 외의 저감 기술: NOx 배출 저감을 위한 그 외의 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 연료 분사시기 지연: 연료 분사시기를 늦추어 연소온도를 낮추므로 NOx 배출량을 저감시키는 방법
- ② 실린더 급기 기습: 실린더에 공급되는 공기의 절대 습도를 높여서 연소온도를 낮추는 것으로 NOx 배출량을 저감시키는 방법
- ③ 연료 다분사: 다수의 미세한 연료 분사구로부터 연료를 분사하여 분무 내의 공기도입을 촉진시키는 것으로 연소온도를 낮추어 NOx 배출량을 저감시키는 방법

다음에는 Primary Methods와 후처리 방법을 이용한 NOx 저감 기술의 활용 현황을 주요 엔진 제조업체인 MAN B&W와 WARTSILA에 대하여 조사한 결과를 Table 2에 보인다. 여기서 알 수 있듯이 현재의 IMO기준을 만족하기 위해서 주로 저 NOx 노즐의 사용, 연료분사 시기의 조절 등이 많이 활용되고 있으며 NOx 배출저감 효과가 높은 EGR과 물 분사를 통한 NOx 배출저감 방법에 대해서는 현재 연구가 진행 중이다. 또한 향후 IMO의 NOx 배출 규제 기준이 더욱 더 엄격해지는 경우, 후처리의 SCR(Selective Catalytic Reduction)을 이용하는 NOx 저감방법이 가장 유력한 것 을 알 수 있다.

4.2 국내 엔진 제작사의 NOx 배출 저감기술 현황

현대중공업에서는 NOx 배출량이 IMO의 기준을 넘는 선박용 엔진에 대하여 Low NOx Fuel Nozzle 방법을 주로 적용하여 NOx 배출량을 감소시키고 있다. Low NOx Fuel Nozzle 방법을 이용하여 선박에 탑재된 엔진의 NOx 배출량을 저감시킨 결과 사례를 아래에 나타낸다. Low NOx Fuel Nozzle 방법의 사용에 따라 최종 NOx 배출량이 18.01 g/kWh에서 14.87 g/kWh로 감소된 것을 알 수 있다.

HSD에서도 Low NOx Fuel Nozzle 방법을 적용하여 NOx 배출량을 감소시키고 있다. Standard NOx Fuel Nozzle을 사용하는 경우에 NOx 배출량이 IMO 기준치를 초과하는 선박용 엔진이 Low NOx Fuel Nozzle의 사용에 따라 NOx 배출량이 IMO 기준치 이하로 줄어든 결과를 보이고 있다. 또한, 연료분사 시기의 조

Table 3. Low NOx Fuel Nozzle 방법에 의한 NOx 배출량 저감 사례

		Fuel Valve (Nozzle)									
		A					B				
Hull No.											
Engine Type		S70MC					S70MC				
Rated Power (kW)		16857.9					16857.9				
Rated Speed (rpm)		91.0					91.0				
Final NOx Value (g/kWh)		18.01					14.87				
SPEC.	TYPE	OLD					NEW				
HOLE No.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Dia. of Hole (Φ)		1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Verti. Angle (α°)		26	14	24	10	16	17	22	13	11	10
Horiz. Angle (β°)		-11	-2	21	35	55	-50	-2	13	29	47

Table 4. 연료분사시기 조절을 통한 NO_x, THC, CO의 배출량 감소
Emission Test Results
(unit: g/kWh)

Inj. Timing	16' btdc			14' BTDC		
	Emission	NO _x	THC	CO	NO _x	THC
E2 mode	8.956	0.296	1.216	7.468	0.267	1.037
E3 mode	9.741	0.235	0.66	8.197	0.18	0.759
C1 mode	9.682	0.322	1.359	8.312	0.3	1.263

정 등의 엔진 Tuning의 방법도 사용하고 있다.

STX에서도 Low NO_x Fuel Nozzle 방법, 연료 분사 시기 조절 등의 엔진 Tuning, 물-연료 혼합 등의 방법을 이용하여 NO_x 배출량을 감소시키고 있다.

대우중합기계는 자동차 및 건설기계, 발전기용 엔진을 같이 생산하고 있어 선박용 엔진의 NO_x 저감기술은 기본적으로 자동차용 엔진 배출가스 저감기술의 영향을 받는다. 즉, 질소산화물(NO_x) 외에 일산화탄소, 탄화수소 및 입자상물질(Particulate Matter)의 저감을 동시에 고려하여야 하기 때문이다.

NO_x 저감을 위해 일반적으로 알려진 분사시기 지연(Injection Retard), 연료분사계통의 최적화(High Pressure Injection & Injection Nozzle Optimization) 외에도 흡배기 및 연소실 형상의 재설계 등을 통한 최고연소온도 및 연소속도 조절 등 엔진중심의 기술개발에 주력하고 있다.

향후 IMO의 NO_x 배출허용기준이 더 엄격해질 경우에 대비하여, 배기재순환시스템(EGR)이나 SCR 등의 기술개발을 위한 연구도 추진중이나, 소형엔진의 특성상 고가의 설치비용이 요구되는 SCR시스템이나 후처리 장치보다는 전자제어방식의 연료분사시스템(Electronic Controlled Common Rail System), 가변터보급기 및 흡배기 계통의 개선 등 정밀제어를 통한 엔진의 연소시스템 개선에 더 많은 관심을 보이고 있다.

Table 3은 연료분사시기를 조정(Injection Retard)하였을 경우 배출가스의 감소변화를 비교표로 나타낸 것이다.

그리고 각사 모두 IMO의 NO_x 배출량 기준치가 현재보다 더 엄격해지는 것에 대비하여 실린더 내의 압력 조정, 물 분사, 연료 분사 시기의 조절 등의 엔진 Tuning, EGR 또는 SCR에 의한 NO_x 배출량 저감 등에 대한 연구를 진행하고 있다.

4.3 국내 연구기관의 연구 현황

한국기계연구원에서 개발 한 NO_x 배출 저감 기술은 다음의 세 가지이다[3].

- ① 저온 Plasma를 이용한 탈황·탈질 공정 기술 개발
 - 습식 탈질법의 원리 이용
 - 2,000 Nm³/hr급 설계/제작/시운전
- ② 저온 Plasma+NH₃ SCR 개발
 - 디젤엔진의 저온운전 적용
 - 2,000 Nm³/hr급 설계/제작/시운전
- ③ Laser를 이용한 NO_x 가시화 연구

- Laser Induced Fluorescence technique 개발

특히 저온 Plasma를 활용한 탈황·탈질 시스템에 대한 연구는

- ① 1994~1999: 0.5 MW급 plasma 탈황·탈질 시스템 개발
- ② 1996~1999: 저온 plasma 이용 VOCs 처리기술 개발
- ③ 1999~현재: Plasma 이용 대기환경 국가지중연구실
- ④ 2000~2002: Plasma/촉매 탈질공정 기술개발의 단계를 거쳐 수행되었다.

현재 저온 Plasma+NH₃ SCR의 탈황·탈질시스템 시험 장비를 구축하여 운영하고 있으며, 시험 결과에 의하면 선박용 디젤 엔진의 NO_x 배출량을 최대 약 90%까지 감소시키는 것이 확인되었다

한편, 한국에너지연구원에서는 소각설비, 발전소 등의 육상용 플랜트에 이용되는 디젤 엔진으로부터 배출되는 가스로부터 SO₂와 NO_x의 동시제거를 위한 고효율 공정기술에 관한 연구를 1994년부터 지금까지 지속적으로 수행하고 있다. 한국에너지연구원 탈황/탈질 동시처리기술의 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 기능성 산화제를 이용한 NO의 산화 및 SO₂/NO₂ 흡수처리
- ② 기능성 산화제의 활용 및 대체물질 개발
- ③ 습식/반건식 공정에서 성능 실험을 통한 동정 설계기술 확보 및 2차 오염물 억제 기술 개발
- ④ 탈황공정에 ACF(활성 탄소섬유) 활용기술을 적용하여 NO 흡수율이 높은 NO₂로 전환시킴으로써 FGD 공정에서 탈황/탈질 동시처리
- ⑤ 저온 플라즈마 기술 등 다양한 NO 처리기술과 탈황기술의 결합 연구 개발

또한 한국에너지연구원에서는 SO_x/NO_x 동시제거 기술의 개발을 통하여 다음과 같은 기대 효과를 예상한다.

- ① 기존 동시제거 공정에 이용되는 첨가제에 비해 가격이 저렴하고 제거효율이 높은 첨가제 및 활용기술 개발
- ② 황인의 산화속도 반응모델의 제시로 인한 단응기 설계 시에 이용가능
- ③ mini-pilot 규모의 실험장치 운전으로 인한 상용화공정 설계 운전 데이터 확보
- ④ 국내 화력발전소의 탈질설치 비용 및 운전비용 저하로 인한 전력비의 원가절감
- ⑤ 선박 및 해양구조물에 탑재된 엔진의 SO_x 및 NO_x 저감 기술에 적용

5. 결 언

본 논문에서는 선박용 디젤엔진으로부터 배출되는 NO_x에 대한 국제적인 규제현황을 살펴보고 이와 관련하여 국내 선박용 엔진의 생산 현황과 NO_x 배출 현황, NO_x 배출 저감기술 현황 등에 대해서 고찰하였다. 본 논문의 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 국내 주요 엔진제조업체에서 생산되는 선박용 엔진은 현재의 IMO 기준을 모두 만족하고 있으나, 향후 더욱 더 엄격해질

것으로 예상되는 IMO의 기준치를 만족하기 위하여 EGR 또는 SCR 등과 같은 보다 효과적인 NOx 저감기술을 이용한 NOx 배출량 저감이 필요한 것으로 파악되었다.

(2) 국내 주요 엔진제조업체에서는 IMO NOx 배출량 기준치를 초과하는 NOx 배출량을 가지는 엔진에 대하여 Low NOx Fuel Nozzle 방법 등을 이용하여 NOx 배출량을 저감시켜 IMO의 배출량 기준을 만족시키고 있는 것으로 파악되었다.

(3) 현재 국내 엔진제조업체의 NOx 저감기술은 외국 엔진제조업체로부터 기술 협조를 받고 있으나, 향후 IMO의 NOx 배출량 규제에 능동적으로 대응하기 위하여 Engine 실린더내 압력의 조정, 물분사법, 엔진 Tuning, EGR과 SCR 등의 다양한 NOx 저감기술에 대한 국산화 개발이 필요한 것으로 파악되었다.

(4) 국내 관련 연구기관에서는 후처리 장치를 이용하여 탈황·탈질을 동시에 효과적으로 제거하는 연구를 수행하고 있는 것으로 파악되었다.

향후 IMO의 NOx 배출 규제는 5년 간격으로 점점 엄격해질 것이 예상되므로 엔진 제작사는 국제적인 경쟁력을 확보하기 위해서 선도적인 친환경 선박용 엔진 핵심기술을 개발하고, 나아가 해양환경과 선박에 대한 환경 규제에 대한 국제적인 정책 동향을 잘 파악하는 것이 중요하다.

후 기

본 연구결과는 한국해양연구원에서 수행한 해양수산부 과제 “선박의 질소산화물 배출량 저감운전방법 개발”과 수행중인 공공기술연구회의 정책연구사업 “선박 운항중 환경 위해물질 저감기술 개발” 및 기관고유사업 “차세대 친환경 해양운송시스템 기반 기술 개발”의 연구 성과 중 일부임을 밝혀둔다.

참고문헌

- [1] 장승안, “국제해사기구(IMO) 제49차 해양환경보호위원회 (MEPC49)회의 결과 보고”, 한국선급 홈페이지 IMO 소식, 2003. 8.
- [2] 강국진 등, “선박의 질소산화물(NOx) 배출량 저감운전방법 개발”, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 보고서 UCM00550-2461, 2003. 9.
- [3] 송영훈 등, “선박용 암모니아 SCR 탈질 시스템 시연회 및 특별 강연회” 발표 자료, 한국기계연구원, 2001. 7.

2003년 11월 28일 원고접수

2004년 2월 12일 수정본 채택