

2. 유체, 열공학, 동력공학 및 기계역학

(3) 특집기사

선박의 대기오염물질 배출 규제 및 대책

—박용 디젤엔진의 질소산화물을 중심으로—

Regulations for the Prevention of air Pollution from Ships

—For NO_x Emission from Marine Diesel Engines—



손진록
J-L Son

· 현대중공업 엔진사업본부 엔진개발부

1. 머리말

선박으로부터 배출되는 대기오염물질에 대한 규제는 크게 2가지로 나눌 수 있다. 즉, 하나는 유엔(UN) 산하 기구의 하나인 국제해사기구(IMO)(International Maritime Organization)(이하 IMO라 한다)에서 마련한 규제인 선박으로부터의 대기오염방지 협약(IMO MARPOL 73/78 Annex VI)(이하 IMO MARPOL 73/78 Annex VI)¹⁾와 특정 국가에서 지역적으로 또는 자국의 선박만을 대상으로 하는 규제로 나눌 수 있다. 이러한 규제에 대한 대책은 규제물질과 규제치에 따라서 상이하다.

이 글은 이러한 규제, 규제물질, 규제치 및 대책을 선박용 디젤엔진의 질소산화물(NO_x)을 위주로 간략히 소개한다. 그리고 황산화물 규제에 대해서도 약간 언급을 하고자 한다.

마지막으로 지구의 온실효과에 가장 큰 영향을 미친다고 하는 이산화탄소(CO₂)의 규제도 IMO에서 논의되고 있는데 이 CO₂에 대한 논의와 최근 뜨거운 쟁점의 하나인 Smokeless Engine에 대해

서도 간략히 언급한다.

2. IMO—선박으로부터의 대기오염방지 협약(MARPOL 73/78 Annex VI)

IMO는 1980년대 말부터 논의를 시작하여 1990년대 초부터 선박으로부터 배출되는 대기오염물질의 규제를 위한 작업을 본격적으로 하였다. 약 10년간의 작업을 거친 후 1997년 9월, IMO 본부(런던, 영국)에서 MARPOL 73/78 Annex VI가 채택되어 이제 각국의 비준을 남겨둔 상태이다.

2.1 IMO MARPOL 73/78 Annex VI의 채택 과정

IMO에서 상기 협약을 채택하기 위한 과정을 간략히 살펴보는 것도 의미 있는 일이라 여겨진다. IMO에서는 이러한 규제 작업을 산하 위원회인 해양오염방지위원회(MEPC: Marine Environmental Protection Committee)(이하 MEPC라 한다)에서 다루도록 하였다. 이러한 작업의 역사를 간략히 표 1과 2에 나타내었다.

Table 1 Brief History of IMO MARPOL 73/78 Annex VI (1/2)

연 제	내 용	비 고
1987. 11	노르웨이가 선박으로부터의 대기오염방지를 검토 제의	북해의 환경보전에 관한 제2회 국제회의
1988. 09	「선박으로부터의 대기오염방지」 문제가 MEPC 작업 계획에 포함	IMO 제26차 MEPC
1989. 03	선박으로부터의 대기오염방지 문제를 장기 작업(1996년까지) 계획에 포함	IMO 제27차 MEPC
1990. 03	여러 국가와 단체로부터 문서를 접수하여 검토, 선박으로부터의 대기 오염 방지와 관련 있는 문제 등등을 논의	IMO 제29차 MEPC
1990. 11	선박으로부터의 대기오염방지를 위한 IMO 총회 결의 초안 작성, 달성 목표 기준과 목표 일정 대부분 합의 -NOx : 기준수준의 70%, 2000년까지 SOx : 기준수준의 50%, 2000년까지, 새로운 부속서 개발을 위한 작업 일정 계획 수립	IMO 제30차 MEPC
1991. 07	선박으로부터의 대기오염방지를 위한 IMO 총회 결의 초안 승인, 달성 목표 기준과 목표 일정 결정 -NOx : 기준수준의 70%, 2000년까지 SOx : 기준수준의 50%, 2000년까지	IMO 제31차 MEPC
1991. 09	MARPOL 73/78의 새로운 부속서에 포함시켜야 할 기본 항목개발	IMO 제21차 BCH
1991. 11	「선박으로부터의 대기오염방지」에 관한 결의문을 총회 결의로 채택	IMO 제17차 총회
1992. 03	여러 국가, 단체 및 제21차 BCH로부터의 문서를 접수 검토, CO ₂ 문제가 거론되었으나 UN의 환경개발회의 결과를 기다리기로 하고 당분간 새부속서에 포함하지 않기로 함	IMO 제32차 MEPC
1992. 09	2개의 CORRESPONDENCE GROUP 설립키로 함 -REGIONAL CONTROL OPTIONS FOR NOx & SOx -TECH. REQUIREMENTS FOR NEW ENGINES TO DEAL WITH NOx	IMO 제22차 BCH
1992. 10	여러 국가, 타위원회 및 제22차 BCH로부터의 문서를 접수 검토, BCH에 MARPOL 73/78의 새로운 부속서 준비를 계속해나가도록 지시	IMO 제33차 MEPC
1993. 07	MARPOL 73/78의 새로운 부속서 VI 초안 작성	IMO BCH의 제1차 대기오염 방지에 관한 작업반 중간회의
1993. 09	MARPOL 73/78의 새로운 부속서 VI 초안 검토 및 수정	IMO 제23차 BCH

표 1과 2에서 보는 바와 같이 IMO MARPOL 73/78 Annex VI는 오랜 시간에 걸쳐서 기술적 검토와 의견 조율을 마치고 1997년 9월에 채택되어 각국의 비준을 기다리고 있는 상태이다.

Table 2 Brief History of IMO MARPOL 73/78 Annex VI (2/2)

연 제	내 용	비 고
1993. 10	1. NO _x 규제 2가지 안을 제시 -ENGINE SPEED BASED -ENGINE FUEL CONSUMPTION BASED 2. 2개의 CORRESPONDENCE GROUP을 재설립키로 함 -CORRESPONDENCE GROUP ON NO _x -CORRESPONDENCE GROUP ON REGIONAL CONTROL	IMO 제23차 BCH
1994. 03	MARPOL 73/78의 새로운 부속서 VI 초안 작업 -NO _x 규제를 ENGINE SPEED BASE로 하기로 결정	IMO BCH의 제2차 대기오염 방지에 관한 작업반 중간회의
1994. 03	IMO BCH의 제2차 대기오염방지에 관한 작업반 중간회의의 결과를 검토, 보다 더 고려하여야 할 쟁점 사항은 제24차 BCH에서 계속하기로 함	IMO 제35차 MEPC
1994. 09	MARPOL 73/78의 새로운 부속서 VI 초안 작업 -대부분의 기술적인 면에서 합의	IMO 제24차 BCH
1994. 11	1. IMO 제24차 BCH에서 합의한 것에 대하여 몇 가지 의견이 있어서, MARPOL 73/78의 새로운 부속서 최종안 결정하지 못함 2. 조약의 발효 수속 합의 -결의문, 의정서 초안, 여러 선택안 등등을 각국에 송부 ('94.12) -각국의 의견과 제안을 제출 ('95.01-06) -작업부(WG) 회의 ('95.09.07-09.08) -IMO 제37차 MEPC에서 최종안 결정 ('95.09) -IMO 제38차 MEPC에서 새부속서안과 지침서 승인 ('96.03) -CONFERENCE에서 새로운 부속서 채택 ('96.가을)	1. IMO 제36차 MEPC 2. 정확한 발효 시기 미정
1995. 09	1. MARPOL 73/78의 새로운 부속서(ANNEX VI) 최종안 결정하지 못함 2. 조약의 발효 수속 합의 -IMO 제38차 MEPC에서 규칙 내용 최종화 ('96.07) -IMO 제39차 MEPC에서 채택 ('97.03) -MARPOL CONFERENCE에서 체결 ('97.03) : 체결후 6-12개월후에 발효 (제38차 MEPC에서 최종화)	1. IMO 제37차 MEPC : '95.09.11-09.15 2. 정확한 발효 시기 미정 : 체결후 6-12개월후에 발효 3. NO _x 규제시기(예상) : 2000년1월1일부터 4. SO _x 규제 시기 (연료유의 유황 함량 규제) : 신부속서 발효일부터
1997. 9	채택 MARPOL ANNEX VI 「REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF AIR POLLUTION FROM SHIPS」	NO _x 규제 시기 : 2000년 1월 1일부터

2.2 IMO MARPOL 73/78 Annex VI
의 규제물질과 배출원

IMO MARPOL 73/78 Annex VI는 선박으로부터 배출되는 여러 가지 대기오염원을 대상으로 하

는데, 그 중 질소산화물(NO_x)과 황산화물(SO_x)이 주 규제물질이다. IMO MARPOL 73/78 Annex VI에서 규제하는 대기오염물질과 그 오염원의 배출원 및 주요 규제 내용을 간략히 나타내면 표 3과 같다.

Table 3 Air Pollution Emissions, Their Sources and Major Regulations-IMO MARPOL 73/78 Annex VI

대기오염물질	배출원	주요 규제 내용
질소산화물 (NOx)	디젤엔진	배출기준에 적합한 엔진의 사용 또는 배가스 정화장치의 사용 (주 : 130 kW를 초과하는 엔진의 경우)
황산화물 (SOx)	디젤엔진과 보일러	1. 일반 요구-연료의 유황함량의 규제 (4.5%이하) 2. SOx 방출규제 해역-연료의 유황함량의 규제 (1.5%이하) 또는 배가스 정화장치의 사용
선내 소각	INCINERATOR (소각로)	1. 소각 물질의 제한 2. 기술기준에 적합한 소각로의 사용 3. 소각로의 조작 MANUAL 비치 4. 소각담당자의 훈련 5. FLUE GAS의 온도 MONITORING
오존파괴물질	소화기, 냉동기 등	1. 배출의 금지 2. 신규 탑재 금지 3. 오존파괴물질 또는 이러한 물질이 들어있는 장치는 적절한 수입시설에 보낼 것
휘발성유기화합물 (VOCs)	액체물질	규제를 실시하는 항만 또는 TERMINAL을 이용하는 탱크(TANKER)에 대하여 증기수집장치 (VAPOR COLLECTION SYSTEM) 탑재 의무 부과
연료유	-	1. 연료유의 유해 첨가제 혼입 금지 2. BUNKER DELIVERY NOTE 3. 연료유 샘플 4. 연료유 공급자 등록

2.3 IMO MARPOL 73/78 Annex VI
규제물질의 규제 시기

IMO MARPOL 73/78 Annex VI 규제물질의 규제 시기는 표 4와 같다. 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 아직도 상기 IMO MARPOL 73/78 Annex

VI가 발효되지 않았지만, 질소산화물과 선내소각기는 이 협약이 발효 시 2000년 1월 1일부터 소급 적용토록 되어 있어 2000년 1월 1일 이후 건조되는 거의 대부분의 외항선에는 이 협약에 적합한 디젤엔진과 소각기가 탑재되고 있다.

Table 4 Effective date of Air Pollution Emissions-IMO MARPOL 73/78 Annex VI

대기오염물질	규제 시기
질소산화물 (NOx)	협약 발효 요건 충족한 날로부터 12개월 뒤부터 단, 2000년 1월 1일부터 소급 적용
황산화물 (SOx)	협약 발효 요건 충족한 날로부터 12개월 뒤부터
선내 소각	협약 발효 요건 충족한 날로부터 12개월 뒤부터 단, 2000년 1월 1일부터 소급 적용
오존파괴물질	협약 발효 요건 충족한 날로부터 12개월 뒤부터
휘발성유기화합물 (VOCs)	협약 발효 요건 충족한 날로부터 12개월 뒤부터
연료유	협약 발효 요건 충족한 날로부터 12개월 뒤부터

2.4 IMO MARPOL 73/78 Annex VI
의 황산화물 규제

먼저 황산화물 규제에 대하여 간략히 설명한 다음에 질소산화물 규제에 대하여 보다 상세히 언급하고자 한다.

선박으로부터 배출되는 황산화물은 연료에 함유되어 있는 황이 엔진이나 보일러의 연소 과정에서 발생되는 데, 선박이라고 하는 특수 상황과 현재의 기술 상황을 감안해 볼 때, 가장 실용적이며 효과적인 방법이 연료의 유황함량을 규제하는 것이다. 그리하여 IMO MARPOL 73/78 Annex VI에서 연료의 유황함량을 규제하고 있다.

이 황산화물 규제에 있어서 특이한 것은 표 5에서 보는 바와 같이 일반 해역과 특별 해역으로 나누어 연료의 유황함량을 차등 규제하고 있다는 것이다. 이것은 유럽의 발트해와 같이 특이한 해역과 북해 등과 같은 선박의 잦은 항해로 선박의 황산화물이 직접적으로 육지에 많은 영향을 미치는 해역을 '황산화물 배출 통제구역 (SOx Emission Control Area)' 로 지정하여 일반 해역보다 연료의 유황함량을 낮추도록 하고 있다.

표 5에서 보는 바와 같이 특별 해역에서는 황산화물을 줄이는 후처리 설비를 부착할 수도 있다. 그러나 현실적으로 선박의 공간, 운전 및 유지보

수, 등등을 고려해 볼 때, 후처리 설비를 선박에 설치하는 것은 당분간 실용적이라고는 여겨지지 않는다.

이 연료의 유황함량 규제를 마련하는 과정에서 선진국과 일부 개발도상국, 특히 산유국과의 첨예한 이해의 마찰이 IMO MARPOL 73/78 Annex VI의 채택을 지연시키는 한 요인이 되었다. 또한 오늘날 선박에 통상적으로 사용되는 연료의 유황함량이 평균적으로 약 3%인 점을 감안해볼 때, 금번의 일반 해역에서의 유황함량 규제치 최대 4.5% m/m는 기준 년도 대비 황산화물을 50% 줄이고자 한 IMO의 본래 취지를 전혀 살리지 못한 황산화물 규제라 할 수 있다.

2.5 IMO MARPOL 73/78 Annex VI
의 질소산화물 규제

IMO MARPOL 73/78 Annex VI의 핵심은 질소산화물(NOx) 규제라고 말할 수 있다. 이 규제를 받는 대상엔진은 정격출력이 130 kW를 초과하는 박용 디젤엔진이며, 이 질소산화물의 규제치는 표 6과 같다.

현재의 IMO NOx 규제치는 1990년대 초의 박용 디젤엔진의 질소산화물 배출량보다 약 30%를 낮춘 것이다.

향후 IMO에서는 IMO MARPOL 73/78 Annex

Table 5 Regulation of SOx - IMO MARPOL 73/78 Annex VI

대기오염물질	해역	연료의 유황함량
황산화물 (SOx)	일반 해역	최대 4.5% m/m
	특별 해역 '황산화물 배출 통제구역 (SOx Emission Control Area)'	최대 1.5% m/m (또는 후처리 설비를 설치하여 황산화물을 6.0 g/kWh이하로 배출)

Table 6 Maximum Allowable Limits of NOx - IMO MARPOL 73/78 Annex VI

엔진 회전수 (정격출력에서의 크랭크축 회전수)	규제치 (g/kWh) (as NO ₂) (D2/E2/E3/C1 Cycles on Marine Diesel Oil)	비고
130 rpm미만	17.0	
130~2,000 rpm	17.0~9.8	45 × N ^{0.2}
2,000 rpm초과	9.8	

Ⅶ 발효 후 최소 5년 이내에 규제치를 강화할 예정이다¹²⁾.

2.5.1 IMO NOx 검사 단계

IMO NOx 검사는 크게 4 단계로 나눌 수 있다. 즉, 엔진 제작 단계에서 하는 검사인 1 단계, 선박 건조 단계의 2 단계, 그 이후 3단계인 중간검사와 4단계인 정기검사로 나눌 수 있다.

엔진제작 단계와 선박건조 단계는 디젤엔진 제조자가 제조공장에서 질소산화물 규제에 적합하게 제조를 하고 득하는 1단계, 즉, 증서(EIAPP Certificate) (Engine International Air Pollution Prevention Certificate)와 조선소가 선박에 대하여 IMO MARPOL Annex Ⅶ에서 규제하고 있는 모든 규제물질에 적합하게 선박을 건조하고 득하는 2단계, 즉, IAPP Certificate (International Air Pollution Prevention Certificate)로 나눌 수 있다. 이 증서의 유효기간은 선박등록국가의 주관청이 정하도록 규정하고 최대 5년을 넘지 못하도록 하고 있다. 3단계인 이 증서의 유효기간 내의 의무적으로 1회 이상 실시하는 중간검사와 4단계인 주기검사를 수행하도록 되어 있다.¹³⁾ 이 IMO NOx 검사 단계를 간략하게 표 7에 정리하였다.

2.5.2 IMO 질소산화물(NOx) 검사기관

IMO MARPOL 73/78 Annex Ⅶ와 IMO의 Circular letter¹⁴⁾에 의하면 선박등록국가의 주관청, 그 주관청이 인정한 검사기관 또는 타 정부로 규정하고 있다. 현재 주요 IMO MARPOL(국제해양오염방지협약) 체결국 가운데 미국을 제외한 대

부분의 국가는 선급에 검사권을 위임하고 있다. 참고로 표 8에 주요 국가의 IMO NOx 검사권 위임 현황을 나타낸다.

2.5.3 IMO NOx Technical Code

IMO는 질소산화물의 측정, 검사, 분석, 서류(Technical File) 및 증서발행절차, 등등에 관한 상세한 규정을 마련하였다. 이 규정을 'TECHNICAL CODE ON CONTROL OF EMISSION OF NITROGEN OXIDES FROM MARINE DIESEL ENGINES' (이하 NOx Technical Code라고 한다)¹⁵⁾이라고 한다. 박용 디젤엔진 관련 업계와 학계, 연구소, 정부주관청, 선급, 해운회사, 부품업체 및 수리업체, 등등 관계자들께서는 이 규정을 이해하는 것이 필요하리라 여겨진다. 이 규정은 한국선급 정부대행검사부내 해양오염방지팀 또는 IMO를 직접 접촉하면 입수가 가능할 것이다.

3. 주요 박용 디젤엔진 대기오염 물질의 지역 규제

3.1 미국

3.1.1 미국의 비도로용 엔진에 대한 규제 작업 약사(略史)

표 9에서 보는 바와 같이 미국은 1990년도에 실시한 연구 결과를 토대로 비도로용 엔진의 대기오염물질의 규제의 필요성을 깨닫고, 본격적으로 규제 작업을 시작하여 1994년 6월에 비도로용 엔진에 대하여 최초로 규제를 만들고, 그 뒤 계속하여

Table 7 Four Steps of Surveys and Inspections – IMO MARPOL 73/78 Annex Ⅶ

단 계	장 소	검 사	증 서
1 단계	엔진제조공장	질소산화물	EIAPP Certificate (유효 기간 : 평생)
2 단계	조선소(선박)	질소산화물, 연료유황함량, 소각기, 오존파괴물질, 연료유질, 등등	IAPP Certificate (유효 기간 : 최대 5년)
중간검사	선박	질소산화물, 연료유황함량, 소각기, 오존파괴물질, 연료유질, 등등	IAPP Certificate의 유효 여부를 결정
주기검사	선박	질소산화물, 연료유황함량, 소각기, 오존파괴물질, 연료유질, 등등	IAPP Certificate 재발급 (유효 기간 : 최대 5년)

Table 8 Authorization Status of IMO NOx Surveys-Major Countries

COUNTRY	KR	DNV	LR	ABS	GL	RINA	BV	CR	NK
BAHAMAS	○	○	○	○	○	○	○	○	
BARBADOS	○	○	○	○	○				
CAYMAN ISLANDS	○	○	○	○					
CYPRUS	○	○	○	○	○	○	○		○
DENMARK		○	○	○	○				○
FIJI	○	○		○	○				
FINLAND		○	○	○	○				
FRANCE		○	○				○		
GAHNA	○								
GERMANY			○		○				
GREECE	○	○	○	○	○	○	○		○
HONG KONG	○	○		○	○		○		○
INDIA			○	○	○		○		○
IRAN		○			○				
ISLE OF MAN		○	○		○				
ITALY						○ (*)			
JAPAN									○ (?)
KOREA (SOUTH)	○								
KUWAIT									
LIBERIA	○	○	○	○	○	○	○		○
MALTA	○	○		○	○	○			
MARSHALL ISLANDS	○	○	○	○	○	○	○		○
NORWAY / NIS		○	○	○	○		○		
PAKISTAN									
PANAMA	○	○	○	○	○	○	○	○	○
QATAR	○	○		○	○				
SAINT VINCENT AND GRENADINES	○				○				
SINGAPORE	○	○	○	○	○				
SWEDEN		○	○		○				
TAIWAN								○	
USA									
UNITED KINGDOM		○	○	○	○	○	○		

1998년 4월에 철도차량용 엔진에 대한 규제를 만들었으며, 1998년 9월에 출력이 37 kW 미만인 소형선박용 디젤엔진을 포함한 대부분의 비도로용 디젤엔진에 대한 보다 강화된 규제를 완성하였다. 그리고 출력이 37 kW 이상인 박용 디젤엔진에 대한 본격적인 규제안은 1999년 11월 완성되었으며, 2000년 1월 28일부터 유효하다.¹⁶⁾

3.1.2 미국의 출력 37 kW 이상인 박용 디젤엔진의 대기오염물질 규제
 표 9에서 보는 바와 같이 미국은 출력 37 kW 이상인 박용 디젤엔진의 대기오염물질 규제를 2000년 1월 20일부터 시작하였다. 여기에 미국의 박용 디젤엔진 크기에 따른 규제시기, 규제물질 및 규제치¹⁶⁾를 간략히 IMO NOx 규제와 함께 표 10에 정리하였다.

Table 9 Brief History of Air Pollution Control on Non-Road Engines-US EPA (Environmental Protection Agency)

연 제	무 엇 을
1990년	연구 수행 (비도로용 엔진의 대기오염방출)
1994년 6월	비도로용 엔진에 대하여 최초로 규제 완성
1998년 4월	철도차량용 엔진에 대한 규제 완성
1998년 9월	출력이 37 kW 미만인 소형선박용 디젤엔진을 포함한 대부분의 비도로용 디젤엔진에 대한 보다 강화된 규제를 완성
1999년 11월	출력이 37 kW 이상인 박용 디젤엔진에 대한 본격적인 규제는 1999년 11월 완성
1999년 12월	출력이 37 kW 이상인 박용 디젤엔진에 대한 최종 규제 발표
2001년 1월 28일	출력이 37 kW 이상인 박용 디젤엔진에 대한 규제 발효

Table 10 Control of Emissions of Air Pollution from Marine Diesel Engines-USA and IMO

규 제	디 젤 엔 진	규제시기	규제물질과 규제치(g/kWh)			비 고
			NOx+THC	PM	CO	
미국 (EPA)	배기량 0.9 미만	2005	7.5	0.40	5.0	Category 1 1) 배기량 5미만 2) 출력 37 kW 이상 (주 : 배기량 단위 -l/cylinder)
	배기량 0.9 이상, 1.2 미만	2004	7.2	0.30	5.0	
	배기량 1.2 이상, 2.5 미만	2004	7.2	0.20	5.0	
	배기량 2.5 이상, 5.0 미만	2007	7.2	0.20	5.0	
	배기량 5.0 이상, 15.0미만	2007	7.8	0.27	5.0	Category 2 : 배기량 5 이상, 30미만 (주 : 배기량 단위 -l/cylinder)
	배기량 15.0 이상, 20.0미만 (출력 3,300 kW 미만)	2007	8.7	0.50	5.0	
	배기량 15.0 이상, 20.0미만 (출력 3,300 kW 미만)	2007	9.8	0.50	5.0	
	배기량 20.0 이상, 25.0미만	2007	9.8	0.50	5.0	
미국 (EPA)	배기량 25.0 이상, 30.0 미만	2007	11.0	0.50	5.0	1. Category 3 : 배기량 30 이상 2. Category 1 & 2 : 자율적으로 적용
	130 rpm 미만	2000(*)	17.0(**)	-	-	
	130 rpm 이상, 2,000 rpm 미만	2000(*)	17.0-9.8(**)	-	-	
IMO	2,000 rpm 이상	2000(*)	9.8(**)	-	-	
	130 rpm 미만	2000	17.0(**)	-	-	
	130 rpm 이상, 2,000 rpm 미만	2000	17.0-9.8(**)	-	-	
	2,000 rpm 이상	2000	9.8(**)	-	-	

(1) 배기량 단위 : Liter/cylinder
 (2) 2000(*) : 규제 시기는 현재 미정부 안(의회)의 심의/비준을 남겨둠)
 (3) (**): 규제치는 NOx 방출량

3.2 스웨덴

3.2.1 스웨덴의 박용 디젤엔진에 대한 대기오염물질 규제의 특징

스웨덴은 선박의 특성을 인정하면서 자국의 환경 보호를 위해서 인센티브 제도를 도입하였다.¹⁷⁾이 제도에 따르면 후처리 설비를 부착하도록 유도하기 위하여 자국 영해에 출입하는 선박에서 발생하는 질소산화물의 방출량에 따라 항로이용료(Fairway dues)를 차등 부과함과 아울러 질소산화물을 줄이는 후처리 설비를 부착함에 따라 추가적으로 소요되는 비용의 일부에 대하여 보조금을 지원한다. 아울러 황산화물에 의한 대기오염 방지를 위해서 선박에서 저유황 연료를 사용할 경우 추가적으로 항로이용료를 할인하여 준다.

3.2.2 선박의 질소산화물 방출량에 따른 항로이용료(Fairway dues)

전술한 인센티브 제도는 1998년 1월 1일부터 시행되고 있는데, 그 이후 기존의 항로이용료를 인상하고 선박의 질소산화물 방출량에 따라 그 이용료를 차등하여 부과하고 있다. 표 11에 질소산화물의 방출량에 따른 항로이용료를 간략하게 보여준다.

Table 11 Fairway Dues Based on NOx Emissions-Sweden (as of 1 January 1998)

NOx 방출량 (g/kWh)	선박의 종류 및 항로이용료 (SEK/unit of vessel's gross tonnage)	
	Oil Tankers	Ferries and other ships
2	2.80	2.50
3	2.96	2.66
4	3.12	2.82
5	3.28	2.98
6	3.44	3.14
7	3.60	3.30
8	3.76	3.46
9	3.92	3.62
0	4.08	3.78
11	4.24	3.94
12	4.40	4.10
12 이상	5.30	5.00

1998년 1월 1일 이전의 항로이용료 : Oil Tankers - 3.90, Ferries and other ships - 3.60

3.2.3 선박의 연료유 황함량에 따른 항로이용료 추가 할인

스웨덴 정부는 1998년 1월 1일부터 선박으로부터 방출되는 황산화물에 의한 대기오염 방지를 위해서 표 12와 같이 선박에서 저유황유를 사용할 경우, 추가적으로 항로이용료를 할인하여 주고 있다.

Table 12 Additional Discount of Fairway Dues Based on Fuel Oil Sulphur Content-Sweden (as of 1 January 1998)

연료 황함량 (% m/m)	선박의 종류 및 추가 할인액 (SEK/unit of vessel's gross tonnage)	
	Ferries	Other ships
0.5 미만	0.90	-
1.0 미만	-	0.9

3.2.4 스웨덴 일부 항구의 항구이용료 (Harbour dues) 차등

스웨덴의 일부 큰 항구는 선박의 연료 황함량에 따라 항구이용료를 차등하여 부과함으로써 선박에 의한 대기오염방지를 위하여 노력하고 있다.¹⁸⁾ 대부분의 작은 항구는 큰 항구들의 경험을 기다리고 있으며, 아직은 도입을 주저하고 있다. 표 13에 스웨덴 일부 큰 항구의 선박 연료 황함량에 따른 항구이용료에 대하여 간략히 정리하였다.

Table 13 Differentiated Port Dues based on Fuel Oil Sulphur Content-Major Swedish Ports

항 구	선박의 종류 및 항구이용료 (연료의 황함량에 따른) (SEK/unit of vessel's gross tonnage)	
	Ferries(0.5 % m/m and other ships(1.0 % m/m)	Ferries)0.5 % m/m and other ships)1.0 % m/m
고덴부르그 ('98년 7월 1일 이후)	0.00	+0.06
고덴부르그 ('99년 1월 1일 이후)	0.00	+0.13
고덴부르그 ('00년 1월 1일 이후)	0.00	+0.20
헬싱보르그 ('00년 1월 1일 이후)	-0.10	0.00
말뫼 ('00년 1월 1일 이후)	-0.10	0.00
스톡홀름 ('00년 1월 1일 이후)	-0.10	0.00

3.2.5 박용 디젤엔진의 황산화물 규제 방향

여기에 향후 박용 디젤엔진의 황산화물 규제가 어떤 방향으로 진행될 것인가에 대한 필자의 의견을 간단히 언급하고자 한다.

박용 디젤엔진에서 배출되는 황산화물은 연료 속의 황에 따른 것이다. 따라서 박용 디젤엔진의 황산화물 규제는 연료의 황 함량 규제를 통하여 이루어질 것으로 생각된다.

앞의 2가지 경우, 즉, IMO MARPOL 73/78 Annex VI와 스웨덴의 연료의 황 함량에 대한 인센티브 제도에서도 연료의 황 함량 규제를 통해서 황산화물을 줄이려고 하고 있다.

4. 박용 디젤엔진의 질소산화물 규제 대책

4.1 박용 디젤엔진의 질소산화물 발생

박용 디젤엔진에서 질소산화물은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 하나는 디젤엔진의 폭발행정 중, 특히 연료가 실린더 내에서 급격한 연소를 하는 초기에 고온의 연소가스 분위기에서 연소공기의 일부 질소가 산소와 반응하여 생기는 Thermal NOx이다. 다른 하나는 오늘날 대부분의 박용 디젤엔진에서 사용되는 연료유는 육상용 연료유와는 달리 다

량의 질소가 포함되어 있어서 이 질소가 연소 중에 화학 반응하여 생기는 Fuel NOx이다.

이 2가지 질소산화물 중에서 Fuel NOx는 연료의 질이 바뀌기 전에는 인위적으로 제어하기가 사실상 불가능하다.

Thermal NOx는 최고연소온도가 높을수록, 이러한 고온의 분위기 속에서 체류시간이 길수록, 그리고 산소농도가 높을수록 많이 발생되고 있다.¹²⁾

오늘날 박용 디젤엔진의 NOx 저감 대책은 크게 2가지로 나뉘는데, 첫째는 엔진 자체로써 Thermal NOx를 줄이기 위한 것이고, 두 번째는 배기가스 후처리 시스템을 사용하여 줄이는 것이다.

4.2 박용 중속 디젤엔진의 질소산화물 규제 대책

질소산화물 규제치, 엔진의 크기와 종류 및 업체에 질소산화물 규제 대책은 약간씩 상이하다. 박용 중속 디젤엔진의 대표적인 규제 대책을 표 14에서 보여 주고 있다. 이 중 IMO NOx 규제 대책은 이미 강구되어 1999년 후반부터 본격적으로 적용되고 있다. 그리고 직접 물 분사(DWI : Direct Water Injection) 시스템도 지역 규제에 대한 대응책으로 일부 박용 중속 디젤엔진에 사용되고 있다.¹³⁾¹⁵⁾ Water emulsion 시스템은 직접 물 분사 시스템에 비하여 NOx 저감율은 적으나, 초기투자비가 상대

Table 14 Typical Countermeasures to Meet NOx Limits-Marine Medium Speed Engines

NOx 저감 방법		H사	W사	M사
엔진 자체	연료분사 최적화	●	●	●
	연료분사시기 지연	●	●	●
	연소실 최적 설계	●	●	●
	과급기 Matching	●	●	●
	압축비 증가	●	●	●
	EGR	○	×	○
	직접 물 분사	○	■	?
	Water Emulsion	■	×	■
	전자제어 연료분사 또는 Common Rail 시스템	○	○	○
후처리	SCR	■	■	■

비고) ● : IMO NOx 규제에 대한 대책 ○ : 현재 연구/개발중 (향후를 대비) × : 유용하지 않거나 고려하지 않는 것
 ? : 현재 미확인 ■ : 대폭적인 NOx 저감을 필요로 하는 지역 규제를 받는 엔진에 적용

적으로 적어서 박용 중속 디젤엔진의 질소산화물 저감대책으로 사용될 수 있다.¹¹⁴⁾ 선택적촉매저감(SCR : Selective Catalytic Reduction) 시스템은 현재까지 개발된 NOx 저감 기술 중에서 가장 크게 NOx를 줄일 수 있는 배기가스 후처리 기술로 이미 앞에서 언급한 스웨덴의 인센티브 제도에 대응하여 이미 일부 여객선에 설치되어 사용 중에 있다. 현재 현대중공업에서 건조 중인 2척의 여객선에도 이 SCR 시스템이 적용될 예정이다. 배기가스재순환(EGR : Exhaust Gas Recirculation) 기술은 육상 자동차용 엔진에는 이미 실용화된 기술이지만, 오늘날 박용 중속 디젤엔진에 사용되는 연료는 대부분 황함량이 많고 조악한 중유(HFO ; ISO 8217의 Residual Fuel Grade)이므로 배기 중에 입자상 물질(PM : Particulate Matter)이 많아서 이 PM을 제거하지 않은 배기가스를 실린더로 재순환 시에는 이상마모와 매연 증가 등의 문제로 아직까지 실용화는 되지 않고 있다.

4.3 박용 저속 디젤엔진 질소산화물 저감 대책

중속 디젤엔진과 마찬가지로 저속 디젤엔진도 질소산화물 규제치, 엔진의 크기와 종류, 업체에 따라 질소산화물 규제 대책은 약간씩 상이하다.

현재 전세계 박용 저속 디젤엔진(Low speed engines) 시장에서 가장 큰 시장 점유율을 가지고 있는 MAN B&W사는 IMO NOx 규제에 대한 대책으로 연료밸브의 노즐을 변경하여 최고연소온도를 기존 엔진보다 낮추어서 NOx를 줄이는 Low NOx fuel atomizer를 채택하고 있다. 이 저속 엔진 시장에서 2번째로 큰 시장 점유율을 가지고 있는 WARTSILA사는 압축비를 증가시키면서 연료 분사시기를 지연하여 NOx를 저감시키고 있다. 또한 일부 엔진에는 부분 부하에서 연료 분사시기를 최적화한 IMO NOx OPTIMIZED VIT 또는 Water emulsion을 사용하기도 한다. 한편 일본의 MITSUBISHI사는 특이한 충상 물 분사 기술을 개발하였다. 이 기술은 직접 물 분사 기술에서는 연료와 물 분사를 각각의 밸브를 이용하여 하는 것과는 달리 연료와 물을 하나의 밸브를 이용하여 순

차적으로 분사하여 연소가스의 최고연소온도를 낮추어 NOx를 줄이는 것이다.

세계 최초로 선택적촉매저감(SCR : Selective Catalytic Reduction) 시스템이 설치된 선박은 1989년에서 1991년까지 현대중공업에서 건조되어 인도된 4척이다. 이 SCR이 설치되어 운전 중인 저속 디젤엔진은 HYUNDAI-MAN B&W 6S50MC(실린더 지름 : 500 mm, 피스톤 행정 : 1,910 mm, 정격출력 : 7,860 kW, 정격회전수 : 123 rpm)이다. 이 선박은 한국의 포항제철과 미국 서부의 피츠버그 시에 소개하는 UPI(USS-POSCO Industries) 간 항해하는 Hot bands 운반선이다. 이 선박의 SCR 시스템은 미국 샌프란시스코 금문교(Golden Bridge) 서쪽 약 5마일 해상에서부터 UPI사까지 왕복 항해 시에 작동된다. 이 선박은 저 NOx 방출 통제를 받는 지역에 들어가기 전에 연료를 변경하는데, 이 통제 지역에 들어서기 약 2~3 시간 전부터 통상적인 중유에서 초저유황 MDO(Ultra-low sulfur marine diesel oil)(황함량 : 최대 0.05%)로 변경하여 사용한다.¹¹⁶⁾

그리고 지난 2000년 현대중공업에서 건조 인도된 선박에 SCR 시스템이 설치되고 있다. 이 SCR 시스템이 설치되고 있는 저속 디젤엔진은 HYUNDAI-MAN B&W 6S35MC(실린더 지름 : 350 mm, 피스톤 행정 : 1,400 mm, 최대출력 : 4,190 kW, 170 rpm)이다. 이 SCR 시스템은 금년 2001년 하반기에 시험 운전이 시작될 수 있을 것으로 여겨진다. 이 선박은 이 글의 3.2.2에서 언급한 스웨덴의 질소산화물 방출량에 따른 항로 이용료(Fairway dues)에 대한 인센티브를 얻기 위한 목적으로 SCR 시스템이 설치되고 있으며, 이 후처리 설비 설계의 목표는 이 장치를 통과 후 배출되는 최종 NOx량을 부하 75%에서 2 g/kWh 미만으로 줄이는 것이다.

SCR 시스템은 환원제로 암모니아를 직접 사용하는 것과 UREA 용액을 사용하는 것이 있는데, 앞에서 언급한 세계 최초로 SCR 시스템이 설치된 4척의 선박을 제외하고는 UREA 용액이 암모니아보다 안전성 측면에서 아주 우수할 뿐만 아니라 비

Table 15 Typical Countermeasures to Meet NOx Limits-Marine Low Speed Engines

NOx 저감 방법		MAN B&W	WARTSILA	MITSUBISHI
엔진 자체	연료분사 최적화	●	●	●
	LOW NOx FUEL ATOMIZER	●	×	×
	연료분사 지연	×	●	●
	Water emulsion	?	●	×
	EGR	○	○	?
	직접 물 분사 또는 증상 물 분사	○	○	■
	IMO-NOx OPTIMIZED VIT	×	●	×
후처리	×	●	●	
후처리	SCR	■	■	■

비고 ● : IMO 2000 NOx 규제에 대한 대책 ○ : 현재 연구/개발 또는 고려 중 (향후를 대비)
 × : 유용하지 않거나 고려하지 않는 것 ? : 현재 미확인
 ■ : 대폭적인 NOx 저감을 필요로 하는 지역 규제를 받는 엔진에 적용

용 측면에서도 유리하여 거의 대부분 UREA 용액을 사용하고 있다.

또한 현재 현대중공업은 자체 개발한 SCR PILOT PLANT를 한국해양대학교와 공동으로 한국해양대학교의 실습선에 설치하고 연구를 수행하고 있다.

5. IMO의 이산화탄소(CO2) 규제 논의

IMO는 1997년 9월에 선박으로부터 방출되는 CO2 기체에 대하여 결의안 8(RESOLUTION 8 CO2 EMISSIONS FROM SHIPS)로 채택하였다.¹¹⁷⁾

이 결의안의 내용을 요약하면 IMO는 CO2는 온실효과 기체이며, 지구환경에 역효과를 낸다는 것을 인정하면서 선박으로부터 방출되는 CO2 량이 지구 전체의 CO2 방출량에 대한 상대적인 비율과 량에 대한 연구를 하고 IMO MEPC에서 CO2 저감 전략을 마련하도록 하고 있다.

이 결의안에 따라 IMO에서는 선박으로부터 방출되는 CO2 량에 대한 연구를 시작하였다.

향후 선박으로부터 방출되는 CO2도 주요한 쟁점으로 부상할 가능성이 매우 높다고 생각하며, 한국이 세계 제1위의 조선국임을 감안하여 IMO의 연구에 적극적으로 동참하면서 사전에 철저한 준비를 하여야 한다고 여겨진다. 이러한 준비는 어느

한 업체의 노력으로는 절대적으로 부족하며 정부, 업계, 학계 및 연구소가 공동 노력을 하여야 한다고 생각한다. 이 CO2 문제는 다른 어느 문제보다도 복잡하고 어려운 문제가 될 것이다. 이웃 일본은 벌써 IMO MEPC에 선박으로부터 방출되는 CO2 량에 대한 자료를 제출하고 있다.¹¹⁸⁾

최근 몇 년 전부터 박용 디젤엔진 업계에서 급부상하고 있는 유럽의 WARTSILA사는 벌써부터 이러한 문제에 대응하기 위하여 디젤복합사이클(Diesel Combined Cycle)에 대한 연구를 하는 등 발빠른 움직임을 보이고 있다.¹¹⁹⁾

6. 박용 디젤엔진의 매연(Smoke)과 그 대책에 대한 간략한 고찰

오늘날 박용 디젤엔진 업계에서 쌍벽을 이루고 있는 MAN B&W사와 WARTSILA사의 Smoke를 없애기 위한 상당한 노력¹¹⁹⁾¹⁵⁾에서 보는 바와 같이 이 Smoke는 오랜 전부터 문제가 되고 있었는데 향후에도 여전히 박용 디젤엔진에서 해결되어야 할 중요한 하나의 문제일 것이다.

박용 디젤엔진 Smoke는 고부하 영역에서는 거의 문제가 되지 않고 대부분 저부하 영역에서 문제가 되고 있다. 이 저부하에서 발생하는 Smoke를 눈에 보이지 않는 수준으로까지 낮춘 디젤엔진을 M사는 Invisible Smoke Engine이라 하고, W사는

Smokeless Engine이라 하면서 용어에서부터 경쟁을 하였다. 그리고 이 양사의 **Smoke**를 줄이기 위한 방법에서도 상당히 대조적이다.

M사는 중속 디젤엔진 V48/60에 저속 디젤엔진과 같이 보조공기공급기(Auxiliary Blower)를 도입함과 아울러 Water Emulsion 시스템을 채택하여 저부하에서도 **Smoke**를 눈에 보이지 않는 수준으로까지 낮추었다.¹⁵⁹⁾ M사는 이 엔진의 공장 대모를 2000년 9월 22일, 독일의 Augusburg 공장에서 실시하였는데, 이 때 필자는 직접 참석하여 그 엔진의 **Smoke** 상황을 눈으로 직접 확인하는 좋은 기회가 있었다. 거의 0% 부하에서도 굴뚝에서 나오는 **Smoke**는 눈으로 확인하기 곤란할 정도로 **Smoke**는 적었다.

한편 W사는 M사와는 달리 Common Rail 연료 분사 시스템을 도입하여 저부하에서도 고부하의 분사 압력과 거의 동등한 수준을 유지하여 **Smoke**를 대폭 줄인 디젤엔진을 연구/개발 중에 있다.¹⁶⁰⁾

최근 이 **Smoke** 문제는 미국의 Alaska 해역을 항해하는 크루즈선에 대하여 미국 환경청(US EPA)이 강력히 제재를 가함으로써 더욱 촉발되었다.

7. 마무 리

이제 박용 디젤엔진도 육상용 엔진과 마찬가지로 환경 문제를 떠나서는 존재할 수 없는 것으로 되고 있다.

현재는 NOx가 주 규제 물질로 되어 있지만, **Smoke**도 지역적으로는 큰 문제로 대두되어 있고 미국은 2004년도부터 점차적으로 박용 디젤엔진에 대하여 THC(Total HydroCarbon), 입자상물질(PM : Particulate Matter) 및 일산화탄소(CO)도 규제를 시작하고, IMO에서는 CO₂를 규제하기 위한 연구를 시작하였다.

이 글이 부디 박용 디젤엔진의 대기오염물질 배출 규제와 대책을 이해하는데 일조하기를 바라며, 향후 이러한 대책을 마련하는데 정부, 업체, 학계와 연구소가 상호 협력의 장을 마련하는데도 도움이 되기를 바란다.

참고문헌

- [1] IMO, MP/CONF. 3/34 (28 October 1997), "Annex VI, Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships", pp. 5~31
- [2] IMO, MP/CONF. 3/35 (22 October 1997), "Conference Resolution 3, Review of Nitrogen Oxides Emission Limitations", pp. 91
- [3] IMO, MP/CONF. 3/34 (28 October 1997), "Annex VI, Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships", pp. 7~8
- [4] IMO, MEPC/Circ.344 (19 November 1998), "Interim Guidelines for the Application of the NOx Technical Code"
- [5] IMO, MP/CONF.3/35 (22 October 1997), "Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines", pp.3~90
- [6] US EPA, 40 CFR Part 89 et al (December 29, 1999), "Control of Emissions of Air Pollution From New Marine Compression-Ignition Engines at or Above 37 kW ; Final Rule"
- [7] Swedish Maritime Administration, "Information on new Swedish environmental differentiated fairway dues being implemented on 1 January 1998", 16 December 1997
- [8] Swedish Maritime Administration, "Translation of the Swedish Maritime Administration Decree (SJOFS 1997 : 27) with Regulations concerning fairway dues"
- [9] Swedish Maritime Administration, "Information on application procedures, technical descriptions, and conditions for qualifying for environmental differentiated fairway dues", 18 December 1997
- [10] Swedish Maritime Administration, "Translation of the Swedish Maritime Administration Decree (SJOFS 1997 : 28) with the Regulations concerning requirements for environmental differentiated fairway dues"
- [11] Stefan Lemieszewski, "Emissions Legislation Today and Tomorrow", The Motor Ship Marine Propulsion Conference 1999, London, pp. 81~86
- [12] MAN B&W, "Emission Control Two-Stroke Low-Speed Diesel Engines", pp. 4, December 1996

- [13] Rolf Vestergren, Wartsila Corporation's Marine News(No. 3-1999), "Single-digit NOx emissions for cruise vessels"
- [14] Pete Eilts, "Available NOx Emission Reduction Techniques Costs and Benefits", MAN B&W IS Engine-Demonstration (22 September 2000, Augusburg Germany), pp. 16~18
- [15] Daniel Paro, Wartsila Corporation's Marine News (No.1-2000), "The Smokeless Engines"
- [16] Kelly R. McMahan, "Development and Operation of Denox Controlled Ships by USS-POSCO Industries"
- [17] IMO, MP/CONF. 3/35 (22 October 1997), "Conference Resolution 8 CO₂ Emissions from Ships", pp. 96
- [18] IMO, MEPC 44/INF.10 (20 December 1999), "A point of view toward carbon dioxide emission reduction : Preliminary study on estimation and future trend of carbon dioxide emitted crude oil tankers"
- [19] Stefan Peter, "MAN B&W "Green" Engines with Invisible Smoke Emission", MAN B&W's IS Engine Demonstration, Augusburg, 22 September 2000, pp. 7~8