

선박용 디젤기관의 배기 유해 배출물에 대한 IMO 규제와 그 대책기술

박 태 인 (한국기계연구원 엔진환경연구부)

1. 머리말

환경문제와 관련해서 산성비, 지구온난화 등의 말들이 자주 회자되고 있다. 이러한 말들은 동서간의 데탕트 이후 20세기 냉전시대의 결별로 서방 선진국이 부각시키고 있는 환경 이데올로기로부터 시작되는 것으로 볼 수 있다. 21세기는 환경의 세기라는 표현에서 볼 수 있듯이 최근 세계각국의 공동관심의 하나는 環境의 質 개선에 맞춰지고 있다. 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO)에서 1997년 9월에 채택한 선박대기오염 방지협약도 지구환경보호라는 큰 명제를 달성하기 위한 국제사회의 일치된 노력의 결과이다.

선박 기관의 경우 세계 여러 선진국 등이 세계 각지에 심각한 피해를 초래한 산성비의 영향에 대한 조사가 진행됨에 따라 산성비는 그 발원지로부터 먼 국경을 넘는 지역에도 降下하는 성질이 있다는 것이 보고되고, 장거리를 이동하는 대기오염 문제로서 취급해야 한다는 국제적인 인식이 성숙되면서 선박에서의 배기가스에 대해서도 대기오염원으로 다양하게 조사되게 되었다. IMO산하의 해양환경보전 위원회(Marine Environmental Protection Committee, 이하 MEPC) 제29회 회의에 노르웨이가 제출했던 "Exhaust Gas Emission from International Marine Transport"에 의하면, 각국의 국제 해상수송에만 배출

하는 窒素산화물, 유황산화물의 량은 지구전체의 배출량에 각각 7%, 4%를 차지하고, 선박에서의 배기가스도 지구의 대기오염에 영향을 주고 있다고 보고되었다.

종전까지만 하여도 선박에서의 오염문제는 연료, 빌지 등의 선외 유출물에 의한 바다의 오염 문제로만 한정된 것으로 인식되어 IMO의 MARPOL 규약에 의해 규제 되어 왔으나, 지난 1988년 노르웨이가 처음으로 선박의 대기 공해 문제를 IMO 회의에 제기함으로써 그 이후 북구 주위 국가중심으로 아시아에서는 일본이 참여하여 규제 기준과 적용시기가 성안되어 검토되었고 그 안이 확정되었다.

따라서 선박용 디젤기관도 해양에서의 대기오염원으로서 무시할 수 없는 존재로 인식되는데 이르렀고, IMO에서는 디젤기관의 배기가스중의 배기 유해물인 NOx 및 SOx배출에 대한 규제가 깊이 논의되어 2000년 1월부터 건조되는 신조선부터 NOx에 대한 규제가 시행되는 것으로 확정되었다.

또한 최근에 지구온난화로 전세계적으로 이상 기후현상이 나타나고 금년에는 우리도 직접 그 피해를 본 국가이기도 하다. 지구온난화의 주요 요인은 이산화탄소(CO₂)에 의하며, 정부는 이와 관련해서 지난 9월에 온실가스 배출감축의무를 규정한 「교토의정서」에 서명한 것으로 보도되었다. 우리 나라는 에너지를 거의 화석연료에 의존하고

소비량도 증가하고 있어서 CO₂배출량 증가량이 연평균 5.3%에 달한다고 한다. 이러한 추세를 볼 때 CO₂ 배출량에 대한 규제도 가까운 장래에 시행될 것으로 예상되어진다.

따라서 환경의 질 개선 문제는 인류 생존과 생태계 파괴 등 심각한 문제를 제기하고 있어, 해양 대기환경오염에 기여하는 선박용 디젤기관의 유해 배출가스의 저감 문제의 해결은 시급하다고 한다.

본 고에서는 IMO의 MECP에서의 규제기준 제정 배경과 그 기준에 대한 검토와 급후 국내의 적으로 대비하기 위한 기술 동향을 중심으로 엔진에서의 유해 배기가스저감 기술에 대해 정리하여 본다.

2. 선박용 디젤기관의 기술개발

디젤기관 기술은 100여 년이 지난 지금도 발전을 거듭하여 원동기로서 선박 주 기관, 대형 선박용 발전기, 육상용 발전기 등 그 용도가 다양하게 활용되고, 또한 수 마력에서 약 70,000마력 이상의 큰 출력 범위의 엔진을 생산할 수 있고, 이러한 특성 때문에 특히 지난 50년간에 걸쳐서는 C중유의 실용화, 배기 터빈 과급에 의한 고 출력화, 대형화, 오일 속크에 의한 쉘에너지 시대에 들어 고 열효율화와 초 저질유의 실용화 등 끊임없는 연구 개발에 의한 기술혁신이 이루어져 왔다. 이러한 노력으로 선박용 디젤기관은 열기관으로서 가장 열효율이 우수하고 또한 내구성, 신뢰성이 우수하고, 초 저질유나 가스 연료에 이르기까지 다양한 연료의 사용이 용이하고, 또 환경적합성에 대한 개선 등의 노력이 계속되고 있어, 종래 형식의 선박의 추진기관으로서 디젤기관의 다른 원동기에 대한 우수성은 21세기에 도 지속될 것으로 확신한다. 반면에 연료소비를 개선을 위해 채용된 고온 사이클 및 저속 회전 등은 배기가스 중의 질소산화물(NOx) 농도를 증가시키고 또 병커연료

의 유황성분으로 인한 유황산화물(SOx)농도도 증가하고 있는 추세이다.

1980년대 후반에는 유가의 안정세에 엔진에 관한 기술개발은 주로 신뢰성 향상과 주요 부품의 내구성 향상 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 그러나 1990년대 들어서 대기환경 문제가 크게 대두되면서 석유를 주 연료로 사용하는 디젤기관에는 배기가스에 함유된 유해성분의 대폭적인 저감에 대한 필요성은 엔진의 연소성능 개선 등의 기술개발 노력으로 이를 대비하여야 할 것이다.

3. 해양 대기오염에 대한 규제

3.1 IMO의 규제안 제정배경과 활동

선박용 디젤기관에 대해 IMO에서는 유럽의 국가들과 일본 등의 선진공업국이 중심이 되어 NOx와 SOx의 배출규제에 대한 논의가 진행되어 오다가 1997년 7월 런던에서 개최되었던 회의에서 그 규제시기, 규제치 레벨 등이 시행될 것으로 확정되었다.

IMO산하에 설치된 MEPC의 제 26회 회의가 1988년 3월 개최되었을 당시 노르웨이가 선박의 대기오염방지에 관한 사항을 본 위원회의 검토문제로 제안하여 그 안을 합의한 후 이와 관련된 회의가 계속되면서 1990년 11월 개최된 제 30회 MEPC에서는 북해 주변국의 공동제안이라는 형식으로 NOx, SOx등의 저감목표치 및 목표 연도가 제안되고 제 17회 IMO총회를 대비하여 선박에서의 대기오염방지를 위한 총회결의안을 작성했고, 선박에서의 대기오염방지를 MARPOL 73/78 조약의 새로운 부속서에 포함시키는 데에 합의했다.

그후 1991년 7월 개최된 제 31회 MEPC에서는 IMO 제 17회 총회 결의안 내용 중에 NOx및 SOx와 관련해서 배출량과약이 어려운 SOx의 저감을 위해서는 연료유 중의 유황 분을 저감하는 것은 기술적으로는 가능하지만 경제적인 부담이

너무 크다는 등의 이유 때문에 제 30회 MEPC에서 제안된 NOx 및 SOx의 저감목표 및 목표 연도는 모두 삭제하고, NOx와 SOx를 저감한다라는 원론적인 문구만이 포함된 총회 결의안을 작성했다. 또 동 회의에서는 MARPOL 73/78 조약에 새로운 신 부속서 작성을 위한 실행 계획을 수립하였으며, 그 주요 골자는, 선박에서의 배출물질의 저감목표치 및 목표 연도가 NOx의 경우는 2000년까지 기술적으로나 경제적으로 가능하고, 동시에 다른 대기오염을 유발하지 않는 전제하에서 현재의 레벨의 30% 저감(현재 70%수준까지 배출량 저감)하고, SOx는 2000년까지 현재 레벨의 50% 줄이는 한편, 새로운 부속서를 1994년에 채택하고 1995년에 발효하는 계획도 수립하였다.

한편 IMO의 MEPC 산하 대기오염방지에 관한 실무위원회인 BCH(Bulk Carrier 소위원회)는 1991년 9월에 개최된 제21회 회의에서 선박으로부터의 배출되는 NOx 규제방법에 대한 상세 사항과 SOx 규제에 대한 특별 해역 설정요건에 관한 사항 등의 구체적인 실질적인 심의를 위해서 노르웨이를 간사국으로 18명의 대표로 구성된 Correspondence Group를 구성하고 활발하게 심의가 진행되어 왔다.

MARPOL 73/78 조약에 추가될 예정이었던 「선박에서의 대기오염방지」를 위한 새로운 부속서는 BCH소위원회에서 그 골격이 정리되어 왔다.

지금까지 BCH 소위원회에서는 이러한 규칙의 내용을 중심으로 심의가 되고 기본적으로 합의가 되었다. 그러나 기술적인 상세 사항이나 가맹국의 이해관계와 일치되지 않은 점에 대해서는 금후 심의가 필요한 것으로 남겨졌으며, 그리고 엔진에 대한 NOx의 배출 규제기준치는 기본적으로 합의되었으나 고속엔진에 대해서는 육상엔진의 규제치를 도입되었고 기술적으로 대응이 어려운 저속 디젤기관에 대해서는 약간 기준치를 완화하는 것

으로 합의가 되었다. 이는 대형 디젤기관의 NOx 배출 조사결과에 의해 대규정 2행정기관이 4행정기관보다 NOx배출량이 많은 것으로 나타난 결과 규제기준확정시 이점이 고려된 것으로 판단된다.

이와 같이 선진공업국의 계산된 오랜 논의 과정을 거쳐 선박에서의 NOx 배출 규제기준이 합의되고 2000년 1월 1일 부터 시행되는 것으로 1997년 7월 영국 런던에서 개최되었던 IMO회의에서 확정되었다. 그 규제기준은 Fig 1과 같이 기관의 회전수를 기준으로 저속회전 영역인 130rpm 이하에서는 17g/KW·h, 고회전 영역에서는 약 10g/KW·h의 값으로 되어 있다.

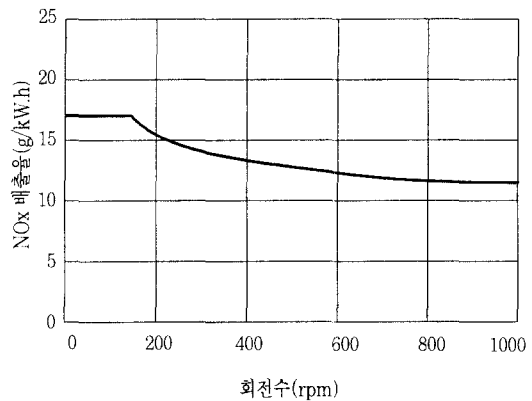


Fig. 1 Max. allowable NOx emission for marine diesel engines of IMO

SOx에 대해서는 아직 그 규제시기와 규제 안이 확정되지 않았으나, 광역규제와 지역규제의 두 가지 방법이 검토되어 왔다. 광역 규제안으로는 유향 분을 최대 3.5%로 제한하는 그룹과 홍콩같이 중간급유가 주로 행하여지는 국가에서는 5% 상한치를 주장하는 의견도 있어 아직 결론을 내리지 못하고 있다. 한편, 지역규제의 필요성에 대해서는 대략 1.5%를 지지하고 있다. 또한 지역규제 대상이 되는 특별해역에 대해서는 유럽의 여러 나라들은 북해, 발트해를 대상해역으로 생각하고 있

다. 그러나 이는 각국이 자기 마음대로 설정하는 것이 아니고 관련 국의 동의와 IMO의 승인 필요할 것이다.

CO₂에 대한 규제는 영국이 제안하였으나 아직 토의가 계속되고 있으며 가까운 장래에 결론이 날 것으로 생각된다.

배기가스의 측정방법은 ISO기준을 따르는 것을 원칙으로 하고 측정방법 상세 사항, 특히 선박의 정기검사 및 중간검사 시에 필요한 선상에서의 NO_x 측정방법은 앞으로의 실적과, 측정기기의 정도, 신뢰성 등 기술적으로 검토되어야 한다는데 합의하였다. 대상 엔진은 출력이 100kW이상의 디젤기관으로 검토하고 있다. SO_x는 연료유에 함유된 유황 분이 SO_x로 변화하여 엔진에서 배출되기 때문에 기본적으로 연료를 규제하는 것으로 합의되었다. 이를 위해 선박에 사용되는 연료에 유황 분의 최대 허용치를 제한하는 방침이 합의된다 하여도 각국의 이해와 맞물려서 합의되지 않으면 안 된다. 또 선박에서의 배기가스의 영향이 큰 특별해역의 설정기준도 아직 심의 중이다.

3.2 선진국의 배기가스 확산모델과 지역규제

선박이 공해상을 운항할 때 기관의 배기가스 배출 문제는 IMO의 규제기준에 적용되고, 각 국가의 연안을 운항하게 되면 IMO 규제기준 보다 더 엄격한 해당 국가의 국내 규제기준에 적용하는 방향으로 그 추세가 기울고 있다. 이를 위해 이미 유럽 국가들과 일본, 미국 등은 자국 연안의 대기환경 보호를 위해 선박의 출입항이 빈번한 항만과 내수로 부근의 해안에 선박에서의 구체적인 대기오염상태를 조사하였고 그리고 선박에서의 배기가스 배출특성은 선박이 운항하는 환경이 기상·해상, 운항모드 등에 의해 육상 운전 시와는 다른 배출특성을 가지고 있어 이를 조사하여 그 기술개발로 대비하였고 연소가스 확산상태를 OCD(Off-shore Coastal Dispersion)모델로서 이론적 추정도 동시에 수행하였다. Fig 2는 일본

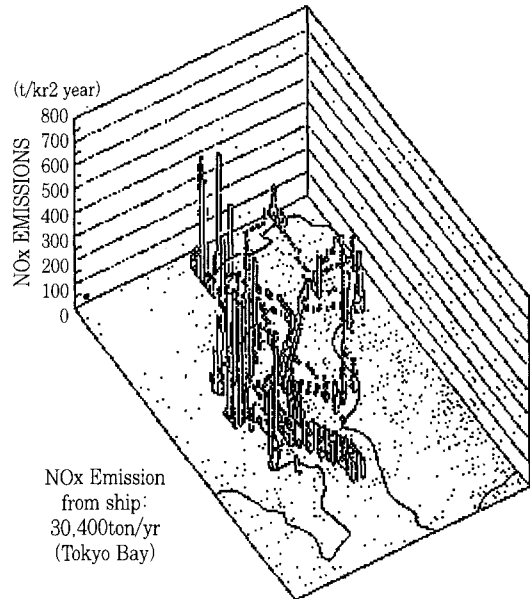


Fig. 2 Prediction of NO_x emission at Tokyo Bay

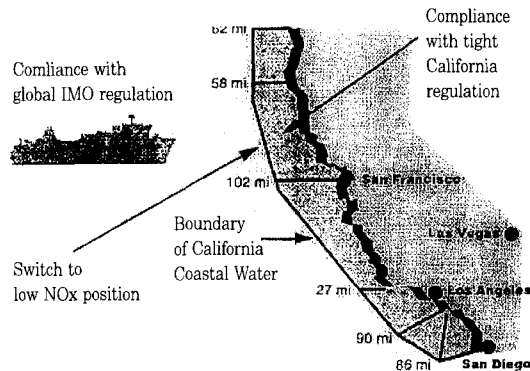


Fig. 3 Strategies to comply with potential tight regional NO_x legislation

의 동경 만에서의 선박으로부터 NO_x 배출량을 예측한 것이다.

현재 미국은 Fig 3과 같이 서해안에 구역을 설정하여, IMO 규제치 보다 더 엄격한 CARB (California Air Resources Board)에 따른 배출규제에 적용되는 것으로 알고 있다.

4. 디젤기관의 배기 유해배출물의 생성

디젤연소의 특징은 기본적으로 고온고압 분위에서의 공기 과잉 확산연소로 비교적 높은 사이클 효율을 얻기 위하여 연소시간이 짧다. 사용연료는 고속기관에는 경유나 A중유이고 중·저속기관에서는 중유가 주로 사용되고 C 중유나 저질유도 사용 되어 연료유 중에는 유황과 질소성분이 함유되어 있다. Fig 4는 대형 저속 선박용 디젤기관의 연소가스의 배출을 나타내며, 연소배기물 중에는 NOx, CO₂, HC, CO, 매연미립자, SOx 등의 유해성분이 배출된다. 여기서 NOx는 효율이 높은 디젤기관의 고온연소 영역에서 산소와 질소가 반응을 일으켜서 생성되며, 초기에는 NO로 생성되었다가 연소의 팽창과정과 배기 과정에서 NO의 일부는 NO₂와 N₂O로 변하고 이들을 NOx라고 총칭한다.

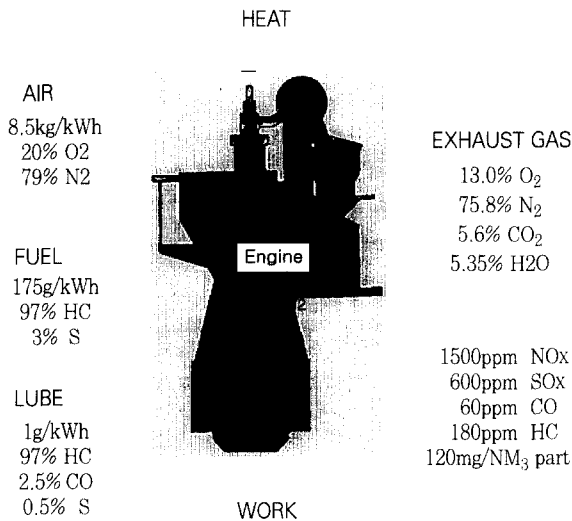


Fig. 4 Typical emissions form low speed diesel engines

(자료: MAN B&W diesel course 96)

이산화탄소(CO₂)는 기본적으로 연료 중 탄화수소 성분이 연소되면 CO₂와 수증기가 생성된다.

탄산가스는 인체에는 해롭지 않으나 최근 온실효과에 크게 기여하여 지구규모의 문제로서 단기적으로 해결되어야 할 문제이다.

일산화탄소(CO)는 인체에 유해하며 그 생성은 산소과잉율과 연소온도에 관계된다. 2 행정 대형기관의 경우에는 산소농도가 높고 연소효율도 높아서 일산화탄소의 배출이 아주 적으며 가연 가스이므로 가능한 한 연소과정에서 제어될 수 있다.

매연(Smoke)은 일반적으로 선박용 기관에서는 매연배출은 극히 적은 양으로 거의 관심의 대상이 되지 않고 있다.

SOx은 연료중의 유황성분으로 인하여 연소실에서도 그대로 존재하게 되고 이는 곧 산화되어 유황산화물로서 주로 SO₂ 및 SO₃으로 구분되는데 그 비율은 대략 15 : 1 정도이다. 연소실에서 이러한 산화과정으로 연소실 주위의 부품의 부식을 초래하여 엔진의 내구성이나 신뢰성에 영향을 주기도 한다. 엔진에서의 SOx의 배출은 연료에서 유황 함유량에 관계되어 연료에서 S성분을 줄이거나 배기가스를 후처리장치에 의한 여과로 SOx량을 저감하거나 또는 동일한 방법으로 전부 제거할 수도 있다.

5. 배기 유해배출물 저감기술

현재 선박용 디젤기관의 배기 유해 성분으로서 가장 문제가 되는 것은 NOx와 SOx이며 SOx는 연료유 처리공정에서 해결될 문제이므로 이후부터는 NOx의 저감을 중심으로 검토하여 본다. 특히 대형 디젤기관에서는 NOx의 생성은 고온연소 영역에서 이루어지고 있어 이를 저감하기 위해서는 고온연소 영역에서의 산소농도의 저감과 연소 화염온도를 낮추는 연소제어방법이 이상적이거나 이는 열효율이 악화된다.

대형 디젤기관에서의 NOx을 저감하는 기술을 대별하면 2가지 방법으로 정리될 수 있다. 즉 연소실내 연소과정에서 연소가스의 온도를 낮추는

방법으로서, 연료분사시기지연, 배기가스재순환(EGR, Exhaust Gas Recirculation), 물 분사 등의 방법이 있으며, 이들 단일기술을 효율적으로 복합하여 NOx 저감을 시도하고 있고, 또 물 에멀전 연료(Water Emulsified Fuel)기술도 채용되고 있다. 다른 방법은 후처리방법으로서 디젤기관에 SCR(Selective Catalytic Reduction, 선택적촉환원법)장치를 채용하여 배기가스가 암모니아가스와 혼합되어 반응을 일으키면 90%이상의 NOx를 제거하고 또 SCR 반응기에 의해 배기가스 중에 있는 Soot나 HC도 산화작용에 의해 없어진다.

5.1 연소과정에서 NOx의 생성과 제어기술

연소화염중의 NOx의 생성에 대해서 간단히 살펴보면, NOx는 Thermal NOx와 Fuel NOx로 대별되며, 더욱이 Thermal NOx는 Zeldovich 기구로 설명되는 것과 연료과잉 화염 중에서 급격히 발생하는 Prompt NOx로 구별할 수가 있다. Thermal NOx는 화염영역의 온도, 산소농도에 현저하게 영향을 받는다. 더욱이 고온화염중의 체류시간이 길어지면 생성농도는 높아진다. 저속 디젤기관에서는 C중유를 사용하기 때문에 연료중의 질소성분에서 생기는 Fuel NOx도 생긴다. 디젤기관의 화염상태는 확산화염이며 디젤기관의 연소영역은 거의 이론 혼합비에 가깝기 때문에 공기과잉측에서는 NOx는 감소되지 않고 연료과잉측으로 감에 따라 NOx 배출량의 감소가 보여진다.

이상의 연소기구로부터 디젤기관의 배기가스 중에서 NOx를 저감하는 데는 고온연소 영역에서의 산소농도 저감과 연소화염 온도를 저하시켜야 하나 회전수가 낮은 디젤엔진에서는 출력증가에 따라 저 연비가 가장 중요하나 연비와 NOx와의 Trade-off 관계가 있어 어느 정도의 NOx치를 엔진 측에서 해결하고 규제기준의 정도에 따라서는 탈질 기술(De-NOx)에 의한 후처리장치를 부가하여 규제치에 대처해야 할 것이다.

저 NOx화 기술에는 대체연료를 위시하여 물 에멀전, 물 분사 등 많은 연구보고가 되고 있으나 여기에서는 중·대형 디젤기관의 연소과정에서 NOx를 저감하는 대표적인 방법에 대하여 검토하기로 한다.

5.1.1 연료분사시기 지연

비교적 간단하기 때문에 널리 실용화되고 있지만 열효율 즉 연료소비율이 악화되고 매연농도의 증가를 수반하는 수가 많다. 통상 화염온도의 저감에는 압축비의 저감으로 인한 실린더내의 압축온도를 저하시키는 방법도 있지만, 압축비 감소와 연료분사시기 지연과 조합할 경우 착화지연이 커져서 연소의 불안정이 될 가능성이 높고, 오히려 압축비의 증대와 연료분사시기 지연과를 조합하므로서 연료소비율을 동일하게 하면 더욱더 NOx가 저하된다.

5.1.2 흡기온도의 저하

엔진의 흡기 온도를 내리므로서 실린더내의 연소 사이클 온도가 저하하고, 화염내의 NOx 생성 영역의 온도도 저하하므로 NOx의 생성이 억제된다. 또한 흡기의 밀도상승에 의해 실린더내의 공기량을 증대하여 연소온도의 저하와 동시에 연소 성능 자체의 개선도 얻어진다. 연소행정중의 열손실이 저감이나 비열비의 상승에 의한 사이클 효율의 향상 등 저 연비화에도 유효한 방법이 된다.

5.1.3 배기가스 재순환

EGR기술은 배기가스의 일부를 흡기 측에 재순환 시켜 실린더 내 급기 중의 산소의 분압을 내려 최고 연소 가스 온도를 저하시켜 NOx의 생성을 억제하는 방법이다. 시스템이 비교적 간단하여 초기 설치비용이 경제적이고 NOx를 60% 정도 저감하는 우수한 효과에 비하여 열효율의 저하와 순환가스중의 매연미립자로 인하여 흡·배기 계의 오손과 부식 등의 원인이 되는 문제가 있어 이의

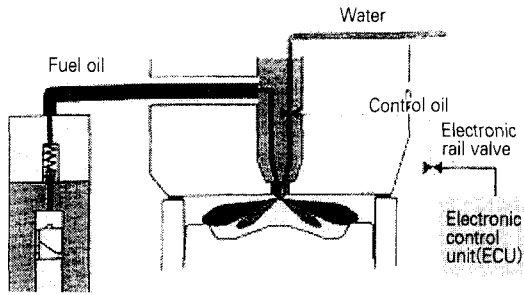


Fig. 5 Schematics of water injection system
(자료 : Wastilla 사)

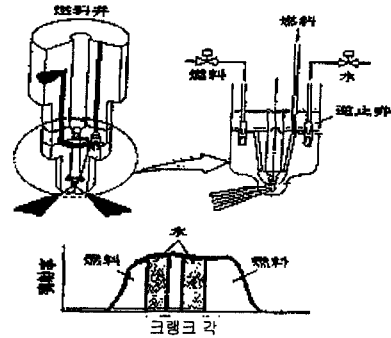


Fig. 6 Stratified water fuel injection

대책에 대한 연구가 당면 과제이다.

5.1.4 물 분사

기관의 흡기계통이나 Fig. 5와 같이 실린더 내로 직접 물을 분사하여 급기를 가습하면 연소 가스온도가 상당히 내려갈 수 있으며 이로 인하여 NOx의 생성이 억제될 수 있다. 그러나 물 분사를 하면 실린더 내에서 수증기 분압이 상승하고 황산의 노점이 높게 되고 실린더 라이너, 피스톤링, 흡·배기 밸브 등 연소실 주위 부품에 손상이 생긴다. 이는 물 분사의 가장 큰 단점으로 작용한다. 이러한 난점을 해결하는 것이 앞으로 과제로서 Fig. 6과 같이 연료밸브로 연료분사 중에 물을 충상으로 분사하는 기술이 이의 대안이 될 것으로 최근 대형 디젤기관의 NOx저감을 위해 동 기술의 개발이 진행되고 있으며 상당한 효과가 있어 급후 대형 디젤기관의 NOx 저감에 주요 대책이 될 것으로 판단된다.

5.1.5 에멀전 연료 연소

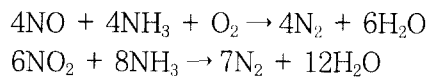
에멀전 연료라 함은 물과 연료를 적정한 비율로 乳化시켜 이를 실린더 내에 분사하면 에멀전 연료 중의 수분이 급격히 증발해 그 과정에서의 기화잠열로 인하여 화염주위의 가스온도가 저하한다. 또한 분무연료의 Micro-Explosion 효과로 분무의 분산과 液滴의 微粒化가 촉진되어 空燃混合이 향

상되어 NOx 생성을 억제시킬 뿐만 아니라 매연 미립자의 생성을 억제하는 효과와 연소성능이 향상되는 효과도 있다. 유화(Emulsion)장치는 Fig. 7과 같이 펌프, 가열기, 필터, 점도계, Homogenizer 등으로 구성되며 이미 외국의 경우 실용화되어 실제 선박용 엔진에 탑재된 예도 있으며 유효한 방법으로 평가되어 앞으로 선박의 NOx 생성제어대책으로 많이 활용 될것이다.

5.2 후처리방법에 의한 NOx 저감기술

배기가스로부터 NOx의 저감이 대폭적으로 필요하면 배기가스 후처리 시스템인 SCR방법이 효과적이다.

이는 디젤기관에서 배출된 NOx를 암모니아에서 질소와 물로 환원해서 배출하는 방법이다. 즉 NOx를 포함한 배기가스 중에 암모니아(NH3)를 첨가하여 균일하게 혼합한 후 반응기에 이끌어 드려 300~400℃의 온도에서 탈질 촉매와 접촉시키므로써 배기 가스 중의 NOx를 NH3과 선택적으로 반응시켜 무해한 질소(N2)와 수증기(H2O)로 분해하는 방법으로 반응식은 다음과 같이 된다.



SCR법은 90%이상의 NOx을 저감이 할 수 있는 것이 장점이나 시스템의 크고 복잡하여 초기 투자부담이 크다. 상용화에는 암모니아의 공급체제, 취급, 촉매의 수명, 경량 콤팩트화, 안전성, 가격 등에 대한 연구가 필요하다.

Fig. 8은 우리나라에서 세계 처음으로 현대중공업이 건조한 철강 수송선 4척에 CARB 규제에 대응이 가능하도록 De-NOx시스템을 도입하여 설치된 시스템이다. 반응기, 촉매, 암모니아 공급장치, 감시·경보장치 등이 전체시스템으로서 대폭적으로 콤팩트, 경량화가 요구된다.

6. 선박용 대형디젤기관에의 적용기술

6.1 국내외 기술개발 동향

일본의 Mitsubishi사는 Fig. 6과 같이 분사노즐로 물과 연료를 총상으로 분사하는 시스템기술을 개발하여 NOx의 배출량을 현재 수준보다 80%정도 저감하는 효과를 얻었다고 발표되고 있다. 또 Kawasaki사는 Fig. 9와 같이 대형 디젤기관의 NOx 배출을 저감하기 위해 EGR 기술과 에멀전 연료 분사기술을 복합하여 실선 실험해 왔으며 NOx가 약 70%이상 저감되는 것으로 보고

되고 있다. 그리고 유럽의 MAN B&W사도 앞에서 소개된 단일 기술들을 각기 개발하여 그 기술들을 유효하게 복합하여 연료소비율과의 최적 조건을 도출하기 위한 운용하는 방법을 제시하고 있으며, 핀란드의 Wastilla사는 중형 디젤기관에 물 분사기술을 도입하여 현재의 규제수준을 만족하는 기술을 개발하는 등 대부분의 선진 공업국은 이미 이들 기술이 개발 완료단계에서 IMO규정의 적용에 대한 준비가 되어 있다.

국내에서는 한국기계연구원이 산업용 디젤기관에 EGR기술을 적용하여 배기가스 배출특성에 관한 연구를 완료하였으며, NOx가 약 60%이상 저감되고 EGR에 의한 NOx의 저감이 효율적이라고 파악되었다. 또 한편으로는 배기가스중의 수분을 응축시켜 물을 흡기에 분사하여 NOx의 저감에 관한 실험연구를 통하여 그 효과가 매우 효율적인 기술로 확인되었다. 현재는 에멀전 연료의 시스템 국산화에 관한 2 차년도 연구가 (주) 화인과 공동으로 수행하고 있으며 이는 물과 연료의 유화방법을 기계식과 유체의 분류에너지를 이용한 복합방식으로 혼합 최종단계에서는 유동의 공동현상이 유발되어 유화를 더 미세화하고 촉진하는 구조로 설계되어 1999년 8월로 시제품개발이

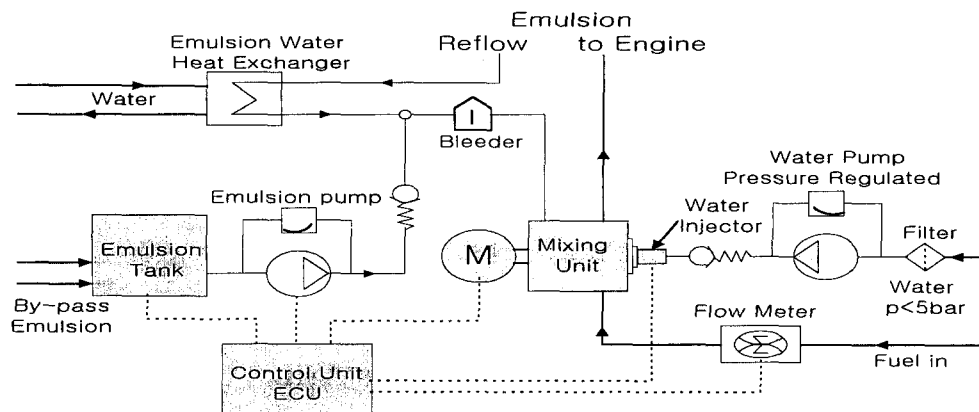


Fig. 7 Schematic diagram of emulsion system (자료: 스위스 HDC사)

완성되는 것으로 추진되고 있다. 한편 이산화탄소에 의한 온실가스 문제도 해결 될 수 있는 방안으로 CO₂는 열용량이 크기 때문에 연소실의 연소 온도를 제어 할 수 있는 특성을 착안하여 배기가스중의 CO₂를 분리하여 엔진의 흡기에 순환시켜 NO_x의 저감을 피하고 또 그 잉여량을 응축시켜 저장하는 시스템을 개발하는 연구가 진행 중에 있다.

6.2 적용기술의 평가

현재 디젤연소의 제어에 의한 NO_x저감 기술은 아직 완전하다고 말할 수 없으며 계속 그 개선의 여지가 많다고 한다. 따라서 연소 현상의 규명이 상당히 중요하고 이에 근거하여 합리적인 혼합기의 형성방법이나 새로운 연소시스템의 개발이 앞으로의 과제로 본다. IMO와 각국의 규제기준을 대비하기 위한 NO_x저감 기술을 검토하면 대형 디젤기관이 공해 상에서 운항될 때에는 앞에서 소개된 단일기술을 복합하여 연료소비율과의 최적 조건을 고려한 시스템을 활용하여야 할 것이며 미국 등 IMO규제기준보다 더 엄격한 기준에 대비하기 위해서는 SCR법외에 물 분사, 에멀전 연료 연소, EGR 기술 등 적용이 효과적이라고 판단된

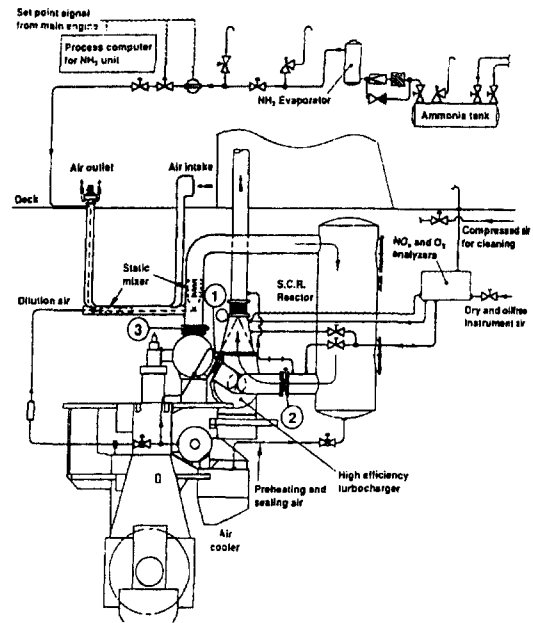


Fig. 8 Layout of De-NOx system

다. 그러나 SCR법은 아직 초기 실용화 단계에 있으나, 장치의 초기투자비가 크고 또 암모니아 가스의 지속적인 공급 문제와 안전성 및 콤팩트화 등의 문제가 해결되어야 하며 선박운항경제 측면

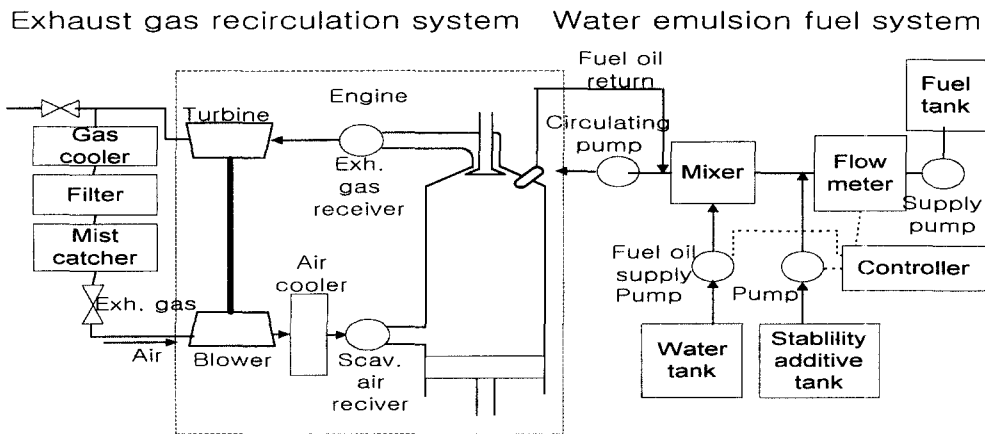


Fig. 9 Combination System with EGR and Water Emulsion

에서도 검토의 여지가 많다고 본다.

따라서 에멀전 기술과 증상 물 연료분사기술은 엔진의 주요부품의 부식 등 문제가 해결된다는 기술보고를 감안하면 현재 수준의 규제기준의 범위에서는 선박운항 경제성이나 시스템의 초기투자 등의 면에서 그 적용이 용이할것으로 판단되며 EGR기술과 복합한 시스템기술을 개발하면 지역 규제 기준의 접근도 가능할 것으로 생각된다. 따라서 설치비와 운용비가 고가인 SCR 장치의 대안이 될 수 있다고 본다.

7. 맺는 말

선박에서의 배기가스배출이 북해와 발틱해와같은 주위해역에 비하면 정도의 차이는 있으나 지구의 대기오염에 상당한 영향을 주고 있다는 사실이 조사되었고, 이를 토대로 대기오염방지에 관한 배출 기준안이 마련되어 MARPOL 73/78 조약의 신 부속서로 채택되고 2000년 1월 1일로부터 발효되는 것으로 확정되었다. 확정된 IMO의 배출 기준·규제와 각국의 지역규제기준이 현재의 대책기술로는 국가별로 차이는 있으나 대응하기에 곤란하다고 생각되는 부분도 있지만 선박이 앞으로 해양 물류수단의 주도적 역할을 확보·유지하기 위해서는 어떻게 해서라도 극복해야 할 과제이다.

과거 오일슈크에 의한 연료가격 상승에 대해서 해운·조선 및 관련업계는 새로운 선형개발,省下너지 기관, 기기 개발 등 기술을 개발함으로써 외적인 난관을 극복해 왔다. 또 다시 국제사회환경의 변화로 해운·선박업계가 환경공해와 관련한 도전에 직면하게 되겠지만 유럽 및 일본 등 조선·해양 선진국은 이미 수년 전부터 공해방지 기술이 개발되어 IMO의 대기공해 규제가 발효시점에 맞추어 준비가 되어 있다고 한다.

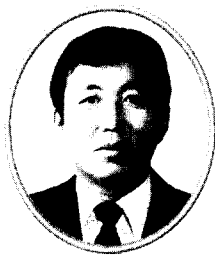
우리 나라는 세계 1, 2위를 가름하는 조선 및 대형 디젤기관 생산국이며서도 환경관련 기술개

발 등에 노력이 부족한 점을 생각하면 또다시 우리는 이러한 기술을 선진공업국에 의존하여야 하는가 하는 걱정이 된다. 이는 당면문제로 때늦은 감은 있으나 하루 빨리 선박용 디젤기관의 환경오염 유해물인 NOx의 저감을 위한 기술 개발과 또한 IMO에서 지구 온난화에 대한 규제를 당분간은 미루어 왔으나 금년 이상기후를 우리가 체험하였고 세계기후회의에서 CO₂에 대한 「교토의정서」에 서명하는 등의 일련의 상황을 판단하면 IMO의 후속규제가 예상외로 빨리 진전 될 것으로 인지되며, 이는 CO₂배출에 대한 연구도 적극적으로 추진되어야 할 것이며, 선진국이 이미 준비한 자국내 환경보호구역을 설정한 것과 같이 우리의 연안해역의 환경을 보호하기 위한 규제기준 제정과 구역 설정을 위한 대책도 시급함을 밝히면서 본 고를 여기서 맺는다.

참고 문헌

- [1] A. Lqwsomand, et el, "Modified Fuel for Diesel engines by Application of Unstabilized Emulsions", SAE, 790925 Report
- [2] 中野眞三 外, 乳化燃料液滴の燃焼におけるすす生成にする研究, 日本船舶機関學會誌 第15卷 第5, 1980. 5
- [3] Report on Performance Combustion Characteristics and Exhaust Emission of a Direct Injection Engine Using Water/Oil Emulsions as Fuel, North Carolina State University, 1985. 6
- [4] 박태인, "선박용 디젤기관과 환경 대책", 한국박용기관학회지, 제 15권 제4호, pp257-264, 1991
- [5] 塚原 實 外, "乳化燃料駆動テ イセルzell機關の性能に及ぼす單口ホルノスルの噴口徑の影響", 日本機械學會論文集, 第57卷 542

- (1991-10)
- [6] 西川和美 外, “エマルジョン燃料による NOx, スモクの低減”, Journal of the M.E.S.J., Vol.26 NO.9, 1991.1.9
- [7] 연구보고서, “대기공해방지기관의 연료자동조절장치 개발연구”, 한국에너지기술연구소, 1992. 12
- [8] 檀上裕二, “船舶에서 大氣汚染問題에 관한 最近의 動向과 汚染防止技術”, 日本海士協會誌, NO. 220, pp196-209, 1992
- [9] A.Veiji, W.Remmels and R-M,Schmit, “Water to reduce NOx emissions in diesel engines”, CIMAC,1995
- [10] H.Miyano, et el, “The ship test for low-NOx by stratified fuel-water injection system”, CIMAC, 1995
- [11] Kenichi Sojoda, et el, “Design Study and Analysis of a Shipboard NOx Reduction Plant”, Bulletin of the M.E.S.J., Vol.23, No.1, pp28-35, 1995
- [12] 박태인 외, “물분사식 매연미립자 여과기를 이용한 디젤기관 EGR시스템의 특성변화 연구”, 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1995. 6. 23
- [13] MAN-B&W Diesel Course 96, MAN-B&W Korea Ltd,1996
- [14] 박권하 외, “물혼합연료 및 EGR의 조합에 의한 디젤기관의 질소산화물과 매연미립자 동시저감 기술에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, 제21권 제4호, 1997,
- [15] 연구보고서, “산업용 디젤엔진 연소시스템의 탈질기술 개발에 관한 연구”, 한국기계연구원, 통상산업부, 1996.8
- [16] 김철순 외, “흡기 포트 내 물 분사에 의한 디젤 기관의 배기 유해물 배출 및 기관성능 변화에 관한 실험적 연구”, 한국박용기관학회 춘계학술대회, pp.47-52, 1998.4.25
- [17] 研究委員會報告書, “大型船用テ イセル機關の 現状と 將來に ついての 調査 研究”, 日本船用機關學會, 平成9年7月
- [18] 研究委員會報告書, “燃料乳化による 排氣淨化に 關する 調査研究”, 日本船用機關學會, 平成9年7月
- [19] K.Park, T.I.Park, “INJECTION CHARACTERISTICS OF EMULSIFIED FUEL AND THE EFFECTS OF EGR AND EMULSIFIED FUEL ON DIESEL COMBUSTION”, Proceedings of the 22nd CIMAC International Congress on Combustion Engines, pp.867-877, May1998



박 태 인

- 1939년 2월 5일생
- 1995년 2월 24일 공학박사(한국해양대학교)
- 1978년 9월 ~ 현재 한국기계연구원 책임연구원
- 관심분야 : 디젤기관 연소성능해석, 배기물 생성제어