



Urea 분사 제어장치 설계

정경열, 임병주, 박창대 | 한국기계연구원

최대석 | ㈜파나켄

[요약문]

세계적으로 NOx 저감 및 규제치의 강화로 인해 디젤기관에서 발생하는 NOx 제거에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 암모니아 환원제와 배출가스의 NOx를 혼합하여 촉매 존재하에서 NOx를 제거하는 시스템이 개발되고 있다.

대부분 암모니아를 보관성이 용이한 요소(Urea) 수용액으로 대체하여 배기관 내에 직접 요소수를 분사하며 요소 수용액이 고온의 배기가스에 의해 증발되어 암모니아를 환원시키며, 촉매를 통하여 탈질을 하는 Urea-SCR 시스템을 채택하고 있다.

따라서 촉매전단에서 요소수가 완전히 증발되고, 또한 촉매 입구에서 요소수의 증발로 인해 환원된 암모니아의 분포도 균일해야 함으로 Urea-SCR 시스템이 배기가스 유동 및 온도에 최적화된 분무특성을 가지는 분사제어 시스템을 제시하고자 한다.

1. 서 론

국제해사기구(IMO)의 선박 배기가스 배출기준 강화에 따라 스웨덴, 미국, 독일 등의 선진국을 중심으로 선박 관련 환경규제를 강화하고, 친환경 선박 및 기자재 개발을 활발히 진행 중이다.

IMO에서는 2008년 10월 질소산화물의 배출량을 종전 1kWh 당 엔진속도가 130rpm이하인 경우 17.0g에서 14.4g으로 줄이는 새로운 규제기준 'Tier II'를 마련하여 2011년부터 모든 선박에 적용하였다.

IMO의 해양오염 방지협약(MARPOL 73/78) 부속서 VI에 의해 선박 배기가스에 포함된 NOx와 SOx의 배출 제한을 강화한 기준 IMO Tier III가 2010년에 발효되어 2016년부터 신조선에 적용된다.



Marine Power Systems



Combined trawler and purse seiner

그림 1. IMO Tier 3 적용(BLUNOX, Denmark)



Tier II 규제를 만족하기 위해서는 내연기관 및 연소실의 특성을 변경하는 Engine Control을 통한 전처리 NOx 저감기술을 통해 해결 가능하였다. 하지만 Tier III가 적용되는 2016년부터는 현재 양의 80% 이상까지 저감을 요구하기 때문에 현재 전 세계적으로 NOx 저감 및 규제치의 강화로 인해 디젤기관에서 발생하는 NOx 제거 후처리 기술에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

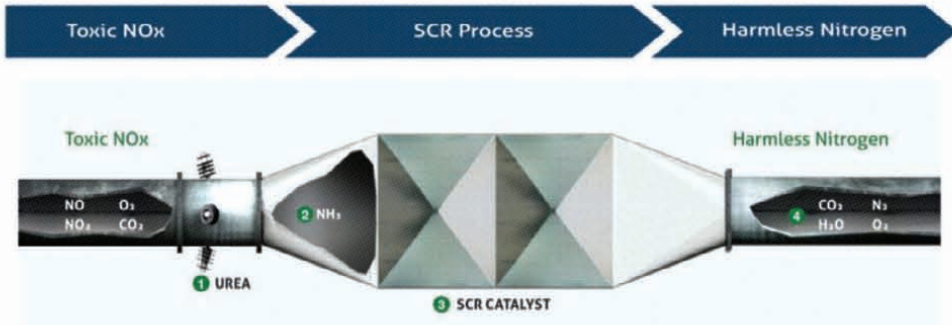


그림 2. The Digital Airless Multipoint SCR Process(BLUNOX, DemMark)

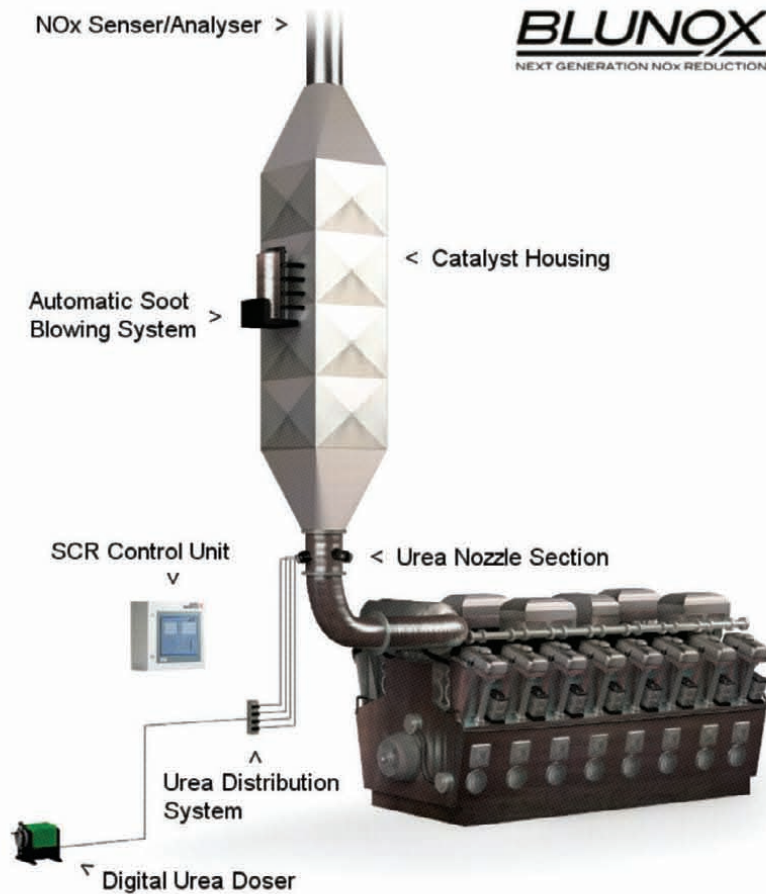


그림 3. BLUNOX SCR System(Dansk Teknologi, Denmark)

따라서 본 연구에서는 IMO Tier III에 대응할 수 있도록 요소 수용액을 배기관 내에 직접 분사하여 요소 수용액이 고온의 배기가스에 의해 증발되어 암모니아를 환원시키고, 촉매를 통하여 탈질을 하는 Urea-SCR 시스템을 채택한다. 이와 같은 시스템에서 요소수를 배기관 내에 직접 분사하는 방법, 복수노즐을 통한 분사량 제어, 사용전·후 노즐관리, 원격제어/수동제어/프로파일 제어기능을 가지는 Urea분사제어장치에 대한 구성방법을 제시하고자 한다.

2. Urea-SCR 시스템

최근연구 결과에 따르면 암모니아 환원제와 배출가스의 NOx를 혼합하여 촉매 존재하에서 NOx를 제거하는 시스템이 개발되고 있고 약 90%이상의 NOx를 저감시킬 수 있는 것으로 알려지고 있다.

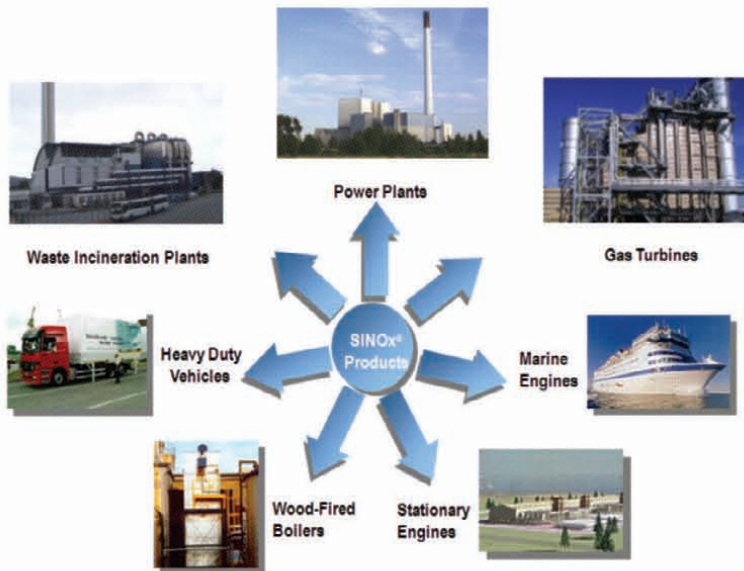


그림 2. SCR Applications

표 1. Marine Urea SCR Supplier

Supplier	Web page
D.E.C Marine AB (ex Munters)	www.decmarine.com
Frydenbø Power AS	www.frydenbopower.no
Grundfos NoNOx A/S	www.grundfos.com/nonox
H+H Umwelt- und Industrietechnik GmbH	www.huhgmbh.com
Hug Engineering AG	www.hug-eng.ch
Johnson Matthey Catalysts (Germany) GmbH	www.matthey.com
MAN Diesel SE	www.manbw.com
Mecmar AS	www.mecmar.no
Pon Power AS (Caterpillar)	www.pon-cat.com
Wätsilä	www.wartsila.com
Yarwil AS	www.yarwil.com



이와 같은 시스템에서의 촉매 반응은 NO_x와 암모니아가 촉매 존재 하에서 반응하여 무해물질인 N₂와 H₂O로 전환되는 반응으로 부식성과 보관이 어려운 암모니아의 공급 및 저장에 어려움이 있다. 암모니아를 보관성이 용의한 요소 수용액으로 대체하여 요소 수용액이 고온의 배기가스에 의해 증발되어 암모니아를 환원시키며, 촉매를 통하여 탈질을 하는 방식을 채택하고 있다.



그림 3. Spray Nozzle

또한 요소수의 증발을 위해서는 노즐을 통해 분사되는 요소수의 직경 및 분무각 등의 분무특성이 지대한 영향을 끼치며 분무특성은 분사노즐의 형상, 분사되는 주위의 분위기 조건, 유체의 물성치에 의해 영향을 받는다.



Airless Urea Nozzles (BLUNOX)



Airless Urea Nozzles (BLUNOX)

그림 4. Dosing Pump & Urea Nozzles



BLUNOX (Dansk Teknologi)



NoNOx (GrundFos)

그림 5. Urea Dosing System

그리고 분사된 요소수의 분사각 및 분무도달거리가 배기관 크기에 최적화될 수 있도록 Urea Dosing System을 사용하고 있으며 요소수의 분포 및 탈질효율에 지대한 영향을 미친다. Johnson Matthey사에서 적용하고 있는 Urea Dosing & Control System을 그림 6과 같으며 Dosing Pump & Pump Station은 그림 7과 같다.

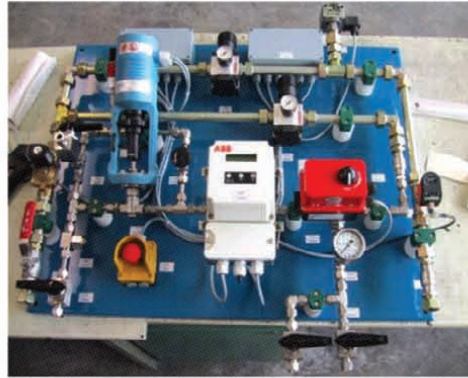


그림 6. Urea Dosing & Control System(Johnson Matthey)



Dosing Pump



Pump Station

그림 7. Dosing Pump & Pump Station(Johnson Matthey)

3. Urea 분사제어장치의 설계

Urea 분사제어장치는 다수의 노즐을 이용하여 Urea의 총량을 제어하는 장치로서 사용전·후 노즐관리, 원격/수동/프로파일제어, 전원관리, 통신, 아날로그 제어기능, 입력 및 표시장치 등을 가지고 있다.

복수 노즐을 사용하여 분사되는 Urea의 총량을 제어하기 위해서는 On/Off제어를 통해 대다수의 노즐을 On 혹은 Off상태로 유지하는 기본제어와 정확한 양을 분사하기 위해 특정한 노즐을 반복적으로 On/Off를 수행하는 미세제어를 통해 분사량을 제어하는 기능을 가지고 있다.

요소수를 분사하는 노즐의 사용전후에 고형화된 Urea로 인해 노즐의 막힘을 방지하기 위해서 Urea 분사종료 후와 분사시작 전에 일정시간 반드시 공기로 노즐청소를 수행한다. 또한 노즐의 보호를 위해 주기적으로 공기로 노즐청소를 수행하고 필요에 따라서 일회성으로 노즐청소를 하는 기능을 가지고 있다.



그림 10. NMEA 2000 프로토콜의 구조

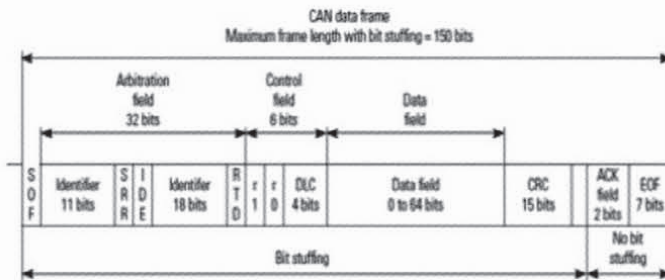


그림 11. NMEA 2000 프레임의 구조

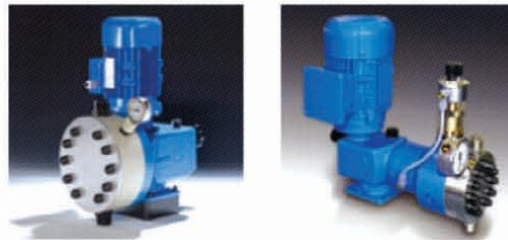


그림 12. Urea Dosing Pump(thenex)

분사제어장치는 아날로그 입력, 디지털 접점 그리고 통신을 이용해서 각종 제어명령을 수신할 수 있으며 분사제어기의 특정 값이나 상태를 아날로그 혹은 디지털 접점의 형태로 출력할 수 있는 기능을 가지고 있다

노이즈 및 전원변동에 능동적인 제어성능을 확보하기 위해 전원공급이 되지 않는 경우에는 전원비상상태로 Urea 분사에 문제가 없도록 비상전원으로 전환하여 정상동작을 수행한다. 이 경우 알람을 발생시켜 담당 엔지니어를 호출하는 기능을 가지고 있다.

통신상의 문제로 적절한 명령을 수신하지 못하면 기존 운전에 대한 프로파일을 가지고 분사제어를 수행하고 이 사이에 적절한 인터락이 존재하여야 한다. 프로파일은 시간을 기준으로 공해상의 운전기록 즉 각각 출력과 입력의 변화를 기록한 것으로 이를 기초로 NOx Map을 구축하며, 유량을 기준으로 초당 4회 정도의 시간 기준으로 NOx

Map을 기반의 프로파일 제어를 수행한다.

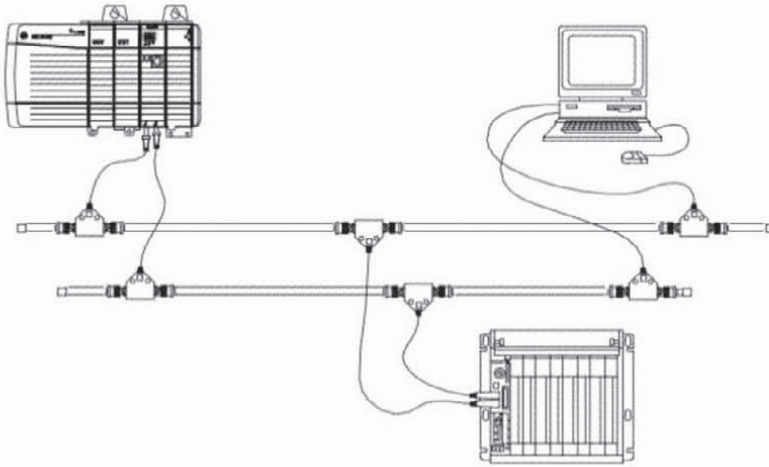


그림 13. Network Redundancy

Watchdog 혹은 필요시 제어권을 로컬제어패널로 설정하여 직접 입출력을 수행할 수 있으며, 통신을 통해 원격에서 제어할 수 있는 기능도 가지고 있으며, 예상외의 상황에서 발생하는 문제에 대한 제어방안(Fail-Safe)을 가지고 있다.

분사제어에 필요한 환경정보를 설정할 수 있고, 각종 입출력 정보 및 현재 상태를 화면에 표시하거나 데이터 로그 기능을 이용하여 저장하는 기능을 가지는 분사제어장치를 최적화하고 설치가 용이하도록 모듈화 한다.

4. 결 론

국제해사기구(IMO)의 선박 배기가스 배출기준 강화에 따라 선박 관련 환경규제를 강화하고 있으며 해양오염 방지협약에 의해 선박 배기가스에 포함된 NOx와 SOx의 배출 제한을 강화한 기준 IMO Tier III가 2010년에 발효되어 2016년부터 신조선에 적용된다.

IMO Tier III에 대응하기 위해서 Urea-SCR 시스템이 필요하며, 그 중에서 중요한 역할을 하는 Urea 분사제어장치는 다수의 노즐을 이용하여 Urea의 총량을 제어하는 장치로서 사용전·후 노즐관리, 원격/수동/프로파일제어, 전원관리, 통신, 아날로그 제어기능, 입력 및 표시장치 등을 가지고 있도록 설계하였다.

그리고 Urea 분사제어장치는 복수 노즐을 사용하여 기본제어와 미세제어를 통해 분사량을 제어하고, 센서로부터 필요한 정보를 입력받고 제어알고리즘을 거쳐 적절한 출력을 내보내는 기능과 분사제어장치의 제어명령과 현재 상태를 아날로그 신호, 디지털 접점을 통해서 입출력할 수 있다.

또한 전원변동에 능동적인 제어성능을 가지고 있으며, 전원문제 발생 시 비상전원으로 전환하여 연속성을 확보할 수 있으며, 통신상의 문제에 대해서 프로파일 운전을 수행함으로써 Urea-SCR 시스템이 배기가스 유동 및 온도에 최적화된 분무특성을 가지는 Urea 분사제어를 할 수 있다.

후기

본 연구는 국토해양부 2011년도 “녹색선박 TCS 시스템 구축” 사업 과제에 의해 수행되었습니다.

❁ 참고 문헌

- [1] Delphi Powertrain Systems, Monitoring, Feedback and Control of Urea SCR Dosing Systems for NOx Reduction
- [2] DOE and Ford Motor, Urea SCR and DPF System for Diesel Sport Utility Vehicle Meeting Tier 2 Bin 5
- [3] Emitec, High-Precision Dosing Technology
- [4] Wilson Chu, Exhaust Gas After Treatment
- [5] ChunhwanLee, Development of Urea Dosing System for 10 liter Heavy Duty Diesel Engine Powered Vehicle, 2010
- [6] Cummins, EcoFit Urea Dosing System
- [7] Delphi Powertrain Systems, Model Based Control of SCR Dosing and OBD Strategies, 2009
- [8] NOx-reducing measures: Available Technologies and Suppliers
- [9] US 2006/0130458 A1, System for Controlling The Urea Supply To SCR Catalysts
- [10] Sobel E, Giorgini RJ. Surgical considerations in the geriatric patient. Clin Podiatr Med Surg 2003; 20: 607-626.
- [11] <http://www.patentgenius.com/patent/7497077.html>
- [12] <http://www.dansk-teknologi.dk/home/scr-systems/scr-technology.html>
- [13] 이기범 외 2명, PLC 시스템에서 Redundancy 종류 및 최적 시스템의 구현 방안, RIST 연구논문 제13권 제2호, 1999
- [14] A. Falcione and B. H. Krogh, “Design recovery for relay ladder logic”, IEEE Control Systems, pp.99-98, Apr, 1993
- [15] Colin D. Simpson, programmable Logic Controllers, Regents/Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J, 1994
- [16] Dhiraj K. Pradhan, “Fault-tolerant computer system design”, Prentice Hall, 1996
- [17] Gianfranco balbo, “Computer performance evaluation modelling techniques and tools”, Elsevier, 1992
- [18] I. G. Warnock, Programmable Controllers, Operation and Application, Prentice-Hall Inc., 1988
- [19] Johnson, Design and Analysis of Fault Tolerant Digital Systems, Addison Wesley Publishing company, 1989
- [20] N.Viswanadham, V.V.S.Sarama, M.G.Singh, Reliability of computer and control systems, north-Holland systems and control series, 1987
- [21] Pankaj Jalote, Fault Tolerance in Distributed Systems, Prentice Hall, 1994
- [22] 이기범, “PLC O/S 알고리즘 구현”, 대한전기 학회 '95하계학술대회논문집, Jul. 1995
- [23] 이기범, “중대형 고기능 PLC system 개발”, 계측제어기술 심포지움, Jan. 1996
- [24] 이기범, 이진수, “PLC의 고장 발생 주기에 대한 failure rate 산출과 redundancy 시스템의 MTTF/reliability 평가”, '98자동제어학술회의논문집, pp384-387, Sep. 1998



정 경 열

- 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 플랜트 안전연구실 책임연구원
- 관심분야 : IT융합기술, 에너지플랜트
- E-mail : kychung@kimm.re.kr



임 병 주

- 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 플랜트 안전연구실 선임연구원
- 관심분야 : 플랜트 상대진단 기술
- E-mail : bzoo77@kimm.re.kr



박 창 대

- 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 플랜트 안전연구실 선임연구원
- 관심분야 : 에너지플랜트, 담수플랜트
- E-mail : parkcdae@kimm.re.kr



최 대 석

- (주)파나캠 대표이사
- 관심분야 : 실시간제어시스템, SCR시스템
- E-mail : fool2hand@paran.com