

선박 발전기관용 SCR 촉매의 셀 밀도차에 따른 NO_x 저감 특성

임경선* · 임명환**†

* 목포해양대학교 기관시스템공학과 박사과정, ** 목포해양대학교 승선실습과정부 교수

NO_x Reduction Characteristics of Ship Power Generator Engine SCR Catalysts according to Cell Density Difference

Kyung-Sun Lim* · Myeong-Hwan Im**†

* Graduate School of Mokpo National Maritime University, Mokpo, Korea

** Professor, Division of Onboard Training, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Korea

요 약 : 선택적 촉매 환원법(SCR)은 질소산화물(NO_x)을 저감하는 매우 효율적인 방법으로 알려져 있으며 발생된 질소산화물(NO_x)을 질소(N₂)와 수증기(H₂O)로 환원시키는데 촉매 작용을 한다. 질소산화물(NO_x) 저감 성능을 결정하는 요소 중 하나인 촉매는 셀 밀도가 증가하면 촉매효율이 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 실습선 세계로호에 설치되어 있는 발전 기관의 배기가스 조건을 모사한 실험장치를 통하여 100CPSI(60Cell)촉매의 부하에 따른 질소산화물(NO_x) 저감 성능을 확인하고 세계로호에 설치되어 있는 25.8CPSI(30Cell) 촉매의 기존 연구 자료와의 비교를 통해, 셀 밀도가 질소산화물(NO_x)의 저감에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 실험용 촉매는 셀 밀도만 변화를 주었고 형태는 벌집형(honeycomb), 조성물질은 V₂O₅-WO₃-TiO₂를 동일하게 사용하여 제작하였다. 실험결과 100CPSI(60Cell) 촉매의 질소산화물(NO_x) 농도 저감율은 평균적으로 88.5%이며 *IMO specific NOx* 배출량은 0.99g/kwh로 *IMO Tier III NOx* 배출기준을 만족하였다. 25.8CPSI(30Cell) 촉매의 경우, 질소산화물(NO_x) 농도 저감율은 78%, *IMO specific NOx* 배출량은 2.00g/kwh 이었다 두 촉매의 NO_x 농도 저감율과 *IMO specific NOx* 배출량을 비교하였을 때, 100CPSI(60Cell)촉매가 25.8CPSI(30Cell) 촉매보다, NO_x 농도 저감율은 10.5% 높고 *IMO specific NOx* 배출량은 약 2배 적은 것을 확인하였다. 따라서 촉매의 셀 밀도를 높임으로써 효율적인 탈질효과를 기대할 수 있으며 향후 실선 테스트를 통하여 검증한다면 촉매의 부피 저감을 통한 제작 비용을 줄이고 협소한 선박 기관실을 효율적으로 사용하기 위한 실용적인 자료로서 기대된다.

핵심용어 : 질소산화물, 선택적 촉매 환원법, 고밀도 셀 촉매, 100CPSI(60Cell), 탈질

Abstract : The selective catalytic reduction (SCR) is known as a very efficient method to reduce nitrogen oxides (NO_x) and the catalyst performs reduction from nitrogen oxides (NO_x) to nitrogen (N₂) and water vapor (H₂O). The catalyst, which is one of the factors determining the performance of the nitrogen oxide (NO_x) reduction method, is known to increase catalyst efficiency as cell density increases. In this study, the reduction characteristics of nitrogen oxides (NO_x) under various engine loads investigated. A 100CPSI(60Cell) catalysts was studied through a laboratory-sized simulating device that can simulate the exhaust gas conditions from the power generation engine installed in the training ship SEGERO. The effect of 100CPSI(60Cell) cell density was compared with that of 25.8CPSI(30Cell) cell density that already had NO_x reduction data from the SCR manufacturing. The experimental catalysts were honeycomb type and its compositions and materials of V₂O₅-WO₃-TiO₂ were retained, with only change on cell density. As a result, the NO_x concentration reduction rate from 100CPSI(60Cell) catalyst was 88.5%, and *IMO specific NOx* emission was 0.99g/kwh satisfying the *IMO Tier III NOx* emission requirement. The NO_x concentration reduction rate from 25.8CPSI(30Cell) was 78%, and *IMO specific NOx* emission was 2.00g/kwh. Comparing the NO_x concentration reduction rate and emission of 100CPSI(60Cell) and 25.8CPSI(30Cell) catalysts, notably, the NO_x concentration reduction rate of 100CPSI(60Cell) catalyst was 10.5% higher and its *IMO specific NOx* emission was about twice less than that of the 25.8CPSI(30Cell) catalysts. Therefore, an efficient NO_x reduction effect can be expected by increasing the cell density of catalysts. In other words, effects to production cost reduction, efficient arrangement of engine room and cargo space can be estimated from the reduced catalyst volume.

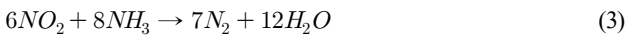
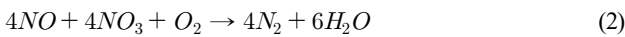
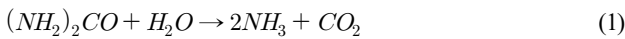
Key Words : Nitrogen Oxide (NO_x), Selective Catalyst Reduction (SCR), High Density Cell Catalysts, 100CPSI(60Cell), NO_x reduction

* First Author : mmuks@mmu.ac.kr, 061-240-7416

† Corresponding Author : imhys@mmu.ac.kr, 061-240-7421

1. 서론

선박용 디젤 엔진으로부터 발생하는 배기가스에 포함된 질소산화물(Nitrogen oxide, NO_x)은 산성비 및 광화학 스모그를 생성하고 온실효과와 호흡기 질환의 발생 원인으로 작용하여 최근 규제가 강화되고 있는 추세이다(Won and Hong, 2019). NO_x를 저감하는 대표적인 후처리 기술은 배기가스 재순환 (Exhaust Gas Recirculation, EGR)(Bae et al., 2020), 수분공급에 의한 정화(Scavenge Air Moistening, SAM)(Jeong et al., 2012), 선택적 촉매 환원법(Selective Catalyst Reduction, SCR) 등이며, 이중 SCR은 기술 및 경제적으로 가장 우수한 NO_x 제거 기술로 알려져 있다(Lim et al., 2019). 촉매는 SCR의 핵심요소로 모듈화하여 SCR 내부에 설치된다. 환원제인 우레아 수용액(Urea)을 고온의 가스 유로로 분사하여 암모니아(NH₃)와 이산화탄소(CO₂)로 분해시킨 뒤(식(1)), 분해된 암모니아(NH₃)는 NO_x와 반응하여 질소(N₂)와 수증기(H₂O)로 환원(식(2), (3))시킨 뒤 대기 중으로 방출시키는 것이 원리이다(Lee, 2017).



촉매에 의한 NO_x의 환원은 배기가스가 배관을 통하여 촉매 모듈의 각 Cell을 통과하는 과정에서 발생하는데 배기가스가 촉매의 활성에너지 저감 효과를 활용하여 NO_x를 환원시키기 위한 이상적인 촉매 Cell의 크기를 확인하는 것이 중요하다. 이러한 연구의 배경으로 SCR 촉매의 셀 크기와 밀도에 따른 NO_x 저감 성능에 대하여 다음과 같은 연구들이 진행되었다.



Fig. 1. SCR Catalyst for Marine Diesel Engine.

SCR 촉매의 최적화된 설계를 위하여 촉매 셀의 면속도, 공간속도, 선속도가 NO_x 저감 성능에 미치는 영향이 연구(Park, 2016) 되었으며 Joakim et al.(2010)은 Ammonium bisulphate가 SCR 촉매의 활성저하에 미치는 영향 등을 연구하였다.

촉매의 형태에 따라 셀의 형태도 달라지며, 일반적으로 벌집형(Honeycomb), 판형(Plate), 주름형(Corrugate)등이 주로 연구되고 있다. Fig. 1은 선박용 디젤 엔진에 주로 사용되는 촉매를 그림으로 나타낸 것이다.

본 연구는 모사 실험 장치를 활용하여 SCR 촉매의 셀 밀도에 의한 NO_x의 저감 특성에 대하여 분석하고자 하였다. 차후 실제 선박에 촉매를 설치하여 NO_x의 저감 성능에 대하여 검증함으로써 이를 제품화 하는데 객관적이고 실용적인 참고 자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험 촉매

본 연구에서는 벌집형 촉매를 선택하였다. 벌집형 촉매는 부위별 조성이 동일하고 다양한 형태로 제조가 가능하며 단위부피당 반응면적이 넓은 장점이 있어 선박용 SCR 촉매로 가장 많이 사용되고 있다. 셀 밀도는 기존 선박용 촉매로 사용되는 셀 밀도인 25.8CPSI(Cell Per Square Inch)(30cell)와 이보다 높은 100CPSI(60cell)로 결정하였다. ()안의 cell수는 일반적으로 사각형 촉매의 cell density를 나타내는 또 다른 단위로서, 가로 혹은 세로길이 표준인 150mm 내 cell의 개수를 의미한다. 허니컴 촉매는 주로 CPSI를 사용하지만, 가로 길이가 150mm인 사각촉매에서는 cell수로 표기하기도 하며, 논문에서는 병행 표기하였다. 이 두 가지 실험용 촉매의 물성치를 Table 1에 나타내었으며, Fig. 2에는 실제 형상을 나타내었다.

Table 1. The Physical Properties of Catalyst

Item	Unit	Properties	
		Experimental Catalyst	T/S SEGERO Catalyst
No. of Cells (N _{cell} , b)	Cells	60	30
Cell density (Catalyst channel density)	CPSI	100	25.8
Inner wall thickness (b _w)	mm	0.45	0.87
Clear width (b _{ch})	mm	2.01	4.06
Pitch (p _b)	mm	2.46	4.93
Geometric surface area	m ² /m ³	1.285	649
Module size (a × b × l)	mm	15.2×15.2×200	313×313×505
Opening ratio (ε) (Catalyst surface void ratio)		0.645	0.659

선박 발전기관용 SCR 촉매의 셀 밀도차에 따른 NO_x 저감 특성

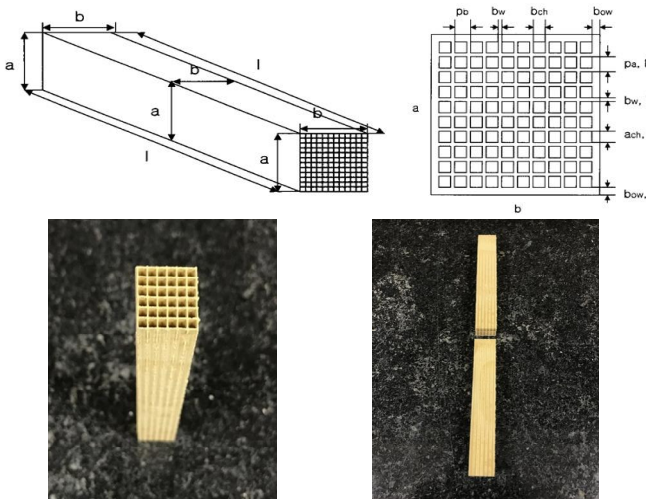


Fig. 2. Shape of Catalyst for Experiments.

2.1.2 실험 장치

본 실험을 위한 장치는 SCR 촉매의 NO_x 저감 성능을 측정할 수 있는 Lab Scale(IMO MEPC 291(71), 2017)의 평가 장치이며, 해당 실험을 위한 모사비율은 약 6000:1이다. Fig. 3 에는 전체 실험장치의 구성에 대한 개략적인 개요도를 나타내었다.

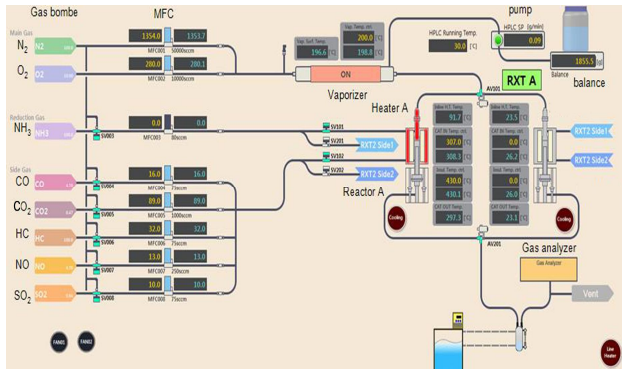


Fig. 3. Schematic Diagram of Lab Scale Experimental System

가스를 공급하는 Gas Cylinder는 실제 디젤엔진에서 Tier II 조건으로 배출되는 배기가스를 구성하는 성분들로 본 실험에서는 N₂, O₂, NH₃, CO₂, HC, SO₂ 등의 가스를 투입하였다. 투입된 혼합가스는 질량유량계(Mass Flow Controller, MFC)에서 설정에 따라 정량 주입하게 된다. 반응기(Reactor)에서는 혼합가스를 세계로호 발전 엔진 배기가스 조건으로 구현한다. 그런 뒤 가열기(Heater)를 통과하면서 배기가스 수준의 온도(약 330℃ 전후)로 상승시켜 설치되어 있는 촉매를 통과하게 된다. Table 2에는 모사되어 투입된 가스의 농도를 비율로 정리하여 나타내었다.

Table 2. The Concentration of Supplied Gas & Materials

Gas Composition	Concentration (unit : %)
CO ₂	7.12
HC	0.0005
O ₂	11.8
SO ₂	0.0064
NH ₃	0.09
NO _x	0.09
H ₂ O	6.3
N ₂	Balance

Table 3. The Specification of Gas Reactor

Item	Description
Model	MGR-1
Flow Rate	Reactor : 5 ~ 20 ℓ/min
Heater Temp. Limit	500℃
Image	

Table 4. The Specification of Gas Analyzer

Item	Description
Maker / Model	MRU(Germany) / NOVA IR pro
Measurable Items	CO, NO, NO ₂ , N ₂ O, SO ₂ , CO ₂ , CH ₄ , C ₃ H ₈
Measurement method	NDIR
Measurement Range	NO 0 ~ 4,000 ppm NO ₂ 0 ~ 1,000 ppm SO ₂ 0 ~ 4,000 ppm CO ₂ 0 ~ 40% CO 0 ~ 10,000 ppm N ₂ O 0 ~ 1,000 ppm CH ₄ 0 ~ 10,000 ppm C ₃ H ₈ 0 ~ 10,000 ppm
Dimension / Weight	430(W)mm × 290(H)mm × 150(D)mm, 10kg
Operating Condition	+5℃~+45℃, RH up to 98% Non Condensing
Storage Temperature	-20℃ ~ +50℃
Image	

배기가스 중 수분함량을 맞추기 위해 물을 공급하는 수분 펌프와 저울을 설치하고 촉매 통과 후 배기가스를 분석하기 위하여 가스분석기(Gas Analyzer)를 설치한다. Table 3, 4와 5에는 본 실험의 주요 장치인 반응기와 분석기 그리고 질량 유량계의 상세사양과 실제사진을 함께 나타내었다. Table 6에는 실험에 사용 된 저울과 펌프의 상세사양과 사진을 표시하였다.

Table 5. The Specification of MFC (Mass Flow Controller)



Item	Description
Model	SEC N100
Maker	HORIBA STEC
Flow Rate	0.075 ~ 50slm(standard liter per minute) (Total 8set for each gas)
Communication	Digital (LAN)
Image	

Table 6. The Specification of Balance and Pump

Item	Description	
	Balance	Pump
Model	EK-6100i	BT-100-1F
Maker	AND	Longer
Measurable Range	6,000gr	-
Resolution	0.1gr	-
Speed	-	0.1~100rpm
Flow Rate	-	0.02~380ml/min
Image		

2.2 실험방법

본 실험은 실습선 세계로호 SCR 운전조건을 모사하여 진행되었다. 온도, 체적, 유량, 촉매크기 배기가스 화학조성 등 시험 조건을 실제 선박 조건과 동일하게 구현하기 위하여 면적속도(Area Velocity, AV)와 공간속도(Space Velocity, SV) (Park et al., 2016)를 촉매 크기에 준하여 Scale down한 뒤 일

치시켰다. Table 7에 세계로호 발전기관의 제원을 정리하고 Table 8에 부하에 따른 면적속도(AV) 및 공간속도(SV)와 같은 Operating Data를 정리하였다.

Table 7. Specification of Engine

Specification of Engine	
Maker	Hyundai Heavy Industries CO., LTD
Model	6H 21/32
Output at MCR	1120 kW at 900 RPM
Exhaust Gas Temp.	290 °C after T/C

Table 8. Operating Data by Engine Power (Tier II mode)

Power	%	100	75	50	25	10
Engine Power	kW	1,120	840	560	280	112
Exh. Gas Flow	kg/h	6,747	5,189	3,609	2,234	1,713
SV	l/hr	18,406	14,156	9,845	6,094	4,673
AV	m/hr	14.3	11.0	7.7	4.7	3.6
Inlet SCR temp. (=T/C outlet Temp.)	°C	290	330	390	380	330

환원제는 향후 실선 Test를 위해 Urea 투입량을 환산하여 암모니아(NH₃)를 사용하였다. 실험 촉매를 거쳐 정화된 모사 배출가스 중 NO_x를 분석하기 위하여 비분산형 적외선 분석법(Non dispersive infrared analysis, NDIR)을 이용하여 분석하였다. 분석된 NO_x의 저감 성능을 평가하기 위한 방법으로는 IMO의 MEPC 291 (71)의 Scheme B test 절차를 준수하였으며, 해당 문서에 기술되지 않은 세부 사항은 SCR 촉매 평가 방법을 다루고 있는 대한전기협회(Korea Electric Association) 전력산업기술기준(Korea Electric Power Industry Code)의 GGN-1 배연 탈질 촉매 시험 지침을 인용했다(Guideline for the Testing of DENO_x Catalysts)(KEA, 2010). 또한 부하별 NO_x 저감율을 계산할 때, 10% 부하는 SCR이 운전되지 않는 영역이므로 배제하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 100CPSI(60cell) 촉매 NO_x reduction 성능 시험 결과

100CPSI(60cell) 크기의 촉매를 제작하여 실험을 실시하였다. 측정값은 IMO NO_x Technical Code 2008(IMO, 2008)을 근거하여 가중치 계수를 반영한 뒤 계산하였다. SCR 가동 시 NO_x 전환율은 다음 식으로 구하였고 그 결과를 Table 9에 나타내었다.

선박 발전기관용 SCR 촉매의 셀 밀도차에 따른 NO_x 저감 특성

$$\eta[\%] = \frac{C(NOx_0) - C(NOx_R)}{C(NOx_0)} \quad (4)$$

$\eta[\%]$: NO_x 전환율

$C(NOx_0)$: 초기 NO_x 농도

$C(NOx_R)$: 촉매환원작용후 NO_x 농도

또한 비교를 위하여 세계로호에 설치된 SCR의 NO_x 측정 결과를 Table 10에 나타내었다(NO_x Technical File by HHI, 2017).

Table 9. The Experimental Results of 100CPSI(60cell) Catalyst

Gaseous Emission Data							
Engine Power	%	100	75	50	25	10	
NO _x concentraion (Dry)	ppm	904	759	688	633	418	Tier II
NO _x concentraion (Dry)	ppm	80	67	86	83	418	Tier III
NO _x conversion (SCR Reduction rate)	%	91.2	91.2	87.5	86.8	-	
NO _x specific	g/kwh	0.74	0.64	0.86	1.04	10.18	
Test Cycle (D2)*	g/kwh	0.99	*(CIMAC, 2008)				

Table 10. The NO_x Technical File for T/S SEGERO SCR

Project	S147 constant speed auxiliary engine (Tier III_D2)					
Engine Type	HYUNDAI-HIMSEN 6H21/32					
Engine NO.	KBA006431-1					
Test Date	June 15, 2017					
Gaseous Emission Data						
Engine power (actual)	%	100	75	50	25	10
	kW	1120.0	840.0	560.0	280.0	112.0
Exhaust gas temp. at T/C outlet	℃	345.0	370.0	390.0	380.0	330.0
Exh. gas temp. at the inlet of the SCR	℃	311.0	325.0	341.0	328.0	-
Exh. gas temp. at the outlet of the SCR	℃	321.0	333.0	345.0	340.0	-
NO _x concentration (Dry)	ppm	216	188	166	164	418
SCR reduction rate (compared with Tier II)	%	78.0	77.4	78.7	78.0	-
NO _x specific	g/kWh	1.99	1.81	1.67	2.05	10.18
Test Cycle (D2)	g/kWh	2.00				

NO_x Technical Code에 준하여 100CPSI 촉매의 성능을 측정하였다. 해당 엔진을 각 부하(100%, 75%, 50%, 25%, 10%)별로 Tier II 모드로 운전한 조건 및 결과는 엔진제작사에서 제공한 자료를 근거로 하였다(NO_x Technical File by HHI, 2017). Tier II 운전 시 발생한 NO_x의 농도는 SCR이 운전되지 않는 10%의 부하를 제외하고 100%의 부하에서 904ppm으로 가장

높게 측정되었고 25% 부하에서 633ppm으로 가장 적게 측정되었다. 100CPSI 촉매의 성능 측정 시 이와 동일한 배기가스 농도를 모사하여 SCR 촉매에 투입 후 NH₃를 추가로 투입하여 Tier III 모드로 모사 운전한 결과, 각 부하별 발생한 NO_x의 농도는 10% 부하를 제외하고 약 70~90ppm수준으로 측정되었다. 환원제 투입량이 부하별로 달라지므로 발생하는 NO_x의 농도는 일정하게 유지된다. Fig. 4는 100CPSI(60cell) 촉매 실험 후 확인된 NO_x 농도를 그래프로 나타낸 것이다(단, SCR 운전 조건이 아닌 10% 데이터는 무시한다.)

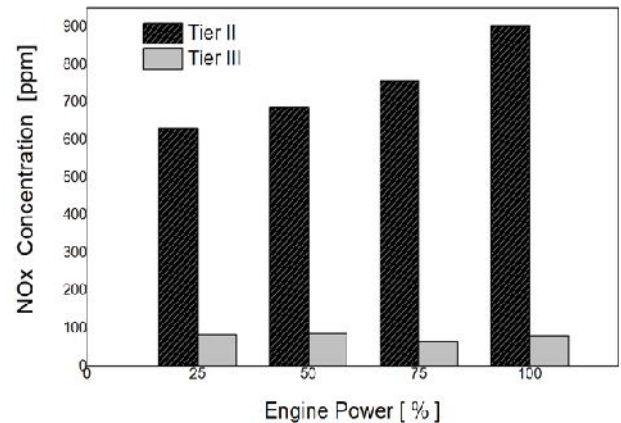


Fig. 4. Experimental Results of NO_x Reduction with the 100CPSI (60cell) Catalyst.

Tier II 모드와 Tier III 모드 시 측정된 NO_x 농도차는 100% 부하에서 가장 컸다. 이는 환원제의 공급 상태에 따라 달라질 것으로 예상된다. 세계로호 SCR의 디젤엔진 운전 조건은 배기가스 온도 290℃ 이상으로 설정되어 있으며, 대부분의 탈질촉매는 다른 조건이 동일하다면, 300℃~400℃ 범위의 온도에서 환원반응이 매우 활발하게 이루어지는 것으로 보고되고 있으나(Hong, 2007), 환원제의 농도가 NO_x 농도 대비 동등 이하의 조건에서는 환원제의 투입량, 혼합도, 산화반응에 의한 소모 등으로 인해 실험상 오차가 발생할 수 있다.

3.2 100CPSI(60cell) 촉매와 25.8CPSI(30cell)촉매 Tier III 운전 시 NO_x 발생량 비교 결과

100CPSI촉매의 NO_x Specific value는 각각의 부하별로 0.74g/kwh, 0.64g/kwh, 0.86g/kwh, 1.04g/kwh, 10.18g/kwh로 측정되었다. 25.8CPSI(30cell) 촉매의 경우, 1.99g/kwh, 1.81g/kwh, 1.67g/kwh, 2.05g/kwh, 10.18g/kwh로 측정되어 Specific NO_x 기준 100CPSI 촉매에 비하여 약 2배 가량 더 많이 발생하고 있었다. Fig. 5는 두 촉매의 NO_x Specific Value를 그래프로 나타낸 것이다. 두 촉매를 Tier III 조건으로 운전한 뒤 발생하는

NO_x Specific Value을 근거로 하여 IMO NO_x Technical Code의 가중치 계수를 적용한 NO_x 배출량은 100CPSI축매의 경우 0.99g/kwh로 계산되어 IMO Tier III NO_x 배출기준을 만족하고 있었다. 이 수치는 2.00g/kwh였던 25.8CPSI(30cell) 축매에 비하여 약 1.01g/kwh 줄어든 수치이며 Tier III 배출기준인 2.31g/kwh 기준으로 기준 값 대비 43.7% 적은 수치이다. 25.8CPSI(30cell) 축매의 경우, Tier III 배출기준에 비하여 약 60% 수준이었으며 100CPSI(60cell) 축매와 25.8CPSI(30cell) 축매의 배출량을 비교하면 IMO specific NO_x 기준으로 약 2배 정도의 차이를 보이고 있음을 확인 할 수 있었다.

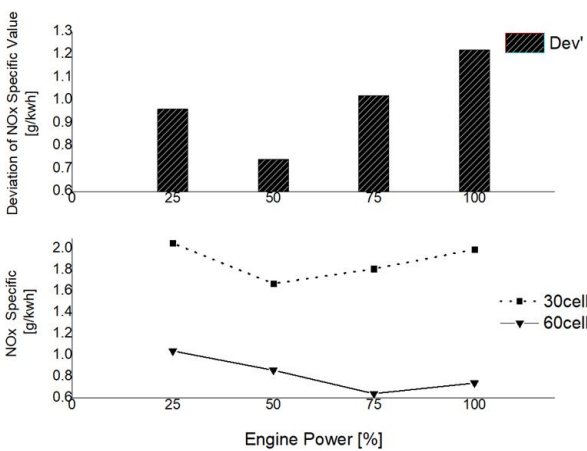


Fig. 5. DeNO_x Specific Comparison between 100CPSI(60cell) & 25.8CPSI(30cell) at Tier III Condition.

일반적으로 고밀도 셀 축매를 사용하면 NO_x 저감율이 높아지는 것으로 보고되고 있으며 본 실험을 통하여 산술적인 수치를 확인하였다. 향후 셀 밀도차에 의한 NO_x 저감율에 영향을 미치는 환원제 등에 대한 실험자료를 추가하여 연구에 대한 정확성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 100CPSI(60cell) 고밀도 셀 축매를 선박용 디젤 엔진에 적용하기 위한 중간 단계의 연구 과정으로서 축매의 밀도차가 NO_x의 저감 성능 및 특성에 주는 영향을 확인하기 위하여 Lab. Scale의 실험을 진행 한 것이다. 또한 기존에 실습선 세계로호에서 사용되던 25.8CPSI(30cell) 축매와의 비교를 통하여 100CPSI(60cell)셀 축매의 NO_x의 저감률을 확인하였다. 본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

NO_x 저감율은 100CPSI(60cell) 축매의 경우 25~100% load 평균 NO_x ppm농도 기준 저감율은 약 89%(Specific NO_x g/kWh

기준으로는 88%)이었으며, 25.8CPSI(30cell) 축매에 비하여 약 11% 높은 것으로 확인되었다. NO_x 실제 배출량은 100CPSI(60cell) 축매의 경우, 약 0.99g/kwh 이었으며, 25.8CPSI(30cell) 축매의 비하여 약 44% 적은 것으로 확인되었다.

100CPSI 축매의 실험 결과에 따라 25.8CPSI 축매 대비 동등 이상의 NO_x 저감 성능 확보를 위해 사용되는 축매량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 계산 결과, 490mm 대비 175mm만 사용하여도 가능할 것으로 예상된다. 사용되는 축매 부피의 차이는 결국 선박의 효율적인 공간 확보에 일부 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구는 Tier II 기준 투입 조건을 일치시킨 뒤 비교대상을 단순화하여 발생한 NO_x의 농도와 질량의 감소치만을 비교한 것이고 실험실에서 진행했다는 한계가 있다. 때문에 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 실선 테스트 등의 진행이 추가로 필요할 것으로 사료된다. 실제 운항중인 선박에서의 실험은 심한 진동이나 높은 온도 등 다양한 환경적인 변화에 노출 될 수 있으며 셀 밀도 차이에 의한 배압 변화 등에 대한 후속 연구가 함께 수행되면 의미있는 연구가 될 것으로 판단한다.

References

- [1] Bae, M. W., J. H. Ryu, S. W. Kim, and H. S. Park(2020), A Study on Reduction Characteristics of NO_x Emissions by SCR and EGR Systems in a Large Two-stroke Diesel Engine, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineering B, Vol. 44, No. 7, pp. 449-457.
- [2] CIMAC(The International Council on Combustion Engines) (2008), Emission Calculation Check Guide-IMO NO_x Technical Code.
- [3] HHI(2017), NO_x Technical File for 6h21/32.
- [4] Hong, S. H.(2007), Technological Trends of DENITRATION CATALYST (탈질축매 기술동향), Ceramist Vol. 10, No. 1, pp. 53-64.
- [5] IMO(International Maritime Organization) 2017 GUIDELINES ADDRESSING ADDITIONAL ASPECTS OF THE NO_x TECHNICAL CODE 2008 WITH REGARD TO PARTICULAR REQUIREMENTS RELATED TO MARINE DIESEL ENGINES FITTED WITH SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION (SCR) SYSTEM (2017), MEPC 291 (71) : Scale Test Method (Scheme B)
- [6] IMO(International Maritime Organization) NO_x TECHNICAL CODE(2008), MEPC 57/WP.7/ADD.2.
- [7] Jeong, G. Y., B. J. Im, and S. S. Lee(2012), Feature: Current

State of Technology Development for Green Ship SCR System - Technology Trend for Catalyst of SCR System (특집:녹색선박 SCR시스템 기술개발 현황 - SCR 시스템 촉매 기술동향), State of the art report (機械와 材料), Vol. 24, No. 2, pp. 38-46.

- [8] Joakim, R. T., T. Slabiak, and N. White(2010), Ammonium bisulfate inhibition of SCR catalysts.
- [9] KEA(Korea Electric Association)(2010), KEPIC (Korea Electric Power Industry Code), Guideline for the Testing of DENO_x Catalysts.
- [10] Lee, S. W.(2017), An Experimental Study on NO_x Reduction Performance of Low Pressure SCR System, Korea Maritime & Ocean University.
- [11] Lim, K. S., M. H. Lim, J. G. Nam, and W. H. Han(2019), A Study on Operating Characteristics of Main Engine LP-SCR System for Ships, Autumn Academic Conference of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 2019, No. 11, p. 221.
- [12] Park, J. W.(2016), The experimental study on the NO_x removal efficiency according to the cell density of the SCR catalyst, Kyungpook National University.
- [13] Park, J. W., S. S. Park, K. W. Ku, and J. G. Hong(2016), Effect of NO_x Removal Efficiency according to Space Velocity and Linear Velocity of SCR Catalyst, Journal of the ILASS-KOREA, Vol. 21, No. 2, pp. 71-77.
- [14] Won, J. M. and S. C. Hong(2019), Selective Catalytic Reduction (SCR) Technology Trend for the Removal of Nitrogen Oxide from Ship Flue Gas, Korean Industrial Chemistry NEWS, Vol. 22, No. 5, pp. 25-40.

Received : 2022. 09. 21.

Revised : 2022. 10. 06.

Accepted : 2022. 12. 28.