

## 대형 상용 엔진에서 SCR의 클리닝 주기 선정 및 저감효율에 따른 내구신뢰성 특성 연구\*

신재식<sup>1†</sup> · 강정호<sup>1</sup> · 김형준<sup>2</sup>

<sup>1</sup>자동차부품연구원, <sup>2</sup>(주)동아이엔씨

---

## Cleaning Interval Selection for SCR Considering Endurance Reliability and Emissions Reduction Efficiency in Heavy Duty Commercial Engine\*

Jaesik Shin<sup>1†</sup> · Jungho Kang<sup>1</sup> · Hyongjun Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Automotive Technology Institute, <sup>2</sup>Dong-Ah ENC

**Purpose:** Performance recovered from SCR through cleaning was studied, measuring differential pressure, NOx reduction efficiency, fuel consumption and engine power before and after cleaning. Ideal cleaning intervals are proposed based on SCR mileage and differential pressure. SCR endurance and reliability improvements through cleaning were studied through physicochemical testing of SCR durability at 43,000km 50,000km, and 110,000km respectively.

**Methods:** Engine power, fuel consumption and exhaust gas were measured using engine full load tests and ND-13 MODE by installing the SCR before cleaned at total engine mileages of 400,000 km, 300,000km and 200,000km. The same tests were performed after cleaning the SCR catalytic converter. Endurance and reliability of the SCR cleaning was studied through the same test by SCR catalyst after each 43,000km 50,000km, 110,000km, durability test on SCR cleaning.

**Conclusion:** We confirmed the low-performance of the SCR due to clogging is restored by SCR cleaning technology. The NOx reduction efficiency was restored to 82%, 86% and 88% from 69%, 72% and 79%. As well as the NOx reduction efficiency, it was confirmed that the engine power, fuel consumption and back pressure was restored to fresh SCR levels. As a result of the durability and reliability achieved through SCR cleaning, we confirmed the appearance and reduction efficiency through visual inspection and ND-13 MODE are similar to new SCR catalysts. Finally, it was judged that there was no change in performance even when driving the SCR without cleaning throughout the 100,000 km mileage warranty.

**Keywords:** Diesel Engine, SCR Cleaning, NOx Reduction Efficiency

---

\* 본 연구는 환경부 Global-Top Project 친환경 자동차 기술개발사업단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사합니다

† 교신저자 jsshin@katech.re.kr

20187년 1월 31일 접수; 2018년 3월 19일 수정본 접수; 2018년 3월 20일 게재 확정.

# 1. 서론

## 1.1 연구배경

자동차 기술의 개발은 초기에는 효율과 안전에 초점이 있었지만, 차량의 증가함에 따라 배출가스의 양이 증가하면서 환경에 미치는 영향을 줄이기 위해 엄격한 배기규제가 적용되기 시작하였다. 따라서 특정 시장에 차량을 판매하기 위하여 지역별 배출규제를 충족시켜야 한다[1-2]. 자동차에서 연료가 연소되면 다양한 배출가스들이 발생하는데 이러한 배기가스의 주성분은 미연소 탄화수소, 일산화탄소, 질소산화물(NOx), 입자상 물질(Particulate Matter; PM) 등이 있다. 특히, 질소산화물과 미립자물질 배출을 줄이기 위해 다양한 기술이 개발되었는데, 이 중 후처리 기술로써 디젤 미립자 필터(Diesel Particulate Filter; DPF)는 배출가스를 대기 중으로 배출하기 전 필터를 통해 미립자물질을 걸러내 미립자물질을 저감시키는 후처리장치이며, 선택적 환원 촉매(Selective Catalytic Reduction; SCR)는 디젤 엔진의 배기가스 흐름에 환원제를 분사하여 촉매를 통해 질소산화물을 저감시키는 후처리기술이다. SCR 촉매는 80% 이상의 뛰어난 NOx 저감효율을 보이지만 귀금속으로 이루어져 있어 비용이 많이 드는 단점이 있어 신뢰성 향상이 중요하다[3-7]. 그러나 엔진에서 배출되는 PM의 축적 및 엔진오일의 흡착 등의 요인들로 인하여 SCR의 내구신뢰성을 저하시킨다. SCR의 내구성능 저하는 질소산화물 저감 효율 감소뿐만 아니라 배압증가로 인한 출력저하 및 연비손실이 발생하게 된다. SCR 막힘이 과도하게 발생되면 SCR을 신규촉매로 교체하여야 하지만 SCR 클리닝 기술을 통하여 신규촉매 교체비용을 낮출

수 있다. SCR 클리닝 기술은 SCR의 유지 및 관리 비용을 효과적으로 절감할 수 있는 기술로 경제성과 친환경성 둘 다 확보가 가능하다. 그러나 SCR 막힘에 따른 SCR 클리닝 시점에 대해 정해진 바가 없으며, 또한 SCR 클리닝의 주기가 정해지지 않아 SCR 클리닝 기술의 실제 산업 적용에 어려움이 있다. SCR 클리닝 산업의 효과적 진입 및 확대 강화를 위해서는 기술 및 제품의 품질과 신뢰성에 대한 예측 및 보증이 매우 중요하다[8-10].

## 1.2 연구목표

본 연구는 200,000km, 300,000km, 400,000km를 주행한 SCR을 클리닝 전과 후에 엔진에 장착하여 대형자동차 배출가스 시험(ND-13 MODE)를 통하여 SCR의 차압, NOx 저감효율, 연료소모량, 엔진 출력 등을 바탕으로 SCR 클리닝 후 SCR의 성능회복에 대해 실험적으로 파악하고, SCR의 주행거리 또는 SCR 차압에 따른 SCR 클리닝 시점을 제시한다. 그리고 클리닝을 실시한 SCR의 내구신뢰성을 확인하기 위하여 클리닝 후 SCR을 실제 차량에 장착 후 43,000km, 50,000km, 110,000km 내구주행을 실시한 후 동일한 시험을 통하여 SCR 촉매의 화학적, 물리적 변화에 대하여 내구성을 평가한다.

# 2. 실험장치 및 실험조건

## 2.1 실험장치

### 2.1.1 실험엔진 및 시험장비 구성

<Fig. 1>은 본 연구의 실험 장치에 대한 개략도로

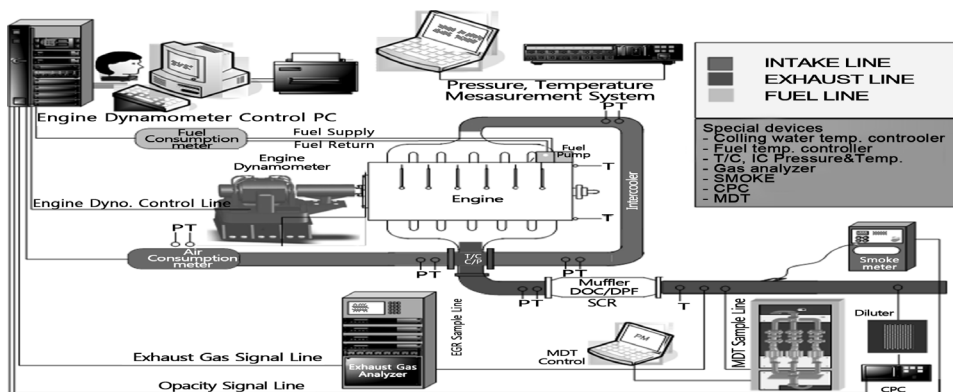


Fig. 1 Experiment schematic diagram systems

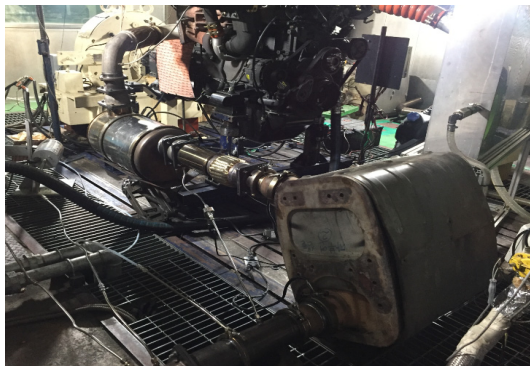
**Table 1** Engine specification

| Description            | Specification                      |
|------------------------|------------------------------------|
| Cylinder[-]            | 6, In-line                         |
| Displacement[cc]       | 12,344                             |
| Rated power[PS]        | 420                                |
| Maximum torque[Nm]     | 1,800                              |
| Type of Fuel Injection | CRDI                               |
| Emission Standards     | EURO-III                           |
| Engine type            | 4 Cycle, Intercooler, Turbocharger |

시험엔진, EC동력계, 압력센서, 온도센서, 배기가스 분석기, 마이크로 희석 터널(Micro Dilution Tunnel; MDT), 차압센서, 후처리장치(DPF+SCR) 등으로 구성된다. 본 연구에 사용된 엔진은 420마력급 커먼레일(Common Rail Direct Injection;CRDI) 엔진으로, 배기가스 재순환(Exhaust Gas Recirculation; EGR), 터보차저, 인터쿨러가 적용되며, 엔진의 자세한 제원은 <Table 1>에 나타내었다. 엔진동력계는 MEDEN의 380kW급 EC 동력계를 사용한다. 그리고 PM측정을 위하여 NOVA사의 MDT를 사용하며, 배기가스 분석계는 HORIBA사의 MEXA-9100DEGR을 사용한다.

**2.1.2 후처리 시스템**

본 연구에 사용된SCR 장치는<Fig. 2>와 같이H사의 10L급 요소수(Urea)-SCR로 엔진배기관의DOC+DPF 후단에 장착한다.SCR시스템은urea분사 제어기 및urea펌프, urea탱크, SCR 전단및 후단NOx 센서, 배기 유량센서, 배기 압력센서, 온도센서,SCR 장치의 전단과 후단사이의 차압을 측정하기 위한 차압센서로 구성된다



**Fig. 2** Photograph of SCR system

**Table 2** Mileage of SCR samples

| Description | Before SCR cleaning mileage | After SCR cleaning mileage |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|
| SCR #1      | 400,000km                   | 50,000km                   |
| SCR #2      | 300,000km                   | 110,000km                  |
| SCR #3      | 200,000km                   | 43,000km                   |

**2.2 실험 방법 및 조건**

시험 방법은 클리닝 전 SCR을 엔진에 장착하여 전 부하 성능시험 및ND-13 MODE를 통하여 출력 및 연료소모량, 배출가스를 측정하고 클리닝 후 SCR을 엔진에 장착하여 동일한 시험을 수행한 후SCR 성능 변화를 비교한다. 그리고 클리닝 후 SCR을 실차에 장착하여 내구주행을 실시한 후 엔진에 장착하여 동일한 시험을 수행하여SCR 클리닝에 대한 내구신뢰성 평가를 진행한다. 시험에 사용된SCR을 샘플별로 클리닝 전 주행거리와 클리닝 후 내구주행한 거리는<Table 2>에 나타내었다.

**3. 실험 결과**

각 샘플별 SCR 클리닝 전, 후에 최대출력지점 운전 및 ND-13 MODE 주행주기 따라 배출가스저감효율 및 출력, 연료소모량을 측정하였으며, 클리닝 후 내구주행을 실시한 후 동일하게 최대출력운전 및ND-13 MODE에 따른 배출가스 저감효율 및 출력, 연료소모량을 비교하였다.

**3.1 ND-13 MODE 주행을 통한 SCR 클리닝 전, 후 배출가스 비교**

SCR 클리닝 전, 후SCR #1, #2, #3 샘플을 각각 엔진에 장착하여ND-13 MODE 주행을 통하여 배출가스 저감효율을 비교하였으며, 클리닝 후 각 샘플을 실차에 장착하여 내구주행을 실시한 후 동일한 시험을 실시하여 SCR 클리닝에 대한 내구성 평가를 진행하였다.<Fig. 3> ~<Fig. 6>은 각 샘플별로 Muffler상태에서의 측정값 대비 배출가스 저감효율을 비교한 그래프이다.SCR 클리닝 결과각SCR 샘플별로 NOx 저감효율은<Fig. 3>과 같이 69%, 72%, 79%에서 82%, 86%, 88%로 성능이 복원되

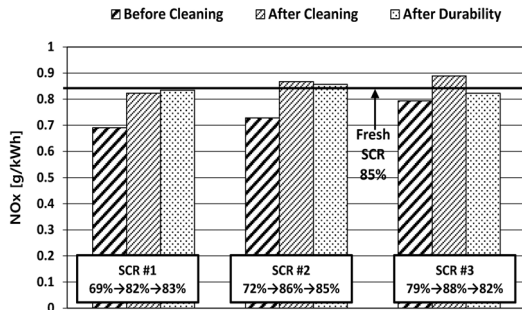


Fig. 3 Comparison of the NOx reduction rate according to the SCR cleaning application and after durability

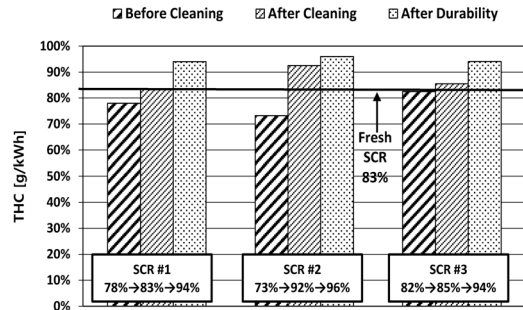


Fig. 4 Comparison of the THC reduction rate according to the SCR cleaning application and after durability

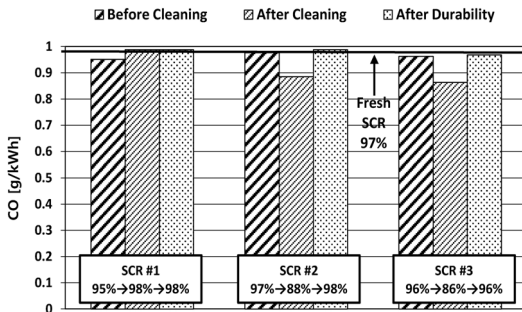


Fig. 5 Comparison of the CO reduction rate according to the SCR cleaning application and after durability

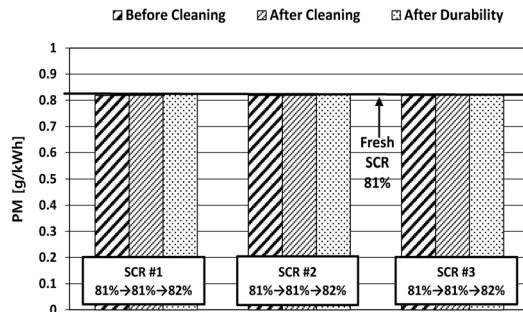


Fig. 6 Comparison of the PM reduction rate according to the SCR cleaning application and after durability

있으며, THC는 78%, 73%, 82%에서 83%, 92%, 85%로 복원되었다. CO저감효율의 경우 샘플별로 저감 성능이 각각 95%, 97%, 96%에서 98%, 88%, 86%로 바뀌었다. 클리닝을 통해 성능이 복원된SCR을 실차에 장착하여 각각 50,000, 110,000, 43,000km 내구주행을 실시한 후 다시 동일한 엔진에 장착하여ND-13모드를 통해 클리닝 후 SCR과 비교한 결과, NOx 저감효율은Muffler 상태 대비 83%, 85%, 82%로 성능이 비슷하게 유지되거나 다소 낮게 측정되었다. THC 저감효율의 경우94%, 96%, 94%로 성능이 유지되었으며 CO 저감효율의 경우도 98%, 88%, 86%로 성능이 유지되었다 PM의 경우DPF에 의해 배출가스가 저감되어SCR 클리닝의 영향을 받지 않아클리닝 전, 후 및 내구주행 후 모두 저감효율이 81%~82% 수준으로 나타났다.

### 3.2 SCR 클리닝 전, 후 출력 및 연료소모량 비교

<Fig. 7>~<Fig. 9>는 각 샘플별로 SCR 클리닝 전,

후 및 내구 주행 후 SCR을 엔진에 장착하여 최대 출력 지점에서 출력, 연료소모량 및SCR 차압을 측정 한 결과이다. 클리닝 결과 출력의 경우 <Fig. 7>과 같이 각 샘플별로 Muffler 상태 대비 42%, 93%, 97% 수준에서 99%, 98%, 98% 수준으로 성능이 복원되었으며 연료소모량의 경우 <Fig. 8>과 같이 83%, 92%, 98% 수준에서 3개 샘플 모두 다 Muffler 대비 98% 수준으로 성능이 회복되는 것을 확인하였다. 차압은 SCR의 물리적인 막힘현상을 가장 잘 나타내는 측정값으로 수치가 클수록 SCR이 폐쇄되었다는 것을 의미한다. SCR 클리닝을 실시한 결과SCR #1의 경우 77% 수준으로 차압이 줄어들어 Fresh SCR과 비슷한 성능으로 회복되었다. SCR #2는 약 71%, SCR #3은 64% 수준으로 차압이 줄어들었으며, 이는 SCR의 주행거리가 늘어날수록 SCR 막힘현상이 커지는 것을 의미한다. SCR 클리닝 후 내구주행 결과 출력, 연료소모량, SCR 차압성능이 클리닝 직후와 비슷하게 유지되는 것을 확인하였다.

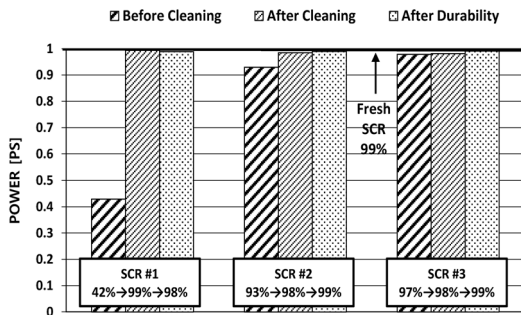


Fig. 7 Comparison of the engine power according to the SCR cleaning application and after durability

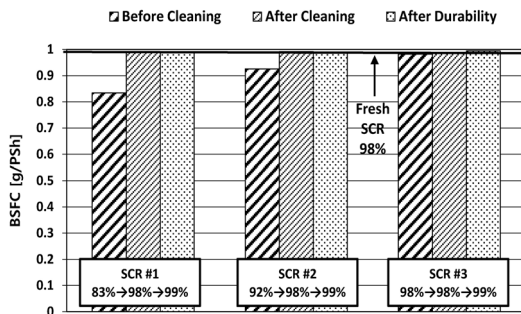


Fig. 8 Comparison of the BSFC according to the SCR cleaning application and after durability

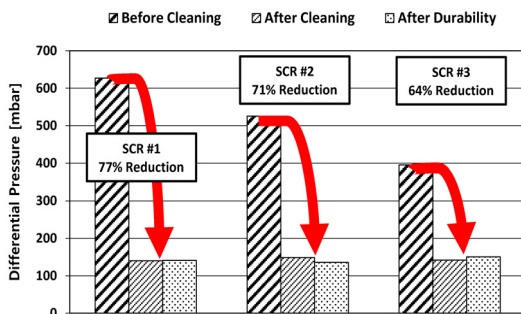


Fig. 9 Comparison of the SCR differential pressure according to the SCR cleaning application and after durability

#### 4. 결론

본 연구에서는 대형 상용 디젤엔진에서 SCR 클리닝의 주기선정에 대해 알아보기 위하여 Fresh SCR을 각각 400,000km, 300,000km, 200,000km 실차 주행을

하고 마일리지 별 시험을 진행하였으며 SCR 클리닝 후 Fresh SCR과 비교하여 SCR 클리닝의 성능 복원에 관하여 실험적으로 알아보았다. 그리고 SCR 클리닝 후 SCR을 실차에 장착하여 110,000km, 50,000km, 43,000km 내구주행을 통하여 SCR 클리닝에 대한 내구신뢰성 평가를 진행하였으며, 본 연구에서 도출한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다

- 1) 기존 운행되던 SCR를 마일리지 별로 나누어 ND-13 모드를 통한 배출가스 저감효율 및 SCR 배압과 출력, 연료소모량을 측정된 결과, 마일리지 거리가 늘어날수록 SCR의 성능이 낮아지는 현상이 나타났다 특히, NOx 저감효율의 경우 400,000km 주행 SCR은 69%, 300,000km 주행 SCR은 72%, 200,000km 주행 SCR은 79%로 Fresh SCR에 비해 성능이 다소 낮게 측정되었으며, 출력의 경우 base대비 42%, 93%, 97% 수준으로 측정되었다. 시험 결과 출력성능 저하의 정도를 고려하여 SCR 클리닝 시점은 최초 Fresh SCR을 장착하고 최대 300,000km 주행 시 SCR 클리닝이 필요한 것으로 판단된다
- 2) 오염에 의한 SCR 막힘 현상 등으로 성능이 낮아진 SCR을 SCR 클리닝 기술을 통해 성능을 복원하였으며, 그 결과 NOx 저감효율은 각각 82%, 86%, 88%로 성능이 복원되었으며, 출력은 base 대비 99%, 98%, 98%수준으로 복원되었다. 그리고 저감효율 및 출력뿐만 아니라, 연료소모량, SCR 배압이 Fresh SCR 측매 수준으로 성능이 복원되는 것을 확인하였다.
- 3) SCR 클리닝 기술을 적용한 SCR을 클리닝 후 실차에 장착하여 내구주행을 실시한 후, 각 샘플 별로 육안검사 및 ND-13을 통한 배출가스 저감효율 성능측정을 실시한 결과 저감효율, 출력, 배압, 연료소모량 등 SCR 성능이 SCR 클리닝 직후의 성능과 유사한 것으로 측정되어 DPF 클리닝 주기 기준으로 설정한 SCR 클리닝의 보증 마일리지인 100,000km를 주행하여도 성능의 변화가 없는 것으로 판단하였다.
- 4) 본 연구를 통해 분석된 시험데이터를 활용하여 SCR 클리닝에 대한 기술 개발 및 신뢰성 확보에 필요한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다

## References

- [1] Walke, N. H., Bannur, M. V., Gothekar, S. A., Mishra, P., Sawant, S. M., Ramdasi, S. S., Dhande, N. B., and Marathe, N. V. (2009). "Development of 3.9 liter Diesel Engine to Meet Euro IV Emission Norms". SAE Technical Paper 2009-26-0024.
- [2] Chatterjee, S., Naseri, M., and Li, J. (2017). "Heavy duty Diesel Engine Emission control to meet BS VI Regulations". SAE International.
- [3] Nishiyama, H., Tanaka, Y., Adachi, T., Kawamura, S., and Daisho, Y. (2015). "A Study on the Improvement of NOx Reduction Efficiency for a Urea SCR System". SAE Technical Paper 2015-01-2014.
- [4] Sato, S., Nakamura, Y., Hirabayashi, H., Sato, S., and Hosoya, M. (2015). "Characterization of Emissions from Urea-SCR and DPF System for Heavy Duty Engine". SAE Technical Paper 2015-01-2016.
- [5] Akash, K. I., Deodatta, D., and Sunnil, V. (2017). "A Review on Selective Catalytic Reduction Technique for Diesel Engine Exhaust After Treatment". IJCET INPRESSO, Vol. 7, pp. 206-210.
- [6] Andrews, G. E., Li, H., Hadavi, A. S., Dizayi, B. and Tomlin, A. S. (2016). "Real World Emissions Performance of a HDD Truck with Urea SCR NOx Control". 5th International Exhaust Emissions Symposium, Poland.
- [7] Lee, T. Y. and Bai, H. (2011). "Low Temperature Selective Catalytic Reduction of NOx with NH3 over Mn-Based Catalyst". AIMS Environmental Science, pp. 261-289.
- [8] Nam, K. H. (2015). "The Study of International Reliability Standards Specifications". Journal of Applied Reliability, Vol. 15, No. 2, pp. 101-107.
- [9] Kwon, Y. I. (2017). "Service Life Prediction of Components or Materials Based on Accelerated Degradation Tests". Journal of Applied Reliability, Vol. 17, No. 2, pp. 103-111.
- [10] Chung, W. Y., Min, J. W. Park, D. K., Choi, J. W. Choi, W. S., and Kim, S. D. (2015). "Reliability Assessment Criteria of Differential Pressure Sensor for DPF". Journal of Applied Reliability, Vol. 15, No. 1, pp. 67-75.