

선택적 환원촉매(SCR)장치에서 배기관내에 분사된 환원제 분포에 관한 연구

A Study on the Distribution of Injected Urea into the Exhaust Pipe in a SCR System

최정황 · 이영철 · 이성욱 · 조용석 · 이승호 · 오상기 · 동윤희

J. H. Choi, Y. C. Lee, S. W. Lee, Y. S. Cho, S. H. Lee, S. K. Oh and Y. H. Dong

(접수일 : 2009년 11월 17일, 수정일 : 2010년 2월 8일, 채택확정 : 2010년 2월 18일)

Key Words : Scr(선택적 환원촉매), Pm(입자상물질), Nox(질소산화물), After-Treatment System(후처리장치), Visualization(가시화)

Abstract : This research focused on the spray and distribution characteristics of urea solution by applying flow visualization techniques and did durability and driver test on injectors as well. The spray characteristics of urea solution was observed by CCD camera. Also, the distribution characteristics of urea solution was evaluated quantitatively as well by using 3D laser scanner equipment. It was considered that it was reasonable to use the injector for gasoline engine in order to inject the urea. The best distribution chart result was observed near 45cm distance difference between catalyst and urea spray injector. As a result of trapped urea distribution chart analysis, optimal pressure and volumetric flow rates of air and urea were derived in order to improve the distribution of Urea. This information may contribute to provide fundamental data in the future.

1. 서 론

디젤 기관에서 주로 배출되는 유해물질은 일산화탄소(CO)와 탄화수소(THC), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 등 가스상물질과 입자상물질(PM)로 구성되어 있다¹⁾. 일반적으로 디젤 기관은 과잉 공기 상태에서 연소하므로 CO와 HC는 크게 문제시 되지 않으나 NOx 및 PM이 주로 많이 배출된다²⁾. NOx 저감의 경우, 디젤기관에서의 De-NOx 후처리 기술은 크게 3가지 종류 즉 NSR, NH3 SCR 및 HC SCR로 나눌 수 있다. 이 중 NH3 SCR의 방식을 좀더 세분화하면 기체 상태인 NH3를 직접 사용하는 NH3 SCR 방식과 urea를 사용하는 urea-SCR 방식으로 나눌 수 있다. NH3 SCR 방식은 기체 상태인 NOx의 정화효율이 최소 70%이상 가능하나 실제로 가스상이기 때문에 연료의 보관 및 인체에 악영향

을 미치는 단점이 있어 사용이 거의 불가능하다^{3,4)}. 이러한 NH3의 단점을 보완할 수 있는 방식이 urea-SCR이다^{5,6)}. urea-SCR 시스템은 배출가스에 요소를 환원제로 분사함으로써 질소산화물을 선택적으로 환원하여 배출가스 내 질소산화물을 저감시켜주는 시스템으로서 암모니아 슬립의 문제와 요소 공급을 위한 사회적 인프라 구축 등의 문제가 있지만 다른 시스템에 비하여 상대적으로 정화효율 및 연비특성이 우수하기 때문에 이미 유럽을 중심으로 중·대형 상용차량에 적용되었다⁷⁻⁹⁾. 본 연구는 대형 디젤기관에서 De-NOx 장치 중 상용화가 가능한 urea-SCR 시스템에 대한 연구로서 urea의 분무 특성을 예측하여 urea 분사시스템의 최적 설계를 위한 기본 자료를 제시하고자 했다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

2.1.1 가시화 장치

실험 장치는 대형트럭에 탑재하여 사용되고 있는 디젤기관(배기량:1200cc)을 대상으로 제작하여 실험

오상기(교신저자) : 경기공업대학 자동차과
E-mail : skoh@kinst.ac.kr, Tel : 031-496-4739
최정황 : CMC(주) 자동차공해연구소
이영철, 이성욱, 조용석, 동윤희 : 국민대학교 자동차전문대학원
이승호 : 경기공업대학 자동차과

을 수행하였다. 가시화를 위해서 분사장치와 촉매장치 부위를 투명한 파이렉스 유리관을 사용하였으며, 파이렉스 유리관은 실험조건에 따라 탈착이 가능하게 제작하였다. Fig. 1, 2에 실험 장치의 사진 및 개략도를 나타내고 있다.

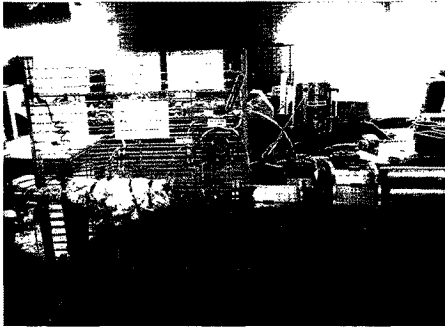
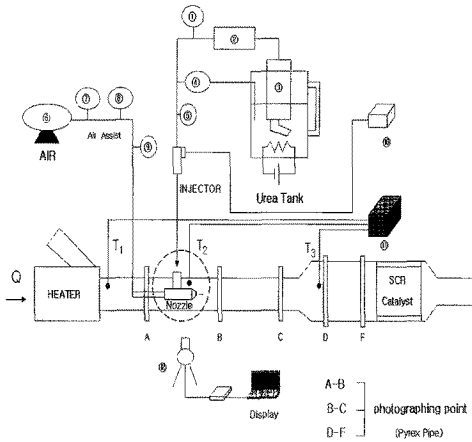


Fig. 1 Experimental apparatus



1. urea Pressure gauge
2. Filter
3. urea Pump
4. urea Regulator
5. urea Flowmeter
6. Air Pump
7. Air Regulator
8. Air Pressure gauge
9. Air Flowmeter
10. Injector Controller
11. Temperature Display
12. High Speed Camera

Fig. 2 Schematic diagram of experimental measuring apparatus

2.1.2 인젝터 컨트롤러

Table 1과 Fig. 3은 인젝터 컨트롤러의 제원과 사진을 나타낸다. 인젝터 컨트롤러에서 인젝터를 구동하는 전기적 신호를 PWM(Pulse Width Modulation) 제어하여 인젝터에 분사되는 urea의 양을 제어하였다.

Table 1 Specifications of injector controller

Items	Specifications
Control Method	Duty / Frequency
Operating Voltage	DC 12 V
Operating Current	2 A

2.1.3 히터

Table 2와 Fig. 3은 히터의 제원과 사진을 나타낸다. 송풍기를 통해서 들어온 공기를 히터를 이용해 가열시켜 가시화장치로 공급하였다. 히터 후단에는 온도센서를 설치하여, 가시화 장치를 들어가기 전 공기의 온도를 측정하였다.

Table 2 Specifications of heater

Items	Specifications
Frequency	50 / 60 Hz
Power	4.5 kW
Regular Current	18~19 A
Control Range	0~700 °C
Voltage	220 / 230 V

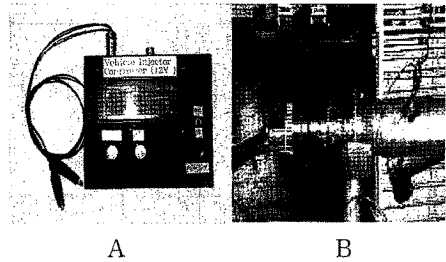


Fig. 3 Injector controller A and heater B

2.1.4 3차원 레이저 스캐너(3D Laser Scanner)

3차원 레이저 스캐너(LDI사, DS4060)는 제품의 3D 데이터의 분석평가를 통한 검증에 할 수 있는 장비로서, 평탄도를 측정하는데 사용하였다. Table 3은 3D laser scanner 장치의 제원을 나타낸다.

Table 3 Specifications of 3D laser scanner

Items	Specifications
Type	Laser Probe Type
Expansion	3D, 2D data analysis & estimation
Accuracy	20 μ m
Available Axis	X, Y, Z, A, V, W
Measurement Range	1000 × 1500 × 635 mm

2.1.5 SCR De-NOx 시스템장치

urea 분사를 위한 인젝터는 가솔린용 인젝터와 분사노즐을 사용하였다. Fig. 4에 인젝터와 노즐의 사진을 보여준다. 배기관내에 SCR 촉매전단에 분사노즐을 장착하고, 분사 노즐은 각각 Air 공급라인과 urea 공급라인으로 연결되어 있으며, urea 공급은 별도의 라인을 통해 인젝터를 이용하여 제어하였다.



Fig. 4 Urea injector & injector nozzle

Fig. 5은 캐닝된 De-NOx 시스템과 촉매의 셀 형상을 보여준다. Table 4는 실험에 사용된 urea의 성분을 나타낸다.

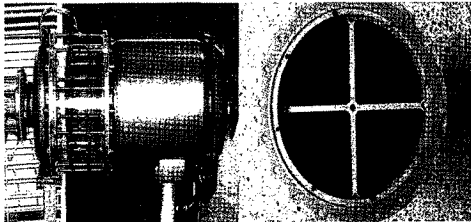


Fig. 5 SCR catalyst canning & catalyst inside

Table 4 Components of urea

Components	Ratio
urea(NH ₂) ₂ CO	99%
Biurut	0.5%
H ₂ O	0.5%
Fe	1 ppm

2.2 실험 방법

2.2.1 인젝터 드라이버 시험 방법

본 실험에서 urea 수용액 분사는 가솔린 엔진용 인젝터를 사용해 분사를 시켰다. urea 수용액의 제어를 위해 인젝터 컨트롤러(드라이버)를 제작하였으며, 그 시험결과를 토대로 정밀한 분사량 제어를 향하였다. 실제 인젝터의 작동범위와 분사량을 알기 위해 인젝터 드라이버의 분사기간을 조절하여 분사량을 측정하였다.

2.2.2 인젝터 내구성 시험 방법

두 개의 가솔린 인젝터를 가지고 하나는 실험 장치에 장착하고 나머지는 절개한 후 비커에 urea 수용액을 담은 후 인젝터 내·외부의 부식여부 및 장시간 방치한 뒤 노즐 Hole의 막힘 유무를 확인하였다. Table 5는 내구성 시험 조건을 나타낸다.

Table 5 Check list of injector durability test

Date	Specifications	Operating time	Remark
First day	M.P.I. Gasoline Injector	8 hours	Good
Second day	Break		
Third day	-	8 hours	Injector no cleaning -Good
Fourth day	-	8 hours	-
One week	Break		
12th day	-	8 hours	-

2.2.3 환원제 분포도 실험 방법

urea는 분사노즐을 통해 분사하고 촉매 전단위치에 편평한 그물망을 제작하여 분사된 urea 수용액을 포집하였다. SCR 촉매전단에서 온도가 100 ℃가 되게 유지시키고, urea 수용액을 각 조건에 맞추어 10분간 분사한 후 그물망에 포집된 urea의 분포를 확인하였으며, 포집된 그물망을 3D 스캐너 장비를 사용해 정량적으로 분포와 및 밀집도를 파악하였다.

3. 실험 결과

3.1 인젝터 내구성 시험

urea 수용액의 물 성분으로 인해 부식이 발생할 것으로 예상 되었으나, urea 수용액과 접촉된 부분에서는 부식이 발생하지 않았으며, 대기와 접촉된 표면부분에서 약간의 녹 발생현상이 나타났다. 실험 장치 테스트에서는 인젝터의 막힘 현상이 나타나지 않았다.

3.2 인젝터 드라이버 시험

인젝터 드라이버의 듀티(duty)비의 실용영역은 40 ~ 100% 영역임을 알 수 있었으며, 40 ~ 90% 영역에서는 선형적으로 유량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 듀티비 40% 미만에서는 인젝터의 노즐팁을 작동시키는데 필요한 전류량의 한계로 인해 인젝터

가 작동하지 않았다.

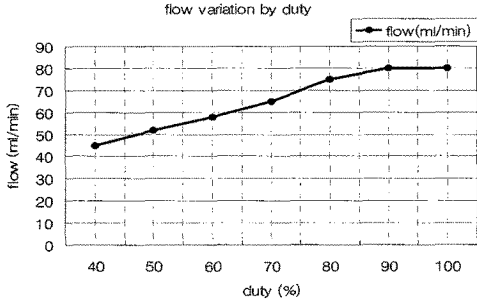


Fig. 6 Flow variation about Injector duty ratio for 1 minute

3.3 환원제 분포도 실험

3.3.1 분사거리에 따른 영향

믹서를 장착한 상태에서 노즐과 촉매 전단과의 거리를 A(=220 mm), B(=450 mm), C(=760 mm)로 변화시키면서 urea 분포에 대해 알아보았으며 공기와 urea의 분사조건은 다음과 같다.

믹서장착 상태에서 거리 A에서는 분무된 urea 수용액이 믹서날개에 고착되는 현상과 함께 촉매전단에

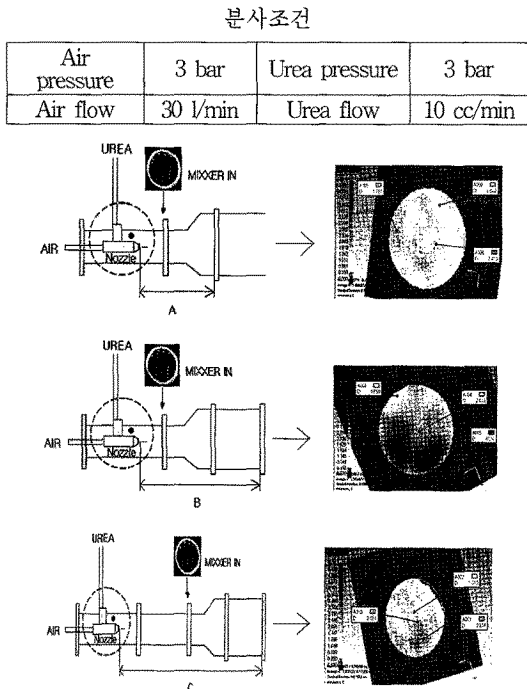


Fig. 7 Distribution results for injection at various distances (220mm & 450mm & 760mm)

믹서장착 상태에서 거리 A에서는 분무된 urea 수용액이 믹서날개에 고착되는 현상과 함께 촉매전단에 고착되어진 덩어리가 나타났으며, 거리 B에서는 안정적으로 분포되는 것을 볼 수 있었다. 포집된 양도 많고 편차도 가장 적은 것으로 나타났다. 마지막으로 거리 C에서는 중력의 영향으로 포집이 아래 쪽으로 집중되는 현상이 나타났다.

3.3.2 믹서장착에 따른 영향

믹서에 의한 urea 분포의 영향을 알아보기 위해서 믹서를 미장착한 상태에서 상기 분사조건과 동일하게 실험을 하였다.

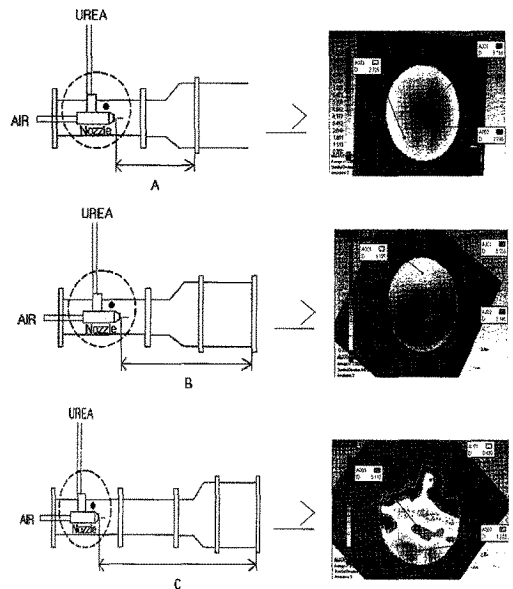


Fig. 8 Distribution results for injection at various distances with no mixer

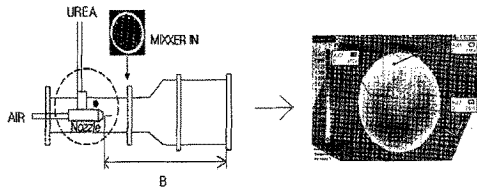
믹서 미장착 상태에서는 믹서장착상태에서 거리 A, B, C에서의 유사한 경향을 보였지만, 편차가 믹서 장착상태보다 컸으며, 거리 C같은 경우는 믹서 미장착시와 장착시에 대한 분포의 차이를 Fig. 7과 비교하여 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

3.3.3 urea 분사량에 따른 영향

믹서를 장착한 상태에서 공기 압력과 양을 일정하게 한 후 urea 양을 변화시켜가면서 분포도를 조사했다.

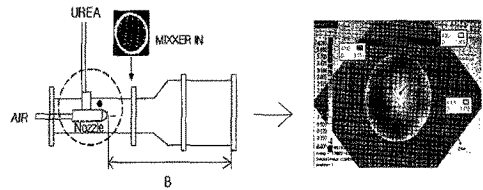
분사조건 A

Air pressure	3 bar	Urea pressure	2 bar
Air flow	30 l/min	Urea flow	5 cc/min



분사조건 D

Air pressure	4 bar	Urea pressure	3 bar
Air flow	40 l/min	Urea flow	10 cc/min



분사조건 B

Air pressure	3 bar	Urea pressure	2 bar
Air flow	30 l/min	Urea flow	15 cc/min

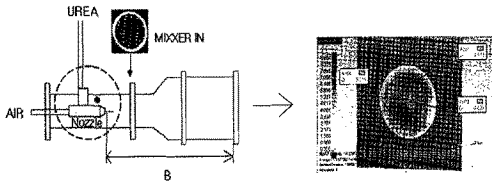


Fig. 9 Distribution results for injection at urea flow(Q) : (5cc/min & 15cc/min)

거리선택은 믹서를 장착한 상태에서 가장 좋은 분포상태를 보였던 B로 하였다. 분사조건 A와 B 모두 양호한 분포상태를 보였으며, 분사조건 B의 경우 분무된 urea가 많아짐에 따라 충분히 무화되지 못하고 땅에 부착된 액적들이 부분적으로 확인되었으나, 온도가 높아짐에 따라 이 같은 현상이 줄어드는 것을 확인하였다.

3.3.4 배기관 유입 공기 압력과 공기 유량에 따른 영향

공기의 압력과 공기량의 변화에 따른 분포도에 미치는 영향은 믹서를 장착한 상태에서 urea 압력과 양을 일정하게 한 후 공기의 압력과 공기량을 변화시키므로써 조사하였다.

분사조건 C

Air pressure	2 bar	Urea pressure	3 bar
Air flow	20 l/min	Urea flow	10 cc/min

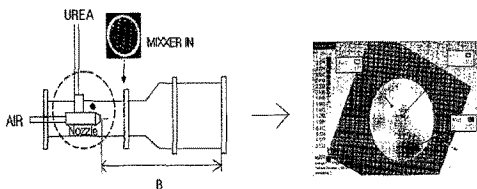


Fig. 10 Distribution results for injection at various air pressure : (2 bar & 4 bar)

실험에서 거리는 믹서를 장착한 상태에서 가장 좋은 분포상태를 보였던 B로 하였다. 분사조건 C와 D 모두 양호한 분포상태를 보였으나, 공기 압력이 높아지면서 오히려 중앙부분보다 가장자리 부분에 더 많이 분포되는 것을 볼 수 있었으며, 이것은 분산형 노즐의 특성상 공기 압력이 높아짐에 따라 나타나는 특성이라고 볼 수 있다. 즉, 공급 공기압력 및 유량이 커짐에 따라 urea의 분포가 전체적으로는 균일하게 됨을 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

대형 디젤기관에서 배출되는 배출가스 중 NOx 저감에 관한 연구로서 urea 분무의 최적 설계를 위한 SCR 촉매에 흡착되는 urea의 분포도 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) urea 분사를 위한 인젝터의 내구성시험 결과 일반적인 가솔린용 인젝터를 사용하여도 내구성과 부식성에 영향을 크게 받지 않음에 따라서 가솔린용 인젝터에 별도의 인프라 구축 없이 사용이 무방할 것으로 판단된다.

2) 촉매전단에 포집된 urea의 분포를 분석한 스캐닝 시험 결과, urea 분사위치가 촉매와의 거리 45 cm 부근에서 가장 좋은 분포도를 보임을 확인하였으며, 믹서 장착 후 urea의 분포에 있어 더 좋은 확산분포를 가져오는 효과를 얻게 되었다.

3) 공기의 압력과 유량, urea의 압력과 유량에 따라 분포도의 차이를 발생시키며, 본 연구를 통해 공기압 2bar, 공기유량 30 l/min, urea는 3 bar, Urea 유량 10cc/min일때, 촉매에 포집된 urea의 분포는 개선시킬 수 있었다.

후 기

본 연구는 해양수산부 지원 “중소 벤처기업기술 개발사업”으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. J. K. Yeom, 2007, "A basic study on the evaporative diesel spray with visible measurement", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, 1226-7813.
2. Jung, Y. I., Yoon, J. G., 2000, "Vehicle and Environment", HanSung UNIV. pp. 55~60.
3. David B. Kittelson, 2000, "Nanoparticle emissions from internal combustion engines", The royal society discussion meeting, Presentation review.
4. Ladomatos N. et al., 1996, "The Dilution, Chemical, and Thermal Effects of Exhaust gas Recirculation on Diesel Engine Emissions-Parts 1", SAE Papers No. 961165.
5. Torpey P. M., Whitehead M. J. and Wright M., 1971, "Experiments in the Control of Diesel Emissions", Conference on Air Pollution Control in Transport Engines, 9-11th Nov.
6. John B. Heywood, 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals", Mcgraw-hill.
7. John Hoard, 2001, "Plasma-Catalysis for Diesel Exhaust Treatment : Current State of the Art", SAE 2001-01-0185.
8. Matsuei Ueda, Yoshihiko Itoh, 2004, "A Concept of Plasma Assisted Catalyst System Using a De-NOx Catalyst for an Automobile Diesel Engine", SAE 2004-01-1834.
9. Koutarou Wakamoto and Toshihiko Nishiyama, 2003, "System Evaluation of the HC De-NOx Catalyst for Industrial Heavy-Duty Diesel Engine", SAE 2003- 01-0044.