

SCR장치에서 우레아 분무가시화 실험에 관한 연구

백두성^{1*}, 이종선¹

Study on Urea Spray Visualization in SCR System

Doo-Sung Baik^{1*} and Jong-Sun Lee¹

요약 Urea-SCR 시스템은 질소산화물을 감소하기 위한 효과적인 후처리장치 중의 하나로 알려져 있다. SCR 시스템의 성능을 향상시키기 위해서 우레아 분사시스템을 위한 최적의 기하학적인 조건이 형성되어야 한다. 본 연구는 대형 디젤기관에서 우레아를 사용한 SCR시스템의 분무 특성을 가시화하고자 했다. 실험은 우레아 압력과 우레아 유량 그리고 공기압력과 공기량을 변화시킴으로써 이루어졌다. 가시화는 초고속 카메라를 이용하여 촬영하였다.

Abstract Urea-SCR system has been known so far as one of effective aftertreatments for the reduction of NOx. In order to achieve better performance in SCR system, optimal geometric conditions for a urea injection system should be achieved. This research focused to visualize spray characteristics of urea injected SCR system in a heavy duty diesel engine. The experiment was conducted by varying injection pressures and flow rates of urea. The flow visualization was made by photographing techniques of CCD camera.

Key Words : SCR(선택적환원), Urea(우레아), Visualization(가시화), NOx(질소산화물)

1. 서론

산업이 발달함에 따라, 자동차는 우리 삶의 일부분으로 다가오게 되었다. 하지만 오늘날 자동차의 주 동력원인 기관은 화석연료를 사용하고 있으며, 이 화석연료를 기관에서 태워서 나오는 배기가스는 대기오염의 약 85%를 차지하며, 자동차의 배기가스가 대기오염의 주요인으로 평가 받고 있다.

특히, 대도시에서 교통량의 증가로 인한 자동차공해가 대기오염의 직접적인 영향을 미치고 있어, 선진국에서는 1970년대부터 자동차 배출가스에 대해 법적인 규제를 실시하고 있으며, 공해가 대기오염의 직접적인 영향을 미치고 있어, 선진국에서는 1970년대부터 자동차 배출 가스에 대해 법적인 규제를 실시하고 있으며, 우리나라에서는 1981년부터 배기가스 규제를 실시하고 있다. 엄격해지고 있는 배기가스 규제치를 만족하기 위해서 가솔린을 연료로 사용하는 가솔린 차량에서는 삼원촉매장치, EGR(Exhaust Gas Recirculation)등의 개발을 통해 배기가스를 대폭 저감시킴으로써 크게 문제되지 않고 있다.

그러나 경유를 사용하는 디젤 차량의 경우 입자상물질

(PM)과 질소 산화물(NOx)이 다량으로 배출되고, 더욱이 PM(Particulate Matter)은 발암물질로 규정됨에 따라 각국에서는 디젤 차량의 배기가스를 줄이기 위해 지금까지도 부단한 노력을 하고 있으며, 앞으로 점점 엄격해지는 배기규제를 만족시키지 못하면 자동차를 만들어 수출할 길조차 없게 되는 것이 현실이다.¹⁻²⁾

후처리 장치 중 NOx 저감을 위한 장치로는 SCR(Selective Catalytic Reduction)장치가 가장 대표적인 장치로서 분사하는 환원제의 종류에 따라서 Urea-SCR 및 HC-SCR 등이 있고 그 중 Urea-SCR이 가장 효과적인 NOx 저감효율을 나타내는 것으로 알려져 있다.³⁻⁵⁾ 그러나 Urea-SCR도 환원제로 사용하는 우레아 용액의 NH₃ 슬립이 발생하여 2차 오염물을 배출하는 문제가 현존하고 있다. 따라서 Urea-SCR 시스템은 장치 적용에 앞서 Urea-SCR 촉매에 분사되는 우레아 용액의 분무특성과 흡착되는 과정에 대한 실험이 필요하다고 판단되며, 일본의 경우는 2005년 NOx 규정이 강화됨에 따라 이미 Urea-SCR 기술이 선보이게 되었고, 대형 디젤 차량을 중심으로 상용화가 되고 있다. 국내에도 강화되는 향후 배기가스 규제를 맞추기 위해 2010년을 기점으로 Urea-SCR 기술이 상용화될 것으로 전망하고 있다.

본 연구는 대형 디젤기관에서 De-NOx 장치 중 가장 전망이 밝고 상용화가 가능한 Urea-SCR 시스템에 대한

¹대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

*교신저자: 백두성(dsbaik@daejin.ac.kr)

연구로서 배기량 12,000cc 급 대형 디젤기관에 분무가시화 장치를 설치하여 우레아 및 공기의 압력과 유량의 변화에 따른 다양한 실험조건에서 분무상태를 파악하여 환원제인 우레아 수용액의 최적분사를 위한 우레아 및 공기 압력 등을 파악하고자 했다.

2. 실험장치 및 방법

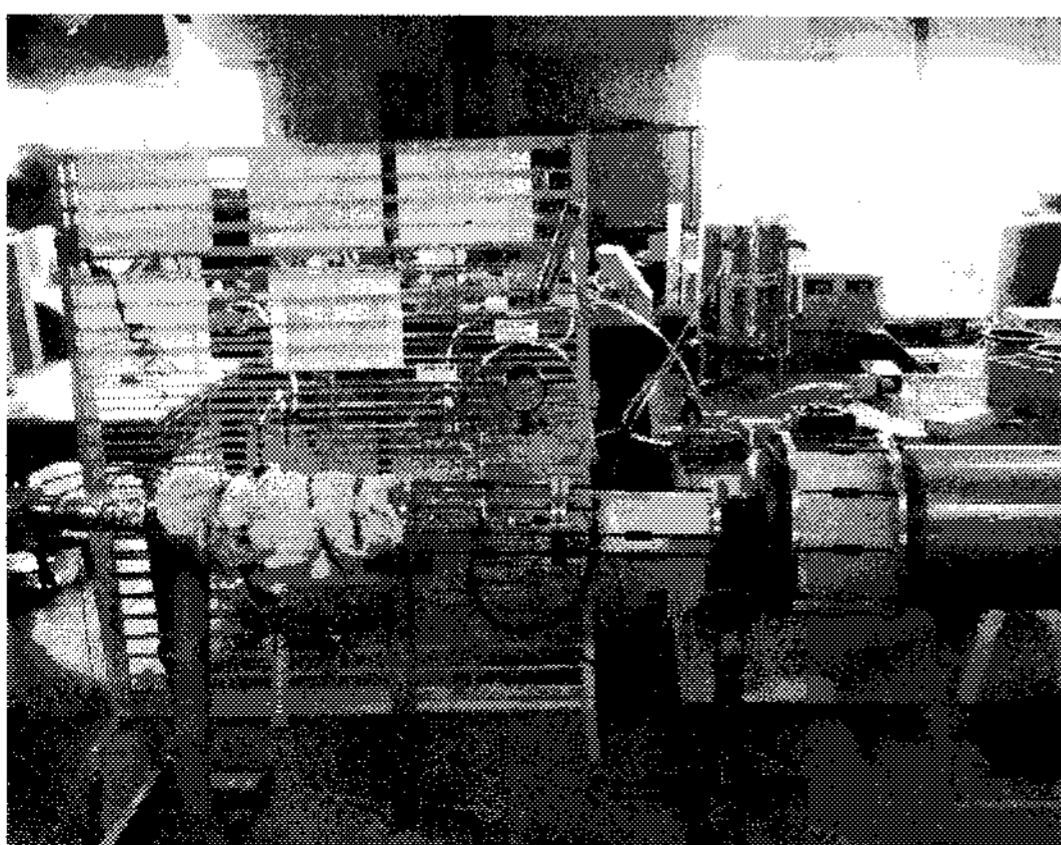
2.1 실험장치

실험 장치는 대형트럭 및 선박에 탑재하여 사용되고 있는 12ℓ 급 디젤기관을 대상으로 제작하여 실험을 수행하였다. 가시화를 위해서 분사장치와 촉매장착 부위를 투명한 파이렉스 유리관을 사용하였다. 파이렉스 유리관은 실험조건에 따라 추가 및 제거가 가능하게 제작하였으며 그림 1은 실험 장치를 보여주고 있다. 분사 조건에 따른 우레아의 무화를 알아보기 위하여 우레아 분사 가시화와 분사량 제어장치를 제작하였다.

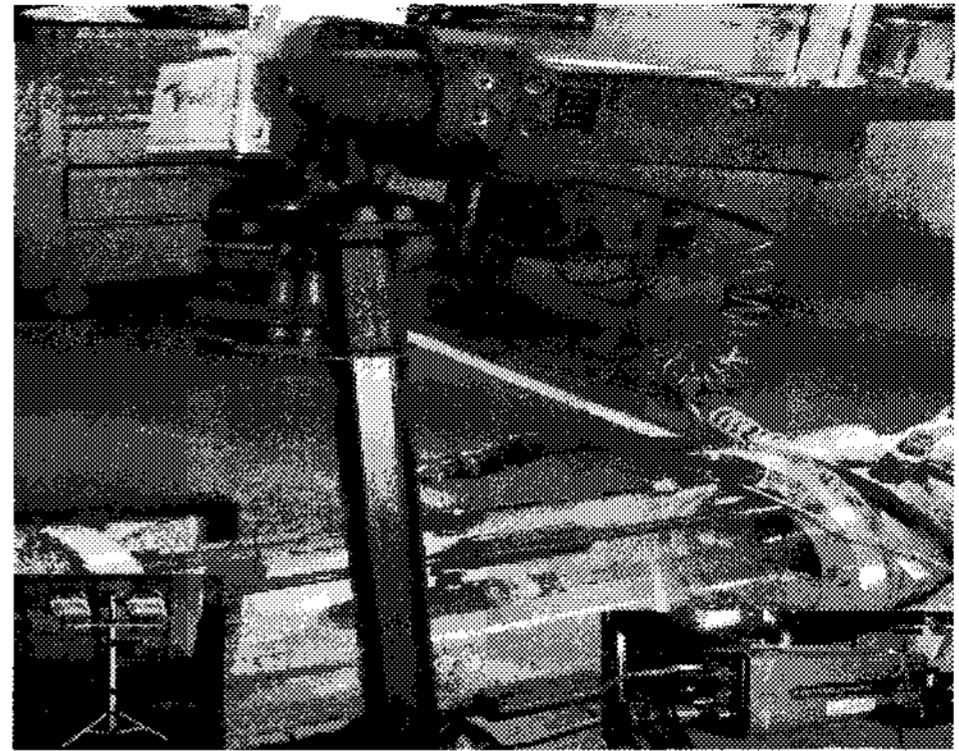
2.2 실험방법 및 조건

12ℓ 급 대형 디젤기관에 맞추어서 자동차의 배기라인과 유사한 가시화 장치를 제작하였다. 조건에 맞게 촉매 및 캐닝을 하여 제작하였으며, 중간에 유동을 볼 수 있도록 파이렉스 유리관을 제작하여 분무 및 유동을 확인할 수 있게 하였다.

가시화장치 내로 흐르는 공기는 송풍기를 통해서 흘러 보내며, 중간에 히터를 장착하여 가시화장치내로 흐르는 공기 온도가 촉매전단에서 250℃~350℃까지 나타날 수 있게 제작되었다. 실험에서는 촉매전단 온도를 100℃로 유지한 후 실험을 했다.



[그림 1] Urea-SCR 실험장치

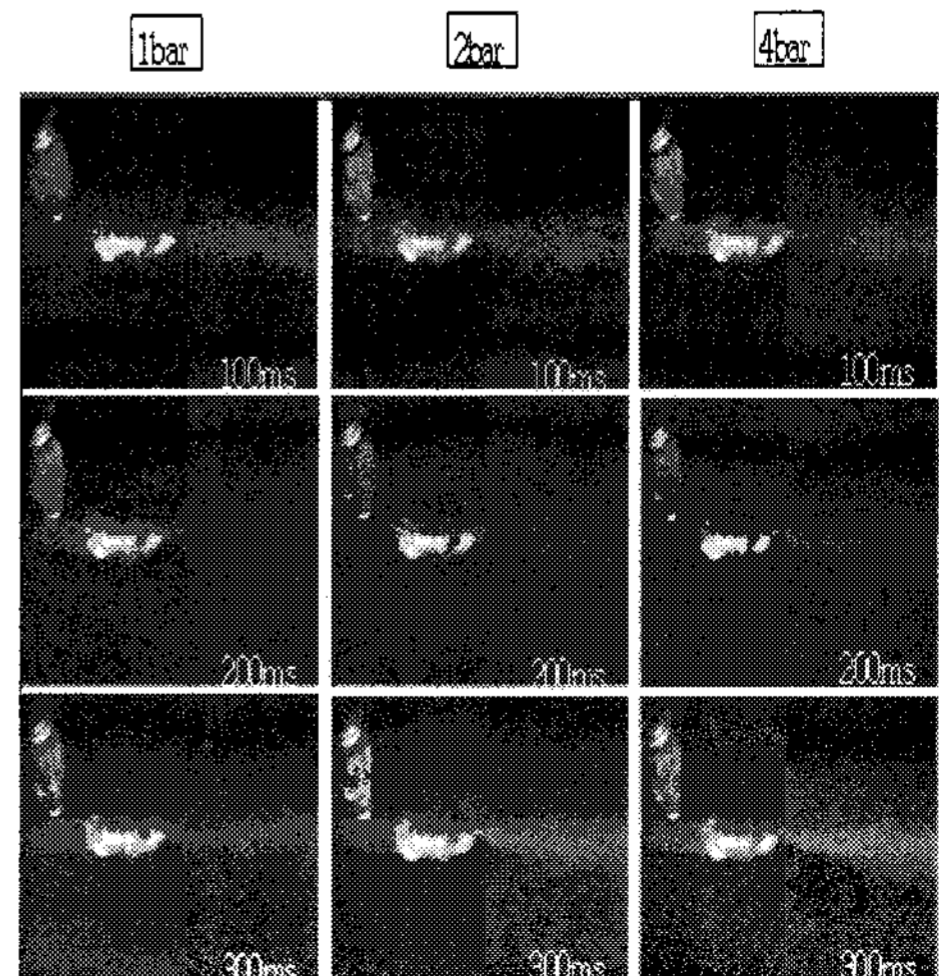


[그림 2] 고속카메라 촬영위치

그림 2는 가시화를 위한 고속카메라의 설치 모습을 보여주고 있다. 우레아를 분사할 때 최적의 분사 형태를 확인하기 위하여 우레아 분사 모습을 촬영하였다. 촬영은 고속디지털 카메라(Photorn FASTCAM512)를 사용하였고 촬영속도는 2000 fps의 속도로 하였다. 촬영 시 온도 조건은 노즐 분무 위치에서 하였으며, 우레아 분사압력과 유량에 따른 변화되는 분무특성을 촬영하였다. 해당 실험 조건은 표 1에서 보여준다.

[표 1] 해당 실험조건 (단위: cc/min, l/min)

실험 조건	우레아		공기	
	압력 (bar)	유량 (CCM)	압력 (bar)	유량 (LPM)
I	3	10	1, 2, 4	30
II	3	10	3	15, 30, 45
III	2, 3, 4	10	3	30
IV	3	10, 15, 20	3	30

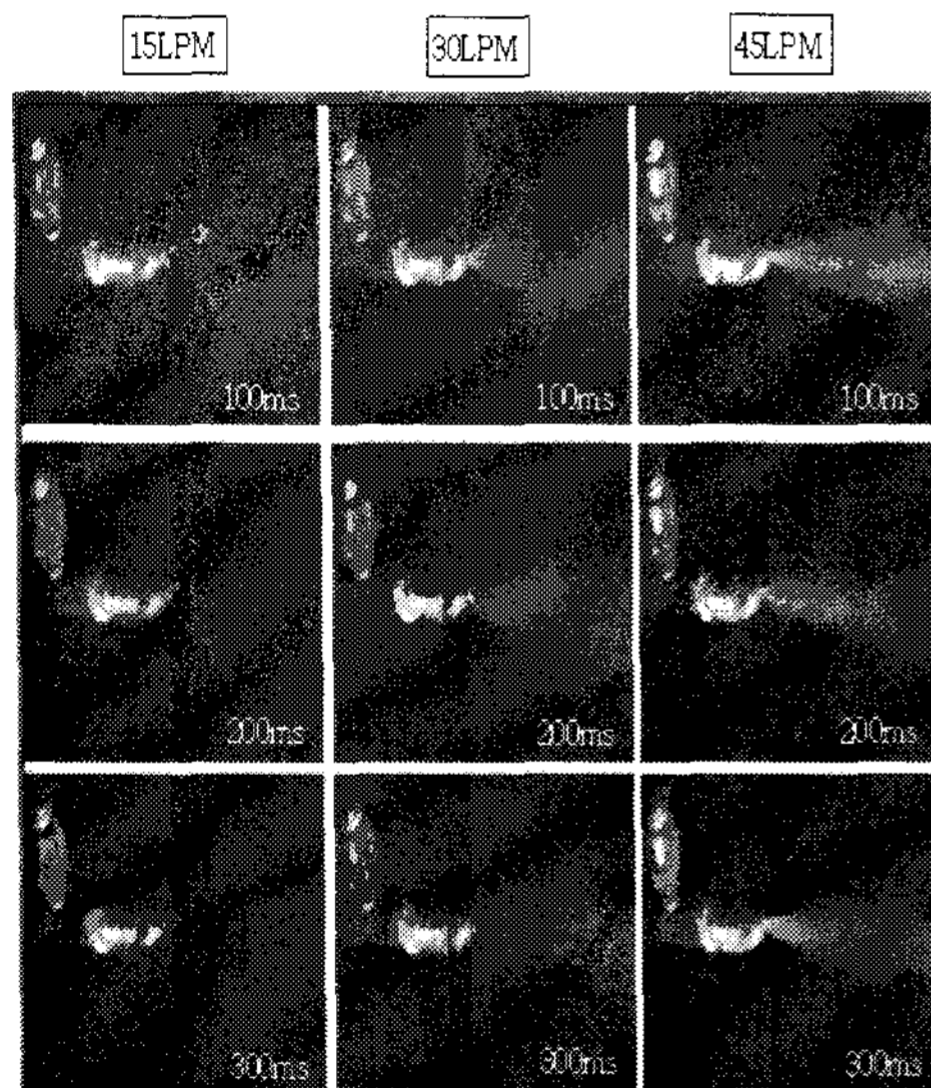


[그림 3] 우레아 분무 사진 (조건 I)

2. 결과 및 고찰

3.1 공기 분사압 변화의 영향

요소 수용액의 공기 압력 변화에 따른 노즐에서의 분사형태를 알아보기 위하여 근접 촬영한 분무모습을 그림 3에서 보여준다. 위의 표와 같이 고정요소를 두고 공기압력 1, 2, 4 bar 3가지 경우를 두고 분사를 하였을 때 압력의 증가에 따른 분무상태를 볼 수 있다. 또한 분사시간에 따른 후적 유무도 관찰하였다. 공기압력의 증가에 분무각이 좁아지고 관통력은 더 강해지며, 더 먼 거리까지 도달함을 알 수 있었다. 또한 3가지 경우 모두 후적은 발생하지 않았으며, 무화도 잘 되었다. 이를 통해, 공기압력은 관통력과 분무도달거리와 관계가 있음을 알 수 있었으며, 뒤에 따라오는 SCR촉매와의 거리에 따라서 최적의 공기 압력이 있다는 것을 알 수 있었다.

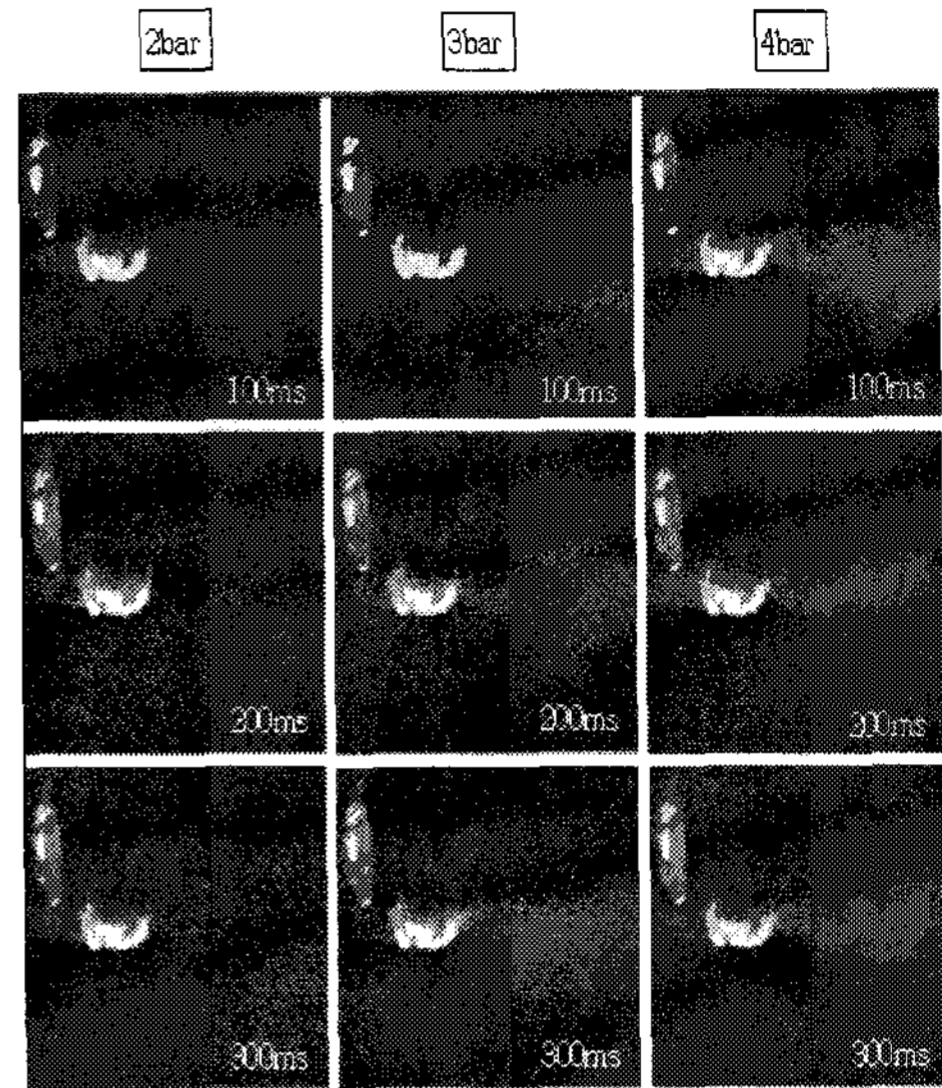


[그림 4] 요소 분무 사진 (조건 II)

3.2 공기량 변화의 영향

요소 수용액의 공기 유량 변화에 따른 노즐에서의 분사형태를 알아보기 위하여 근접 촬영한 분무모습을 그림 4에서 보여준다. 표 1과 같이 고정 요소를 두고 공기유량을 15, 30, 45 LPM 3가지 경우를 두고 분사를 하였을 때 유량의 증가에 따른 분무상태를 볼 수 있다. 또한 분사시간에 따른 후적 유무도 관찰하였다. 공기 유량의 증가에 따라서 무화 형상이 달라지며, 분무각에도 영향이 있음을 알 수 있었다. 또한 3가지 경우 모두 후적은 발생하지 않았다. 이를 통해, 공기 유량은 무화와 관계가 있으며, 분무각에도 관계가 있음을 알 수 있었다. 유량이 너무

작을 시에는 액적으로 분사가 되므로, 뒤에 따라오는 SCR촉매와의 흡착성을 위해 무화되는 정도와 도달거리에 따라 최적의 공기 유량이 있음을 알 수 있었다.



[그림 5] 요소 분무 사진 (조건 III)

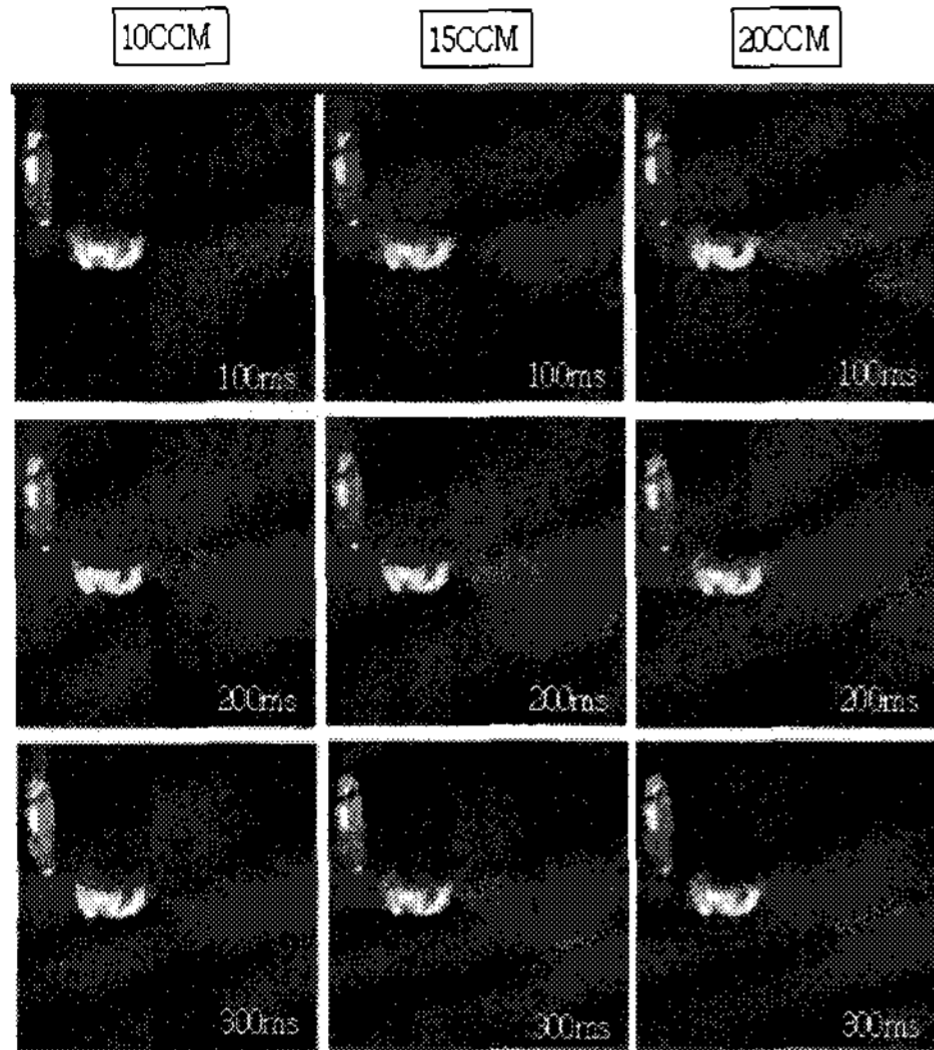
3.3 요소 분사압력 변화의 영향

요소 수용액의 요소 분사압력 변화에 따른 노즐에서의 분사형태를 알아보기 위하여 근접 촬영한 분무모습을 그림 5에서 보여준다. 요소 분사압력을 2, 3, 4 bar의 3가지 경우를 두고 분사를 하였을 때 압력의 증가에 따른 분무상태를 볼 수 있다. 또한 분사시간에 따른 후적 유무도 관찰하였다. 요소 유량의 증가에 무화되어 분사되는 요소 수용액의 양이 많아지는 것을 알 수 있었다. 또한 모든 경우에 있어서 후적은 발생하지 않았다. 이를 통해, 요소 분사압력은 분사되는 요소 수용액의 관통력에 관계가 있으며, 요소의 양에도 관계가 있음을 알 수 있었다. 뒤에 따라오는 SCR 촉매와의 흡착성 및 도달거리를 위해 최적의 요소 압력이 있음을 알 수 있었다.

3.4 요소량 변화의 영향

요소 수용액의 유량 변화에 따른 노즐에서의 분사형태를 알아보기 위하여 근접 촬영한 분무모습을 그림 6에서 보여준다. 이러한 조건에서 요소 유량을 10, 15, 20 CCM 3가지 경우를 두고 분사를 하였을 때 유량의 증가에 따른 분무상태를 볼 수 있다. 또한 분사시간에 따른 후적 유무도 관찰하였다. 요소 유량의 증가에 무화되어 분사되는 요소 수용액의 양이 많아지는 것을 알 수 있었다. 또한 3가지 경우 모두 후적은 발생하지 않았다. 이

를 통해, 우레아 유량은 분사되는 우레아 수용액의 양에 관계가 있음을 알 수 있었다. 뒤에 따라오는 SCR 촉매와의 흡착성 및 최적효율을 위해 최적의 우레아 유량이 있음을 알 수 있었다.



[그림 6] 우레아 분무 사진 (조건 IV)

4. 결론

대형 디젤기관에서 배출되는 배출가스 중 NOx 저감에 관한 연구로서 우레아 분무의 최적 설계를 위한 분무 가시화를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 우레아 분사에 있어서, 우레아 수용액의 분사압력과 유량에 따라 분무각과 안정화 되는 조건을 찾을 수 있었으며, 공기 압력에 의하여 인젝터 끝단의 후적 현상은 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.
- (2) 공기 압력의 증가로 인해서 분무 도달거리가 길어지며, 관통력이 강한 경향을 확인할 수 있었고, 공기량이 커짐에 따라서 액적무화가 비교적 잘되며, 분무각도 안정적인 형태를 띠는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 환원제 가시화 실험 결과, 시험에 사용된 인젝터는 기존의 차량용 인젝터를 사용하여도 내구성이나 막힘 현상은 나타나지 않았음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] John Hoard, "Plasma-Catalysis for Diesel Exhaust

Treatment : Current State of the Art," SAE 2001-01-0185.

- [2] Rinie van Helden, Marcel van Gendereren, "Engine Dynamometer and Vehicle Performance of a Urea SCR System for Heavy Duty Truck Engines," SAE, 2002-01-0286.
- [3] S. Jeong, S. Lee, W. Kim, C. Lee, "Simulation on the Optimum Shape and Location of Urea Injector for Urea-SCR System of Heavy Duty Diesel Engine to Prevent NH3 Slip," SAE 2005-01-3886, 2005.
- [4] Hori M., "feasibility Study of Urea SCR Systems on Heavy Duty Commercial Vehicles," SAE 2004-01-1944, 2004.
- [5] Walker P. G., et al., "The Development and In-Field Demonstration of Highly Durable SCR Catalyst Syst," SAE 2004-01-1289, 2004.

백 두 성(Doo-Sung Baik)

[정회원]



- 1983년 2월 : 국민대학교기계공학과 (공학사)
- 1991년 3월 : University of Cincinnati (공학석사)
- 1997 5월 : Wichita State University (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 컴퓨터응용기계공학과 전임강사

<관심분야>

미세열유체, CFD, 대체에너지

이 종 선(Jong-Sun Lee)

[중신회원]



- 1982년 2월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 국민대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 국민대학교 기계설계학과(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과 교수

<관심분야>

최적설계, 생산공학