1. 서 론

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 주요원으로 평가 받고 있다.


그러나 경유를 사용하는 디젤 차량의 경우 인장시오산물 (PM)과 검은 산화물(NOx)이 다량으로 배출되고, 더욱이 PM(Particulate Matter)은 발암물질로 규정됨에 따라 각 국에서는 다형 차량의 배기가스를 줄이기 위해 지금까지도 부단한 노력을 하고 있으며, 앞으로 점점 엄격해지는 배기규제를 만족시키지 못하면 자동차를 만들어 수출할 수 없게 되는 것이 현실이다.1,2) 후처리 장치 중 NOx 저감을 위한 장치로는 SCR(Selective Catalytic Reduction)장치가 가장 대표적인 장치로서 분사하는 완화제의 종류에 따라서 Urea-SCR 및 HC-SCR 등이 있고 그 중 Urea-SCR이 가장 효과적인 NOx 저감효율을 나타내는 것으로 알려져 있다.3,4) 그러나 Urea-SCR도 환원제로 사용하는 우레아 용액의 NH3 슬럼이 발생하여 2차 오염물 배출하는 문제가 현존하고 있다. 따라서 Urea-SCR 시스템은 장치 적용에 앞서 Urea-SCR 촉매에 분사되는 우레아 용액의 분무특성과 환원작용의 과정에 대한 실험이 필요하다고 판단되며, 일본의 경우는 2005년 NOx 규정이 강화됨에 따라 이미 Urea-SCR 기술이 선보이게 되었고, 대형 디젤 차량을 중심으로 사용화가 되고 있다. 국내에서도 강화되는 향후 배기가스 규제를 맞추기 위해 2010년을 기점으로 Urea-SCR 기술이 사용화될 것으로 전망하고 있다.

본 연구는 대형 디젤차량에서 De-NOx 장치 중 가장 전망이 밝고 사용화가 가능한 Urea-SCR 시스템에 대한
연구에서 배기량 12,000cc 급 대형 디젤기관에 본무가시화 장치를 설치하여 우레아 및 공기의 압력과 유량의 변화에 따른 다양한 실험조건에서 본무상태를 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 12ℓ급 디젤기관을 대상으로 재작하여 실험을 수행하였다. 가시화를 위해서 본사장치와 촉매장착 부분을 별도로 구입한 파이렉스 유리관을 사용하였다. 파이렉스 유리관은 실험조건에 따라 추가 및 제거가 가능하게 제작하였으며 그림 1은 실험 장치를 보여주고 있다. 본사 조건에 따른 우레아의 무화를 알아보기 위하여 우레아 분사 가시화와 분사량 재어장치를 제작하였다.

2.2 실험방법 및 조건

12ℓ급 대형 디젤기관에 맞추어 자동차의 배기가스와 유사한 가시화 장치를 제작하였다. 조건에 맞게 촉매 및 캐년을 하여 제작하였으며, 중간에 유동을 볼 수 있도록 파이렉스 유리관을 재작하여 본무 및 유동을 확인할 수 있게 하였다.

가시화장치 내로 흘러오는 공기는 송풍기를 통해서 흘러 보내되, 중간에 힌트를 장착하여 가시화장치 내로 흘러가는 공기 온도가 촉매장치에서 250℃~350℃까지 나타날 수 있게 제작되었다. 실험에서는 촉매장치 온도를 100℃로 유지한 후 실험을 했다.

[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(Photom FASTCAM512)를 사용하였고 촬영속도는 2000 fps의 속도로 하였다. 촬영 시 온도 조건은 노출 분무 위치에서 하였으며, 우레아 분사압력과 유량에 따른 변화는 분무특성을 촬영하였다. 해당 실험 조건은 표 1에서 보여준다.

<table>
<thead>
<tr>
<th>표 1</th>
<th>해당 실험조건 (단위: cc/min, l/min)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>실험 조건</td>
<td>우레아</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>압력 (bar)</td>
</tr>
<tr>
<td>I</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>II</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>III</td>
<td>2, 3, 4</td>
</tr>
<tr>
<td>IV</td>
<td>3</td>
</tr>
</tbody>
</table>

[그림 3] 우레아 분무 사진 (조건 I)
2. 결과 및 고찰

3.1 공기 분사압 변화의 영향

우레아 수용액의 공기 압력 변화에 따른 분출에서의 분사형태를 알아보기 위하여 근접 촬영한 분무모습을 그림 3에서 보여준다. 위의 표와 같이 고정요소를 두고 공기압력 1, 2, 4 bar 3가지 경우를 두고 분사량을 하여주었을 때 압력의 증가에 따른 분무상태를 볼 수 있다. 또한 분사시간에 따른 후적 유무도 관찰하였다. 공기압력의 증가에 분무각이 줄어지고 관통력은 더 강해지며, 더 빠르고 가늘게 되고도 탈함을 알 수 있었다. 또한 3가지 경우 모두 후적은 발생하지 않았으며, 분출도 잘 되었다. 이를 통해, 공기 압력은 관통력과 분무도달거리와 관계가 있음을 알 수 있었으며, 위에 따라서는 SCR 촉매와의 거리에 따라서 최적의 공기 압력이 있다는 것을 알 수 있었다.

![그림 4] 우레아 분무 사전 (조건 II)

3.2 공기량 변화의 영향

우레아 수용액의 공기 유량 변화에 따른 노즐에서의 분사형태를 알아보기 위하여 근접 촬영한 분무모습을 그림 4에서 보여준다. 표 1과 같이 고정 요소를 두고 공기 유량을 15, 30, 45 LPM 3가지 경우를 두고 분사량을 하였을 때 유량의 증가에 따른 분무상태를 볼 수 있다. 또한 분사시간에 따른 후적 유무도 관찰하였다. 공기 유량의 증가에 따라서 분출가량이 증가하며, 분무각도도 영향이 있음을 알 수 있었다. 또한 3가지 경우 모두 후적이 발생하지 않았다. 이를 통해, 공기 유량은 분출량과 관계가 있으므로, 분무각도도 관계가 있음을 알 수 있었다. 유량이 너무 작을 시에는 액으로 분사가 되므로, 뒤에 따라서는 SCR 촉매와의 흡착성을 위해 무화되는 정도와 도달거리에 따라 최적의 공기 유량이 있음을 알 수 있었다.

![그림 5] 우레아 분무 사전 (조건 III)

3.3 우레아 분사압력 변화의 영향

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

3.4 우레아량 변화의 영향

우레아 수용액의 유량 변화에 따른 노즐에서의 분사형태를 알아보기 위하여 근접 촬영한 분무모습을 그림 6에서 보여준다. 이러한 조건에서 우레아 유량은 10, 15, 20 CCM 3가지 경우를 두고 분사량을 하여주었을 때 유량의 증가에 따른 분무상태를 볼 수 있다. 또한 분사시간에 따른 후적 유무도 관찰하였다. 우레아 유량의 증가에 무화되어 분사되는 우레아 수용액의 양이 많아지는 것을 알 수 있다. 또한 3가지 경우 모두 후적이 발생하지 않았다. 이
을 통해, 우레아 유량은 분사되는 우레아 수용액의 양에 관계가 있음을 알 수 있었다. 뒤따라오는 SCR 축면의 형착성 및 최적효율을 위해 최적의 우레아 유량이 있음을 알 수 있었다.

[그림 6] 우레아 분무 사전 (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 찾아볼 수 있었으며, 공기 압력에 의하여 인젝터 끝단의 후적 현상은 발생하지 않을음을 확인할 수 있었다.
(2) 공기 압력의 증가로 인해 분무 도달거리가 길어지며, 관통력이 강한 경향을 확인할 수 있었고, 공기량이 커짐에 따라 정적무화가 비교적 잘되며, 분무각도 안정적인 형태를 띄는 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


백 두 성(Doo-Sung Baik) [정회원]

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

이 종 선(Jong-Sun Lee) [종회원]

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

<관심분야>
최적설계, 생산공학