

## 모사 배기관 내 HC-DeNOx 촉매용 인젝터의 분무 거동 특성

이 동 훈<sup>\*1)</sup> · 오 정 모<sup>1)</sup> · 정 해 영<sup>1)</sup> · 이 기 형<sup>2)</sup> · 여 권 구<sup>3)</sup>

한양대학교 대학원<sup>1)</sup> · 한양대학교 기계공학과<sup>2)</sup> · 현대자동차 배기연구팀<sup>3)</sup>

### Spray Behavior Characteristics of Injector Used for HC-DeNOx Catalyst System in the Transparent Exhaust Manifold

Donghoon Lee<sup>\*1)</sup> · Jungmo Oh<sup>1)</sup> · Haeyoung Jeong<sup>1)</sup> · Kihyung Lee<sup>2)</sup> · Kwongu Yeo<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

<sup>3)</sup>Hyundai-Motor Company, 772-1 Jangdeok-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea

(Received 11 September 2006 / Accepted 27 December 2006)

**Abstract** : A new method that optimizes a control of hydrocarbon (HC) addition to diesel exhaust gas for HC type DeNOx catalyst system has been developed. These catalysts are called as the HC-DeNOx catalyst in this paper. The system using HC-DeNOx catalyst requires a reasonable quantity of hydrocarbons addition in the inlet gas of the catalyst, because the HC concentration in a diesel engine is so low that the HC is not sufficient for NOx conversion. Generally ambient temperature in the exhaust manifold is 250~350°C, so spray behavior in this case is different from that of any other condions. This research shows spray behavior of injected hydrocarbons in the transparent exhaust manifold.

**Key words** : Diesel engine(디젤 엔진), SCR(Selective Catalytic Reduction, 선택적 촉매 저감), Aftertreatment(후처리 기술), Spray behavior (분무 거동), RMS image(root mean square, 평균 화상)

### 1. 서 론

디젤엔진은 가솔린엔진보다 높은 압축비에서 운전이 가능하므로 열효율과 연료소비율이 우수하다.<sup>1)</sup> 또한 기후변화 협약 및 온실가스 배출규제의 일환인 이산화탄소 배출량 규제에 대응할 수 있는 유력한 대안으로 평가되고 있다. 이러한 장점 때문에 디젤 차량의 수요가 급격히 증가하고 있으나 삼원 촉매를 사용하여 거의 완벽하게 배기가스를 처리하는 가솔린 엔진의 경우와는 다르게 현재 디젤 엔진에서 발생하는 입자상물질(Particulate matter) 및 질소산화물(NOx) 등의 배기가스는 효과적으로 처리되

지 못하고 있으며, 사회 환경 문제로 심각하게 대두되고 있다. 이에 따라 전 세계적으로 자국 내 디젤 배기가스에 대한 규제를 연차적으로 강화하고 있는 실정이며, 다양한 방법으로 배기가스를 저감하기 위해 노력하고 있다. 이러한 방법으로는 크게 엔진 개량에 의한 방법, 청정연료의 사용에 의한 방법 등의 진처리 기술과 선택적 촉매 저감장치, 입자상물질 여과장치 등의 후처리 기술로 구분되어 진다.<sup>2)</sup>

이중 선택적 촉매 저감장치는 연소된 배출가스 상류에 환원제를 분사시킴으로써 선택적으로 반응하여 NOx를 저감시켜주는 시스템이며, 최근에 HC를 환원제로 이용하는 DeNOx 촉매 시스템 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구는 NOx의 저

\*Corresponding author, E-mail: insight79@gmail.com

감요인 중에 HC의 농도를 제어하는 것으로써, 실제 배기관에 분사된 HC의 분포를 고려하는 것은 상당히 중요한 부분이다.<sup>3)</sup>

본 연구에서는 실엔진에서의 NOx 저감 효율을 살펴보기에 앞서, HC-DeNOx촉매에 이용되는 인젝터<sup>4)</sup>를 이용하여 배기관 형상을 모사한 시스템 내에서의 분무 거동 특성 및 분포특성을 파악하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 유동장내 분무 특성 측정 장치

#### 2.1.1 유동장내 분무 종단면 패턴

모사 배기관내 분무 실험에 앞서 주변 공기의 질량 유량 변화에 따른 분무 특성을 알아보기 위하여 Fig. 1과 같이 실험 장치를 구성하였다.

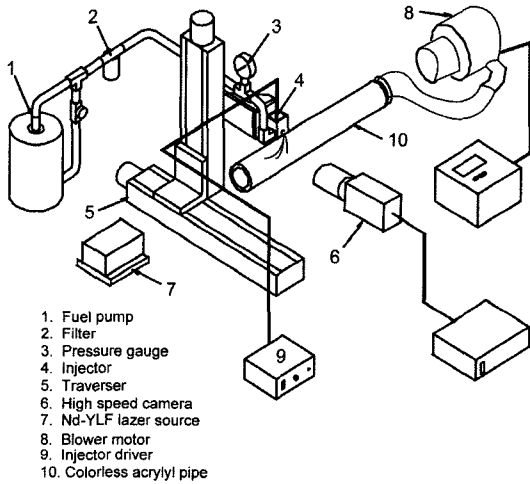


Fig. 1 Spray vertical section pattern measuring system

블로워 모터 스피드로 공기의 질량 유량을 제어하고 투명 아크릴 직관 내 유동 방향과 수직으로 연료를 분사시켰다. 분무를 가시화하기 위하여 500mW Nd-YLF 레이저 광원과 고속카메라(Phantom 7.0)를 이용하였다. 또한 고속카메라와 인젝터 드라이브를 디지털 신호 발생기(BNC, Model 555 Pulse/delay generator)를 이용하여 동기화 하였다.

#### 2.1.2 유동장내 분무 횡단면 패턴

유동장내 분무의 횡단면을 측정하기 위하여 Fig. 1에서 구성된 실험 장치에서 광원과 카메라의 위치

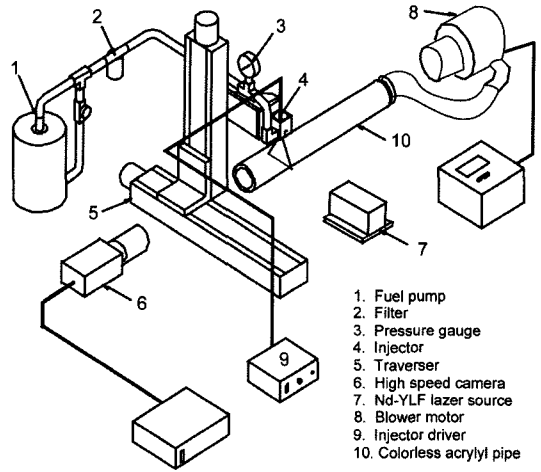


Fig. 2 Spray cross-section pattern measuring system

를 바꾸어 Fig. 2와 같은 시스템을 구성하였다.

### 2.2 모사배기관내 분무 특성

디젤 엔진에서 연소된 배기가스의 온도는 250~350°C 정도가 되므로 배기가스의 온도 조건과 실제 배기관 형상을 고려하여 실험을 수행하기 위하여 400~450°C까지 사용이 가능한 파이렉스(Pyrex) 재질의 투명한 모사배기관을 가공하여 사용하였다.

Fig. 3과 같은 형태로 인젝터의 노즐 부착위치를 상단 45°, 중단 0°의 2가지 조건에서 분무 특성을 측

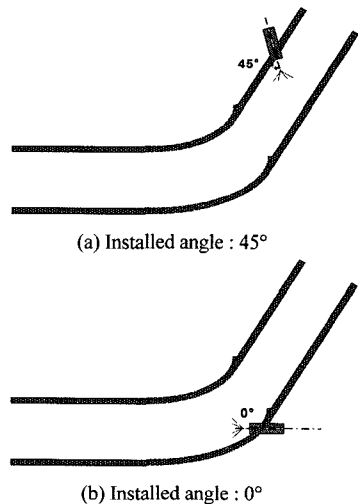


Fig. 3 Injector installed angle in the transparent exhaust manifold

정하였다. 기본적인 실험 장치는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸 것과 같으며, 블로워를 통과한 공기를 히터로 가열하여 온도를 높이고, 파이프스관 내에 연료를 분사시켰다.

### 2.3 디지털 화상처리

#### 2.3.1 RMS(Root Mean Square) 평균

모든 분사 영역을 파악하기 위하여 RMS 평균을 취한 이미지를 주로 활용한다. RMS를 구하기 위한 알고리즘은 식 (1)과 같다.

$$S_s(x,y) = \sqrt{\frac{\sum^n S(x,y) \cdot S(x,y)}{n}} \quad (1)$$

여기서,  $S_s(x,y)$ 는 RMS 평균 이미지,  $S(x,y)$ 는 각각의 분무 화상,  $n$ 은 화상의 개수이다.

### 2.4 실험 방법

유동장내 분무 특성을 알아보기 위하여 다음과 같이 실험하였다. 연료 공급 압력은 4.5bar, 분위기 압력은 대기압, 분사시간은 35ms로 일정하게 유지하였으며, 블로워 모터의 스피드 제어를 통하여 공기 질량 유량을 10g/s부터 80g/s까지 10g/s단위로 변화시켜가며 촬영하였다.

분무 단면 패턴은 연료 공급압, 분사시간 그리고 질량 유량 조건을 그대로 적용하였으며, 노즐 중심축으로부터 유동방향으로 10cm 거리를 두고 레이

저 시트를 형성시켰다. 그리고 모사배기관 내 분무 거동을 파악하기 위하여 분무의 종단면과 횡단면을 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 유동장내 분무 특성

#### 3.1.1 종단면 패턴 특성

Fig. 4에 각 질량 유량 조건에서 취득한 화상을 이미지 프로세싱을 이용하여 구한 RMS(root mean square) 평균 화상을 나타내었다. 질량유량이 10, 20g/s일 경우 분무의 휘어짐이 거의 발생하지 않고 틱 수직 하단 영역에 많은 벽류를 형성시키는 것을 알 수 있었다. 또한 Rebounding 액적들이 상당수가 보이고, 공기의 질량유량이 증가할수록 분무가 유동방향으로 많이 휘어지며 벽류 형성 영역도 줄어들어 알 수 있으며, 액막의 분열 길이도 짧아지는 경

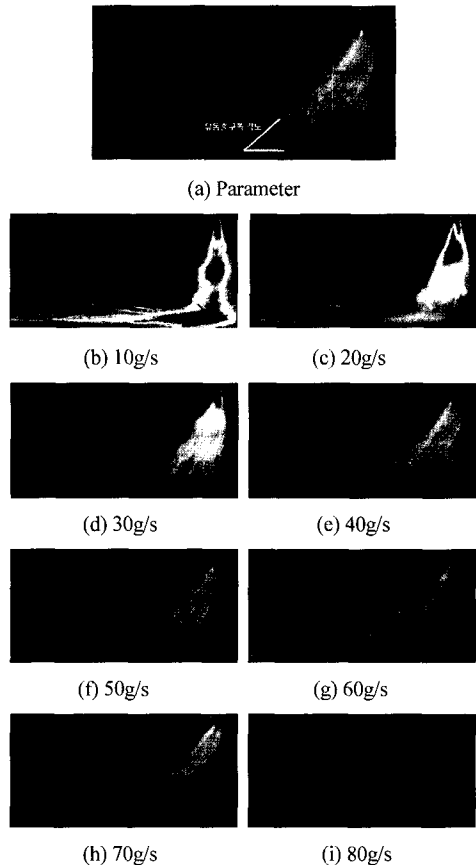


Fig. 4 RMS images of each mass flow

Table 1 Experimental conditions using acrylyl

Inj. Pressure	4.5bar
Inj. duration	35ms
Air mass flow	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80g/s
Spray section measuring distance	10cm
Ambient gas condition	Room temperature (25°C) Atmospheric pressure (1.02bar)

Table 2 Experimental conditions using bended pyrex

Inj. Pressure	4.5bar
Inj. duration	10ms, 20ms
Air mass flow	10, 20, 30, 40, 50, 60g/s
Spray section measuring distance	5, 10, 15, 20cm
Temperature	50, 300°C

향을 보인다. 그리고 공기의 질량 유량 증가에 따라 전체적인 화상 강도 분포가 줄어드는 경향을 보이고 있는데, 이는 큰 액적보다 작은 크기의 액적들이 모인 액적운(droplet cloud)의 형성으로 인하여 산란 강도가 약해졌기 때문이다. 따라서 공기 질량 유량의 증가에 따라 분무 액적의 미립화가 상당히 향상되는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 4 (a)와 같은 실험조건에서 각각의 공기 질량유량에 대하여 분무의 유동 입구 및 출구 쪽에서 관내 바닥지점과 이루는 각도를 측정하여 나타낸 그래프이다. 공기 질량유량이 증가함에 따라 각도가 작아지면서 분무가 휘는 정도를 보여준다. 유동 입구쪽의 각도는 공기 질량유량에 따라 비례하여 감소하지만, 출구쪽 각도는 30~40g/s 사이에서 현저하게 감소하게 되는데, 이것은 30g/s부터 유동이 분무의 밀도분포 및 분열에 끼치는 영향이 더 커지는 것으로 판단된다.

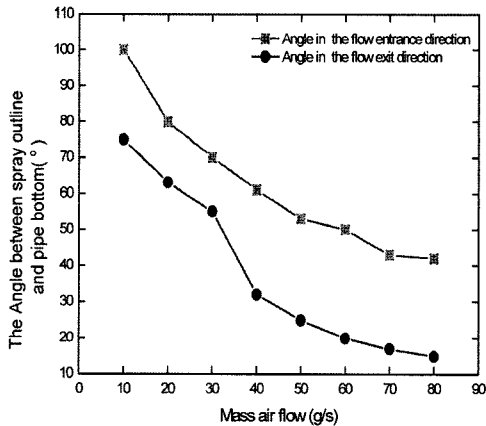


Fig. 5 Spray characteristics with air mass flow

### 3.1.2 횡단면 패턴 특성

Fig. 6은 노즐 축중심으로부터 유동방향으로 10cm 떨어진 지점에서의 분무 횡단면 패턴을 나타낸 그림이다. 10g/s의 경우에는 벽류량 형성이 너무 많아 적절한 분무 화상을 취득할 수 없었다. 20g/s의 경우, 단면 하단부 쪽에 연료가 많이 분포하는 것을 알 수 있고 큰 액적들이 비교적 많이 발생하는 것을 보여주고 있다. 공기의 질량 유량 증가에 따라 분포가 상부로 이동되는 경향을 보이고 분포 영역도 넓어짐을 알 수 있다. 또한 공기 유량이 증가할수록 강

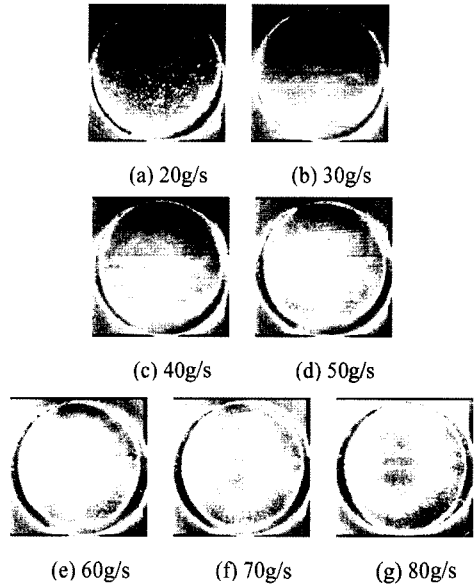


Fig. 6 RMS images of spray cross-section pattern in the flow field (point of 10cm far from nozzle tip)

도가 전체적으로 증가하는 경향을 보이는데, 이는 벽류량 감소에 따라 실제 측정되는 액적들이 많기 때문이라고 판단된다.

## 3.2 모사배기관내 분무 특성

### 3.2.1 분사각도 45°

Fig. 6은 공기 질량유량과 온도에 따른 분무 패턴을 RMS 평균한 화상이다. 모사배기관이 유리 재질이므로 반사광이 화상에 나타나고 있다. 상온에서의 실험과는 달리 온도가 높은 조건에서는 관내 벽류나 이물질들을 제대로 제거하면서 실험을 수행하기가 쉽지 않았다. 특히 200°C 이상부터 벽류가 증발되면서 생긴 얼룩으로 인하여 전체적으로 화질이 많이 떨어졌다.

공기 질량유량이 10~30g/s에서는 벽류가 생성되는 것을 확인할 수 있었으나, 50g/s에서는 거의 생기지 않았다. 그리고 유량이 증가할수록 액막의 분열 길이가 짧아지는 경향을 보이며, 전체적인 화상 강도 분포가 줄어들었다. 따라서 질량 유량의 증가에 따라 분무 액적의 미립화가 상당히 향상되는 것을 알 수 있으며, 초기에는 분사각도가 유동방향에 대하여 45°를 이루지만, 유량의 증가에 따라 그 각도가 점차 작아지는 경향을 나타내었다.

분무 패턴은 온도가 증가할수록 분무 줄기를 비롯한 전체 분무 영역이 넓어지고 액막의 분열 길이도 짧아졌다. 온도의 증가로 인한 부채꼴 형태의 분무 패턴은 고온에서의 증발 특성 향상과 액막의 표면장력이 작아진데 그 원인이 있다고 판단된다.

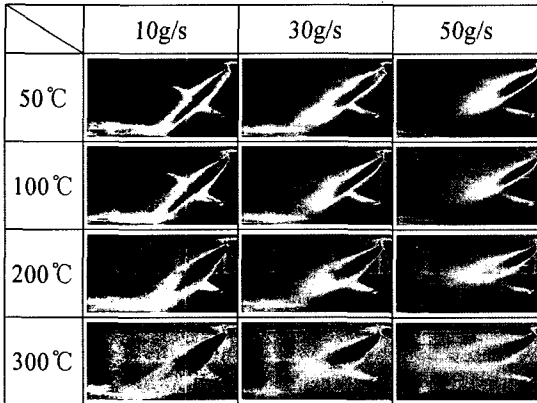


Fig. 6 RMS images of spray vertical section pattern in the flow field

### 3.2.2 분사각도 0°

Fig. 7은 실제 모사 배기관 내 분무를 촬영한 사진이다. 곡관부에 의한 레이저 빛의 굴절로 인하여 희미한 허상도 보이며 상하단의 광량 분포에 다소 차이가 발생하였다.



Fig. 7 Example of vertical section pattern

Fig. 8과 Fig. 9는 실험에서 취득한 화상들을 RMS 평균한 이미지이다. 공기 질량유량이 작은 경우에는 분무가 노즐 중심축 방향으로 상하 대칭을 이루는 패턴을 보여주지만, 유량이 커질수록 아랫방향으로 휘어지며 분무 각도가 좁아지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 모사배기관 형상에서 볼 수 있듯이 곡관부에서의 유동장에 원심력이 작용하였기 때

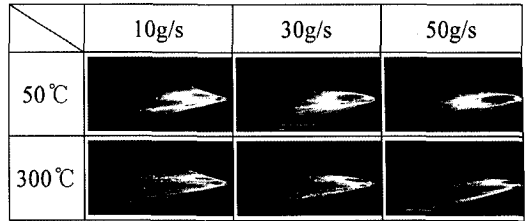


Fig. 8 RMS images of spray vertical section pattern in the flow field. (duration:10ms)

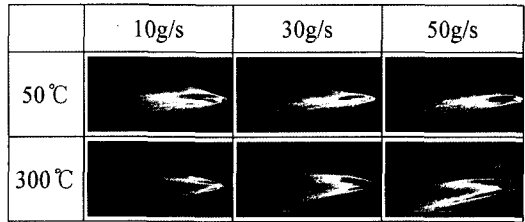


Fig. 9 RMS images of spray vertical section pattern in the flow field. (duration:20ms)

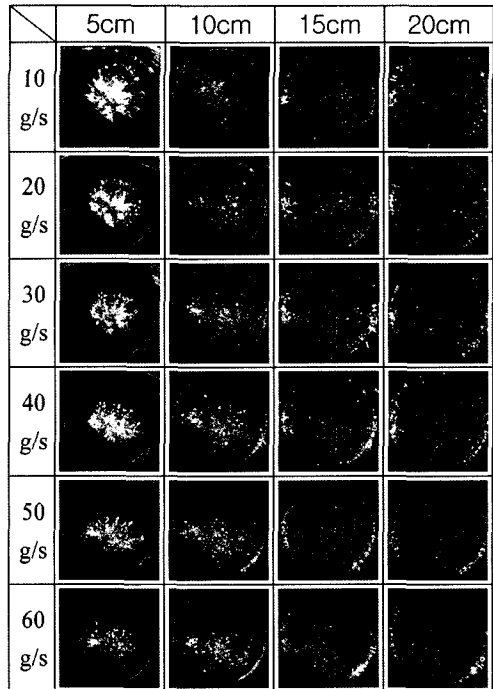


Fig. 10 Cross-section pattern (T=50°C, Inj. dur =10ms)

문으로 판단된다. 이러한 영향으로 50g/s 경우에는 바닥에 벽류가 다소 형성되었다.

Fig. 10부터 Fig. 13에는 인젝터의 노즐과 모사배기관 출구의 이루는 각도가 0°가 되도록 설치하여,

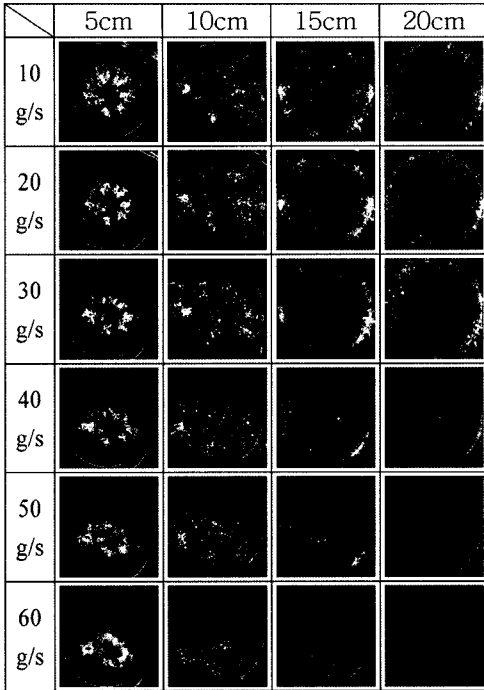


Fig. 11 Cross-section pattern (T=300°C, Inj. dur =10ms)

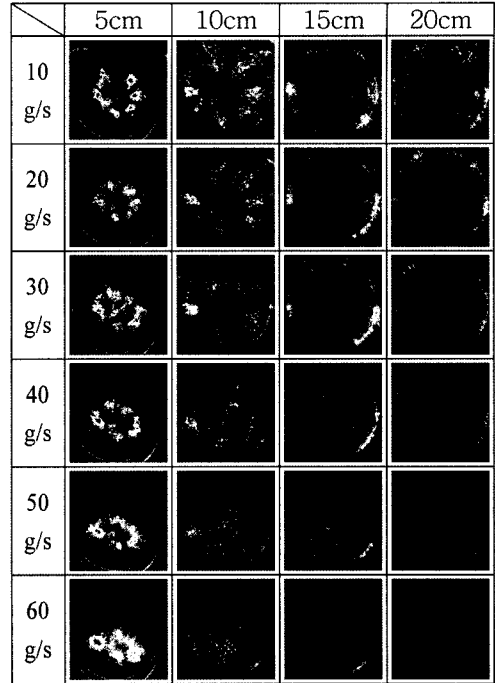


Fig. 13 Cross-section pattern (T=300°C, Inj. dur =20ms)

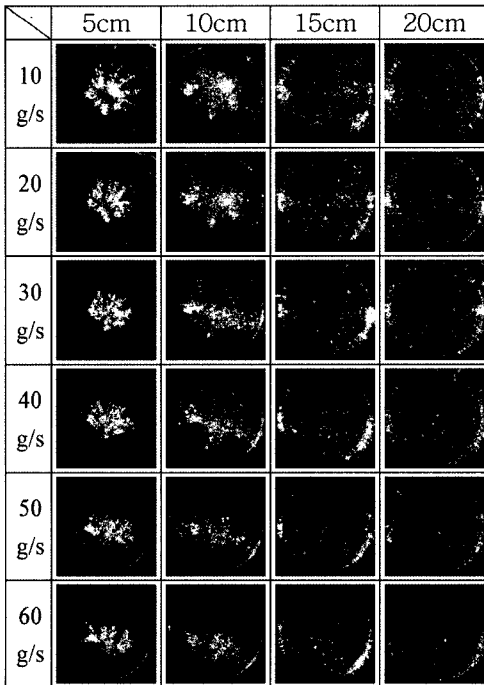


Fig. 12 Cross-section pattern (T=50°C, Inj. dur =20ms)

그 분무 단면을 정리한 것이다. 노즐 팁으로부터 5, 10, 15, 20cm 거리의 단면을 고속카메라를 이용하여

화상을 취득하였고, 디지털 영상 처리를 통하여 RMS 평균 화상을 비교하였다.

온도조건이 50°C일 경우, 300°C보다 전체적으로 액적들이 더 뚜렷하게 나타났다. 노즐 팁으로부터 5, 10cm 거리에서는 크게 차이 나지 않지만 15, 20cm 에서는 액적의 분포가 확연히 차이를 보였다.

300°C의 경우 액적이 증발하는데 충분한 시간이 지난 15cm 지점 이상부터는 액적의 산란 강도가 상당히 약해지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 블로 워 모터에 의한 질량 유량이 증가하면서 분무 단면 패턴이 조금씩 아래로 이동하는 경향이 나타났다. 이는 곡관부 형상의 영향이라고 생각해볼 수 있는데, 유량이 60g/s 이상일 경우에는 5cm 지점에서 벽류가 생성될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 HC-DeNOx 촉매에 이용되는 인젝터를 이용하여 모사배기관에서의 분무특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유동장 내 분무특성을 측정된 결과, 공기 질량 유량의 증가에 따라 벽류량이 줄어들고 분무 액적

의 미립화가 상당히 향상되는 것을 알 수 있었다.

- 2) 모사배기관 상단에서 45°로 분사를 시켰을 경우, 아크릴을 이용한 유동장 내 분사와 같이 유량이 증가할수록 미립화 특성이 향상되었다.
- 3) 모사배기관에서 온도의 증가에 따라 분무 출기를 비롯한 전체 분무 영역이 넓어지고 액막의 분열 길이도 짧아졌다. 이것은 고온에서의 증발 특성 향상과 액막의 표면장력이 작아진데 그 원인이 있다고 판단된다.
- 4) 모사배기관 곡관부에서 0°로 분사를 시켰을 경우, 질량유량이 작은 경우에는 분무가 노즐 중심축 방향으로 상하 대칭을 이루는 패턴을 보여주지만, 유량이 커질수록 아랫방향으로 휘어지며 분무 각도가 좁아지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 모사배기관 형상에서 볼 수 있듯이 곡관부에서의 유동장에 원심력이 작용하였기 때문으로 판단된다.
- 5) 모사배기관 곡관부에서 0°로 분사를 시켰을 경우, 노즐 중심축으로부터 거리가 멀어질수록 증발에 따른 액적의 산란강도가 약해지는 것을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부의 미래형 자동차 배기가스 제로화 개발 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- 1) J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill, New York, 1988.
- 2) H. Y. Jeong and K. H. Lee, "Investigation of the Relationship between Liquid Sheet Characteristics and Spray Mean Diameter," ILASS-Americas, 19th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Toronto, Canada, May 2006.
- 3) M. Ueda, A. Asamo, T. Kondo, Y. Watanabe, T. Fukuma and Y. Harada, "A New Optimizing Technique of a Diesel Engine Aftertreatment System Using HC DeNOx Catalyst," JSAE 20034007, 2003.
- 4) D. H. Lee, H. Y. Jung, K. H. Lee, J. H. Lee and K. G. Yeo, "Spray Characteristics of Injector Used for HC-DeNOx Catalyst System," Transactions of KSME B, Vol.31, No.2, pp.167-172, 2007.