

## SAC 형상이 분사특성 및 분무형상에 미치는 영향

### Influence of SAC Shape on Injection Characteristics and Spray

김 상 진 \*, 권 순 익\*\*  
Sangjin Kim, Soonik Kwon

#### ABSTRACT

To clarify the influence of SAC shape of hole-type diesel nozzle on injection characteristics and spray patterns, the injection rate of three nozzle types (standard SAC nozzle, Needle-cut VCO nozzle and VCO nozzle) were measured by Zeuch's method and pictures of the sprays were taken by CCD camera. As the pump speed became higher, the injection characteristics of the three nozzles were different. Injection rate and pressure curves at the high pressure pipe in Needle-cut VCO nozzle were much more similar to the VCO nozzle than those of the SAC nozzle. When the needle was at pre-lift period for all speeds, the spray of the Needle-cut VCO nozzle showed almost the same shape as the SAC type nozzle. There was no difference in spray pattern at the needle full-lift periods.

주요기술용어 : Diesel(디젤), Nozzle(노즐), SAC(색), Injection rate(분사율), Spray(분무), Injection duration(분사기간)

#### Nomenclature

Cd : flow coefficient  
Deg : degree of crank angle  
m' : injection rate, mm<sup>3</sup>/Deg.  
Q : fuel quantity, mm<sup>3</sup>/Str.

#### 1. 서 론

디젤 엔진에서 배출되는 유해가스로 인한 환경오염문제가 매우 심각하게 부상하여 이에 대한 관심이 대단히 높아졌다. 일부국가에서는 대

기오염원의 주된 원인을 디젤엔진의 배기가스에 포함된 유해성분 물질로 간주하여 디젤엔진 버스나 트럭의 대도시 통행을 규제하려는 움직임마저 나타나고 있다. 이러한 규제로 디젤엔진의 존립자체가 문제시되고 있지만, 디젤엔진은 소형 동력원으로서 추종을 불허하는 고효율, 높은 내구성 및 신뢰성을 갖고 있을 뿐 아니라 이산화탄소의 배출이 적기 때문에 에너지 절약 및 지구온난화 억제에 관점에서도 바람직한 동력원이 입증되고 있다. 디젤 엔진 중에서 효율이 뛰어나다는 장점 때문에 최근 소형엔진에도 널리 사용되고 있는 직접분사식 디젤엔진은 출력

\* 회원, 대림대학 자동차공학과  
\*\* 회원, 두원공과대학 기계과

노즐을 사용하고 있다. 홀형 노즐은 구조상 불가피하게 선단부에 자루모양의 작은 체적(SAC 부)을 가진다. 그런데 분사완료 후에 SAC 부에 잔류되는 미량의 연료는 연소실 내의 온도, 압력변동 등에 의해 미연소 가스로 되어 PM, HC 등을 증가시킨다고 알려져 있다.<sup>1)</sup> 이것을 개선하기 위해 SAC 부의 체적을 줄이는 노즐들이 개발, 사용되고 있다. 그 중에는 SAC 부의 체적이 없는 VCO(Valve Covered Orifice)노즐 등이 사용되고 있다. 한편 VCO 노즐은 SAC 부가 없어지는 관계로 니들이 수직으로 상승하지 못하고 또한 노즐내 연료는 급격한 유로 변화를 통하여 분사되는 관계로 각 분공에서 분사되는 분무의 형상이 동일하지 않다고 보고되고 있다.<sup>2)</sup> 그런데 SAC 부 형상에 따라 분무형상이 변한다면 이는 분사율과 관계가 있을 것으로 판단되나 SAC 부 형상에 따른 분사율의 변화 및 분무의 특성에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. SAC 형상에 관련된 연구로는 SAC 부 형상의 최적화를 통해 분무형상의 개선을 시도한 Kano,<sup>3)</sup> 노즐 형상의 변화를 통해 저속에서의 배기가스 저감에 대해 연구한 Yoda,<sup>4)</sup> SAC 부를 제거한 노즐이 연소와 분무에 미치는 영향에 대하여 조사한 Andoh<sup>5)</sup>의 보고 등이 있다.

본 연구는 SAC 부 형상에 따른 분사율 및 분무형상의 변화를 파악하고자 동일 구경의 VCO 노즐, Standard SAC 노즐 그리고 VCO 노즐의 니들 끝단을 절단하여 최소 SAC 부를 형성시킨 노즐(이하, Needle cut VCO 노즐)을 사용하여 동일 분사량 조건에서의 분사 파이프내 압력, 분사시간 및 분사율을 측정하고 분무 형상을 가시화하여 그 특성을 비교하였다.

## 2. 시험장치 및 방법

### 2.1 분사율 측정장치 및 기초이론

Fig. 1 은 시험 장치의 개략도인데 펌프 시험장치(PGM20, Hartridge co.)를 이용하여 분배식 펌프(VE, BOSCH co.)의 구동 및 회전수를 조절하였다. 펌프 시험장치에 설치된 차동트랜스 방식의 분사량 측정장치를 이용하여 연료 분사량을 확인하면서 펌프의 제어 랙을 조정하였다. 그리고 고압 파이프내의 압력 변동을 측정하기 위하여 노즐 홀더에서 약 3cm 떨어진 지점에 피에조 일렉트릭식 압력 센서를 장착하였다.

Table 1 은 본 시험에서 사용한 회전수 및 분사량을 나타낸다. 시험은 500rpm, 1000rpm, 2000rpm 의 3 가지이며 각 회전수에서의 분사량을 최대 0.5%차이 이내로 설정하였다.

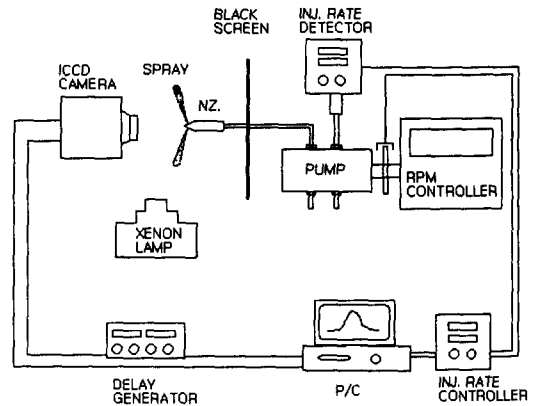


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Test rpm and fuel quantity

Rpm	Q(mm <sup>3</sup> /Str.)
500	43.0±0.2
1000	44.0±0.2
2000	45.1±0.2

분사율은 Zeuch 가 제안한 일정 체적내 압력 변화 측정법<sup>6)</sup>에 기초하여 제작된 분사율 검출

기(FJ-400, Onosokki co.)를 이용하여 측정하였다. Fig. 2 에 분사율 측정 장치의 개략도를 나타낸다. 이 방식은 연료로 가득찬 체적 V 의 용기 안으로 연료를 분사하였을 때 발생하는 용기내 압력의 변화  $\Delta P$  는 분사된 유량  $\Delta V$  에 비례한다는 원리를 이용하는 것으로, 압력의 변동을 검출하는 것에서 분사율을 측정하고 있다. 즉, 압력 변화는 다음 식(1)으로 얻어진다.

$$\Delta P = K \Delta V / V \quad (1)$$

여기서 K 는 연료의 체적 탄성계수이다.

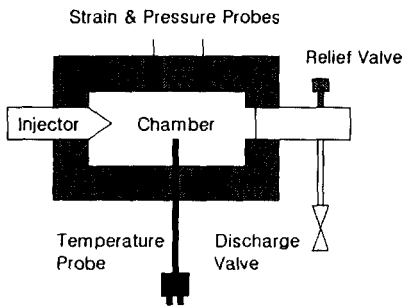


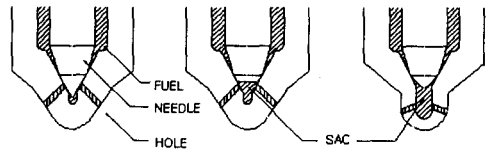
Fig. 2 Schematic of the Zeuch type injection rate meter

연료 분사율  $m_f'$  는  $dP/dt$  를 이용하면 다음 식 (2)로 된다.

$$m_f' = \rho_f (V/K) (dP/dt) \quad (2)$$

여기서  $\rho_f$  는 연료의 밀도이고, t 는 시간을 나타낸다.

Fig. 3 은 시험에 사용된 노즐의 개략도이다. Fig. 3 (a)의 VCO 노즐은 분사가 종료되면 니들이 노즐 분공까지 내려와 분공입구를 막는 구조를 가지고 있기 때문에 Fig. 3 (c)의 SAC 노즐과 비교하여, SAC 부위가 없다는 가장 큰 형상적 특



(a)VCO Nz. (b)Needle-cut VCO Nz. (c)STD Nz.

Fig. 3 Schematics of SAC types

징을 가진다.

Fig. 3 (b)의 Needle cut VCO 노즐은 기존 VCO 노즐의 니들 선단부를 분공입구를 가리지 않는 최소의 길이까지 연삭하여, 니들의 상승과 함께 SAC 부가 확보되도록 제작하였다.

Table 2 는 시험에 사용된 노즐의 특성이다. 각 노즐은 분공지름이 0.21mm 분공수 5 개의 노즐로서 분공의 지름과 길이의 비인 1/d 는 VCO 노즐과 Needle cut VCO 노즐의 경우 4.8 이며, SAC 노즐의 경우는 3.8 이었다. 유량계수 Cd 는 니들을 완전히 상승시킨 상태에서 100bar 의 압력으로 연료를 공급하였을 때 분출된 연료유량과 이론상으로 구해진 유량의 비를 나타낸다. Cd 는 VCO 노즐에서 가장 낮은 값을 보였는데 이것으로 니들이 완전히 상승한 상태에서도 노즐내의 유로저항에는 차이가 있으며 VCO 노즐에서 가장 큰 유로저항이 발생했다는 것을 의미한다. 그리고 노즐은 1 차 개변압 180kg/cm<sup>2</sup>, 2 차 개변압 280kg/cm<sup>2</sup>인 2-스프링 홀더에 장착하였다.

Table 2 Specifications of nozzle

	Flow Coeff. Cd	Hole No.	SAC Vol. (mm <sup>3</sup> )	Hole Dia. d (mm)
VCO	0.6	5	0	0.21
Needle cut VCO	0.65	5	0.16	0.21
SAC	0.75	5	0.39	0.21

## 2.2 가시화 장치

분무의 가시화를 위하여 Fig. 1에서 나타낸 것처럼 노즐의 전방 약 1m 지점에 ICCD 카메라를 설치하고, 연속광을 발하는 Xenon 램프를 90도 각도에 설치하였다. 동일 조건의 분무의 안정성을 파악하기 위하여 각각의 분사조건에서 최대 30회까지 촬영하였다.

그리고 분무의 전반적인 형상의 변화를 확인하기 위하여 분사율이 상승한 후 1.5deg의 분무를 초기분무로, 분사율이 상승한 후 3.0deg의 분무를 중기분무로 그리고 7.0deg의 분무를 말기분무로 정하여 실험하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

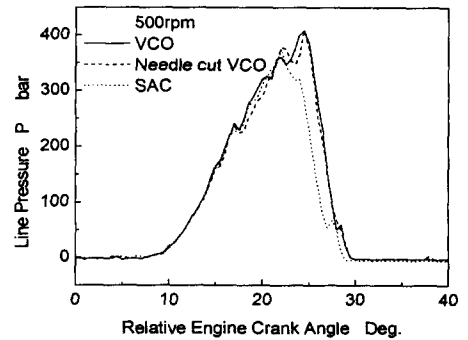
### 3.1 SAC부 형상에 따른 고압 파이프내

#### 압력과 분사율 변화

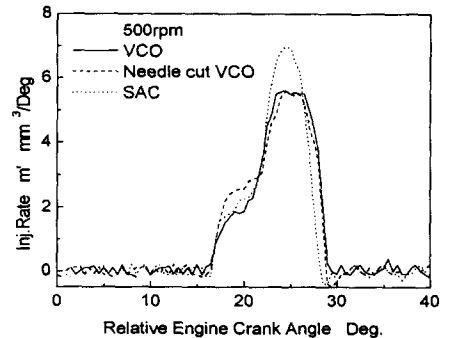
Fig. 4의 (a)는 500rpm에서의 연료분사 파이프내 압력을, Fig. 4(b)는 분사율 변화를 크랭크 각도의 변화에 따라 나타낸 것이다. 그림 (a)의 고압 파이프내의 압력변화 곡선에서 VCO 노즐, Needle cut VCO 노즐과 SAC 노즐의 압력 상승점은 거의 일치하였으나 압력최고점 및 압력 강하 개시점에는 차이가 나타났다. SAC 노즐의 경우 다른 노즐보다 약 45 bar 정도 낮은 최고 압력을 나타냈으며 압력강하시기도 약간 빨랐다. 그림 (b)의 분사율에서 모든 노즐은 2-스프링 인젝트 특성을 보였다. 즉 분사초기에 연료 압력에 의해 1차 스프링이 들린 후부터 2차 스프링이 들리기 전까지인 프리리프트 기간에서 생기는 분사율이 일정한 구간이 모든 노즐에서 측정되었다. 그런데 이 기간에서 VCO 노즐의 분사율은 다른 두 형태의 노즐 보다 낮았다. 이것은 프리리프트 기간에서 형성되는 유로저항이 VCO 노즐에서 가장 높았기 때문이라고 판단된다. 그리고 Needle cut VCO 노즐의 분사율이 가

장 높았는데 이 역시 프리리프트 구간에서 니들과 노즐 벽이 이루는 유로면적이 가장 넓기 때문에 유량계수가 가장 높았기 때문이라고 판단된다. 이 영역을 지난 후 VCO 노즐, Needle cut VCO 노즐의 분사율은 비슷하게 상승하였지만 SAC 노즐의 최대 분사율은 다른 두 종류의 노즐보다 1.6mm<sup>3</sup> 높았다. 그리고 분사율이 높은 만큼 분사가 종료되는 시점도 가장 빨랐다.

Fig. 5의 (a)는 1000rpm에서의 연료분사 파이프내 압력을, Fig. 5(b)는 분사율 곡선을 크랭크 각도의 변화에 따라 나타낸다. 그림 (a)의 고압 파이프내 압력 파형에서 분사율 상승 개시점은 약간 차이가 있었으나 압력 상승기울기는 노즐 간에는 거의 차이가 나타나지 않았다. 그러나



(a) Line pressure



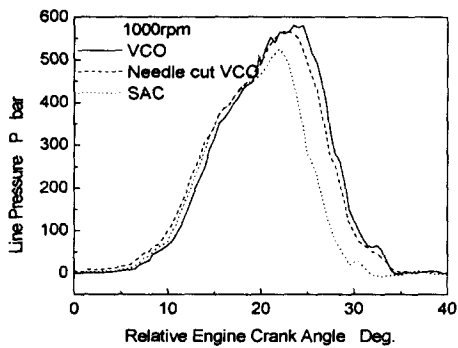
(b) Injection rate

Fig. 4 Change of injection characteristics curves according to the SAC shape at 1000rpm

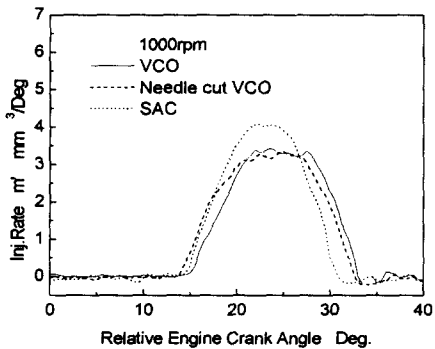
최고압력과 압력 강하점에서는 차이가 발생하였다. 최고 압력은 VCO 노즐이 가장 높으며 Needle cut VCO 노즐, SAC 노즐의 순서로 낮아졌으며, 압력 강하 개시점은 최대압력이 낮은 노즐일수록 빨랐으나 하강 기울기에는 큰 차이가 없었다. 분사율 곡형에서는 500rpm 에서 나타났던 2-스프링 인젝트의 특성은 나타나지 않았다. 분사율 상승 시작점에서 노즐간 차이가 나타났는데 SAC 부가 있는 노즐이 SAC 부가 없는 경우보다 빨랐다. 그러나 최대 분사율에 도달하기까지의 상승 기울기에서는 큰 차이가 없었다. 분사율이 낮아지는 시기는 노즐별로 현저한 차

이가 나타났다. 그런데 전체적인 경향에서 Needle cut VCO 노즐의 파이프 압력변화 및 분사율의 특성은 SAC 노즐보다는 VCO 노즐에 가까운 특성을 나타냈다.

Fig. 6 의 (a)는 2000rpm 에서 SAC 부 형상에 따른 파이프내 압력을 나타내며, Fig. 6(b)는 분사율의 변화를 나타낸다. 고압 파이프내 압력 선도에서 각 노즐의 압력 상승의 기울기는 비슷한 것을 알 수 있다. 최고 압력은 VCO 노즐이 Needle cut VCO 노즐보다 약간 높았으며 SAC 노즐의 경우가 가장 낮게 나타났다. 압력의 강하는 최고압력이 높은 노즐의 역순으로 나타났으며 그 차이는 회전수가 낮을 때보다 현저해지고 있다. 그리고 그림 (b)의 분사율 곡선에서 알 수 있듯이 분사율 상승 시작점 및 종료점의 노즐간 차이는 저속의 경우보다 확연히 나타났다. VCO 노즐보다 SAC 노즐이 2.5 deg. 빠르게 분사가 시작되었으며 분사기간으로는 약 5deg. 정도 짧게 나타났다. SAC 노즐은 VCO 노즐과 비교하여 최대 분사율까지의 분사율 상승이 빨랐고 최대 분사율에 도달한 후 하강점은 빠르게 나타났다. Needle cut VCO 노즐은 VCO 노즐과 비교하여 최대분사율은 비슷하였으나 분사개시시기 및 종료시기가 약간 빨랐다.

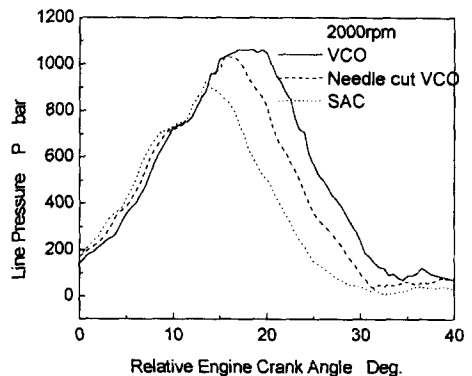


(a) Line pressure

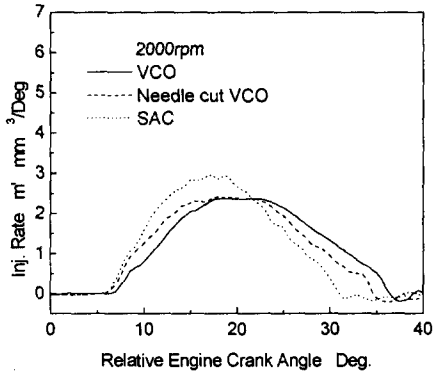


(b) Injection rate

Fig. 5 Change of injection characteristics curves according to the SAC shape at 1000rpm



(a) Line pressure



(b) Injection rate

Fig. 6 Change of injection characteristics curves according to the SAC shape at 2000rpm

### 3.2 회전수에 따른 특성 비교

Fig. 7은 SAC 노즐에서의 회전수 변화에 따른 분사율 변화를 나타낸다. 회전수가 빨라짐에 따라 분사개시시기는 진각되며, 최대분사율은 낮아지고 분사기간은 길어지는 일반적인 경향을 보였는데 다른 형태의 노즐에서도 큰 차이는 없었다.

Fig.8은 각 노즐들의 분사파이프 내 최고 압력과 분사기간을 회전수별로 비교한 그림이다. 고속으로 갈수록 각 노즐들의 분사 파이프내 최고 압력은 높아지고 분사기간은 길어졌다. 그리고 각 회전수에서는 VCO 노즐의 분사기간과 최대분사압이 가장 높았으며 Needle cut VCO 노즐, SAC 노즐 순서로 낮아졌다. 이는 니들이 상승함에 따라 형성되는 유로의 유량계수 Cd의 차이에서 발생한 것으로 판단된다. 즉 동일한 유량을 분출할 때 Cd 값이 낮은 VCO 노즐에서 연료의 흐름이 원활하지 못하여 분사 파이프 내 압력이 올라가고 분사기간은 길어지게 되었다.

이상과 같이 SAC의 형상의 변화는 노즐내에서의 연료흐름에 변화를 유발시켜 분사율, 분사기간 그리고 파이프내 압력에 영향을 미치게 됨

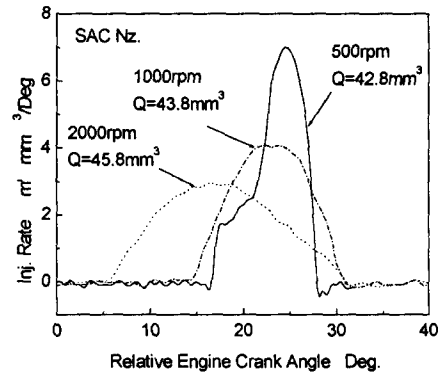


Fig. 7 Injection rate of SAC Nz.

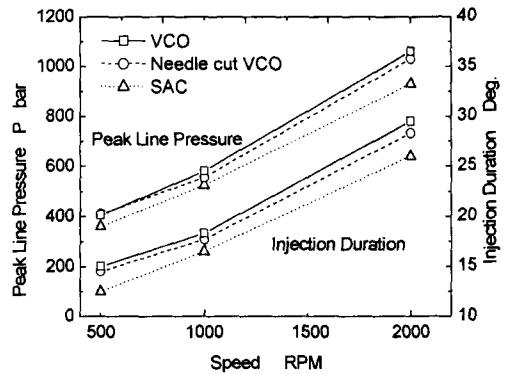


Fig. 8 Comparison of pipe pressure and injection duration of 3 types nozzles

을 알 수 있었으며 SAC 부를 가진 VCO 노즐인 Needle cut VCO 노즐의 분사율 특성은 SAC 노즐보다는 VCO 노즐에 가깝게 나타났다.

### 3.3 분무특성

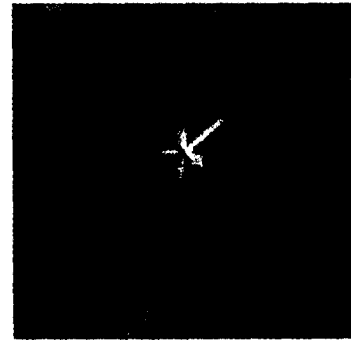
Fig. 9는 500rpm VCO 노즐의 초기분무 즉 분사율 상승 후 1.5deg.후의 분무와 분사율 상승 후 3deg.후의 중기 분무의 사진이다. 초기분무의 경우 5개의 분공에서 나오는 분무는 각기 그

형상이 달랐다. 이들을 몇가지 형태로 나눌 수 있었는데, 2 시 방향의 분무와 같이 폭이 좁고 분무 도달거리가 긴 분무 형태, 11 시와 4 시 방향 분무 같은 폭이 넓고 분무 도달거리가 짧은 분무 형태 및 9 시와 7 시 방향 분무와 같은 폭이 좁고 분무 도달거리가 짧은 분무 형태의 3 가지로 나눌 수 있었다. 이와 같은 분무의 발생은 VCO 노즐의 특징으로 니들과 각각의 분공이 이루는 간극의 차이가 발생하기 때문이라고 설명되고 있다. 중기 분무에서는 초기분무 특성은 어느 정도 남아 있으나 분공간의 분무형상 차이는 많이 사라져 일반적인 SAC 형 노즐의 분무형상과 비슷해지고 있다.

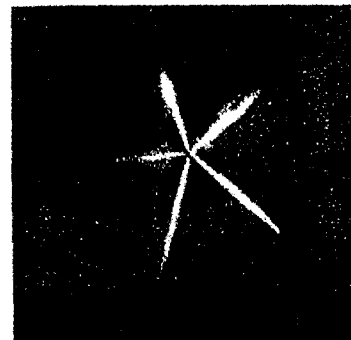
한편 초기 분무와 중기의 분무를 비교하여 보면 동일 분공에서 분사되는 분무의 형태가 동일하게 발달하지 않고 있는 것을 알 수 있다. 이는 노즐내에서 니들이 상승할 때 회전하면서 상승하는 관계로 니들과 분공간의 간격이 매회 달라지기 때문에 나타난 것으로 판단되나 문헌을 통한 조사한 결과 이러한 현상은 본 노즐에서만 보여지는 이상 현상으로 계속적인 고찰이 필요하다. 후기의 분무는 분사 초기, 중기의 분무와는 달리 5 개의 분공에서 분사되는 분무의 형태는 큰 차이가 나타나지 않는 보통의 SAC 노즐에서의 분무 형태와 같았다.

이상과 같이 VCO 노즐의 경우 니들의 프리리프트 구간이라고 판단되는 초기 분무영역에서 각 분공에서 분사되는 분무의 분무형상은 서로 달랐지만 니들이 완전히 상승된 후 분사되는 분무일수록 분공간의 분무형태의 차이는 사라지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10 은 Needle cut VCO 노즐과 SAC 노즐의 초기 분무 사진이다. 시험한 회전수는 500rpm 이었다. Needle cut VCO 노즐의 각 분공에서 발생된 분무의 형태는 일반적인 SAC 형 노즐에서의 분무와 유사한 형태를 보였다. 다만 Needle



(a) Initial stage spray



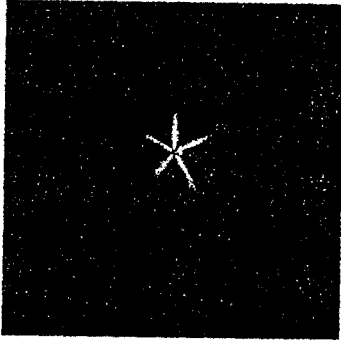
(b) Middle stage spray

Fig. 9 Spray pattern of VCO Nz at 500rpm

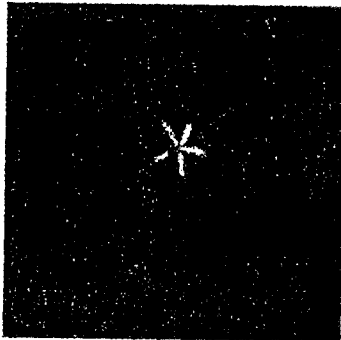
cut VCO 노즐의 분무 도달거리가 조금 길게 나타났는데 이는 Fig. 4 에서 보였던 Needle cut VCO 노즐의 초기 분사율이 약간 높은 결과 때문으로 추측된다. 중기와 말기의 분무사진에서도 두 노즐간의 차이는 발견하지 못했다.

이상과 같이 SAC 부 형상에 따른 분무형상은 회전수에 관계없이 VCO 노즐에서의 초기분무에서는 큰 차이가 나타났는데 이는 SAC 부가 없는 경우 프리리프트기간에서 니들이 한쪽으로 치우쳐 상승하기 때문에 발생된 유로의 차이에서 발생된 것으로 판단되며, 니들이 완전히 상승하여 유로가 확보된 구간에서는 노즐간 및 분공간의 분무형태에는 차이가 발생되지 않았다. 그리고 최소한의 SAC 부를 확보하여주면 초기 분무부터 분공간의 차이가 없는 안정된 분무를

발생시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.



(a) Needle cut VCO Nz.



(b) SAC Nz.

Fig. 10 Initial stage spray of Needle cut VCO Nz. and SAC Nz. at 500rpm

#### 4. 결 론

SAC 부 형상의 변화가 분사율 및 분무형상에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 VCO 노즐, SAC 노즐 그리고 자체 제작한 Needle cut VCO 노즐을 이용하여 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 낮은 회전수에서는 VCO 노즐, Needle cut VCO 노즐, SAC 노즐의 최대분사율, 연료분사 파이프 내의 최고 압력 그리고 분사기간의 큰 차이는 없었으나, 고속으로 갈수록 노즐간의 차이는 크게 나타났으며 SAC 노즐의 분사압이 가장 낮고 분사율은 가장 높았다.

2) VCO 노즐의 경우 중저속의 분사초기에 각 분공에서 분사되는 분무의 도달거리 및 분무의 폭이 서로 다른 3 가지 형태로 나타났으나 중기 및 말기에서는 각 분공에서 분사되는 분무의 도달거리, 분무 폭이 일정하게 나타났다.

3) Needle cut VCO 노즐의 분사율은 VCO 노즐과 유사한 특성을 보였으나, 분무형태는 SAC 노즐과 유사한 특성을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Diesel 燃料噴射研究會, Diesel 燃料噴射研究, 山海堂, pp.113-120, 1997.
- 2) C. Soteriou, R. Andrew, M. Smith, "Direct Injection Diesel Sprays and the Effect of Cavitation and Hydraulic flip on Atomization", SAE 950080, 1995.
- 3) H. Kano, M. Kato, T. Kojima M. Katagiri, "Contribution of Optimum Design for Nozzle Configuration to Spray Formation", SAE 900824, 1990.
- 4) T. Yoda, N. Fujitani, S. Tojo and Y. Furuhashi, "Analysis of Diesel Smoke Emission at Low Engine Speed", SAE 950084, 1995.
- 5) H. Andoh, K. Shiraishi, "Influence on Injection and Combustion Phenomena by Elimination of Hole Nozzle SAC volume", SAE 860416, 1986.
- 6) A. Takamura, S. Fukushima, Y. Omori, T. Kamimoto, "Development of a New Measurement Tool for Fuel Injection Rate in Diesel Engine", SAE 890317, 1989.