

연료분사노즐의 니들밸브 형상변화에 따른 분무특성에 관한 연구

A Study on Spray Characteristic of Fuel Injection Nozzle with
Geometrical Shape Changes of Needle Valve

蔡 載 宇*, 林 茂 龍**, 吳 信 奎***
J. O. Chae, M. Y. Leem, S. K. Oh

ABSTRACT

The experimental study, using constant pressure injection system, is carried out to investigate the effect of the geometrical shape changes of the needle valve on the effective flow area, the spray angle and the Sauter's Mean Diameter according to needle valve lift for a pintle-type injection nozzle.

The results are as follows:

- 1) With the increase of the needle valve lift, the effective flow area is increased, the spray angle is at first increased and later decreased, and the Sauter's Mean Diameter is decreased.
- 2) It is also shown that the spray angle is maximum at the rapidly increased region of the effective flow area.

기 호 칩 자

d : 입경 (μm)
 n : 입자의 갯수
 C : 유량계수
 Q : 분출연료량 (cm^3/sec)
 ρ : 분출연료의 밀도 (kg/m^3)
 u : 분류의 속도 (m/s)
 L_n : 니들밸브 양정 (mm)
 P : 압력 (MPa)
 A : 분출구면적 (mm^2)
 A_e : 유효흐름면적 (mm^2)
 θ : 각도 ($^\circ$)
 D : 분무평균입경 (μm)

a : 대 기
 i : 분 사
 s : 분 무

1. 서 론

연료의 미립화는 에너지를 이용하여 연료를 무수히 많은 미소한 액적으로 분열, 무화시키는 것을 말하며, 미립화에 영향을 미치는 요인으로서의 분사노즐의 형상, 크기, 연료의 점도 및 표면장력, 연료분사압력 등이 있다. 디젤기관에 있어서 연료분사밸브의 형상은 분무 형태를 좌우하는 중요한 인자이다.

* 正會員, 仁荷大學校 機械工學科

** 現代自動車 研究所

*** 仁荷大學校 大學院 燃燒工學研究室

지금까지의 연구동향을 살펴보면 N. Yamajaki 등²⁾은 연료점도에 따른 분무각과 분무평균입경의 관계를 연구하였고 T. kadota 등³⁾은 분무입자 포집위치에 따른 분무평균입경을 측정하였다.

또 Hiroyasu 등⁴⁾은 분사압력이 일정한 경우 분사개시 후 시간변화에 따른 분무선단 도달거리와 고점도 액체의 미립화에 대해 연구하였으며 Borman 등⁵⁾은 노즐 형태와 주변공기의 Swirl에 따른 배기가스 성분과 열전도율에 대해 연구하였고 N. A. Henein⁶⁾은 노즐의 분공경 및 그 수가 분무평균입경 및 배기가스 성분에 미치는 영향을 연구하였다.

본 연구는 니들밸브 형상의 변화가 니들밸브 양정에 따른 유효흐름면적, 분사각 및 분무평균입경에 미치는 영향을 구명함으로써 연소효율향상을 위한 노즐 설계의 기초자료를 얻기 위한 것으로써 정압연속분사장치에 의해 대기압상태 (20°C, 1013mbar)에 연료를 분사하였다.

2. 실험장치

2-1 연료분사 및 정압유지장치

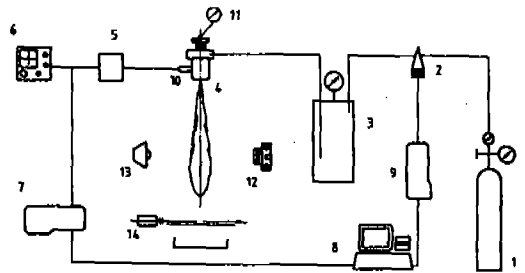
Fig. 1은 본 실험장치의 개략도이다. 연료는 압력변화를 줄이기 위해 제작된 축압실(Accumulator)에 미리 주입시킨 후, 고압질소가스에 의해 가압된다. 고압질소용기(1)과 축압실(3) 사이에는 정압유지장치의 일부인 솔레노이드밸브(2)가 설치되어 있다.

고압가스에 의해 가압된 연료는 분사강관을 통하여 분사노즐(4)에 이른다.

연료는 경유의 점도와 같게 하기 위해 60°C로 예열된 유압유(Tellus-32; 밀도 0.87g/cm³, 60°C에서 동점성계수 6cst)를 사용하였다. 분사노즐은 간접분사식 디젤기관에 사용되는 핀틀형노즐을 사용하였으며 노즐 상부에는 1/100 mm Dial-gauge (11)을 정착하여 니들밸브의 양정을 측정할 수 있게 하였다.

노즐의 측부에는 분사압력을 측정하기 위한 sensor (SHINKOH, MP-100) (10)이 장착되어 있다. 압력 sensor에 의해 검출된 미세한 전

기신호는 Amplifier(5)를 거쳐 일부는 oscilloscope(6)에 입력되며, 일부는 A/D, D/A converter(8bit, Mountain Computer Co.) (7)을 지나 Micro-Computer(8)에 입력, 소정의 프로그램 수행후 자작한 솔레노이드 구동회로(9)를 작동시키게 된다. 이때 솔레노이드 밸브의 구동상태는 LED (Light Emitting Diode)를 통해 확인할 수 있다. Fig. 2는 실험용 노즐의 상세도이다.



- 1. N₂ gas bomb
- 2. Solenoid valve
- 3. Accumulator
- 4. Injection nozzle
- 5. Amplifier
- 6. Oscilloscope
- 7. A/D Converter
- 8. Micro-Computer
- 9. Valve Control circuit
- 10. Pressure transducer
- 11. Dial gauge
- 12. Camera
- 13. Light source
- 14. Solenoid

Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

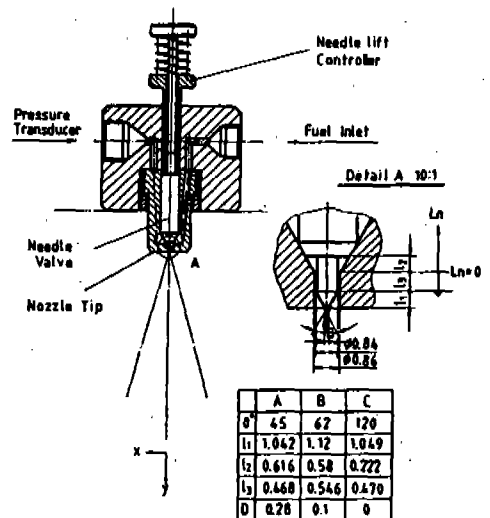


Fig.2 Schematic Diagram of Modified Injection Nozzle

2-2 사진촬영장치

분사각을 촬영하기 위해 Fig. 3과 같은 사진촬영장치를 설치하였다.

카메라는 광선과 서로 직각으로 설치하여, 광이 분무에 조사된후 액적표면에 반사된 광을 받아들이는 반사광에 의한 촬영법을 택하였다.

분사각은 Fig.4와 같이 노즐 출구로부터 분무류에 두개의 외접선을 그어 두 접선이 이루는 각을 분무각 θ_s 로 정의하였다.

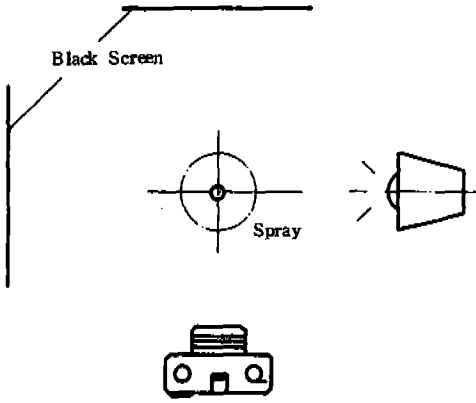


Fig.3 Schematic Diagram for Photography of Spray Angle

2-3 입자포집장치

Fig. 5는 입자포집장치의 개략도이다. 입자포집장치는 포집액(silicon oil)이 도포된 Slide glass가 들어갈 수 있는 포집부와 포집부 상부에서 움직이는 셔터부로 구성되어 있다.

셔터부의 중앙에는 지름 5.5 mm의 포집창이 뚫려있고, 작동은 Stroke 20 mm인 AC 솔레노이드에 의해 이루어지며, 이때 포집창은 분무의 중심을 지난다. 입자는 침적법(Immersion Method)으로 포집하였다.

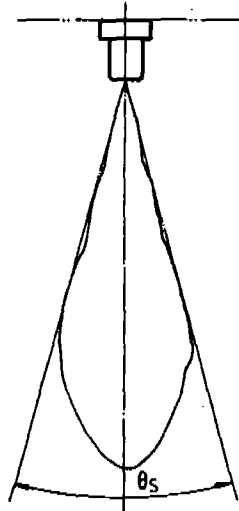


Fig.4 Definition of Spray Angle

3. 실험방법

3-1 분무각 측정

정압유지장치의 작동상태를 LED 및 Oscilloscope로 확인하고 니들밸브 양정 조정나사를 조절하여 노즐상부에 장착된 Dial gauge로 밸브양정을 고정한 후 동일 분사압력에 대해 사진촬영에 의한 분무각을 측정하였다.

3-2 유효흐름면적측정

노즐 오리피스를 통해 분출되는 연료의 유속은

$$u = \sqrt{2(P_i - P_a) / \rho} \dots\dots\dots (1)$$

로 표시된다.

여기서 ρ 는 분출연료의 밀도, P_i 는 분사압력, P_a 는 주변압력을 표시한다. 연료분출량은

$$Q = C \cdot A \sqrt{2(P_i - P_a) / \rho} \dots\dots\dots (2)$$

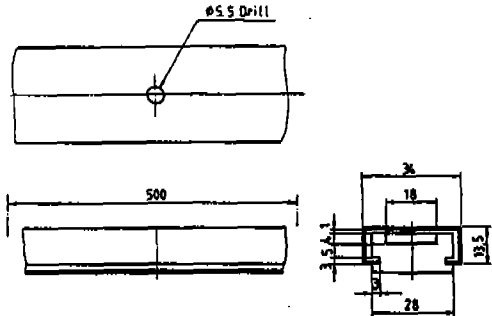


Fig.5 Droplets Catch Apparatus

로 표시할 수 있고 A 를 분출구면적, C 를 유량계수라 할때 $C \cdot A$ 를 유효흐름면적(Effective flow area) A_e 로 정의하였다.

분출연료량 Q 의 측정은 분무각 측정과 동일한 방법으로 니들밸브 양정을 변화시켜가며 30초 동안 분사되는 연료의 양을 Mass cylinder로 측정하였다.

3-3 분무평균입경측정

분무특성의 기본형태는 연료의 분무평균입경으로 나타낼 수 있다.

Sauter's Mean Diameter (SMD, D_{32})는 여러가지 입경을 갖는 입자군을 동일한 총면적 및 총체적을 갖는 균일한 입경으로 나타낼 때의 직경을 의미하며 다음의 식으로 표시된다.

$$D_{32} = \frac{\sum(d_i^3 \cdot n_i)}{\sum(d_i^2 \cdot n_i)}$$

여기서 d_i 는 임의의 입경, n_i 는 임의의 입경의 갯수이다.

점도 1,000 cst의 silicon oil이 도포된 Slide glass를 포집부의 홈에 밀어 넣고 분사압력과 니들밸브 양정을 고정하고, 분무가 형성되면 AC 솔레노이드를 이용하여 셔터부를 구동시킨다.

셔터부의 포집창이 분무의 중심을 지나게 되면서 이때 포집창을 통과한 분무입자가 포집된다.

입자가 포집되는 위치는 노즐분사구에서 하

방 0.12 m로 하였다.

포집된 분무액은 투영기(Profile Projector)로 50배 확대하여 사진촬영하였으며, 사진촬영도를 근거로 하여 분무평균입경 D_{32} 를 구하였다.

니들밸브 양정을 증가시켜 실험을 반복하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1 분 무 각

Photo.1은 $\theta = 120^\circ$, $P_i = 4.9 \text{ MPa}$ 인 경우에 니들밸브 양정을 변화시켜 촬영한 사진이며 Fig.6은 분무각과 니들밸브 양정과의 관계를 니들밸브 선단부각도 θ 를 변수로 하여 표시한 선도이다.

니들밸브 양정이 증가함에 따라 분무각 θ , 는 서서히 증가하다가 어느 임계점을 지나면서 감소하는 경향을 보인다.

일정한 분사압력에서 니들밸브 양정에 따른 니들밸브 선단부각도의 영향은 $\theta = 45^\circ$ 일때 보다 $\theta = 62^\circ$ 인 경우가, 유체가 니들밸브 선단부를 따라 분사될때 얻어지는 접선방향의 속도증가와 유체충돌에 의해 분무각은 전체적으로 커지는 경향을 보이며 $\theta = 120^\circ$ 인 경우는 니들밸브 선단부를 따라 분사된 접선방향의 충분한 속도를 얻은 유체가 대기로 분사되기전 노즐본체의 Hole의 측부에 충돌하는 양상을 보여 운동량의 상실로 인해 분무각은 작아진 경향을 나타낸다(Fig.2 참조).

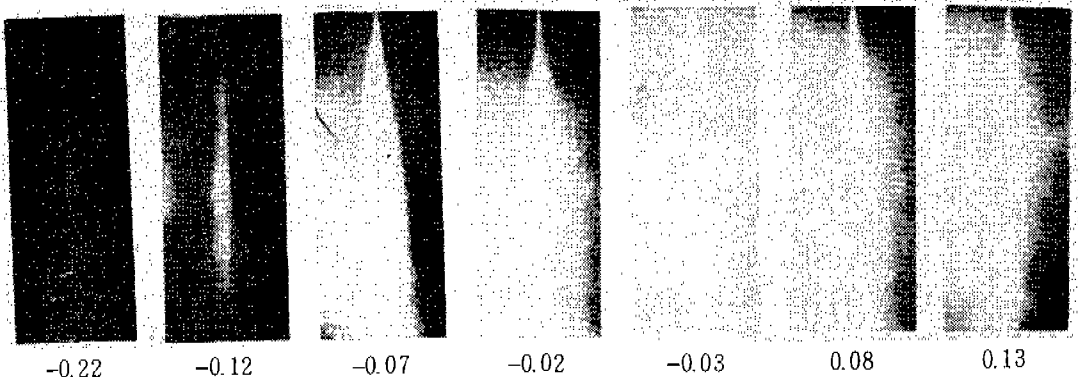


Photo.1 Photographs of Spray Angle ($P_i = 4.9 \text{ MPa}$) ($\theta = 120^\circ$)

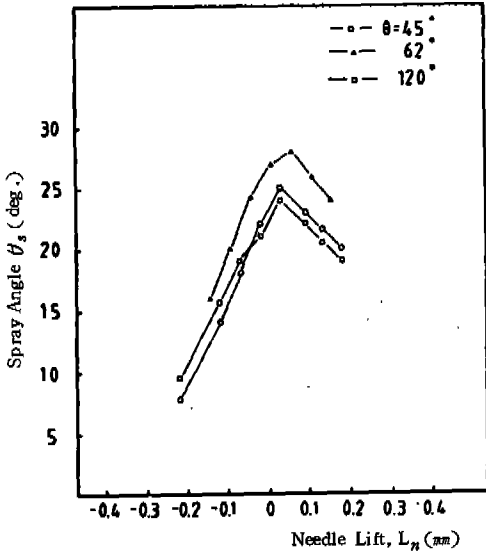


Fig. 6 Effect of Needle-valve Lift on Spray Angle ($P_i = 4.9 \text{ MPa}$)

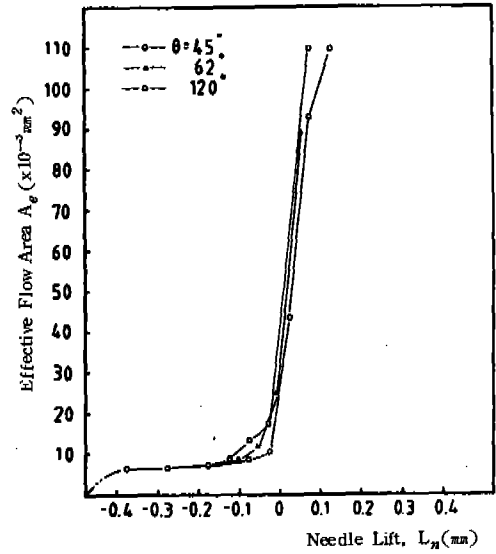


Fig. 7 Effect of Needle-valve Lift on Effective Flow Area ($P_i = 4.9 \text{ MPa}$)

4-2 유효흐름면적

Fig. 7 은 분사압력 $P_i = 4.9 \text{ MPa}$ 인 경우에 유효흐름면적과 니들밸브 양정과의 관계를 니들밸브 선단부각도를 변수로 하여 표시한 선도이다.

3개의 노즐형태 모두 유효흐름면적은 니들밸브 양정을 증가시키에 따라 서서히 증가하다가 어느 임계점을 지나면서 급격히 증가함을 볼 수 있다.

이것은 노즐본체 사이의 틈새 증가로 마찰 저항 감소와 유로면적 증가로 인하여 유량이 급격하게 증가되기 때문이다. 또 동일 분사압력과 동일 니들밸브 양정에서 밸브선단부의 각도가 증가함에 따라 유효흐름면적은 커짐을 볼 수 있는데 이는 동일한 니들밸브 변화량에 대해서 θ 가 증가함에 따라 노즐 Hole 과 밸브사이에 형성되는 환상의 오리피스 부분이 더 크게 형성되기 때문이다.

4-3 분무평균입경(SMD)

Fig. 8 은 $P_i = 4.9 \text{ MPa}$ 인 경우 분무평균입경을 니들밸브 선단부 각도와 니들밸브 양정을 변수로 하여 표시한 선도이다.

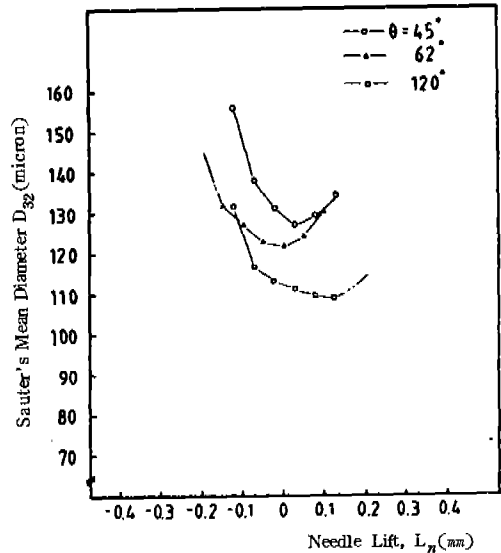


Fig. 8 Effect of Needle-valve Lift on Sauter's Mean Diameter ($P_i = 4.9 \text{ MPa}$)

니들밸브 양정이 증가함에 따라 평균입경은 감소하다가 어느 임계점에서부터 증가하는 경향을 보이며 니들밸브 선단부각 $\theta = 45^\circ, 62^\circ$ 의 경우는 분무각이 최대를 나타내는 곳에서 분무평균입경은 최소가 됨을 보이고 있다. 동일 분사조건에 대한 밸브선단부각도 θ 의

영향은 θ 가 증가함에 따라 SMD는 감소하는 경향을 보이고 있다. 또 $\theta=120^\circ$ 의 경우에는 분무각이 최대인 지점 이후에서도 SMD는 다소 감소하는 경향을 보이는데 이것은 니들 밸브 선단부를 따라 분사된 유체가 대기로 분사되기전 노즐본체의 Hole 측면에의 충돌효과에 기인된 것이라 생각된다.

Photo. 2는 $\theta=120^\circ$, $P_f=4.9$ MPa일때 니들 밸브 양정을 증가시켰을때의 분무사진이다.

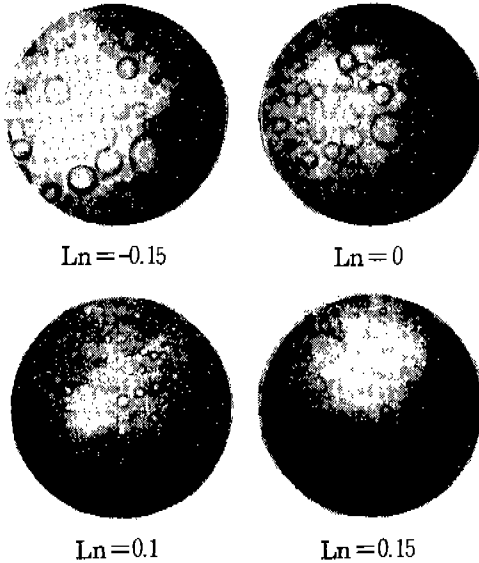


Photo.2 Photographs of Droplets
($P=4.9$ MPa) ($\theta=120^\circ$)

5. 결 론

핀틀형 디젤연료 분사노즐에서 니들 밸브 형상의 변화가 니들 밸브 양정에 따른 유효 흐름면적, 분사각 및 분무평균입경에 미치는 영향을 구명하기 위해 대기압상태에 정압연속 분사장치로 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

일정한 분사압력하에서는

- 1) 유효흐름면적은 니들 밸브 선단부각도가 커지면 증가한다.
- 2) 분무각은 니들 밸브 선단부각도가 커지면 증가하였다가 감소한다.
- 3) 분무평균입경은 니들 밸브의 선단부각도가 커지면 감소한다.
- 4) 유효흐름면적이 급격히 증가한 부분에서 분무각이 최대가 되며 분무평균입경은 최소가 되는 경향을 보인다.

이는 분무각이 커지면 주변 공기와의 전단력이 커져 분무평균입경은 감소하게 된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 1986년도 연구비 지원에 의해 수행되어졌으며 동 재단 관계 제위께 감사드립니다.

REFERENCES

1. Nobuyuki Yamajaki, "The Effect of Flash Boiling Fuel Injection on Spray Characteristics", SAE 850071.
2. T. Kadota & H. Hiroyasu, "Combustion Modeling in Reciprocaing Engine", Plenum Press, N.Y., 1980, pp. 69-408.
3. 廣安博之, "デーゼル噴射邊に於ける高精度液體の微粒化", 日本機械學會 論文集, 51卷 470號(昭 60-10), 1985.
4. Gray, L. Borman, "The Effect of Swirl and Injection Parameters on Diesel Combustion and Heat Transfer," SAE 850265.
5. Naeim, A. Henein, "Analysis of Pollutant Formation and Control and Fuel Economy in Diesel Engine", 1976, pp. 165-169.