

## 기존 소형버너용 압력-선회노즐의 분무특성 Spray Characteristic of Pressure-Swirl Nozzles Used in Small Scale Burner

이 동 화\*, 왕 문 무\*, 노 수 영\*\*  
D. H. Lee, W. W. Wang, S. Y. No

### ABSTRACT

It is important to improve the efficiency of the existing small scale burner which used in agricultural product dry system and gardening dry system. In order to economize fuel Consumption and decrease the exhaust emission especially CO<sub>2</sub>, the better design for the small scale burner is needed. Spray characteristics are the essential element for the design. Macroscopic spray characteristics such as spray angle and breakup length were measured. SMD which is contained the Microscopic spray characteristics was measured too. SMD was measured at 8mm, 12mm, 16mm downstream of the nozzle tip for both Hago and Danfoss nozzles by the Malvern Particle Sizer.

주요기술용어 : Spray angle, Breakup length, SMD

### 1. 서론

기존 농산물 건조용 및 시설원예용 난방기 연구 분야에는 연료소비율을 최소화한 연료절감형 및 온실효과에 의한 지구 온난화의 주범으로 인식되고 있는 이산화탄소 배출저감 가능한 환경오염 절감형 최첨단 버너개발이 필요하다.

미립화특성은 소형버너의 설계에 있어서 매우 중요한 사항으로서 이들은 노즐의 형상, 분무각, 분사압력과 주변매질의 밀도와 온도 등의 분사조건과 같은 여러 가지의 엔진 운전 작동 변수들에 의해 크게 영향을 받는다.

분무특성 중의 하나로서 분무각은 연료의 축방향과 반경방향 분포, 기관의 효율, 배기가스 방출에 영향을 주기 때문에 중요한 인소이다.<sup>1)</sup> 분무각은 평면상에서 노즐선단 중심과 노즐선단 끝으로부터 어떤 규정된 거리에서의 수평선과 분무윤곽(경계)이 교차하는 점을 잇는 두 직선이 이루는 각으로 정의된다.<sup>1)</sup>

압력-선회노즐에서 분열길이의 측정의 기존 방식에는 두 가지가 있다. 하나는 노즐선단 끝으로부터 초기 미립화가 형성되는 지점까지의 거리이고 다른 하나는 노즐선단 끝으로부터 완전미립화가 이루어지는 지점까지의 거리를 측정하는 것이다.<sup>2)</sup>

기존 미립화방식은 요구하는 액적을 얻기 위해 제트를 분열시키는데 기계적 방법을 채용하고 있으므로 한계가 있다.

본 연구에서는 분무영상, SMD, 분열길이에

\* 회원, 충북대학교 대학원 농기계공학과

\*\* 회원, 충북대학교 농기계공학과

대해 세계적으로 인정을 받고 있는 노즐제품인 Hago, Danfoss 노즐의 미립화특성을 비교분석함으로써 소형버너에서 액체연료를 연소할 경우 연료의 표면적을 증가시키고 일정한 크기의 액적을 얻을 수 있는 효과적인 미립화방법을 강구하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 거시적 특성

본 연구에서 분무각과 분열길이 측정을 위한 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

실험장치는 연료공급장치, 노즐, 디지털 영상 시스템, 큰 용기 등으로 구성되었다.

연료공급장치는 연료탱크, 건타입 오일버너(G8F60)의 전기식 오일펌프, 연료필터, 압력계로 구성되며 시험연료로 밀도가 780 kg/m<sup>3</sup>인 경유를 사용하였다. 연료펌프가 작동하면 연료탱크내의 연료는 연료필터를 통하여 흡입되어 노즐의 오리피스를 통하여 상온의 대기 중에 0.7 MPa ~ 1.3 MPa의 압력으로 분사된다.

디지털 영상 시스템<sup>3)</sup>은 스트로브 스크프, 디지털 비디오 카메라, 영상 처리 소프트웨어(IMAGE PROCESSING SOFTWARE), 컴퓨터 등으로 구성된다. 인젝터에서 연료가 분사되는 동안 분무의 뒷편에 스트로브 프로젝트를 설치하고 720 × 480 픽셀의 3 - CCD 비디오 카메라(DCR-VX1000)로 분무를 촬영한다.

촬영된 영상들은 영상처리 소프트웨어(SONY

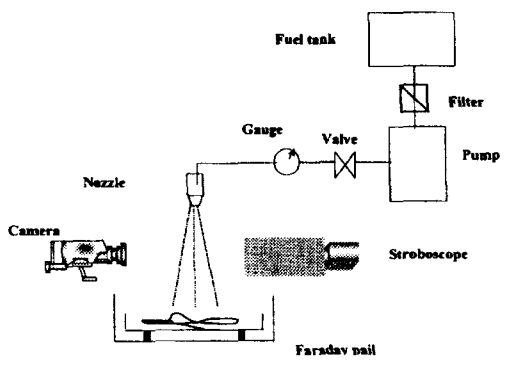


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental set-up

DVD APPLICATION)를 통해 PC에 저장을 한 후 각 실험 조건별로 50개 이미지를 취해서 분석을 진행하였다.

이 이미지들은 영상처리 소프트웨어(ADOBE PHOTOSHOP 7.0)를 사용하여 투과율 기준에 따라서 75%의 이진화 처리하여 배경과 분무부분의 경계를 추출하였다. 이진화 처리된 영상에 노즐팁 중심으로부터 분무 폭이 최대인 분무경계가 만나는 점을 직선으로 긋고 왼쪽경계와 만나는 직선과 오른쪽경계와 만나는 직선 사이의 각도를 산출하여 분무각을 구하였다.

분열길이는 노즐 선단 끝부분부터 완전 미립화가 되는 지점까지의 거리로 정의하여서 측정하였다.

### 2.2 미시적 특성

분무에서 평균 입경을 측정하는 것으로 입자입경분포특점을 파악하였다. 입경분포측정에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

다양한 압력-선회노즐은 선회를 형성하는 내부구조가 서로 다름에 따라 일정한 압력을 받으면서 분사될 때 접선방향에서 받는 힘의 강약이 다르기 때문에 분열되는 액적들의 크기에 미치는 영향이 다르다.

본 연구에서 사용한 Danfoss 노즐제품은 내부로 연결된 오리피스 뒷부분이 오목하게 들어간 원추형 형태로 되어 빈 공간구역을 제공하는데 분사 액체는 이 공간에서 와류를 형성하면서

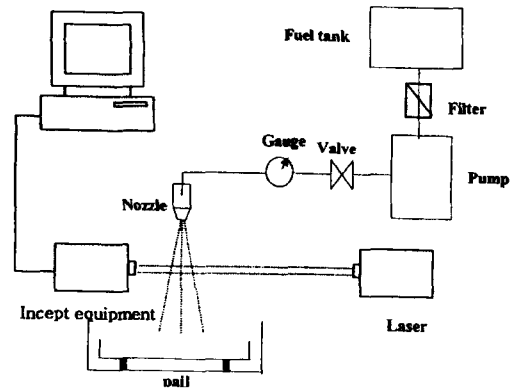


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental set-up

접선방향의 속도를 가지고 오리피스를 흘러 지나면서 빈 증공 원추형의 액막을 형성한다.<sup>4)</sup> Hago노즐제품은 오리피스와 밀접하게 연결되어 있으며 오리피스가 1 mm정도 노즐밖에 튀어 나온 상태로 되어 있다. 내부로 연결된 오리피스 뒷부분은 평평하고 분무기앞부분이 오목하게 원추형 형태로 되어 있으며<sup>5)</sup> 분사 액체가 그루브(groove)를 통해 접선 방향과 축방향 속도 성분을 동시에 가지고 이 두 부분의 빈 공간구역 즉 와류실로 유입되어 와류를 형성하면서 축방향으로 흐른다.<sup>4)</sup>

노즐 오리피스를 통해 대기 중에 분사된 연료의 액적 평균입경을 Malvern입자 분석기로 측정하였다. 측정은 노즐 선단 끝부분에서부터 축방향거리로 8 mm, 12 mm, 16 mm에서 각각 하였고 각 축방향거리 및 분사압력별로 SMD를 측정하였다. 측정회수는 각 실험조건별로 5회씩 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 분무각

본 연구에서는 분사압력이 매 노즐에 미치는 영향을 검토하기 위하여 분공경이 0.231 mm, 0.256 mm, 0.333 mm, 0.346 mm인 Hago노즐제품과 0.256 mm, 0.308 mm, 0.333 mm, 0.359 mm인 Danfoss노즐제품에 대하여 분사압력이 각각 0.7 MPa, 0.9 MPa, 1.1 MPa, 1.3 MPa로 변화를 주면서 분무각을 측정하였다.

Fig. 3은 분위기압력을 0.7 MPa, 0.9 MPa, 1.1 MPa, 1.3 MPa로 변화시켰을 때 각 Hago 및 Danfoss노즐 분공경에 따른 분무각 변화를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 분사압력과 노즐 분공경이 증가함에 따라서 Hago 및 Danfoss노즐의 경우 모두 분무각이 증가하는 경향을 보이고 있다.

이러한 경향은 분사압력이 증가함에 따라 각각의 액적들이 받는 항력이 증가하여 공기역학적 저항이 증가함으로써 축방향보다 반경방향으로 작용하는 힘이 커지기 때문인 것으로 판단된다.

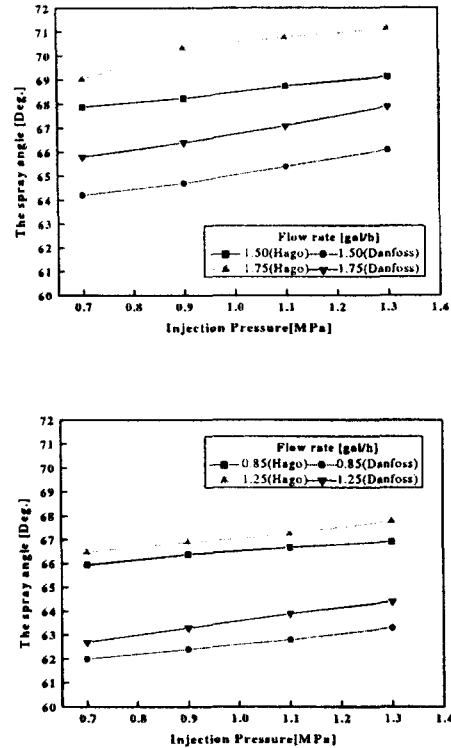


Fig. 3 Effect of injection pressure on spray angle for Hago and Danfoss nozzles

실험에 사용한 각 노즐을 유량범주로 분류할 때 Hago노즐은 0.85 g/h(0.231mm), 1.25 g/h(0.256 mm), 1.50 g/h(0.333mm), 1.75 g/h(0.346mm)로 나눌 수 있고 Danfoss노즐은 0.85 g/h(0.256mm), 1.25 g/h(0.308mm), 1.50 g/h(0.333mm), 1.75 g/h(0.359mm)로 나눌 수 있다.

Fig. 3을 보게 되면 동일한 조건에서 분무각은 Danfoss노즐인 경우가 Hago노즐인 경우보다 큰 것으로 나타나고 동일한 조건하에서 차이는 3° ~ 4°정도 된다. 이는 같은 유량규격조건에서 분공경의 차이 즉 Danfoss노즐의 분공경이 Hago노즐의 분공경보다 크기 때문에 분무 폭이 더 넓어진 것이다.

#### 3.2 분열길이

Fig.4에서는 분위기압력을 0.7 MPa, 0.9 MPa,

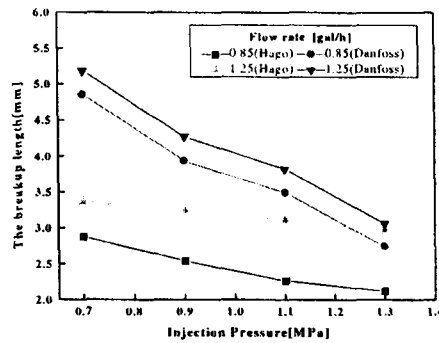
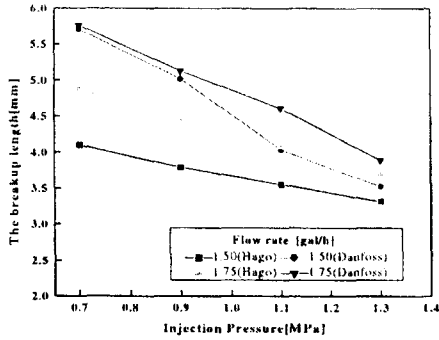


Fig. 4 Effect of injection pressure on breakup length for Hago and Danfoss nozzles

1.1 MPa, 1.3 MPa로 변화시켰을 때 각 Hago 및 Danfoss노즐 분공경에 따른 분열길이 변화를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 분사압력이 증가함에 따라서 분열길이는 감소하고 분공경이 증가함에 따라 분열길이가 증가하는 경향을 보이고 있으나 Danfoss노즐인 경우가 Hago노즐인 경우보다 전체적으로 분열길이가 크게 나타났으며 압력에 따른 영향이 큰 것으로 나타나고 있다.

동일한 조건에서 Danfoss노즐은 Hago노즐에 비해서 큰 분열길이를 보여주고 있으며 그 차이는 0.2 ~ 2 mm 정도로 나타내고 있다. 이는 동일한 유량규조조건에서 Danfoss노즐의 분공경이 Hago노즐의 분공경보다 크기 때문에 같은 분사압력조건에서 동일한 시간 내에 분사되는 연료함량이 많고 따라서 연료함량에 따른 높은 액

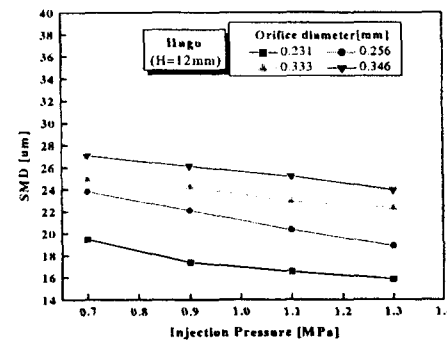
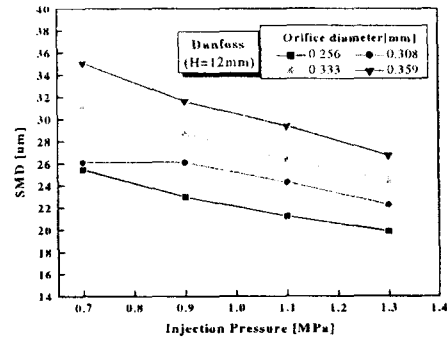


Fig. 5 Effect of injection pressure on SMD for Hago and Danfoss nozzles at 12mm downstream from the nozzle tip

적점도가 액적분열에 미치는 영향이 크기 때문이다.

### 3.3 SMD

본 연구에서는 분위기압력을 0.7 MPa, 0.9 MPa, 1.1 MPa, 1.3 MPa로 변화시켰을 때 각 Hago노즐 및 Danfoss노즐의 축방향거리에 대한 SMD의 변화를 측정하였다. 노즐 선단 끝에서부터 축방향거리는 각각 8 mm, 12 mm, 16 mm로 정하였다.

Fig. 5는 축방향거리가 12 mm일 때 분위기압력을 0.7 MPa, 0.9 MPa, 1.1 MPa, 1.3 MPa로 변화시켰을 때 각 Hago 및 Danfoss노즐 분공경에 따른 SMD 크기변화를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 분사압력과 노즐분공경이 증가함에 따라서 Hago 및 Danfoss노즐의 경우 모두

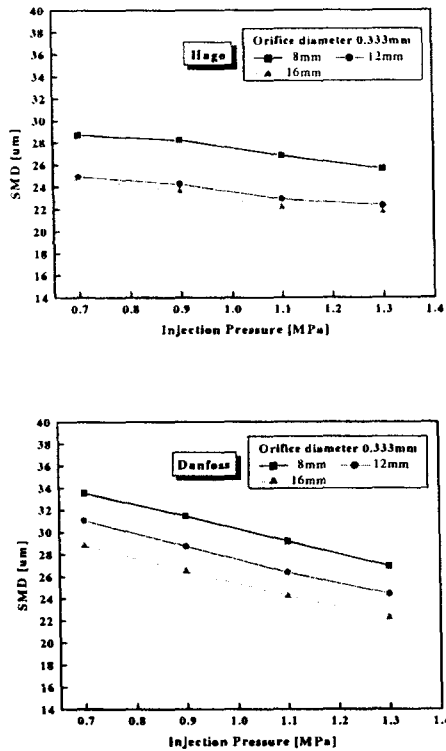


Fig. 6 Effect of measuring position on SMD for Hago and Danfoss nozzles

SMD크기는 감소하는 경향을 보인다.

Fig. 6는 Hago 및 Danfoss노즐 분공경이 0.333 mm일 때 분위기압력을 0.7 MPa, 0.9 MPa, 1.1 MPa, 1.3 MPa로 변화시켰을 때 축방향거리에 따른 SMD 변화를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 분사압력과 축방향거리가 증가함에 따라서 Hago 및 Danfoss노즐의 경우 모두 SMD는 감소하는 경향을 보인다.

축방향거리가 일정할 때 같은 조건하에서 Danfoss노즐과 Hagonoz즐의 SMD크기의 차이는 2 ~ 8 μm정도임을 Fig. 6의 두 그래프에서 볼 수 있다.

노즐의 분공경이 일정할 때 축방향거리가 증가함에 따라 SMD의 크기는 감소한다는 것을 Fig. 6에서 볼 수가 있다. 동일한 조건에서 Danfoss노즐인 경우가 Hagonoz즐인 경우보다

SMD크기가 더 크다. 이는 동일한 유량규격이지만 분공경의 크기가 다르기 때문이며 분사되는 연료함량에 따른 연료점도의 부동한 차이에 서이다.

#### 4. 결론

소형버너의 미립화특성을 파악하고자 분공경이 0.231 mm, 0.256 mm, 0.333 mm, 0.346 mm인 Hagonoz즐제품과 0.256 mm, 0.308 mm, 0.333 mm, 0.359 mm인 Danfoss노즐제품에 대하여 분사압력이 각각 0.7 MPa, 0.9 MPa, 1.1 MPa, 1.3 MPa로 변화를 주면서 분무각, 분열길이, SMD를 측정 및 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Hagonoz즐과 Danfoss노즐의 미립화특성은 동일한 경향을 나타내고 있으며 분무각은 분사압력과 분공경이 증가함에 따라 증가하며 Danfoss노즐이 Hagonoz즐보다 큰 값을 보여준다.

2) 분열길이는 분사압력이 증가함에 따라 감소하고 분공경이 증가함에 따라 증가한다는 것을 알 수 있으며 전 조건에서 Danfoss노즐이 Hagonoz즐보다 큰 값을 나타내고 있다.

3) 축방향거리가 일정할 때 SMD는 분공경에 따라 감소하고 분공경이 일정할 때는 축방향거리가 증가함에 따라 여전히 감소되는 경향을 보이고 있으며 Danfoss노즐이 Hagonoz즐보다 큰 값을 보여준다는 것을 알 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 2002년 농림기술관리센터 연구지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Arthur H. Lefebvre. ATOMIZATION AND SPRAYS. Hemisphere Pub. co., New York, 1989
2. J.H. Rhim, S.Y. No. Stage of Spray Development and Breakup Length of conical Liquid sheet in Pressure Swirl Nozzle. The Third Asia-Pacific Conference on Combustion, June 24-27, 2001, Seoul, Korea
3. J.H. Kim, J.H. Rhim, S.Y. No, B.S. Moon. Comparison of Spray Angles of Multihole Port Fuel Gasoline Injector with Different Measuring Methods. Journal of ILASS-Korea, Vol.5, No.3, 2000
4. 이상용. 액체의 미립화. 서울, 1996, pp. 137-141
5. G.G. Nasr, A.J. Yule and L. Bendig. Industrial Sprays and Atomization.: design, analysis and applications. London, 1988.