

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0065

운전조건에 따른 공기보조 분사기의 Sauter 평균입경에 대한 고찰

Investigation on the Sauter Mean Diameter of an Air-Assisted Fuel Injector - Operating Parameter Consideration

장 창 수*, 최 상 민*
Changsoo Jang, Sangmin Choi

ABSTRACT

Drop size distribution of an air-assisted fuel injector (AAFI) was investigated. Influence of parameters such as ambient air density, supply pressure, and air-liquid mass ratio (ALR) was examined through both measurement and analysis. The Sauter mean diameter (D_{32}) varied from 9 to 25 μm throughout all experimental conditions. An empirical correlation for droplet size was obtained. Analytical correlations for predicting D_{32} with respect to operating conditions were also derived through energy consideration and introduction of a simplified model of the initial state of the liquid fuel. When a modified term for the ALR, which had been obtained from the empirical fitting, was adapted to the original equation, the proposed correlation in this study matched more closely with measured results. The current correlation exhibited a favorable prediction for D_{32} , compared to that by the empirical correlation at selected experimental conditions, so that it may be used to predict atomization performance of the AAFI at operating conditions, which was not covered in the measurements. After validation, the analytical equation was applied to survey the feasible operating conditions for gasoline direct injection application.

주요기술용어 : gasoline direct injection engine(직접분사식 가솔린 엔진), air-assisted fuel injector(공기보조 분사기), photographic imaging system(사진영상 처리장치), air-liquid mass ratio(공기연료질량비), Sauter mean diameter(Sauter 평균입경; D_{32})

Nomenclature

A : 액체연료의 표면적, m^2
ALR : 공기연료질량비(= m_A/m_L)
c : 미립화 상수
 D_{32} : Sauter 평균입경, m

* 회원, 한국과학기술원 기계공학과

- k : 상수
- L : 길이, m
- m : 질량, kg
- $n_1, n_2 \dots$: 상수
- P : 압력, Pa
- R : 가스상수, 287J/kgK for air
- t : 시트두께, m
- w : 시트폭, m
- U : 속력, m/s
- γ : 폴리트로픽 상수
- ρ : 밀도, kg/m³
- η : 효율
- σ : 액체표면장력, kg/s²

Subscripts

- A, a : 공기
- amb : 주변
- L, l : 액체
- me : 기계적
- n : 노즐
- sh : 시트
- sup : 공급
- th : 열역학적
- 0 : 미립화 전
- 1 : 미립화 후

1. 서론

직접분사식 가솔린 엔진에 적용되는 분사기의 성능은 엔진개발에 있어 중요한 변수이다. 특히, 분사 말기에 생성되는 큰 액적들의 양이나 전체적인 평균입경은 적용 엔진의 미연탄화수소 배출과 매우 밀접한 관련을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.^{1,2)}

한 개의 큰 액적이 n³ 개의 같은 크기의 액적으로 미립화 될 경우 입경은 1/n로 줄고, 전체적인 표면적은 n배 증가한다. 표면적의 증가는 주변 공기 접촉을 증가시킴으로써 분사된 액체연료의 기화를 촉진시킨다. 연료가 분사된 시점에서부터 점화가 시작될 때까지의 시간이 포트분사에 비해 짧은 직접분사식 엔진에서 안정된 연소성능을 얻기 위해서는 주어진 시간 안에 충분히 기화

되어 있는 공기-연료 혼합기를 생성하는 것이 필요하다. 따라서 충분히 작은 평균입경의 분무장을 생성시켜야 한다. 일반적으로 직접분사식 가솔린 엔진용 분사기의 요건으로 25 μm 이하의 Sauter 평균입경(이하 D₃₂)이 거론되고 있다.³⁾

분사기의 D₃₂은 분사압력이나 주변압력 등의 운전조건에 따라 달라진다. 따라서 엔진 및 연료 분사 시스템 설계 또는 분사기 적용성 평가시, 이러한 운전조건에 대한 미립화 성능을 파악하는 것이 필요하다. 디젤 분사에 비해 역사가 짧은 가솔린 직접분사에서는 상대적으로 이 분야에 대한 연구가 미약한 편이다. 공기보조 분사기 (air-assisted fuel injector; 이하 AAFI)의 경우 여러 연구자들⁴⁻⁷⁾에 의해 다양한 형태의 미립화 성능 특성 파악이 이루어졌다.

본 연구에서는 AAFI의 운전조건-공기공급압력, 주변압력, 분사연료량, 공기연료질량비(air liquid mass ratio; 이하 ALR)에 대한 미립화 성능변화 경향을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 측정실험을 수행하였으며, 결과를 해석하고 보완할 수 있는 해석식을 단순 미립화 모델링과 미립화 에너지를 고려하여 유도하였다. 구하여진 식은 측정결과와 비교함으로써 정확도를 검증하였다. 최종적으로, 얻어진 식을 이용하여 분사기 시제품의 적용가능한 운전조건을 파악하고자 하였다.

2. 실험장치

실험용 AAFI 노즐 팁에서의 개략적인 연료분사 형태와 전자신호 체계 및 분사기 거동선도가 Figs. 1과 2에 나타나있다. 분사기 내부에 미리 분사된 연료가 직후에 분사되는 공기와 혼합된 후 동시에 주변 공기 중에 분사되면서 미립화가 이루어진다. 이때 한번의 분사기간 동안 공기의 유량은 짧은 과도기간을 제외하고 일정하게 유지되는 반면, 연료 유량은 분사의 초기와 중기에 가장 크게 되었다가, 중·말기에서는 급격하게 감소한다.⁸⁾

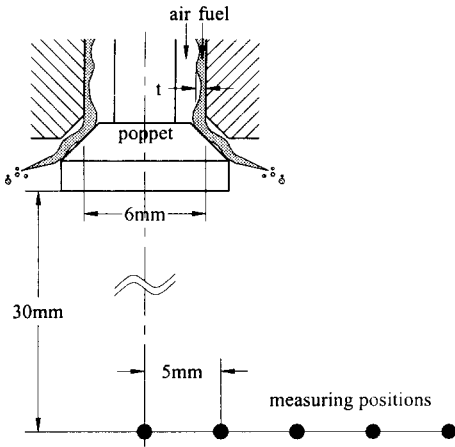


Fig. 1 Simplified schematic of fuel injection and atomization of the tested AAFI. Measuring positions for drop sizing are shown at lower part

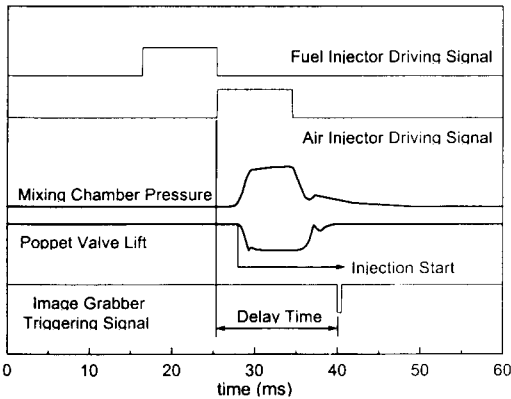


Fig. 2 Typical schedule of injector driving and behavior

Table 1 Experimental conditions

Injected fuel mass	12.15, 24.3 mg/inj
Fuel supply pressure	0.3 MPa
Air supply pressure	0.4, 0.6, 0.8, 1.0 MPa
Ambient air pressure	0.1, 0.2, 0.3, 0.4 MPa
ALR	0.5, 1, 2, 3

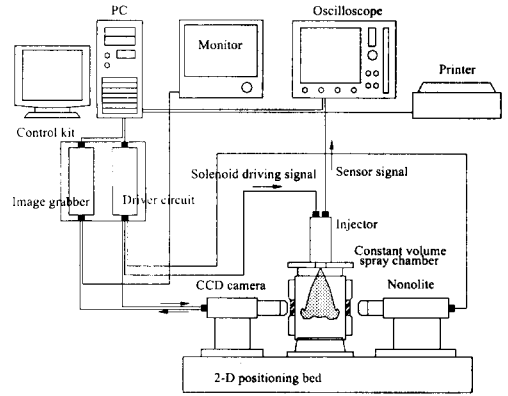


Fig. 3 Spray test system

분무장의 D_{32} 를 측정하기 위해 사진영상처리기법(photographic imaging method)이 활용되었다. Fig. 3은 분사기구동과 분무장 특성 파악을 위해 구축된 장치의 개략도이다. 화상을 정지시키기 위한 광원으로는 스파크 광원이 사용되었다. CCD 카메라와 화상 보드를 통해 획득된 약 $0.8 \times 0.6\text{mm}$ 평면내의 액적들을 포함하는 확대 화상이 컴퓨터 내에 저장된다. 화상처리기법을 통해 화상 내의 각 액적에 대한 정보가 얻어지게 되고, 이들을 평균하여 D_{32} 값이 산출되었다. 사진영상처리기법에 대한 보다 자세한 설명은 참고문헌⁸⁾에 기술되어 있다.

측정이 이루어진 각 실험변수들은 Table 1에 정리되어 있다. 연료분사압력은 0.3MPa로 고정하였으며, 사용된 연료는 상용 가솔린이었다. 각 측정조건에서의 분무장은 측정지점(measurement position)과 측정지연시간(measurement delay time; Fig. 2)의 조합을 통해 전체적인 입경이 파악되었다.

측정지점은 노즐 팁으로부터 30mm 아래에서 중심으로부터 반경(r) 방향으로 5mm 간격으로 다섯 점을 잡았다.(Fig. 1) 이보다 윗부분은 액적 밀도가 크기 때문에 빛이 산란되는 정도가 심하여 화상의 질이 떨어지게 된다. 또한 너무 아래쪽에서 측정하면 입경이 작은 AAFI 분무장의 특성상 이미 많은 부분이 기화되고, 직접분사식 엔진

적용 측면에서 큰 의미를 얻기 어렵기 때문에 노즐 아래 30mm 지점에서 측정을 수행하였다.

각 측정지점에서 측정지연시간을 1ms 간격으로 5점을 설정하여 전체적인 분무장 내의 입경 측정을 도모하였다. 따라서 한 실험조건에서 20(=4×5)개의 측정점이 존재하게 된다. 본 연구에서는 분무장 내 액적의 분포나 시간에 따른 미립화 특성 변화보다 분무장의 전반적인 D₃₂ 변화를 보고자 했기 때문에 20개의 측정점에서 얻어진 측정결과들이 적분되어 계산된 값, 즉 각 실험 조건의 D₃₂만 제시되고 분석되었다.

측정의 정확성을 기하기 위해 각 측정점에서 100 프레임의 화상을 획득하여 화상 내의 액적 정보를 평균하였다. 일반적으로 한 프레임에 20~200개 정도의 액적이 존재하기 때문에 한 측정점 당 약 10,000개 정도의 액적에 대한 정보가 얻어지며, 20개의 측정점에서 측정이 이루어므로 각 실험조건에서는 100,000개 이상의 액적에 대한 D₃₂를 얻을 수 있다.

3. 측정결과

Fig. 4는 각 운전조건에 대한 D₃₂의 변화를 보여주고 있다. 모든 실험조건에서 D₃₂는 9에서 25 μm까지 변화되었다. 미립화 성능에 가장 영향을 많이 미치는 변수는 주변압력인 것으로 나타

났다. 이것은 공기공급압력을 높이는 데에 한계가 있기 때문에 주변압력이 높아짐에 따라 공기 분사압력차(ΔP_a=P_{sup} - P_{amb})가 급격하게 감소하여 보조공기의 속도를 저하시키기 때문이다.

테스트된 AAFI는 연료가 분사시기 내에서 주로 초기와 중기에 분사기를 빠져나가기 때문에 그 이후에는 거의 공기만 분사되어진다.⁸⁾ ALR=1 부근 이상에서 그러한 경향이 나타나는 것으로 보여진다. ALR=2 이상 되면, D₃₂는 거의 감소하지 않았다. 이러한 경향은 연속분사 형태의 2유체 분무에서와 구별되는 AAFI의 독특한 특성이라고 볼 수 있다.

분무입경에 대한 대략적인 경향을 보여줄 수 있는 실험식을 디젤 분사기⁹⁾와 공기충돌(air-blast) 분사기¹⁰⁾에 대한 실험식을 개조하여 얻을 수 있었다.

$$D_{32} = C(\Delta P_a)^{n1}(\rho_a)^{n2}(1 + 0.1/ALR^{n3}) \quad (1)$$

여기서 C=13.3, n1=-0.1, n2=0.3, n3=1.5, k=0.2

for fuel mass=12.15mg,

C=15.1, n1=-0.1, n2=0.4, n3=1.1, k=0.1

for fuel mass=24.3mg.

각 상수들은 카이 제곱방법을 이용하여 얻어졌다. 위 식은 분사연료량의 영향은 각 상수항에 포함되어지는 형태를 띠고 있다. 디젤분사의 경우

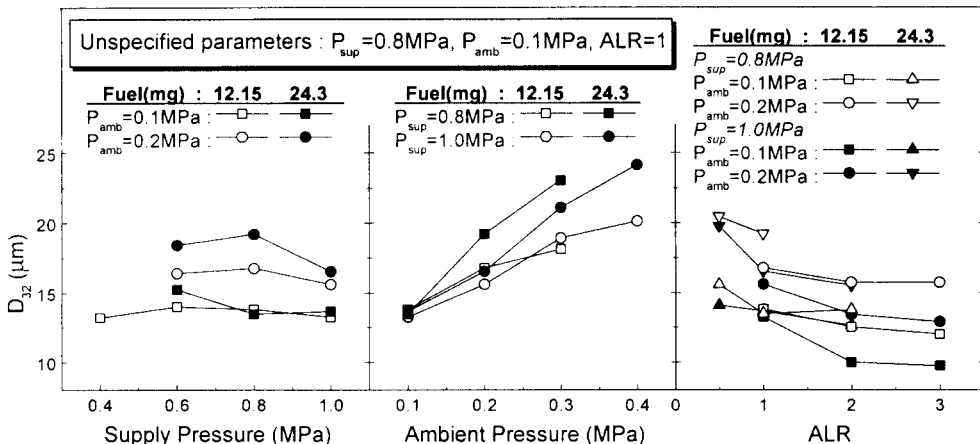


Fig. 4 Atomization performance with respect to operating parameters

분사연료량은 단순하게 곱해지는 한 변수로서 예측식에 포함되지만,⁹⁾ AAFI에서는 복잡하게 미립화에 영향을 미치는 것으로 보여진다. 미립화가 잘 되는 조건들에서는 분사연료량이 변화해도 D_{32} 가 크게 변화하지 않는 반면, D_{32} 가 커지는 조건일수록 이 변수가 커지면서 입경이 증가하는 정도도 함께 커지는 경향을 나타내었다. 이러한 영향 때문에 각 상수항은 분사연료량이 달라질 때 역시 함께 변하는 것으로 나타났다.

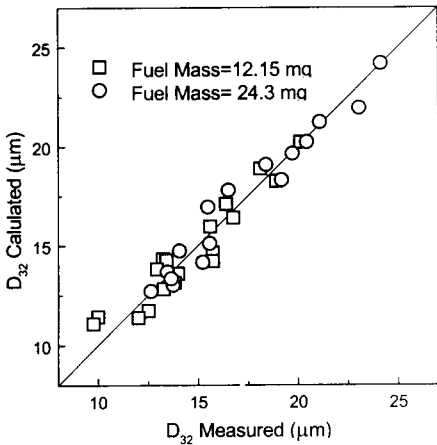


Fig. 5 Comparison of mean drop diameter between measurements and calculation by empirical equation

실험식은 측정결과에 15% 이내에서 잘 맞았다. Fig. 4의 측정결과를 실험식과 대조한 Fig. 5는 그러한 경향을 보여주고 있다. 하지만, 실험식은 분사연료량의 영향을 포함하지 못 하기 때문에 단순히 경향만 보여주는 한계를 가지고 있다. 연료분사량의 영향을 파악하기 위해서는 과다한 실험조건에서의 측정이 수반될 수 있기 때문에, 측정된 결과를 기초로 하여 미립화 성능을 예측하기 위한 방법으로 해석적인 접근을 시도하였다.

4. 평균입경(D_{32}) 예측을 위한 해석

본 장에서는 AAFI의 운전조건에 대한 미립화

성능을 예측하여 엔진 적용에 활용할 수 있도록 변수연구가 가능한 해석식을 유도하고자 한다. 해석과정에서 Lefebvre의 미립화 에너지를 고려한 접근방식¹¹⁾을 응용했기 때문에 표기법을 동 논문과 동일하게 사용하였다.

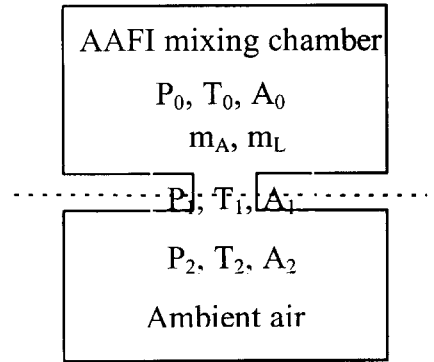


Fig. 6 Simplified schematic of modeling in AAFI atomization

Fig. 6은 AAFI 분사계를 간단히 도식한 것을 보여준다. 상태 0은 분사기 내 연료와 고압공기의 혼합실로서 아직 분사가 시작되지 않은 시점에서는 P_0 는 공기분사압력이고, A_0 는 액체연료의 초기 면적, 혹은 초기 미립화 정도를 나타낸다. 분사가 시작되면 일단 상태 1을 거치게 되는데, 아주 짧은 시간 동안 연료 공기 혼합기의 분사가 이루어진다. 분사된 공기는 순간적으로 주변 공기(P_2, T_2)와 혼합되어지고 혼합과정에서 생기는 공기의 전단력과 항력, 그리고 분사기 노즐 팁과의 상호작용을 통해 연료액적이 미립화된다. 최종적으로 초기의 고압공기는 주위 공기와 같은 상태가 되며 연료와 함께 공기 중에서 어떤 속도를 가지고 운동하다가 어느 시점에서 혼합을 마치게 되면 운동을 멈추게 된다. 이때 연료의 미립화는 주로 분사 직후에 이루어지고 액적의 속도에 비해 직경이 작아 2차 액적분열(secondary drop break-up)은 거의 이루어지지 않으므로¹²⁾ 분사계를 해석함에 있어 0 상태와 1 상태만을 고려하는 것으로 충분하다고 볼 수 있다. 보조공기를 통해 얻어낼 수 있는 최대의 유효

에너지는 등엔트로피(isentropic) 과정에서 발생하므로 기본적인 미립화 에너지의 공급원은 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$\Delta E_{isen} = W_{rev} = \int_0^1 PdV \quad (2)$$

실제 계에서는 저항과 주위와의 열전달이 존재하므로,

$$\Delta E = \eta_{th} W_{rev} = \int_0^1 PdV - W_{fric.} - Q \quad (3)$$

이것은 다음과 같은 여러 가지 항목으로 세분화 된다.

$$\Delta E = \eta_{th} W_{rev} =$$

$$E_{atom.} + \frac{1}{2} m_A U_A^2 + \frac{1}{2} m_L U_L^2 + E_{etc.} \quad (4)$$

따라서 최종적으로 미립화에 사용된 에너지는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$E_{atom.} = \eta_{me} \Delta E = \eta_{me} \eta_{th} W_{rev} = c \int_0^1 PdV \quad (5)$$

닫힌 계에서의 등엔트로피 팽창과정 중 발생하는 일량은 다음과 같이 표시된다.

$$\int_0^1 PdV = \frac{m_A RT_0}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad (6)$$

또한 미립화 에너지는 초기와 말기의 표면적 변화에 의해 정의될 수 있다.

$$E_{atom.} = \sigma_L (A_{L_1} - A_{L_0}) \quad (7)$$

식 (6)과 (7)으로부터

$$\sigma_L (A_{L_1} - A_{L_0}) =$$

$$c \frac{m_A RT_0}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad (8)$$

이 때 액체연료의 최종 표면적은 다음과 같다.

$$A_{L_1} = \frac{6m_L}{\rho_L D_{32}} \quad (9)$$

액체 연료의 초기 상태를 정의하기 위해 Fig. 1에서와 같은 간단한 분사 및 미립화 모델을 도입하였다. 분사기 내에 미리 저장되어 있던 액체 연료는 액적이나 시트(sheet) 두가지 형태로 노즐 틈을 통해 분사될 수 있다. 이중 액적의 경우 선행연구¹³⁾를 통해 모델링의 예측 정확성에 한계가

있음을 확인한 바가 있다. 따라서 본 연구에서는 시트 형태로 연료가 분사된다는 가정 하에 모델링 하였다. 이때 초기 표면적은 아래와 같이 표현된다.

$$A_{L_0} = \frac{2m_L}{\rho_L t} \quad \text{여기서 } t \ll w. \quad (10)$$

연료가 원형 노즐의 벽면에 시트 형태로 분사되는 경우 초기 표면적은 다음과 같이 정의된다.

$$A_{L_0} = 2\pi D_n L_{n,eff} \quad (11)$$

D_n 은 노즐의 오리피스 직경을, 그리고 $L_{n,eff}$ 은 노즐의 유효길이를 각각 나타낸다. 따라서 액체 시트의 두께 t 는 다음과 같이 주어진다.

$$t = \frac{2m_L}{A_{L_0} \rho_L} = \frac{m_L}{\pi \rho_L D_n L_{n,eff}} \quad (12)$$

여기서 우리가 정확히 알 수 없는 값은 노즐의 유효길이 $L_{n,eff}$ 이다. 이 값을 적당한 상수 k_{sh} 를 도입하여 분사기 노즐 길이로 나타낼 수 있다.

$$t = \frac{1}{k_{sh}} \frac{m_L}{\pi \rho_L D_n L_n} \quad (13)$$

식 (9)와 (10)을 식 (8)에 대입하면,

$$\frac{2\sigma_L m_L}{\rho_L} \left(\frac{3}{D_{32}} - \frac{1}{t} \right) = c \frac{m_A RT_0}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad (14)$$

최종적으로 시트 두께 t 를 정리하여 대입하면 D_{32} 는 다음과 같이 구해진다.

$$D_{32} = \frac{3}{\left[K + c \frac{\rho_L RT_0 ALR}{2\sigma_L (\gamma - 1)} \left\{ 1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} \right]} \quad (15)$$

여기서 $K = k_{sh} \frac{\pi \rho_L D_n L_n}{m_L}$

구하여진 식 (15)를 통해 분사연료량이 D_{32} 에 미치는 영향을 설명할 수 있다. 분모의 두번째 항의 값이 작아질 때 상대적으로 분사연료량을 포함하고 있는 첫번째 항의 비중이 커진다. 즉, D_{32} 가 커지는 조건에서 분사연료량의 변화에 대해 입径의 변화가 더 민감해진다는 측정상의 결론을 해석식으로부터도 유추해 낼 수 있다.

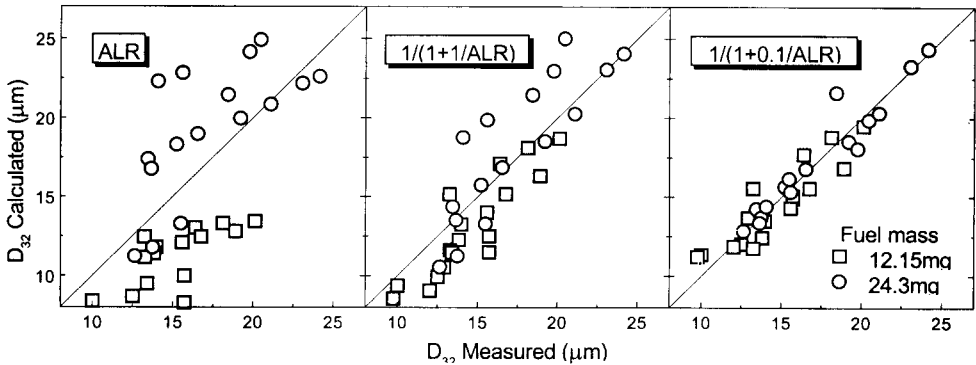


Fig. 7 Comparison of spray D_{32} between measurements and predictions

해석식 상에서 가장 중요한 인자는 ALR인 것으로 나타난다. 하지만 실제 실험치에서는 주위 공기의 압력이 가장 영향을 많이 미치고, ALR의 영향은 ALR이 1 이상이 되면 거의 보이지 않는 것으로 나타났다. 따라서 ALR 항을 ALR을 포함하는 개조항으로 대체할 필요가 있다. 이를 위해 두가지 항을 도입하였다. 공기충돌 분사기에 대해 실험식으로 제안된 $1/(1+1/ALR)^{11)}$ 과 본 연구의 실험식에서 사용된 형태인 $1/(1+0.1/ALR)$ 가 적용되었다. 이러한 항들은 실제 상황에서 유체의 표면장력과 공간적으로 불균일한 미립화 특성으로 인해 ALR 값의 증가로 인한 미립화 성능 향상에 한계가 있음을 보여준다.

Fig. 7은 ALR 항을 세 가지로 적용한 결과이다. 예상했던 것과 같이 ALR을 그대로 사용하였을 때는 상당히 오차가 많이 발생하였다. 가장 잘 맞는 항은 실험식에서 사용되었던 형태의 항이었다. 이 경우 전체적인 평균오차는 5.8%로서 실험식의 경우(4.8%)와 유사한 정도의 정확성을 나타내었다. 이 경우 미립화 상수 c 값은 Kim and Kim¹²⁾이 제안한 0.00072보다 작은 0.00012로 구해졌다. 이로부터 열역학적 효율상수 η_{th} 가 약 0.2 정도임을 추측할 수 있다.

5. 미립화 성능 예측

해석식을 이용하여 운전변수가 AAFI의 미립

화 성능에 미치는 영향을 파악하였다. D_{32} 의 적정 수준을 일반적으로 알려져 있는 $25 \mu m$ 이하로 놓고 평가하였다.

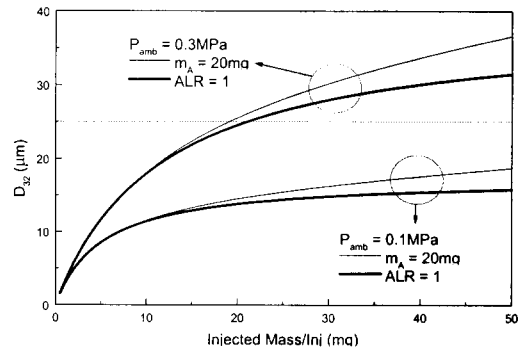


Fig. 8 Influence of injected fuel mass on atomization performance of AAFI. $P_{sup}=0.6MPa$, $P_{amb}=0.1MPa$

분사연료량이 미립화에 미치는 영향을 예측한 결과가 Fig. 8에 보여진다. 대기압 하에서 분사하는 경우 분사량에 관계없이 좋은 미립화 성능을 나타내는 반면, 주변압력이 높아지면서 어느 한도 이상 분사량이 커지면 D_{32} 가 $25 \mu m$ 를 넘어서게 된다. 주변압력이 높아지는 조건은 일반적으로 성층화(stratified charge)를 통한 희박연소를 위해 늦은분사(late injection)를 하는 경우이다. 이 경우 분사연료량도 전부하보다 작아지기 때문에 적절한 분사시기를 맞추면 운전에 큰 영향이 없을 것으로 사료된다.

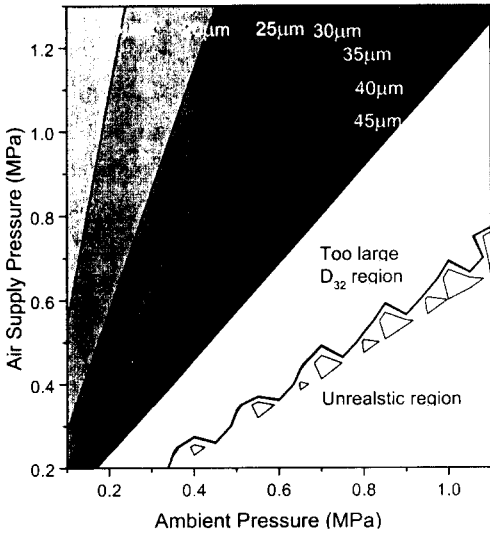


Fig. 9 Relation between ambient pressure and air supply pressure for mean drop diameter of AAFI

Fig. 9는 다양한 공기공급압력과 주변압력 조건에서 AAFI의 D_{32} 변화를 보여주고 있다. 주변압력이 공기공급압력과 비슷해지거나 더 커지면 연료분사가 불가능해지거나 D_{32} 가 과도하게 커진다. 또한 공기공급압력이 낮아질수록 안정된 미립화 성능을 얻을 수 있는 주변압력 조건이 급속하게 감소함을 볼 수 있다. 0.6MPa 분사시 주변압력 0.3MPa 이내(엔진 크랭크 각 기준으로 약 BTDC 80° 정도)에서 분사하는 것이 충분한 미립화 성능을 얻는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 이러한 특성들은 분사기 설계방법과 특성에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에 사용된 AAFI의 경우 0.8MPa 이상으로 공기공급압력을 설정하면 D_{32} 측면에서 엔진 적용에 무리가 없을 것으로 사료된다.

6. 결 론

4행정 직접분사식 엔진용으로 제작된 공기보조 분사기의 미립화 성능에 미치는 운전조건의 영향을 측정과 해석을 이용하여 파악하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었

다.

- 분무장의 D_{32} 는 모든 실험조건에서 9~25 μm 이내의 값을 나타냈다. 측정결과를 실험식으로 표현하였다.

- ALR이 증가하면 D_{32} 는 감소하였다. 그러나 간헐분사의 특성 때문에 ALR 값이 1 이상이 되면, ALR의 증가에 대하여 D_{32} 의 감소가 미미해졌다.

- 가장 영향을 많이 미치는 변수는 주변압력인 것으로 나타났다. 주변압력이 증가하면 D_{32} 도 함께 증가하였다.

- 분사연료량은 D_{32} 가 큰 조건에서 영향력이 크게 나타났다. 미립화가 잘 되는 조건에서는 분사연료량이 증가해도 D_{32} 의 증가가 미미하지만, 잘 안 되는 조건에서는 분사연료량이 커질수록 D_{32} 가 증가되는 경향이 심해졌다.

- AAFI의 간헐식 분무장 D_{32} 를 예측할 수 있는 해석식이 유도되었다. 이를 위하여 연료분사와 미립화 측면에서 단순 모델링과 간헐식 분사에 알맞은 ALR 항이 도입되었다. 얻어진 해석식은 측정결과와 부합한 경향을 나타내었다. 실험식에서 사용된 $1/(1+0.1/ALR)$ 항을 적용한 경우 실험식과 거의 비슷한 수준의 정확도로 D_{32} 를 예측하였다.

- 얻어진 해석식을 이용하여 측정이 이루어지지 못한 조건에서의 D_{32} 예측이 이루어졌다. 늦은 분사시 분사시기와 분사연료량을 조절함으로써 적절한 미립화 성능을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 공기공급압력의 경우 실험용 분사기는 0.8MPa 정도의 값으로 설정할 경우 안정된 미립화 성능을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- 1) R.M. Frank and J.B. Heywood, "The Importance of Injection System Characteristics on Hydrocarbon Emissions from DISC Engine", SAE Technical Paper 900609, 1990.

- 2) H.Hiroyasu and K. Nishida, "Ignition and Flame Propagation of Spray Compound Mixture", SAE Technical Paper 932711, 1993.
- 3) F.Q.Zhao, M.C.Lai, and D.L.Harrington, "A Review of Mixture Preparation and Combustion Control Strategies for Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engine", SAE Technical Paper 970627, 1997.
- 4) Y.Ikeda, T.Nakajima and N.Kurihara, "Spray Formation of Air-Assisted Injection for Two-Stroke Engine", SAE Technical Paper 950271, 1995.
- 5) T. Miyamoto, T. Kobayashi and Y. Matsumoto, "Structure of Sprays from an Air-Assisted Hollow-Cone Injector", SAE Technical Paper 960771, 1996.
- 6) J. Meyer, J. Kiefer, F. Von Issendorff, J. Thiemann, M. Haug, M. Schreiber and R. Klein, "Spray Visualization of Air-Assisted Fuel Injection Nozzles for Direct Injection SI-Engines", SAE Technical Paper 970623, 1997.
- 7) Y.P. Lee, S.S. Kim and S.M. Choi, "A Study of Two-Phase Injector Performance for Direct-Injection Stratified-Charge Engine", Atomization and Sprays, Vol.8, pp.199-215, 1998.
- 8) C.S. Jang, S.S. Kim and S.M. Choi, "An Experimental and Analytical Study of the Spray Characteristics of an Intermittent Air-Assisted Fuel Injector", Atomization and Sprays (accepted), 1999.
- 9) H.Hiroyasu and T.Kadota, "Fuel Droplet Size Distribution in Diesel Combustion Chamber", SAE Technical Paper 740175, 1974.
- 10) A.A. Rizkalla and A.H. Lefebvre, "The Influence of Air and Liquid Properties on Airblast Atomization", J.Fluid Eng., Vol.97, pp.316-320, 1975.
- 11) A.H. Lefebvre, "Energy Considerations in Twin-Fluid Atomization", ASME Trans. J. Engineering for Gas Turbine and Power, Vol.114, pp.89-96, 1992.
- 12) K.S. Kim and S.S. Kim, "Spray Characteristics of an Air-Assisted Fuel Injector for 2-Stroke Direct Injection Gasoline Engines", Atomization and Sprays, Vol.4, No.5, pp.501-521, 1994.
- 13) 장창수, 김승수, 최상민, "간헐식 2유체 분사에서의 평균입경 예측", 1997 한국 자동차공학회 춘계학술대회 논문집 Vol.I, pp.73-78, 1997.