

기름 노즐의 분무특성에 관한 실험적 연구

조한중 · 김희철* · 서정윤** · 조용철**

미국체류
인하대학교 명예교수*
인하대학교 기계공학과**

An Experimental Study on the Atomization Characteristics of the Oil Nozzles

Cho, Han-Jung · Kim, Hi-Chul · Seo, Jeong-Yun · Cho, Yong-Chul

Studied in U.S.A.
Hon. Professor of Inha Univ.*
Dept. of Mechanical Engineering, Inha Univ.**

요 약

본 연구는 주어진 기름노즐의 분무특성을 실험적으로 조사하고 아울러 적정 가동조건을 설정하기 위하여 수행하였다. 실험에 공시한 노즐은 Delalvan과 Hago(압력분무 Simplex 1.25GPH)로서 각종 압력하에서 분무 각 60°와 80°에 대하여 조사하고 분무특성을 기술함에 있어서는 사우터 평균입경의 개념을 사용하였다. 포집된 모든 분무입자는 고감도 필름을 사용하여 50배로 확대 촬영하고, 이들을 Nukiyama-Tanazawa의 분포함수를 도입하여 해석하였다. 결론적으로 80°의 경우가 60°의 경우보다 분무특성이 양호하며, 적정 가동조건은 분무압 8kg/cm² 부근에서 정착됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The purpose of the present work is to investigate the atomization characteristics and to find the available working conditions of given nozzles. Experimental investigations were carried out with the nozzles, "Delavan" and "Hago"(pressure atomizing simplex 1.25GPH), with 60° and 80° spray angles also at various nozzle pressures.

In the present work, Sauter mean-diameter was utilized to describe the quality of the atomization. All sample droplets were microphotographed with high-contrast film at 50X magnification and analyzed by Nukiyama-Tanazawa distribution function.

The 80° spray angle gives better atomization function than 60° spray angle, and available working conditions were set at approximately 8kg / cm² nozzle pressure.

기호설명

- $a & b$: Experimental constants
 d_1 : Arithmetic mean diameter of the droplet
 \bar{d} : Sauter mean diameter of the droplet
 d_0 : Orifice diameter of the nozzle
 g : Acceleration of gravity
 n : Total number of the droplet
 Δn : Number of the droplet
 $\Delta n/n$: Degree of number-distribution of the droplet size
 P_a : Nozzle pressure
 ΔP_a : Increment in nozzle pressure
 q : Volume of the fuel spray
 $\Delta q/q$: Degree of volume-distribution of the droplet size
 r : Radial distance from the spray center
 t : Time
 x : Diameter of the droplet
 $\alpha & \beta$: Experimental constants
 θ : Spray cone angle

1. 서 론

본 실험적 연구는 현재 국내 난방용 연소기 제작자가 주로 채용하고 있는 대표적인 노즐 두가지(Delavan, Hago)를 선택하여 주어진 연료(중유 C종 4호)와 주어진 분무조건하에서 분무각과 분무압을 달리 하였을 때의 분무특성을 구명함으로써 분무기와 분무실의 설계에 기여할 뿐 아니라 연소기의 적정가동조건을 확립함을 목적으로 이루어진 것이다. 분무에 관한 연구는 긴 역사를 갖고 있는 만큼 방대한 자료가 발표되어 있다. 근래에는 다양한 작동조건하에서의 각종구조의 분무노즐에 관한 연구가 진행되고 있으며 특히 고압 디젤 분무특성에 관한 연구가 활발하다.¹⁻¹¹⁾

분무특성은 일반적으로 분무류의 평균입경, 입도분포, 유량의 분산도 및 관통도등으로 표시되며, 이중에서 특히 난방용 연소기의 경우에 있어서는 연소효율과 가장 밀접한 관계가 있는 인자로서 입도분포를 생각할 수 있다.

분무류의 입경은 극히 다양하고 이들이 무질서하게 혼성되어 있는 듯이 보이나 사실 실험 결과의 통계학적 검토에 따르면 상당히 규칙성이 있는 것으로 밝혀지고 있으며 이에 관계되는 여러가지 분포함수가 제시되고 있다.

일반적으로 분무류내의 임의의 일점 부근에서의 입자의 크기(입경)가 $(X - \frac{\Delta x}{2})$ 와 $(X + \frac{\Delta x}{2})$ 사이에 든 입수를 Δn 이라면

$$\Delta n = f(x) \Delta x$$

따라서 Δn 를 충분히 작게 취하면

$$dn = f(x) dx \quad \text{즉} \quad f(x) = dn/dx \text{로 표시된다.}$$

분포함수 $f(x)$ 에 관한 초기단계의 연구는 분체공학적 측면에서 미분탄의 입도분포를 조사하기 위하여 이루어졌으나 그 결과가 차츰 액체의 분무입군에도 적용되기에 이르렀다.

Fujita¹²⁾는 기름을 대상으로 실시한 실험을 통하여

$$f(x) = ax^2 \exp(-bx^2)$$

을 발표하였으나 이론과 실험적 근거가 다소 희박한 점이 흠이라 할 수 있다.

Nukiyama-Tanasawa¹³⁾ 등은 기존의 식들을 참작하고 실험결과를 보다 경향성이 뚜렷하도록 정리하여

$$f(x) = ax^a \exp(-bx^\beta)$$

를 분포함수로서 제시하였다.

식중의 a, b, α, β 는 실험에 의하여 결정되는 상수이다. Nukiyama-Tanasawa의 분포함수는 현재까지도 입도의 분포상태를 가장 신빙성 있게 표현하는 대표적인 함수로 인정받고 있기 때문에 본 연구에서는 이 함수를 채택하고 여기에 Γ (gamma)함수를 도입하여 관계식을 정리하는 한편, 실험값을 통하여 상수 a, b, α, β 를 구하고 각각의 경우에 대한 실험식을 정립하였다.

식중의 입경은 표면적, 체적 평균입경으로서의 Sauter 직경으로 나타내고, 유량의 분산도는 분무류의 중심을 기준으로 한 반경방향의 분포를 측정된 값에 따라 정리하여 이들을 종합적으로 비교검토하였다.

2. 계산식

2.1 분포함수

1) 분포함수로서 다음의 Nukiyama-Tanasa-wa의 식을 도입한다.

$$f(x) = ax^a \exp(-bx^\beta) \dots\dots\dots (1)$$

함수의 최대값과 변곡점은 $\frac{df(x)}{dx} = 0, \frac{d^2f(x)}{dx^2} = 0$ 을 만족하는 x의 값으로 주어지며 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{df(x)}{dx} = ax^{a-1}(a - b\beta x^\beta) \exp(-bx^\beta) = 0$$

$$a - b\beta x^\beta = 0, \therefore X_{\max} = \left(\frac{a}{b\beta}\right)^{\frac{1}{\beta}} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 x_{\max} 은 최대입수를 주는 점의 x좌표이다.

$$\frac{d^2f(x)}{dx^2} = ax^{a-2} \{ a(a-1) - b\beta(2a + \beta - 1)x^\beta + b^2\beta^2x^{2\beta} \} \exp(-bx^\beta) = 0$$

$$b^2\beta^2x^{2\beta} - b\beta(2a + \beta - 1)x^\beta + a(a-1) = 0$$

$$\therefore x_1 = \left[\frac{(2a + \beta - 1) \pm \{(2a + \beta - 1)^2 - 4a(a-1)\}^{1/2}}{2b\beta} \right]^{\frac{1}{\beta}} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 x_1 는 변곡점의 x좌표이다.

2) 분포함수의 상수 결정

a, b의 값을 결정하기 위하여 식(1)을 $dn = f(x)dx$ 에 대입하면

$$dn = ax^a \exp(-bx^\beta) dx \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{dn}{dx} = ax^a \exp(-bx^\beta)$$

$$\frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} = \frac{a}{\exp(-bx^\beta)}$$

양변에 사용대수를 취하면

$$\log_{10} \left\{ \frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} \right\} = \log_{10} a - \log_{10} [\exp(bx^\beta)]$$

$$= \log_{10} a - \frac{b}{2.303} x^\beta \dots\dots\dots (5)$$

$Y = \log_{10} \left\{ \frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} \right\}$ 를 종좌표,

$X = x^\beta$ 를 횡좌표로 취하여 그림을 그리면

$$Y = \log_{10} a - \frac{b}{2.303} X \text{인 직선을 얻는다.}$$

여기서 $x=0$ 일때 Y값을 구하고 상수 a, b를 정하면 다음과 같이 된다.

$$Y_{x=0} = \log_{10} \left\{ \frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} \right\}_{x=0} = \log_{10} a$$

$$\therefore a = \left\{ \frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} \right\}_{x=0} \dots\dots\dots (6)$$

$\log_{10} \left\{ \frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} \right\} = 0$ 인 x의 값을 x_0 라 하면

$$Y_{x=x_0} = \log_{10} \left\{ \frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} \right\}_{x=x_0}$$

$$= \log_{10} a - \frac{b}{2.303} x_0^\beta = 0$$

$$\log_{10} a = \frac{b}{2.303} x_0^\beta \therefore b = 2.303 \frac{\log_{10} a}{x_0^\beta} \dots\dots (7)$$

2.2 입도 분포

1) 평균입경

i) 산술평균에 의한 입경은

$$d_1 = \frac{\int_0^\infty x \, dn}{\int_0^\infty dn}$$

식(4)에서 $dn = ax^a \exp(-bx^\beta) dx$ 이므로

$$\int_0^\infty x \, dn = \int_0^\infty ax^{a+1} \exp(-bx^\beta) dx$$

$$y = bx, x = \left(\frac{y}{b}\right)^{\frac{1}{\beta}} \therefore dx = \frac{1}{b\beta} \left(\frac{y}{b}\right)^{\frac{1-\beta}{\beta}} dy$$

$$\therefore \int_0^\infty x \, dn = \frac{a}{\beta b^{\frac{a+2}{\beta}}} \int_0^\infty y^{\frac{a+2}{\beta}-1} \exp(-y) dy$$

일반적으로 gamma 함수 $\Gamma(m)$ 는

$$\Gamma(m) = \int_0^\infty x^{m-1} e^{-x} dx \dots\dots\dots (8)$$

로 정의되므로

$$\int_0^\infty x \, dn = \frac{a}{\beta b^{\frac{a+1}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{a+2}{\beta}\right) \dots\dots\dots (9)$$

마찬가지 방식으로 입자의 총수 n을 구하면

$$n = \int_0^\infty dn = \frac{a}{\beta b^{\frac{a+1}{\beta}}} \int_0^\infty y^{\frac{a+1}{\beta}-1} \exp(-y) dy$$

식(8)에 의하면

$$n = \frac{a}{\beta b^{\frac{a+1}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{a+1}{\beta}\right) \dots\dots\dots (10)$$

식(9), (10)으로부터 입자의 산술평균입경 d_1 을 구하면

$$d_1 = \frac{\frac{a}{\beta b^{\frac{\alpha+2}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{\alpha+2}{\beta}\right)}{\frac{a}{\beta b^{\frac{\alpha+1}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{\alpha+1}{\beta}\right)} = b^{\frac{1}{\beta}} \frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+2}{\beta}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha+1}{\beta}\right)} \quad (11)$$

ii) 표면적, 체적평균입경(Sauter Mean Diameter)

정의에 의하여 Sauter 평균입경 \bar{d} 는

$$\bar{d} = \frac{\int_0^\infty x^3 dn}{\int_0^\infty x^2 dn} \quad \text{이므로 식(4), (8)로부터}$$

$$\int_0^\infty x^3 dn = \frac{a}{\beta b^{\frac{\alpha+4}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right) \dots \dots \dots (12)$$

마찬가지 방식으로

$$\int_0^\infty x^2 dn = \frac{a}{\beta b^{\frac{\alpha+3}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right) \dots \dots \dots (13)$$

식(12), (13)을 써서 \bar{d} 를 구하면

$$\bar{d} = \frac{\frac{a}{\beta b^{\frac{\alpha+4}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)}{\frac{a}{\beta b^{\frac{\alpha+3}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)} = b^{\frac{1}{\beta}} \frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)} \quad (14)$$

2) 입수분포

식(4)에서

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{n} a x^\alpha \exp(-bx^\beta) dx \dots \dots \dots (15)$$

식(10), (14)에서

$$a = \frac{n \beta b^{\frac{\alpha+1}{\beta}}}{\Gamma\left(\frac{\alpha+1}{\beta}\right)} \dots \dots \dots (16)$$

$$b = \left[\frac{1}{\bar{d}} \frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)} \right]^\beta \quad (17)$$

식(16), (17)를 식(15)에 대입하여 정리하면

$$\frac{dn}{n} = \left[\frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)} \right]^{\alpha+1} \frac{\beta}{\Gamma\left(\frac{\alpha+1}{\beta}\right)} \left(\frac{x}{\bar{d}}\right)^\alpha \exp \left[- \left\{ \frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)} \left(\frac{x}{\bar{d}}\right) \right\}^\beta \right] \frac{dx}{\bar{d}} \dots \dots \dots (18)$$

3) 체적유량분포

$$dq = \frac{\pi}{6} x^3 a x^\alpha \exp(-bx^\beta) dx$$

$$\frac{dq}{q} = \frac{1}{q} \frac{\pi}{6} x^3 a x^\alpha \exp(-bx^\beta) dx \dots \dots \dots (19)$$

$$q = \int_0^\infty \frac{\pi}{6} x^3 dn = \frac{\pi}{6} \frac{a}{\beta b^{\frac{\alpha+4}{\beta}}} \Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)$$

$$\frac{6}{\pi} \beta b^{\frac{\alpha+4}{\beta}} q$$

$$\therefore a = \frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)} \quad (20)$$

식(17), (20)을 식(19)에 대입하여 정리하면

$$\frac{dq}{q} = \beta \frac{[\Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)]^{\alpha+3}}{[\Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)]^{\alpha+4}} \left(\frac{x}{\bar{d}}\right)^{\alpha+3} \exp \left[- \left\{ \frac{\Gamma\left(\frac{\alpha+4}{\beta}\right)}{\Gamma\left(\frac{\alpha+3}{\beta}\right)} \left(\frac{x}{\bar{d}}\right) \right\}^\beta \right] \frac{dx}{\bar{d}} \dots \dots \dots (21)$$

3. 실험

3.1 노즐

노즐의 주요부는 Fig.1과 같이 나사핀 [Screw-pin(1)], 접선홈 [Tangential slots(2)], 오리피스원판 [Orifice disc(3)], 와실 [Swirl chamber(4)], 오리피스 [Orifice(5)] 및 본체 [Body(6)] 등으로 구성되어 있다. 오리피스원판은 나사핀의 원추형 선단에 해당하는 부분으로 원추표면에는 접선홈이 파여져 기름의 통로 구실을 한다. 홈을 거쳐 와실로 유입한 기름은 심한 선회난류를 일으키며 오리피스를 통하여 분출한다.

노즐 "Hago"에서는 오리피스선단이 나사핀과 일체로 제작되어 있기 때문에 이 나사핀을 조여 노즐본체의 내벽에 밀착하도록 되어 있으나, "Delavan"에서는 원판의 밑이 구형인 피보트(Pivot)형으로 되어 있어 자유자재로 움직일 수 있고 작동시의 압력에 위해서 본체의 원추내벽과 밀착하도록 되어 있다.

노즐 중심에서 접선홈까지의 수직거리는 노즐 "Hago"가 1mm, "Delavan"이 1.2mm이며 길이가 긴 Delavan의 경우가 선회효과가 다소 클 것으로 예상된다.

홈에 유입하기 전의 혼합실과 유입로의 구조에 있어서도 Delavan의 경우가 보다 효과적인

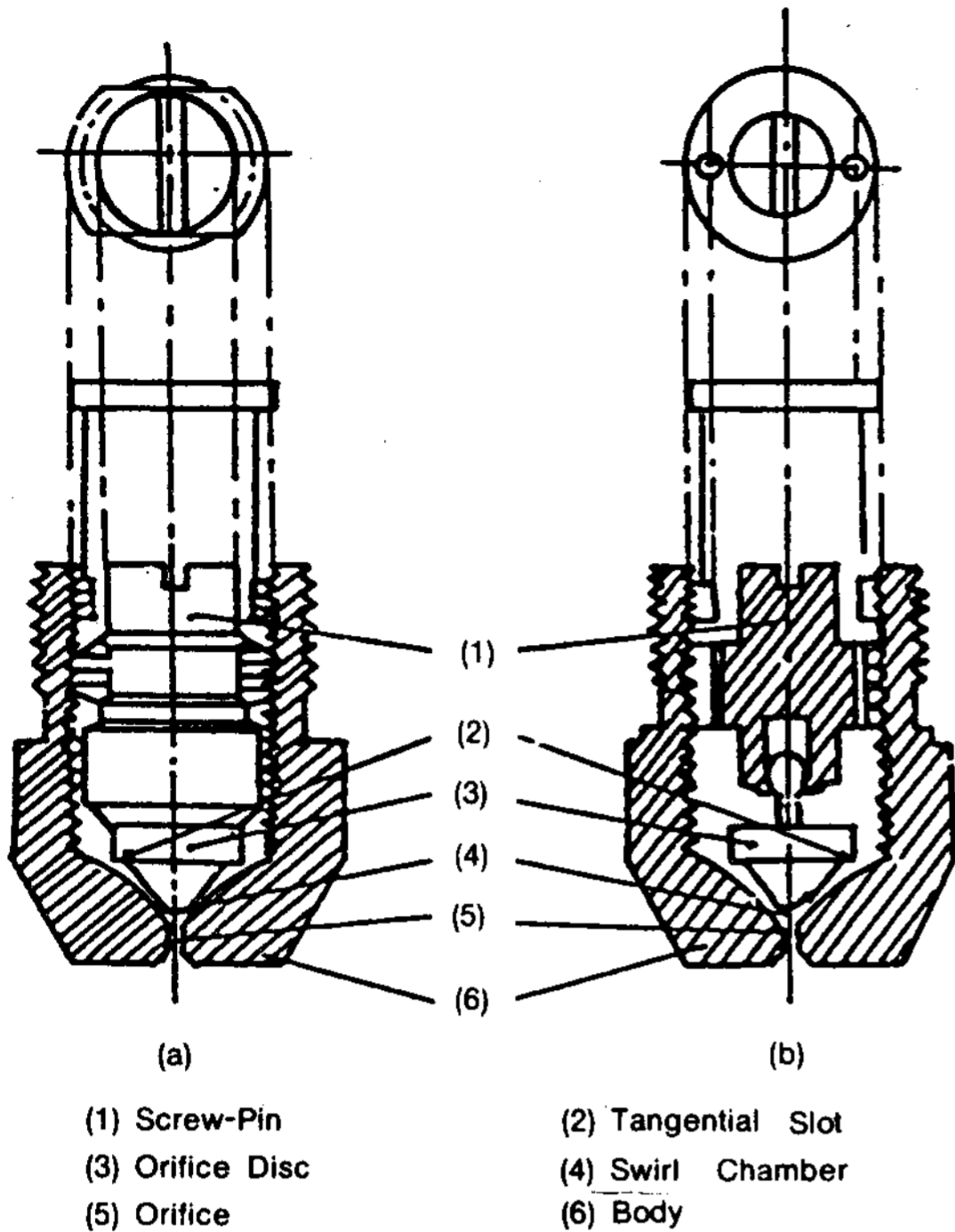


Fig. 1 Cutaway View of Given Nozzles "Hago" 60°(a), and "Delavan" 60°(b)

난류혼합이 이루어질수 있는 형태로 되어 있다. 오리피스의 공경은 두 노즐 공히 $d=0.3\text{mm}$ 이다.

3.2 실험장치

본 실험장치는 유양전기제작회사 제품인 Gun-type Oil Burner(Model WYB4)를 주체로 하여 이를 하향분무가 가능하도록 구조물 위에 설치하고 분구의 하부에 분무입자를 받는 수지장치와 분산유량의 포집을 위한 포집관과 계량실린더등으로 구성되어 있다.

보통 버어너의 상용압력은 6-7기압이지만 본 실험에서는 조절나사에 의한 유압펌프의 송출압력의 조작으로 1-10기압까지 분무압력을 변화시켰다.

상용압력이 6-7기압임을 고려하여 본 실험에서는 실험압력을 2, 4, 6, 8, 10기압의 5단계로 구분하여 분무특성에 미치는 압력의 효과를 조사하였다. 본래 버어너에는 송풍기가 장착되어 있으나 노즐고유의 분무특성을 조사하기 위하여 송풍기를 제거하였으며 다만 분산특성에 관

한 실험만은 송풍기를 장착한 상태에서 실시하여 송풍기에 의한 선풍효과를 조사하였다.

3.3 입도측정

입도측정법에는 여러가지 방법이 있으나 본 실험에서는 수지법을 채택하였다. 수지면으로서 보통 유리 또는 유리면을 램프로 그을려서 흑연피복이 된 것을 사용하여 보았으나 입자의 구분이 어려웠다. 결국 현미경용 슬라이드유리를 수지면으로 하고 이 면에 수지된 입자를 금속현미경으로 확대 투시 또는 촬영함으로써 입도측정이 가능하였다.

일정한 순간의 분무입자를 받기 위하여 수지면 바로 위에 섯터를 장치하였다. 시험적으로 섯터의 노출시간을 1/20, 1/40, 1/60, 1/90초의 순으로 바꾸어서 입자의 수치상태를 검토하였으나 어느 경우를 막론하고 입자의 상당수가 서로 겹쳐져서 계측이 불가능하였다. 이러한 양상은 분무류의 중심부에서 특히 심하였다.

셋터를 고성능의 것으로 교환하여 노출시간을 1/120, 1/150, 1/200초로 하여 시험한 결과 1/200초에서 가장 바람직한 분무입자의 분포상태를 포착할 수 있었고 따라서 모든 실험은 이 조건하에서 실시하였다. 면의 위치가 분구에 너무 가까우면 입자의 밀도가 너무 커서 겹치기 쉽고 입자의 지나치게 큰 속도로 인한 충돌로 수지면상에서의 입자의 원형을 유지하기 어렵다. 따라서 본 실험에서는 그 특성을 잃지 않는 유효거리로서 23cm를 취하였다.

다음은 입자의 반경방향분포를 측정하기 위하여 반경방향으로 이동시킬 수 있는 장치를 만들었다. 섯터의 작동시에 섯터깃에 풍겨진 기름의 점성 때문에 노출시간이 길어지는 경향이 있어 이를 방지하기 위하여 섯터깃과 고정볼트 사이에 와셔를 끼워 접촉을 피하도록 하였다.

원형대로의 입자를 수지면에 포착하기 위해서는 무엇보다도 슬라이드유리면을 잘 세척하는 일이 중요하였다. 한번 사용한 슬라이드유리는 일차적으로 아세톤에 의하여 세척하고 이를 다시 증류수로 끓인 다음 깨끗한 탈지면으로 닦아서 사용하였다.

현미경의 배율은 50배(접안렌즈 5배×대물렌즈 10배)로 하였다. 사용한 필름은 고감도 *plux-X Kodak*이며, 카메라의 노출시간은 최대 노출광원(EL-4B 10V-7W)하에서 13초가 가장 적당하였다. 전실험을 통하여 500장의 사진을 촬영하여 이중에서 신빙성 있게 촬영된 250장만을 골라 통계자료로서 사용하였다.

3.4 분산유량의 측정

유량의 분산도를 측정하기 위하여 직경 17mm의 포집관을 원호상으로 배열하였다. 분구로부터의 거리는 역시 23cm로 하였고 관에 포집된 입자는 계량용 실린더에 모이게 하여 반경방향에 따른 각 위치에서 분산량을 측정하였으며 포집시간은 15분으로 하였다.

같은 방법으로 각 노즐과 압력에 대하여 실시하고 송풍기를 부착한 상태에서도 계측하여 선풍에 의한 분산도의 변화를 조사하였다.

4. 실험결과의 검토

4.1 평균입경

Fig.2는 채취한 분무입자의 사진이며 Fig.3은 압력을 매개변수로 하여 분무중심으로부터 반경방향의 국부 Sauter 평균입경의 변화를 나타낸 그림이다. Fig.3에서 노즐의 종류에 관계없이 압력의 증가에 따라서 일률적으로 입경이 감소하고 있음을 알 수 있다.

이는 첫째로 Fig.4의 사진에서도 명백한 바와 같이 압력의 증가에 따라 분무각이 증가하여

분무영역이 넓어짐으로써 입자 상호간에 합체나 간섭없이 단독비행이 촉진되는 과정에서 분열을 계속하게 되고 둘째로는 분무각이 증가하면 분출직후에 형성되는 유막의 두께가 얇아지고 공기저항이 증가함으로써 막이 불안정하게 되어 분열요인이 더욱 가중된 결과라 생각된다.

같은 압력, 같은 위치에서 분무각 60° 보다는 80°의 경우가 "Hago" 보다는 "Delavan"의 경우가 대체로 입경이 작음을 알 수 있다. 분무각 60°에서 특히 저압일 경우 "Hago"에서는 분무중심으로 부터 거리가 멀어질수록 입경이 증가한데 반하여 "Delavan"에서는 오히려 분무류의 외주에서 감소하는 경향이 보이고 있다. 그러나 8,10기압의 고압에서는 수평에 가까운 미소한 변화를 보이고 있다. 이는 입자의 크기가 전 분무면에 걸쳐 고르게 분포됨을 의미한다. 일반적으로 \bar{d} 의 대소관계는 노즐고유의 분무특성과 분무압력에 따라 결정되며 분무량이 집중되는 영역에서는 입자의 합체로 인하여 \bar{d} 가 증가하는 경향을 띤다.

분무각이 80° 일때도 60°의 경우와 그 경향에 있어서 별 차이가 없다. "Delavan" 60°, 2기압에서의 경향이 유독 이해적으로 나타난 것은 스프링 압력의 약화로 인한 분구개방도의 진동 등 가동상태의 불안정에 기인한 것으로 생각된다.

어느 노즐의 경유를 막론하고 2,4,6기압의 저압영역과 8,10기압의 고압영역 사이에는 비교적 명확한 구분이 엿보이는데 이는 최적가동

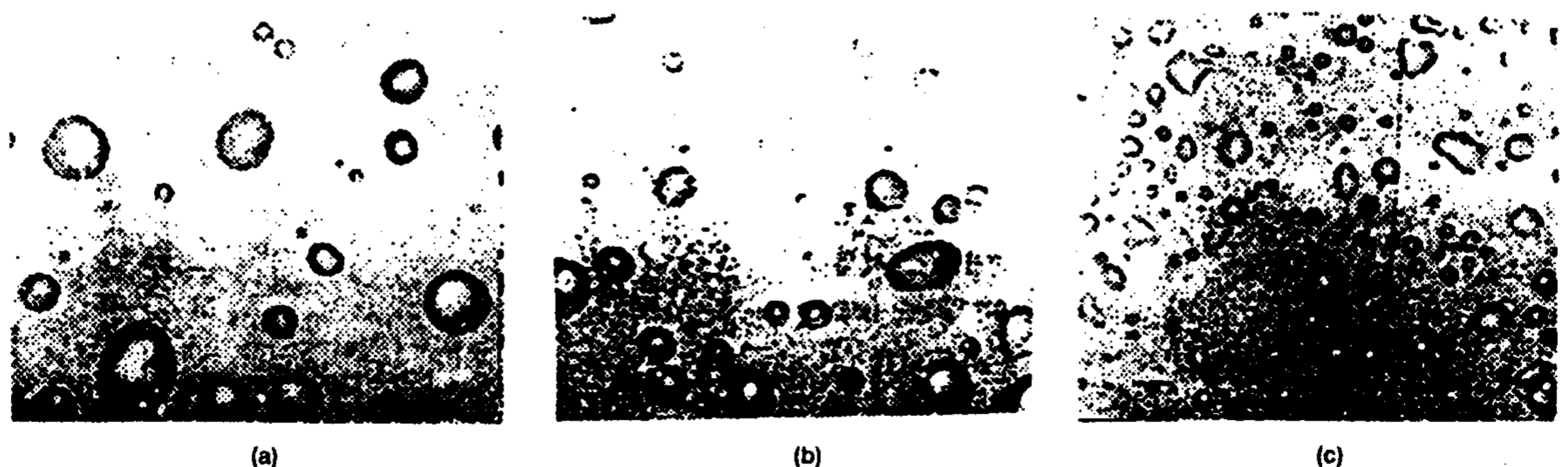


Fig. 2 Photographs of Atomizing Droplets with Nozzle, "Delavan" 60°, at 2 at(a), 6 at(b), 10 at(c)

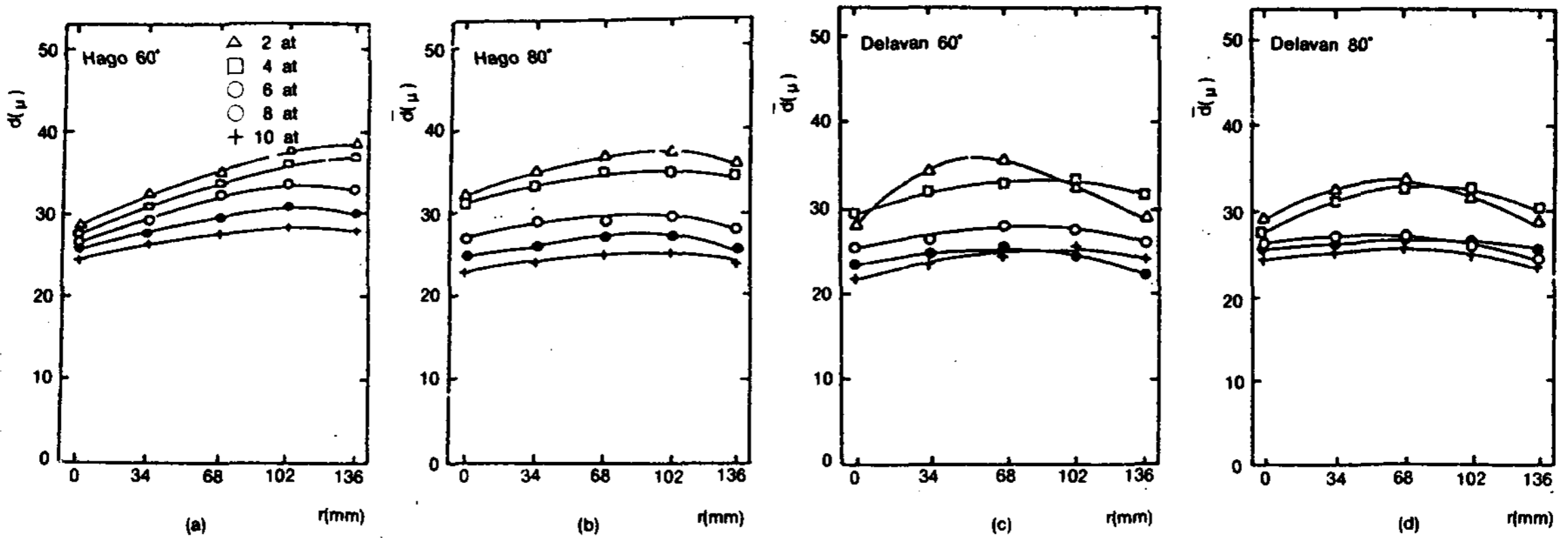


Fig. 3 Effect of Nozzle pressure on Local Sauter Mean Diameter, "Hago" 60°(a), "Hago" 80°(b), "Delavan" 60°(c), "Delavan" 80°(d)

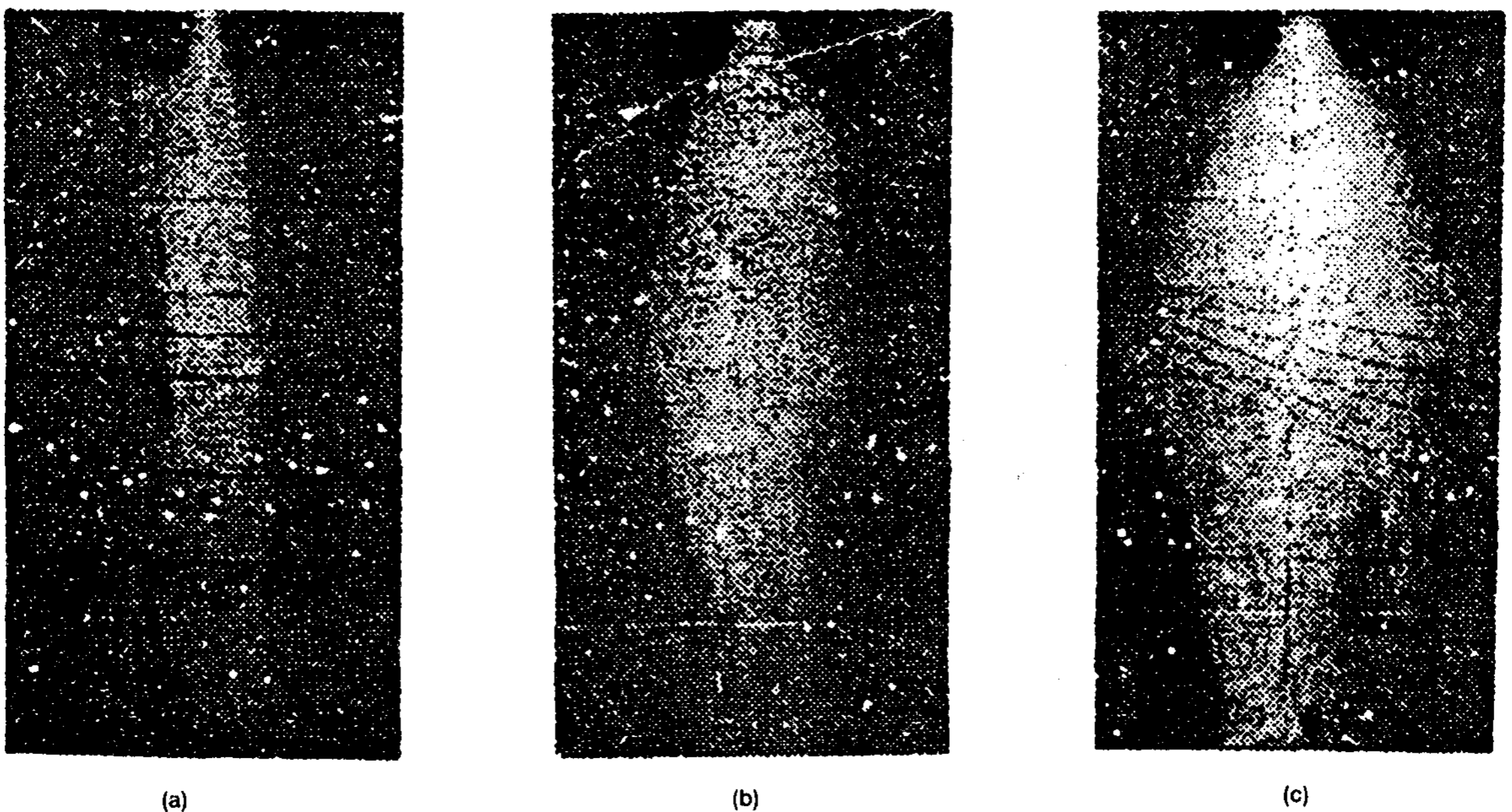


Fig. 4 Side View of Atomization Spray with Nozzle; "Delavan" 60°, at 2 at(a), 6 at(b), 10 at(c)

압력이 8기압부근에 존재함을 시사하는 것이 된다. 특히 "Delavan" 80°, 6기압에서는 그 이상의 압력의 경우와 대차가 없음을 볼수 있는데 이는 분무각이 크면 상용가동압력을 어느정도 감소시킬 수 있는 가능성을 시사한 것으로서 이에 관한 실험적 확인이 필요하다 하겠다.

Fig.5는 각 경우에서 집계한 전입자로부터 구한 Sauter 평균입경의 변화를 압력에 따라 정리한 그림이다.

Sauter입경은 압력의 증가에 따라 일률적으로 감소하고 있음을 재확인 할 수 있으며 역시 "Delavan"이 "Hago"의 경우보다 분무각 80°가 60°의 경우보다 미립화특성이 양호함을 알 수 있다.

4.2 입도분포

Nukiyama-Tanasawa의 분포함수에 관한 식을 다시 쓰면 아래와 같다.

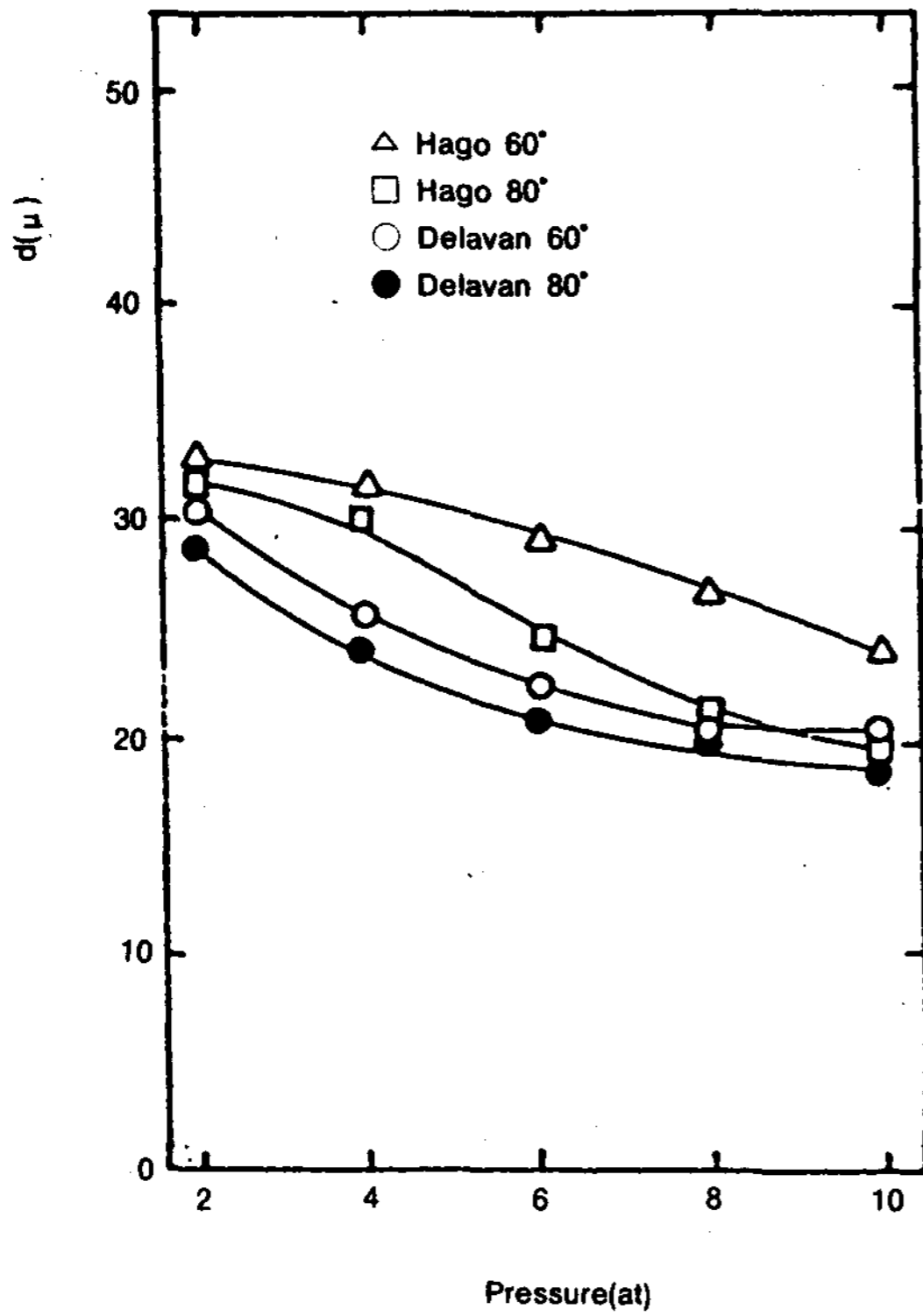


Fig. 5 Effect of Nozzle Pressure on Sauter Mean Diameter

$$\log_{10} \frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx} = \log_{10} a - \frac{b}{2.303} x^\beta$$

이 식의 실험상수 a, b는 다음 순서에 따라 결정할 수 있다. 이에 앞서 같은 실험상수 a, β를 결정할 필요가 있는데 분포곡선이 정해진 다음 α=0, 1, 2, 3, β=0-2사이에서 값을 변화시켜

$\log_{10}(\frac{1}{x^a} \frac{dn}{dx}) \sim x^\beta$ 의 그림에서 실험점이 직선상에 오는가 여부에 따라 α, β를 결정하면 된다.

본 실험에서는 α=2, β=1의 경우가 가장 직선에 근접하였다.

예컨대 "Hago" 80°, 6기압의 경우의 실험값을 위의 식에 대입하면 Fig.6과 같이 직선으로 표시되므로 a는 직선이 종축과 만나는 점의 y좌표의 값으로 주어지며 b는 log₁₀a=0일때의 x좌표의 x₀를 식 b=2.303 log₁₀(a/x₀)에 대입하여

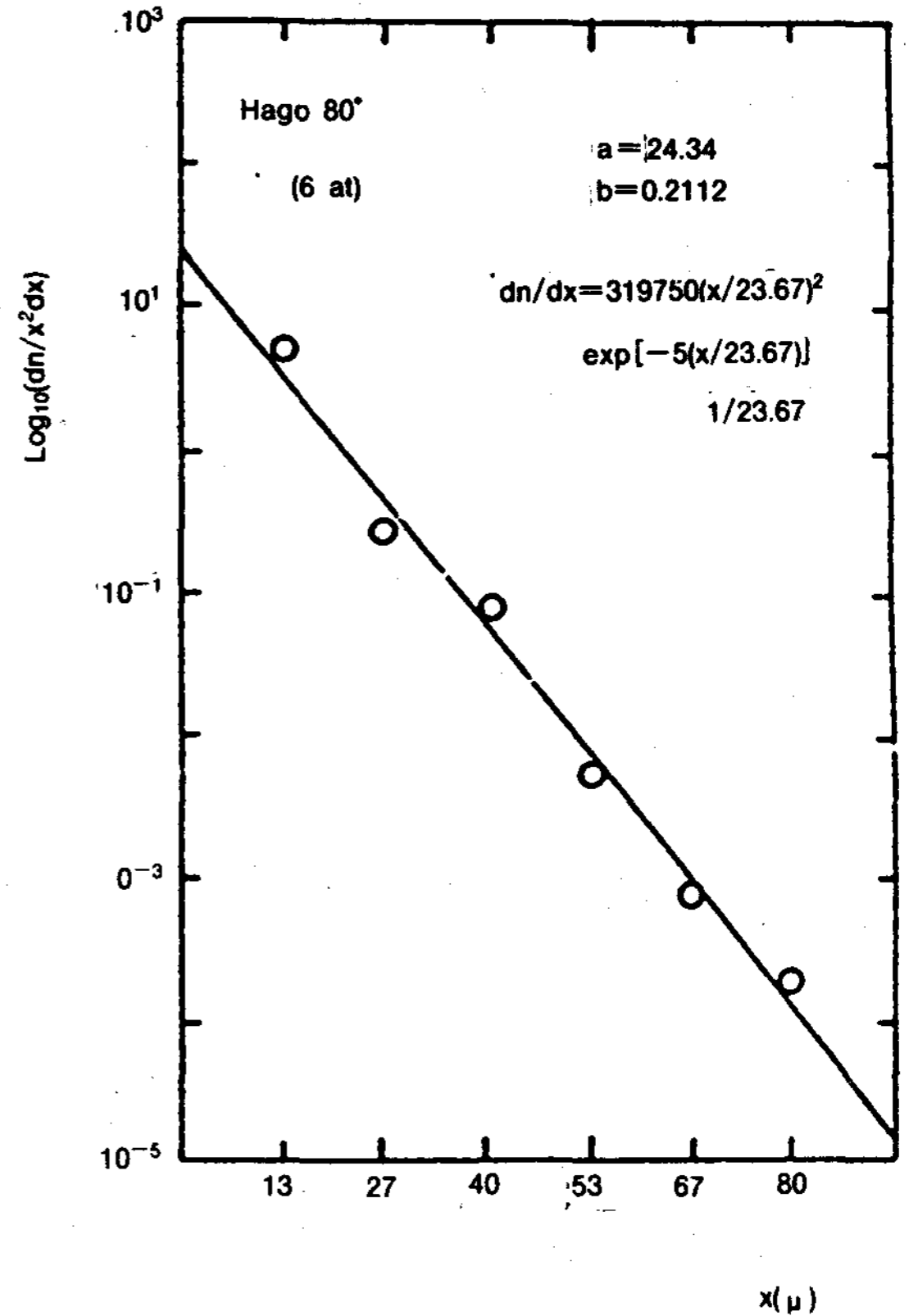


Fig. 6 Example for Determining Experimental Constants; a & b

계산함으로써 구할 수 있다.

이와 같이 하여 결정한 a, b의 값과 이에 의하여 계산한 Sauter 평균입경 d, 입수 n 및 유량 q에 대한 값을 모든 경우에 대하여 종합 정리하면 Table 1과 같다. 이들의 값을 원래의 식에 대입하면 각각의 경우에 대한 dn/dx, dy/dx의 상관식을 얻을 수 있다.

Fig.7은 입자수의 입경에 대한 변화율 dn/dx와 입경과의 대응관계 즉 입수분포를 나타낸 그림이다. 어느 경우를 막론하고 압력이 증가할수록 미립화된 입자수는 증가하고 조립자수는 감소하여 최대 입자수에 대응하는 입경 (dn/dx=0을 만족하는 x좌표)은 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와같은 경향이 나타나는 것은 압력의 증가와 함께 Sauter 입경의 감소를 보인 전향의 경우와 관련하여 생각할 때 당연한 현상으로 생각된다.

Table 1. Experimental Constants and Calculated Values

Nozzle	Factors	Nozzle Pressure(at)				
		2	4	6	8	10
Hago60°	a	2.609	4.101	7.947	12.004	26.089
	b	0.153	0.159	0.176	0.186	0.210
	d	32.75	31.38	28.47	23.78	
	n	1.465	2.029	2.935	3.712	5.619
	$q \times 10^{-7}$	1.293	1.577	1.703	1.804	1.895
Hago80°	a	3.425	4.585	24.337	50.566	91.538
	b	0.159	0.164	0.211	0.238	0.264
	d	31.43	30.58	23.67	20.98	19.01
	n	1.701	2.098	5.166	7.473	9.995
	$q \times 10^{-7}$	1.327	1.508	1.723	1.735	1.738
Delavan 60°	a	3.613	11.305	25.024	52.627	72.219
	b	0.163	0.195	0.218	0.246	0.258
	d	30.70	25.63	22.96	20.35	19.37
	n	1.672	3.044	4.844	7.096	8.400
	$q \times 10^{-7}$	1.215	1.288	1.473	1.503	1.535
Delavan 80°	a	5.034	12.504	48.986	62.751	79.96
	b	0.173	0.200	0.247	0.252	0.261
	d	28.92	24.95	20.28	19.81	19.19
	n	1.947	3.107	6.541	7.805	9.036
	$q \times 10^{-7}$	1.184	1.213	1.372	1.525	1.738

“Hago” 60°와 80°의 경우를 비교하면 압력에 따라서 dn/dx 의 경향에는 큰 차이가 없다. “Delavan”의 경우도 대체로 비슷한 경향임을 알 수 있다.

Fig.8은 입자의 체적분포를 표시한 그림이다. 체적분포에 있어서도 입수분포와 유사한 경향을 나타내고 있다. 즉 압력의 증가에 따라 더욱 미립화된 입자의 체적점유율은 높고 최대 체적변화율($dq/dx=0$)에 대응하는 입경도 감소하고 있다.

모든 경우에 대하여 최대입수와 최대체적에 대응하는 입경을 대비해 보면 Fig.9와 같다.

최대입경과 최대체적은 대체로 압력의 증가와 분무각의 증가에 따라 감소하는데 “Hago”에 비하여 “Delavan”이 보다 작은 값을 보이고 있다.

4.3 분산도

Fig.10은 포집관에 의하여 포집된 전분무량(q)과 임의의 위치에서 포집된 국부분무량(Δq)과의 비(%)를 포집위치에 따라서 표시한 그림이다. 어느 경우를 막론하고 압력이 높을수록 분무류는 고루 분산되는 경향이 있으며 또 압력이 낮을수록 중앙에 집중하는 경향이 뚜렷하다.

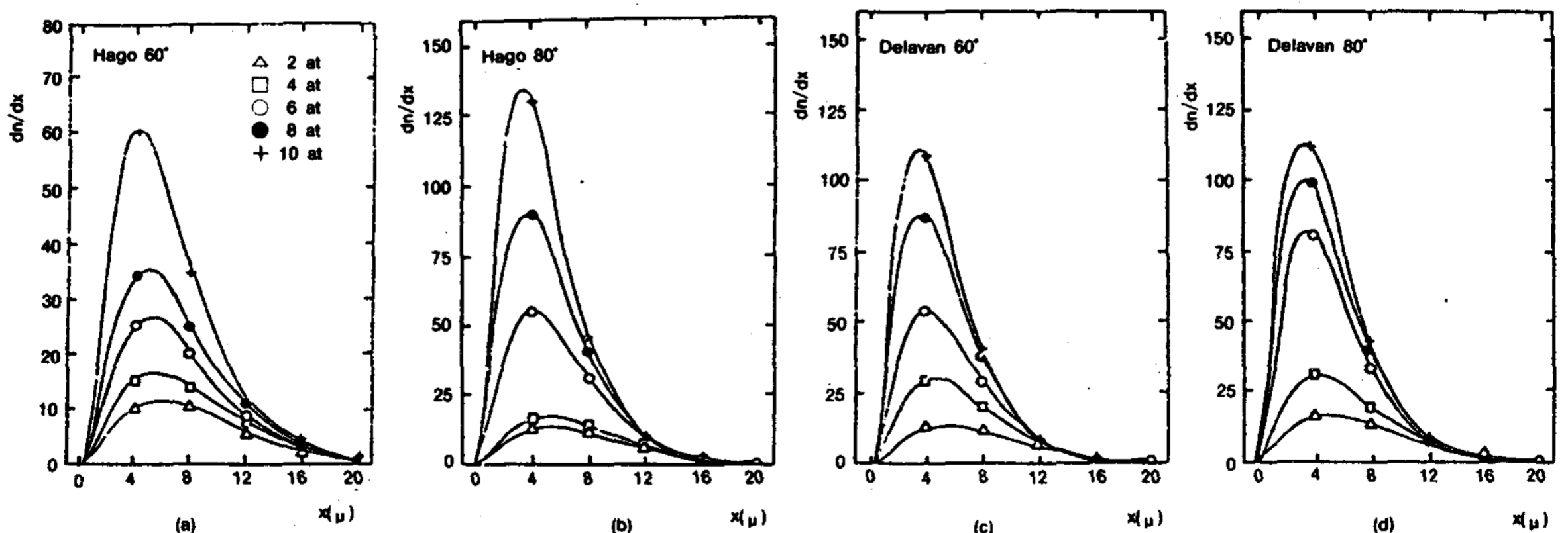


Fig. 7 Effect of Nozzle Pressure on Number-Distribution of Droplet Size; “Hago” 60°(a), “Hago” 80°(b), “Delavan” 60°(c), “Delavan” 80°(d)

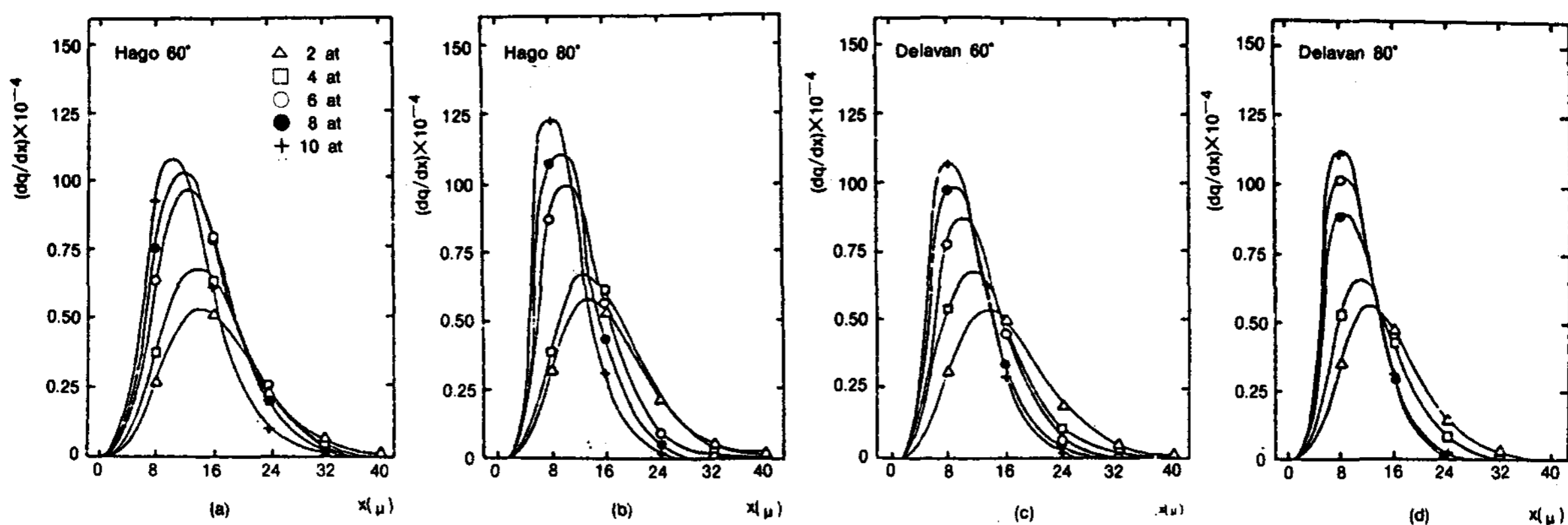


Fig. 8 Effect of Nozzle Pressure on Volume-Dispersion of Droplet Size; "Hago" 60°(a), "Hago" 80°(b), "Delavan" 60°(c), "Delavan" 80°(d)

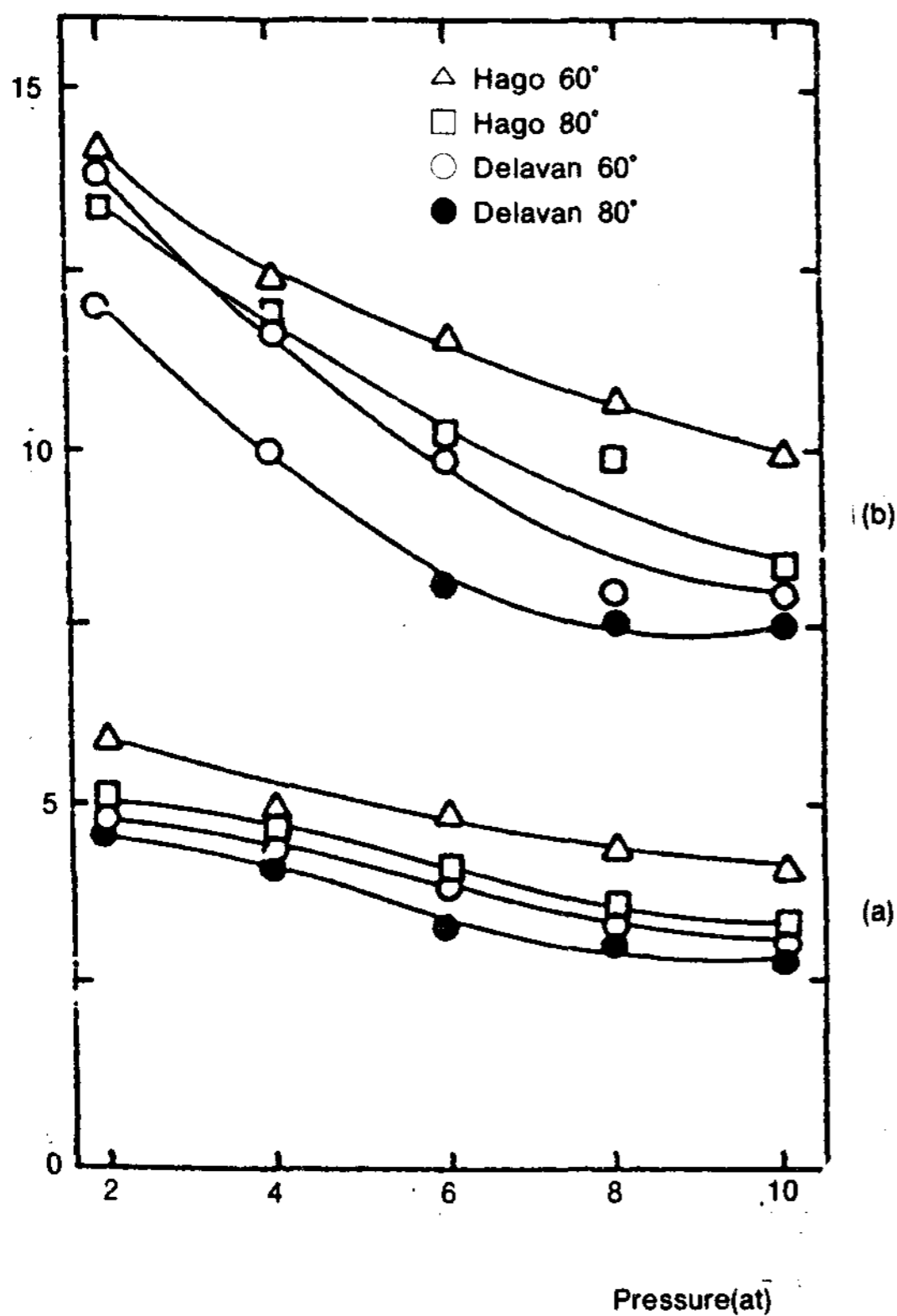


Fig. 9 Corresponding Sauter Diameter to Maximum Droplet Number (a) and Maximum Volume-Distribution (b) v.s. Nozzle Pressure

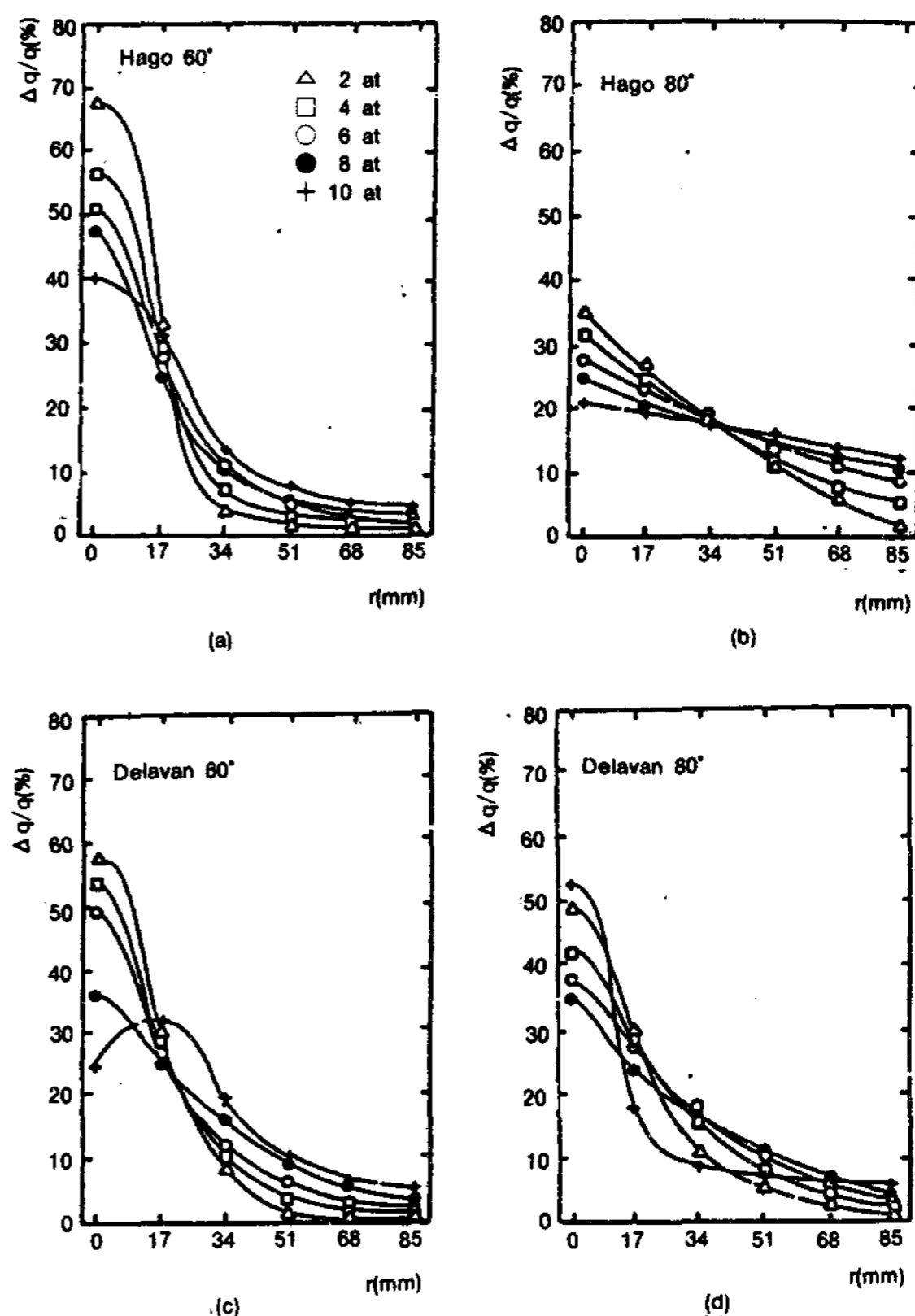


Fig. 10 Effect of Nozzle Pressure on Degree of Distribution without Fan; "Hago" 60°(a), "Hago" 80°(b), "Delavan" 60°(c), "Delavan" 80°(d)

또한 "Delavan", "Hago"의 어느 경우에서나 분무각 80°일때가 60°의 경우보다 균일한 분산을 나타내고 있음을 알 수 있다.

유량의 중앙집중도를 비교하기 위하여 중심부의 분산유량(q_0)와 중간부의 분산유량(q_{34})와

Table 2. Dispersed Flow Ratio q_{34}/q_0

Nozzle	Spray Angle	Nozzle Pressure(at)				
		2	4	6	8	10
Hago	60°	0.053	0.125	0.235	0.231	0.336
	80°	0.543	0.556	0.590	0.716	0.772
Delavan	60°	0.155	0.191	0.225	0.472	0.800
	80°	0.224	0.353	0.445	0.474	0.171
Hago (Fan)	60°	0.064	0.108	0.534	1.707	1.462
	80°	0.102	0.326	1.182	1.470	1.736
Delavan (Fan)	60°	0.625	0.924	1.422	1.521	1.689
	80°	0.226	0.385	1.080	1.508	1.854

의 비(q_{34}/q_0)를 종합해 보면 Table 2와 같다.

분무각 60°보다는 80°의 경우가, 또 “Delavan”보다는 “Hago”의 경우가 우위에 있음을 알 수 있다.

참고로 송풍기를 부착하여 가동시켰을 때의 분산유량 분포를 Fig.11에 표시하였다. 고압에서는 분무류가 주변으로 확산되는 중공특성이 강하게 나타나는 반면 저압에서는 여전히 중앙 집중분산이 뚜렷함을 볼 수 있다.

5. 결 론

“Hago” 60°, 80°와 “Delavan” 60°, 80° 등, 4개의 노즐에 대하여 분무압력을 2-10기압의 범위에서 5단계로 구분하여 분무특성을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 압력이 높을수록 일률적으로 Sauter 평균입경이 감소하며 분무각 80°의 경우가 60°의 경우보다 미립화 경향이 크다.
2. 10.8기압의 고압에서는 국부 Sauter 입경의 변화가 거의 없는 균일한 입도분포를 나타낸 것으로 미루어 적정가동압력이 8기압부근임을 알 수 있다.
3. 압력이 높을수록 미립자수가 증가하고 이들의 체적점유율 또한 증가한다. 이러한 경향은 분무각 80°의 경우가 60°의 경우보다 강하게 나타난다.
4. 압력이 높을수록 분무영역에서의 유량분산율은 높고, 낮을수록 중앙집중분산율이 높다.

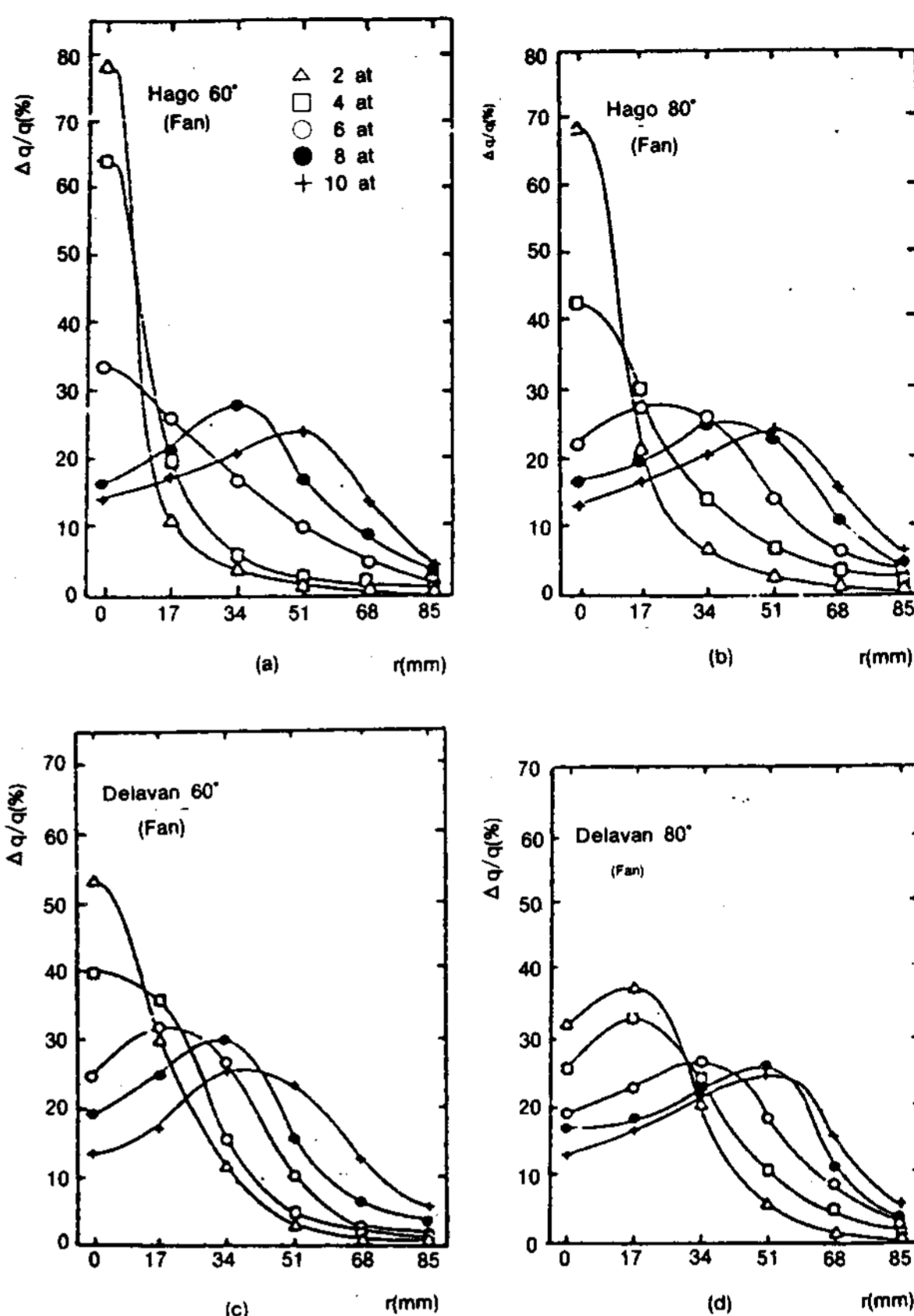


Fig. 11 Effect of Nozzle Pressure on Degree of Dispersion without Fan; “Hago” 60°(a), “Hago” 80°(b), “Delavan” 60°(c), “Delavan” 80°(d)

5. “Hago”보다는 “Delavan”의 경우가, 또 분무각 60°보다는 80°의 경우가 미립화 특성이 강하다.

참 고 문 헌

1. Kuniyoshi, H., Yamamoto, H., Fujimoto, H. and Sato, G.T., “Investigation of the Characteristics of Diesel Spray(3rd Paper: Impinging upon a Flat Plate)”, Journal of JSME, Vol.15, pp.57-64, 1980
2. O'Rourke, P.J. and Amsden, A.A., “The TBA Method for Numerical Calculation of

- Spray Droplet Breakup", SAE Paper No.831318, 1983.
3. Kuo, T.W. and Bracco, F.V., "Computation of Droplet Sizes in Pulsating Sprays and Liquid-Cone Length in Vaporizing Sprays", SAE Paper No.820133, 1982.
 4. Reitz., R.D. and Diwaker, R., "Effect of Drop Breakup on Fuel Sprays", SAE Paper No.860469, 1986.
 5. Reitz., R.D. and Diwaker, R., "Structure of High-Pressure Fuel Sprays", SAE Paper No.870598, 1987.
 6. Reitz., R.D. "Modelling Process in High-Pressure Vaporizing Sprays", Atomization and Spray Technology 3, pp.309-337, 1987.
 7. Tanasawa, Y. and Hiroyasu, H., "Measurement of Size Distribution of Sprayed Drops by Means of Molton Wax.", Trans. of JSME, No.20-162 pp.224-232, 1960
 8. Hiroyasu, H. and Arai, M. and Tabata, M., "Empirical Equations for the Sauter Mean Diameter of a Diesel Spray", SAE Paper, No. 890464 pp.97, 1989.
 9. Arai, M., Tabata, M., Hiroyasu, H. and Shimizu, M., "Disintegrating Process and Spray Characteristics of Fuel Jet injected by a Diesel Nozzle", SAE Paper No.840275, 1984.
 10. Hiroyasu, H., Kadota, T., "Fuel Droplet size Distribution in Diesel Combustion Chamber", SAE Paper No.35, pp.229-153, 1980.
 11. Arai, M., Hiroyasu, H., "Measurements of Drop Size Distribution of the Spray by Using a Laser Diffraction Method", Trans. of ASME, 29-252, pp.179, 1986.
 12. J. Fujita, "On the Liquid Atomizing Structure", Trans. of JSME, No.4-15 pp.20-27, 1937.
 13. S. Nukiyama and Y. Tanasawa, "Experiments on Atomization of Liquids in an Air-stream", Trans. Soc. Mec. Eng. Jpn., Vol.5, pp.68-75, 1939.

Dept. of Agricultural Machinery Engineering Chungbuk National University
 Agricultural Machinery Engineering Major, Dept. of Agricultural Engineering, Chungbuk National University, Graduate School *

In this research, Octacosane($C_{28}H_{58}$) and Sodium Acetate Trihydrate($CH_3COONa \cdot 3H_2O$) were selected as latent heat storage materials to store off-peak electricity or waste heat of an industrial plant. Experimental analyses were performed in terms of the variation of phase change temperature and latent heat, phase change stability for the long term utilization. The results were as follows.

1. The phase change temperatures of industrial grade Octacosane and Sodium Acetate Trihydrate were $60.7^\circ C$ and $57.4^\circ C$, the latent heat were $60.6 kcal/kg$ and $51.1 kcal/kg$ respectively.
2. The latent heat quantity of Octacosane was decreased with the increasing number of phase change cycles. It decreased from $60.6 kcal/kg$ to $47.2 kcal/kg$ upto 200 cycles and then no variation was observed after 200 cycles.
3. To prevent the supercooling of Sodium Acetate Trihydrate, the nucleating agent, Sodium Pyrophosphate Decahydrate of 3 wt% was added, and then the supercooling temperature($T_m - T_{sc}$) was decreased from $25.7^\circ C$ to $1^\circ C$. The phase separation was disappeared by the addition of CMC-Na of 3 wt% as a thickener. It was found that the optimal quantity of nucleating agent and thickener was 4wt% considering the stability of SAT as a latent heat storage material.
4. The phase change temperature of Sodium Acetate Trihydrate($CH_3COONa \cdot 3H_2O$) was adjusted from 57.4 to $46.2^\circ C$ by the addition of UREA. And then the latent heat quantity was decreased from 51.1 to $38.3 kcal/kg$.
5. When the heat storage capacities between the sensible and latent heat storage materials were analyzed and compared in heating process from 30 to $90^\circ C$, the heat storage capacity of Octacosane was 2.45 times larger than water and 12.5 times than granite at $60.7^\circ C$, and the heat storage capacity of Sodium Acetate Trihydrate was 2.53 times larger than water and 12.91 times than granite at $57.4^\circ C$.

An Experimental Study on the Atomization Characteristics of the Oil Nozzles

Cho, Han-Jung · Kim, Hi-Chul · Seo, Jeong-Yun · Cho, Yong-Chul

Studied in U.S.A.

Hon. Professor of Inha Univ.*

Dept. of Mechanical Engineering, Inha Univ.**

The purpose of the present work is to investigate the atomization characteristics and to find the available working conditions of given nozzles. Experimental investigations were carried out with the nozzles, "Delavan" and "Hago"(pressure atomizing simplex 1.25GPH), with 60° and 80° spray angles also at various nozzle pressures.

In the present work, Sauter mean-diameter was utilized to describe the quality of the atomization. All sample droplets were microphotographed with high-contrast film at 50X magnification and analyzed by Nukiyama-Tanazawa distribution function.

The 80° spray angle gives better atomization function than 60° spray angle, and available working conditions were set at approximately 8kg / cm² nozzle pressure.

A Study on the Photo-Conductive Characteristics of (p)ZnTe/(n)Si Solar Cell and (n)CdS-(p)ZnTe/(n)Si Poly-Junction Thin Film

Jhoun, Choon-Saing · Kim, Wan-Tae* · Huh, Chang-Su**

Inha University

Graduate School, Inha University*

Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)**

In this study, the (p)ZnTe/(n)Si solar cell and (n)CdS-(p)ZnTe/(n)Si poly-junction thin film are fabricated by vaccum deposition method at the substrate temperature of 200±1°C and then their electrical properties are investigated and compared each other. The test results from the (p)ZnTe/(n)Si solar cell the (n)CdS-(p)ZnTe/(n)Si poly-junction thin film under the irradiation of solar energy 100 [mW/cm²] are as follows;

	(p)ZnTe/(n)Si	(n)CdS-(p)ZnTe/(n)Si
Short circuit current [mA/cm ²]	28	6.5
Open circuit voltage [mV]	450	250
Fill factor	0.65	0.27
Efficiency [%]	8.19	2.3

The thin film charateristics can be improved by annealing. But the (p)ZnTe/(n)Si solar cell are deteriorated at temperatures above 470°C for annealing time longer than 15[min] and the (n)CdS-(p)ZnTe/(n)Si thin film are deteriorated at temperature about 580°C for longer than 15[min]. It is found that the sheet resistance decreases with the increase of annealing temperature.

Domestic Status of Solar Thermal Collectors and Hot Water Heaters

Kim, Seok Jong

Korea Solar Creative Corp.

In this technical status report, domestic solar makers and dealers for thermal collectors and hot water heaters are surveyed. The characteristics and specifications of their items are also classified and discussed. Collectors and hot water heaters are the key part of solar thermal systems which have been developed under the national policy for the development and utilization of new and renewable energy resources. This report provides the current domestic status of solar collectors which may be a good reference for the solar industry and related organizations.