

〈論 文〉

二流體 噴射노즐의 混合領域 形象에 따른 噴霧特性

金丙文* · 金赫柱** · 李忠遠***

(1991년 7월 26일 접수)

Spray Characteristics on Mixing Region Scale of Twin Fluid Atomizer

Byung Moon Kim, Hyouck Joo Kim and Choong Won Lee

Key Words: Atomization(微粒化), Twin Fluid Atomizer(二流體 噴射노즐), Disintegration(분열), Spray(噴霧), Atomization Characteristics(분무특성), Spray Stream(분무류), Spray Angle(噴霧角)

Abstract

The effects of principal dimensions of internal mixing twin-fluid atomizer and operating conditions on the atomizing characteristics are experimentally investigated. The tests are conducted over the wide range of air/liquid ratio to predict influences of the diameter and length of nozzle, contacting angle between air and liquid in the mixing chamber, and air orifice diameter on the mean drop size(SMD), spray angle, distribution of drop size, and spray dispersion. And also, initial distribution of liquid column by air stream within the the mixing chamber are observed through the transparent nozzles. A He-Ne laser particle sizer(MALVERN Model 2604) was used to measure the Sauter's mean diameter(D_{32}) and droplet sizes distribution. In this experiment the air/liquid ratio, mixing length and nozzle diameter have a great influence on SMD, spray angle, droplet sizes distribution and spray dispersion.

記號說明

D_1 : 空氣 오리피스 直徑(mm)
 D_2 : 노즐直徑(mm)
 L : 氣液混合길이(mm)
 Qd : 噴霧分散量(cc/min)
 NA : 노즐角(degree)
 Q_a : 空氣流量(cc/sec)
 Q_l : 液體流量(cc/sec)
 U_R : 相對速度(m/sec)
 V_a : 空氣速度(m/sec)
 μ_l : 粘性係數(kg/m·sec)

ρ_1 : 密度(kg/m³)
 σ : 表面張力(N/m)
 SMD : Sauter's 平均粒徑(μm)

下添字

a : 空氣, l : 液體

1. 緒 論

液體의 微粒化는 주로 液體燃料의 燃燒를 목적으로 研究되어 왔으나 産業의 急速한 發達에 따라 각종 産業用燃燒機, 內燃機關, 微細加工, 噴霧乾燥, 化學反應器등 産業全般에 걸쳐 널리 利用되고 있다. 최근 energy節約 및 效率問題, 大容量의 燃燒

*慶北大學校 大學院

**正會員, 動力資源研究所 보일러研究室

***正會員, 慶北大學校 工科大學 機械工學科

室構造에서 compact한 構造로의 變化, 짧은 時間內的 微粒化 特性 등을 고려한 微粒化 研究가 활발히 進行되고 있다. 특히, 高出力과 부하변화가 심한 機關의 噴射方法이 부하변화에 따른 微粒化性能 維持가 어려운 壓力噴射式에서 기체의 운동에너지를 液體微粒化에 利用하므로써 잦은 부하변화에서도 양호한 미립화를 얻을 수 있는 二流體噴射式으로의 改善을 시도하고 있다.

二流體微粒化는 연료와 공기의 質量比를 일정하게 維持하여 微粒化 特性을 바꿀 수 있기 때문에 燃燒室 構造에 맞도록 噴霧狀態를 임의로 調節할 수 있다. 특히, 燃燒에 應用되는 경우 液體燃料과 空氣가 쉽게 混合되고, 다른 nozzle에 비해 均一液滴面에서 매우 良好한 微粒化를 얻을 수 있기 때문에 널리 이용되고, 이 分野에 대한 많은 研究가 現在까지 활발하게 進行되어 오고 있다.

二流體噴射 노즐의 分裂機構에 관한 研究를 살펴 보면, 1878년 Rayleigh⁽¹⁾는 非粘性 液體인 경우의 液柱에 있어 初期攪亂의 成長으로 인한 液柱面에 形成된 波長을 λ , 初期液柱半徑을 d_0 라 할경우에 $\lambda/d_0=4.5$ 에서 分裂이 일어남을 提示하였다. 1931

년 Weber⁽²⁾는 液柱의 分裂은 점성액체인 경우 노즐 출구에서 생성된 初期攪亂이 指數函數의으로 成長하여 이에 成長된 攪亂의 振幅이 액주반경과 같아질때 分裂이 일어난다고 생각한 model에서 分裂길이를 推定하였다. 1972년에 Phinney⁽³⁾는 最大分裂길이와 初期攪亂의 影響을 설명하였다. 1988년 Lee와 Kim⁽⁴⁾은 同軸氣流의 速度變化에 따른 液柱의 安定性和 分裂길이에 관한 實驗을 행하였다.

噴霧特性에 관한 研究傾向을 보면, 1939년 Nukiyama와 Tanazawa⁽⁵⁾는 二유체분사노즐에 대해 液體의 粘性和 氣液流量比에 의한 平均粒徑의 실험식을 제안하였다. 1951년 Anson⁽⁶⁾은 氣液重量比 변화가 平均粒徑에 미치는 影響을 연구 하였다.

노즐形象에 대해서는 1960년 Lefebvre와 Miller⁽⁷⁾는 액체의 液膜과 고속공기의 衝突에 의한 噴霧特性을 研究하였고, 1974년 Mullinger와 Chigier⁽⁸⁾는 內部混合形 二유체분사노즐을 設計 制作하여 平均粒徑과 기체와 액체의 重量比 關係를 조사하였다.

이와같이 微粒化機構, 平均粒徑, 노즐형상등에 관한 연구가 계속되고 있으나 液面波의 舉動, 액주

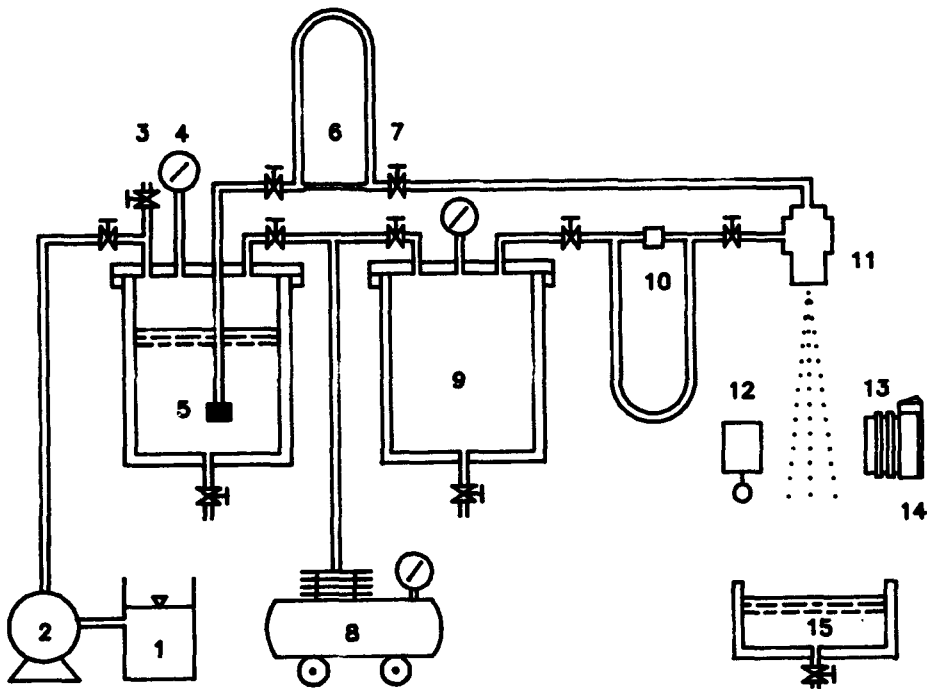


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

- 1. Water reservoir 2. Water pump 3. Bypass valve 4. Pressure gage 5. Liquid tank
- 6. Manometer 7. Needle valve 8. Compressor 9. Surge tank 10. Orifice 11. Nozzle
- 12. Stroboscope 13. Microlens 14. Camera 15. Water receiver

의 流動形態, 액주내의 속도분포의 減衰, 初期攪亂의 효과 등에 대한 局部的인 정보로부터 실용 노즐을 설계 제작한다는 것은 어렵기 때문에 아직도 經驗에 依存하고 있다.

따라서 본 研究에서는 가장 단순한 內部混合型 二流體噴射노즐의 氣流速度, 액체流量, 노즐直徑 및 混合길이, 氣液接觸角을 변화시켜 平均粒徑(SMD), 噴霧角, 粒度分布, 噴霧分散量分布 등을 조사하여 노즐형상에 따른 噴霧特性의 變化를 자세히 밝혀, 噴霧特性을 調節할 수 있는 二流體噴射노즐의 設計에 대한 基礎的 資料를 提示하고자 한다.

2. 實驗裝置 및 方法

2.1 實驗裝置 概要

Fig. 1은 實驗裝置의 概略圖를 나타낸 것이다. 실험장치는 노즐, 液體 供給裝置, 空氣供給裝置, 瞬間寫眞攝影裝置로 나누어지며, 噴霧特性을 파악

하기 위하여 노즐下端에 噴霧分散量測定裝置, 平均粒徑測定裝置를 각각 設置하여 實驗하였다.

實驗用 液體는 water tank 내에서 0.8MPa로 가압된 후 needle valve 및 流量調節用 manometer를 거쳐 노즐을 통해 大氣中에 噴射 된다. 이때, 微粒化用 空氣는 compressor에 의해 0.8MPa까지 加壓된 surge tank에서 空氣 orifice流量計를 지나 노즐을 통해 大氣中에 噴射 된다.

2.2 노즐(Nozzle)

Fig. 2는 實驗에 사용한 노즐의 詳細圖이다. 二流體 噴射노즐에 의한 액체의 微粒化는 액체 노즐直徑, 공기 orifice直徑, 混合室의 形狀, 노즐내에서의 氣液混合길이 등에 따라 影響을 받기 때문에 實驗用 노즐을 氣液 混合길이, 노즐直徑, 공기 orifice直徑, 氣液 衝突角 등을 변화시킬 수 있도록 設計製作하였으며, 混合室內의 氣液流動現象을 可視化하기 위하여 glass nozzle를 製作하였다. 各 實驗노즐의 諸元은 Table 1과 같다.

Table 1 Dimensions of experimental nozzle

Material	Air orifice dia. D_1 (mm)	Nozzle dia. D_2 (mm)	Mixing length L (mm)	Angle NA (deg)			
Brass	5	0.7	3	60			
				75			
				90			
				120			
	8	0.7	1	120			
			2	60			
			3	60			
				90			
				120			
			4	60			
			5	120			
			8	120			
			Glass	8	1	2	60
						5	
0.7	2						
	12						

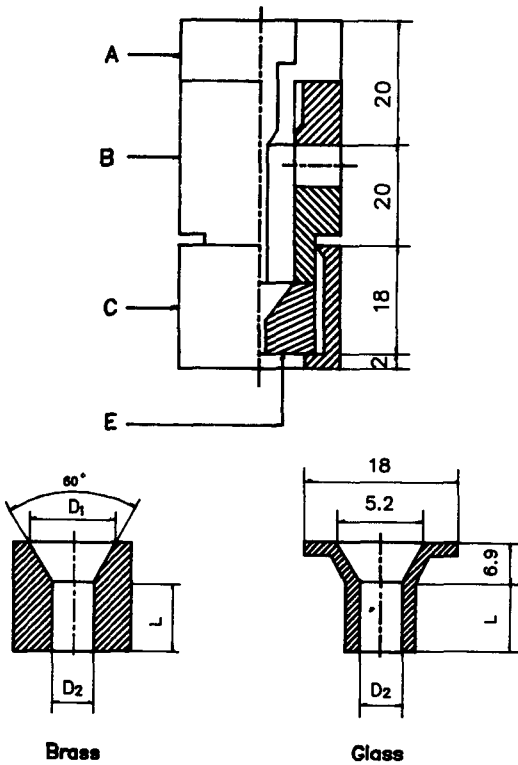


Fig. 2 Details of twin fluid spray nozzle

液體 및 氣體供給時 異物質의 混入으로 인한 막힘과 녹제거 및 세척, nozzle tip의 원활한 교환을 위해 A(液體供給部分), B(空氣供給部分), C(nozzle tip補助部分), E(nozzle tip)등 4개部分으로 分離製作하여 각각을 組立 할 수 있도록 하였다.

2.3 流量測定(Q_l, Q_a)

本實驗에 사용된 액체는 常溫의 淸淨水로, 實驗液體의 物理的 性質을 把握하기 위하여 Ostwalt粘度計, 比重計, 表面張力計(Fisher Model 20)을 사용하여 粘性係數, 比重, 表面張力을 測定하였다. Table 2는 測定한 物性值를 나타낸 것이다.

(1) 液體流量(Q_l)

實驗液體을 遠心pump로 water tank에 공급한후 compressor로 0.8MPa까지 가압하며, 壓力은 by-pass valve로 調節하여 일정하게 維持시킨다. 加壓된 액체는 venturi관(관직경 8mm, 목직경 2mm)을 지나 nozzle를 통해 大氣中에 噴射된다. 이때 單位 時間當의 流量 Q_l(cc/min)은 mass cylinder와 timer를 이용하여 測定하였으며,

Table 2 Physical properties of experimental liquid

Used liquid	Clain water
Temperature (°C)	22
Density (kg/m ³)	998.2
Viscosity (kg/m·sec)	1.005 × 10 ⁻³
Surface tension (N/m)	73.5 × 10 ⁻³

Table 3 Test conditions of liquid and air

Liquid flow rate	Q _l = 50.388706 ΔH ^{0.590961}
	Q _{lmax} = 114.3cc/min
Air flow rate	Q _a = 0.997024 ΔH ^{0.7387690}
	Q _{amax} = 9120cc/min
Air velocity	D ₂ = 0.7mm V _a = 43.179736 ΔH ^{0.740646}
	D ₂ = 1mm V _a = 21.186148 ΔH ^{0.73996}
	D ₂ = 2mm V _a = 5.289664 ΔH ^{0.73963}
	V _{amax} = 336m/s

venturi관 兩端의 差壓은 manometer의 液柱差 ΔH를 읽어 측정하며, 噴射流量은 venturi관 양단에 needle valve를 설치하여 調節하였다. nozzle내의 유량 Q_l과 액체용 manometer의 액주차 ΔH의 평균값으로 부터 最小自乘法을 이용하여 ΔH와 流量과의 關係式을 求하였다.

(2) 空氣流量(Q_a)

nozzle에 공급되는 공기의 유량은 orifice(관직경 8mm, 목직경 2.5mm) 양단에 needle valve를 設置하여 調節하였으며, 노즐 出口에서의 속도는 pitot-tube을 使用하여 求하였으며, 流量은 각 노즐의 出口斷面的을 竊하여 空氣流量을 求하였다. 이를 Table 3에 收錄 하였다.

2.4 SMD 및 粒度分布 測定

Fig. 3은 本實驗에 使用한 Malvern particle sizer의 概畧圖이다.

20mW He-Ne laser에서 나온 光은 beam expander를 통해 지름 9mm의 平行光으로 變化된 후 噴射된 液滴을 통과하게 된다. 이때 光은 散亂되어 變異光 형태로 receive lens를 지나 최종적으로

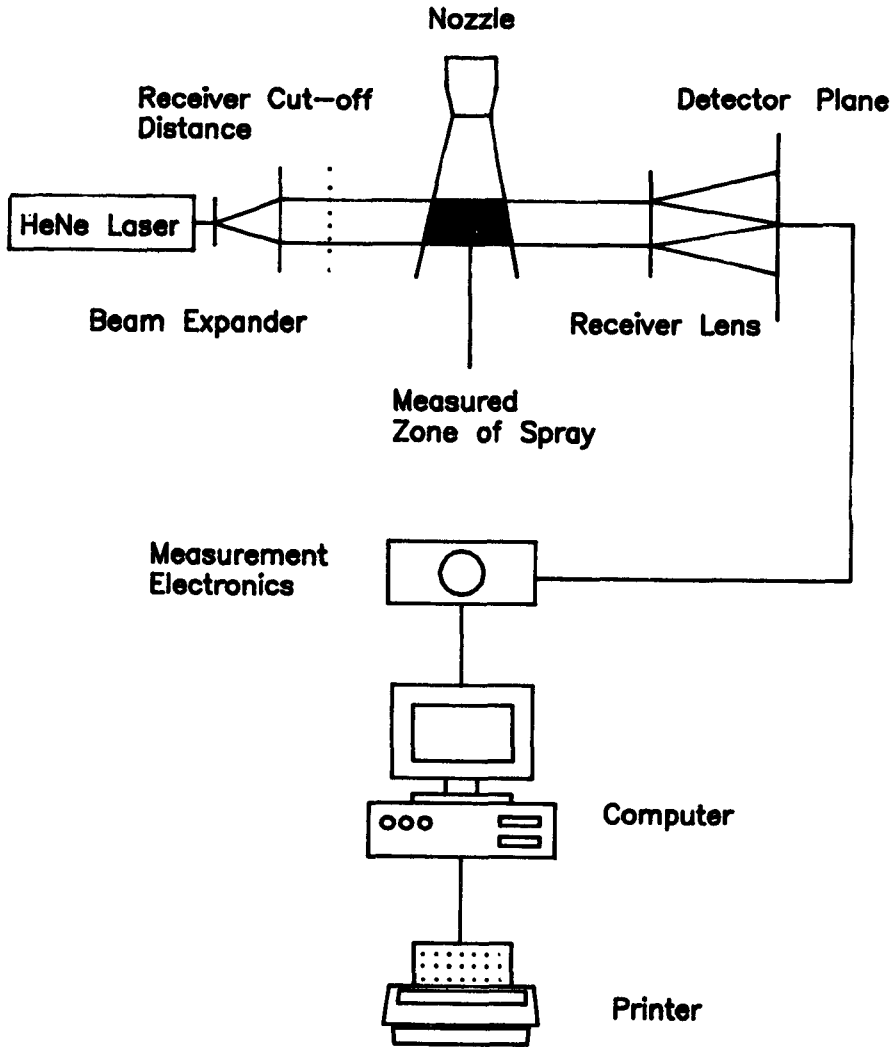


Fig. 3 Schematic diagram of He-Ne Laser particle sizer

detector plane에서 전기신호로 변환되어 measurement electronics에 입력된다. 입력된 신호는 다시 personal computer에서 SMD, MMD 및 粒度分布를 나타내게 된다 분무군과 detector lens사이의距離는 최대 380mm이며, 이때 Malvern particle sizer의 粒徑 測定範圍는 $5.8\mu\text{m} \sim 800\mu\text{m}$ 이다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 液柱分裂現象

Fig. 4는 液體流量을 $Q_1=1.90\text{cc/sec}$ 로 固定시키고 공기유량을 점차 증가시켜 液流의 分裂 過程을

瞬間撮影한 寫眞이다. 液流는 처음에 平滑流의 형태를 이루며 重力과 表面張力의 차에 의해서 液柱의 下端에서 液滴이 形成되나, 공기를 $V_a=4.8\text{m/sec}$ 의 速度로 噴出 시키면 平滑流는 周위 空氣와의 相對速度에 의해서 液柱에 初期攪亂의 成長에 起因한 微小 縱振動波가 形成되어 액주의 長이가 짧아진다. 液滴이 떨어져 나간 直後 液柱의 끝부분과 分離된 액적은 表面張力에 의해서 둥근모양이 된다. 空氣速度를 $V_a=18.2\text{m/sec}$ 로 增加시키면 액주의 氣液界面에는 縱振動波의 形成이 더욱 뚜렷하게 나타나고, 分裂位置는 노즐出口쪽으로 移動하게 된다. 이때 液體는 노즐中心으로, 空氣는 液體周圍로

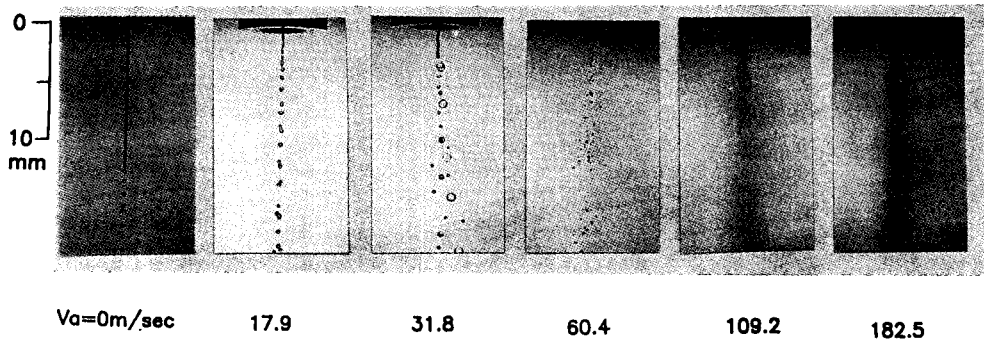


Fig. 4 Photographs spray variation with increasing in air velocity
 ($D_1=8\text{mm}$, $D_2=0.7\text{mm}$, $NA=120\text{deg}$, $L=8\text{mm}$, $Q_1=1.90\text{cc/sec}$)

흐른다. 空氣速度를 20.4m/sec로 더욱 증가시키면 周圍 空氣와의 相對速度가 커져 橫振動이 발생하여 지그재그 形態로 分裂하는 現象을 觀察할 수 있다. 空氣速度가 $V_a=31.8\text{m/sec}$ 가 되면 분무군에서 비교적 큰 氣泡를 포함한 흐름으로 된다. 이것은 氣液混合室에서 空氣의 일부분이 液體속으로 浸透하여 부분적으로 氣泡流를 형성하기 때문이다. 이때 生成되는 노즐내부의 氣泡 크기는 空氣流量이 增加함에 따라 작아진다. 속도가 $V_a=109.2\text{m/sec}$ 이상에서는 氣液混合室內의 空氣와 액체의 流量은 低速의 경우와는 反對로 空氣周圍에 액체가 흘러 기액혼합실 壁面을 따라 액체가 흐르는 環狀流의 흐름이 되므로써 微小液滴들로 分열되는 現象을 觀察할 수 있다. 空氣速度를 더욱 增加시키면 生成된 액적의 크기는 아주 微細하게 되며, 혼합길이 내에서 액체와 空氣의 혼합현상은 노즐 先端에서 부터 점차 상류쪽으로 이동하게 된다. 이는 空氣류의 亂流成分의 증가에 따라 급속한 混合이 이루어지기 때문이라 생각된다.

氣流에 의한 액체의 微粒化는 空氣의 속도가 低速인 경우에는 기류energy의 증가에 따라 液柱面에 形成된 波의 성장이 分裂를 支配하며, 高速인 경우에는 혼합 길이 내에서의 기액혼합상태가 微粒化 特性을 支配함을 알 수 있다.

3.2 平均粒徑(SMD)

平均粒徑은 液體의 微粒化 特性을 나타내는 것으로 nozzle의 성능을 파악하는 데 편리하게 이용된다. 噴霧粒子群의 물리적 요소인 粒數의 總合, 粒徑의 總合, 表面積, 總合, 液積의 總合을 고려하여 이들 4개의 인자중 2개의 양을 조합하여 평

均粒徑(SMD)을 다음과 같이 一般式으로 표시할 수 있다.

$$\frac{1}{d_{pq}} = \left(\frac{\sum \Delta n \cdot d^p}{\sum \Delta n \cdot d^q} \right)^{\frac{1}{p-q}}$$

- d : 임의의 粒徑
- n : d 의 粒數
- p : 1-3의 整數
- q : 1-2의 整數

平均粒徑은 用度에 따라 여러가지가 쓰이고 있지만, 특히

$$\bar{d}_{32} = \left(\frac{\sum \Delta n \cdot d^3}{\sum \Delta n \cdot d} \right)^{\frac{1}{2}}$$

은 단위체적당 표면장력,

즉, 比表面積(표면적/체적)의 逆에 해당하기 때문에 액체연료의 蒸發이나 燃燒現象을 고찰할때 적합하다. \bar{d}_{32} 를 일반적으로 sauters mean diameter (SMD)라고 하며 本論文에서의 이를 平均粒徑으로 하였다.

Fig. 5는 air orifice 直徑 $D_1=8\text{mm}$, 노즐直徑 $D_2=1\text{mm}$, 混合길이 $L=2\text{mm}$ 氣液接觸角 $NA=60\text{deg}$ 인 노즐에서 液體流量 $Q_1=1.28\text{cc/sec}$, 空氣流速 $V_a=59.1\text{m/sec}$ 인 경우 平均粒徑의 空間分布를 나타낸 그림이다.

平均粒徑은 중심에서 가장 작고 半徑方向으로 갈수록, 噴霧群의 下流로 갈수록 점차 크기가 增加함을 수 있다.

이러한 현상은 噴霧液滴의 運動量과 液滴의 空間數密度로서 설명될 수 있는 데, 분무중심에서는 噴霧流의 運動량이 대단히 커서 액적의 재충돌이 빈번하게 이루어지며 衝突된 액적은 다시 微細하게

再分裂하는 反面에 중심축에서 멀어질수록 주위공기와의 마찰에 기인한 運動量의 감소에 따라 액적의 합체가 용이해지며, 액적상호간의 재충돌에 의한 분열은 점차 어려워지기 때문이다. 軸方向의 경우에도 噴霧下端로 갈수록 SMD가 增加함을 보여주고 있는데 이 현상도 역시 같은 原因이다.

또한 噴霧流의 중심축을 따라 下流로 6~200mm, 半徑方向 0~±25mm 범위의 平均粒徑을 조사한 結果 本 研究에서는 軸方向距離와 半徑方向距離가 각각 100, 10mm의 지점에서 平均입경이 空空間의 平均値와 일치하므로 이 位置를 모든 실험의 代表値로 정하여 粒徑을 測定하였다.

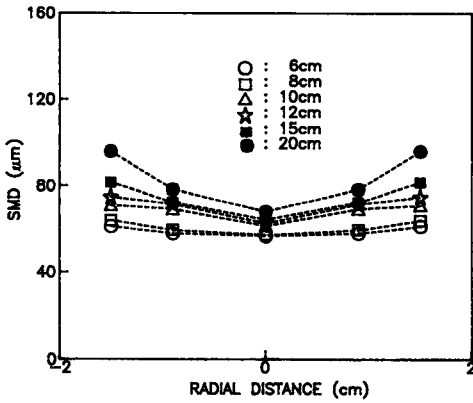


Fig. 5 SMD distribution of measuring position ($D_1=8$ mm, $D_2=1$ mm, $L=3$ mm, $NA=60$ deg $Q_a/Q_1=38.13$, $V_a=59.10$ m/sec)

Fig. 6은 액체유량별 空氣速度에 따른 SMD의 變化를 나타낸 그림으로서 平均입경은 공기속도가 증가함에 따라 모든 유량에 걸쳐 指數函數的으로 減少하는 傾向을 알 수 있다. 또한 액체유량이 增加 할수록 SMD가 전반적으로 커지는 현상을 볼 수 있는데, 이것은 액체유량의 증가로 인해 微粒化 시키는데 요하는 空氣의 運動量이 상대적으로 감소하였기 때문에, 液柱에 작용하는 공기의 運動量이 入口의 크기를 지배하고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 glass nozzle를 이용하여 혼합길이내에서의 氣液混合過程과 流動形態를 觀察하기 위한 순

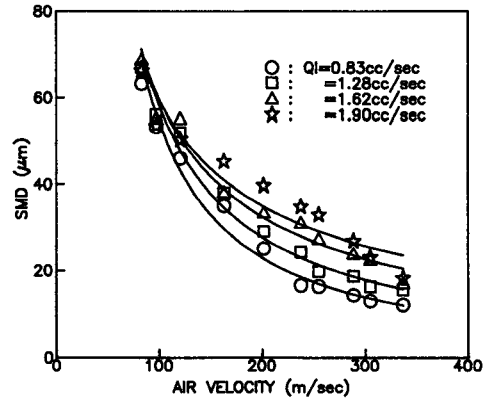


Fig. 6 Influence of velocity on SMD ($D_1=8$ mm, $D_2=0.7$ mm, $L=3$ mm, $NA=90$ deg)

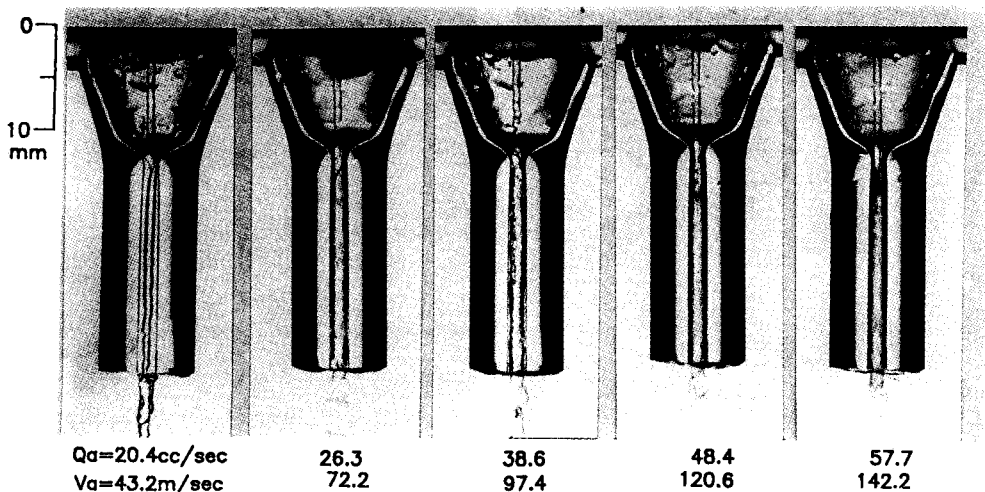


Fig. 7 Photographs of mixing pattern variation in the mixing region with increasing in air velocity (glass nozzle) ($D_1=8$ mm, $D_2=0.7$ mm, $NA=60$ deg, $L=12$ mm, $Q_1=0.83$ cc/sec)

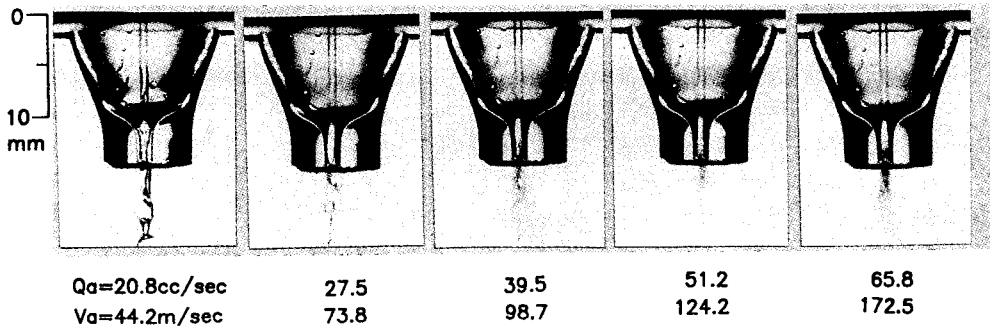


Fig. 8 Photographs of mixing pattern variation in the mixing region with increasing in air velocity (glass nozzle) ($D_1=8\text{mm}$, $D_2=0.7\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, $L=2\text{mm}$, $Q_1=0.83\text{cc/sec}$)

간사진이다. 액체유량 $Q_1=0.83\text{cc/sec}$ 일때, 공기 유량을 점차 증가시켜가며 分裂現象을 觀察한 것으로, $V_a=20.4\text{m/sec}$ 인 저속의 경우 액체는 혼합실 내의 中央으로 흐르며, 공기는 混合室 壁面을 따라 分離되어 흐르는 것을 뚜렷하게 볼 수 있다. 노즐을 떠난 액류는 縱振動波狀流의 형태이며 氣液界面에서 攪亂이 혼합길이 内部로 成長하는 것을 觀察할 수 있다. 空氣速度를 26.3m/sec 로 증가시키면 공기의 운동량이 커져 공기의 一部分이 液流에 浸透하여 노즐 중심을 따라 흐르고, 액체는 노즐 관벽으로 점차 移動하게 된다. 空氣速度가 38.6m/sec 에 이르면 액체는 노즐 관벽을 따라 흐르고 공기는 노즐 중심으로 흐르게 된다. 이 때부터 분무는 微細한 액적의 형태로 바뀌기 시작한다. 공기속도를 더욱 증가시켜가면 혼합길이 내에서의 氣液混合位置가 上流쪽으로 이동되며, 이때의 분무상태는 더욱 微細해지는 것을 觀察할 수 있다.

Fig. 8은 空氣오리피스직경 $D_1=2\text{mm}$, 노즐직경 $D_2=0.7\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, 氣液混合길이 $L=6\text{mm}$ 인 노즐에 액체유량 $Q_1=0.83\text{cc/sec}$ 로 維持하고 공기유량을 점차 增加 시켰을 경우의 액주분열 현상을 瞬間 撮影한 寫眞이다. Fig. 7과 比較하여 보면 공기속도 증가에 따른 혼합길이내의 氣液混合現象은 동일하나 혼합길이 긴 것이 液滴의 粒徑이 작고 分布가 均一하게 나타나는데 이는 공기와 接觸時間이 길어져 氣液混合이 充分히 이루어지기 때문이다.

Fig. 9는 $D_2=0.7\text{mm}$, $L=3\text{mm}$, $NA=90\text{deg}$ 인 노즐에 공기오리피스직경 (D_1)이 各各 6mm, 8mm인 경우에 대하여 氣液流量比에 따른 SMD의 變化를 도시한 것으로 air orifice 直徑이 클수록 混合

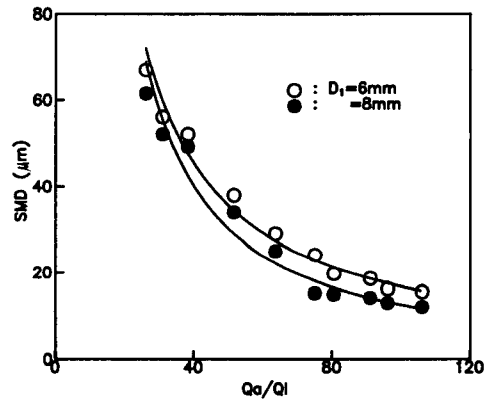


Fig. 9 Influence of orifice diameter on SMD ($D_2=0.7\text{mm}$, $L=3\text{mm}$, $NA=90\text{deg}$, $Q_1=1.28\text{cc/sec}$)

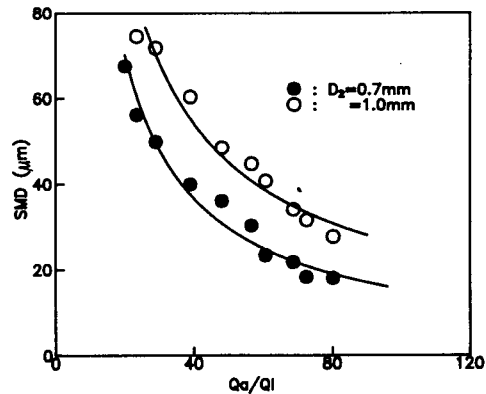


Fig. 10 Influence of nozzle diameter on SMD ($D_1=8\text{mm}$, $L=2\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, $Q_1=1.62\text{cc/sec}$)

室內의 液流길이 가 길어져 氣流에 의한 교란의 진폭이 커져 평균입경이 다소 작게 나타나는 것으로推定되나 平均粒徑에 미치는 영향은 그다지 크지 않다.

Fig. 10은 $D_1=8\text{mm}$, $L=2\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, 액체 유량 $Q_1=1.62$ 인 경우, 노즐直徑변화($D_2=0.7\text{mm}$, 1mm)에 대한 평균입경 變化를 나타낸 그림이다. 노즐直徑에 관계없이 기액유량비가 증가함에 따라 평균입경은 減少하고 있으며 平均粒徑의 감소경향은 기액유량비가 작은곳에서 指數函數의으로 감소하는 것을 알 수 있다. 노즐직경이 작을 수록 SMD가 작게 나타나는 것은 空氣速度의 相對的 增加로 氣液 混合狀態가 빨리 이루어져 微粒化가 촉진되었기 때문이다.

Fig. 11은 $D_1=8\text{mm}$, $D_2=0.7\text{mm}$, $NA=120\text{deg}$ 로 고정시키고 混合길이를 1mm , 3mm , 5mm , 8mm 로 변화하여 기액유량비에 따른 SMD경향을 나타낸 그림이다. 혼합길이가 길수록 평균입경이 작게 나타남을 觀察할 수 있다. 이는 유리노즐의 實驗을 통해서 알 수 있듯이 혼합길이가 길수록 기액혼합이 促進되기 때문이다.

Fig. 12는 노즐直徑과 氣液混合길이 비인 D_2/L 變化에 따른 SMD를 도시한 것이다. D_2/L 의 비가 작을수록 SMD가 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

한편, Nukiyama, Tanazawa⁽⁵⁾는 單純한 二流體 噴射노즐의 形狀으로 粘度, 密度, 表面張力, 氣液 流量比등을 變化 시켜가며 식

$$SMD = \frac{0.585}{\mu_R} \left(\frac{\sigma}{\rho_1} \right)^{0.5} + 53 \left(\frac{\mu_1^2}{\sigma \cdot \rho_1} \right)^{0.225} \left(\frac{Q_1}{Q_a} \right)^{1.5}$$

같은 實驗式을 提案한바 있다. 그러나, 本 實驗에서 사용한 유리노즐(Fig. 7, Fig. 8)을 통하여 混合領域의 形狀에 따라 氣液混合形態 및 위치가 변화되며, 분무류의 분무특성을 究明하는 初期條件이 混合領域에서 결정됨을 알 수 있다. 즉, 氣體와 液體의 混合時間과 空間이 길고 좁을수록 平均粒徑이 작아진다는 사실을 관찰 할 수 있었다. 이 結果로부터 氣液流量比와 함께 노즐直徑과 혼합길이의 비가 분무의 평균입경에 미치는 영향이 規則性을 갖는다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 規則性을 考慮하여 氣液流量比(Q_1/Q_a)와 노즐直徑(D_2)/混合길이(L)에 따른 SMD의 變化를 나타내는 實驗式을 다음과 같이 求하였다.

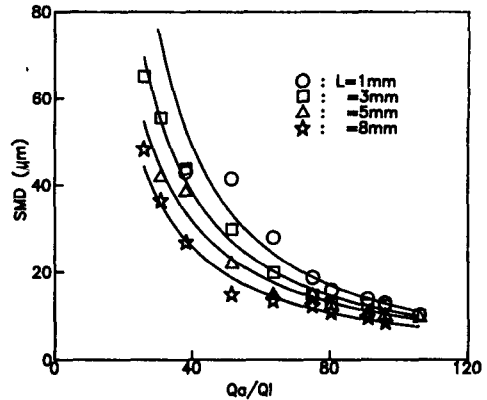


Fig. 11 Influence of nozzle mixing length on SMD ($D_1=8\text{mm}$, $D_2=0.7\text{mm}$, $NA=120\text{deg}$, $Q_1=1.28\text{cc/sec}$)

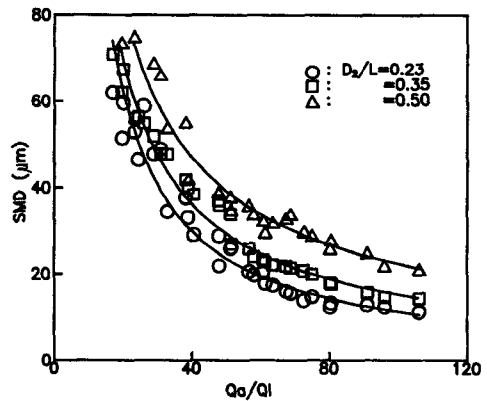


Fig. 12 Influence of ratio of nozzle diameter/mixing length on SMD ($D_1=8\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, $Q_1=1.62\text{cc/sec}$)

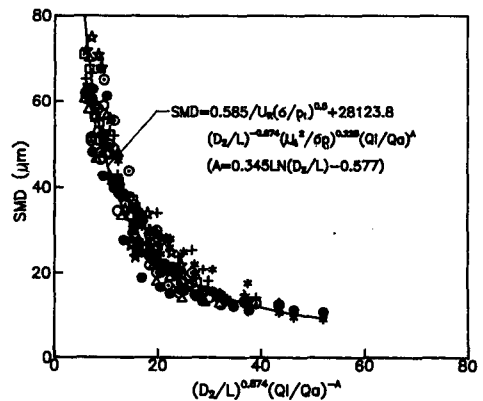


Fig. 13 Influence of Q_1/Q_a ratio and D_2/L on SMD

$$SMD = \frac{0.585}{\mu_R} \left(\frac{\sigma}{\rho_1} \right)^{0.5} + 28123.8 \left(\frac{D_2}{L} \right)^{-0.574} \left(\frac{\mu_1^2}{\sigma \cdot \rho_1} \right)^{0.225} \left(\frac{Q_1}{Q_a} \right)^4$$

(A=0.345LN(D₂/L)-0.577)

Fig. 13은 각 노즐의 氣液流量比 및 D₂/L의 變化에 따른 평균입경의 測定值들과 式을 比較 表示한 結果로서 아주 잘 一致하고 있음을 알 수 있다.

3.3 粒度分布

Fig. 14는 D₁=6mm, D₂=0.7mm, L=3mm, NA=60deg인 노즐에 액체유량 Q₁=0.83cc/sec을 유지하면서 空氣流量을 變化시켰을 때의 粒度分布를 나타낸 것으로 氣液유량비가 증가할수록 粒度分布 曲線의 幅이 좁아지고 最大입경도 작아지며, 平均粒徑이 작은 液滴의 數가 많이 分布되어 있다.

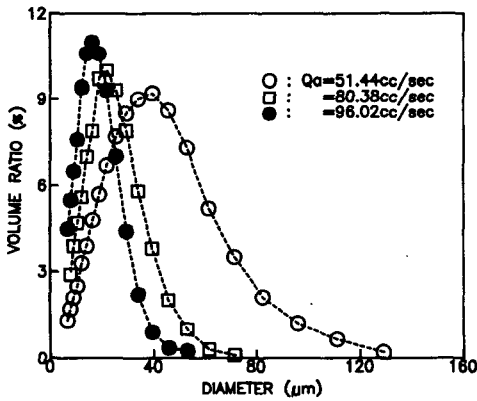


Fig. 14 Drop size distribution (D₁=6mm, D₂=0.7mm, L=3mm, NA=60deg, Q₁=0.83cc/sec)

3.4 噴霧分散量分布

Fig. 15는 액체유량 Q₁=0.83cc/sec로 유지하여 공기유량을 25, 48, 57, 68cc/sec로 증가하였을 때의 噴霧分散量分布를 나타낸것이다. 공기유량의 증가에 따라 分散度는 작아지나 噴霧의 主류는 57/sec를 기준으로 분무주류의 폭이 다시 커지는 것을 볼 수 있다. 이것은 다음 節의 空氣速度에 따른 噴霧角의 變化를 觀察함으로써 더욱 明確하게 알 수 있다.

3.5 噴霧角(Spray angle)

噴霧角은 기액혼합류의 速度에 따라 결정되어지며, 특히 燃燒側面에서 중요한 要素中의 하나이다.

Fig. 16은 D₁=8mm, D₂=0.7mm, 혼합길이=2mm, NA=60deg, Q₁=1.62cc/sec의 상태로 공기유량의 變化에 따른 噴霧角 寫眞이다. 공기속도가 0

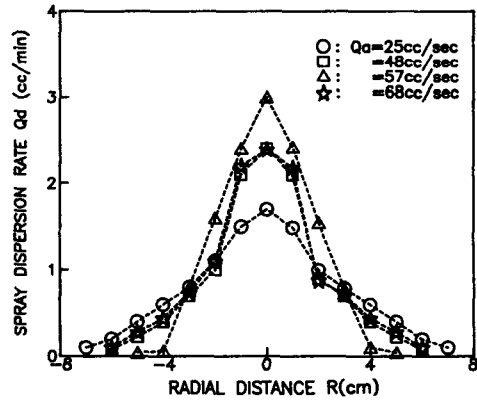


Fig. 15 Radial distribution of spray dispersion (D₁=8mm, D₂=0.7mm, L=3mm, NA=60deg, Q₁=0.83cc/sec)

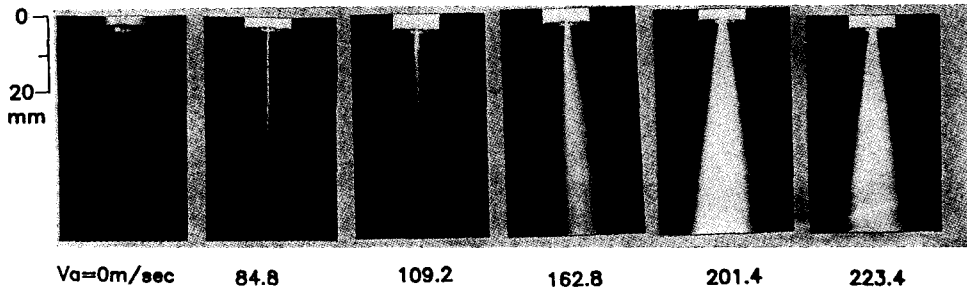


Fig. 16 Photographs spray variation with increasing in air velocity (D₁=8mm, D₂=0.7mm, NA=60deg, L=2mm, Q₁=1.62cc/sec)

m/sec일때는 길고 매끈한 液柱흐름을 볼 수 있으나 공기속도가 증가함에 따라 액주길이는 점점 짧아지고, 109.2m/sec에 이르면 비로서 液滴이 微細한 분무형태가 되며 작은 분무각을 형성한다. 공기속도 $V_a=201.4\text{m/sec}$ 일때 완전한 분무형태를 이루며, $V_a=201.4\text{m/sec}$ 이 후는 노즐軸 중심으로 흐르는 공기량이 많아 噴霧外廓의 미세한 液滴들이 공기의 흐름에 同乘하여 분무각은 작아지게 된다. $V_a=223.4\text{m/sec}$ 이후의 분무각 변화는 완만하게 줄어든다.

Fig. 17은 速度增加에 따른 유량변화의 噴霧角을 圖示한 것으로 $D_1=8\text{mm}$, $D_2=0.7\text{mm}$, $L=3\text{mm}$, $NA=90\text{deg}$ 노즐을 사용하였다. 액체의 유량에 관계없이 spray angle에 점차적으로 增加하다가 減少하는 경향을 나타내고 있다.

$V_a=180\text{m/sec}$ 까지 분무각이 증가하는 것은 微粒化 促進 과정으로 액적이 다소 크므로 액적의 운동량이 커서 공기의 흐름에서 벗어나기 때문에 분무각이 증가하고, $V_a=180\text{m/sec}$ 이후에 감소하는 것은 공기유속이 증가함에 따라 액적이 미세하여 공기의 흐름에 同乘해 버림으로 噴霧角이 점차적으로 줄어든다. 공기유속이 180m/sec이하에서 $Q_1=0.83\text{cc/sec}$ 인 경우가 $Q_1=1.90\text{cc/sec}$ 보다 일찍 미립화되기 때문에 분무각이 크게 나타나며, 180m/sec이상에서는 유량의 증가와 함께 平均粒徑이 증가하여 노즐출구로부터 半徑方向으로의 運動量이 커지기 때문에 액체유량 $Q_1=1.90\text{cc/sec}$ 인 경우가 분무각이 가장 크게 나타난다.

Fig. 18은 $D_2=0.7\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, $L=3\text{mm}$ 인 노즐에 $Q_1=1.28\text{cc/sec}$ 로 유지하여 空氣流量을 增加시켰을 때의 air orifice직경 6mm, 8mm의 분무각의 변화를 나타낸 그림이다. 空氣오리피스직경 8mm 노즐의 噴霧角이 전반적으로 작게 나타나고 있는데, 이는 혼합실면적이 클수록 氣液混合狀態가 充分히 이루어져 SMD가 작아지므로 8mm노즐이 6mm노즐보다 噴霧角도 작아진다.

Fig. 19는 混合길이 2mm, 4mm인 노즐을 使用하여 기액유량비의 증가에 따른 噴霧角을 比較한 것으로, 혼합길이(L)가 길수록 SMD가 작아므로 噴霧角이 全般的으로 작게 나타나고 있다.

4. 結 論

內部混合形 二流體噴射노즐의 形象(노즐直徑, 混

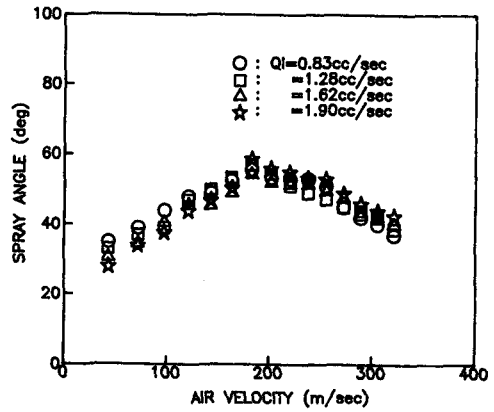


Fig. 17 Influence of liquid flow rate on spray angle ($D_1=8\text{mm}$, $D_2=0.7\text{mm}$, $L=3\text{mm}$, $NA=90\text{deg}$)

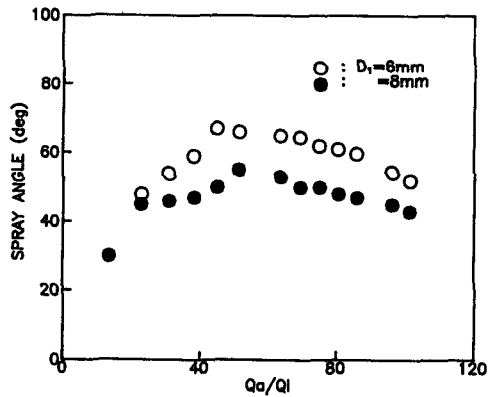


Fig. 18 Influence of air orifice diameter on spray angle ($D_2=0.7\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, $L=3\text{mm}$, $Q_1=1.28\text{cc/sec}$)

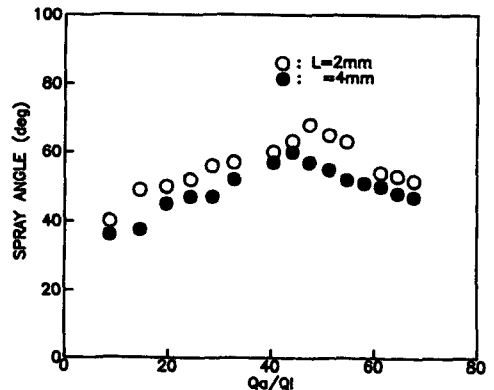


Fig. 19 Influence of mixing length on spray angle ($D_1=8\text{mm}$, $D_2=0.7\text{mm}$, $NA=60\text{deg}$, $Q_1=1.90\text{cc/sec}$)

합길이, 氣液接觸角, air orifice 직경)이 噴霧에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기액유량비를 변화시켜 가면서 平均粒徑, 粒度分布, 噴霧分散量, 噴霧角을 조사한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 氣液流量比(Q_a/Q_l)가 增加할수록 氣液混合位置가 노즐선단에서 점차적으로 混合室 上部로 이동하며, 平均粒徑은 指數函數의으로 減少하고, 噴霧角은 공기속도증가에 따라 증가하며 180m/sec에서 最大值를 이룬 後 平均粒徑의 減少와 더불어 減少하였다.

(2) 二流體噴射노즐의 噴霧特性은 노즐內部の 空間과 混合時間에 支配됨을 알 수 있으며, 노즐直徑과 混合거리의 比(D_2/L)가 작을수록 SMD는 작아지고 噴霧角은 커진다.

(3) 本 實驗에서 二流體噴射노즐의 平均粒徑은 氣液流量비에 가장 크게 支配를 받지만, 노즐直徑(D)과 混合길이(L)가 SMD에 미치는 影響도 無視할 수 없을 정도로 크다는 것이 確認되어 이를 考慮한 SMD의 實驗式은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{SMD} = & \frac{0.585}{\mu_R} \left(\frac{\sigma}{\rho_1} \right)^{0.5} \\ & + 28123.8 \left(\frac{D_2}{L} \right)^{-0.574} \left(\frac{\mu_1^2}{\sigma \cdot \rho_1} \right)^{0.225} \left(\frac{Q_1}{Q_a} \right)^A \\ (A = & 0.345LN(D_2/L) - 0.577) \end{aligned}$$

後 記

本 論文은 1989年度 文教部 韓國學術振興財團의 自由公募課題 學術研究造成費에 의하여 研究되었으 며, 이에 關係者 여러분께 感謝드립니다.

參考文獻

- (1) Rayleigh, L., 1926, "Theory of Sound," Macmillan, London, Vol 2, pp.343~375.
- (2) Weber, C., 1931, "Zum Zerfall Dimes Fussigkeits Strahles, Ztschr, F.angew.Math und Mech., Band1, Heft2, pp.136~154.
- (3) Phinney, R.E.J., 1973, "Stability of a Lamina Viscous Jet-the Influence of the Inital Disturbance level," A.I.Ch.E.j., Vol.18, pp.432.
- (4) Lee, Ch.W. and Kim, D.J., 1988, "Influence of CO-Axial Air Flow on the Breakup Length of Smooth Liquid Jet," KSME., Vol.12, No.6, pp. 1390~1398.
- (5) Nukiyama, S. and Tanasawa, y., 1939, "Experiments on the Atomization of Liquids in a Air stream," Trans. Soc.Mech.Engrs. Japan 5, pp.68~75.
- (6) Anson, D., 1953, "Influence of the Quality of Atomization on the Stability of Combustion of Liquid fuel Sprays," Vol.32, pp.39~51.
- (7) Lefebvre, A.A. and Miller, D., 1960, "The Development of an Air Blast Atomizer for GAS Turbine Application," Cranfield College of Aronautics Report, Aero No. 193.
- (8) Mullinger, P.J. and Chigier, N.a., 1974, "The Design and Performance of Internal Mixing Multijet Twin-Fluid Atomizers," J. Inst. Fuel, Vol.47, pp.251~261.
- (9) Fenn, R.W. and Middleman, S., 1969, "Newtonian Jet Stability : The Role of Air Resistance," AICHE, J, Vol.15, pp.379~383.
- (10) Yatsuyanagi, N., 1982, "An Experiemental Analytical Study on Spray Flow Field Forced by Coaxial Injector," 8th Japan Conference on liquid Atomization on and Spray Systems, pp.37~42.
- (11) Arai, M., Shimizu, M. and Hiroyasu, H., 1985, "Break up Length and Spray of High Speed Jet," The 3rd International Coference on Liquid Atomization and Spray System, IB/4/1-IB/4/10.
- (12) Lane, W.R., 1951, "A Study of Drops in Streams of Air," Ind. Engng. Chem, Vol.43, No.6, pp.1312~1316.
- (13) Kim, K.Y. and Marshall, W.R., 1971, "Drop Size Distributions from Pneumatic Atomizer," A.I.Ch.E J., 17 (3), pp.575~584.
- (14) Masters, K., 1976, "Spray Drying," John Wiley & Sone, Yew York pp.206~239.
- (15) OH, Jae-Geon., 1987, "Mechanism and Characteristics of Liquid Atomization by Air-Blast Injection," Master thesis, Kyung Book National University.
- (16) ILASS-KOREA, 1990, "Proceedings of the Korea Conference on Liquid Atomization and

Spray.”

(17) Arthur, H., Lefebvre., “Atomization and Spray,” Hemisphere Publishing co., New York.

(18) Clift, R., Grace, J.R.,M.E., “Bubbles, Drops and Particles,” Academic Press, New York.