

<論 文>

## 平滑流의 分裂길이에 미치는 同軸氣流의 영향

김 덕 줄\* · 이 충 원\*\*

(1988년 5월 30일 접수)

### The Influence of Co-Axial Air Flow on the Breakup Length of a Smooth Liquid Jet

Duck Jool Kim and Choong Won Lee

**Key Words :** Disintegration(分裂), Breakup Length(分裂길이), Co-Axial Air Flow(同軸氣流), Smooth Jet(平滑流), Breakup-Length Ratio(分裂길이比), Initial Disturbance(初期攪亂)

#### Abstract

The purpose of this study was experimentally to investigate the disintegration process and disintegration mechanism when co-axial air flows vertically for the longest smooth liquid jet. These were affected by liquid velocity, air velocity, air-to-liquid diameter ratio, nozzle shape, and air-liquid contacting position. That is, this process of disintegration of the liquid jet was similar to that occurred when liquid pressure was increased. At Reynolds number of 10,000 and below, the changes in the breakup length represent different tendency according to liquid flow rate. The influence of air flow on the disintegration of liquid jet was different according to air-to-liquid diameter ratio, air orifice diameter, nozzle shape and contacting position of liquid and air. In particular, when the tip of liquid nozzle was inside the air orifice, the effect of air flow was the larger than outside the air orifice. The effect of liquid mass flow rate on the change rate of the breakup length was also different.

#### 기 호 설 명

$a$ : 液柱半徑	$Re$ : 空氣 레이놀즈수
$d, d_i$ : 液體노즐內徑(mm)	$Re(l)$ : 액체 레이놀즈 수
$D, D_a$ : 空氣오리피스內徑(mm)	$U_a$ : 空氣速度(m/s)
$H$ : 氣液노즐 선단의 상대적거리(mm)	$Ul$ : 液流速(cm/s)
$k$ : 波數	$U_r$ : 상대속도(m/s)
$l$ : 分裂길이 ( $U_a \neq 0$ ) (mm)	$\beta$ : 교란의 성장속도
$l_0$ : 分裂길이 ( $U_a = 0$ ) (mm)	$\delta$ : 교란진폭
$l/l_0$ : 分裂길이比	$\delta_0$ : 초기 교란진폭
$Ma$ : 空氣量( $l/min$ )	$\lambda$ : 파장
$Ml$ : 液量(g/s)	$\mu_l$ : 액체점성
	$\xi$ : $ka$
	$\rho_g$ : 공기밀도
	$\rho_l$ : 액체밀도

\*정희원, 부산대학교 공과대학 기계설계학과

\*\*정희원, 경북대학교 공과대학 기계공학과

$\sigma$  : 표면장력

1. 序 論

氣流의 運動에너지를 利用하여 液體를 微粒化시키는 二流體 噴射 노즐은 액체가 비교적 쉽게 微粒化되기 때문에, 보일러, 각종 工業用 버너, 自動車用 氣化器, 噴霧乾燥 등에 널리 使用되고 있다.

氣流에 의한 液體의 微粒化機構의 解明을 위한 分裂길이에 關한 研究는 지금까지 많은 研究者들에 의하여 進行되고 있으나, 現象이 非定常의이고 關聯된 因子의 影響을 獨立의으로 定하기 어려울 뿐만 아니라, 計測上 많은 制限을 받고 있기 때문에, 現象觀察로부터 假定한 分裂모델은 비교적 단순하며, 단지 定性的인 解析에 그치고 있는 實情이다.

특히 靜止 大氣中에서의 液體의 微粒化機構와 分裂길이는 Rayleigh<sup>(1)</sup>의 理論을 출발로 하여 많은 實驗과 理論研究가 行해지고 있다.<sup>(2,3,4,5)</sup> 그 중에서 Weber<sup>(2)</sup>는, 液柱의 分裂은 노즐出口에서의 初期攪亂이 時間과 더불어 指數函數的으로 成長하면, 교란의 振幅  $\delta$ 가 液柱半徑  $a$ 와 같아질 때 分裂된다고 假定한 모델에서 分裂길이를 다음 식으로 나타낼 것을 주장하였다.

$$l = \frac{Ul}{\beta} * \ln(a/\delta_0) \tag{1}$$

여기에서  $l$ 은 分裂길이,  $\beta$ 는 攪亂의 成長速度 (growth rate),  $Ul$ 은 液流速이다. 液柱面의 힘의 平衡을 생각하고, 주위 空氣流를 포텐셜흐름 (potential flow)으로 假定한 理論解析에 의하면, 波數  $k(=2\pi/\lambda)$ (단,  $\lambda$ 는 波長)와 성장속도  $\beta$ 는 다음 식과 같다고 하였다.

$$\beta^2 + \frac{3\mu\xi^2}{\rho_1 a^2} \beta = \frac{\sigma}{2\rho_1 a^3} (1 - \xi^2) \xi^2 + \frac{U^2 \rho_g \xi^3 k_0(\xi)}{2a^2 l k_1(\xi)} \tag{2}$$

여기에서  $\xi = ka$ ,  $\rho_1$ 은 液體의 密度,  $\rho_g$ 는 空氣密度,  $\sigma$ 는 表面張力,  $\mu$ 는 液體의 粘性,  $k_0$ ,  $k_1$ 은 각각 0次, 1次의 第2種 變形 Bessel函數,  $U$ 는 相對速度이다.

따라서 Weber의 식으로부터 分裂길이는 式 (2)로부터 求해진 최대성장속도  $\beta_{max}$ 를 式 (1)에 대입하여 구할 수 있다. 노즐출구에서의 액주의 初期攪亂과 노즐直徑과의 比를 一定하게 하면, 分裂길이는 액유속에 비례함을 알 수 있다. 이것은 平滑流

域에 있어서는 實驗値와 비교적 잘 일치하지만 액 유속이 크게 증가되었을 때는 실험치와 일치하지 않는다고 지적하였다<sup>(2)</sup>.

Grant<sup>(6)</sup>는 分裂길이의 실험치를 사용하여 Weber의 式을 보정하고  $\ln(a/\delta_0)$ 을 안정성수 (stability number)  $Z(= \mu_l / (2\rho_l a \sigma)^{1/2})$ 와 관련시켜 分裂길이 곡선에 대한 예측을 시도하고, Levich<sup>(6)</sup>도 Weber와 같은 가정하에서 액주의 安定性에 미치는 공기저항의 영향에 관하여 이론해석을 하였다.

Fenn<sup>(7)</sup>은 대기압보다 낮은 주위 공기중에서 액주의 거동을 조사함으로써, 공기저항의 영향에 관한 연구를 하였고, 그 후 Phinney<sup>(8,9)</sup>은 Grant, Fenn 등의 실험치를 참고로, 노즐직경과 길이가 다른 여러 조건하에서 최대分裂길이를 초기교란의 변화로서 설명하였다.

또 Sterling과 Sleicher<sup>(3)</sup>는 액주에 대한 운동방정식, 연속방정식 및 경계조건에서  $\beta$ 에 대한 특성방정식을 다음과 같이 유도하였다. (단,  $\{F\}$ 는 Bessel 함수의 比이다.)

$$\beta^2 \{F_1\} + \beta \{iF_2 + F_3\} = F_4 + F_5 \tag{3}$$

여기서  $\beta$ 의 실수부는 교란의 성장속도를 나타내며  $F_5$ 항은 式 (2)의 우변의 두번째 항인 공기역학적 항이다.

式 (3)에서 허수부를 제거하면 式 (2)로 된다. 여기서  $F_5$ 항은 공기역학적인 항이므로 안정성수  $Z$ 를 고려함으로 Weber의 식을  $Z$ 의 넓은 범위에 걸쳐, 分裂길이의 이론치와 실험치가 일치하도록 변형시킬 수 있다. 이때 제트면의 전단응력을 무시하고 수직응력이 감소되도록 어떤 상수  $C$ 를 도입하면  $F_5$ 항은  $C F_5$ 로 변환된 式이 된다. 이 式과 式 (1)을, 관찰한 실험결과와 비교함으로써  $C$ 를 구할 수 있다. 그래서 속도가 2510cm/s까지의 범위에서 分裂길이의 실험치와 이론치가 일치될 때  $C$ 의 값이 0.175이었다. 따라서 보정계수(0.175)를 부가시켜서 액주내의 속도분포가 무시가능한 조건하에서 실험을 하여 이론보다는 액주의 안정에 미치는 공기저항의 영향이 꽤 작음을 지적하였다. 또한 Yatsuyanagi<sup>(10)</sup>는 氣液의 접촉계시 위치에 따른 분무류의 混合과정에 대하여 연구하였다.

최근에는 Arai<sup>(11)</sup>가 고속액류의 分裂길이와 분무각에 미치는 노즐공 길이의 영향을 연구하였다.

이와같이 액주의 주위에 공기를 흐르게 하면, 그 액주의 分裂길이는 액체유속, 공기유속, 노즐직경,

액체의 물성치 등에 따라서 변화한다. 특히, 액체 유속 및 공기유속이 비교적 낮고 액주가 축대칭 성장에 의해서 분열하는 범위에 한정해서 관찰해 볼 경우, 액주의 모양이 다르면 그 분열길이에 미치는 기류의 효과도 다르다.

이와같이 액주의 분열에 미치는 인자가 대단히 많기 때문에 기류의 영향을 조사할 때 관련된 인자를 독립적으로 정할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 액주가 가장 긴 평활류 조건하에서 여기에 동축수직하방으로 공기를 흘렸을 경우, 액주분열에 영향을 미친다고 생각되는 제 인자 즉, 액체유속, 공기유속, 액체노즐과 공기 오리피스 직경의 비, 노즐의 형상, 기액 접촉개시 위치 등을 변화시켜 분열과정 및 분열기구를 규명하고, 이류체 분사노즐의 설계기준을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

## 2. 實驗裝置 및 實驗方法

Fig. 1에 표시된 바와 같이 실험장치는 공기공급장치, 액체공급장치, 분사노즐 및 순간촬영장치로 구성되어 있다. 약 1 MPa까지 압축이 가능한 압축기 7에 의해 加壓된 液體는 압력용기 8을 거쳐 분사노즐밸브 3에 의하여 조절된 후 분사노즐 10에서 대기중에 분사된다.

한편, 미립화용 공기는 공기가압용 압축기 7에 의해 가압된 후, 서어징 탱크 13을 경유하여 부유

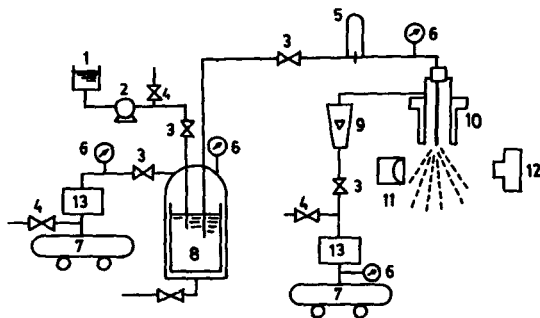


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

1. Water reservoir
2. Water pump
3. Needle valve
4. Bypass valve
5. Manometer
6. Pressure gauge
7. Compressor
8. Liquid gauge
9. Flow meter
10. Atomizer
11. Stroboscope
12. Camera
13. Surge-tank

Table 1 Experimental conditions

Liquid	Water
Air velocity(m/s)	0-40
Liquid flow rate(g/s)	0-1.0
Air nozzle dia(mm)	4, 6, 8, 10
Liquid nozzle dia(mm)	0.4, 0.7, 1.6
Air Reynolds No.	0-20,000

식 유량계 9를 거쳐 분사장치 10에 수직하방으로 분사된다. 이때 유량은 니들밸브 3과 바이패스밸브 4로 조절하였고, 유량계 9로 측정한다.

실험조건은 Table 1과 같으며, 실험방법은 액체 노즐과 공기가 분사되는 노즐의 각각의 크기와 형상의 변화는 물론 氣液接觸開始 位置도 변화시켜서 실험을 하였다.

각각의 조건하에서 액량을 증가시키면 액주의 길이는 점차 길어지는데 이 중에서 평활류의 길이가 최대가 되는 조건하에서 공기량을 수직 하방으로 차츰 증가시켜가면서 분열길이의 변화를 관찰하였다. 분열길이는 노즐 출구로부터 액적이 형성되는 위치까지의 액주의 연속된 길이로 정의하고, 측정 방법은 스트로보스코프 11을 사용하였으며 이와 同期된 카메라 12는 20mm의 접사리를 부착하여 조리개는 4, 노출시간은 1/30초로 하였으며, 광원은 노즐 후방 9.5cm, 카메라는 전방 8.5cm에 위치하였다.

분열길이는 보다 정도를 기하기 위하여, 공기량과 액량이 同一한 조건하에서 위와 같은 방법으로 5번 촬영하고, 촬영된 분열길이에 대한 필름을 8배 정도 확대하여 측정하여 그 평균값을 분열길이라고 하였다. 이때 정도는 0.1mm였다. 또 液量을 평활면이 가장 긴 조건을 전후로 하여 동일한 방법으로 같은 실험을 반복수행하였다. 액유속은 노즐출구에서의 평균유속으로 하였고, 액량은 메스실린더로 측정하였고 공기유속은 유량계로부터 얻은 유량을 출구 단면적으로 나눈 平均流速으로 하였다.

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3.1 분열과정

Fig. 2는 평활면이 가장 긴 액주를 대상으로 공기량을 차츰 증가시켰을 경우 액주의 분열현상을

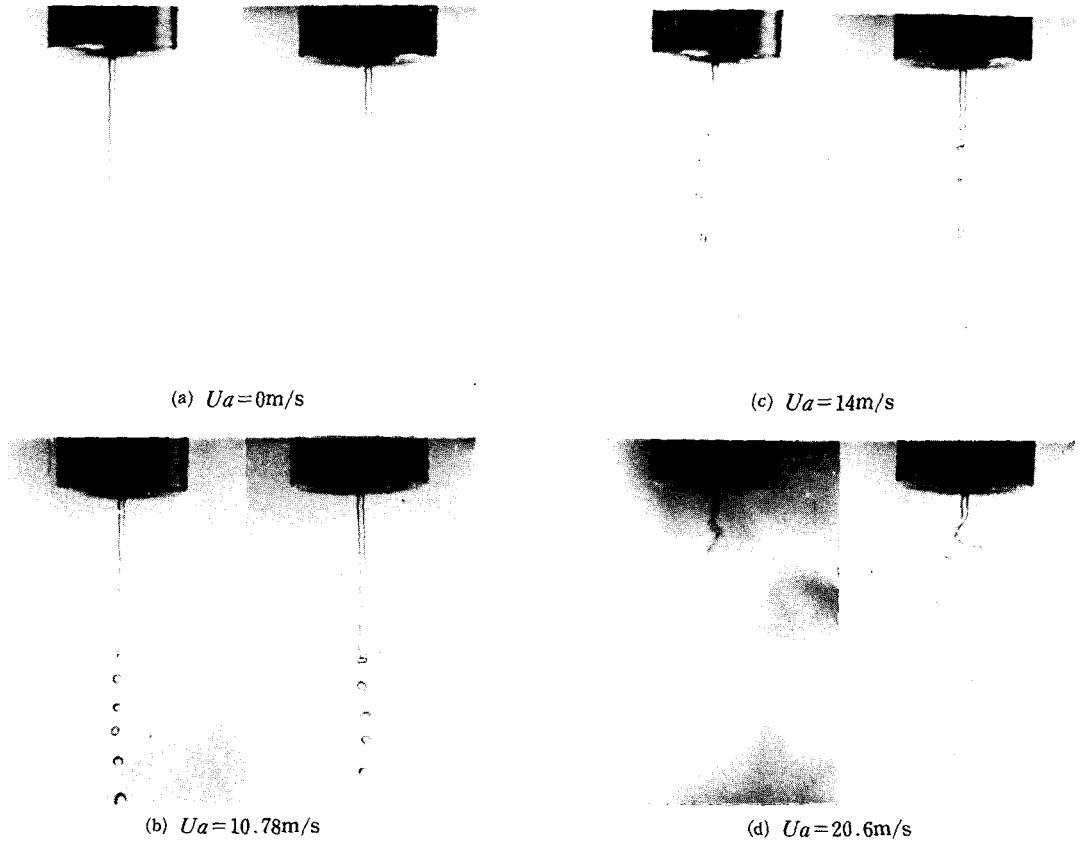


Fig. 2 Synchronized instantaneous photograph  
 ( $Ml=0.54g/s$ ,  $Ul=1.4m/s$ ,  $d=0.7mm$ ,  $D=8mm$ )

나타내며, 각각의 사진은 정면과 정면의 직각방향에서 동시 촬영한 것이다. (a)는 공기를 흘리지 않았을 경우로서, 액주의 표면이 매끄럽고 안정되어 있음을 관찰할 수 있다. 이것은 액주면에 작용하는 기류의 효과가 비교적 적기 때문이다. 또, 제트의 안정성은 노즐내의 흐름의 영향도 받는다고 생각하면, 평활면이 가장 긴 조건에서는, 다른 조건에 비하여 노즐내의 흐름이 비교적 안정되어 있으므로 초기교란이 상대적으로 작을 것이다. 그러나 충분히 액량을 증가시키게 되면 액체 자신의 관성력이 증가되어서 외력의 영향을 상대적으로 적게 받게 된다. 반대로 액량이 다소 적은 긴 평활류 조건에서는 액체 자신의 관성력이 약하기 때문에 외력의 영향을 쉽게 받게 된다.

여기에 차츰 공기량을 증가시키면 노즐내의 초기 교란, 표면장력, 그리고 주위 물질의 상호작용에 의하여 (b)와 같이 액주의 초기단계의 분열로서 액

주의 길이가 점차 짧아지면서 액적이 떨어져 나가는 소위 액적분열이 일어나고, 또한 노즐 내부에서 부터 생겨서 차츰 발달하였을 것으로 예측되는 初期攪亂으로 말미암아 액주에 미소 종진동파가 발생하기 시작하여 표면이 주름져 있는 현상을 볼 수 있다.

이러한 종진동파상류는 공기류의 속도가 점점 증가됨에 따라 종진동은 점점 발달하여 횡진동까지 수반하여 氣流에 의해 液柱自體가 (c)와 같이 길게 늘어나서 낚시바늘 모양으로 되면서 바늘모양 자체가 떨어져나가 하류에서 더욱 더 작은 액적으로 분열된다. 이때는 공기의 관성력이 우세하고, 주위물질과의 상호 작용이 더욱 더 격렬해서 분열되는 것으로 생각되어진다.

(d)의 사진은 공기량을 보다 증가시켜 상대속도를 크게 하면, 노즐선단에서 바로 강한 기류의 영향을 받아 끝부분이 대단히 가늘고 약한 실모양의 끈이

마치 바람에 날리고 있는 것과 유사한 형상을 나타낸다. 그 후 액적 전면이 평평하게 되고, 차츰 하류방향으로 부풀어 올라 액적은 기류의 영향으로 액막으로 변하고 아주 작은 액적으로 잘게 부서지는 것을 관찰할 수 있다. 이때 생성된 액적은 앞 단계에서보다는 훨씬 미세하였음을 알 수 있다. 대체적으로 액적의 크기는 (a)와 같은 초기단계에서는 액주의 직경과 비슷하다가 (b), (c) 단계에서는 점점 작아지면서 (d)의 경우에는 대단히 미세하게 된다. 또한 분열길이를 살펴보면, (a)와 같은 초기의 긴 평滑流에서 점점 공기량이 증가하면 종진동이 상류로 전파되면서 점점 짧아져서 (c)와 (d)에서와 같이 선단에서 바로 횡진동을 하면서 분열되어 버리는 것으로서 분열길이가 공기량에 의해 감소되고 있음을 알 수 있다.

이상과 같은 현상의 관찰을 통하여 평활면이 가장 긴 액주에 동축으로 흘렀을 때 공기유속의 증가에 따른 액주의 분열과정은 정지하고 있는 대기중으로, 노즐로부터 액체를 분사시켰을 때 액유속의 증가함에 따라서 평활류, 종진동과상류, 횡진동과상류, 분무류로 변화하는 것과 유사함을 알 수 있었다.

3.2 液體流速의 영향

Fig. 3은 평활류 범위내에서 액유속의 증가에 따른 분열길이의 변화를 Weber의 이론식(실선)과

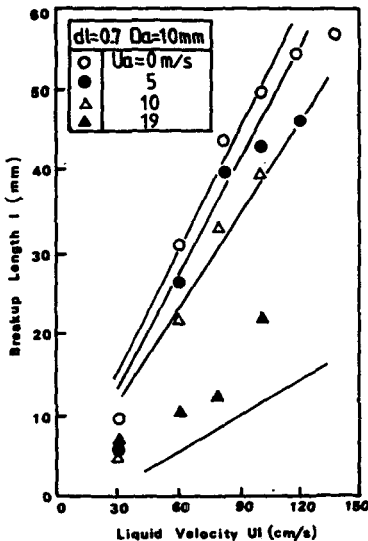


Fig. 3 Breakup length of water jet

비교하여 나타낸 것이다.

액체의 유속을 차츰 증가시켜 가면, 분열길이는 일반적으로 평활류에서는 액체유속에 비례하므로 거의 선형적으로 증가되어 감을 알 수 있다. 이때 선형적으로 증가하는 부분의 기울기는 앞의 식 (1)에서  $1/\beta * \ln(a/\delta_0)$ 에 상당한다. 여기에 공기를 흘러 기류의 영향을 주게 되면, 같은 유속에 대하여 분열길이는 차츰 감소되어져서 기류의 속도가 크게 되면, 더욱 짧아지면서 액주는 분열해버리게 된다. 이것은 액주의 초기교란이 작은 평활류 영역에서는, 기류는 초기교란을 증대시키는 작용을 하게 되어 분열길이를 점차 짧게 하므로, 주위 공기류의 영향을 크게 받고 있음을 예측할 수 있다.

즉, 실험범위에서는 노즐내의 흐름이 안정되어 있기 때문에 초기교란이 작으며, 또 액유속이 작은 경우는 더우기 식 (1)의  $\ln(a/\delta_0)$ 가 거의 일정하다. 이 경우의 분열은 초기교란의 성장의 영향보다 기류의 영향 때문에 일어난다고 생각되어진다.

따라서 식 (1)에서  $\beta$ 를 식 (2)에서 구한 최대성장속도로 하게 되면, 분열길이는 액유속에 비례해서 증가하게 된다. 그러나 실험결과에 Fig. 3에서 보는 바와 같이 동축기류의 영향을 받고 있지 않는  $U_a=0$ 인 경우는 상당한 액유속까지 식 (1)과 일치하고 있으나, 액주가 기류의 영향을 받게 되면, 선형성을 잃게 되어 실험결과는 식 (1)과 상당한 차이가 생기게 된다. 또  $U_a=0$ 인 경우, 이론결과와 비교하여 보면, 저유속에서는 실험의 결과와 차이가 생긴다. 이것은 Sato<sup>(12)</sup>의 실험에 의하면 액체의 레이놀즈수가 10,000이하에서  $\ln(a/\delta_0)$ 가 거의 일정하다고 하였다. 그러나, 실체는 제작된 노즐내에서 유동의 불안정의 증가로 말미암아 초기교란이 이론치보다 훨씬 컸을 것으로 사료되기 때문이다.

한편, 고속영역의 경우에 생기는 이론과의 차이는 교란의 성장속도가 실제로 증가하였기 때문으로 사료된다.

또한  $U_a \neq 0$ 인 경우는, 서론에서 언급된 바와 같이, Weber<sup>(2)</sup>의 실험에서 분열길이의 최대치를 예측하기가 불가능하였기 때문에 Sterling<sup>(3)</sup>의 실험은 공기역학적인 항에 보정계수를 부가시킴으로써 기류의 영향에 따른  $\beta$ 값을 보정시킴과 아울러  $\delta_0$ 값을 고려해야 된다고 사료된다.

Sterling<sup>(3)</sup>은 이러한 분열길이의 변화를 이론적으로 고찰한 결과, 공기저항의 영향이 예측한 것보다 꽤 작은 것은 기류에 의한 마찰저항이 액주를 다소

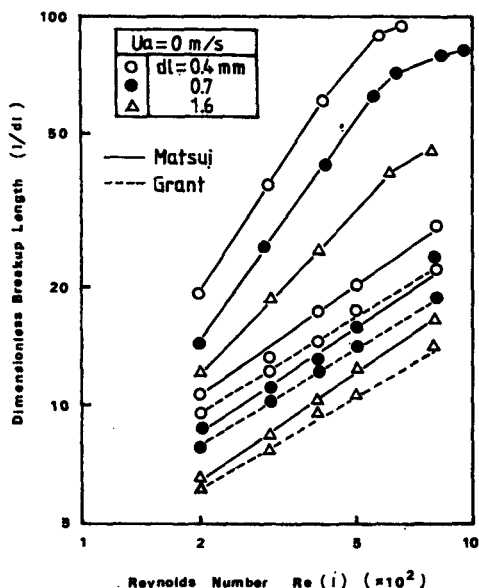


Fig. 4 Effect of  $dl$  on the dimensionless breakup length

안정화시키고 있음을 의미한다고 지적하였다.

Fig. 4는 주위공기가 정지하고 있을 때의 액주분열길이의 액주노즐직경에 따른 변화를 나타낸 것이다. 특히 아래의 6개 직선의 점선과 실선은 각각 Grant<sup>(5)</sup>와 Mastui<sup>(12)</sup> 등이 관성력이 우세한 분무류 영역에서 액체점성효과를 무시하였을 때 유도한 실험식을 나타낸 것이다.

본 연구와 크게 차이가 나는 것은 유동조건 및 노즐벽의 조도 등이 다르고, 평활류영역에서 액체의 점성이 액주분열에 지배적이기 때문으로 사료된다.

### 3.3 공기량의 영향

Fig. 5는 가장 긴 평활류 조건하에서 공기량의 변화에 대한 분열길이를 나타낸 것이다.

$l_0$ 는 기류의 영향을 전혀 받지 않았을 경우이며,  $l$ 은 기류의 영향을 받았을 경우의 분열길이를 나타낸다. 공기량이 증가함에 따라 분열길이는 역시 감소되고 있으나 공기오리피스 직경이 클수록 액주의 분열에 미치는 기류의 영향이 적다. 이것은 기체와 액체의 속도차가 액주의 분열길이의 감소에 크게 영향을 미치고 있기 때문이다. 또한 공기오리피스 직경이 8mm 이하가 되면 분열길이는 직경이 작아질수록 급격히 감소함을 알 수 있다. 이것은 같은

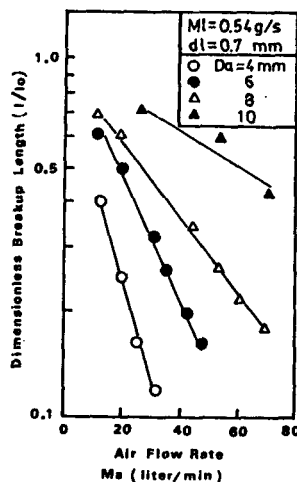


Fig. 5 Effect of  $D$  on the breakup length decrement

공기량에 대해서 공기의 유속이 액주의 분열에 크게 기여함과 동시에 공기량의 증가에 따라라도 분열길이가 좌우됨을 알 수 있다.

### 3.4 액량의 영향

Fig. 6은  $Da=8mm$ , 액량이 0.32g/s, 0.54g/s 그리고 0.94g/s로 변화시켰을 때의 기류의 영향을 나타낸 것이다.  $MI=0.32g/s$ 인 경우(가장 긴 평활류인 경우보다 적은 유량)와  $MI=0.54g/s$ 인 경우와 비교하여 볼 때, 레이놀즈수의 증가에 따라 빠르게 분열됨을 알 수 있다. 이것은 액체 자신의 관성력이  $MI=0.54g/s$ 일 때 보다 약하기 때문에 기류와

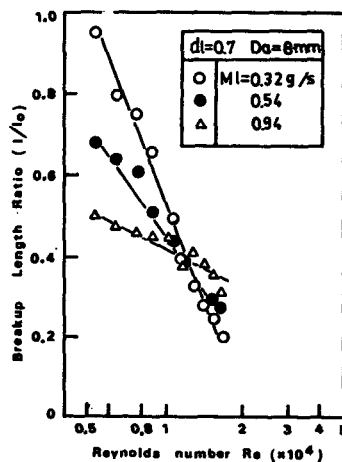


Fig. 6 Effect of  $MI$  on the breakup length decrement

의 상대속도가 증가되어 빠르게 분열되기 때문이다.

$Ml=0.94g/s$ 인 경우(가장 긴 평활류인 경우보다 많은 유량)는 낮은 레이놀즈수에 대하여 분열길이는 상대적으로 짧고 그 변화율은 상대적으로 작다. 이것은 노즐내부에서 이미 생성 발달하였을 것으로 보이는 초기교란이 상대적으로 액량이 적은 경우보다 크다고 생각되므로 공기류를 가해도 그것 이상의 큰 교란을 주는데 이르지 못하며 파상류의 영역에서는 분열길이의 변화에 대한 공기류의 영향은 다른 경우에 비해서 대단히 작다.

또  $Re=10,000$  근방에서 변화율을 나타내는 곡선이 교차함을 알 수 있다. 앞의 Fig. 2의 분열현상과 관련시켜 볼 때, 이것은 Fig. 2의 (b)(c)에 해당하는 것으로 대개 종진동, 횡진동, 파상류에 속하고 전 분열길이의 60% 이상이 감소해버리는 구역이며,  $Re>10,000$ 의 경우는 액량이 크게 관계없이 분열해버리는 Fig. 2의 (d)에 속하는 분무류에 해당한다. 이것은 주위공기류의 액주에 미치는 영향을 보면 초기교란이 작은 평활류인 경우 즉,  $Ml\leq 0.54g/s$ 의 유량 범위내에서는 공기류가 초기교란을 증대시키는 작용을 하여 분열길이에 미치는 공기류의 영향이 크고, 다소 처음부터 초기교란이 어느 정도 존재하고 있을 것으로 생각되는  $Ml=0.94g/s$ 의 경우는 그 영향이 적기 때문이다.

### 3.5 노즐형상의 영향

노즐형상이 분열길이의 변화에 미치는 기류의 영향을 조사하기 위하여 설계 제작한 노즐의 개략도를 Fig. 7에 표시한다. A형 노즐은 이때까지 사용한 B형 노즐과는 달리 공기오리피스 선단 외면을 45도의 각을 내어서 주위공기류의 유입을 쉽게 하도록 한 것이다. C형 노즐은 오리피스 선단 외면을 축방향과 직각으로 원판으로 둘러싸서 외부상류 주위 공기류의 유입을 차단할 목적으로 설계한 노즐이다.

Fig. 8은 노즐 형상에 따른 분열길이의 변화를 나타낸다. C의 경우는 A, B보다 분열길이의 변화율이 작다. A와 B의 경우, 분열길이의 변화에는 큰 차이가 없으나, B의 경우가 C의 경우보다는 변화율이 크다. 이것으로 액주의 분열에는 분출되는 기류의 영향만이 아니라 액체노즐 선단상류 공기유입의 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

공기오리피스 직경을 6, 8mm로 해서 미립화를

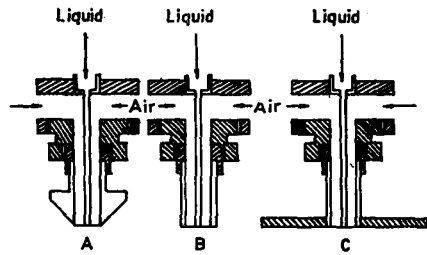


Fig. 7 The shapes of nozzle

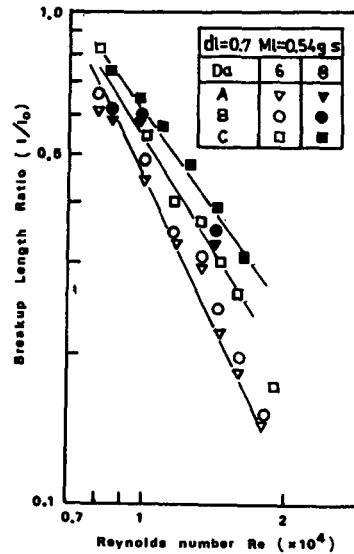


Fig. 8 Effect of shape of nozzle on the breakup length decrement

시켜 볼 때 여분의 공기가 액주의 분열에 미치는 효과를 조사하기 위하여 기류분사노즐 출구근방에 대한 흐름의 가시화를 담배연기를 트레사로 하여 예비실험을 통하여 관찰하였다. 그 결과  $D=8mm$ 의 경우가  $D=6mm$ 의 경우보다 다소 두꺼운 공기층이 형성됨을 확인할 수 있었다. 이것은 Fig. 5에서  $Da$ 가 클수록 속도에만 좌우되어 액주의 분열이 느리게 일어난다는 사실외에 두꺼운 층의 존재가 액주분열에 정체층의 역할을 하게 되어  $Da=8mm$ 의 경우가 분열길이의 변화율이 더욱 작아지는 것으로 사료된다.

### 3.6 기액접촉 개시위치의 영향

액체산소, 수소로켓트 분사장치에서는 기액의 혼합을 향상시키고 외란에 대한 안정성을 증가시킬 목적으로 기체오리피스 내부에서 분사되는 액체와

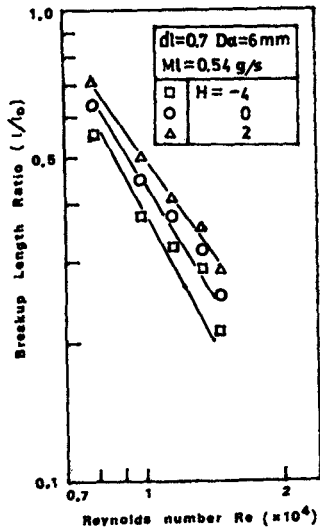


Fig. 9 Effect of  $H$  on the breakup length decrement

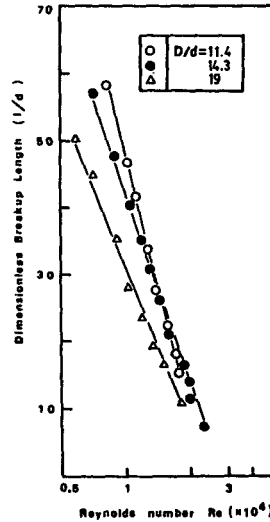


Fig. 10 Effect of  $D/d$  on the breakup length

의 접촉이 개시되는 소위 recess형이 사용되는 경우가 많다.

Fig. 9는 기액접촉 개시위치의 변화가 분열길이에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 기체오리피스를 상하로 조정함으로써 기액의 접촉개시 위치를 변화시켜 기액 접촉개시위치가 액체노즐선단과 공기오리피스선단이 일치할 때( $H=0$ )를 중심으로 하여, 액체선단이 공기오리피스 내부 및 외부에 위치하였을 때를 각각  $H<0$ (recess형),  $H>0$ (flush형)으로 하였으며 두 선단의 상대적 거리를  $H$ 로 하였다.

예비실험의 결과,  $H \geq 0$ 인 경우는  $H$ 의 변화에 따르는 분열길이의 변화율은 큰 차이를 보이지 않았으나 대체로  $H$ 값이 클수록 파상류까지의 범위에서는 분열길이에 대한 공기류의 영향이 적었다. 그러나  $H<0$ 일 때는 분열길이의 변화율이 크다. 이것은 확산되는 공기량이 적고, 교란의 성장속도를 변화시켜 주는 상대속도의 변화가 비교적 크기 때문에 액주의 분열이 촉진되기 때문으로 사료된다.

### 3.7 기액노즐의 크기비의 영향

$H=0$ 인 B형의 분사장치에 의해서 액주의 분열길이에 미치는 기액노즐 직경의 비에 따른 기류의 영향을 Fig. 10에 나타내었다.

$D/d$ 가 클수록 분열길이의 절대치는 작으나 기

류가 미치는 효과는  $D/d$ 가 작을수록 Fig. 5에서와 같이 기류의 속도가 커지고 Fig. 8에서 고찰한 바와 같이 여분의 공기량이 적어서 형성된 층이 얇아져서 액주의 분열에 기류의 영향이 크게 작용되므로 분열길이의 감소비율이 크게 된다고 사료된다.

## 4. 結 論

이류체분사노즐의 가장 긴 평활류를 대상으로 하여 분사되는 기류의 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 액주는 주위에서 동축으로 분사되는 기류의 공기역학적인 작용에 의하여 쉽게 분열이 일어나며, 분열과정은 압력식 분사장치와 유사하였다.

(2)  $Re < 10,000$ 인 경우는 액량에 따라 분열길이의 변화는 크지만,  $Re > 10,000$ 가 되면 그 차이는 그다지 크지 않다.

(3) 액주의 분열에 미치는 기류의 효과는 공기오리피스 직경의 크기와 외면의 형상에 따라 다르다. 또 기액접촉개시위치가 공기오리피스의 내부에 있을 때 기류의 효과가 크다.

## 참 고 문 헌

(1) Rayleigh Load, 1926, "Theory of Sound", Macmil-



- lan, London, Vol. 2, pp. 343~375.
- (2) Weber, C., 1931, "Zum Zerfall eines Flüssigkeitsstrahles", *Ztschr. f. angew. Math. und Mech.*, Band 11, Heft 2, pp. 136~154.
  - (3) Sterling, A.M. and Sleicher, C.A., 1975, "The Instability of Capillary jets", *J. Fluid Mech.*, Vol. 68, Part 3, pp. 477~495.
  - (4) Tanasawa, Y. and Toyoda, S., 1954, "A Study on the Atomization of High Speed Liquid Jets", *Trans. Japan Soc. Mech. Eng.* (in Japanese), Vol. 20, pp. 299~309.
  - (5) Grant, R.P. and Middleman, S., 1966, "Newtonian Jet Stability", *A.I. Ch. E. Journal*, Vol. 12, No. 4, pp. 669~678.
  - (6) Levich, V.G., 1962, "Physico-chemical Hydrodynamics", Prentice-Hall, p. 639.
  - (7) Fenn, R.W. and Middleman, S., 1969, "Newtonian Jet Stability: The Role of Air Resistance", *A.I.C.H. E.J.*, Vol. 15, pp. 379~383.
  - (8) Phinney, R.E., 1972, "Stability of a Laminar Viscous Jet-The Influence of the Initial Disturbance Level", *A.I.C.H.E.J.*, Vol. 18, p. 432.
  - (9) Phinney, R.E., 1973, "Stability of a Laminar Jet of Viscous Liquid Influence of Nozzle Shape", *A.I.C.H. E.J.*, Vol. 19, p. 655.
  - (10) Yatsuyanagi, N., 1980, "An Experimental-Analytical Study on Spray Flow Field Forced by Coaxial Injector", 8th Japan Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, pp. 37~42.
  - (11) Arai, M., Shimizu, M., and Hiroyasu, H., 1985, "Breakup Length and Spray Angle of High Speed Jet", International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, IB/4/1-IB/4/10.
  - (12) Matsui, H., Nagaos, S., Tokuoka, N., and Sato, T., 1979, "A Study of the Disintegration of a Liquid Jet in a Co-axial Air Flow", 7th Japan Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, pp. 19~24.