

<論 文>

분무 노즐에서 분사되는 액체막의 분산현상에
관한 실험적 연구

—주위 기체의 응축에 따른 효과—

이 상 용* · 김 인 구**

(1985년 3월 15일 접수)

An Experimental Study on the Disintegration of Liquid Sheet
Ejecting from Spray Nozzle

—Effect of the Condensable Environment—

Sang-Yong Lee, In-Goo Kim

Key Words: Spray(분무), Condensation(응축), Perforation Mode(천공현상에 따른 분산형태), Aerodynamic Wave Breakup Mode(공기역학적 파동에 따른 분산형태), Breakup Length(액체막의 길이)

Abstract

The effect of condensation of ambient gas(steam) on the breakup of liquid(water) sheet were studied through experiments. In case of condensation of ambient steam on the water sheets from spray nozzles, the perforation(formation of holes)breakup mode occurred dominantly except for laminar water sheets ejecting from fan spray nozzles. This implies that the perforation mode is more easily affected by the condensation of ambient steam than the aerodynamic wave mode is. The effect of flow conditions inside the nozzle is shown to be responsible for the initial local point disturbances which are the origins of the holes in the water sheets. Thus the perforation depends on the internal shape(or type) of nozzles as well as the flow motions of ambient steam by condensation effect. Generally the breakup length of water sheet decreases in case of condensation of ambient steam due to the perforation near the nozzle orifice, and for the low sheet velocity, the breakup length decreases as the sheet temperature decreases(subcooling temperature increases). However, at the high sheet velocity, the effect of subcooling temperature on the breakup length turned out to be insignificant due to the flow instability of water sheet itself.

기 호 설 명

C_v : 속도계수

d : 노즐오리피스의 수력직경(m)

L : 액체막의 길이(m)

Re : Reynolds 수 $\rho U d / \mu$

U : 액체막의 속도(m/sec)

* 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

** 한국과학기술원 기계공학과

We : 노즐오리피스 수력직경에 근거한 Weber 수
 $\rho U^2 d / \sigma$

μ : 액체의 점도(N·s/m²)

ρ : 액체의 밀도(Kg/m³)

σ : 표면장력(N/m)

1. 서 론

노즐에서 분사되는 액체막의 분산현상(breakup 또는 disintegration)이란 액체막이 어떤 요인에 의해 액적으로 부서지는 현상을 말한다. 액체막의 분산현상에 관한 연구는 산업적으로 이용되는 분무 시스템 설계에 필요한 액적의 크기 및 분무면적 등을 예측하는 것에 중구적인 목표를 두고 있으며 이들은 액체막의 길이에 의해서 결정된다.

액체막의 길이는 유동 안정영역에서 액체막 가장자리에서의 표면장력과 관성력과의 평형에 의해 결정되나, 실제 대부분의 사용 영역인 유동 불안정 영역에서는 주위의 교란에 의해서 액체막의 분산과 이에 따르는 액체막의 길이는 크게 두 가지의 분산기구—즉 천공현상에 따른 분산형태(perforation breakup mode)와 공기역학적 파동에 따른 분산 형태(aerodynamic wave breakup mode) (Fig. 1)에 의해 결정된다⁽¹⁾. 천공현상에 따른 분산 형태란 노즐 오리피스 내에서 발생하는 난류현상과 젖지 않는 작은 입자들에 의해서 작은 구멍들이 발생하거나⁽²⁾, 주위 압력이 낮을 경우 노즐 오리피스에서 발생하는 미세한 액적들의 충돌로 인하여 노즐에서 분사된 액체막에 작은 구멍들이 발생하고⁽³⁾, 이 작은 구멍들이 표면장력에 의해 커지면서 인접한 구멍들과 서로 합쳐지게 되어 일단 그물막의 형태를 이루었다가 다시 액적으로 부서지는 것을 말한다.

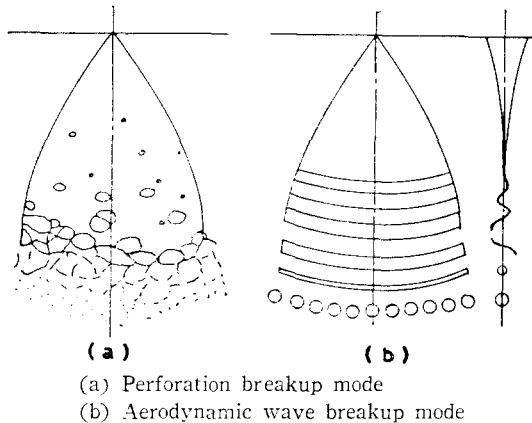


Fig. 1 Perforation breakup mode and aerodynamic wave breakup mode

다. 반면에 공기역학적 파동에 따른 분산형태란 액체막과 주위 기체와의 상호작용에 의해서 파(wave)가 발생하고 이에 의해서 액체막이 불안정해지면서 일단 액주(ligament 또는 liquid column)로 분리되었다가 다시 액적으로 분산되는 것을 말한다⁽³⁻¹⁰⁾.

분무 시스템은 열이나 물질전달을 효과적으로 증대시키기 위해 가장 많이 사용되고 있으므로 주위 기체의 열 및 물질전달이 있을 때의 액체막 분산현상에 대한 연구결과는 실제 분무 시스템 설계에 더욱 유용하게 사용될 수 있다. Lee와 Tankin⁽¹¹⁾의 실험결과에 의하면 poppet type 노즐과 full cone swirl spray 노즐에 의한 액체막의 경우 응축이 있을 때 액체막의 길이가 줄어 든다고 보고하고 있으나, 이 현상에 관한 기본적인 연구는 분산기구(breakup mechanism)를 포함하여 아직 제한된 범위에 머물러 있다.

본 연구에서는 액체막의 분산현상에 관한 기존의 연구결과들을 토대로 하여 주위 기체의 응축이 액체막의 분산현상—즉, 분산기구와 액체막의 길이(breakup length)에 미치는 영향을, 여러 형태의 노즐에서 분사되는 액체막의 유속과 온도를 변화시켜 가면서, 알아보고자 한다.

2. 실험장치 및 실험

2.1. 실험장치

본 연구를 위해 제작된 실험장치는 기본적으로 test section 인 한 변의 길이가 60 cm 크기의 정육면체 형태의 증기 챔버(steam chamber)와 수증기를 공급하기 위한 16 kw 용량의 증기발생기(steam generator)로 형성되어 있다(Fig. 2). 증기 챔버의 양측은 열에 견딜 수 있도록 열처리된 유리로 되어 있어서 분무의 형상을 직접 눈으로 관찰하고 아울러 사진실험을 포함한 광학적인 실험이 가능하도록 하였다. 분무 액체로는 상온의 물을 사용하였고, 본 실험에서 필요한 충분한 수압과 유량을 얻기 위하여 펌프(2 마력)를 설치하고 수조(water reservoir)에 연결하였다. 아울러 여러개의 노즐을 동시에 연결하여 실험할 수 있도록 하고 펌프 진동을 방지하기 위한 완충장치의 역할을 하도록 spray water distributor를 설치하였다. 분사되는 물은 밸브에 의해서 유량이 조절되며, 건열기(heater)에 의해서 적절한 온도로 조절되어 증기 챔버 천정부분에 설치된 노즐을 통하여 증기 챔버 내로 분사된다. 분사되는 물의 유량을 측정하기 위하여 로우더미터를 설치하였다. 증기 챔버 아랫부분(증기발생기와 연결된 부분)에는 스크린과 하니콤(honeycomb)을 설치하여, 증기 파이프

를 통해서 들어온 제트 형태의 수증기를 균일하고 아주 작은 속도로 만들어 가능한 한 정지된 상태에 가깝게 유지되도록 노력했고, 아울러 분무 액적들이 바닥에 부딪쳐 다시 튀어 오르는 것을 방지하도록 하였다. 수증기 실험중에 남는 양의 수증기는 응축수 분리장치(condensate separator)를 거쳐서 바깥(대기)으로 방출되며 이에 따라 증기 챔버 내부의 압력은 대기압 상태로 유지되었다. 그리고 응축수 분리장치에서 응축된 응축수는 오우버플로우(overflow)로 흘러 들어가게 하였다. 실험이 시작되면, 노즐에서 분사된 액체분무는 주위 수증기의 응축에 의해서 온도가 거의 포화온도에 달하게 되며, 그 액체가 증기발생기로 흘러 들어가게 되고, 또 응축수 분리장치에서 응축된 응축수가 오우버플로우로 흘러 들어오기 때문에 증기발생기에 필요한 급수량은 아주 작다. 이는 실제로 차가운 물을 끓이는 것보다 적은 열량이 소모되므로 증기발생기에서 발생하는 수증기의 양을 더 증가시킬 수가 있다. 아울러 증기 챔버의 창문부분과 윗부분(노즐을 고정시키는 판이 설치되어 있다)을 제외한 모든 부분에 단열재를 부착하였다. 노즐 내의 분사액체의 압력과 온도를 측정하기 위하여 압력계(Weksler, GR 5-16-3)와 열전대 온도계(YEW, type 2575-10)를 사용하였다. 증기 챔버 내의 액체분무의 현상을 관찰하기 위하여 사진 실험방법을 택하였다. 사진 실험을 위한 사진기는 Canon F-1 모델을 사용하였고, 특히 접사 및 근접 촬영이 가능하도록 접사링(extension ring)과 망원렌즈(Canon FD 200 mm, 1 : 2.8)를 준비하였다. 촬영을 위하여 가장 중요한 조명은 3 μ s 정도의 짧은 섬광을 얻을 수 있는 스트로보(General radio, stroboslave type1539-A with flash delay 1531-P 2)를 준비하였다.

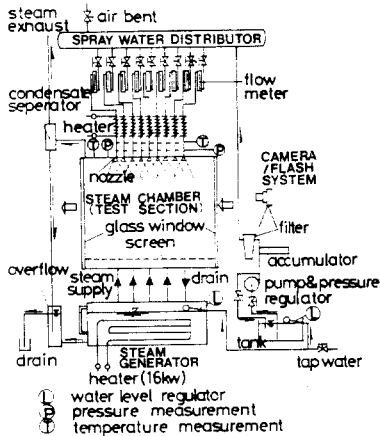
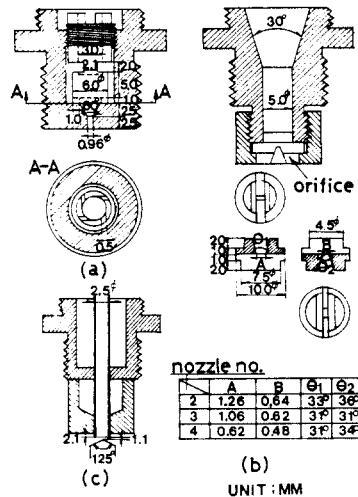


Fig. 2 Schematic diagram of experimental set-up

2.2. 노즐

본 연구에서는 기본적으로 세 가지 종류의 노즐—와류분무노즐(swirl spray nozzle), 扇形噴霧노즐(fan spray nozzle), 원추형 디플렉터(deflector)에 수반되는 無氣噴射노즐(solid-injection nozzle) 등을 제작하여 사용하였다(Fig. 3). 노즐의 재질은 녹슬지 않고 가공이 용이한 활동을 택하였다. Fig. 3(a)에는 와류분무노즐을 나타내었다. 노즐 내에서의 액체의 흐름은 와류가 되어 와류실(swirl chamber)로 들어가게 되며, 이러한 와류의 흐름으로 인해 노즐 내부에는 원주 형태의 공간인 공기코어(air core)가 형성된다⁽¹²⁾. 액체가 노즐을 벗어나면 접선 방향의 속도에 의한 원심력에 의해서 반경 방향으로 퍼져 일단 속이 비어있는 원추형의 액체막이 된다. Fig. 3(b)에는 扇形噴霧노즐을 나타내었다. 이러한 형태의 노즐에서는 노즐 내부의 축소되는 통로에서 유선 간의 충돌로 인해 가상의 압력중심이 생기고⁽⁸⁾ 액체가 노즐을 벗어나면 두께가 얇은 부채꼴 평면 형태의 평평한 액체막이 된다. Fig. 3(c)에는 無氣噴射노즐과 원추형의 디플렉터를 나타내었다. 노즐에서 나오는 원형 액체분류(circular liquid jet)는 아래 부분에 설치된 원추형 디플렉터의 각도와 거의 같은 각도를 갖는 원추형의 액체막으로 된다. 이 노즐들의 제원은 Table 1에 나타나있다.



(a) Swirl spray nozzle (b) Fan spray nozzle (c) Solid-injection nozzle with conical deflector

Fig. 3 Nozzles used in experiments

Table 1 Specifications of nozzles tested

Nozzle No.	Type	Specifications/Descriptions
1	Swirl spray (centrifugal) nozzle	Nozzle hole diameter : 0.96 mm Initial spray angle: 60°~65°
2	Fan spray nozzle	Nozzle hole size : 1.26 mm × 0.64 mm
3		Nozzle hole size : 1.06 mm × 0.62 mm
4		Nozzle hole size : 0.62 mm × 0.48 mm
5	Solid-injection nozzle with conical deflector	Nozzle hole diameter : 2.5 mm Angle of conical deflector: 125° Base size(diameter) of conical deflector: 5 mm

2.3. 실험방법

수증기내로 물을 분사할 경우 증기 챔버 내를 수증기로 완전히 채운 후, 원하는 조건 하에서 분사액체의 유량과 온도를 변화시켜 가면서 사진 촬영을 하였고, 공기중에서의 실험도 같은 방법으로 실시하였다. Table 2에는 실험조건을 표시하였다. 사진 촬영은 한 조건에서 5~8장씩 찍어서(대부분의 실험조건에서는 8장씩, 총 3,500여장을 촬영하였다) 이를 현상, 인화하여 액체막의 형상을 관찰하고 액체막의 길이를 측정하

Table 2 Experimental conditions

Nozzle No.	Water temp. (°C)	Water flow rate(ml/min)	
		Air environment	Steam environment
1	30~90	248~600	159~499
2	30~90	693~1058	
3	30	600~1000	693~1000
	70		600~1000
	90	600~893	
4	30~70	278~499	338~499
	90	338~499	279~499
5	30	955~2859	—
	40	—	693~1600
	50	955~2859	693~1785
	70	—	693~2450

였다. 사진 필름은 Kodak Plus-X Pan(ASA 125)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 검토

3.1. 기본적인 현상

본 실험결과에 대한 대표적인 액체막의 사진은 Fig. 4~6에 나타나 있다.

Fig. 4에서는 와류분무의 분산형상을 관찰할 수 있다. 공기중에서 물을 분사할 때, 유량이 적은 경우 액체막 표면에 많은 파형(ripple)들이 존재하나 비교적 안정된 형상을 보이며 액체막이 길게 나타난다. 그러나 유량이 많아지면, 액체막 표면에 나타나는 공기역학적인 파동에 의해 분산이 일어나며, 액체막의 길이가 짧아짐을 볼 수 있다. 또한 유량이 많아지면 구멍들도 간혹 관찰된다. 반면에 수증기 내로 물을 분사할 때는 액체막의 분산에 천공 현상에 따른 분산형태가 지배적인 분산기구로 작용하며, 액체막의 길이도 공기중에서 보다 상당히 짧아진다. 수증기의 응축이 수증기의 온도와 액체막 온도의 차(과냉온도, subcooling temperature)에 의해 지배되므로 액체막의 온도가 높아짐에 따라 응축의 효과가 감소하여 액체막이 길어진다. 그러나 유량이 많아지면, 즉 액체막의 유속이 증가하면, 액체막의 분산은 액체막의 온도에 거의 영향을 받지 않는다. 이와 같은 현상은 扇形噴霧노즐을 제외한 다른 노즐에서 분사되는 액체막에서도 유사하게 나타난다. Fig. 5에서는 扇形噴霧의 분산현상을 관찰할 수 있다. 공기중에 물을 분사할 때 유량이 많아짐에 따라 액체막은 공기역학적인 파동에 의해 불안정해져서 액체막의 길이가 짧아진다. 수증기 내로 물을 분사할 때에도 비록 액체막 가장자리에 국부적인 구멍들이 약간 발생하지만, 그 영향이 작아 액체막 분산에 지배적인 역할을 하지 못하며 공기중으로 분사할 때와 마찬가지로 공기역학적 파동에 따른 분산 형태가 지배적인 분산 기구로 작용한다.

앞서 설명했듯이 와류분무 노즐 내에서는 오리피스 중앙에 빈 공간인 공기코어가 생기는데 수증기 내의 실험에는 이 공기코어에 공기 대신 수증기로 가득차게 되며 이 수증기의 응축에 의해 공기코어가 파괴되면서 액체막은 급격히 불안정해질 수 있다. 또한 와류분무는 속이 빈 원추형의 형태이므로 액체막에 의해 둘러싸여진 내부의 압력이 수증기의 응축에 의해 낮아지게 되어⁽¹¹⁾ 액체막은 더욱 불안정해지게 된다. 원추형 디플렉터를 사용한 無氣噴射 노즐에서도 응축효과가 와류분무의 경우와 유사하게 나타난다(Fig. 6). 이 경우

에는 와류분류 노즐의 경우와 마찬가지로 속이 비어있는 원추형의 액체막이 형성되지만 공기코어의 파괴에 의한 불안정 요인은 나타나지 않는다. 그러나 노즐에서 나오는 원형 액체분류가 이미 심한 난류현상을 보이고 있으며 ($10,000 < Re < 30,000$) 더우기 디플렉터에 의해 교란이 증가하게 된다. 수증기 내에서는 응축에 의해 액체막이 더욱 불안정해지면서 액체막에 많은 구멍이 발생하여 성장하고 있다. 扇形噴霧의 경우 액체막의 유속은 다른 노즐에서 분사되는 액체막에 비해 크나 (대략 15~25 m/sec) 노즐 오리피스의 크기가 작으므로 (Table 1) 파형이 거의 없는 층류형태의 액체막을 얻을 수 있었고 또한 액체막이 평평하여 액체막 자체가 주위 기체 유동의 대칭면을 이루게 되어 양측의 효과가 서로 상쇄되므로 응축이 있을 때 액체막에 국부적인 교란이 생길 가능성이 다른 노즐에서 분사된 액체막에 비해 작을 것이다. 이러한 이유로 扇形噴霧가 수증기 내로 분사될 경우 대부분의 실험조건에서 액체막 가장자리에 국부적인 구멍들이 다소 발견되고는 있지만 대체로 분산현상은 공기역학적 파동에 따른 분산형태를 통해 일어나고 있다.

수증기 내로 액체막이 분사될 때에는 앞서 언급했듯이 액체막의 온도가 액체막 분산현상에 영향을 주고 있다. 유량이 적은 경우 액체막의 온도가 높아짐에 따라, 응축 효과의 감소로 인해, 액체막에는 상대적으로 적은 수의 구멍들이 발생하여 인접한 구멍들과 합쳐져서 분산이 일어나기까지는 약간의 시간이 필요하다. 따라서 분산이 일어나는 부분에서의 구멍의 크기는 크게 나타나며 액체막의 길이도 길어지게 된다. 액체막의 온도가 낮을수록, 즉 과냉온도가 커짐에 따라 액체막 표면에 많은 수의 구멍이 발생 성장하여 서로 빨리 합쳐지기 때문에 분산이 일찍 일어나며 액체막의 길이도 짧아진다. 그러나 유량이 증가하면 점차 액체막 온도의 영향이 감소하며 어느 정도 이상으로 유량이 증가하면 액체막의 온도는 분산현상에 무관해지게 된다. 이는 액체막의 유속이 빨라짐에 따라 액체막 자체의 유동에 의한 불안정이 증가하게 되며, 이러한 요인이 액체막 온도의 영향(결국은 주위 수증기의 응축의 영향)보다 더 중요한 역할을 하기 때문인 것으로 생각된다. 동일한 유속의 扇形噴霧인 경우 주위 수증기의 응축에 의한 액체막 길이의 변화는 거의 관찰되지 않았다. 이는 수증기의 밀도가 공기밀도 보다 작아서 수증기 내에서는 액체막 표면에 작용하는 공기역학적인 힘이 공기중에서 보다 감소하는 안정 요인과 응축에 의한 불안정 요인이 서로 상쇄되기 때문인 것으로 여겨진다.

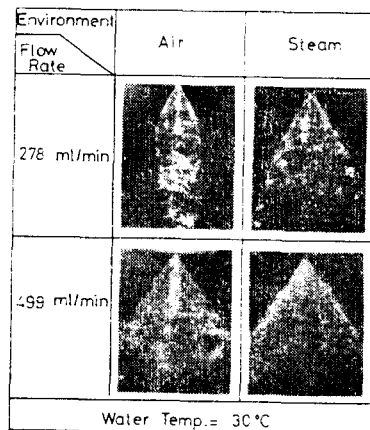


Fig. 4 Breakup of water sheet air/steam environment (nozzle #1)

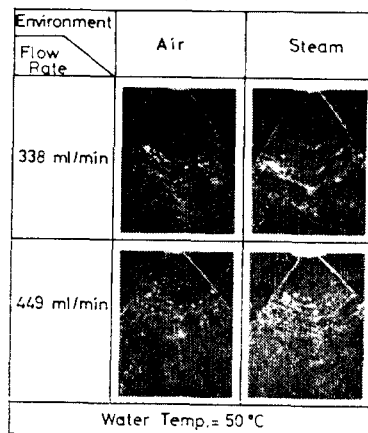


Fig. 5 Breakup of water sheet in air/steam environment (nozzle #4)

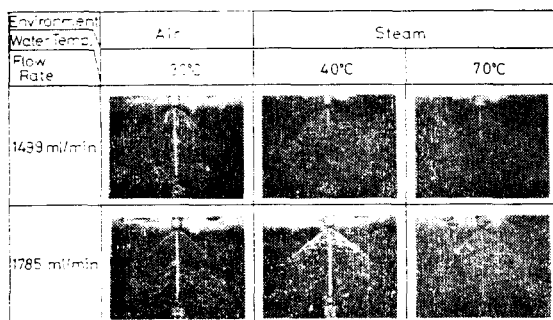


Fig. 6 Breakup of water sheet in air/steam environment (nozzle #5)

3.2. 액체막의 길이

주위 수증기 응축의 영향에 관한 기본적인 현상과 액체막의 길이의 변화를 정량적으로 검토하였다. 동일한 실험조건에서 얻어진 5~8장의 사진에서 각각 액체막의 길이를 측정하고 그 평균치를 그 조건에 대한 액체막의 길이로 취하였다. 각 노즐에서 나오는 액체막의 형태와 분산의 방법이 다르기 때문에 액체막의 길이를 결정하는 기준은 다음과 같이 설정하였다. 공기역학적 파동에 따른 분산형태가 분산현상에 지배적인 경우에는 액체막의 가장 짧은 가장자리(扇形噴霧의 경우 이 곳은 액체막이 분산되기 직전의 최대 직폭이 되는 지점과 거의 일치한다)를 취했으며, 친공현상에 따른 분산형태가 분산현상에 지배적인 경우에는 액체막 형태에 결정적인 영향을 주는 구멍의 위치까지를 액체막의 길이로 취했다. Lee와 Tankin의⁽¹¹⁾ 실험에서도 대체로 같은 기준을 택하였다. 액체막의 길이는 扇形噴霧의 경우 액체막 표면을 따라서 노즐로부터 분산이 일어나는 점까지의 길이로 하였으며 원추형 액체막의 경우는 대칭축을 따라서 노즐로부터 분산이 일어나는 점까지의 길이로 하였으므로 각 액체막의 길이에 대한 측정치가 그대로 직접 비교될 수는 없으나 각 노즐의 경우에 대해서, 액체막의 길이에 대한, 주위수증기의 응축의 영향은 알아볼 수 있었다.

Fig. 7~9에는 각 노즐에 대해서 분사액체의 유량과 온도를 변화시켜 가면서 측정한 액체막의 길이를 나타내고 있다. 이들 그림을 표시하는데 유량의 변화를 나타내는 변수로는 액체막의 안정성을 해석하는데 중요한 무차원 변수인 Weber 수를 택하였고 액체막의 길이는 노즐 오리피스 수력적경과의 비(L/d)로써 나타내었다.

Fig. 7에는 와류분무의 액체막의 길이를 나타내었다. 본 실험조건에서 공기중으로 물을 분사할 경우 Weber 수가 대략 600과 800 사이에서 액체막의 길이는 최대가 되며, 수증기중으로 물을 분사할 경우 공기중에서 보다 액체막의 길이가 현저하게 짧아지는 것을 볼 수 있다. 특히 유량이 적은 영역에서는 액체막의 온도가 액체막 길이에 커다란 영향을 주고 있으며 이러한 현상은 유량이 어느 정도 이상으로 증가하면 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다. Fig. 7에는 Weinberg의⁽¹²⁾ 실험결과가 함께 표시되어 있다. Weinberg는 가는 구리선을 사용하여 액체막에 접촉시킴으로써 액체막 표면의 변화(즉 positive wake의 발생) 여부로써 액체막의 길이를 결정한 데 반하여 본 실험에서는 사진 촬영을 통

해서 구멍에 의한 액체막 형태의 변화가 있을 때 노즐에서 액체막 구멍까지의 거리를 액체막의 길이로 결정하였으므로 Weinberg의 결과에 비해 짧게 나타난다. 특히 응축이 있는 경우 친공현상에 따른 분산 형태가 분산현상에 지배적인 기구임을 고려하면 Weinberg의 실험결과는 본 연구의 실험결과와 많은 차이가 나타날 수 있다는 사실을 추측할 수 있다. 그러나 불안정한 액체막을 형성하는 유량 영역에서는 액체막의 길이가 Weber 수에 따라서 감소하는 경향은 두 경우가 비슷하다는 것을 알 수 있다.

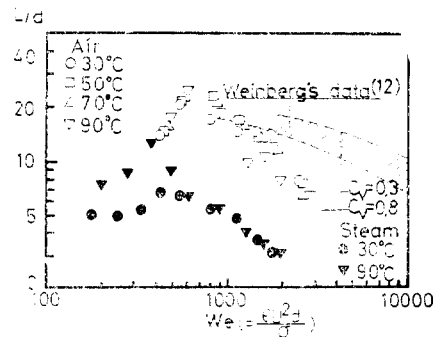


Fig. 7 Breakup length of water sheet (nozzle ≤ 1 , swirl spray nozzle)

Fig. 8에는 扇形噴霧의 액체막의 길이를 나타내고 있다. 서로 다른 크기의 새가지 오리피스에 대하여 실험한 결과에 따르면 액체막의 길이는 본 실험영역에서는 노즐 오리피스 크기에 관계없이 거의 같게 나타나고 있으며, 공기중에서나 수증기중에서나 액체막 길이의 변화는 별로 나타나지 않음을 알 수 있다. 공기중에서 측정한 액체막의 길이는 Fig. 8에서 점선으로 나타난 Dombrowski와 Hooper의⁽¹³⁾ 이론 및 실험결과와도 비교적 잘 일치하고 있다.

Fig. 9에는 원추형의 디플렉터를 사용하여 얻은 액체막의 길이를 나타내고 있으며, 앞서의 와류분무의 경우와 기본적으로 유사하게 분산됨을 알 수 있다. 즉 공기중에서 물을 분사할 때 Weber 수가 1,000을 전후로 하여 액체막의 길이가 최대가 되며 응축이 일어나면 액체막의 길이가 상당히 짧아진다. 아울러 파병온도가 줄어들면 발생하는 구멍의 양이 줄어서 액체막이 길어지는 효과를 보여준다. 참고로 액체막의 생성과정이 Huang⁽¹⁴⁾의 경우와 유사하므로 Huang의 결과를 본 실험의 좌표축에 맞도록 고쳐서 비교한 것을 Fig. 9에 함께 표시하였다. 이에 따르면 두 경우는 동일한 형태의 노즐이 아님에도 Huang의 실험결과와 본 실험의

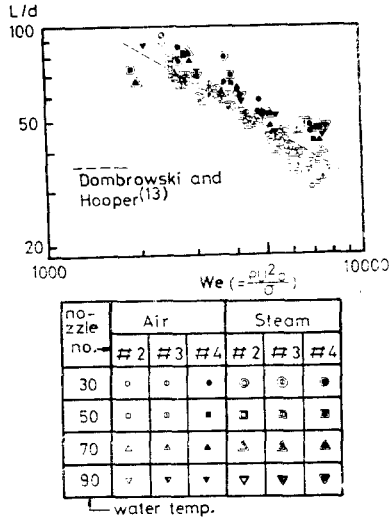


Fig. 8 Breakup length of water sheet (nozzle #2, #3, #4, fan spray nozzle)

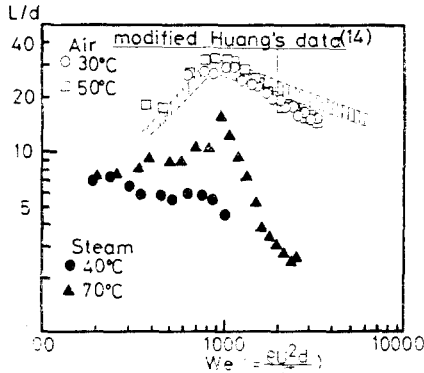


Fig. 9 Breakup length of water sheet (nozzle #5, solid-injection nozzle with conical deflector) 공기중에서의 측정결과는 어느 정도 잘 일치하고 있다.

4. 결 론

수증기 내에서의 액체막 분산을 고찰하기 위하여 세 가지 형태의 노즐을 제작하여 실험한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 액체막이 수증기 내로 분산될 때 扇形噴霧의 경우를 제외하고는 주위 수증기의 응축에 의해서 천공현상에 따른 분산형태가 분산현상에 지배적인 기구로 작용한다. 이는 주위 기체의 응축이 공기역학적인 파동에 미치는 영향 보다는 천공현상에 미치는 영향의 더 크다는 것을 보여준다.

(2) 수증기 내에서는, 종류 형태의 액체막인 扇形噴霧의 경우를 제외하고는, 천공현상에 따른 분산 형태

에 의해 액체막의 분산이 빨리 일어나고 따라서 액체막의 길이가 짧아진다. 또한 유량이 적은 영역에서는 액체막의 온도가 응축효과에 미치는 영향이 커서 액체막의 온도가 낮을수록, 즉 과냉온도가 클수록 분산은 빨리 일어난다. 그러나 어느 정도 이상으로 유량이 증가하면 이러한 액체막 온도의 영향은 별로 나타나지 않게 된다.

(3) 천공현상의 원인이 되는 점교란의 발생은 노즐 형태 및 노즐 내의 액체유동의 영향을 많이 받으며(예컨대, 와류분무 노즐 내에서 발생하는 공기코어 및 無氣噴射 노즐과 함께 사용되는 원추형 디플렉터 등에 의한 교란), 따라서 천공현상은 응축에 의한 주위 기체의 유동과 함께 노즐에 의한 초기 교란의 정도에 의해서도 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 1983~1984년도 한국과학재단 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- (1) 이상용, 김인구, "노즐에서 분사되는 분무 액체막의 분산현상에 관한 고찰", 대한기계학회 춘계 학술대회 초록집, 1984, 4
- (2) Dombrowski, N. nad Fraser, R.P., "A Photographic Investigation into the Disintegration of Liquid Sheets", Phil. Trans., A. Vol. 247, pp. 101, ~130, 1954
- (3) Fraser, R.P., Eisenklam, P., Dombrowski, N. and Hasson, D., "Drop Formation from Rapidly Moving Liquid Sheets", AIChE J., Vol. 8, No. 5, pp. 672~680, 1962
- (4) York, J.L., Stubbs, H.E. and Tek, M.R., "The Mechanism of Disintegration of Liquid Sheets", Trans. ASME. pp. 1279~1286, Oct., 1953
- (5) Squire, H.B., "Investigation of the Instability of a Moving Liquid Film", Brit. J. Applied Physics, Vol. 4, pp. 167~169, 1953
- (6) Hagerty, W.W. and Shea, J.F., "A Study of the Stability of Plane Fluid Sheets", J. of Applied Mech., pp. 509~514, 1955
- (7) Taylor, G.I., "The Dynamics of Thin Sheets of Fluid", Proc. Roy. Soc. London, Ser. A. Vol. 253, pp. 289~321, 1959
- (8) Dombrowki, N., Hasson, D. and Ward, D.E.,

- "Some Aspects of Liquid Flow Through Fan Spray Nozzles", Chem. Eng. Sci., Vol. 12, pp. 35~50, 1960
- (9) Dombrowski, N. and Johns, W.R., "The Aerodynamic Instability and Disintegration of Viscous Liquid Sheets", Chem. Eng. Sci., Vol. 18, pp. 203~214, 1963
- (10) Clark, C.J. and Dombrowski, N., "Aerodynamic Instability and Disintegration of Inviscid Liquid Sheets", Proc. Roy. Soc. London, Ser. A. 329, pp. 467~478, 1972
- (11) Lee, S.Y. and Tankin, R.S., "Study of Liquid Spray(Water) in a Condensable Environment (Steam)", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 27, No. 3, pp. 363~374, 1984.
- (12) Weinberg, S., "Heat Transfer to Low Pressure Sprays of Water in a Steam Atmosphere", Proc. Instn. Mech. Engrs., pp. 240~258, 1952
- (13) Dombrowski, N. and Hooper, P.C., "The Effect of Ambient Density on Drop Formation in Sprays", Chem. Eng. Sci., Vol. 17, pp. 291~305, 1962
- (14) Huang, J.C.P., "The Break-up of Axisymmetric Liquid Sheets", J. Fluid Mech., Vol. 43, part 2, pp. 305~319, 1970