

〈論 文〉

凝縮氣體내에서의 두液體噴霧간의流動干涉現象에 대한
實驗的 考察

李相龍* · 鄭泰植** · 韓起洙***

(1986年 1月 30日 接受)

An Experimental Study on the Behavior of Twin-Spray with Flow
Interaction in a Condensable Environment

Sang-Yong Lee, Tae-Sig Cheong and Ki-Soo Han

Key Words: Spray(분무), Flow Interaction(유동간섭), Condensation(응축), Drop Size Distribution(액적크기분포)

Abstract

The effects of flow interaction between adjacent sprays in twin-spray system on the spatial distribution of injected liquid (water) and drop size distribution in condensable (steam) environment were carefully observed through experiments. The spatial distribution of injected liquid in twin-spray system appears to be more uniform than the simple superposition of the spatial distributions of liquid obtained from each individual spray. Drop size distribution was obtained by using the immersion sampling technique. It was found that, in the twin-spray, the larger numbers of small drops are collected throughout the spraying region due to the increase of entrainment velocity of ambient steam compared with the case of simple superposition of each individual spray. Moreover, in the overlapped portion of the twin-spray, the drop size distribution was changed also due to the collision between large drops. As a result, the behavior of twin-spray system (and eventually multiple-spray system) can not be predicted precisely by simple superposition of the behaviors of each constituting spray. Hence, for the design of multiple spray system, the effect of flow interaction between sprays should be taken into account seriously.

—기호설명—
 D : 액적의 직경 (micron)

N : 액적의 개수

N_1 : 노즐 1

N_2 : 노즐 2

N_1N_2 : 동시분사

N_1+N_2 : 개별분사 결과의 단순증첩

S_1-S_{19} : 액적 채집 지점

* 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

** 대우전자(주)

*** 한국과학기술원 기계공학과

1. 서 론

액체분무란 노즐을 통하여 분사되는 액체가 액시트(liquid sheet) 또는 액주(liquid column)의 형태를 이루었다가 다시 액적(liquid droplets)으로 미립화(微粒化)한 것을 말하며, 이러한 미립화현상에 의해 분사되는 액체와 주위 기체 사이의 열 및 물질전달이 촉진된다.

이 액체분무가 정지 중인 기체에 분사되면 액적들이 축 방향 유동으로 인하여 기체가 같은 축 방향으로 함께 흘러가게 되며, 이를 보충하기 위하여 액체분무 주위의 기체가 반경 방향으로 유입(entrainment)된다. 이러한 유입 기체의 영향으로 액적들은 초기 분출 방향과는 달리 직진하지 않고 분무 양쪽으로 휘어 들어오는 현상을 보인다(Fig. 1). 따라서 초기 분사각에 의해서 결정되는 분무 면적에 비하여 실제 분무 면적은 줄어들게 된다⁽¹⁾. 특히 찬 액체분무를 수증기내에 분사하는 경우에는 주위 수증기의 응축에 의하여 유입현상이 더욱 커지게 된다.

좀 더 정확히는 여러 크기를 가진 액적들로 액체분무가 구성되어 있으므로, 주위 기체 유입의 영향을 받는 것은 대체로 작은 액적들이며, 비교적 큰 액적들은 주위 기체유입의 영향을 덜 받게 된다⁽²⁾.

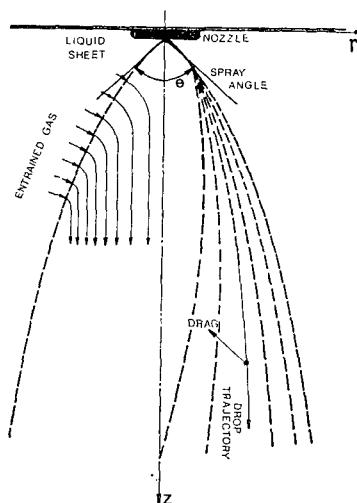


Fig. 1 Kinematics of flow

응용의 측면에서는 많은 경우 여러개의 노즐들을 열(列)로 설치해 놓고 동시에 분사하도록 하고 있다. 이와 유사한 경우로서, 두 개의 제트(jet)를 동시에 분사하는 단순한 twin-jet의 경우에 기체의 축 방향 최대 속도점은 서로 가까워지려는 경향을 보인다는 것이 알려져 있고⁽³⁾, 이는 제트간의 간섭에 의해서 주위 기체의 유입 현상이 변화함을 의미한다. 그러나 액적들이 섞여서 흐르는 액체분무들간의 유동간섭현상에 관한 연구 결과는 별반 알려져 있지 않다. 본 실험의 목적은 여러개의 액체분무를 동시에 분사할 때 인접한 분무간의 간섭에 의해서 액체분무가 어떻게 변화하는지를 살피기 위한 것으로, 특히 응용면에서 중요한 경우인 주위 기체의 응축현상이 수반되는 경우에 대해서 실험을 통하여 그 특성을 정성적인 측면에서 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험 장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 기본적으로 시험부(test section)의 역할을 하는 한 변의 길이가 60 cm 크기의 정육면체 형태의 증기 챔버(steam chamber)와 수증기를 공급하기 위한 16 kW 용량의 증기 발생기로 구성되어 있다(Fig. 2).

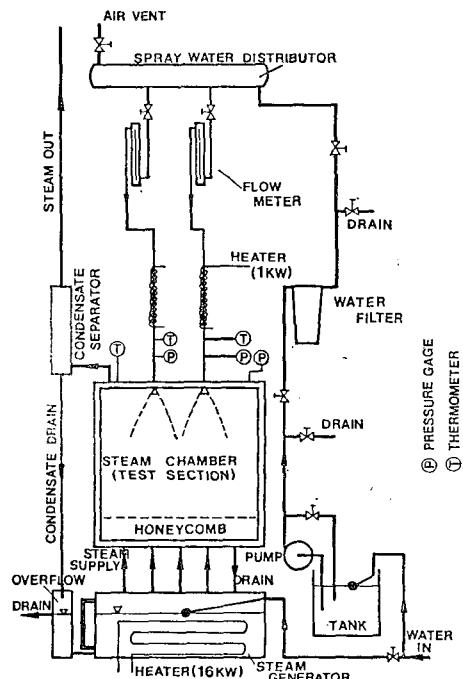


Fig. 2 Schematic diagram of test section

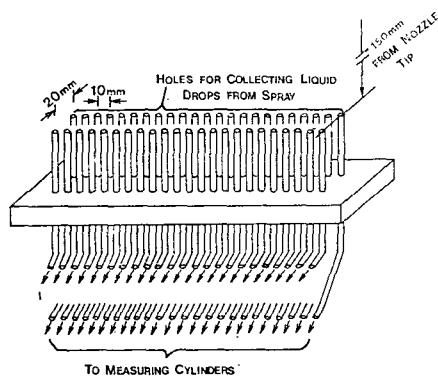


Fig. 3 Liquid collecting device for measuring spatial distribution of injected liquid

증기 챔버의 양측은 열에 견딜 수 있도록 열처리된 유리로 되어 있어서 분무의 형상을 직접 눈으로 관찰하고 아울러 사진 실험을 포함한 광학적인 실험이 가능하도록 하였다. 분사액체로는 상온의 물을 사용하였고, 본 실험에서 필요한 충분한 수압과 유량을 얻기 위하여 펌프(2 마력)를 설치하고, 이를 수조에 연결하였다. 아울러 여러개의 노즐을 동시에 연결하여 실험할 수 있도록 하고, 펌프에 의한 진동의 전달을 방지하기 위한 완충장치의 역할을 하도록 spray water distributor를 설치하였다. 분사되는 물은 뱀보에 의해서 유량이 조절되며, 가열장치(heater)에 의해서 적절한 온도로 조절되어 증기 챔버 천정 부분에 설치된 노즐들을 통하여 증기 챔버내로 분사된다. 분사되는 물의 유량을 측정하기 위하여 로우터 미터를 설치하였고, 노즐내의 분사액체의 압력과 온도를 측정하기 위하여 압력계(Weksler, GR 5-16-3)와 열전대 온도계(YEW, type 2575-10)를 사용하였다. 증기 챔버 내부의 압력을 대기압 상태로 유지하였다.

분사된 액체의 위치별 분무유량을 임의의 축 방향 거리에서 조사하기 위하여 Fig. 3에서와 같이 액적수집기구를 제작하였다. 이 기구는 내경 5.2 mm, 외경 6.3 mm의 스테인레스 스틸 파이프들이 각각 10 mm 간격으로 2列로 배치되어 있으며, 파이프 사이의 간격은 20 mm로 구성되어 있다. 이 기구를 통하여 임의의 축 방향 거리에서 수집된 액적들은, 이에 연결된 튜우브를 통하여 증기 챔버 외부에 설치된 메스실린더에 들어가며, 단위 시간당 수집량으로 위치별 분무유량을 측정하였다.

이 튜우브내에는 가는 구리선을 삽입하여 수집된 액체들의 흐름을 용이하게 하였다.

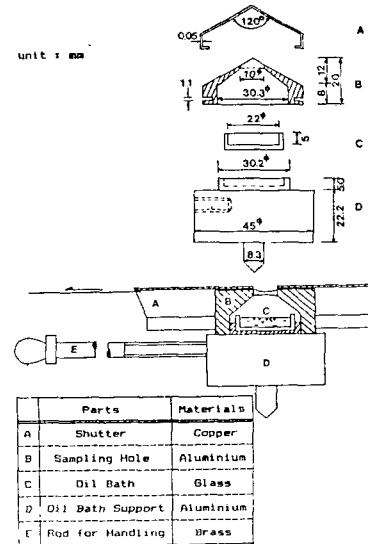


Fig. 4 Drop sampling device for measuring drop size distribution (immersion sampling technique)

분무내의 각 위치에 따른 액적크기분포(drop size distribution)의 변화를 측정하기 위한 방법으로 본 실험에서는 immersion sampling technique을 사용하였다. 이 방법은 immersion 액체(oil 종류)를 채운 oil bath로 물의 액적들을 채집한 후에 사진을 찍어 액적들을 크기별로 측정하는 것이다. 이 실험 방법은 액체 분무를 교란시킬 수 있고, 액적이 oil bath로 떨어질 때 액적간의 충돌 및 oil bath 내에서의 액적들간의 합착이 생길 수 있고, 측정시에도 오차가 발생할 수 있는 단점들이 있기는 하나, 측정이 비교적 간단하고 저렴하며 물이나 물에 용해되는 물질의 분무에 매우 효과적으로 쓰이고, 간단한 원리의 분무노즐이나 분무의 특성을 조사하는 데도 꽤 넓게 쓰인다. 대개의 경우 이 방법은 1-3000 micron의 액적을 채집하는 데 사용된다. Fig. 4에는 immersion sampling technique을 위한 oil bath 및 shutter를 보여주고 있다. oil bath의 채집구멍의 직경은 10 mm로서 약 0.1 초 정도의 shutter 노출을 통해 채집위치에 따라 보통 100 개~1500 개의 액적이 채집된다. 액적을 채집하는데 사용된 오일은 실리콘 오일(TSF 451-1000 cst 및 1 M cst)이다. 상온의 실리콘 오일이 담긴 oil bath를 액적채집 시 수증기 중에 노출시킬 때 실리콘 오일 표면에 수증기의 응축이 일어나게 된다. 이를 제거하기 위하여 실

험에 들어가기 전에 oil bath 내의 실리콘 오일의 온도를 100°C 정도로 미리 가열시킨 후 실험을 하였다.

Tate⁽⁴⁾와 Aihara 등⁽⁵⁾은 immersion 액체의 점성이 1000~3000 cst 정도이면 좋다고 추천하고 있으므로 실리콘 오일의 온도 상승으로 인한 점성의 감소를 보완하기 위해서 점성이 1000 cst인 실리콘 오일과 1 M cst인 실리콘 오일을 적절히 배합하여 100°C 에서 1000 cst 정도가 되도록 하였다.

액적들의 사진 활용은 사진기(Canon F-1 model)와 접사렌즈(Canon macrophoto lens 20 mm, f/3.5) 및 접사링(extension tube)을 이용하여 oil bath에 채집된 액적들을 근접 활용하였다. 활용된 필름(ASA 125, KODAK Plus-X)은 현상을 거친 후 최종적으로 액적의 크기를 실물크기의 19배로 확대하여 측정하였다.

2.2 노즐

본 실험에서 사용된 노즐은 와류 분무 노즐(swirl spray nozzle)이며 Fig. 5에 그 상세도가 나타나 있다. 이러한 형식의 노즐을 선택한 이유는 비교적 구조가 간단하고 제작이 용이하며, 실험에서 요구되는 속이 빈 원추형(hollow cone)의 형태로 분무되기 때문이다. Fig. 5에서 보듯이 이 노즐의 기본 요소는 와류槽

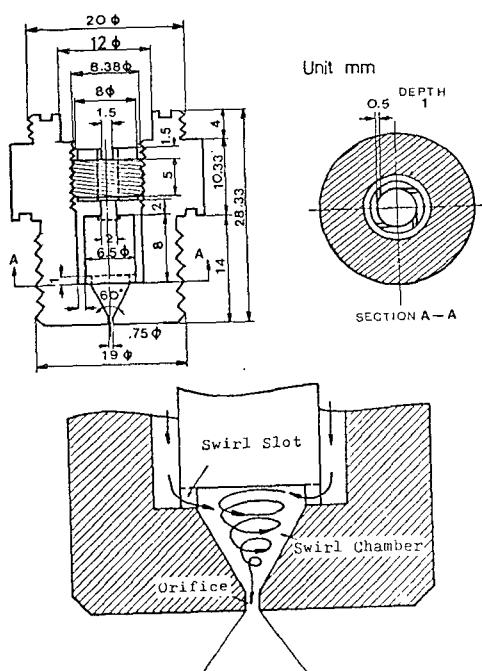


Fig. 5 Detail drawings of the nozzles used in experiments

(swirl slot), 와류실(swirl chamber) 그리고 오리파스로 되어 있는데, 물은 와류槽을 통해서 와류실로 접선 방향으로 들어가므로, 물은 와류형으로 흐르는 동시에 환형(annular shape) 상태로 흐르게 되어 중심 부분에 공기 코어(air core)가 생긴다. 이에 따라 물은 축 방향 속도와 접선 방향 속도를 가지고 오리파스를 통해서 노즐 밖으로 분사되는데, 이때 접선방향 속도에 의하여 속이 빈 원추형의 분무를 만들게 된다. 노즐을 기우는 몸체(body)에는 물의 분사압력과 온도를 측정하기 위하여 1/8"의 동관과 Copper-Constantan 열전대를 부착하였고, 노즐은 황동으로 제작하였다.

2.3 실험

본 실험에서는 열(列)분무의 가장 기본적인 경우로서 두 분무를 수증기 중에 동시분사할 때의 위치별 분무유량 및 액적크기분포를 측정하였다. 증기 챔버의 크기를 고려하고, 또한 서로 인접된 분무간에 충분한 간섭이 일어날 수 있도록 하기 위하여 두 노즐간의 거리는 50 mm로 하였고 축 방향 거리 150 mm 지점에서 분무단면을 따라서 액적을 수집하였다(Fig. 6). 본 실험에서는 액적 수집기구를 전후 방향으로 움직여 가면서 전후좌우 방향 모두 10 mm의 간격으로 액적들을 수집하였다.

액적크기분포를 구하기 위한 액적의 채집은 Fig. 7에 표시된 위치에서 측정하였는데, 이는 일단 액체분무내의 위치별 분무량을 측정한 후에 분무간의 간섭에 의해서 가장 변화가 크게 나타날 것으로 예상되는 지점들을 택한 것이다. 본 실험을 하기 전에 약 1시간 반 정도 증기 챔버에 계속 수증기를 공급하고, 또한 증기 배출구를 통하여 증기 챔버 바깥으로 계속 수증기를 배출하여 증기 챔버내의 공기를 가능한 한 제거하였다.

실험은 증기 발생기의 용량을 고려하여 액체 분사압

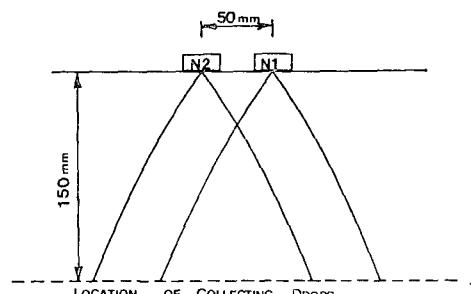


Fig. 6 Nozzle arrangements

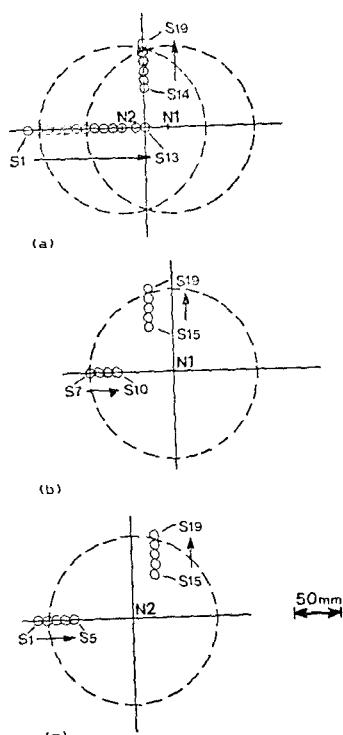


Fig. 7 Droplet sampling points

력은 276 KPa, 분사 액체온도는 30°C로 하였으며, 이 때 각각의 노즐에서 분사되는 유량은 212 ml/min 이었고 분무각은 대략 65도 정도였다.

3. 결과 및 고찰

액체 분무간의 간섭현상에 관한 실험을 하기전에 두 액체분무의 개별분사시의 특성을 살펴보기 위하여 노즐 #1, #2에 대해서 수증기 중에 물을 분사하였을 때 측 방향 거리 150 mm 지점에서 분무내 위치별 분무량(등유량선) 및 액적크기분포를 구해 보았다(Fig. 8). Fig. 8에 나타난 숫자들은 액적수집기구의 직경 5.2 mm의 과이프를 통하여 1분간 수집한 액체의 양을 ml 단위로 표시한 것이다. 이러한 개별분사를 토대로 두 분무간의 간섭현상에 대한 실험결과를 살펴보았다. 즉, 개별분사에 의해 얻은 결과를 단순히 충첩한 경우와 두 개의 노즐들을 실제로 배열하여 얻은 결과를 비교함으로써 분무간의 간섭현상을 관찰하였다.

3.1 분무내 위치별 분무유량의 변화

액체분무군의 공간적인 분무유량분포에 관한 연구는

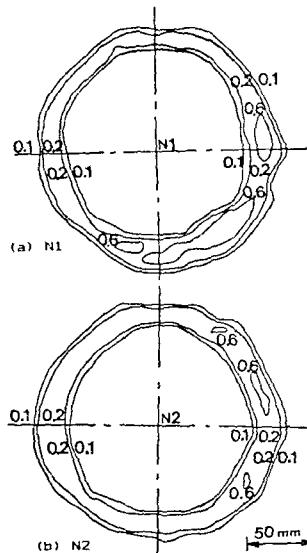


Fig. 8 Iso-flow-rate contour lines of each single spray, N1 and N2

원자로내의 노심 분무(core spray) 장치의 설계를 위해서 Sandoz 와 Sutherland⁽⁶⁾에 의해서 이루어진 결과가 있다. 이들에 따르면 수증기 중에 액체 분무군(群)이 분사되면 대부분의 열전달(또는 주위 수증기의 응축)은 노즐에서 가까운 거리에서 거의 끝나고, 인접한 액체분무와 간섭을 일으킬 만한 거리에서는 단순히 유동에 의한 간섭효과만 존재한다고 하였다. 따라서 공기 중에서의 액체분무간의 간섭결과는 수증기 중에서의 액체분무간의 간섭결과와 동일한 형태로 나타날 것임을 예측하고 있다. 이러한 결과에 의해서 이들은 단일 노즐을 사용하여 수증기 중에서 실험한 결과와 단일 및 다수의 노즐을 사용하여 공기 중에서 실험한 결과를 얻으면 수증기 중의 액체분무군의 거동을 예측할 수 있다고 하고 있다. 여기서 중요한 가정은 공기 중에서의 단일분무의 형태를 수증기 중에서의 단일분무 형태와 같도록 하기 위하여 노즐의 내부유도를 변경시킨 simulator 노즐을 만들어야 한다는 사실인데, 아직 까지 노즐의 형태와 액체분무 거동과의 관계를 연결시켜주는 기본적인 데이터가 상당히 부족할 뿐 아니라 주위 기체의 응축에 의하여 노즐에서 분사되는 액막의 분열(breakup) 및 액적의 형성과정이 다르기 때문에^(7,8) Sandoz 와 Sutherland 가 제시한 방법을 적용시키는 데는 많은 문제점이 있다. 따라서 본 실험에서는 수증기 중에 두 개의 액체분무를 동시에 분사하는 경우(Fig. 9(a))와, 개별 분사하여 얻은 유량을 충첩한 가상적인 경우(Fig. 9(b))를 비교하였다. 그 결과에

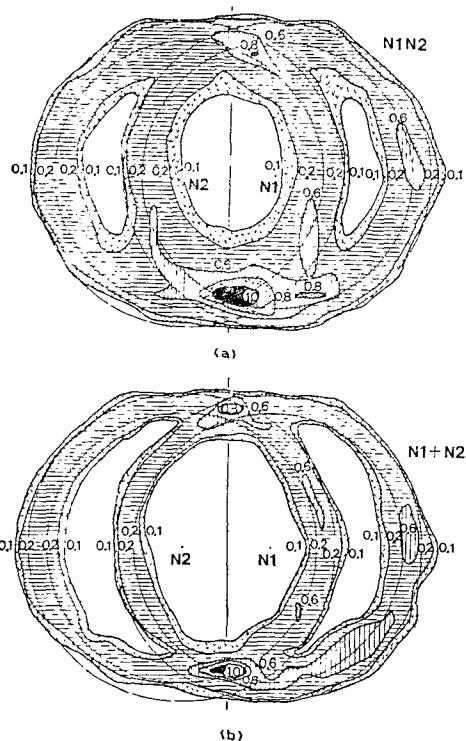


Fig. 9 Iso-flow-rate contour lines of twin-spray in steam environment

따르면 개별분사하여 단순히 중첩하였을 때 액적들이 존재하지 않을 것으로 예상되었던 부분이 실제 동시분사하는 경우에는 많이 축소되어 있다는 사실을 알 수 있다. 이는 동시분사시의 수증기의 유입속도가 전체적으로 개별분사시 보다 크기 때문에, 개별분사하여 중첩하였을 때 액적이 존재하지 않을 것으로 예상되었던 부분으로 이 증가된 속도를 가진 수증기가 유입되면서 비교적 작은 액적들이 분무 안쪽으로 함께 끌려 들어왔기 때문으로 여겨진다.

개별분사시에 비해 두 분무를 동시분사할 경우 주위 수증기의 유입속도가 증가하는 원인은 다음과 같이 설명된다. 즉, 두 액체분무를 동시분사할 때 두 분무의 전체 축 방향 운동량은 개별분사시의 각 분무의 축 방향 운동량의 합과 같고 이에 따른 주위 유입기체의 양도 노즐의 갯수와 거의 비례하여 증가하는데 반하여 두 액체분무를 동시분사할 때 두 분무의 일부분이 서로 중복됨으로 인하여 축면방향의 수증기 유입면적이나 노즐 갯수의 증가에 비례하여 증가하지는 않기 때문이다.

3.2 액적크기분포의 변화

두 액체분무를 동시에 분사시켜서 간섭이 일어나도록 할 때 분무내 위치에 따른 액적크기분포의 변화를 일으킬 수 있는 요인으로 주위 수증기의 유입으로 인한 액적들의 궤적변화와 액적들간의 충돌로 인한 액적크기분포의 변화를 생각할 수 있다.

즉, 액체분무가 정지된 주위 수증기에서 분사되면 분무액적과 수증기 사이에서 운동량 교환이 일어나며, 이 때 액체분무는 축 방향으로 drag pump와 같은 작용을 하여 주위 수증기를 반경 방향에 따라 분무지역 안으로 연속적으로 유입시킨다.

특히 액적에 수증기의 응축이 일어나면 유입현상은 더욱 증가한다. 이러한 수증기의 유입으로 인하여 분무 주변의 작은 부유액적들이 분무지역내로 유입되거나 혹은 분무지역내의 가장 자리에 존재하면 작은 액적들이 분무의 중심부분으로 유입되면서 궤적변화를 일으키며 부분적으로는 같은 분무지역내의 다른 액적들과 충돌하여 액적의 크기가 변할 수 있다. 또한 두 액체분무를 동시에 분사했을 때 분무간의 중복(overlap)으로 인하여 중복되는 부위의 액적들이 서로 충돌하여 액적의 크기가 변할 수 있다. Crosby⁽⁹⁾가 인용한 Adams의 실험 결과에서는 각각 59 micron의 SMD(Sauter Mean Diameter)를 갖는 두 개의 와류 분무노즐을 통하여 액체분무를 공기 중에 분사했을 때 각 분무가 겹치는 지점에서 개별분사시 보다 SMD의 값이 커졌다고 하고 있으며, 이러한 액적크기의 변화를 주는 요인을 Crosby는 분무가 겹치는 지역에서의 액적들간의 충돌에 의한 합착(coalescence) 현상 때문이라고 보고 있다. 충돌에 의한 액적들간의 합착 현상은 충돌하는 액적의 충돌방향과 상태속도, 액적의 상태크기와 관련이 있으며, 일반적으로 액적들간의 합착은 충돌하는 두 액적간의 직경의 차이가 커야 하고 충돌속도는 낮아야 그 가능성이 커진다고 알려져 있다. 그러나 SMD는 액체분무의 평균직경의 한 종류만을 의미하기 때문에 액적크기분포의 상황을 정확히 표현하고 있지 못하다. 따라서 본 실험에서는 분무지역내 위치에 따른 액적의 크기분포를 조사하여 분무간의 간섭현상을 고찰하였다. 본 실험을 통해서 예측된 액적들의 거동은 Fig. 10에 개략적으로 표시되어 있다. 그 내용에 관해서 S 1-S 6, S 7-S 13, S 14-S 19 등 세 부분으로 나누어 다음에 자세히 설명하였다.

(1) S 1-S 6 지역의 액적크기분포의 변화

이 지역은 두 분무가 겹치지 않기 때문에 두 분무의 교차에 의한 충돌이 없는 부분이며 (Fig. 10의 A부분)

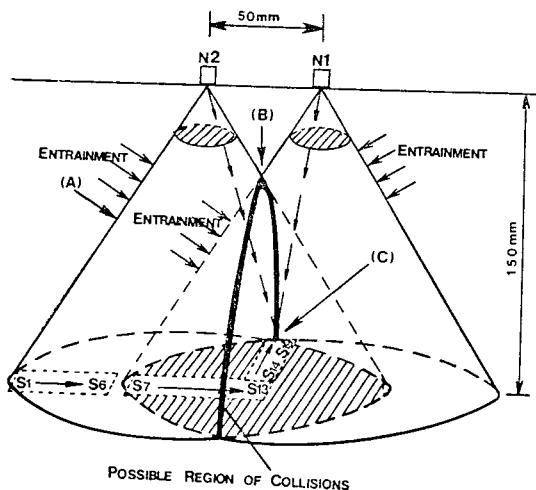


Fig. 10 Expected behavior of twin-spray

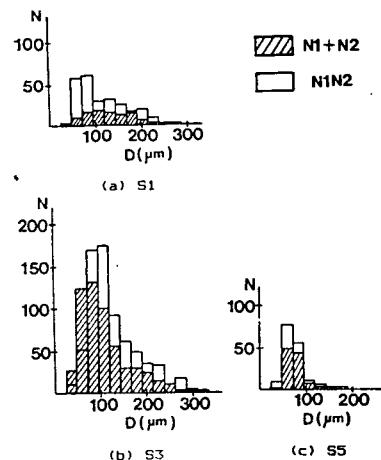


Fig. 11 Number distribution of drops at sampling points S1, S3, S5

단지 주위 수증기의 유입에 의해서 단개별분사 결과의 중첩시와 동시분사시의 액적크기 분포가 달라지게 된다. Fig. 11에는 대표적인 경우인 S1, S3 및 S5 지점에서 액적크기에 따른 액적수의 분포를 나타내고 있다.

여기서 살펴보면 개별분사 결과를 중첩할 때 보다 동시분사할 때 액적수에 대한 액적크기별 기여도가 위치에 따라 다르게 나타난다. 즉 S1 지점과 S5 지점에서는 개별분사 결과의 중첩시 보다 동시분사시의 경우가 작은 액적의 갯수가 증가했을 뿐 아니라 넓은 범위에 걸쳐 전체적으로 액적의 갯수가 증가한 반면에 S3 지점에서는 상대적으로 큰 액적들의 갯수가 증가했다.

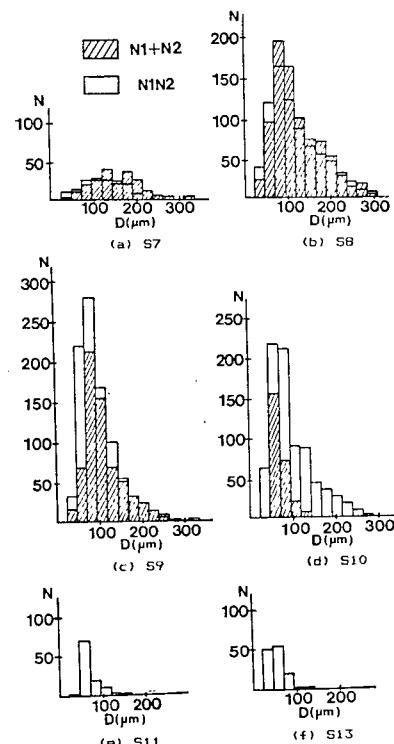


Fig. 12 Number distribution of drops at sampling points S7-S13

이러한 현상은 S3 지점에서 단위체적당 액적의 수가 많은 관계로 S1과 S5 지점에 비해 큰 액적들과 수증기의 유입에 따라서 움직이는 작은 액적들과의 충돌로 인한 합착의 가능성이 크기 때문에 여겨진다.

그러나 단위체적당 액적의 수가 작은 S1 및 S5 지점에서는 작은 액적수의 증가가 두드러지며, 이는 액적간의 충돌효과 보다는 단순히 주위 수증기의 유입효과에 의한 액적들의 궤적변화가 크다는 사실을 시사해 준다. 다시 말해서, 본 실험에서 채집하지는 않았으나, 분무주변(S1 지점보다 바깥부분)에서도 작은 부유액적들이 관찰되었으며, 이 작은 액적들이 주위 수증기 유입의 증가에 의하여 분무지역내로 유입되어 S1 지점에서 그 영향이 나타나고, S5 지점에서도 주위 수증기 유입의 증가로 S5 지점 바깥부분을 향하면 액적들이 궤적변화를 일으켜 S5 지점에 영향을 미친 것으로 설명된다. 여기서 특별히 표시하지는 않았지만, S6 지점에서는 개별분사 결과를 단순히 중첩하였을 때 액적이 채집되지 않았음에 비하여, 동시분사시에는 작은 액적들이 채집되었으며 이러한 사실에서도 수증기의 유입에 의한 작은 액적들의 궤적변화를 예측할 수 있다.

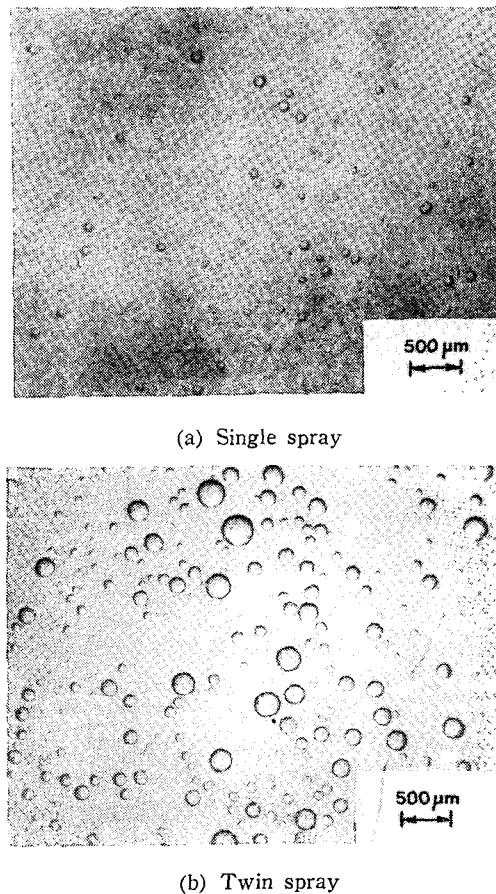


Fig. 13 Drops collected at sampling point S10

(2) S7-S13 지역의 액적크기분포의 변화

이 지역은 노즐 출구로부터 4~5cm 되는 부근(Fig. 10의 B 부분)에서 두 분무간의 교차에 의한 충돌 가능성을 고려해 보아야 하는 부분이다.

Fig. 12에는 S7-S13 지역에서의 액적크기에 따른 액적수의 분포를 나타내고 있다(S12 지점은 S11 및 S13 지점과 분포특성이 유사하여 특별히 표시하지 않았다). 대체적인 경향은 S7-S13 지역 전체를 통해서 동시분사시 채집되는 작은 액적의 수가 증가한다는 사실이며, 이는 주위 수증기의 유입증가로 인한 작은 액적들의 궤적 변화 현상이 전체 분무지역을 지배하고 있다는 것을 의미한다. 특히 S11과 S13 지점을 살펴보면 개별분사 결과의 중첩시에 액적들이 채집되지 않았으나 동시분사시에는 작은 액적들만이 채집되고 있다는 사실에서도 이를 확인할 수 있다. 여기서 유의할 사항은 S10 지점에서는 큰 액적의 수도 크게 증가한다는 사실인데 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 두 분무

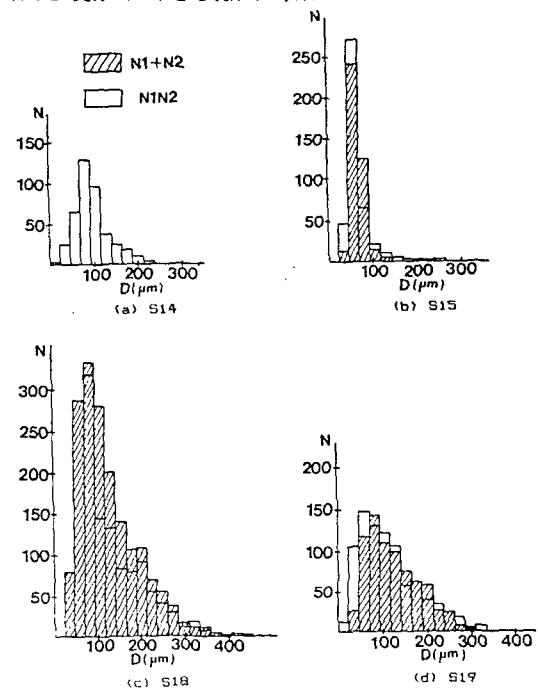


Fig. 14 Number distribution of drops at sampling points S14, S15, S18, S19

의 교차부분에서 액적들간의 충돌로 인해서 큰 액적들이 분무 안쪽으로 궤적의 변화를 일으켰기 때문에 여겨진다. Fig. 13는 S10 지점에서 개별분사시의 경우와 동시분사시의 경우에 채집된 액적들의 사진이며 이 사진에서 두 경우에 대한 액적크기의 차이를 쉽게 알아볼 수 있다.

(3) S14-S19 지역의 액적크기분포의 변화

이 지역은 액적들이 채집되는 부근에서 두 분무간의 교차에 의한 충돌이 일어날 수 있는 부분이다(Fig. 10를 C 부분). 따라서 이 부분에서도 분무간의 충돌효과는 고려되어야 한다. Fig. 14에는 S14, S15, S18 및 S19 지점에서의 액적 크기에 따른 액적수의 분포를 표시하였다(S16 및 S17 지점은 각각 S15 및 S18 지점과 분포특성들이 유사하여 여기서는 특별히 표시하지 않았다).

여기서 살펴보면 개별분사 결과를 중첩한 경우에 비해 동시분사의 경우 S14-S19 지역 전체에 걸쳐서 작은 액적들의 갯수는 대체로 더 많이 채집되어 있기 때문에 여기서도 주위 수증기의 유입에 의한 작은 액적들의 궤적변화를 쉽게 예측 할 수 있다. 단지 S18 지점에서는 큰 액적수가 감소하고 있는데 이는 다른 부분에 비해 이 지점 부근에서 단위 체적당 액적의 수가

많기 때문에 두 분무사이에 S 18 지점 부근에서의 큰 액적들간의 충돌에 의해서 큰 액적들이 작은 액적들로 깨진 상태에서 채집되거나 S 18 지점을 향하면 큰 액적들이 S 18 지점 부근에서 액적들간의 충돌로 인한 반동(bounce)에 의해서 궤적 변화를 일으켜서 인접한 다른지점으로 옮겨갔기 때문에으로 여겨진다. 큰 액적들간의 충돌로 인한 궤적변화의 또 다른 가능성에 대해서는, 개별분사의 경우 액적이 채집되지 않던 S 14 지점에서 동시분사의 경우 액적들이 많이 채집되었을 뿐만 아니라, 특히 큰 액적들도 채집되었다는 사실에서 확인할 수 있으며, 이 S 14 지점에서의 액체분무의 거동은 앞서의 S 10 지점에서의 경우와 유사하다.

4. 결 론

본 연구에서는 두 개의 액체분무를 동시분사하였을 때 액체분무간의 간섭현상에 대해서 실험을 통하여 정성적인 측면을 고찰하였으며, 그 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 두 분무를 동시분사할 경우 주위 수증기의 반경 방향 유입속도가 증가하였다.

이는 동시분사시 분무액적과 이에 관련된 기체의 전체 측 방향 운동량은 개별분사시의 각 분무의 측 방향 운동량의 합과 같고 이에 따른 주위 유입기체의 양도 노즐의 갯수와 거의 비례하여 증가하는데 반하여 두 액체분무의 동시분사시 두 분무의 일부분이 중복됨으로 인하여 측면 방향의 수증기 유입면적이 노즐의 갯수에 비례하여 증가하지는 않기 때문이다.

(2) 주위 수증기 유입속도의 증가에 의해서 동시분사시 분무내 위치별 분무유량의 분포는 개별분사 결과의 중첩시에 비하여 공간적으로 균일해지려는 경향을 나타내며, 전체적으로 작은 액적들이 분무 안쪽으로 더 많이 유입된다.

(3) 두 액체분무가 중복되는 부분에서는 액적들간의 충돌로 인한 큰 액적들의 궤적 변화 및 분열(breakup)이 관찰되었다.

따라서 위의 사실들로 미루어 보아 액체분무군의 현상을 예측할 때 개별분사 결과를 단순히 공간적으로 중첩하는 것은 상당한 오차를 내포할 수 있음을 보여주고 있고 이에 관하여 좀 더 정량적인 연구가 필요함

을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Rothe, P.H. and Block, J.A., "Aerodynamic Behavior of Liquid Sprays", Int. J. Multiphase Flow, Vol. 3, pp. 263~272, 1977
- (2) Lee, S.Y. and Tankin, R.S., "Study of Liquid Spray (Water) in a Non-Condensable Environment (Air)", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 27, No. 3, pp. 351~361, 1984
- (3) Okamoto, T., Yagita, M., Watanabe, A. and Kawamura, K., "Interaction of Twin Turbulent Circular Jet", Bull. JSME, Vol. 28, No. 238, pp. 617~622, 1985
- (4) Tate, R.W., "Immersion Sampling of Spray Droplets", AIChE J. Vol. 7, No. 4, pp. 574~577, 1961
- (5) Aihara, T., Hongoh, M. and Fujinawa, K., "Instrumentation and Error Sources for the Measurement of the Local Drop Size Distribution by an Immersion Sampling", Proceedings of ICLASS-85, pp. VC/5/1~VC/5/11, 1985
- (6) Sandoz, S.A. and Sutherland, W.A., "Core Spray Performance", Experimental and Analytical Model of LWR Safety Experiments, presented at the 19th National Heat Transfer Conference, Orlando, Florida, 1980
- (7) 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
- (8) 이상용, 김인구, "분무노즐에서 분사되는 액체막의 분산현상에 관한 실험적 연구—주위기체의 응축에 따른 효과—", 대한기계학회논문집, 제 9권 제 3호, pp. 387~394, 1985
- (9) Crosby, E.J., "Atomization Considerations in Spray Processing", Proceedings of ICLAS-78, pp. 435~448, 1978