

## 횡단유동으로 분사하는 이유체노즐의 기체-액체비에 따른 분무특성

조우진\* · 이인철\* · 이봉수\* · 이효원\*\* · 구자예\*\*\*

## Characteristics of Air-assist Spray Injected into Cross-flow with Various Gas-liquid Ratio

Woo-jin Cho\* · In-chul Lee\* · Bong-su Lee\* · Hyo-Won Lee\*\* · Ja-Ye Koo\*\*\*

### ABSTRACT

The characteristic of air-assist spray injected into subsonic crossflow were studied experimentally. External-mixing air assist injector of Orifice nozzle with L/d of 3 were tested with various air-liquid ratio. Shadowgraph photography was performed for spray visualization and trajectory of spray measurements. The detailed spray structure was characterized in terms of SMD, velocity, and volume flux, using PDPA. Experimental results indicate that penetration length was increased and spray distribution was accelerated by increasing air-liquid ratio.

### 초 록

아음속 유동 내에 수직으로 분사된 액체제트의 액적분열 분포 특성을 알아보기 위해 이유체 노즐을 사용하여 실험적으로 연구하였다. 노즐은 L/d=3의 외부혼합형으로 공기와 액체의 비를 0 ~ 59.4%까지 변화시키면서 분사하였다. 분무형상의 변화를 이미지화 하였으며 분무의 궤적과 액주의 형상을 관찰하였다. 액체제트 분열의 단면분포 특성을 PDPA를 사용하여 측정하였으며 SMD, 액적속도, 그리고 체적유속을 측정하였다. 그 결과 노즐로 공급되는 공기의 양이 많아질수록 Y/d방향의 관통거리는 증가하였고 액적의 미립화는 가속화되는 것을 관찰할 수 있었다.

Key Words : ALR(Air to Liquid mass flow ratio), Cross-flow(횡단유동), SMD(Sauter mean diameter), Volume flux(체적유속)

### 1. 서 론

\* 한국항공대학교 대학원

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

\*\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

연락처, E-mail: [jykoo@hau.ac.kr](mailto:jykoo@hau.ac.kr)

TEL : (02)300-0116

고성능 터보제트, 램제트 및 스크램제트에서 효율적인 연소와 배기가스를 줄이기 위해서는 연소기내에 분사된 연료와 공기의 혼합, 미립화

그리고 유량이 주된 변수가 된다. 이론적인 연소, 완전한 혼합 및 연료의 미립화 과정에 대한 연소기 내에서의 체류 시간은 공기 흡입식 엔진에서는 매우 제한적이기 때문에 아음속 및 초음속 횡단류 내에서의 분무 미립화 과정 및 분무 영역에 대한 연구는 매우 중요하다.[1] 항공기 및 산업용 가스터빈과 기름 연소로에서의 연료 연소부하 조정범위 문제를 해결하기 위해 다양한 형태의 공기 분출식 분무기가 설계되었으며 이는 추가공기의 공급에 의해서 연료와 공기간의 혼합을 양호하게 하여 그을음의 형성을 감소시킨다.[2] 횡단류내로 분사된 분무의 영역은 액주, 액막, 액적 3부분으로 나누어지며. 분사된 액체 제트는 1차분열과 2차분열과정을 통해 더욱 미립화되며 이는 운동량비( $q$ )와 웨버수에 따라 결정된다.[3]

아음속 및 초음속 횡단류 내에서의 내부혼합형 이류체 분무노즐에 대한 분무거리별 특성 연구는 이미 국외에서 연구되어지고 있으나 국내의 경우 외부혼합형 이류체 노즐을 사용한 횡단류 분무의 연구결과들은 많이 부족한 실정이다.

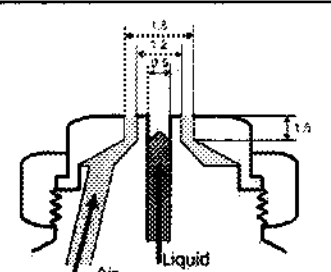
본 연구는 외부혼합형 인젝터로 분사된 액체제트의 공기유량 비를 변화시킴에 따른 액체제트의 액적 분포 특성을 알기 위해 SMD(Sauter mean diameter)와 체적유속을 위상 도플러 입자 분석기(PDPA)를 이용하여 측정하였고 이미지를 이용하여 미립화 현상을 관찰하고 침투거리를 조사하였다.

## 2. 실험조건 및 실험장치

### 2.1 실험가정 및 조건

횡단유동에 액체제트는 90°로 수직하게 분사된다고 하였으며, 실험시 테스트 섹션 내의 온도와 기압 등을 측정하였고 평균적 293.16K(20°),  $1 \pm 0.05 \text{ atm}$  에서 실험이 수행되었다. 실험 조건에 대한 물과 공기의 물성치 및 노즐의 기본사양을 Table 1에 나타내었다. 그리고 액체제트에 작용하는 중력의 영향은 없다고 하였고 또한 횡단유동은 항상 일정하다고 가정하였다.

Table. 1 Test environment conditions and nozzle properties

Parameter	Water	Air
Temperature (°C)	20	20
Density (kg/m <sup>3</sup> )	998	1.21
Surface tension (N/m)	0.0727	
Orifice diameter (mm)	0.5	
Orifice length (mm)	1.5	

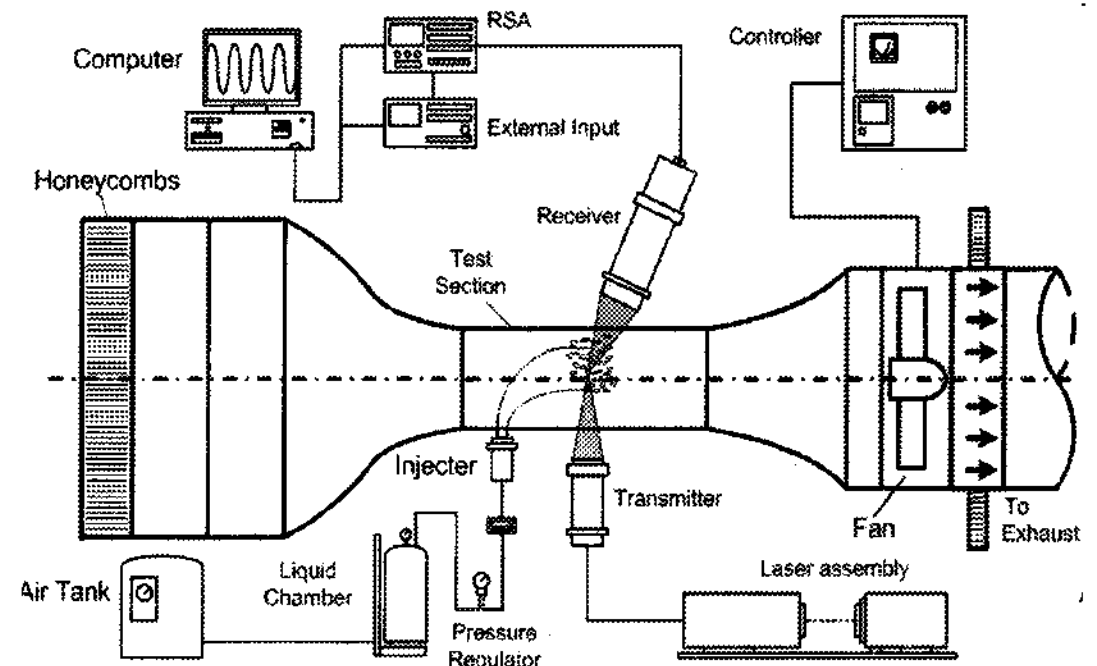


Fig. 1 Schematic of experiment system & suction type wind tunnel

### 2.2 실험장치 및 실험방법

본 실험은 테스트 섹션 크기가 120 mm(H)×120 mm(W)×350 mm(L)인 축류 흡입식 풍동을 사용하였으며 분무형상은 스트로브스코프와 CCD카메라를 이용하여 가시화 하였다. 그리고 PDPA를 이용하여 SMD와 체적유속을 측정하였다. 실험장치의 구성의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 횡단 분무의 측정위치는  $Z/d=60$ 으로 하였다. 인젝터는 외부혼합형으로 노즐 출구에서 액체와 공기가 충돌하여 분열되어 진다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 횡단유동이 없는 수직분사

인젝터의 분무특성을 알아보는데 우선적으로 횡단유동이 없는 상태에서의 분무를 가시화를 통해 고찰해 보았다. 액체제트의 분사유량은  $m_1$

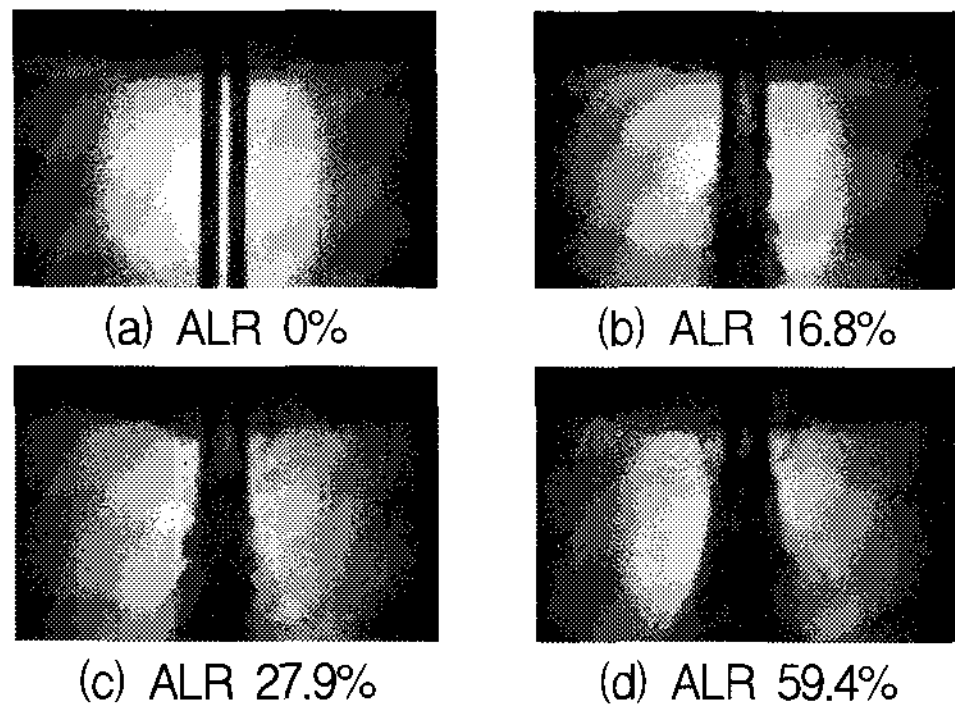


Fig 2. Photograph images of air-assist spray for variable ALR (0~59.4%) without crossflow

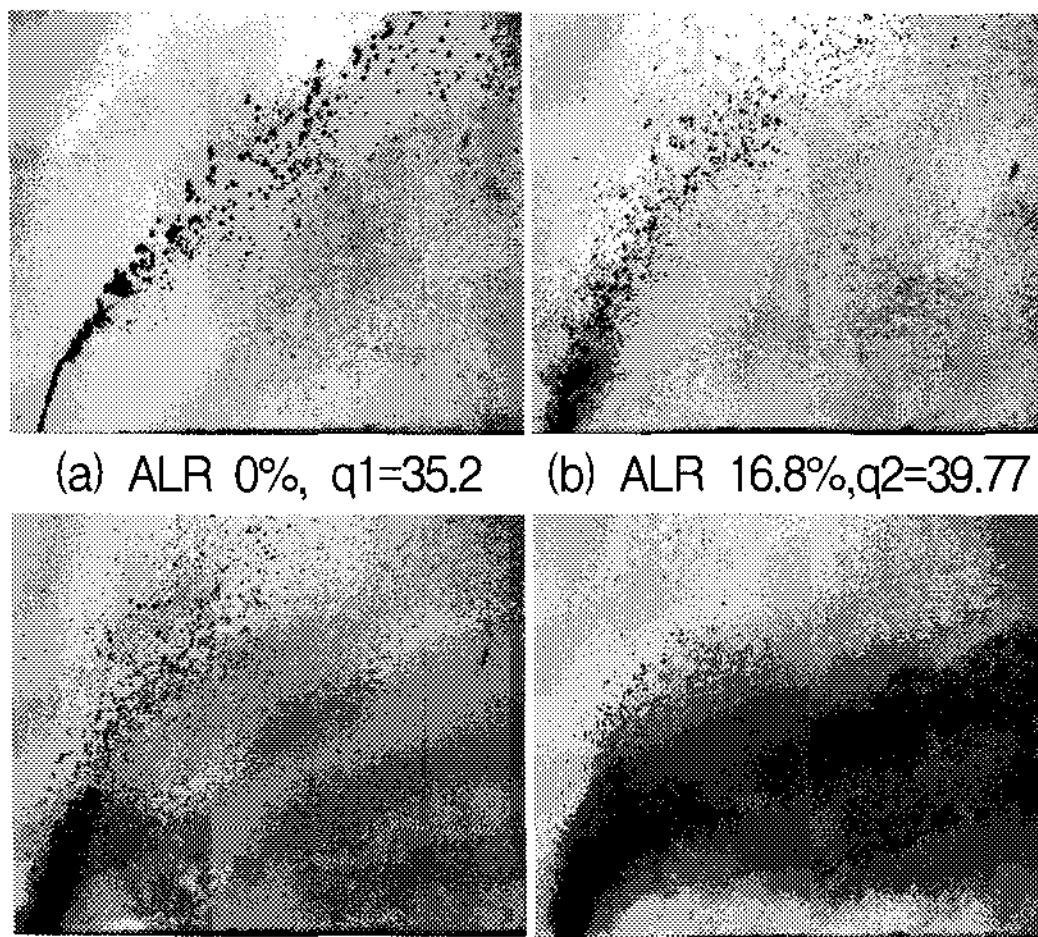


Fig. 3 Photograph images for air-blast liquid jets in subsonic cross-flows ( $Re_{cross}=2.61 \times 10^5$ ,  $d=0.5mm$ ,  $L/d=3$ )

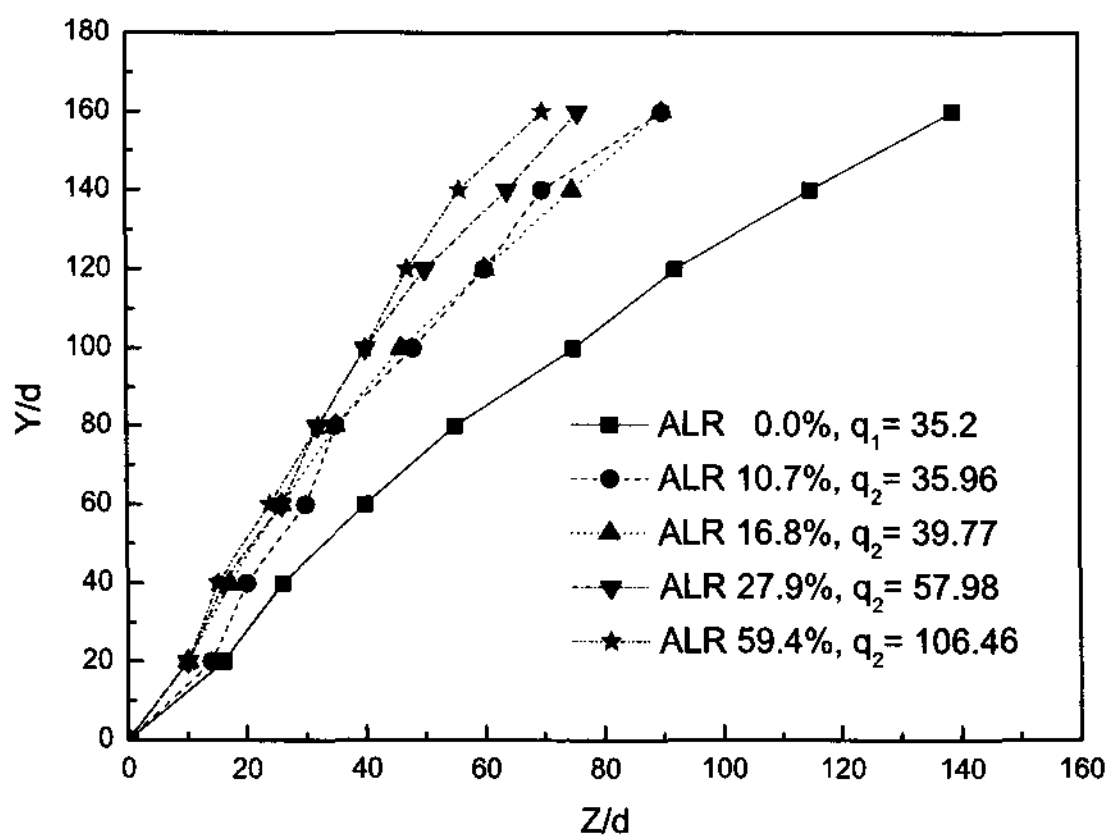


Fig. 4 Trajectories of liquid-jet in crossflow

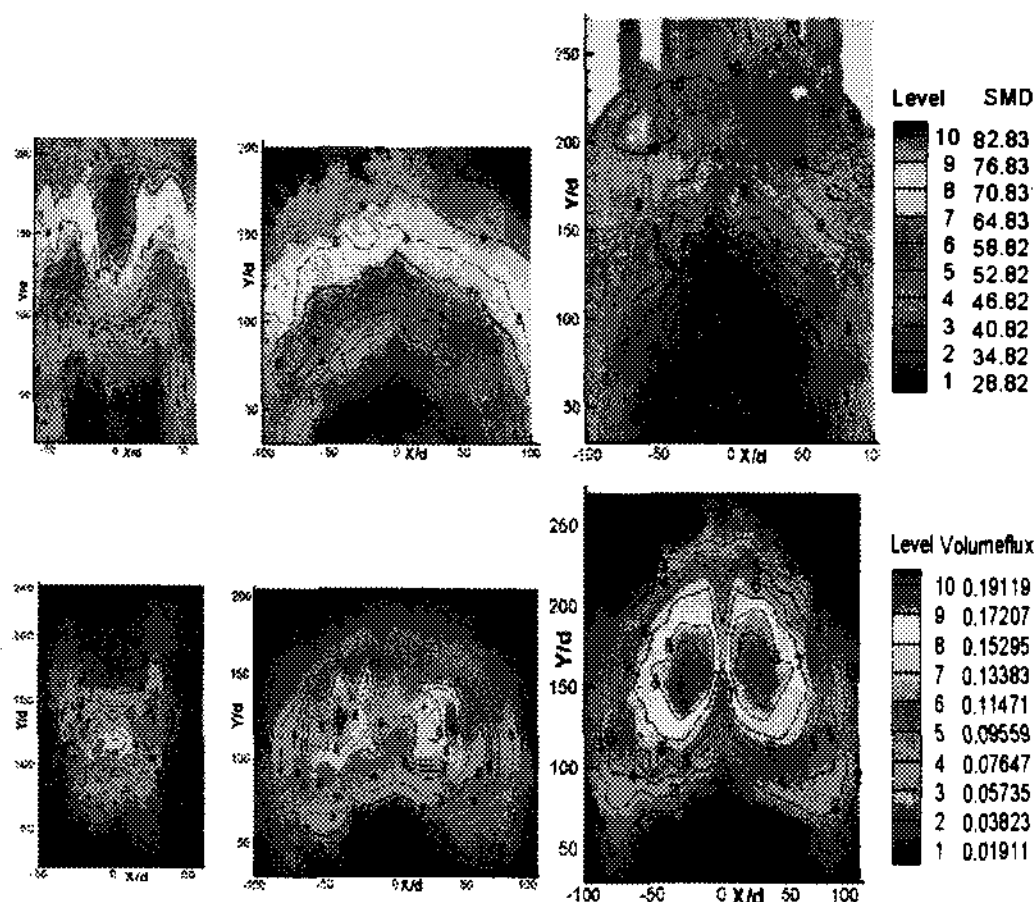
= 1.71 g/s로 유지한 상태로 ALR을 0 ~ 59.4%로 변화하며 분사하였다. Fig. 2은 수직분사 이미지를 나타낸 것인데 Fig. 2(a)는 ALR 0%일 경우로 안정된 형상을 보이며 곧고 부드럽게 분사가 되는 것을 볼 수가 있지만 ALR 16.8%인 Fig. 2(b)에서는 액체제트가 분사된 출구 앞부분에서 공기와 액체가 충돌하면서 분열이 시작된다. ALR 27.9%인 Fig. 2(c)에서는 더욱 많은 분열을 보이면서 공기와 물이 충돌하여 분열되는 위치가 노즐에서 가까워짐을 볼 수가 있다. ALR 59.4%인 Fig. 2(d)에서는 미립화가 더욱 가속된 것을 볼 수가 있는데 무화된 미립화 액적들이 분무장 주변에 질게 발생이 되고 공기와 액체가 충돌하여 분열되는 위치가 더욱 노즐에서 가까워짐을 볼 수가 있다.

### 3.2 횡단유동 속의 수직분사

단공노즐에서 수직분사된 액체제트는 스스로의 분열은 거의 발생하지 않지만 횡단유동과 만나면 그 운동량에 의해서 분열이 되어진다. 분사되는 액체제트의 ALR을 변화시킨 것을 이미지화하여 나타낸 것이 Fig. 3이다.

분사유량과 ALR의 비는 3.1에서와 같이 수행이 되었는데 Fig. 3(a)를 보면 ALR 0%으로 분사를 하였기 때문에 단공노즐에서 보이는 형상을 관찰할 수 있다. 액체제트는 분사직후 어느 정도의 액주를 형성하고 분열점 직후 액막과 액적으로 분열하는 과정을 보인다. 하지만 ALR이 높아질수록 분사되어진 액체제트는 분사초기부터 분열을 시작하며 분열점이나 액주의 관찰은 불가능해지지만 초기분열로 인하여 ALR 59.4%에서는 짙은 농도의 무수한 양의 무화 스트림을 관찰할 수가 있다. 분사된 액체제트의 궤적을 Fig. 4에 나타내었는데 ALR이 증가할수록 같은 Z/d에서 더욱 많은 관통거리를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 노즐주변에 분사된 공기가 초기에 액체제트를 분열시키지만 외부혼합형 노즐의 형태상 공기의 비가 높아짐에 따라 운동량이 추가되어 관통거리가 높아진다고 분석된다.

### 3.3 횡단류에서 액체 제트의 액적분포



(a)ALR 16.8% (b)ALR 27.9% (c)ALR= 59.4%

Fig. 5 Contour of SMD and volume fluxes of air-assist spray. (ALR = (a)10.7%, (b)27.9%, (c)59.4%,  $Re_{cross}=2.61(x10^5)$ ,  $L/d=3$ ,  $Z/d=60$ )

횡단류에 분사된 액체제트를 PDPA를 이용하여 측정, 분석을 한 것을 Fig. 5에 나타내었다. ALR을 0 ~ 59.4%까지 변화를 시켰는데 SMD는 Y/d가 증가할수록 커지는 것을 전체적인 경향으로 알수가 있는데 같은 Y/d에서는 ALR이 증가할수록 미립화가 더욱 진행된 것을 볼 수 있다. 또한 ALR=59.4%에서는 더욱 많이 미립화된 액적들이 중심부에 많이 존재하는 것을 볼 수가 있는데 공기의 비가 커짐에 따라 분열에 더욱 큰 영향을 끼침을 관찰할 수가 있다. 그리고 ALR이 증가할수록 체적유속은 액적분포의 중심부에 더욱 많은 양이 지나는 것을 관찰 할 수가 있다. 또한 ALR이 증가함에 따라 더욱 많은 영역으로 분열이 되는것 또한 공기의 비가 분열에 끼는 영향으로 설명되어진다.

#### 4. 결 론

공기충돌식 액체제트에 ALR에 따른 영향을 알기위해 SMD, 체적유속을 측정하였다. ALR 0 ~ 59.4%로서 물의 질량 유량을 일정하게 유지하고 공기의 유량만을 변화시키며 실험을 진행하여 분석하였다.

- 1) 횡단유동이 없는 상태에서 노즐에서 분사된 액체제트는 곧게 분사가 되지만 ALR이 증가함에 따라 분사직 후에 노즐에서 분사된 공기와 충돌하여 분열을 시작했다. 분열은 ALR이 증가할 수록 노즐에서 가까운 곳에서 진행되었다.
- 2) 횡단유동을 변화시키면서 이미지 촬영을 한 결과 ALR이 증가할 수록 미립화는 가속이 되었고 미립화가 진행되는 동안 무화 스트림을 관찰할 수있었다. 또한 ALR이 증가할 수록 액체제트의 궤적은 증가를 하는 것을 볼 수 있었는데 이는 공기의 비의 증가로 인한 운동량의 증가로 보인다.
- 3) 액체제트의 분열분포 특성은 Y/d가 증가할 수록 액적의 크기가 커지는 것을 관찰 할 수 있었지만 같은 Y/d에서는 ALR이 증가할 수록 미립화가 더욱 진행된 것을 볼 수 있었다. 또한 체적유속은 ALR이 증가함에 따라 더욱 넓은 영역을 가지면서 분열이 진행이 되었으며 중심부에 집중되는 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 ALR이 증가함에 따라 액체분열은 가속화되고 미립된 액적의 분포를 확장하는데 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다.

#### 후 기

본 논문은 2007년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단 지역대학우수과학자 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구과제임.(KRF-D00084).

#### 참 고 문 헌

1. K. C. Lin, P. J. Kennedy, T. A. Jackson., "Structure of Water Jets in Mach 1.94 Supersonic Crossflow," 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 5-8 January 2004, Reno, Nevada.
2. Combustion Engineering By Gary Boman and K. Ragland ISBN 0-07-006567-5.
3. K. C. Lin, P. J. Kennedy, T. A. Jackson., "Spray Structures of Aerated-Liquid Jets in Subsonic Crossflows," AIAA Meeting & Exhibit, 8-11 January 2001/Reno, NV.