

충돌분류에 의해 형성된 Spray fan의 간섭효과에 관한 연구

한재섭* · 김선진** · 문덕용* · 김 유*

A Study of Interaction Effect from Spray Fan Formed by Impinging Jets

J.S.Han*, S.J.Kim**, D.Y.Moon*, Y.Kim*

ABSTRACT

The Analysis of spray characteristics for combined spray group are necessary to develop large rocket engine. In this study, basic effects of interaction from spray fan formed by impinging jets were investigated with respect to mass distribution, droplet velocities and diameter. Patternater and PDPA are used for experimental apparatus. Water was used as a test fluid

When momentum ratio is 1, effect of interaction from collision of spray fan on mass distribution are small. Also, effect of interaction from collision of spray fan on droplet velocities and diameter are small. But, droplet diameter is smaller near collision point due to second collision. Therefore, for the same momentum ratio from spray fan formed by impinging jets, we may neglect effect of interaction on mass distribution, droplet velocities and diameter.

초 록

대형로켓엔진을 개발하기 위한 Injector 설계에서 연합된 분무군에 대한 해석은 필수적이다. 본 연구에서는 운동량이 같은 두 개의 분류가 충돌함으로써 생기는 두 스프레이의 간섭이 질량분포와 액적의 크기/속도분포에 미치는 영향을 조사하였다. 질량채집장치와 PDPA가 실험장치로 사용되었고 물을 실험유체로 사용하였다.

두 스프레이 웬의 운동량비가 1인 경우 두 스프레이 웬의 충돌로 인한 간섭의 영향은 아주 작았다. 마찬가지로 액적의 속도/크기분포도 두 스프레이 웬의 충돌로 인한 간섭영향은 아주 작았으나, 액적의 크기는 2차 충돌로 인하여 충돌점 부근에서 약간 작아졌다. 즉, 추후에 운동량비가 동일한 두 스프레이 웬을 가진 인젝터에 대한 연구시에는 간섭효과를 무시할 수 있음을 알 수 있었다.

*충남대학교 기계공학과(Chungnam National University, Dept. of Mechanical Eng.)

**청양대학 소방안전관리과(Chongyang College)

기 호 설 명

- d_o : Orifice diameter for oxidizer [mm]
 D_{10} : Arithmetic mean diameter [μm]
 D_{32} : Sauter mean diameter (SMD) [μm]
 V_j : Velocity of jet [m/s]
 θ : Impingement half angle of jets [deg.]
 ϕ : Angular coordinate in the plane of the liquid sheet [deg.]

1. 서 론

가스터빈이나 로켓은 왕복엔진에서와 같이 간헐적인 연료공급에 의한 연소가 아니라 안정한 미립화 및 잘 혼합된 연속적인 연료공급에 의한 연소를 요구한다. 액체연료의 안정한 미립화 및 혼합은 엔진성능에 매우 중요한 요소 중 하나인 연소안정성에 중요한 영향을 미친다. 특히, 두 개의 분류가 충돌함으로써 생기는 두 스프레이의 경우 충돌점 부근 및 하단에서의 질량분포 및 간섭현상을 살펴보는 것은 분사액체의 안정한 미립화 및 시스템의 연속적인 운전과 유지에 대해 중요할 뿐 아니라, 추후 여러 개의 분사노즐을 열(列)로 설치하여 동시에 분사하도록 하는 경우 분사된 분무들이 서로 합해져서 하나의 연합된 분무군을 형성할 때 해석의 기초로 활용하고, 복잡한 분무특성을 이해하는 등 응용측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다.^{1), 2), 3)}

본 연구에서는 액체로켓에서 주로 많이 사용하는 충돌형 인젝터 중 운동량이 같은 두 개의 분류가 충돌함으로써 생기는 두 스프레이 쉘 사이의 간섭현상을 질량분포와 액적의 크기/속도 분포로부터 측정함으로써 충돌점 하류지역에서의 질량분포 변화 및 속도/크기는 어떻게 될 것인지와 하나의 스프레이 쉘(spray fan)이 다른 하나의 스프레이 쉘(spray fan)에 얼마만큼 영향을 주는지 등의 간섭효과에 의한 특성들을 규명해 보자 하였다.

2. 실 험

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 설계된 양의 모의액을 공급하여 미립화 및 혼합시키는 가변형 인젝터, 고압탱크에 저장된 모의액을 가변형 인젝터로 공급하는 공급장치, 질량 및 혼합비 분포를 측정하는 Patternater와 액적의 크기, 속도를 측정하는 PDPA (Phase Doppler Particle Analyzer)로 나눌 수 있다.

가변형 인젝터는 Photo.1에 보이는 바와 같이 액체를 분사하는 인젝터의 기하학적 변수로 고려되는 충돌각, 충돌점 거리, 오리피스 지름을 쉽게 교환할 수 있도록 설계하여 제작하였다. 오리피스는 길이 대 지름비를 통상적으로 3~6의 범위로 사용하나, 본 연구에서는 오리피스내에서 완전히 난류유동을 생성시킬 수 있으며 제작 및 오리피스 교환의 용이성을 고려하여 길이 대 지름비를 60으로 제작되어 있는 SUS관을 절단하여 사용하였다. 또한, 지지대를 받치고 있는 부분은 5° 간격으로 눈금이 새겨있는 반원형 밀판의 중심부에 회전이 가능하도록 하여 충돌각을 변화시킬 수 있도록 하였다.

Photo.1은 제작되어진 오리피스 하나를 지지하는 구성품의 모습이다.

분사액체는 가연성이 없는 질소가스로 압축하였고 압력용기는 100atm까지 견딜 수 있는 특수용기를 사용하였으며, 인젝터로 분사액체를 공급하기 위한 실험장치는 Fig. 1과 같다.

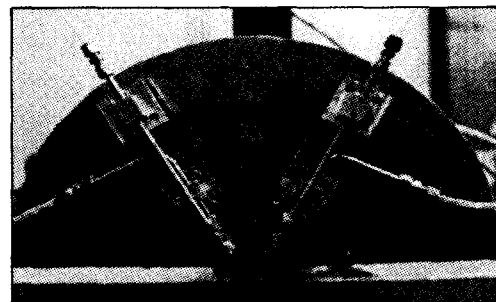


Photo 1. Photograph of Injector assembly

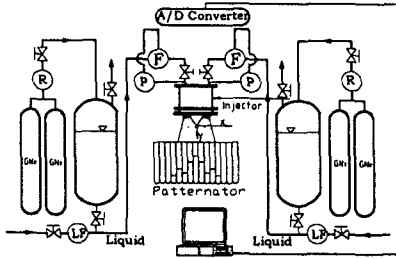


Fig. 1. Experimental set-up for measuring mass distribution



Photo 2 Experimental Set-up for measuring Droplet Velocity/Size

액적의 속도 및 크기를 측정하기 위한 실험에 사용된 PDDPA(Phase Doppler Particle Analyzer)는 Photo. 2와 같다. 레이저광은 Spectra-physics사의 Model 2017-04S의 Ar-Ion Laser 발생기를 이용하여 500mW 광을 이용하였고, 입자에 의해서 산란된 광을 감지하여 광전관에 의해서 전기적인 신호로 변화하는 Receiver는 광학 측정 방법에서 전방 산란 방법으로 Transmitter와 30°를 이루도록 설치하여 사용하였다. 입자에 의해서 산란된 광의 세기가 실험조건에 따라 달라지는 것을 방지하기 위해 조건이 변할 경우에는 항상 예비실험을 통하여 광전관의 증폭도를 조건에 알맞게 조절하였다.

2.2 실험방법

충돌형 분류에 의해서 형성된 액막의 분열특성은 개략적으로 Fig. 2와 같이 형성되며 본 연구에서는 두 원주형 분류의 축을 포함하고 있는 평면에 수직 한 평면에서 확대되는 액막의 임의의 회전각 ϕ 에서 결과를 고찰하였다.

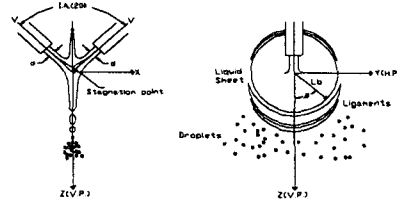


Fig. 2. Schematic diagram of atomization process during impingement of two jets

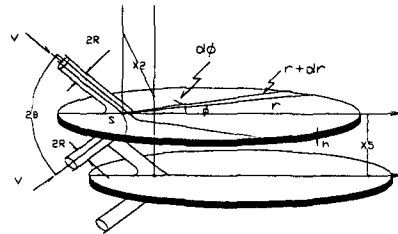
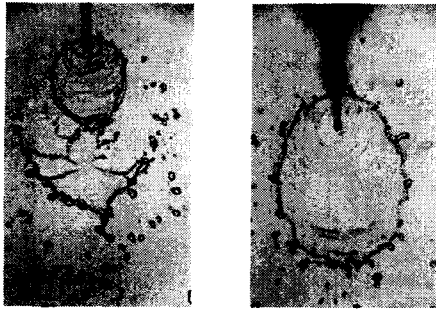


Fig. 3. Illustration of the injector variables for a like impinging doublet injector design

인젝터와 Patternator사이의 수직거리(z방향)는 PDDPA를 이용하여 측정된 입자로부터 미립화가 완전히 이루어졌다고 판단되는 위치와 Patternator의 크기 등을 고려하여 80mm로 설치한 후 충돌각 및 두 개의 충돌점 사이의 거리를 변화시키면서 질량분포를 측정하였다. 또한, 간섭효과를 고찰하기 위해서는 하나의 스프레이 쉘의 질량분포가 다른 스프레이 쉘에 의한 질량분포에 미치는 간섭이 없다고 가정하고 두 개 질량분포를 중첩시킨 뒤 하나의 스프레이 쉘을 충돌점 사이의 간격만큼 이동시켜 구한 선형합(L.S.)과 실제 채집된 질량분포와 비교하였다. 연료 및 산화제가 두 개의 오리피스를 통하여 각각 분사되어 미립화가 이루어진 후 분무막 간의 간섭효과에 의하여 혼합이 이루어지는 과정은 Fig. 3과 같은 연구에서는 분무막사이의 거리 x_5 를 0으로 하고, 충돌점 사이의 거리 x_2 를 변화시키면서 간섭의 영향을 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

같은 운동량을 갖는 두 개의 분류가 충돌함으로



(a) Impingement Angle=90° (b) Impingement Angle=120°

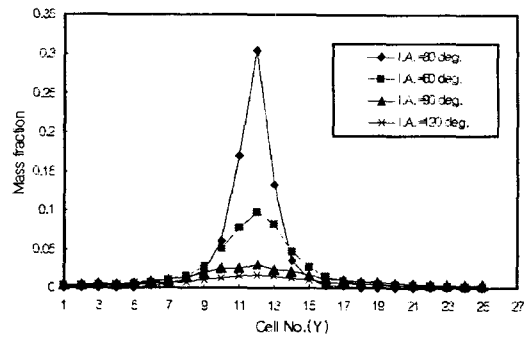
Photo 3. The image of the spray pattern formed by impinging jets($d_o=0.98mm, V_j=4m/s$)

형성된 스프레이 쉘 사이의 간섭현상은 영상처리장치를 이용하여 가시화하여 보면 대표적으로 Photo. 3과 같고 쉘 사이의 간섭현상은 질량분포와 액적의 크기/속도분포를 분석함으로써 평가될 수 있다.

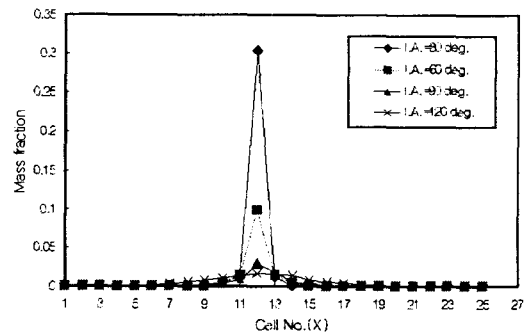
3.1 질량분포에 미치는 영향

Fig. 4는 오리피스 지름 0.98 mm, 분류속도 16m/s로 고정된 조건에서 충돌각이 30°, 60°, 90°, 120°로 변할 때의 x축 방향과 y축 방향의 질량분포 및 표준편차이다. 충돌각이 증가함에 따라 12번 셀에 집중적으로 분포하던 질량이 작아지면서 넓은 범위에 걸쳐 고른 질량분포를 보이고 있다. 또한 충돌각이 증가할 수록 표준편차가 작아지는 경향을 나타내는 데 이것은 충돌각이 증가할 수록 오리피스로부터 분출되는 유체가 Patternator내에서 넓은영역에 걸쳐 균일한 분포를 나타내고 있음을 의미한다.

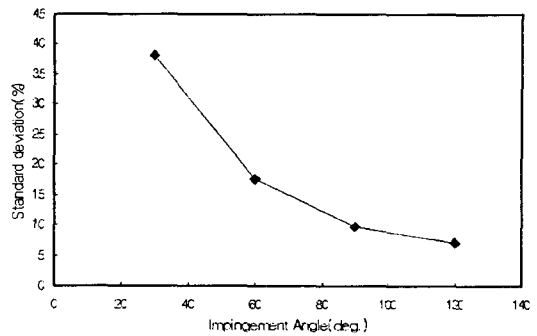
충돌각이 작을 경우 회전각 ϕ 가 0°인 수직방향을 중심으로 질량이 집중적으로 분포하여 두꺼운 액막을 형성하였으나 충돌각이 증가함에 따라 회전각 ϕ 에 대하여 점점 균일한 질량분포를 형성하여 균일한 두 현상이 질량분포에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 따라서, 회전각 $\phi=0^\circ$ 인 부분에서 액막두께의 감소로 분열길이가 감소하여 두 분류가 초기 진행방향을 완전히 바꾸기 위해 필요한 시간보다 작은 시간동안 접촉하기 때문에 분류는 완전한 방향전환을 하지 못하고 초기 진행방향으로 진행하여 x방향으로 넓은 분포를 형성한다. 또한 회전각 ϕ 에 대



(a) X-directional mass distribution



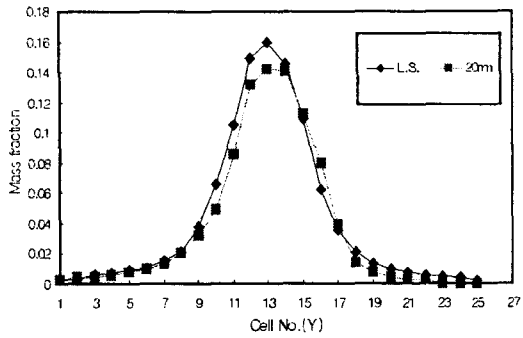
(b) Y-directional mass distribution



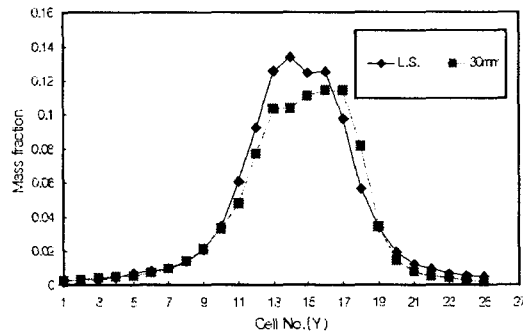
(c) Standard deviation(%)

Fig. 4 The effect of impingement angle on mass distribution formed by like impinging jets ($d=0.98mm, V_j=16m/s$)

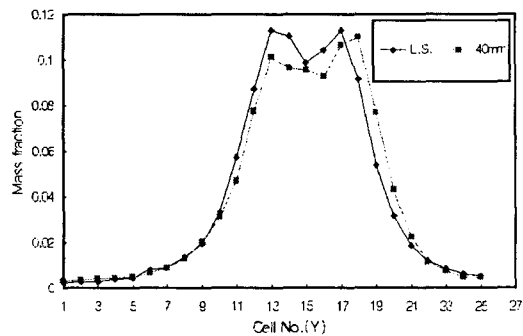
하여 균일한 분포를 형성하기 때문에 y방향으로 넓고 균일한 분포를 형성하는 것으로 사료된다. 한편, x방향 운동량의 증가는 분류의 초기 진행방향을 완전히 바꾸기 위해 필요한 시간을 증가하기 때문에 넓고 균일한 질량분포를 형성하는 것으로 사료된다.



(a) Distance $x_2 = 20\text{mm}$



(b) Distance $x_2 = 30\text{mm}$



(c) Distance $x_2 = 40\text{mm}$

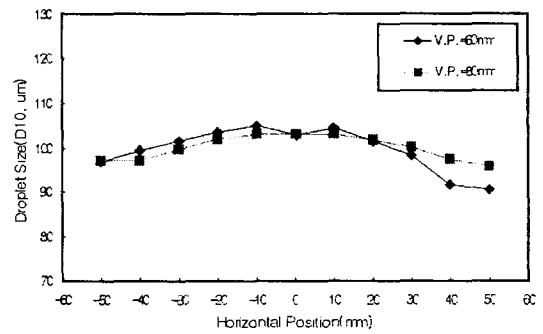
Fig. 5. The effect of interaction of spray fan on mass distribution
($d=0.98\text{mm}$, $V_j=16\text{m/s}$, $2\theta=60^\circ$)

Fig. 5는 두 스프레이 팬의 충돌시 측정된 질량 분포 및 선형합의 결과이다. 충돌점 사이의 거리 x_2 를 20mm, 30mm, 40mm로 변화시 모두 두 스프레이 팬이 충돌이 일어나는 부분을 제외하고 선형합(L.S.)과 거의 같은 값을 보이고 있으나 충돌부분에

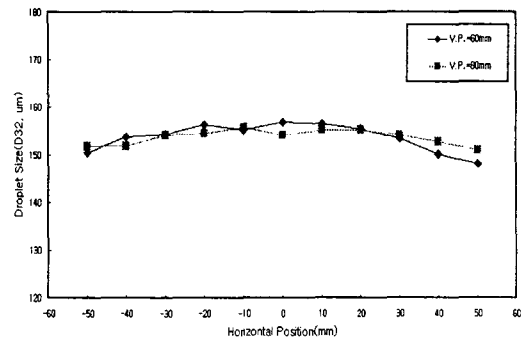
서는 작지만 약간의 차이를 보이고 선형합 보다는 평평한 분포를 하고 있다. 그러나 충돌점 사이의 거리 x_2 가 40mm인 경우 두 스프레이 팬이 충돌하는 량이 적기 때문에 선형합과 양적인 차이는 있으나 형상은 거의 같은 형태를 나타내고 있다. 이러한 형상은 두 스프레이가 충돌하는 부분에서 액적은 충돌하여 서로의 진행방향을 변화시키기 때문으로 사료된다. 두 스프레이 팬의 운동량비가 1인 경우 충돌점 거리 20mm이상에서 두 스프레이 팬의 충돌로 인한 간섭은 존재하였으나 효과가 미세하여 하나의 스프레이 팬의 분무특성과 거의 일치하였다.

3.2. 액적 크기/속도분포에 미치는 영향

Fig. 6과 7은 동일지름과 동일속도로 분출되는 원형분류의 크기에 의해서 형성되는 액적의 크기 및 속도에 대한 수평방향(y축) 분포도로서 수직방향 40mm, 60mm, 80mm에서 측정하였다.



(a) D_{10}



(b) D_{32}

Fig. 6. The spatial distribution of droplet size
($d=0.98\text{mm}$, $2\theta=60^\circ$, $V_j=16\text{m/s}$)

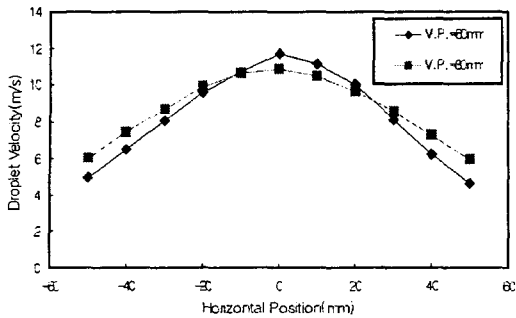
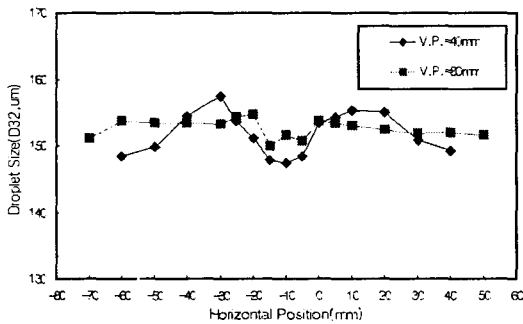
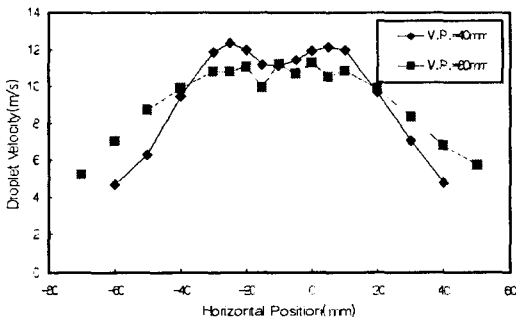


Fig. 7 The spatial distribution of droplet velocity ($d=0.98mm, V_j=16m/s, 2\theta=60^\circ$)



(a) Droplet size



(b) Droplet velocity

Fig. 8. The effect of interaction of spray fan on droplet size and velocity ($d=0.98mm, V_j=16m/s, 2\theta=60^\circ$)

D_{10} 과 D_{32} 는 중심부분에서 크고 수평방향 거리가 증가할 수록 작아지는 경향을 나타내며 수직방향 (z축)을 중심으로 좌우 대칭성을 보이고 있다. 그리고 액적의 속도도 좌우 대칭성을 잘 나타내고 있고 수평방향 거리가 증가할 수록 작아지는 경향을 나타

내고 있다. 따라서, 본 연구에서는 양의 y축상에서 측정된 결과로부터 전체 공간내의 속도 및 크기분포를 예측하였다.

Fig. 8은 액적의 크기/속도 분포 측정시에는 오리피스 지름 0.98mm, 총돌각 60° , 분류속도 16m/s, 총돌점 사이의 거리 20mm조건에서 PDDPA를 이용하여 수직방향 거리 40mm, 80mm에서 수평방향 거리를 변화하면서 측정된 결과로서 액적의 크기 및 속도분포로 두 스프레이 쉘의 총돌은 액적의 크기분포에서 거의 영향을 미치지 못하나 액적의 크기는 2차 총돌로 인하여 총돌점 부근에서 약간 작아지는 현상을 보이고, 총돌점 부근 이외의 영역에서는 거의 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 액체로켓 엔진에서 많이 사용되는 Like Doublet Impinging Injector에 의하여 같은 운동량을 갖는 두 개의 분류가 총돌함으로써 형성된 두 스프레이 쉘 사이의 간섭효과를 연구한 것으로 두 스프레이 쉘의 운동량비가 1인 경우 총돌점 거리 20mm이상에서 두 스프레이 쉘의 총돌로 인한 간섭은 존재하였으나 효과가 미세하여 하나의 스프레이 쉘의 질량분무특성과 거의 일치하였으며, 두 스프레이 쉘의 총돌에 의해 액적의 속도/크기분포 또한 거의 영향을 받지 않았으나 액적의 크기는 2차 총돌로 인하여 총돌점 부근에서 약간 작아짐을 알 수 있었다. 즉, 추후에 운동량비가 동일한 두 스프레이 쉘을 가진 인젝터에 대한 연구시에는 간섭효과를 크게 고려하지 않아도 된다.

이러한 결과는 multi-element 형태의 인젝터를 사용하는 실용 액체로켓에서의 인젝터 설계 및 분무 특성을 이해하는데 상당히 유용하리라 판단되나, 추후 연소실험 등을 통한 보충실험을 통하여 비교 및 검토의 필요성이 있다.

참 고 문 헌

1. 박승규, 한재섭, 김유, 박정배, "공기총돌형 연료

- 분사장치의 운용조건이 이중분무특성과 간섭효과에 미치는 영향”, 한국추진공학회, 제3권, 제1호, 1999. 3, pp9~14
2. 정래혁, 차영란, 지평삼, 김유, 박정배, “2-유체를 사용하는 Swirl 인젝터의 분무특성에 관한 연구”, 항공우주학회 춘계학술대회 논문집, 1997
 3. 김인구, 이상용, “두개의 와류분무 노즐로부터 분사되는 이중분무의 분무특성에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회 논문집 제12권 제2호, pp359~372, 1988
 4. M.F. Heidmann, “Fluctuations in a Spray Formed by Two Impinging Jets”, Jour. Am. Rocket Soc., Vol. 22, 1952
 5. 이 상용, “액체의 미립화”, 민음사, 1996.