

Atomize 법에 의한 용융소재의 고효율 미세화에 관한 연구
(제1보:공기제트에 의한 액체의 공급기구)

A STUDY ON HIGH-EFFICIENCY ATOMIZATION OF MOLTEN
MATERIALS

(PART 1: AN EXPERIMENTAL STUDY ON SUPPLYING MECHANISM
BY AIR JETS)

오 재 건*, 이 충 원**, 석 지 권***

J. G. Oh, Ch. W. Lee and J. K. Seok

ABSTRACT

An innovating technique of atomizer has been proposed to supply and to atomize molten materials. Both of a simple geometry of nozzle and an improved nozzle have been fabricated in the present study. With these nozzles, characteristics of the suction and disintegration have been empirically investigated. The important conclusions are as follows;

In the case of a simple nozzle:

- 1) Although the sucking up and supplying of molten materials are available, the applications of powder metallurgy are limited.
- 2) It is concluded that the more air flow rate, W_A or the shorter the height of air nozzle from the surface of supplied water, L_h , the more the atomizing mass of liquids, W_L .

In the case of an improved nozzle:

- 3) The stable liquids can be supplied due to cut off the passage of surrounding air entrainment by air jets.
- 4) The atomizing mass of liquids, W_L has affected not so much on the height of nozzle from the surface of supplied water, L_h as that from the orifice, h_c .

주요기술용어 : Jet(분류), Powder Metallurgy(분말제조), Atomizer(에토마이저),
Twin-Fluids Atomization(이류체미립화)

1. 서론

소결 등의 분말야금기술의 발전과 함께 형성기

억합금, 비정질소재 등의 신소재의 개발과 응용
이 주목을 받게된 현재, 분말화는 신소재 이용상
의 중요한 프로세서의 하나로 주목되고 있다
(1)(2)

* 정회원, 두원공업전문대학

** 정회원, 경북대학교

***정회원, 안동전문대학

분말의 미세화 법으로서는 석기시대부터 쓰여 온 분쇄법 이외에, atomize법, 환원법, 치환법 등이 시도되어 왔으나, 표 1과 같이 각각 장단점을 갖고 있으며 개발단계에 있다^{(3),(4)}.

특히 atomize법에 있어서 분말의 특성은, 용융소재의 특성에 관한 인자, 용융소재의 흐름, 제트의 형태 및 제트의 흐름에 관한 인자 등에 의해 제어되지만^{(3),(4),(5)}, 분체형성기구의 유체역학적, 전열학적 해명은 아직도 불충분하고, 재료학적 해명에 그치고 있다.

본 연구는 이러한 관점에서부터 용융소재를 미립화하는 방법으로서 생산성도 좋고 분말 특성의 제어도 가능한 atomize법을 채택하여, 종래의 턴 디쉬로부터 용융체를 중력에 의해 액주상으로 공급하여 미립화시키는 방법^{(6),(7)}이 아닌, 공기제트의 동반력으로 용융체를 빨아올려 액막상으로 공급하여 이것을 이류체 미립화시키는 방법을 채택하였다^{(8),(9),(10)}.

먼저 공기제트에 의해 액체를 빨아올려 액막상으로 공급·미립화시키는 방식의 타당성을 조사하기 위하여, 원추의 중앙에 설치한 분공으로 공기제트를 분출시켜, 물을 의사액체로서 사용하여 원추면을 따라 액막으로 공급하고 미립화시키는 가장 간단한 atomizer를 설계 시작하였다. 또한 이 atomizer로서 액체의 흡상 공급 기구와 미립화기구 및 흡상식 atomizer의 타당성 및 문제점을 조사하여, 용융소재 미세화용의 atomizer의 개발을 위한 기초적인 정보를 얻는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 공기제트에 의한 액체의 공급기구 및 미립화 실험

2.1 실험장치

그림 1은 실험장치의 계통도이며, 그림 2는 노즐부의 개략도이다. 액체의 흡상 공급 및 미립화용 공기는 ①컴프레서에서 가압되어 ②저지탱크 및 ⑤니들밸브, ④⑦⑧압력계, ⑥오리피스 유량계를 거쳐 조정·계량된 후 ⑨노즐의 중심축으로 분출된다. 오리피스 유량계는 검정용 가스미터로 체적유량을 검정하여 온도 및 압력에 의한 공기의 밀도로 교정하여 사용하였다. 의사유체로

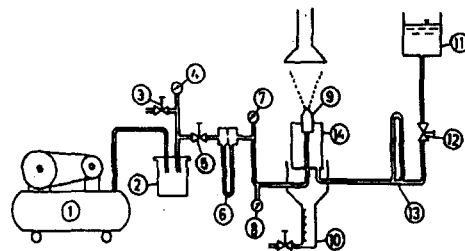


Fig.1 Experimental Apparatus

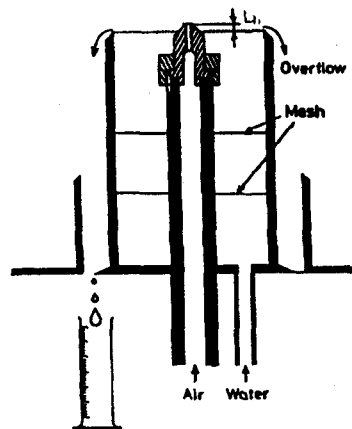


Fig.2 Schematic diagram of Nozzle

제조법	입경(μm)	형태	성질	장점	단점
분쇄법	1-500	불규칙	단단함 압축성 불량 높은 활성도	조업간단, 장치조작 간단	에너지 소비량이 많음, 제조시간이 길다. 분말특성의 변화가 심함
환원법	0.01-1	불규칙	좋은 전성 높은 압축성		비싼 원료 저 회수율
atomize법	10-500	구형	높은 유동성 높은 걸보기 밀도	높은 생산성 분말특성제어가능	성형성 불량 입도 불균일
치환법		등축형	굵은 입자 저순도		다량의 환원 분말특성이 좋지 못함

표 1 각 분말 제조법의 특성

서의 수돗물은 높게 설치된 ⑪서지탱크로부터 ⑫니들밸브, ⑬유량계를 거쳐 ⑭용기의 바닥에 있는 입구로부터 공급된다. 또한 수압에 의한 액면의변동을 방지하기 위하여 그림 2에서 보는 바와 같이 용기 속에 금속망을 2중으로 설치하였다. 공기제트에 의해 빨려 올라가 공급·미립화된 물의 양은, 물의 공급 유량으로부터 메스실린더로부터 계측된 over-flow된 물의 유량을 차인하여 계산하였다.

분무의 양상은 카메라로 촬영하였고, 입경은 실리콘 오일이 도포된 슬라이드 글래스로 포집하여 화상처리기에 의한 입경측정장치^{11),12)}에 의해 측정하였다.

수면으로부터 노즐의 선단까지의 높이(L_h)는 망원경을 이용하여 스케일로 원격 측정하였다.

그림 3은 실험에 사용한 노즐의 개략도이다. 노즐의 형태에 의한 물의 공급 기구의 상위를 조사하기 위하여 선단다량의 환원각도 알파는 90° , 120° 의 2종류 외에, 사진관찰에 의해 선단 각도 90° 일 때 흡상되는 물의 표면형태가 반경 약 7mm 정도의 곡선으로 되므로, 물의 유동과 같은 유로를 만들기 위하여 반경 7mm의 원호를 붙인 것(이하 R7이라고 부름)을 사용하였다.

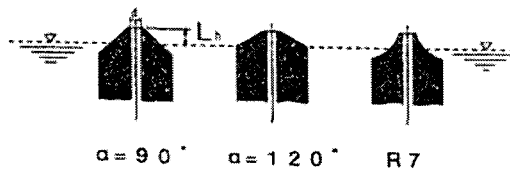


Fig.3 Various of Nozzles

공기제트의 출구 직경은 1.5mm로 일정하게 하였다.

실험에서는 각 노즐의 공기제트의 유량에 대하여 분무된 물의 유량을 측정하는 동시에 미립화 기구 및 특성을 조사하여 흡상식 용용소재의 미립화의 타당성을 확인하였다.

2.2 흡상되어 공급된 분무량

그림 4는 각 노즐에 대하여 공기제트의 유량 W_A 및 노즐선단에서 수면까지의 거리 L_h 의 변화에 대한 물의 흡상 분무량 W_L 의 변화를 나타낸 것이다. 분무량 W_L 은 L_h 가 높을수록, W_A 가 적을수록 감소한다.

물을 빨아올리는 힘은 노즐 주위의 공기의 흐름

에 의한 점성력의 영향에 의해 생기는 것으로, 공기제트의 속도가 빠를수록 공기제트와 주위 공기사이의 운동량의 교환이 커지기 때문에 공기의 유량이 클수록 물의 공급, 분무된 유량은 많아진다.

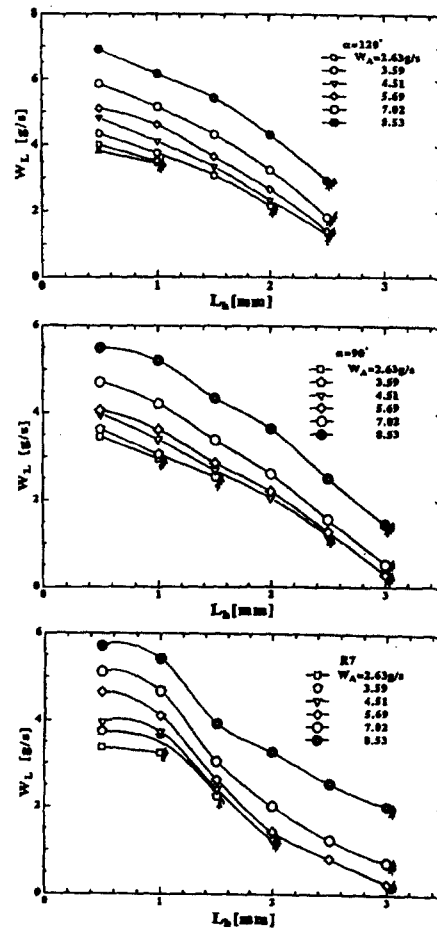


Fig.4 Relation of L_h , W_L and W_A

2.3 분무양상의 사진관찰

그림 5는 R7 노즐을 사용하고 공기유량 $W_A = 8.53 \text{ g/s}$ 로 일정하게 하였을 때, 노즐선단의 위치를 바꾸었을 때의 분무양상변화의 이중노광사진이다. 노즐표면상의 액막생성 및 유동을 조사하기 위하여 먼저 노즐만의 투과광사진을 촬영하고 공기를 보내어 분무를 생성시킨다음, 동일한 필름위에 다시 한번 분무를 촬영한 것이다.

공기제트에 의해 흡상공급된 물은 노즐선단

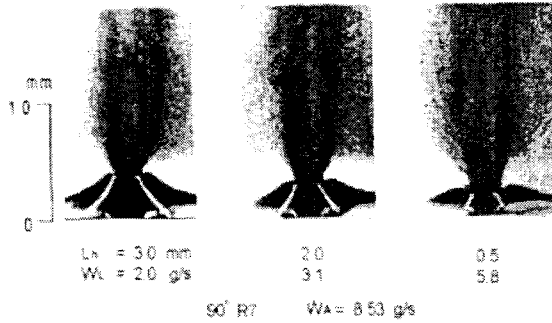


Fig.5 Photograph of Spray by Double Strobo Method

에서 얇은 액막으로 되어 공기제트에 빨려 들어가 변형·미립화된다. 분무는 노즐부근에서는 중공이지만, 흐름이 발달할수록 중심부까지 액적이 들어가서 중공이 아니게 된다. 이것은 공기제트의 포텐셜 코어 주위의 혼합영역에 액막상으로 빨려들어간 물이 제트의 발달에 의한 난류확산층의 생성에 의하여 제트의 중심부에 흡인되고 확산되기 때문이다. 또한 L_h 가 작을수록 액막이 두껍게 되어 흡상분무량은 많아지고 노즐부근에서의 분무각은 좁아지는 것을 알 수 있다. 이것은 물이 많이 빨려들어간 상태에서는 제트의 밀도가 높아져서 관성력이 크게되고 관통력 또한 크게된 때문이라고 생각한다.

또한 빨려올라간 물은 노즐의 선단부근에서는 액막의 높이가 낮아져서 분화구와 같은 모양으로 보인다. 이것은 그림 6에 나타난 것과 같이, 주위공기의 점성력과 빨려 올라간 물의 중량이 평형이 되는 높이까지 상승하지만, 빨려올라간 물은 공기노즐의 선단부근의 빠른 공기제트에 빨려 분무되어버리기 때문이다. 또한 공기제트에 의해 빨려 올라간 물의 양은 주위공기의 흐름의 점성력에 의한 액막내의 속도분포 등의 여러 가지 요인에 의해 제한된다.

2.4 미립화특성

일반적으로 분무류와 같이 크고 작은 많은 수의 입자의 집합체의 특성을 파악하기 위하여 평균입경과 입도분포 등을 수량적으로 표시할 필요가 있다. 보통 분체에 있어서의 평균입경은 매디안 입경으로 대표입경을 표시하는 경우가 많으나, 이 대표입경은 분포함수를 사용하는 경우에 편리하며, 분체를 세로 분리하는 경우의 척도

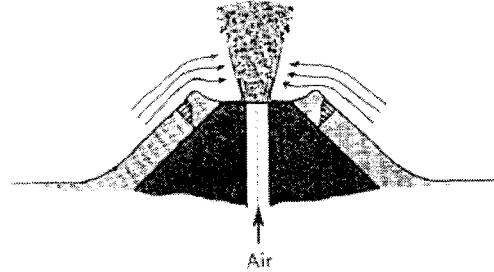


Fig. 6 Flow Pattern of Liquid Flow at Nozzle Surface

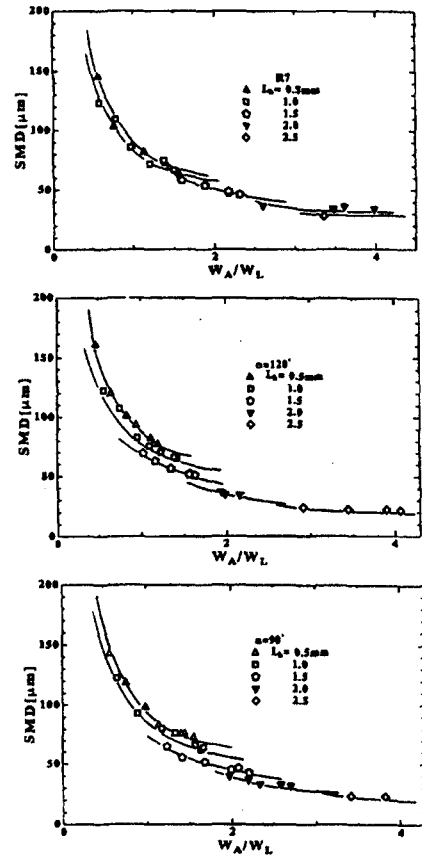


Fig. 7 Relation of SMD and W_A/W_L

입경으로서의 의미를 가지고 있지만, 물리적으로는 별로 의미를 가지고 있지 않다. 따라서 여기서는 물리적 고찰이나 타의 연구와의 비교를 위하여 매디안 입경보다 연소 등의 일반적인 미립화 특성에 많이 사용되고 있는 Sauter 평균입경을 사용하였다.

그림 7에 각 공기노즐의 기액 유량비에 의한 Sauter 평균입경 SMD의 변화를 나타내었다. 물의 분무량 W_L 은 공기의 유량 W_A 및 공기노즐의 위치 L_h 에 의해 제어되기 때문에 평균입경은 거의 같은 형태의 곡선에 의해 변화하고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 8에 2중 노광확대사진으로부터 측정된, L_h 의 변화에 따른 노즐표면상의 액막의 두께 변화를 나타내었다. 물이 노즐의 표면을 따라 액막 상으로 빨려올라가서 가장 두꺼워진 곳의 액막의 표면으로부터 노즐표면까지 법선방향의 거리를 측정하였다. 이 액막의 두께와 미립화특성과는 직접관계하고 있지는 않지만, 최초공기제트에 밀려들어가 미립화되는 때의 액막의 두께는 그림 8에서의 두께의 액막이 늘어나서 생성되기 때문에 미립화특성과 다소 관련하고 있으며, 정성적인 비교는 가능하다고 본다. 그림에 의하면 노즐위치가 수면에 가까울수록 액막은 두꺼워진다.

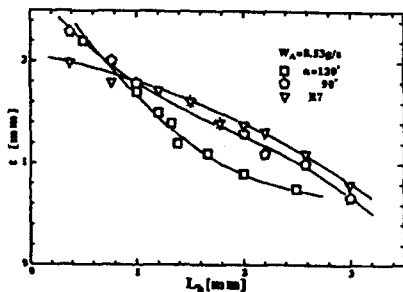


Fig. 8 Relation of L_h and Thickness of Liquid Film

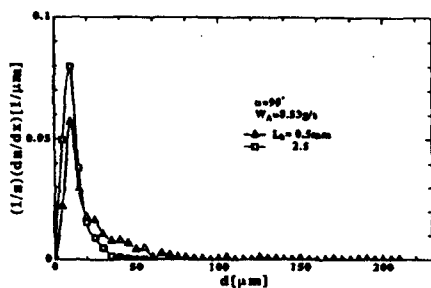


Fig. 9 Drop Size Distribution in Spray

그림 9는 노즐선단각도 90°, 공기제트의 유량 $W_A=8.53g/s$ 인 경우의 입도분포를 나타내었다.

모드입경의 변화는 보이지 않지만 최대입경은 59 μm , 219 μm 으로 크게 차이가 난다.

즉 $L_h=2.5mm$ 의 경우가 $L_h=0.5mm$ 의 경우보다 그래프의 피크치가 높고 최대입경도 작고 미립화특성이 양호한 것을 보이고 있다. 이것은 그림 8의 액막의 두께에 대한 변화에 의하고 있다고 할 수 있다.

3. 주위공기의 엔트레인먼트를 차단한 개량 노즐에 의한 액체의 흡상공급 및 미립화 실험

3.1 노즐의 설계 및 시작

전절로부터, 공기제트에 의해 액체를 빨아올려 공급하는 방식은 가능하지만, 분출공기의 유량 및 공기노즐의 위치에 의한 변화가 심하여, 비중에 큰 용융소재를 빨아올려 공급하는 데 있어서 사용 가능한 범위가 좁은 것이 판명되었다.

이것을 해결하기 위하여 본 절에서는, 그림 10과 같은 구조의 개량형 atomizer 를 제안하였다. 공기노즐 선단부근에서는 주위공기가 공기제트에 의하여 흡인되기 때문에, 노즐 주위의 흡인공기의 유로를 차단하면 노즐부근이 부압의 영역이 형성된다고 생각하여, 노즐부근에 흡인되는 주위공기의 유로를 차단하는 오리피스부를 설치한 구조이다.

오리피스부와 노즐 선단까지의 높이 hc 는 조절 가능하게 설계되어 있으며, 오리피스의 벽의 내경은 32mm, 오리피스 선단부의 내경 D_L 은

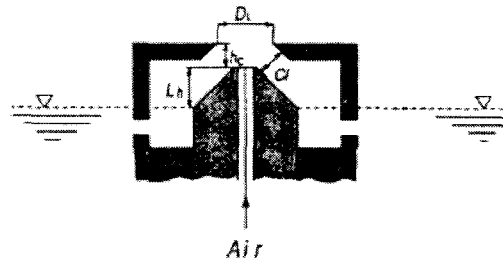


Fig. 10 Improved Nozzle

$hc(mm)$	-1	0	1	2	3	4	5	6
$Cl(mm)$	0.97	1.48	2.12	2.82	3.53	4.18	4.72	5.09

표.2 hc 와 Cl 과의 관계

0.8mm이다. 또한 오리피스 선단의 각도는 45°, 노즐 선단각도는 90°로 하였다. 또한 hc 가 변화함에 따라서 오리피스와 노즐 사이의 간극 Cl 도 바뀐다. 표 2에 hc 와 Cl 의 관계를 나타내었다.

3.2 흡상 공급된 분무량

그림 11에 공기노즐의 선단과 오리피스의 선단부와의 높이차 $hc = 3.0\text{mm}$ 인 경우, 공기제트의 유량 W_A 및 공기노즐의 위치 L_h 의 변화에 따른 흡상공급된 분무량 W_L 의 변화를 나타내었다. $hc = 3.0\text{mm}$ 의 경우, 오리피스를 사용하지 않은 경우인 그림 4의 경우와 비교하면, W_L 은 전체적으로 증가하였다. 또한 W_L 에 미치는 L_h 의 영향은 무시할 수 있을 정도로 작은 것을 알 수 있다.

그림 12는 $hc = -1\text{mm}$ (공기노즐의 선단이 오리피스보다 1mm 아래에 있음)의 경우, W_A 및 L_h 의 변화에 따른 W_L 의 변화를 나타낸 것이다. 오리피스부를 사용하지 않은 그림 4의 경우와

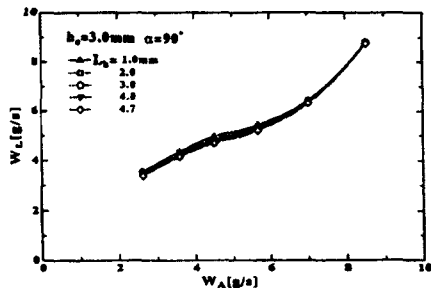


Fig. 11 Relation of W_A and W_L

W_L 을 비교하면, W_A 가 적은 경우 공급된 분무량 W_L 은 그림 12의 조건이 증가하였지만, W_L 이 많아진 경우는 그림 12의 경우가 오히려 감소한 것을 알 수 있다. 이것은 $hc = -1\text{mm}$ 의 경우, 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 오리피스부와 노즐간의 간극 $Cl = 0.97\text{mm}$ 로 좁아서 흡상공급되는 물의 유량이 제한되기 때문이다.

그림 13은 오리피스부의 위치 hc 의 변화에 따른 흡상공급된 분무량의 변화를 나타낸 것이다.

W_L 은 hc 가 커짐에 따라 증가한다. 이것은 오리피스부의 선단이 노즐로부터 높아짐에 따라 오리피스 내부의 부압이 커져서 압력차에 의해 물이 빨려올라가기 쉬워진 때문이다. 또한

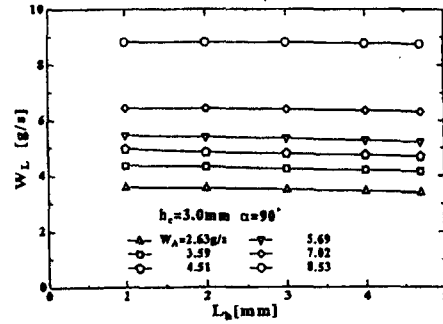


Fig. 12 Relation of L_h and W_L

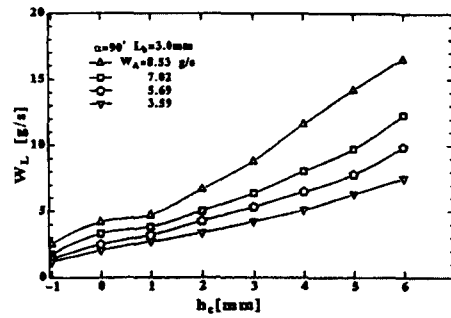


Fig. 13 Relation of hc and W_L

오리피스부의 선단이 노즐의 선단에 가까워지면 Cl 이 좁아져서 물의 흡상공급 유로를 제한하여 $hc = -1\text{mm}$ 의 조건($Cl = 0.97\text{mm}$)에서는 급격히 W_L 이 감소한다.

3.3 미립화 특성

그림 14에 노즐의 위치 $hc = 3.0\text{mm}$ 의 경우 기액 유량비에 의한 자우터 평균입경 SMD의 변화를 나타내었다.

물의 분무량은 공기의 유량 W_A 및 오리피스부의 위치 hc 에 의해 제어되기 때문에 기액유량비 W_A/W_L 의 범위는 좁으나 평균입경은 거의 같은 형태의 곡선에 의해 변화하고 있다는 것을 알 수 있다. W_A/W_L 가 작아지면 단위액체질량에 부여되는 공기제트의 미립화용 에너지의 양이 적어지기 때문에 미립화가 나빠져서 SMD가 커지게 된다. W_A/W_L 이 같고 hc 가 다른 경우, hc 가 작은 쪽이 평균입경이 작아진다. 이것은 hc 가 작으면 Cl 도 작아져서 공급액체유량 W_L 이 제한되고, 액막의 생성도 얇아져서 미립화

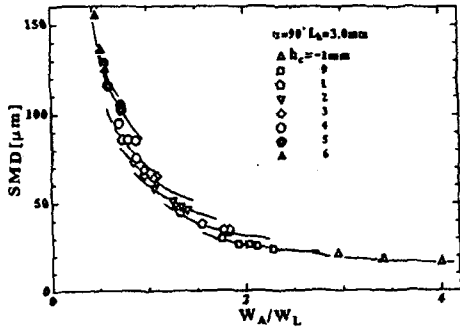


Fig. 14 Relation of SMD and W_A/W_L

에도 영향을 미치고 있기 때문이다.

그림 15에 노즐의 위치 $h_c = 3.0\text{mm}$, 공기제트의 유량 $W_A = 8.53\text{g/s}$ 인 경우의 입도분포를 나타내었다. 모드입경은 $h_c = -1\text{mm}$, $\text{SMD} = 20.3\mu\text{m}$ 의 경우도 $10\mu\text{m}$, $h_c = 4.0\text{mm}$, $\text{SMD} = 116\mu\text{m}$ 인 경우도 $10\mu\text{m}$ 로서 변화가 없으나, 최대입경은 $46\mu\text{m}$, $235\mu\text{m}$ 로서 크게 차이가 난다. 즉, $h_c = -1\text{mm}$ 의 경우가 $h_c = 4.0\text{mm}$ 의 경우보다 그래프의 피크치가 높고 최대입경도 작아서 미립화가 양호하다는 것을 알 수 있다.

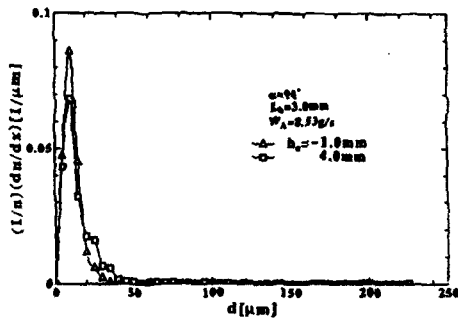


Fig. 15 Drop Size Distribution in Spray

4. 결론

공기제트에 의해 고온용융소재를 공급·미립화하는 새로운 방식의 atomizer의 개발을 위한 기초적 연구로서, 단순한 공기노즐과 개량된 atomizer를 설계, 제작하여 액체의 공급 능력 및

미립화기구, 특성을 조사하는 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

단순한 공기노즐의 실험을 통하여서는

(1)노즐로부터 분출하는 공기제트에 의해 용융소재를 빨아올려 공급하는 방식은 가능하지만, 비중이 큰 용융소재의 공급에 있어서 사용 가능한 조건의 범위가 좁다.

(2)공기제트에 의해 빨려올라가 공급된 물의 분무량은 공기유량 W_A 이 많을수록, 공기노즐의 위치가 수면에 가까울수록 많아진다.

(3)흡상공급된 액체는 노즐 표면상에서 액막상태로 공급되어 공기제트에 빨려들어가 미립화된다.

(4)미립화의 실험에서는 기액유량비 W_A/W_L 이 4정도에서 자우터 평균입경 $\text{SMD} 20\mu\text{m}$ 이하, 모드입경 $10\mu\text{m}$ 의 좋은 분무가 얻어졌다.

공기제트에 빨려들어가려는 주위공기의 유로를 차단한 개량형 노즐의 실험에서는

(5)공기제트에 빨려들어가려는 주위공기의 유로를 차단하는 것에 의해 안정된 액체의 공급이 가능하다.

(6)물의 공급된 분무량 W_L 은 노즐선단의 수면으로부터의 위치 L_0 에는 거의 영향을 받지않고, 오리피스부의 노즐선단으로부터의 위치 h_c 에 의해 제어가 가능하다.

참고문헌

- (1) 대한금속학회 편, "분말야금기술", 대한금속학회, 1987
- (2) 김문일 역, "분말야금과 소결기구", 청문각, 1981
- (3) J. S. Thomson et.al. "A Study of Process Variables in the Production of Aluminium Powder by Atomization".
- (4) J.A.Tallmage. "Powder Metallurgy Processing", Chap.1, Academic Press, 1978
- (5) T. Kato and K. Kusaka. "On the Recent Development in Production Technology of Alloy Powders", Material Trans., JIM, 31(5):363-374,1990
- (6) S. Small and T. Bruce, "The Comparison of Characteristics of Water and Inert Gas Atomized Powders", Int.J.of Powder metallurgy, 4(3), 7-17, 1968
- (7) H. Lubanska "Correlation of Spray Ring Data for Gas Atomizaion of Liquid Metals", J. of Metals, 22: 45-49, 1970
- (8) 오재건 외, "Atomize법에 의한 미분제조에 관한 기초적 연구", 액체미립화 학술강연회,

63-68, 1991

(9) 吳在健 외, “高效率ガスアトマイズ法による
熔融素材の微粒化に関する研究”, 第1回微粒化シ
ンポジウム論文集, 1992

(10) 오재진, “高效率가스アトマイズ法による熔
融素材の微粒化に関する研究”, 東北大學工學研究
科 精密工學専攻 博士學位論文, 1994. 3

(11) 平井哲郎, 永井伸樹, 1次元イメージセンサを利用
した簡便な噴霧粒径測定法, 第10回液體微粒化에
關한 講演會論文集, 77-82, 1982

(12) 平井哲郎, 永井伸樹, 1次元イメージセンサを利用
した簡便な噴霧粒径測定法, 日本機械學會論文集
.50卷455號, 1776-1784, 1984