

초음파를 이용한 연료의 미립화



최 태 민

(유체공학연구실장)

- '73. 2 경북대학교 기계공학과 졸업(학사)
- '74-'77 국방과학연구소(연구원)
- '77. 2 경북대학교 대학원 졸업(석사)
- '81. 3 오하이오주립대학교 기계공학과 졸업(석사)
- '85. 5 위스콘신 대학교 기계공학과 졸업(박사)
- '85. 5 대우기전공업(주)(부장)
- '90. 4-현재 한국기계연구소 선임연구원



김 상 진

(유체공학연구실 연구원)

- '88. 2 부산대학교 기계공학과 졸업(학사)
- '90. 2 부산대학교 대학원 졸업(석사)
- '90. 4-현재 한국기계연구소 연구원

1. 서 론

액체의 미립화를 이용하는 분야는 액체 연료의 연소, 고온 물체의 냉각, 분무 도장 화학공정, 의료분야등 거의 모든 산업분야이다. 그리고 각 분야에서의 좋은 미립화는 사용하고자 하는 목적에 따라 다르지만 일반적으로 좋은 미립화는 표면적을 늘리고, 작은 입경과 균일한 입경의 액적을 얻는 것이라 말할 수 있다. 미립화 방법에는 여러가지가 있는데, 그 중 대표적인 것으로 유압 분무형, 이류체 분무형, 회전형, 진동형 등이 있다. 그중에서 초음파의 진동을 이용한 미립화방법은 균일성이 우수한 액적을 발생시키는 것으로 알려져 있다. 이 방법이 알려진 것은 오래전의 일이지만, 최근 높은 균일성과 약한 관통력을 이용하여 자동차 엔진이나 Gas Turbine Combustor의 연료무화기로 사용하려는 연구가 활발하다.

이에 본 고에서는 현재 많이 사용되고 있는 몇가지 분무 방법을 알아보고, 특히 초음파를 이용한 미립화 방법의 일반적인 사항, 연료분무기로써의 사용 실태 및 당실에서 Particle Dynamics Analyzer(PDA)를 이용하여 연구한 초음파미립화의 기초 연구 결과 등을 소개하고자 한다.

2. 액체의 미립화 방법

현재 사용되고 있는 분사노즐은 각기 다른 특성을 가지고 있지만 분무된 미립화라는 면에서 해석하여 액주, 액막, 액적 등의 분열기구에서 보면 본질적으로 같다고 볼 수 있다. 그러므로 미립화 방법을 분류할 때 미립화를 위해 사용되는 에너지에 의해 아래 표 1과 같이 나눌수 있다.

표 1) 분사노즐의 종류

액 자신에 의한 미립화	압력 분사노즐 (Pressure Atomizer)	고압분사노즐 저압분사노즐
	와권 분사노즐 (Swirl Atomizer)	와권식분사노즐 원심형분사노즐
보조 수단에 의한 미립화	회전식 분사노즐 (Rotary Atomizer)	회 전 캡 회 전 원 판 회 전 분 구 회전다공질원판
	이류체 분사노즐 (Twin-Fluid Atomizer)	내부 혼합식 외부 혼합식
	진동형 분사노즐 (Ultrasonic Atomiser)	전 기 식 기 계 식
	정전기 방식 (Atomization of Static Electric Force)	정 전 기

2.1. 압력 분사노즐

압력 분사노즐은 액체에 높은 압력을 가하여 노즐의 작은 구멍으로부터 기류중에 고속으로 액체를 분출시켜 주위 기체와 액체 사이에 생기는 큰 상대속도에 의해 액체의 분열을 일으키는 것이다. 이 방식을 이용한 노즐의 종류는 다양하지만 특히 자동 분사노즐과 와권 분사노즐이 널리 사용된다.

자동 분사노즐은 연료의 유압으로써 니들(needle)을 올렸다 내렸다 하여 분무를 행하는데 주로 수 100kg/cm²의 고압으로 사용되어진다.

와권 분사노즐 역시 압력으로 인한 에너지를 액체에 부여함으로써 미립화 한다. 액체는 와권실에서 접선방향으로 도입되고, 선회운동이 부여되어져 노즐로부터 선회되면서 분출되어 미립화 된다.

와권 분사노즐에서는 압력 변화만으로써 유량을 조절하는 형식과, 압력을 변화시키지 않고 넓은 범위에 걸쳐서 유량을 변화시킬 수 있는 형식으로 나뉘어 진다.

2.2. 이류체 분사노즐

이류체 분사노즐이란 액체가 제 2의 유체에 의해서 미립화 되는 형식의 분사노즐을 말한다. 제 2의 유체로서는 압축성으로 다량의 에너지를 저장 할 수 있는 공기와 증기가 사용되어 진다. 이 방식에서는 비교적 낮은 압력으로 양호한 분무를 얻을 수 있다. 또 미립화 하는 에너지를 액체측은 거의 필요 없고, 기체의 운동량을 변화시키는 것에 의해서 액체의 유량에 거의 관계없이 미립화의 정도를 변화시킬 수 있다.

이류체 분사노즐의 종류에는 그림 1과 같이 이류체가 혼합되는 위치에 따라서 (a) 내부혼합형 (b) 외부혼합형으로 나눌 수 있다.

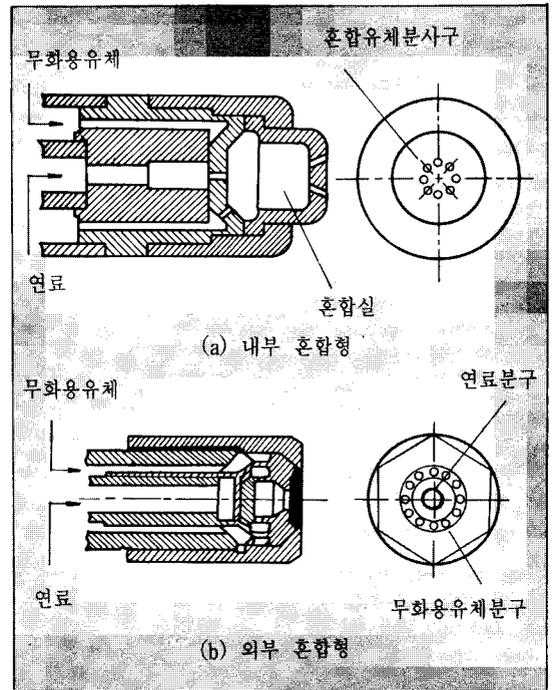


그림 1) 이류체 분사노즐

2.3. 초음파를 이용한 미립화

초음파를 이용한 미립화 노즐은 진동에너지를 이용한 미립화 방식이다. 즉 초음파 진동을 하는 고체면에 액을 공급하면 액면에 규칙적인 파장을 일으켜 파장의 머리부에서 미립화 하게 되는 것이다. 진동자에는 여러가지 방법이 있지만 주로 사용하는 방법은 고체 진동자를 이용한 방법이다.

여기에는 다음의 두가지로 나눌 수 있다.

고체 진동면으로 부터 액체가 직접 분열되는 방법과 고체 진동면에서 상당히 떨어진 표면에서 간접적으로 분열되는 방법이다.

3. 초음파 미립화 기술과 그 현황

초음파를 이용하여 액체를 미립화 하는 방법은 새로운 것은 아니나 최근에 엔진에서의 분무기로서 주목되어 연구가 활발하다.

초음파 분무기의 작동원리, Horn의 특성과 국내의 기술현황 등에 대하여 알아본다.

3.1. 초음파 분무기의 작동원리

현재 이용되고 있는 초음파 발생법은 표 2와 같이 기계식 발전기와 전기식 발전기로 대별된다.

위의 여러 방식 중에서 많이 사용되는 진동자는

표 2) 초음파 발생법

구동 방법	구동 원리	진동자	발생주파수 (kHz)	매 질
전기식 발전기	압전형	수 정 로셀염 인산안몬	20-30,000 0.2-1,000 0.2-1,000	기체, 액체, 고체 액체, 고체 액체, 고체
	전왜형	티탄산 -바륨 질콘산 티탄산염	10-10,000	액체, 고체
	자왜형	니켈 Fe-Al Ni-Cu계 Ferrite	10-100	기체, 액체, 고체
기계식 발전기	전자형		0.2-25	액체
	기계구동형	Garton -nozzle	2-100	기체, 액체
		Hartmann -nozzle	4-60	기체,
		Siren	1-60	기체, 액체

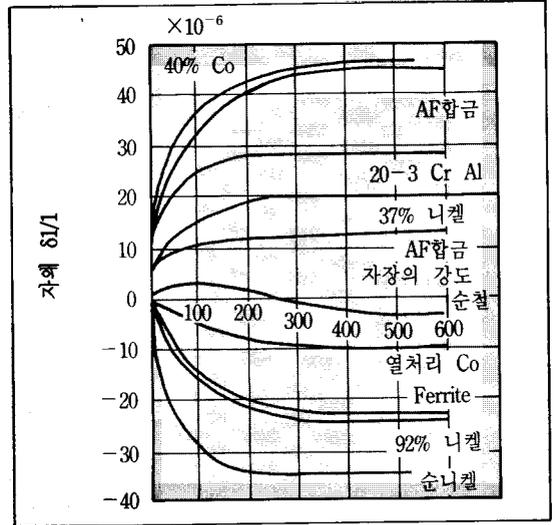


그림 2) 자왜금속의 정자왜 특성

전왜형의 티탄산 바륨과 자왜형의 니켈, Ferrite 인데 이중에서 자왜형에 대하여 알아본다.

자왜형 진동자의 구동 원리는, 강자성체를 봉상으로 하여 자장속에 두고 자화시키면 그 자화의 방향으로 길이가 변화하는 Joule's Effect를 이용한 것이다. 그림 2는 각종 금속의 자왜 δ_1/l (1은 봉의 길이, δ_1 는 팽창 또는 수축한 길이)와 그때의 자장의 강도와의 관계를 나타낸다. 그림 2에서 보는 바와 같이 40% Co와 같이 자화하면 그 금속의 길이가 늘어나는 것, 니켈과 같이 수축하는 것 그리고 순철과 같이 자장의 강도에 따라 늘어나고 줄어드는 것이 있어 금속의 재질에 따라 자왜 현상이 다르다. 실제로 자장을 만들려면 그림 3의 (a)와 같이 강자성체의 봉에 권선을 감아서 직류 전류 I_D 를 통하면 정전 자장의 강도 H_D 가 얻어지고 봉은 길이 방향으로 자화되어 편기자화 M_D 가 생긴다. 다음으로 코일에 교류 전류 I_A 를 중첩해서 보내면 봉의 자화는 편기자화 M_D 를 중심으로 그림 3의 (b)와 같이 교류 전류와 똑같은 주파수로 변동한다. 자화가 변동하면 Joule 효과에 의하여 봉은 신축하게 되고 봉의 양단면에서 음파가 발생된다. 이 때의 봉의 주파수는 교류 전류의 주파수와 똑같으면 봉은 공진하며 진동이 더 강해진다. 실제의 진동자는 봉의 형태로 하면 교류 전류에 의하여 표피 효과등 때문에 발열이 크므로

박판을 겹쳐서 만든다.

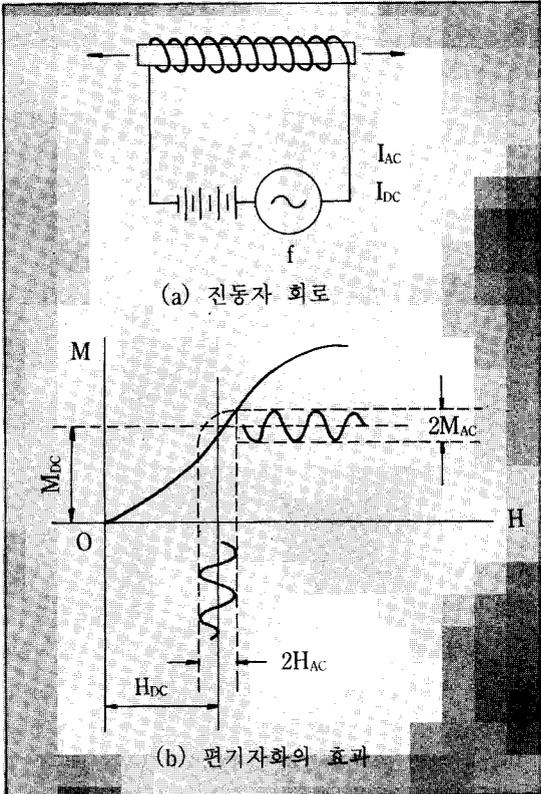


그림 3) 편기자화의 효과

3.2. Horn

Horn의 형상에는 여러가지가 있으나 기본적으로는 Step형, Catenoidal형, Exponential형, Conical형이 많이 사용된다.

Horn의 형상 설계에는 공진조건, 공진 분포, 진폭 확대율, 진동응력분포 등을 고려해야 한다. 한가지 예로 여러가지 Horn 중 분면적비가 일정할 때 최대의 진폭 확대율을 가지는 Step형은 그림 4에서 보는 바와 같이 입력측 면적 S_1 , 출력측 면적 S_2 로 반파장 공진하는 Horn에서 l_1 의 길이를 변화시킨 경우의 진폭 확대율을 나타내며, l_1 의 길이가 $\lambda/4$ 와 같을 때 M 은 최대로 된다.

3.3. 선진국의 사용 사례

위와 같은 초음파 분무기의 실제 사용 사례를

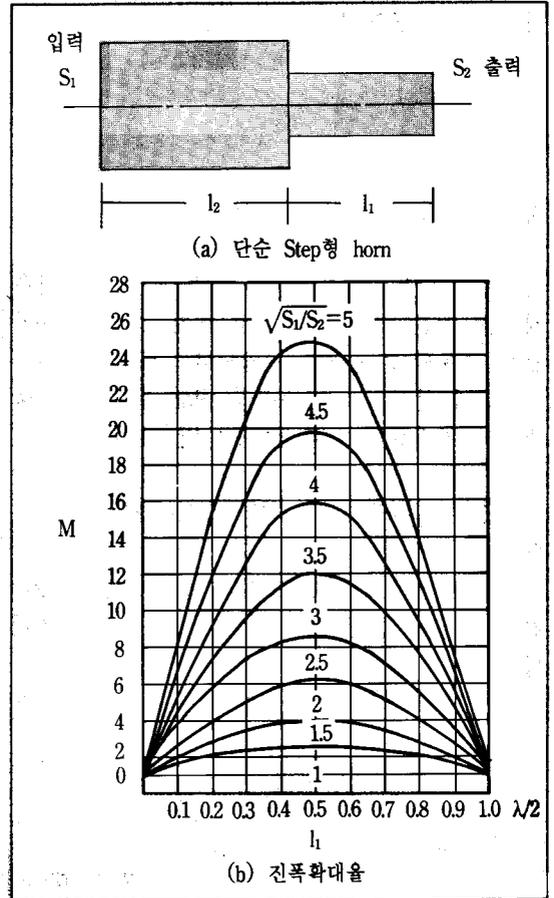


그림 4) 단순 Step형 horn과 진폭확대율

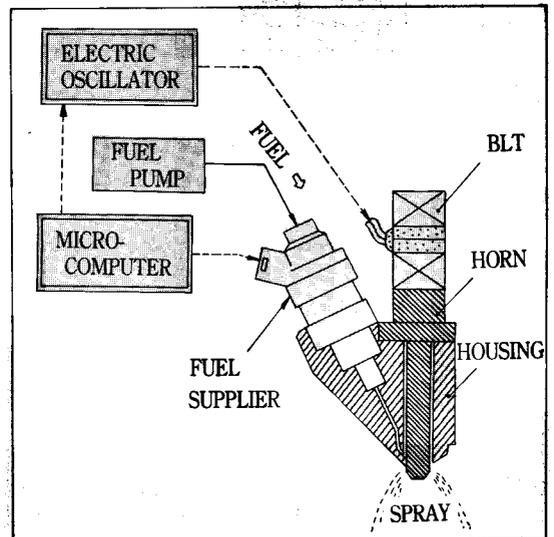


그림 5) 초음파분무기

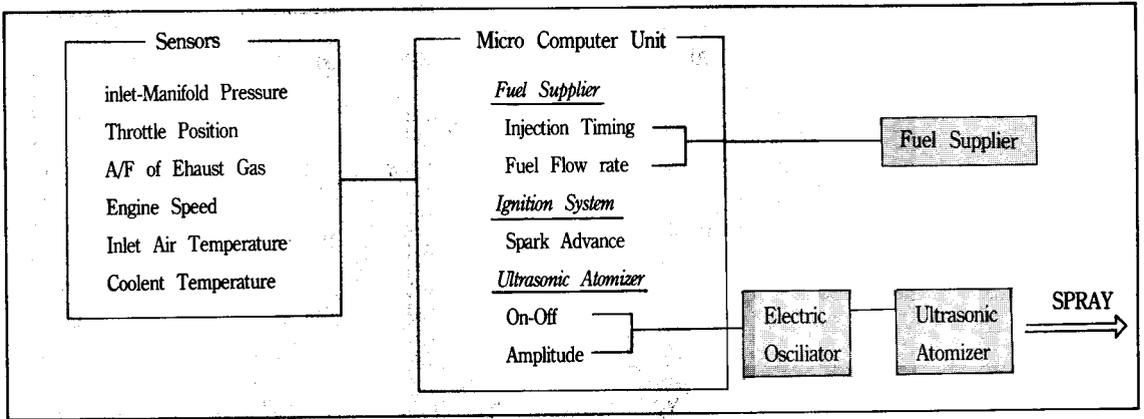


그림 6) 초음파연료 분무 시스템의 블록선도

다음에 소개한다.

일본에서는 초음파분무기를 기초로 S.I 엔진의 연료분무기를 개발 중인데 그 개략은 그림 5, 6에서 보인다.

작은 입자 크기와 낮은 관통력으로 특징 지어지는 초음파 분무 미립자는 연료의 움직임과 균일한 혼합을 용이하게 할 수 있다. 이러한 분무기의 입자 운동은 쉽게 주위공기의 영향을 받기 때문에 정확한 분사시기를 맞춤으로서 분무를 실린더 안으로 정확하게 전달할 수 있다. 그리고 초음파 분무기는 비교적 넓은 유량 범위에서도 좋은 미립화를 할 수 있다.

이러한 특징을 가진 초음파 분무기를 이용한 Single cylinder 엔진은 연소 속도와 순간 반응 성능에서 큰 향상이 있었다. 상용 SPI 엔진의 실험에서는 초음파 분무기는 흡입 Manifold 구조의 변경 없이도 모든 실린더에서 일정한 Air/Fuel 분포를 유지했으며 추운 날씨에서도 분무기는 좋은 시동성을 유지하였다. 그리고 마이크로 컴퓨터를 포함한 초음파 분무기 시스템은 일본에서의 여러가지 test 결과 약 2%의 유류 절약을 할 수 있었다. 그리고 최근에는 소형 가스터빈 연소기에 초음파 분무기를 이용하려는 시도가 활발하다.

3.4. KIMM의 연구 현황

본 실에서 수행중인 초음파 미립화에 대한 연

구를 소개한다. 실험장치의 개략은 그림 7과 같다. 이 실험은 초음파 미립자의 미시적 특성을 연구하는 기초 연구로써 진동 주파수가 20 kHz Ferrite 진동자를 이용하여 Step형 Horn을 진동시켜 대기압 상태의 공간에 Cetane을 분무할 때 발생하는 평균입경분포, 속도분포, 농도, 분무흐름 각도 등을 측정했다. 20 kHz의 진동자를 이용하고 세탄의 유량을 1, 2, 5 cc/min로 바꾸어 가며 실험한 결과의 일부는 다음과 같다.

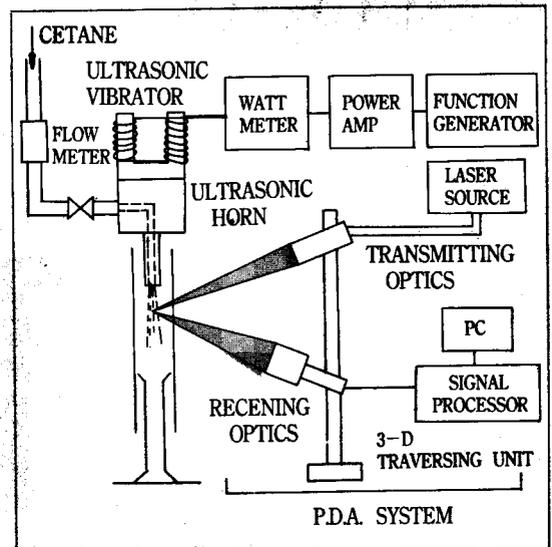


그림 7) 실험장치의 개략도

그림 8은 유량의 변화에 따른 각종 평균입경의 변화를 보여주고 있다. 그리고 유량의 증가에 따라

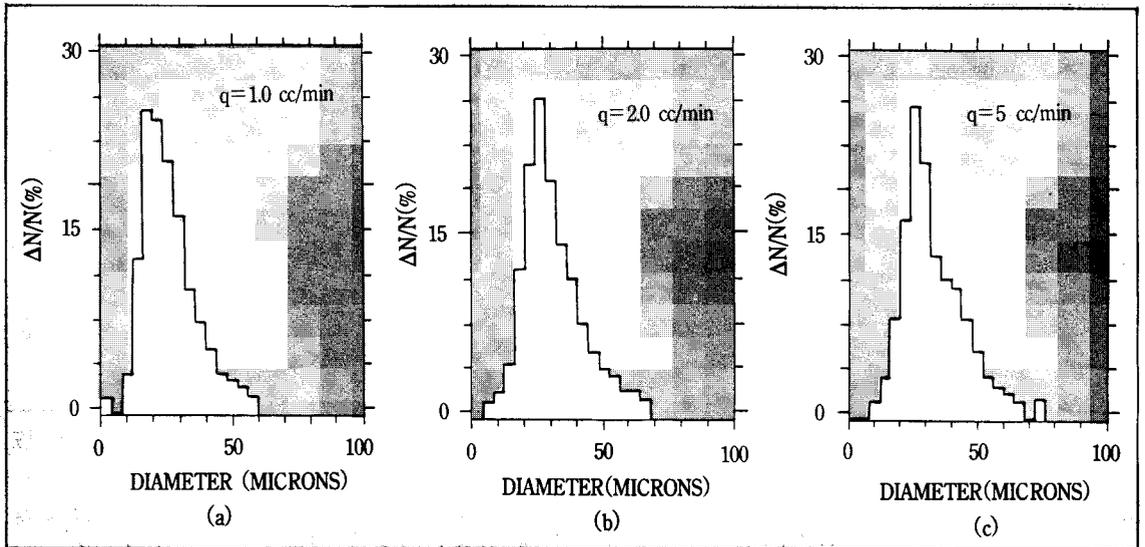


그림 8) 입자지름의 분포도

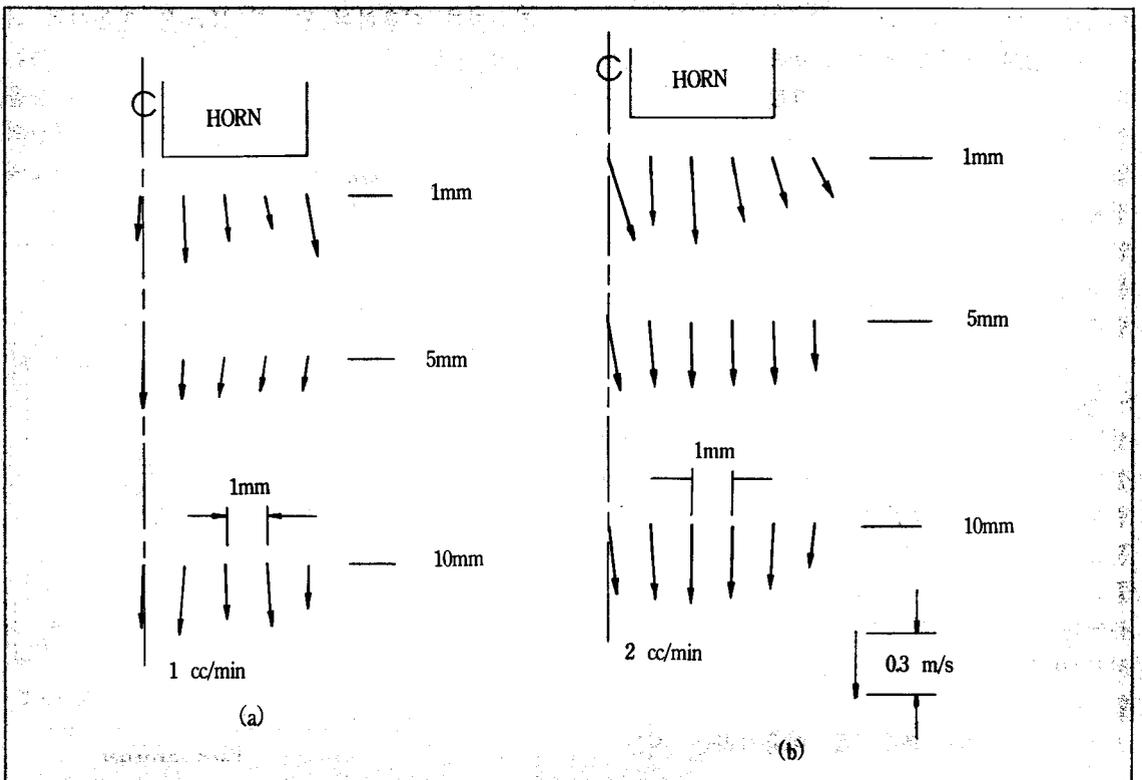


그림 9) Horn 주위에서의 입자들의 속도

Sauter Mean Diameter(SMD)는 1 cc/min에서는 32.4 μ m, 2cc/min에서 37.7 μ m 그리고 5cc/min에서는

40.7 μ 로 증가함을 알 수 있다.

그림 9는 유량이 1, 2 cc/min 일때에 노즐선단

가까운 지점에서의 입자들의 평균 속도와 분무의 흐름 각도에 대하여 측정된 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 반경 방향 속도는 노즐 선단 직후에 강하게 나타날 뿐이며, 주로 축 방향 속도가 분무의 움직임을 좌우한다고 말할 수 있다.

4. 결 론

지금까지 일반적인 미립화 방법, 특히 초음파를 이용한 미립화 방법 및 이용사례에 대하여 살펴

보고 당 실의 연구결과를 소개하였다.

선진국의 경우 가스터빈이나 각종 엔진에 대해서 초음파미립화를 통한 연소효율과 배기가스 절감 등을 위해 많은 연구를 하고 있지만 국내의 연소를 위한 초음파 미립화 기술은 아직 실험실 규모를 벗어나지 못하고 있다.

따라서 본 실에서는 이때까지의 연구를 바탕으로 실제기관 등에 사용될 수 있는 초음파 미립화 노즐기술 개발에 관한 연구를 적극적으로 수행할 예정이다.