

농업용 액체 분무용 초음파 분사시스템 개발

Development of an Ultrasonicated Spray System for Agricultural Liquid Atomization

연구 기관
경 상 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농업용 액체 분무용 초음파 분사시스템” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002 년 12 월 28 일

주관연구기관명 : 경상대학교

총괄연구책임자 : 나 우 정

세부연구책임자 : 주 은 선

협동연구기관명 : 호서대학교

세부연구책임자 : 정 진 도

참여기업 대표 : 정 한 택

연 구 원 : 송 민 근

연 구 원 : 이 경 열

연 구 원 : 강 도 훈

연 구 원 : 정 병 섭

연 구 원 : 김 진 철

연 구 원 : 임 영 재

연 구 원 : 황 승 민

연 구 원 : 조 정 호

요 약 문

I. 제 목

농업용 액체 분무용 초음파 분사시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

작물의 병충해 방제는 농산물의 품질과 생산량에 직결되므로 매우 중요하다. 특히 시설재배의 경우 밀폐된 온실공간은 고온 다습하여 각종 병해충의 번식에 유리한 조건을 형성하게 되므로 병충해 발생빈도가 무척 높아 효과적인 방제는 더욱 중요하다. 바람직한 방제는 농약의 종류에 구애받지 않고 사용할 수 있고 잎의 뒷면 및 무성한 작물의 속잎 등에도 연무에 의해 농약이 균일하게 부착되므로 소량의 농약으로도 방제효과를 극대화할 수 있고, 따라서 농약의 사용량을 줄이고 토양 및 수질의 오염을 방지하는 친환경적이며 저 공해 농산물의 생산을 보장하는 것이라고 할 수 있다. 또한 농민을 방제작업의 중노동과 위험한 약해로부터 해방시키기 위해서는 방제의 자동화가 수반되어야 한다. 최근 우리나라의 시설재배는 더욱 광범위하게 확대, 발전되고 있으므로 이에 상응하는 고효율 방제는 필수적이므로 고효율 분무노즐의 개발이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 이를 위하여 농업용 액체 분무시스템에 초음파 기술을 적용하였다. 비닐하우스 내부에서나 그 외에 사용되는 농업용 분무기는 비료나 농약의 분사시 미립화 정도가 낮아서 약액의 낭비가 매우 높아 효율성이 떨어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 액체 내부에 초음파가 전달될 때 발생하는 캐비테이션 응용, 고효율 horn 및 최적 2-유체노즐형상 설계, 액체매질의 고유 진동수와 진동자와의 공진 조화 등에 관한 다양한 실험을 통해 고효율 초음파 분무 미립화 시스템을 개발하여 작업현장에서의 방제작업 또는 냉방의 효율을 높이고자 하였다. 현

재 상온연무기에 사용되는 2-유체 노즐의 특징인 사이편효과로 액체가 공급되므로 액체 내부에 결정질이 존재하는 수화제의 경우 사용이 극히 제한되고 있는 실정이므로 초음파를 이용한 수화제의 혼합 및 파쇄 효과를 이용하여 기존의 연무노즐의 한계를 극복하는 것도 필요하다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 상온연무기 2-유체 노즐용 초음파 부가장치의 개발
 - 가. 균일 입경의 분무가 가능한 초음파 적용 2-유체 노즐설계
 - 나. 수화제를 파쇄하여 노즐막힘이 없는 구조로 초음파 적용 2-유체노즐 설계
 - 다. 초음파 적용시 농약의 구조변성에 미치는 영향 분석
 - 라. MALVERN System을 이용한 입경측정 실험

2. 상온연무기 2-유체 노즐용 초음파 부가장치의 온실 적용 실험
 - 가. 적외선 분광법을 이용한 부착밀도 측정
 - 나. 포집법을 이용한 온실내부의 부착입경 및 분포도 측정
 - 다. 시작기의 온실적용 실험
 - 라. 경제성 분석

3. 농업용 액체분무용 초음파 분사시스템 개발
 - 가. 농업용 분무노즐에 초음파 부가장치 설계
 - 나. PDPA, PIV를 이용한 2-유체 분무노즐의 초음파 적용 실험
 - 다. 초음파 분사시스템용 최적 혼 형상 설계

4. 초음파 분사시스템에서 분무기구 규명 및 해석 :
 - 가. CFD를 이용한 분무특성 및 유동장 해석
 - 나. 고속카메라를 이용한 분무상의 입자군 측정
 - 다. PDPA를 이용한 입경측정

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 입경감소 및 균일도향상

가. 초음파 가진 시의 입경 감소 효과는 분무방식에 따라 다르나 최대 11.2%로 나타났다.

나. 초음파 가진 시 설계노즐 2번의 경우 입경의 균일도가 더 향상되었다.

2. 온실내 분무액적 부착량의 증가

적외선 분광법을 이용하여 온실내 분무액적의 측정지점의 총 부착량을 측정한 결과 연무기 직전의 지점을 제외하면 초음파 가진의 경우가 높게 나타났다. 표준편차는 비가진의 경우 0.0065 ml, 초음파 가진의 경우 0.0044 ml로 나타나 가진의 경우에 온실 전면에 액적이 고르게 부착하는 것으로 나타났으며, 과다 액적 부착으로 약해를 입는 연무기 직전의 지점에서 초음파 가진의 경우에 부착량이 훨씬 적게 나타났다.

3. 온실 내 분무입경의 감소 및 균일도 향상

연무기 직전의 지점을 제외한 전체 측정영역에서 초음파 가진의 경우에 부착 입경이 작아 부착효율이 높고 표준편차가 작아 비교적 고른 입경 분포를 나타내는 것으로 나타났다.

4. 경제성 분석

가. 초음파 가진의 경우 입경감소, 균일도향상 및 수화제 사용가능 등으로 방제효과가 향상되고 농약의 선택폭이 넓어지므로 유리한 반면 전력량은 10.8% 더 소모되며 내구성 면에서는 다소 불리하다.

나. 초음파 가진 system을 구성하는 방식에 따라 연무기 자체의 생산가격은 기존의 비 가진식 제품보다는 약 30만원 정도 증가되거나 같을 것으로 나타났다.

5. 초음파 가진에 의한 농약변성 및 수화제 파쇄효과 확인

28 kHz의 초음파를 30초 이내로 농약액에 가진시킨 본 실험조건에서 농약의 변성은 문제되지 않았으며 수화제 파쇄효과가 강하여 농약선택의 폭이 대폭 넓어지고 현장의 큰 애로점인 노즐 막힘 현상이 근본적으로 해결되었다.

6. 특허 출원

가. 발명 특허

- 1) 발명의 명칭 : 실내 냉방 및 방제용 초음파 가진 시스템
- 2) 출원번호 : 10-2002-0088271

나. 실용신안

- 1) 고안의 명칭 : 초음파 혼을 구비한 2-유체노즐
- 2) 출원번호 : 20-2002-0039258

SUMMARY

I. Title

Development of Ultrasonicated Spray System for Agricultural Liquid Atomization

II. Purpose and Necessity

Pest control in crop production is very important in that it directly affects the quality and productivity of agricultural products. Especially, in the case of protected horticulture, the high temperature and the high humidity of the closed space form good conditions for reproduction of various harmful insects, so, the effective pest control is much more important. For effective pest control, it should be possible to use various kinds of agricultural chemicals and to maximize the effect of pest control though the applied quantity of agriculture chemicals is small by uniform deposition of chemical fog on the lower side of leaves and on the leaves deep into the dense crops, consequently, to decrease the applied amount of chemicals and to protect the soil and water from pollution.

To free farmers from heavy labor and danger of pest control, the automation of pest control is desirable. Recently, because the protected horticulture is enlarged, the corresponding efficient pest control is essential, so the high-efficient spray nozzle should be developed in advance.

In this study, ultrasonic technology was applied to the agricultural liquid system. The efficiency of common agricultural spraying machine is not high because of low atomization of chemicals. Consequently, in this study, it was tried to increase the efficiency of pest control or cooling of greenhouse by developing high-efficiency ultrasonicated spray atomization system through various

experiments concerning cavitation, design of high-efficient horn and optimum twin-fluid nozzle, and resonance harmony of liquid and vibrator.

The applying of wettable powder using cold-fog machine is extremely limited because liquid is fed by syphon effect of twin-fluid nozzle, so, it is quite necessary to overcome the limitation of conventional cold-fog nozzle by use of the effect of mixing and cracking of wettable powder induced from ultrasonic energy.

III. Scope and Content

1. Development of ultrasonic attachment for twin-fluid nozzle of cold-fog machine
 - Design of ultrasonic twin-fluid nozzle for uniform spray droplets
 - Design of ultrasonic twin-fluid nozzle protecting the nozzle from plugging by cracking wettable powder
 - Analysis of ultrasonic effect on the chemical structure change of agricultural chemicals
 - Spray droplet measurement using Malvern system

2. Application of ultrasonic attachment for twin-fluid nozzle of cold-fog machine to the greenhouse
 - Measurement of spray droplet deposit density using photoelectric spectrophotometer
 - Measurement of droplet size and distribution inside the greenhouse using drop-collecting techniques
 - Application of the prototype machine to the greenhouse
 - Economic analysis

3. Development of ultrasonicated spray system for agricultural liquid atomization
 - Design of ultrasonic attachment for agricultural spray nozzle
 - Ultrasonicated spray test of twin-fluid nozzle using PDPA and PIV
 - Design of optimum horn for ultrasonicated spray system

4. Analysis of spray mechanism of ultrasonicated spray system
 - Analysis of spray characteristics and flow field
 - Measurement of spray-phase droplet cluster using high-speed camera
 - Measurement of spray droplet using PDPA

IV. Results and Recommendations

1. Decrease of droplet size and increase of uniformity
 - Effect of ultrasonication on the decrease of droplet size was different depending on the spray mode, and maximum of 11.2% decrease was observed when ultrasonicated compared to the conventional ones.
 - Uniformity of droplet sizes from No.2 designed nozzle increased
2. Increase of spray drop deposit in the greenhouse
 - Total deposit quantity of spray droplets on the measuring points in the greenhouse measured using photoelectric spectrophotometer was higher when ultrasonicated than the conventional ones.
 - The spray droplets spread more uniformly on the whole ground of the greenhouse when ultrasonicated, yielding standard deviations of 0.0044 ml and 0.0065 ml, respectively, when ultrasonicated and conventional.
 - The deposit quantity on the spot just in front of and nearest to the fog-machine was much more lower when ultrasonicated.
3. Increase of spray droplet uniformity
 - The higher deposit efficiency and the more uniform droplet distribution were observed on the whole measured region except the spot just in front of the fog-machine, showing smaller droplet sizes and smaller standard deviations.

4. Economic Analysis

- When ultrasonicated, it is profitable because pest control effect is increased owing to the decrease of droplet size and the increase of uniformity, and the range of chemicals choice is widened owing to the useability of wettable powder, while on the other, electric consumption is higher by 10.8% and it is disadvantageous in the durability.
- The production cost of the ultrasonicated cold-fog machine could be higher by 30% or same according to the construction of the fog-machine compared to the cost of conventional ones.

5. Chemical structure change of agricultural chemicals and effect of cracking wettable powder.

- Under the experimental conditions of the 28 kHz ultrasonication of agricultural chemicals less than 30 seconds, the chemical structure change of the chemicals was quite negligible, and the cracking effect on wettable powder was strong, so, the range of chemicals choice could be widened by a large margin, which fundamentally settled the nozzle plugging problem which has been severe bottleneck in the farm.

6. Patent applied for

One Patent(Fog System With Ultrasonic For Indoor Cooling And Controlling Pests : 10-2002-0088271) and one utility model(Twin-Fluid Nozzle With Ultrasonic Horn : 20-2002-0039258) were applied to the Patent Office.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	14
1. Introduction	15
Chapter 2. Survey on the use of agricultural sprayer for pest control .	17
1. On-the-spot survey	18
2. Literature review	27
Chapter 3. Physicochemical characteristics of ultrasonicated agricultural chemicals	44
1. Introduction	45
2. Theoretical condition	50
3. Test equipments and methods	56
4. Results and discussions	69
5. Conclusion	104
Chapter 4. Analysis of spraying mechanism of ultrasonicated spraying system	106
1. Introduction	107
2. Literature review	110
3. Design of ultrasonic horn	111
4. Ultrasonic generator and nozzle	130
5. Computational fluid dynamics analysis	139
6. Test equipments and methods	146
7. Results and discussions	149
8. Conclusion	171

Chapter 5. Ultrasonicated spray characteristics of twin-fluid nozzle	172
1. Measurement of droplet diameter and velocity using PDPA system	173
2. Image analysis of collected droplets	192
3. Flow characteristics using PIV system	204
Chapter 6. Design of ultrasonic nozzle and oscillation circuit for cold-fog machine and flow characteristics	233
1. Design and modification of the ultrasonic twin-fluid nozzle and flow characteristics using MALVERN system	234
2. Construction of ultrasonic generator	265
Chapter 7. Field test of the prototype machine and economic analysis	272
1. Test in the greenhouse	273
2. Consumed electric energy	295
3. Economic analysis	298
References	300

목 차

제 1 장 서론	14
제 1 절 서론	15
제 2 장 농업용 분무기 사용 실태 조사	17
제 1 절 현장조사	18
제 2 절 문헌조사	27
제 3 장 초음파 에너지가 부가된 농약의 물리·화학적특성 분석	44
제 1 절 서언	45
제 2 절 이론적 고찰	50
제 3 절 실험장치 및 방법	56
제 4 절 결과 및 고찰	69
제 5 절 요약 및 결론	104
제 4 장 초음파분사시스템에서 분무기구 규명 및 해석	106
제 1 절 서언	107
제 2 절 국내·외 관련기술	110
제 3 절 초음파 혼 설계	111
제 4 절 초음파 발진장치 및 노즐	130
제 5 절 노즐액적분사현상 및 비산방지대책을 위한 전산유체 해석	139
제 6 절 실험 장치 및 방법	146
제 7 절 결과 및 고찰	149
제 8 절 요약 및 결론	171

제 5 장	2-유체 노즐의 초음파 적용 분무특성	172
제 1 절	PDPA 분무입경 및 속도의 측정	173
제 2 절	영상처리에 의한 포집입자의 측정	192
제 3 절	PIV를 이용한 유동특성 조사	204
제 6 장	상온 연무기용 초음파노즐의 분무특성 및 발진회로 설계	233
제 1 절	2-유체 초음파노즐 설계 및 유동특성	234
제 2 절	초음파 적용방식에 따른 2-유체 노즐의 분무특성	246
제 3 절	발진회로 및 발진장치 제작	265
제 7 장	온실 적용 실험 및 경제성 분석	272
제 1 절	온실 적용 실험	273
제 2 절	시작기의 소비 전력량	295
제 3 절	경제성 분석	298
참고문헌		300

제 1 장 서 론

제 1 절 서론

1. 연구배경

작물의 병충해 방제는 농산물의 품질과 생산량에 직결되므로 매우 중요하다. 특히 시설재배의 경우 밀폐된 온실공간은 고온 다습하여 각종 병충해의 번식에 유리하게 되므로 병충해 발생빈도가 무척 높아 효과적인 방제는 더욱 중요하다. 바람직한 방제는 농약의 종류에 구애받지 않고 사용할 수 있고 잎의 뒷면 및 무성한 작물의 속잎 등에도 연무에 의해 농약이 균일하게 부착됨으로써 소량의 농약으로도 방제효과를 극대화할 수 있고, 따라서 농약의 손실을 줄이고 토양 및 수질의 오염을 방지하는 친환경적이며 저 공해 농산물의 생산을 보장하는 것이다.

2-유체 노즐은 다른 종류의 노즐에 비해 더욱 미세한 분무를 얻을 수 있으며, 특히 연료와 농약 액에 응용되는 경우에는 공기와 쉽게 혼합되므로 매우 유용하다. 특히 2-유체 상온 연무노즐은 온실 내에 사용하기에 다른 방식보다 분무량 증가 등의 장점이 많아 널리 연구·실용화되고 있다. 최근 시설재배는 더욱 광범위하게 발전하고 있으며 이에 상응하는 고효율 방제가 요구되고 있다. 그러나 2-유체 노즐만으로는 상기의 고효율 연무를 위한 균일액적 미립화에는 기계적 한계가 있다. 이 한계를 극복하기 위해서 2-유체노즐에 초음파를 적용하는 연구가 시도되어 왔다. 근래에 초음파 장치의 실용적 발전은 2-유체 노즐에 초음파를 적용함으로써 온실 내 방제를 위한 고효율 연무방제를 기대하게 한다. 초음파 노즐의 분무속도는 미약하나 탁월한 미세, 균일 액적분무가 가능하며, 초음파에 의해 액체의 미립화가 향상됨이 입증되고 있다.

2. 연구의 필요성

초음파는 산업 전반에 걸쳐서 오래 전부터 매우 광범위하게 사용되고 있으나 아직 농업 분야에서의 이용은 극히 적은 편이다.

본 연구에서는 초음파에 의한 분무 미립화에 관한 효과를 농업용 액체 분무시스템

에 적용하였다.

비닐하우스 내부에서나 그 외에 사용되는 농업용 분무기는 농약의 분사시 미립화율 정도가 낮아서 약액의 낭비가 높고 효율성이 떨어지고 있다. 따라서 캐비테이션 응용, Horn의 고효율화, 노즐의 최적화, 액체 고유 진동수와 진동자와의 공진 조화 등에 관한 실험을 통해 초음파 적용 고효율 분무 미립화 시스템을 개발하여 현재 분무시 낭비되고 있는 농약의 방제 효율성을 높이고 농가의 경제적 이익을 도모하는 것이 필요하다.

3. 앞으로 전망

이 기술이 완료되면 분무 성능의 향상으로 농업 생산성 향상 및 농약의 시용량 저감이 가능하고 분무 미립화의 상승으로 작물의 발육을 돕고 온실 내 냉방효율을 높여 경제적인 농업 기반 조성에 이바지할 것으로 전망된다.

4. 기술도입의 타당성

국가간의 기술 장벽은 계속 높아가고 있으며 다행히 기술도입이 가능하다고 해도 고액의 기술료(Royalty) 때문에 한국의 낮은 생산성의 농업현장에 경제성은 기대하기 어렵다.

제 2 장 농업용 분무기 사용 실태 조사

제 1 절 현장조사

1. 상용 연무기 업체 조사

상용 연무기의 특성과 구조조사를 위해 주요제작용체인 신안정밀(경남 진주시 소재), 태인테크(전남 순천시 소재)의 제품에 대해서 조사하였다.

가. 신안정밀의 상용 연무기

노즐부는 비용, 가공의 문제 해결책으로 노즐 와류실을 단순화시키고 대신 43°의 유도각을 주었으며, 압축공기의 통로를 2개로 하고, 압력차를 줌으로써 회전와류를 유도하였다. 그리고 농약에 의해 노즐이 막히는 것을 방지할 수 있는 장치를 갖추고 있다. 노즐에 의한 입경은 대략 2~20 μm 정도였고, 평균 15 μm 이었다. 분무입경이 작아서 먼 거리까지 도달하기 어려우므로 노즐 뒤편에 송풍기를 달아 송풍기에 의해 강제 대류를 형성시켜 분무입자의 도달성을 높였다. 무풍시 15 m, 송풍시에는 50 m의 평균 분무반경을 가지고 있었다. 분무시 공기압은 압축기를 사용하였으며, 압축기 평균 압력은 196~294 kPa이었고, 최대출력은 1468 W이었다. 연무입자가 눈에 보이지 않아 밭을 수 없다는 농민들의 의식이 연무기 보급에 장애가 되고 있다고 한다. 본 업체의 제품이 국내 시장에서 우위를 점하고 있는 것으로 알려져 있다. 그 외 인근에 고려방제기, 삼호기업, 삼정기업 등 제작회사가 있으나 모두 상용 연무기가 아닌 고온연무기 제작 업체이었다.

나. 태인테크

그림 1에 태인테크의 상용 연무기를 나타내었는 바 이는 충돌판방식으로 설계되었다. 온실의 가습과 냉각, 방제작업에 사용할 수 있는 구조로 되어 있으며, 원심회전 분사방식으로 회전력을 이용한 연무 장치와 입자를 초 미립화시키는 충돌판과 분사입자를 원거리까지 송풍시켜주는 송풍팬 그리고 약액을 이송시켜주는 펌프로 구성된다. 약액이 펌프에 의해 회전판에 공급되면 회전판이 3,500 rpm으로 회전하고 약액이 원

심 분사되어 다시 충돌핀에 부딪쳐 입자가 초미립화되면서 분사되고 초미립자이면서 연무량이 많아 방제시간이 적게 소요되며 회전체에 의해 회전 분사되므로 고르게 분사되며 고장의 염려가 없다. 분무입자의 크기는 20 ~ 40 μm 로서 쉽게 증발되지 않고, 분무거리는 25 m ~ 30 m이었다.

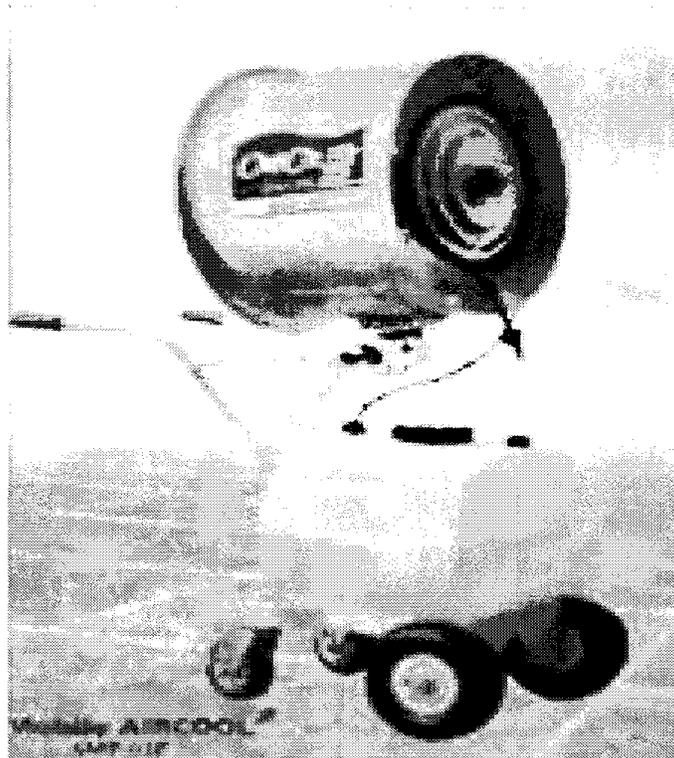


Fig. 1. A cold-fog machine(Taein tech. Co.)

2. 상용 상온연무기 사용실태 조사

온실 내 상용 상온연무기의 사용실태와 방법, 개선점 등을 조사하기 위하여, 경남 사천시 용현농협 육묘사업소, 경남 진주시 인근 시설하우스를 방문하였다. 그림 2에 실제 상온 연무기가 설치된 용현 농협 육묘장의 전경을 나타내었다.

가. 용현농협 육묘사업소의 사용실태

1) 온실



Fig. 2. The green house(Yonghyun ACF)

연무기가 설치된 온실은 전면 유리온실로서 실면적 3960 m²(온실 5연동)에 기계실과 활착실을 갖추고 있었다. 온실 내 주요재배 작물은 고추, 토마토, 수박이었다. 온실 출입구는 2군데였으며, 내부 공기의 유동을 위해 온실 천장에는 공기 유동팬이 5개 설치되어 있었다. 그림 3에 육묘장에 설치된 상온 연무기를 나타내었다.



Fig. 3. A cold fog-machine(Shinan precision Co.)

2) 연무기

온실 내에 설치된 연무기는 2유체 노즐을 사용한 연무기(신안정밀 제품)였으며, 분무노즐의 뒷부분에 송풍기가 장착되어 있으며, 그 외 주요부는 약액탱크와 약액희석장치, 공기압축기로 구성되어 있었다. 연무기의 분무장치(분두와 팬)가 360° 회전이 가능한 구조로 되어 있으며, 2-유체 노즐은 노즐 팁을 돌려서 내부혼합식과 외부혼합식으로 겸용할 수 있는 구조로 되어 있어 분무량을 조절할 수 있도록 설계되었으며, 노즐이 약액에 의해 막히는 것을 방지하기 위한 별도의 장치가 노즐에 설치되어 있었다. 그림 4에 신안정밀에서 제작한 연무기의 분두부와 송풍팬을 나타내었다.

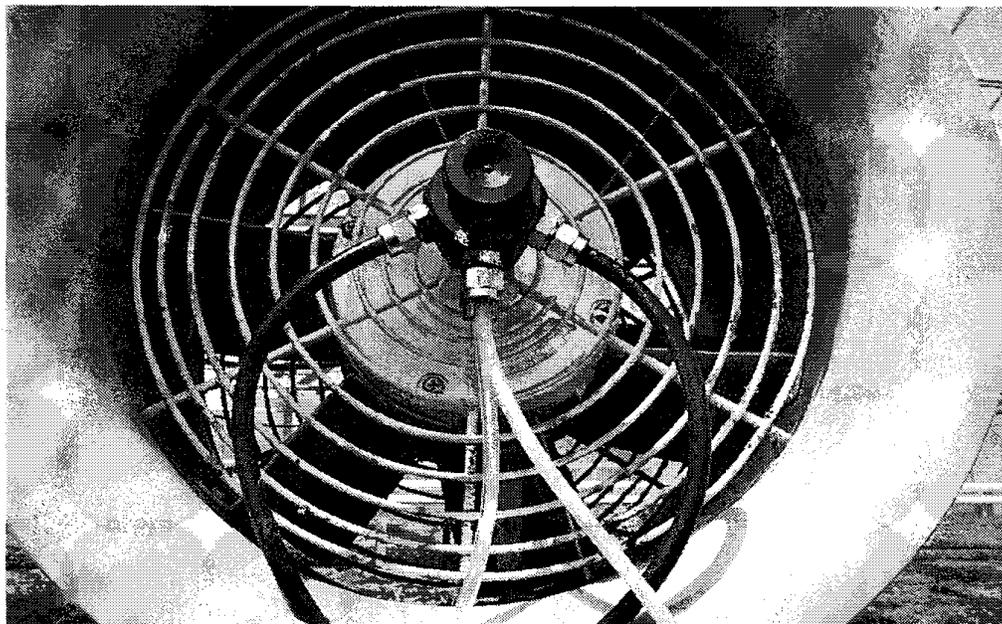


Fig. 4. Spary nozzle and axial fan(Shinan precision Co.)

3) 사용실태

온실내 연무기는 4대가 설치되어 있었으며, 연무기 1대의 용량은 10 l 이었다. 일반적으로 2시간 동안 분무하게 되고, 겨울에는 2주에 한번 정도로 분무하고 여름에는 일주일에 1번 정도 분무하며 연무기는 연중 사용하고 있었다. 충제, 균제와 같은 고독성 농약의 연무에 사용하고 수화제와 같은 저독성 농약은 사람이 직접 분무기를 사용 살포하고 있었다. 연무시에는 연무기만 작동시키고 온실 내 공기 내부 유동 팬은 사용하지 않았고, 연무기 한대의 연무 평균 반경은 12 m 정도였다.

분무시간은 저녁에 분무하여 아침에 환기(겨울 : 2시간 분무, 10~12시간 후 환기; 여름 : 2시간 분무, 2시간 후 환기)하거나, 분무 후 강제 환기하였다. 연무기의 조정과 온실의 개폐조작이 조정실에서 이루어지고 있으므로 농약의 독성으로 인한 인체에 대한 우려는 극히 적었다.

나. 진주시 초전동 소재 진주육묘공장의 사용실태

1) 온실

철골 5연동 전면유리온실로서 4950 m² 규모로서 컴퓨터 복합환경 제어가 가능하도록 설계되었고, 내부 공기의 순환을 위한 공기유동 팬이 15개 설치되어 있었다. 주요 재배 작물은 고추, 오이, 수박, 참외였다. 그림 5에 초전동 육묘공장의 전경을 나타내었다.



Fig. 5. The Jinju nursery greenhouse.

2) 연무기

전술한 용현 농협에 설치된 연무기와 동일 기종이 설치되어 있었다.

3) 사용실태

온실내 연무기는 총 4대 설치하였으며, 연무기 사용시 연무기 앞 2 m 이내의 작물은 입경이 큰 액적들이 집중 낙하하여 약해를 입기 때문에 연무기 바닥에 물건을 고여 분사양각을 높여서 연무하고 있으며, 연무기가 설치된 이후 약액 회석 장치의 구

조변경이 있었고, 노즐 막힘의 문제로 분제를 물에 녹여 사용하는 것은 못하게 되어 있었다. 약액통과 약액호스의 교체가 있었으며, 상온 연무기 외에 고온 연무기도 겸하여 사용하고 있었다. 연 사용횟수는 작물과 병해에 따라 다르며, 보통 10회 미만이 었다.

그림 6에 약액희석부의 개조 전 모양을 나타내었다.

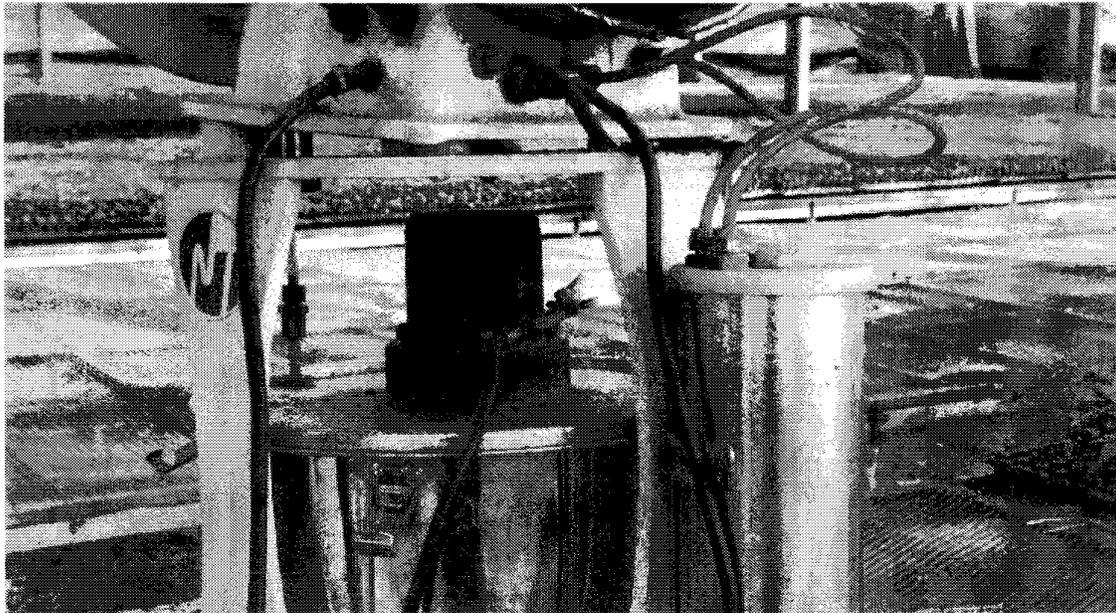


Fig. 6. The dilution part(before modification)

그림 7에는 개조 후의 약액 희석부의 모양을 나타내었다.

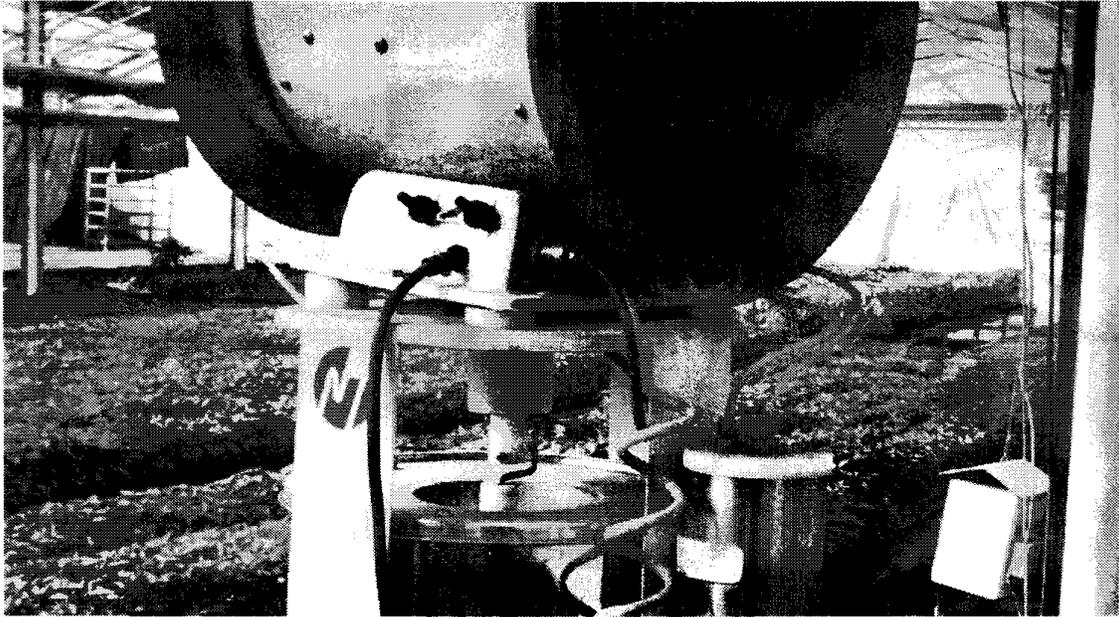


Fig. 7. The dilution part(after modification)

4) 진주시 문산면, 금곡면 및 대곡면 지역의 시설원예 방제장치

진주 근교의 문산면, 금곡면 및 대곡면 지역의 시설원예단지를 방문하여 상용 연무기 사용실태를 위해 조사하였다. 주 재배 품종은 수박, 호박 등이었으며, 일반 농민이 경영하는 비닐하우스는 소규모로 7~8년 전에 설치한 농가가 1~2곳 정도나마 있었으나 노즐에서 근거리 구역의 약해 문제로 인해 지금은 사용하는 곳이 거의 없으며, 대부분의 시설원예를 하는 일반농가에서는 동력 분무기나 열연무기를 사용하였다. 하지만 열연무기용으로 보급된 국내에 시판되는 농약이 거의 없다는 현실에서 볼 때 농약의 열에 대한 변성으로 농약 특유의 성분이 변질이 우려되었다.

3. 각 업체별 연무기 가격

표 1에 2002년도 현재 국내에서 생산되는 상용 연무기의 사양과 가격을 나타내었다. 가격 면에서 정부보조가 없으면 일반 농가에서 구입하기에는 상당히 고가이다.

Table 1. Price of cold-fog machines in Korea

Company	Capacity (ℓ /h)	Type	Model	Price	Max. financial aid(won)	
					General farm	Joint utilization
Korea Precision	8	cold, rotating	KMSS-2T	4,200,000	2,870,000	3,690,000
Dong Ho Mechatronics	3	cold, fixed	NTF-5	3,050,000	2,440,000	2,740,000
	7	cold, fixed	NTF-10	4,970,000	3,150,000	4,050,000
Shin-an Precision	6	cold, fixed	MNA-2	3,200,000	2,560,000	2,880,000
	6	cold, rotating	MNA-2T	4,100,000	2,870,000	3,690,000
Yoo Chang	7	cold, fixed	YCH-405	4,500,000	3,150,000	4,050,000
Joong Ang	7	cold, fixed	JAS-701	4,600,000	3,150,000	4,050,000
Paru	12	cold, rotating	TCS-700S	1,650,000	1,320,000	1,480,000
	20	cold, centrifugal	TSS-ULV	5,000,000	4,000,000	4,500,000
	20	cold, centrifugal	TSS-21SE	7,500,000	4,200,000	5,400,000
Kyung Chang Machinery	30	cold, fixed	KCM-S3000	3,200,000	2,560,000	2,880,000
Dong Sung Precision	6	cold, fixed	DS-200-60	2,200,000	1,760,000	1,980,000
Joong Ang Tech. Ind.	20	cold, fixed	TF-200	1,650,000	1,320,000	1,480,000
Dong Yang	12	cold, fixed	DYCHJ-02	1,050,000	840,000	940,000

(Data : Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative, 2002)

제 2 절 문헌조사

1. 연구사

가. 기존 방제기와 노즐의 특성

우리나라에서 널리 사용되는 방제기는 동력분무기로서 도달거리와 입경, 분무압력의 상관관계나 총포노즐의 특성 분석 등이며 균일한 살포를 얻기 위한 노즐배치, 노즐의 종류별 특성 등이 주로 연구되었다.

Bode 등(1968)은 소량살포를 위한 cone, flat spray nozzle과 pneumatic atomizing nozzle의 입자크기와 분무유형에 대한 비교실험에서 각 노즐의 입자크기는 별 차이가 없고, 분무유형은 압력이 증가함에 따라 cone과 flat spray nozzle에 대해서는 좋아졌으나, pneumatic atomizing nozzle은 변화가 거의 없다고 하였다.

용장우(1973, 1975)는 근거리용 노즐은 구경이 1.4~3.0 mm로 변화됨에 따라 평균입경은 139~200 μm 범위에 있다고 하였고, 중거리용 노즐에 대해서는 압력(1470~3432 kPa)과 구경(1.4~3.0 mm)의 변화에 따라 평균입경은 250 μm 이하의 크기라 하였다. 또한 그는 도달거리가 증가할수록 입경이 다소 감소되었는 바, 이는 운동량의 원리에 위배되는 현상으로서 원인은 근거리에서 입자결합이 발생하여 집중적으로 낙하된 때문이라고 고찰하였다.

최규홍 등(1975)은 중자가 없는 도달형 노즐의 유량계수는 0.82~0.86 범위에 있다 하였으며 노즐의 구경과 압력이 증가함에 따라 유량은 커지며, 특히 압력의 제곱에 비례한다고 하였고 압력 1961 kPa일 때 구경 2.00~4.05 mm에서 유량은 10~40 l/min으로 근거리 확산용 노즐을 장착하여 사용할 것을 감안하면 현재 보급 분무기 용량으로는 구경 3 mm이상의 노즐은 사용이 불가능하다고 지적했다.

Bode 등(1976)은 spinning atomizer를 이용한 실험연구에서 atomizer의 회전속도가 낮을 때에는 분포형태(distribution pattern)가 몹시 좋지 않았으나 3000 rpm이상에서 점차 나아지며 분포유형은 근사적으로 회전수에 반비례한다고 하였다. 분포유형에 대한 C.V(Coefficient of Variation)값은 114~287% 정도로 매우 높았으나, atomizer의 배치를 8 inch 간격으로 함으로써 C.V 값은 9~95%정도까지 감소시킬 수 있다고 하

였다.

이채식 등(1986, 1987)은 채소 원예 방제작업의 정밀화 및 방제효과 증대를 도모하고자 채소원예의 살포장치를 개발하기 위한 요인실험을 하였다. 그 결과 압력별 노즐별 분무특성은 3구두에서는 살포높이 20, 40 cm에서 나뉘었으며, 5구두에서는 균등살포율이 21.5~32.0%로 높이가 큰 차이가 없었고, 7구두에서는 살포 높이 40 cm에서 12.4~16.0%로 균등 살포되었다고 보고하였다.

Azimi 등(1985)은 분무분포의 균일성에 영향을 주는 요인들을 분석하였다. 이에 의하면 일반적으로 붐방제에 이용되는 노즐간격, 높이, 그리고 압력들이 대체적으로 균일성을 유지하였다고 보고하였다.

Krishnan 등(1988)은 노즐압력과 바람에 따른 8004 노즐과 XR8004 노즐의 SPD(spray pattern displacement)값의 영향성을 구명하였다. 그 결과 XR8004노즐이 8004노즐보다 SPD가 작았으며 풍속이 약할 때가 강할 때보다 작았다고 하였다.

Zhang 등(1994)은 살포 형태의 균일도를 평가하기 위하여 image 분석을 통하여 붐 높이를 38.1에서 50.8 cm까지 1.1 mm씩 바꾸면서 균일도를 평가하였다. 이 방법은 주어진 압력 하에서 살포형태의 균일도를 높이기 위한 노즐설계요인을 결정할 수 있다고 하였다.

L.F. Bouse(1994)는 whirl-type hollow cone(WJ)과 narrow angle flat spray(Fan)의 두가지 노즐에 대하여 식물의 방제효과 최적화를 위한 비산의 최소화와 식물표면에서의 부착특성이 풍속으로부터 받는 영향을 연구하였다.

나. 입자의 적정 크기와 부착특성

今井 등(1957)은 분무된 입자의 운동에너지의 정도가 방제효과와 약액 손실의 기준이 된다고 밝혔고, 입자의 운동량 및 에너지를 구하는 식을 계산하였다.

$$M_x = \frac{\pi d_p^3 \gamma_p}{6g} \left\{ \frac{(\gamma_p - \gamma_a)}{18\mu} d_p^2 + \left[V \cos\theta - \frac{(\gamma_p - \gamma_a)}{18\mu} d_p^2 \right] e^{-\frac{18\mu g}{d_p^2 \gamma_p} t} \right\}$$

$$E_x = \frac{\pi d_p^3 \gamma_p}{6g} \left\{ \frac{(\gamma_p - \gamma_a)}{18\mu} d_p^2 + \left[V \cos\theta - \frac{(\gamma_p - \gamma_a)}{18\mu} d_p^2 \right] e^{-\frac{18\mu g}{d_p^2 \gamma_p} t} \right\}^2$$

여기서, d_p : 입자의 직경, γ_p, γ_a : 입자와 공기의 비중, V : 노즐 팁에서 초기 속도, g : 중력가속도, μ : 점성계수, t : 시간이다.

西村(1963)는 휴반살포용(畦畔散布用) 노즐의 도달성과 연무 낙하입자에 대해 실험하였다. 휴반살포용 노즐에 의한 입경은 cone type nozzle에 비해 크고, 도달거리에 따른 적하량의 변화도 크게 나타났다. 연무입자가 미세하므로 부착력이 좋아져 방제 효과도 증가된다고 강조했다.

Himel 등(1969)은 살충제의 경우 최적입경은 20 μm 정도, 살충효과의 한계크기는 50~100 μm 정도라고 하였다.

Smith 등(1975)은 목화재배지에서 발생하는 바구미 방제시 100~300 μm 크기의 분무입자에 대하여 방제효과를 시험한 결과 방제에는 100~140 μm 분무입자크기 적당하지만 비산 방지를 위해서는 크기가 너무 작으므로 방제와 비산을 모두 만족하는 분무입자의 크기는 140~200 μm 가 적당하다고 보고하고 있다.

武長(1975)은 병충해 방제에 있어서 50~100 μm 이상의 입경은 방제효과가 저하된다고 하였다.

Owens 등(1978)은 병충해방제에 있어서 최소의 약량으로 최대의 방제효과를 얻으면서 생태계 오염을 방지할 수 있는 약액의 최적입경은 15~25 μm 라고 하였다.

村田 등(1983)은 시설원예용 소량살포기의 포집법 및 입경분포 실험에서 포집법으로는 슬라이드 글라스 포집법이 정확하고 가장 효과적이며, 병충해방제에 있어서 최소의 약량으로 최대의 방제효과를 얻으면서 생태계 오염을 방지할 수 있는 약액의 최적입경은 3~10 μm , 20 μm 정도, 15~25 μm , 50 μm 이하 등 여러 가지로 주장하고 있다. 이중 어느 것이 가장 적당한지 확실치는 않으나, 50~100 μm 이상의 입경은 방제 효과가 저하되는 것으로 보고되고 있다. 피복율과 평균입경은 10 μm 정도가 가장 양호하다고 보고하였다.

Reichard(1986)는 고속도 촬영에 의해 옆면에 입자가 격돌할 때의 거동을 관찰하였던 바 연속적으로 일정한 입경의 단위를 내는 진동식 수적발생기에서 수적을 양배추 등의 옆면에 충돌시켜 전착시켰다. 입경, 속도, 전하, 농도를 바꾸어 실시하였다. 대전 살포의 이점은 다른 면에 있을 것이지만 이제까지의 경우, 입자가 세차게 튀는 것을

줄이는 면에서는 표면처리제 쪽이 대전살포보다도 유망하다고 하였다.

Edward(1987)는 전기를 통하지 않는 식물유의 정전유도특성의 이론과 실험의 해석, 첨가물에 의한 유도상태의 변화, 최근 개발한 정전살포기에 의한 대전성을 확인한 결과, 정전살포에서의 대전성에는 수용액에서 σ (전기전도도) $> 2 \times 10^{-6}$ sec/m, 식물유에서 $\sigma > 10^{-7}$ sec/m의 전기적 저항이 바람직하다고 하였다.

Lefebvre(1989)는 표면장력이 입자의 형상을 구형으로 유지하고 표면장력이 감소하면 입자가 미세화된다고 보고하였다.

이상우(1993)는 20 μm 이상의 균일한 입자가 보다 넓은 면적에 양호한 방제효과를 얻을 수 있다라고 하였다. 비행중의 곤충은 10~50 μm , 작물 잎의 곤충은 30~50 μm , 작물 잎은 40~100 μm , 비산을 피해야 될 제초제는 250~500 μm 입자크기 범위가 적절하다고 하였다. 분무기는 150~440 μm , 미스트기는 30~100 μm , 미량·소량살포기는 40~140 μm , 연무기는 0.5~50 μm 범위가 적당하다고 보고하였다.

김명규(1994)는 이류체 노즐과 송풍팬을 이용한 온실에서의 분무확산 실험에서 송풍기에 의한 이송확산은 미립의 합체현상을 일으켜 대립을 만든다고 하였고, 기류의 속도가 빠른 곳(중앙통로)보다 느린 곳(온실측면)의 부착밀도가 전반적으로 높았으나, 기류의 유동이 없는 곳(구석)은 부착밀도가 낮게 나타났다고 하였다.

정창주 등(1999)은 분무량과 분무입경의 독립적 제어를 위한 2-유체 노즐 제어시스템 개발에서 공시노즐 내부 혼합식 3종과 외부혼합식 1종을 이용하여 분무압과 공기압의 변화에 대한 분무량과 분무입경의 측정자료를 토대로 중회귀분석하여 R^2 값이 0.99이상의 중회귀함수를 구하였고, 분무량과 분무입경의 독립적 제어를 구현할 수 있는 분무특성 제어 시스템을 구성하였다.

다. 최적 살포 조건

田中(1953)에 의하면 연무기 분사량은 동일 노즐을 사용하여 동일 평균압력으로 조정된 경우에도 기구의 차이에 의해 다르다고 하였다. 또한 분사량은 압력의 함수로서 압력의 시간적 변화에 의해 영향을 받는다고 하였다.

Reichard 등(1977)은 세 가지 종류의 공기운반 분무기와 0.79 mm와 3.96 mm사이의 14개 오리피스 지름에서 분사되는 분무의 분무입자직경을 PMS 입자측정기로 측정하였다. 그 결과 주위 공기가 무풍일 경우보다 송풍의 경우에 분무입자직경이 증가하

였으며, 노즐로부터 4.6 m에서 보다 3.68 m에서 분무입자직경이 더 컸음을 알 수 있었다.

松尾 등(1989)은 온실내에 주행식 수직전극을 설치하여 상온연무기로 연무한 후, 전극에 고전압을 인가해 주행실험을 행하였다. 전압을 인가하면 무인가의 경우에 비해 부착밀도는 증가하지만, 전극근방의 샘플에 액적의 부착이 집중하여 부착상태가 매우 불균일하게 된다고 보고하였다.

村田(1983)은 온실 내 입경에 따른 입자 수와 시설내의 온도, 그리고 상대습도와의 관계를 약제, 분출량, 분포량, 시설내의 온도와 상대습도를 기준으로 분석한 결과, 입자 수는 살포조건에 따라 변동이 크며, 10 μm 이상의 입자 수는 시설 내 온도와는 부, 상대습도와는 정의 상관관계에 있다고 하였다. 최적살포환경은 시설내부온도 15~24°C, 상대습도 50~80%라고 규정하였다.

松尾 등(1990)은 연무 확산의 쾌속화, 균일한 부착을 증가시킬 목적으로 자주식 상온연무기를 이용하여 주행살포시험을 수행하였다. 연무기의 주행속도는 0.5 m/min이 적당하고, 인가 전압에 의한 앞 뒷면 부착율은 향상되었으나, 식물 하부의 잎 표면에서는 무인가 시의 부착이 우수하다고 하였다.

박석호 등(1995)은 비산을 고려한 방제작업의 경우에는 공기운반분무기의 공기속도를 20 m/s로, 작물의 잎에 효과적인 부착을 위한 공기속도는 15 m/s가 타당함을 보였으며, 공기속도가 15 m/s일 때 분무압력과 노즐크기가 작을수록 균일한 분무입자를 형성하나, 20 m/s에선 뚜렷한 차이가 없음을 보였다.

라. 적정 살포량의 결정

살포량의 결정 또한 시스템에서 우선적으로 고려되어야 할 부분이다. 보통 살포량은 3~6 $\ell/10\text{a}$ 정도이고, 현재 국내에서 많이 보급, 사용되는 연무기의 경우 5 ℓ/h 이다.

津賀 등(1978)은 농약의 살포법을 단위 면적당 살포량으로 정의하여 다량살포는 500 ℓ/ha 이상, 준소량살포는 100~500 ℓ/ha 이상, 소량살포는 30~100 ℓ/ha , 과소량살포는 6~30 ℓ/ha , 미량살포는 6 ℓ/ha 이하로 규정하고, 농약의 다량 살포시 액체가 흘러 내려서 방제효과가 저하되어서 농약의 살포횟수와 양이 많아지고 토양과 수질오염의 원인이 된다고 하였다. 보통 선진국 등에서 개발, 보급된 분산식 연무기인 상온

연무기의 사용약액이 3~6 l/10a로써 상당히 적게 든다.

마. 분무입자의 운동과 증발의 모형화

村田 등(1983)은 시설내의 병충해방제에서 소량살포기에 의해 살포된 약액의 입자 경은 10~20 μm 이하의 것이 대부분이며 미소액적은 단시간에 공기의 습구온도와 평형하게 되어 단시간에 혼합, 확산되는 특징을 가지고 있으며, 증발과 drift현상이 발생한다고 하였다. 시설원예의 경우, 폐쇄환경에 있으므로 drift현상은 공간방제의 효과를 갖고 있지만, 증발현상이 큰 문제가 된다. 증발은 열평형으로 계산할 수 있고, 입경의 2승과 시간과는 직선관계에 있으며 액체 고유의 증발속도 계수를 가지는데 증발속도는 습구온도와 함께 변화한다. 미소액적의 도달거리는 계산이 가능하지만, 농약의 액체분포에서는 약액의 종류와 농도에 따라 그 물성이 다르며, 다량이면서 입경이 동일하지 않은 미소살포기에서는 이론적으로 해명할 수 없는 부분이 많다고 하였다.

Salyani(1988)는 감귤류 잎에 부착이 최대가 될 때의 입경크기를 구하기 위하여 풍동과 진동입자발생기를 이용하여 실험하였다. 그 결과 입자크기가 240~340 μm 일 때 부착이 가장 잘 되었다고 하였다.

Womac 등(1994)은 항공방제시의 살포높이가 비산에 미치는 영향과 deflector가 있을 때와 없을 때 뒤에 달린 노즐의 입자화 특성을 구명하였다. 그 결과 분사높이가 4.6 m, 6.1 m일 때보다 3.0 m일 때 비산이 훨씬 적었으며 deflector가 없을 때보다 있을 때 공기유속과 노즐의 종류에 큰 영향을 받는다고 지적하였다.

정창주(1998)는 정밀방제기술 개발에 관한 연구를 수행, 선형노즐(TP-8001), 비산 조절 노즐(DG-110015-VS), 균등 선형 노즐(TP-8001-EVS), 원추공형노즐(TX-S33)에 대하여 분무입자의 운동과 증발을 예측하는 모형, 부착량 정량분석 방법을 개발하였고 기존 노즐이 모두 살포압력의 변화에 따라서 분무입경이 달라짐을 증명하였다. 또 정밀 방제용 노즐로서 분무압이 변화해도 입경이 변화지 않는 이류체 노즐의 제어 방법을 개발하였다.

민영봉 등(2000)은 터보팬 부착 다량분무 2-유체노즐을 고안하고 온실 분무냉방장치로 판단하기 위하여 물 분무 시 노즐로부터 거리별로 분무입경을 이중광원 입경측정 장치(PMAS)로 측정하여, 분무입경의 변화와 증발량 변화를 분석하여 압축 공기압이 29 kPa일 때 노즐의 분무량이 감소할수록 분무입자는 미세화 되고, 분무거리 2 m내

에서 무 송풍 시에는 83.86%, 송풍 시에는 76.73%의 증발율을 보이고, 초기 분무입경이 2~3 m로 수평 비산하여 그대로 작물에 낙하하는 분무이동을 한다고 가정할 때 전체 분무립 중 작물에 낙하하는 분무립의 비율이 5%이하의 경우는 초기 평균분무입경은 송풍시 20 μm 이하, 무송풍시 15 μm 이하로 추정된다고 하였다.

바. 분무입자의 측정기술

Yates 등(1963)은 형광분석기를 이용하여 항공방제시 분무립이 비산되는 양을 측정하였다.

Yates 등(1983)은 시속 166 km인 항공기용 노즐의 입자크기를 측정하기 위하여 레이저 시스템을 이용하여 분석한 결과 일반적으로 사용되는 노즐의 스펠 값은 0.8~1로 나타났다고 하였다.

Salyani 등(1988)은 분무부착량에 비례하여 전압이 발생하는 센서를 개발하였다.

Franz 등(1993)은 입자의 부착특성을 비전을 이용하여 분석할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며 그 결과 입자의 직경과 입자 수를 정확하게 측정할 수 있다고 하였다.

서상룡 등(1994)은 컴퓨터의 시각장치의 하드웨어를 구성하여 단일분무입자와 다양한 형태의 겹친 분무입자의 크기를 측정하고 분무입자 수를 계수하여 분무량을 계산할 수 있음을 보였다. 그러나 영상잡음으로 인한 최소측정 입자크기(25 μm)의 제한과 측정의 정확도를 유지하기 위해선 감수지에 단위면적당 분무량이 적어야 하며 사용 감수지의 측정 가능한 분무량의 최대치(약 0.5 mg/cm²)이상의 범위에서는 측정의 정확도가 급격히 낮아지므로 위와 같은 제약이 없는 레이저에 의한 분무입경 측정이 보다 정확할 것으로 판단하였다.

사. 부착량 검출방법

村田 등(1983)은 약액입자를 포집하는 방법으로 슬라이드 글라스 포집법이 정확하고 가장 효과적이라고 보고하였다. 또한 피복율과 평균입경은 10 μm 정도가 가장 양호하다고 보고하였다.

Dante 등(1991)은 정전하 원판 회전 살포기(electrostatic spinning disc sprayer)의 부착특성에 관해 연구하였다. 정전하의 유무와 유량 및 원판의 회전속도의 변화에 따른 변화를 측정하였으며, 실험실 내에서 콩을 모델로 한 인공타겟을 대상으로 살포하

였다. tracer는 Fluorescein-Natrium을 이용하였으며, 살포 후 얻어진 인공타겟으로부터 채집한 sample은 교반을 통해 살포용액을 분리하고, 분리된 용액은 Sequoia-Turner Model 450 Digital Fluorometer를 이용하여 분석하였다.

Bouse 등(1994)은 AT-502 air tractor에 대해서 부착을 최적화하고 살포비산을 최소화하는 노즐의 선택에 관한 문제를 연구하였다. 실험은 농용항공기를 이용하여, 두 개의 서로 다른 형태의 노즐, whirl-type hollow cone nozzle과 narrow-angle flat spray nozzle에 대해, 목화에 대한 살포부착특성을 조사하였다. 그는 이 실험에서 0.1% v/v Triton X-100과 형광염료를 물에 희석시켜 살포하였으며, 살포된 잎사귀는 증류수에 희석하여 fluorometer로 정량분석하였다.

Deksen 등(1995)은 사과과수원에서 사용하는 공기이송식 방제기에 대해서, 살포입자의 부착특성과 공기의 유속에 관한 패턴을 연구하였다. 그는 왜성사과(semi-dwarf apple)에 대해서, 미량영양원소를 포함하는 비료를 과수원용 공기 송풍식 살포기로 살포하고, 팬의 속도, 주행속도, 살포분사패턴의 부착특성에 대한 영향을 분석하였다. 비료에 포함된 미량원소는 아연(zinc)과 망간(manganese)으로 이들은 광분해가 일어나지 않고, 사과잎사귀에서 거의 검출되지 않는 원소라는 점을 고려하여 선택하였다. 이들은 argon plasma atomic emission spectrometer를 이용하여 분석되었다.

Peterson 등(1995)은 왜성사과(dwarf fruit tree)에 대해 터널식 살포기를 적용하여, 방제기 종류와 살포의 방향, 주행속도 등에 따라서 부착특성이 어떻게 달라지는가를 실험하고 spectrophotometer를 이용하여 분석하였다.

Gupta 등(1996)은 손에 들고 작업하는 정전하 살포기에 대해서 살포량의 분포 패턴과 부착특성을 다양한 조건 하에서 측정하였다. 살포량의 분포패턴은 patternator를 이용하여 측정하였으며, 부착특성 분석에는 Spectrophotometer를 이용하였다. 살포대상은 콩으로, 살포용액은 물에 fluorescent sodium과 Bacillus thuringensis를 용해시켜 사용하였다.

이강걸(1996)은 수도작용 불방제기의 피복특성에 관한 연구를 수행하였다. 그는 이 실험에서 동력 분무기를 이용한 논두렁 살포와 불방제기를 이용한 전면살포 및 기부살포의 피복특성을 비교하기 위하여 피복특성을 감수지로 측정하여 피복률과 입자밀도를 분석하였다.

아. 초음파 응용 상온 연무기에 관한 연구

정대은(2000)은 초음파 에너지를 부가한 액체의 미립화에 관한 연구에서 액체의 특성을 개질하기 위하여 공동현상이 극대화될 수 있는 구조로서 진동자와 반사판으로 구성된 초음파 에너지 부가장치를 노즐에 수직방향으로 부착 실험하고 초음파 출력변화, 분무공기압력 변화에 따른 평균입경(SMD)과 입경분포를 상용분무와 초음파에너지 부가의 경우에 비교한 결과 분무량은 상용의 분무가 많았으며, 평균입경은 초음파 분무가 낮은 것으로 나타났다고 하였다. 분사 공기압력 980 kPa일때 평균입경이 상용 분무 경우 18.6 μm 에 비해 초음파 출력 210 kW/m^2 일때 15.5 μm 로 나타났다. 그림 8은 논문에서 사용한 초음파에너지 부가장치의 개략도이다.

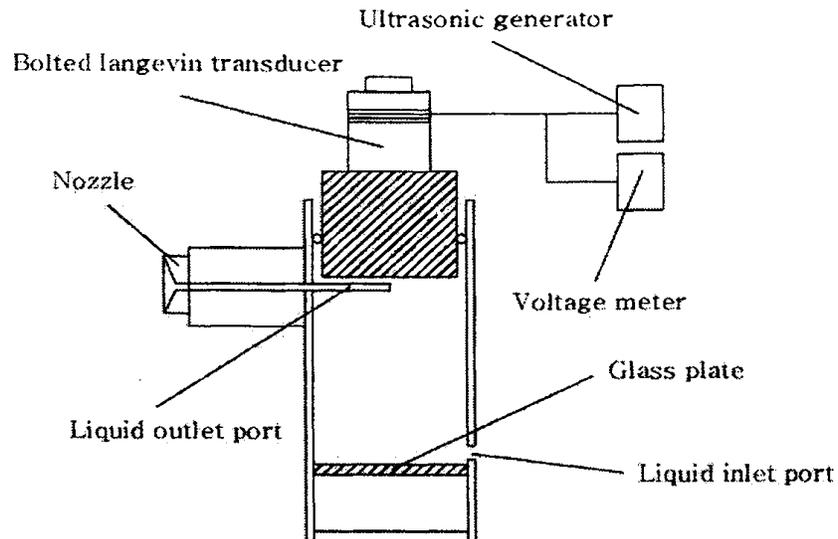


Fig. 8. A sonication system for twin-fluid spray nozzle.

2. 시설채소에 발생하는 주요 병 피해와 방제

가. 탄저병

시설 내에서 재배하는 작물은 노지작물 보다 탄저병의 피해가 훨씬 적다. 그러나 박과 작물과 고추에는 피해가 큰 병해로 잎, 줄기, 과실에 발생한다. 효과적인 방제를 위해서는 발병초기나 예방으로 등록 약제를 정량으로 살포하는 것이 매우 중요하다. 발병이 급격해지면 4~5일 간격으로 약제를 2회 살포하고 예방으로 발병 기에 7~10일 간격으로 1~2회 살포한다.

나. 흰가루병

오이 등 박과 작물을 비롯하여 고추 파프리카, 딸기, 토마토, 사과, 배, 포도, 거베라, 보리, 담배, 참깨 등에서 큰 피해가 나타나며 주로 잎, 잎자루, 줄기와 과일에서 주로 발생한다. 작물의 병원균 침입방제에는 보호효과가 강한 살균제를 살포하며 병 발생 시에는 조기 발견하여 적용약제를 살포하여 2차 전염을 차단한다.

다. 역병

국내에는 20여종의 역병균이 발생하고 있으며 거의 모든 작물은 최소 1종 혹은 3~4종의 역병균의 침입을 받는다. 하우스 재배에는 연중 발생되며 토양전염성으로 다른 병해들에 비해 약제 방제효과가 상대적으로 낮다. 기온이 높고 강우 일수가 많은 4~5월에 대 발생이 우려된다. 전 연도 역병이 발생하였거나 병이 발생할 위험이 있다고 판단되면 미리 약제를 살포하는 것이 가장 효과적이다.

라. 노균병

주로 지상 부의 잎에 많이 발생하지만 어린 가지나 어린 과일에도 발생하며 하우스 재배에 흐린 날씨가 지속되면서 상대 습도가 높고 밤낮의 기온 차이가 심한 환절기에 발생한다.

저온 다습 시 발생하므로 통풍을 좋게 하고 배수를 잘 해야 하며 밤낮의 높은 기온 차로 하우스 내에 상대습도가 높거나 잎에 물방울이 맺히지 않도록 관리해야 한다.

발병 초기부터 맑은 날 오전에 등록 약제를 7~10일 간격으로 골고루 살포하여 병 발생 초기에 방제해야 한다.

마. 균핵병

축성 및 반축성 재배에서 가온 기간이 끝날 무렵 시설 내 온도가 낮아지고 밤낮의 기온 차가 심해 하우스내 습도가 높아지면 발생한다. 균핵병의 방제는 시설 내 환경 관리, 포장위생, 토양소독, 약제살포 등 다양한 측면에서 고려되어야 한다. 시설 내 환경관리로 밤낮의 기온 차를 줄이고 20℃내외의 다습조건이 되지 않도록 해야한다.

바. 잿빛 곰팡이병

병든 조직위에 특징적인 잿빛의 곰팡이 분생포자를 생성하는데 저온 다습한 하우스 재배에서 특히 피해가 많다. 시설 내 습도는 병 발생과 가장 밀접한 관계가 있으므로 습도를 낮추기 위해 통풍이 잘 되게 하고 하우스의 투광을 높여야 한다. 저온 다습한 날씨에 농약을 살포하면 방제효과가 매우 낮다. 맑은 날 오전에 서로 다른 계통의 살균제를 교대로 살포하는 것이 바람직하다.

사. 풋마름병

토경재배를 하는 하우스에서는 서서히 병이 진행되지만 양액재배에서는 급속히 병이 진전되므로 큰 피해가 초래된다. 병이 발생하기 좋은 온도를 낮추어 줌으로써 병의 진전을 늦추어 줄 수 있다.

3. 농약 제제의 물리적 성질

농약 제제의 각종의 물리성은 살포기구와도 관련이 있고, 농약의 사용상 효율성이나 안전성 등과도 깊은 관계를 가지고 있다.

가. 살포액(액상시용제)의 물리적 성질

1) 유화성(emulsifiability, emulsibility)

유제를 물에 가한 경우 유입자가 균일하게 분산하여 유탁액(emulsion)으로 되는 성질. 물에 유제를 가하여 교반하였을때 유화의 난이를 나타내는 순간유화성과 조제한 유탁액의 안전도를 나타내는 유화안정성의 두 가지 성질이 중요하다.

2) 습전성(wetting property)

살포한 약액이 작물이나 해충의 표면을 잘 적시고 퍼지는 성질. 유제에서는 유화제로서 가해지는 계면활성제가 습전제로서의 역할을 맡고 있는 경우가 많다. 일반적으로 유제에 비하여 수화제의 습전성은 그다지 좋지 않기 때문에 사용 시에는 전착제를 가용하는 일이 많다.

3) 표면장력(surface tension)

공기와 접하는 계면에 있어서의 계면장력. 살포 후의 표면장력이 적은 경우에는 살포가 용이하다. 적당량의 계면활성제를 첨가함으로써 표면장력이 작아진다.

4) 접촉각(angle of contact)

정지액체의 자유표면이 고체와 접하는 점에 있어서 액면과 고체면이 이루는 각(θ). 접촉각(θ)은 식물체 등의 표면이 물에 적셔지는 난이를 나타내는 척도로서 쓰인다. θ 가 크면 적셔지기 어렵고 작으면 적셔지기 쉽다. 물에 계면활성제를 가하여 물의 표면장력을 적게 한 액에 친유성의 면이 접하게 되면 액과 면과의 계면장력은 적게 되어 θ 는 작게 된다.

5) 수화성(wettability)

수화제와 물과의 친화도를 나타내는 성질, 살포액을 조제하는 데 중요한 성질이다.

6) 현수성(suspensibility)

수화제에 물을 가하여 조제한 현탁액(suspension)에 있어서 고체입자가 균일하게 분산 부유하는 성질과 그 안정성을 나타내는 것. 수화제의 입자가 큰 경우와 응집하면 현수성이 나빠진다. 일반적으로 수화제는 유제에 비하여 안정성이 떨어지기 때문에 살포 액의 조제 후 신속히 사용하거나 또는 교반하면서 사용하는 경우가 많다.

7) 부착성 및 고착성

살포한 약액이 식물체나 충체에 붙는 성질을 부착성(adhesiveness). 부착한 약제가 이슬이나 빗물에 씻겨 내리지 않고 식물체 표면에 붙어 있는 성질을 고착성(tenacity)이라고 한다. 이와 같은 성질은 잔효성을 필요로 하는 보호살균제에서 특히 중요한 특징이다.

8) 침투성(penetrating property)

살포된 약제가 식물체나 충체 내에 스며드는 성질. 접촉살충제·직접살충살균제·침투성살충제 및 침투성살균제에서 중요한 성질로서 일반적으로 침투성이 강한 농약은 약해가 일어나기 쉬우므로 주의해야 한다.

4. 초음파 응용 상용 연무기 특허 조사

가. 초음파를 이용한 소독약제의 기화 분사장치

그림 9에 대한민국 특허청 등록번호 실용신안 20-0179049호 초음파를 이용한 소독약제의 기화 분사장치를 나타내었다. 이 장치는 기화 분사하는 초음파를 이용한 소독약제 기화 분사장치에 관한 것으로, 특히, 전기에 의한 초음파 진동자와 압축공기에 의한 초음파 발생기를 동시에 기화탱크에 장입하고, 각각의 방법으로 동시에 소독약제에 초음파를 가할 때 단시간에 소독약제가 극히 미세한 입자로 기화되며, 다량의

기화가스를 얻을 수 있도록 한 것으로, 액상의 소독약제가 투입되는 다수개의 기화탱크를 가지며, 각각의 기화탱크 내측에는 전기에 의해 작동하는 초음파 진동자와 압축 공기에 의해 초음파를 발생하는 공기압 초음파 발생기가 각각 설치되며, 각각의 기화탱크 상방에는 기화가스를 저장하는 저장탱크를 가지며, 저장탱크 일측에는 배기파이프와 송풍팬을 가지며, 기화탱크 일측에는 공기 압축기가 설치되며, 각각의 기화탱크 일측에는 열선을 감아 소독약제를 일정온도로 유지토록 한 것이다.

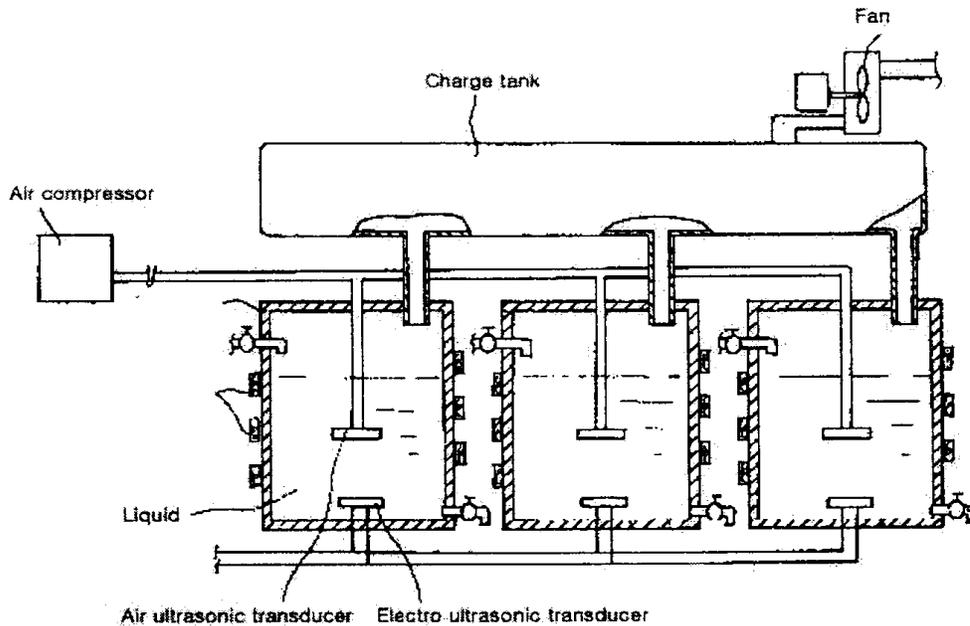


Fig. 9. The evaporator using ultrasonic.

나. 휴대용 소독 살충 액체 약품 연무기

그림 10에 대한민국 특허청 등록번호 실용신안 20-0201006호인 휴대용 소독 살충 액체 약품 연무기를 나타내었다. 휴대용 소독 살충 액체 약품을 살포하는 연무 기계에 관한 것으로서, 본체 상단에 손잡이와 스위치를 부착하여 내부에 연무통과 액체 약품통을 장착하고 연무통 하단에 초음파 진동자와, 초음파 진동자를 작동하기 위한 전기 회로판이 부착되어 있으며, 액체 약통 하단에 설치된 팬의 구동으로 발생되는

풍력을 연무통 내부로 연결하여, 초음파 진동자로 진동하여 살충 액체 약품이 초 미립자로 형성시킨 내용물을 팬의 풍력으로 살충 액체 약품을 구름 형상으로 연무하도록 하여 살충 액체 약품을 효과적이고 미세하게 살포함으로써 살충 효과를 향상시킬 수 있도록 구성된 집약체이다.

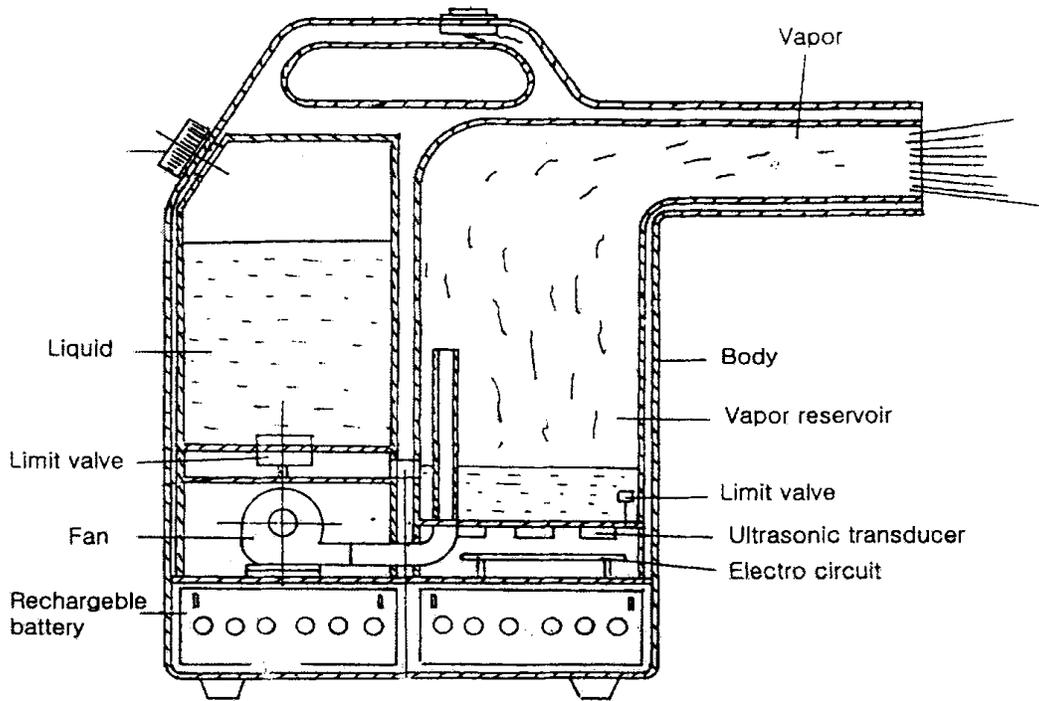


Fig. 10. The portable evaporator using ultrasonic.

다. 표면 음향파를 이용한 기화장치와 그 방법

그림 11에 미국 특허청 등록번호 5,996,903호 표면 음향파를 이용한 기화장치를 나타내었다. 기화기는 표면 음향파를 발생하는 진동자와 여러 개의 구멍을 가진 얇은 판으로 이루어져 있다. 이 얇은 판은 진동자의 진동표면과 아주 작은 여유각을 가지고 있다. 액체 저장소의 액체는 이 좁은 간극을 통해 흡입되고 표면음향파에 의해 모세관 현상이 발생하여 기화되고 기화된 입자는 얇은 판에 나 있는 작은 구멍을 통해 배출되는 구조로 되어있다. 그리고 배터리를 장착하고 있어 이동이 자유로운 구조로 되어있다.

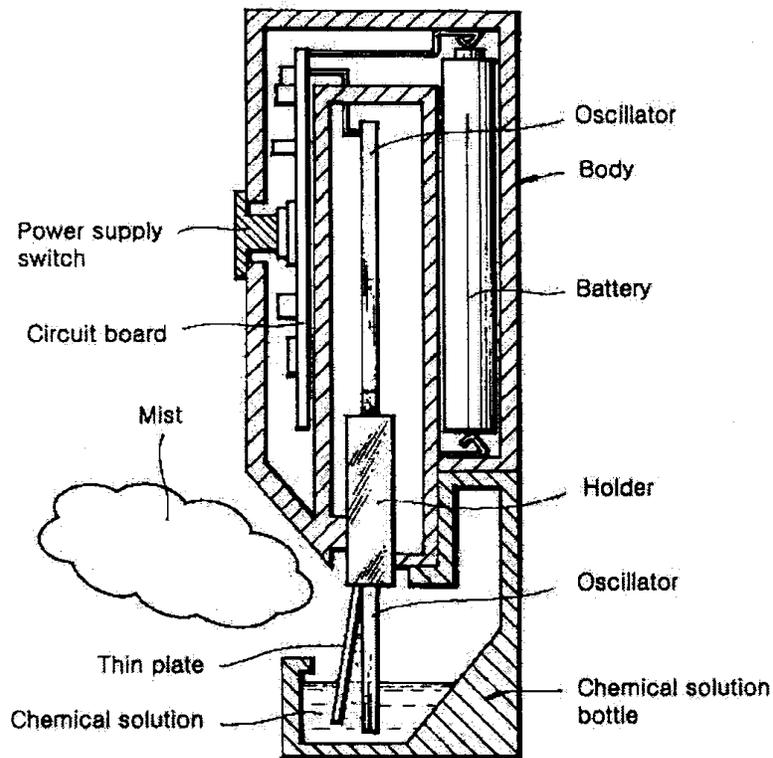


Fig. 11. Atomizer and atomizing method utilizing surface acoustic wave.

라. 압전 소자를 이용한 액체 기화장치

그림 12에 미국 특허청 등록번호 US 6,296,196,B1호 압전 소자를 이용한 액체 기화 장치를 나타내었다. 심지를 통해 흡수된 액체 저장소의 액체가 오리피스형 판에 모이고, 다시 압전진동자에 의해 기화되어 다공판을 통과하여 배출되는 구조로 되어있다. 가변전압에 따라 다른 주파수 대역에서 구동될 수 있는 구조로 되어 있으며, 배터리로 구동되어 이동이 자유로운 특징을 가지고 있다.

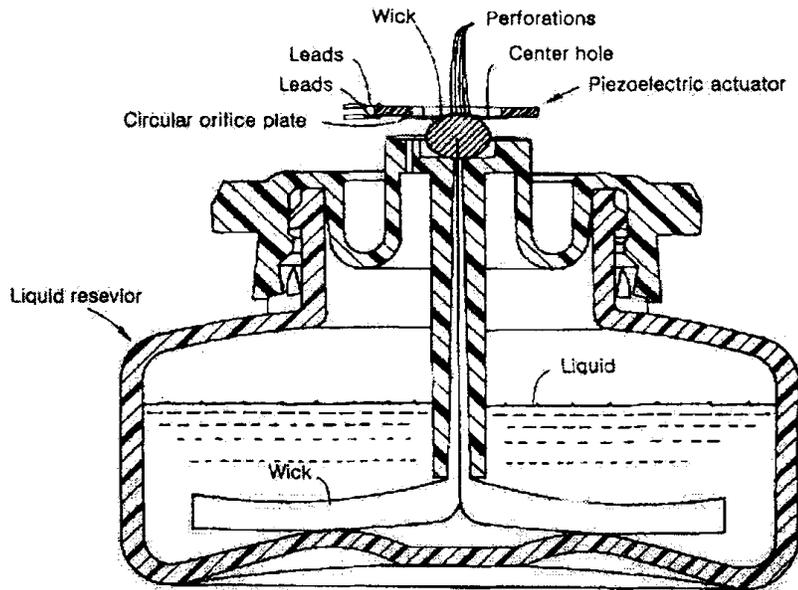


Fig. 12. Control system for atomizing liquids with a piezoelectric vibrator.

이들은 모두 우리나라에 많이 보급된 기존 상온연무기와 겸용으로 사용하기에는 부적합하므로 본 연구에서는 보다 간편하고 능률적인 장치를 개발하고자 한다.

제 3 장 초음파 에너지가 부가된 농약의 물리·화학적 특성 분석

제 1 절 서언

1. 연구배경

20세기 후반부터 초음파는 과학 및 산업분야 전반에 걸쳐 다각도로 활용 및 응용되고 있다. 초음파를 적용한 분무장치는 산업분야와 농업분야에 걸쳐 다각도로 활용되고 있다.

재료공학에서 새로운 물질의 제조 및 합성에 초음파를 활용하고 있으나, 본 연구에서는 초음파를 이용하여 분무입경의 미세화 및 균일입경의 분무를 위한 초음파 응용기기의 설계에 있어서 초음파에너지에 의한 분무액체의 변성 및 고형성분의 파쇄여부를 측정하였다.

초음파 처리로 인해 발생하는 부가적인 효과로서 물질의 변성 및 화학적 변질의 가능성을 분석 및 검토하기 위해서 본 연구에서는 초음파 에너지를 부가한 후, 즉 초음파 처리된 상태에서의 수화제의 물리적인 특성변화와 유제의 화학적 구조를 정성·정량적 실험방법을 이용하여 분석하였다.

2. 연구동향

최근 Sonication을 적용한 물질의 물리·화학적 특성분석들을 위해 다양한 연구결과들이 발표되고 있다.

Yifang(2002)은 실리카 입자들의 균질화를 위해 수력학적 교반법과 초음파 처리법(20 kHz, 460 W ℓ^{-1})을 적용하고 반응시간에 따른 입자크기 분포를 SEM을 이용하여 측정하였으며, 수력학적 교반법에 비해 초음파 처리법의 특징은 초음파 처리 시간에 따른 입자크기의 미세화를 가져왔으며, 입자 파쇄원리를 microstreaming, microjets, shock wave 등의 액체 중에 방사되는 초음파의 물리적 성질에 기인한다고 설명했다.

Michael(2000)은 알루미늄 입자의 파쇄에 초음파 처리법(20 kHz, 88 W)을 적용하고 반응시간에 따라 입자크기의 분포를 SEM, 입자 내부 격자의 변형을 X-선 회절장치를 이용하여 측정하였으며, 초음파 처리시 발생하는 내부응력으로 알루미늄 입자는

흡열반응을 하므로 소결처리지 발열반응을 하면 고밀도의 알루미늄 제조가 가능하다고 하였다.

Kingsuk(2002), Zhaoxia(2002), Saito(2002), Delozier(2002), Debjit(2002) 등은 나노튜브 및 나노 필터의 제조에 초음파 처리를 이용하였으며, Kingsuk은 나노튜브에 초음파 처리하여 완성된 나노섬유를 이용하여 나노필터를 제조하였으며, Zhaoxia은 레이저광의 전달 효율 향상을 위해 나노튜브 제조공정에서 초음파 처리를 적용하여 내부 결정배치를 향상시켰다. Saito, Delozier, Debjit은 나노튜브 및 나노복합재료의 제조에 초음파 처리과정을 전처리로 이용하였다. 상기 연구에서 초음파 처리된 재료의 물리·화학적 특성분석을 위해 UV-Vis, FT-IR(Fourier transform infrared spectroscopy), AFM(Atomic force microscope), SEM(Scanning electron microscope), TEM(Transmission electron microscopy), EDAX, DSC(Differential scanning calorimetry), TGA(Thermo gravimetric analysis), XRD(X-ray diffraction), Z-scan 등의 분석 방법을 이용하였다.

최두석등(1996)은 초음파 에너지 부가 디젤연료의 물리적 특성으로 점성과 표면장력을 측정하여 비교하였으며, 화학적 특성들은 H-NMR, FT-IR을 이용하여 분석하였다. 초음파가 가해진 디젤연료의 물리적 특성변화로서 점성과 표면장력이 감소하였으며, $^1\text{H-NMR}$ 과 FT-IR의 화학적 특성분석의 결과는 화학적 이동상수의 변화는 없었지만 초음파 에너지가 가해진 연료매질내부의 공동현상으로서 피크의 크기 변화를 측정하였다.

Franco(2000)는 초음파처리와 열분해를 이용하여 벤젠이나 톨루엔의 링구조를 파괴하여 Sonopolymer를 제작하였으며, 그 결과로서 초음파 화학분야에서 기존의 결과로서 널리 인정되는 열점이론으로는 명확하게 그 현상을 규명하기에는 불충분하다는 결론을 내렸다.

Gareth 등(2002)은 고출력 초음파 처리가 결합의 링구조를 파괴하여 polymerisation을 가속화한다는 연구결과를 열분해법과 비교하여 도출하였다.

Feng 등(2000)은 초음파 처리된 수지에서 이물질의 제거 및 추출에 관한 실험결과에서, 그 원인으로 초음파 처리에 따른 acoustic vortex micro streaming에 의한 이온의 확산결과에 기인한다고 추측하였다.

Chu 등(2002)은 저출력 초음파(0.33 W/ml, 20 min)처리된 활성 biosolids에서 메탄

생산량이 증대된다는 실험결과를 보고하였다. Lima Leite 등(2002)과 Lafitte-Toruque 등(2002)에 의한 폐수처리 분야에 초음파를 이용하여 그 효율성과 성능을 검토하였다. Lima Leite는 2 MHz와 28 kHz의 고주파와 저주파 대역의 초음파를 적용하였을 경우 저주파영역의 초음파를 적용하였을 경우가 캐비테이션 현상의 증가로 인해 폐수처리에 우세함을 제시하였다. Lafitte-Toruque는 23 kHz, 47 W의 초음파와 γ 선 전처리 하였을 경우의 폐수처리 특성을 비교하였다.

Ebringerova 등(2002)은 Xylan의 분리공정에서 초음파를 적용하여 con bran hemicelluloses의 추출효율을 비교·분석하였다.

Yukitoshi(2001), Nadine(2001), Bohm 등(2000)은 각각 초음파가 처리되었을 경우의 안구망막과 뇌육기의 변형측정을 다양한 초음파 에너지(1.5 MHz, 26 W, 39 W, 52 W, 65 W)의 열적효과에 따른 토끼 뼈세포조직의 혈관과 Bone Tissue의 손상에 대해서 MRI를 이용하여 초음파 효과에 대해 연구하였으며, 23 W 이하의 초음파 출력에서는 세포의 손상을 야기하지 않음을 확인하였다. 즉 초음파를 인체에 적용시 23 W가 최대안전출력값임을 제시하였다. Plant cell에 2 MHz 초음파를 적용하여 생존능력을 초음파 출력별(2.43 MHz(70 Jm^{-3}), 2.15 MHz(8.5 Jm^{-3}))비교·검토하였으며 초음파처리 4일 이후부터 세포의 재생이 진행된다는 결과를 제시하였다.

Evelyne(2002)는 제지생산공정에서 발생된 폐수처리를 위해 초음파 처리(500 kHz, 100 W)와 생물학적 전·후 처리를 병행하여 생물학적으로 처리하기 어려운 폐수를 처리하는데는 초음파가 효과적이며, 이 때 최적의 초음파에너지 밀도는 83 GJ/m^3 임을 제시하였다.

Yukiko(2002)는 ^{31}P -NMR 과 TEM측정시 전처리 과정으로서 초음파 처리를 이용하였으며, Juliana 등(2002)은 Imazaquin의 HPLC 측정의 전처리 과정으로 초음파를 이용하였고, Sanchez-Brunete(2002)는 GC(NPD, ECD, MS)를 이용한 토양의 성분분석을 위한 전처리 과정으로서 초음파처리를 이용하였다.

Kim 등(2002)은 폴리프로필렌과 폴리스티렌의 혼합에 3가지의 초음파 처리(20 kHz, 1.5 kW)시간에 따른 특성을 FT-IR과 SEM을 이용하여 비교·분석하였다.

Huang 등(2002)은 $\text{Fe}_x\text{O}_y\text{-TiO}_2$ 에 초음파 처리를 이용한 반응속도 향상에 관한 연구를 XRD, DSC, TEM, SEM, BET 등의 측정장치를 이용하여 초음파 처리에 따른 특성을 분석하고자 하였다.

Swamy 등(2001)은 다양한 초음파(20 kHz ; 375 W, 40 kHz ; 80 W, 43 kHz ; 250 W, 720 kHz ; 21 W)의 응용에서 동시에 두 개의 주파수를 이용한 초음파(20 kHz, 40 kHz) 처리를 기계적 교반법과 비교하여 Copper 회복값을 비교하였다. 두 개의 초음파 출력을 사용함으로써 반응속도향상, 변환효율증대, 새로운 물질개발 등에 응용할 수 있는 가능성을 제시하였으며 각각의 초음파를 사용하였을 경우보다 동시에 두 개의 초음파를 사용하였을 경우가 에너지 효율면에서 탁월하게 우세함을 제시하였다. 즉 두 개의 초음파를 적용하여 에너지 효율 향상 및 반응시간 감소의 결과를 유도하였다.

Balasundaram 등(2001)은 초음파(20 kHz, 600 W)를 이용한 Cell의 균질법과 고압균질법, 수력학적 공동법을 비교·분석하여 경제성 분석을 하였고 그 중 초음파를 이용한 균질법이 가장 효율적임을 제시하였다.

Antonio 등(2002)은 최초로 초음파(20 kHz, 132.7 W) 처리방법을 이용하여 COD를 측정할 수 있는 저렴하고 간단한 실험장치를 고안하였으며, Darcey(2002)는 단일 진동자로서 다양한 주파수의 출력을 낼 수 있는 초음파 장치를 개발하였다.

3. 연구목적 및 방향

본 연구에서 분무미립화에 사용되는 혼·화합물에 초음파 처리하는 경우에 발생되는 물리·화학적인 변화를 측정하였다.

분무미립화 특성의 향상과 사용가능한 농약의 선택 범위 확대를 위해서 연무노즐에 초음파를 적용할 경우 초음파가 농약의 본질적 구조특성에 미치는 영향에 관한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 초음파를 약품살포에 사용되는 연무기에 적용할 수 있는 타당성과 안전성을 검토하고자 하였다.

미립화 특성을 향상시키고 수화제의 사용을 위해 상용연무기에 초음파를 적용하였을 경우에 발생하는 변질여부를 각각 4종류의 유제와 수화제를 대상으로 물리·화학적 분석을 하였다. 초음파 에너지가 부가된 혼합물과 화합물의 물리적인 특성변화를 분석하기 위해서 광학현미경과 SEM을 이용하여 파쇄정도를 영상으로 획득하여 분석하였다. 초음파 처리시 고상입자의 파쇄여부를 측정하기 위해 분무노즐에 사용되는 수화제를 대상으로 초음파 처리 전·후의 상태를 액상에서의 분포상태와 건조된 상태에서 광학현미경과 SEM을 이용하여 비교·관찰하였다. 수화제의 초음파 처리에 의

한 용해나 분산정도를 조사하기 위하여 대표적인 4종류의 수화제에 대하여 초음파 처리된 경우와 처리전의 경우에 대해 현미경을 통한 영상을 획득 및 분석하였다. 농업용 약품과 같은 화학적인 구조물에 초음파를 처리하였을 경우에 화학적인 구조의 안정성 및 변질 여부를 확인해야 한다. 본 연구에서는 정성적인 분석방법으로서 TLC(Thin Layer Chromatography)와 정량적인 방법으로는 NMR(Nuclear Magnetic Resonance)을 이용하여 초음파 처리 후의 분자구조 변화를 관찰하였다. Acclab社의 ACD/HNMR Spectrum Generator와 Cambridge Soft社의 CS ChemDraw Ultra 두 종류의 프로그램을 이용하여 NMR Spectrum의 분자구조 중 취약한 부분을 파악하였으며 결합구조에 따른 Spectrum 분석을 진행하였고 실제 NMR분석 결과와 비교·검토하였다.

제 2 절 이론적 고찰

1. NMR(핵자기 공명법)

약품의 화학적 분석을 위해서는 유기분광학을 이용하여 농약의 분자구조를 분석한다. 대표적인 분석방법으로는 TLC, GC, HPLC, NMR, FT-IR 등의 분석장비들을 이용하는 방법들이 있으며, 본 연구에서는 약품의 전체적인 작용기를 분석하기 위해, 정성적인 분석은 TLC를, 정량적인 분석법은 NMR을 이용하였다.

핵자기 공명법은 1924년, Pauli에 의하여 제안되고, 1946년 미국 Havard 대학교의 Purcell 팀과 Standford 대학교의 Block 연구팀에 의하여 확립되었다. 즉, 각각 독립적으로 자기장에서 분리된 낮은 에너지의 스핀상태로 전이한다는, 이른바 핵자기 공명이론을 확립하였다.

핵자기 공명을 일으키기 위하여 흡수해야 될 에너지는 전자기 복사선의 라디오 주파수대역 (3~3000 cm, 0.1~100 MHz) 끝 부분에 해당하는 영역으로서, UV-Vis, IR에 비하여 대단히 작은 에너지이다.

전자가 자전에 의하여 $\pm 1/2$ 의 스핀 양자수를 가지는 것처럼, 원자핵도 자전운동을 일으키면 핵 스핀 양자수(nuclear spin quantum number)를 가지게 된다.

일반적으로, 자전하고 있는 1개의 원자핵이 가지는 전체 스핀 각 운동량은 핵 스핀 양자수 I에 의해 정의된다. I는 0, 1/2, 1, 3/2, 등의 여러 가지 값을 가질 수 있는데, 이 값은 원자핵 안에 있는 양성자와 중성자의 수에 의해 결정된다. 예를 들면 표 2와 같이 원자번호 및 질량수가 홀수 또는 짝수인 핵 (^1_1H , $^{13}_6\text{C}$, $^{15}_7\text{N}$ 등)은 $I > 1$ 인 값을 가지며, 위의 두 가지가 모두 짝수인 핵 ($^{12}_6\text{C}$, $^{16}_8\text{O}$ 등)은 $I=0$ 인 값을 가진다. 여기서 $I=0$ 인 원자핵은 자전을 하지 않고, $I > 0$ 인 핵은 자전을 하고 있음을 뜻한다. 이것이($I > 0$) 바로 핵자기 공명을 일으키기 위해 갖추어야 할 핵의 기본 요건이 된다.

일반적으로, 회전, 즉 자전하고 있는 하전된 입자는 그 주위에 자기장을 형성하여 대단히 작은 자석과 같이 행동하며, 원자핵마다 고유한 자기 모멘트(magnetic

moment) μ_m 를 가진다. 만약, $I > 0$ 인 원자핵이 균일하고 강한 자기장에 놓이게 되면, 스핀 양자수 I 인 원자핵은 $(2I+1)$ 개의 양자화된 에너지의 스핀 상태로 분리되며, 각 스핀상태가 가질 수 있는 값, 즉 스핀 양자수 m_s 는 다음과 같다.

$$m_s = -I, (-I+1), \dots, (I-1), I$$

Table 2. Nuclear spin quantum number

Nuclear	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^{12}_6\text{C}$	${}^{13}_6\text{C}$	${}^{15}_7\text{N}$	${}^{16}_8\text{O}$	${}^{17}_8\text{O}$	${}^{19}_9\text{F}$	${}^{31}_{15}\text{P}$
I	1/2	1	0	1/2	1	0	5/2	1/2	1/2
No. of m_s	2	3	0	2	3	0	6	2	2

이와 같이, 핵자기 공명 현상을 일으키는 조건은 즉 $I > 0$ 인 핵종은 표에서 보는 것과 같이 여러 가지 종류가 있다. 그러나 화합물 중에 가장 많이 존재하고 핵자기 공명 현상을 일으키기가 비교적 쉬운 핵은 수소 원자핵이다.

일반적으로 입자가 외부 자기장에 놓이게 되면 입자의 거동은 마치 작은 막대 자석을 큰 자기장에 놓았을 때와 비슷하다.

외부 자기장 속에 놓은 입자의 위치에너지는 외부 자기장에 대한 자기 쌍극자의 배향에 의존하며 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = -\mu_m H_0$$

여기서, μ_m 는 입자의 자기 모멘트이고, H_0 은 외부 자기장의 세기이다. 양자론적 특성에 의하여 고유한 I 및 m_p 값을 가지는 입자가 자기장에 놓였을 때, 핵이 가질 수 있는 스핀 상태의 양자화된 위치 에너지는 다음과 같다.

$$E_e = -\left(\frac{m_p}{I}\right) \mu_m \beta H_0$$

여기서, β 는 핵 마그네톤(nuclear magneton)을, H_0 는 외부 자기장의 세기(strength of external magnetic field)를 나타낸다.

그림 13은 외부 자기장을 걸어 주지 않았을 경우의 수소 원자핵의 스핀상태를 보여주는 그림이다.

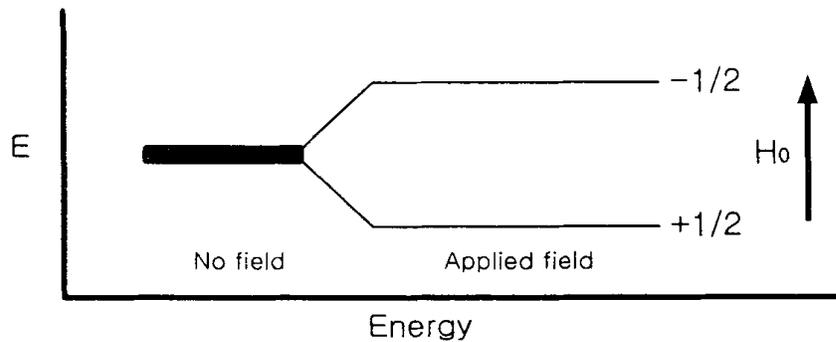


Fig. 13 Spin state of hydrogen proton between two states.

상기 그림에서와 같이 외부 자기장에 나란히 배열된 $+1/2$ 인 상태는 낮은 에너지 상태이고 $-1/2$ 인 상태는 높은 에너지 상태이며 특히 자연계에서의 수소 원자의 에너지 상태는 $+1/2$ 가 10 ppm 정도 많은 것으로 나타난다.

균일한 외부 자기장에 놓인 수소 원자핵은 $\pm \mu_m \beta H_0$ 의 에너지를 가지는 $\pm 1/2$ 의 두 가지 스핀 상태 중에서 어느 한 상태를 취할 수 있다는 사실은 앞에서 설명하였다.

핵자기 공명이란, 어느 한 방향으로 자전하고 있는 핵이 다른 방향으로 자전하는 핵으로 바뀌는 현상, 즉 한 방향의 핵 스핀이 다른 방향의 스핀 상태로 전이하는 것을 의미한다.

이 때 두 스핀 상태의 흡수해야 할 에너지 차이는 ΔE 로 나타낼 수 있다.

이 때 에너지 변화량 ΔE 는 아래의 식과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} \Delta E = h\nu &= E_{-\frac{1}{2}} - E_{+\frac{1}{2}} = (+\mu_m\beta H_0) - (-\mu_m\beta H_0) \\ &= 2\mu_m\beta H_0 \text{ and } \nu = \frac{2\mu_m\beta H_0}{h} \end{aligned}$$

예로서, 14,100 gauss의 자기장에 놓인 수소 원자의 주파수를 구하면, 수소 원자핵이 60 MHz의 주파수에 해당하는 에너지를 흡수하면, 수소 원자핵의 스핀상태, 즉 자전하는 핵의 방향이 바뀌는 핵자기 공명현상이 일어난다.

그림 14은 핵자기 공명 현상에 대한 외부 자기장과 회전 자기장의 세기와 핵자기 공명현상을 나타낸 그림이다.

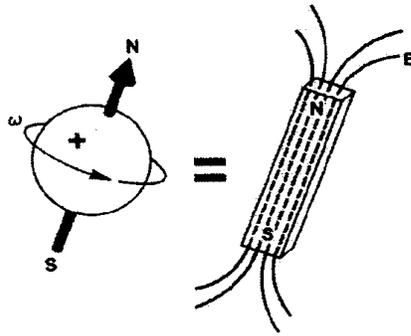


Fig. 14. Extend and rotational magnetic force of NMR.

최근 가장 많이 쓰이는 방법은 회전 자기장의 세기 H_1 을 일정하게 하고 외부 자기장의 세기 H_0 를 천천히 변화시키는 방법이다.

수소 원자핵이 공명 흡수를 일으키는 과정은 약 10 ppm 정도의 낮은 에너지의 스핀 상태를 가지는 핵이 높은 에너지 상태로 올라감으로써 흡수 스펙트럼이 얻어진다. 낮은 에너지의 핵이 모두 높은 에너지로 올라 간 다음에는 더 이상 NMR 현상을 일으킬 수 없게 된다. 이와 같은 상태를 포화상태라 한다.

한편 높은 에너지로 들뜬 핵이 에너지 방출을 하지 않고 있으며 시간이 지남에 따라 낮은 에너지 상태, 즉 바닥 상태로 되돌아간다. 이와 같이, 비복사 과정에 의해 에너지 상태의 전이를 일으키는 현상을 핵이완 과정이라 한다.

핵자기 공명 스펙트럼에서 흡수선의 위치는 핵이 공명을 일으키는 데 요구되는 자기장의 세기, 즉 주파수에 의존한다. 특히 화학적 이동이 가장 큰 영향을 주는 것은 가로막기 현상인데 이는 회전하고 있는 전자의 반자기성 효과로 인하여 외부 자기장을 가로막음으로써 핵이 받는 실제의 유효 자기장의 세기는 공명 주파수에 대응하는 자기장의 세기보다 약하게 된다. 그러므로 가로막는 자기장의 세기만큼 더 강한 자기장을 걸어 주어야만 비로소 공명을 일으킬 수 있게 된다. 작용기의 종류에 따라 어떤 것은 가로막기 효과를 상승시키는 역할을 하는 반면, 가로막기 효과를 줄여주는 역할을 하는 것도 있다. 화학적 이동은 분자의 전자 구조에 의존하므로 NMR 스펙트럼을 해석하여 분자 구조를 확인하는데 결정적인 정보를 얻을 수 있다.

그림 15은 몇 가지 중요한 작용기에서 양성자의 화학적 이동을 나타낸 그림이다. 따라서 NMR스펙트럼 분석 시, 각 작용기들을 판단하는 기준이 된다.

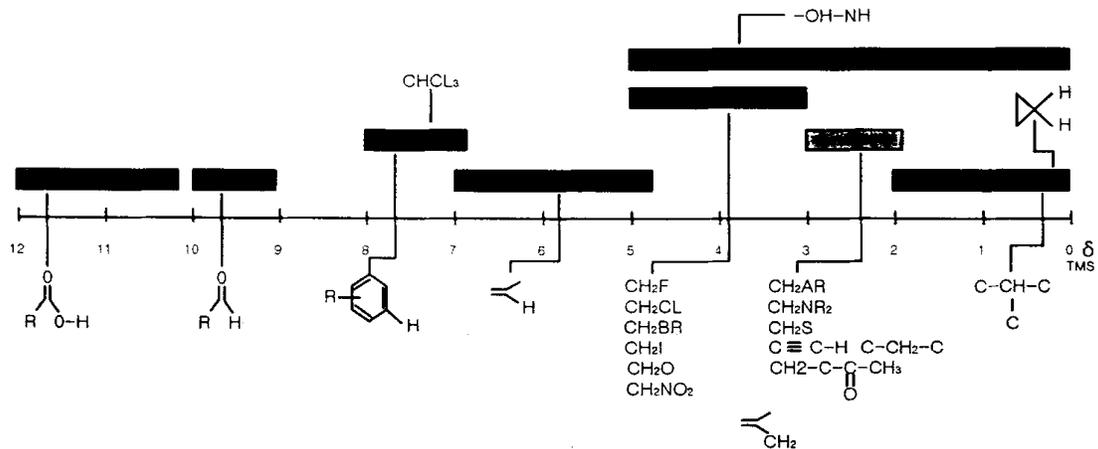


Fig. 15. NMR positions of each protons.

그림 16은 핵자기공명분광기(NMR)의 개략도이다. 핵자기공명분광기로는 Bruker 社, DRX-500 Model을 사용하였고 이 분광기의 진동수는 500 MHz이다. NMR의 경우 촉매로는 D₂O를 사용하였고 영점조정을 위해 TMS 물질이 사용된다. 시료를 NMR cell에 넣은 후 외부 자장과 cell을 회전시킴으로써 발생하는 회전 자기장을 이용하여 분자에 에너지를 공급하게 되고 이 때 흡수되어지는 신호를 검출한 후 FFT처리를 하여 흡수 스펙트럼을 얻어낸다.

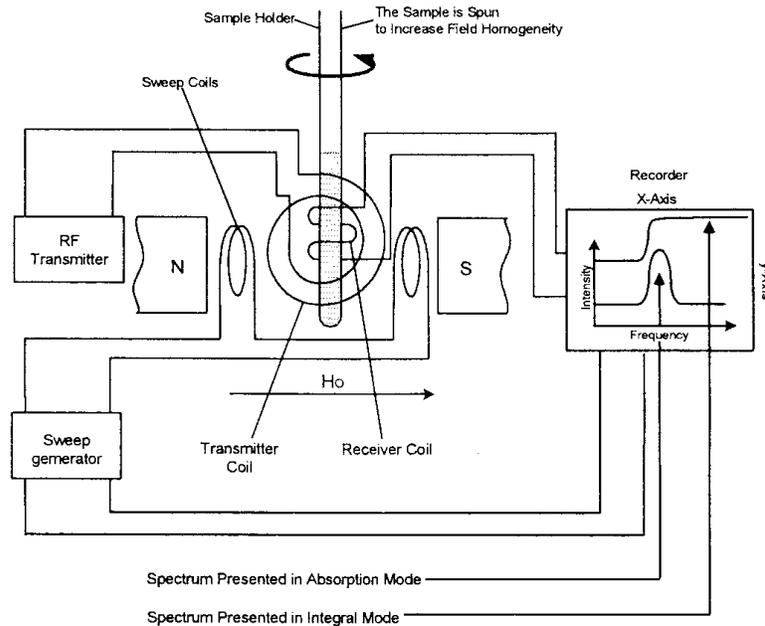


Fig. 16. Schematic diagram of NMR.

^1H NMR 로는 chemical shift로부터 화합물 중의 각 수소의 결합형식을, signal 의 강도로부터 그 수소의 상대수를, 또는 spin-spin 결합에 따른 signal 의 분열로부터 각 수소의 위치 관계를 알 수 있다. 정리하면, 기지 물질의 스펙트럼을 비교하여 화합물의 동정, 확인을 할 수 있다. 즉 분자 구조를 추정할 수 있다. 특히, 탄소 골격 (분지나 환구조), 탄소다중결합, 이성체, 입체화학 등에 유효하며 혼합물의 정량 분석이 가능하다. 기타 특수한 측정법에 따라 광범위하게 이용될 수 있으며 특히 반응 중간체, 입체 배좌, 온도나 용매에 따른 결합 상태의 변화 등 다른 수단으로 얻기 어려운 정보를 얻을 수 있다.

제 3 절 실험장치 및 방법

1. 초음파 처리장치

농약의 파쇄 및 변성을 측정하기 위해서 그림 17의 (a)와 같은 구조의 초음파 부가 장치를 제작하여 실험을 진행하였다. 약액이 초음파 부가 2유체 노즐에 체류할 수 있는 최대 시간(10s)을 고려하여 초음파 에너지에 노출되는 시간을 30초로 하여 초음파 처리된 상태로 초음파 처리 이전의 상태와 비교·관찰하였다.

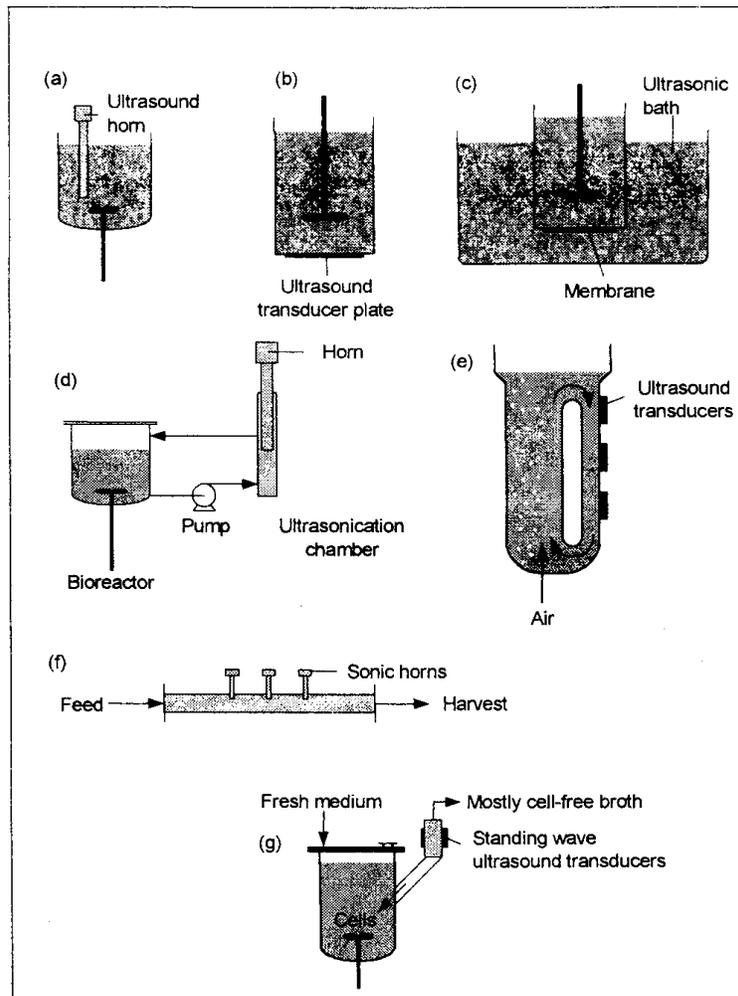


Fig. 17. Sonication treatment method in biotechnology.

그림 17은 생물기술분야에 있어서 초음파 처리방법의 최근 경향을 도식화하였다. 본 연구에서는 그림(a)와 같은 방법으로 초음파 처리를 하였으며, 20 ml용액을 28 kHz 200 W의 초음파에 30초 동안 처리하였다.

2. 농약의 종류 및 특성

분석대상으로는 현재 상업용으로 출시된 원예용 농약 중에서 살균제, 살충제에 대해 각각 2종을 선정하여 실험하였다. 표 3와 4은 본 실험에 사용한 수화제와 유화제의 종류와 주성분을 기술하였다. 그림 18~23까지는 각 농약별 주성분의 화학적 구조를 나타낸다.

Table 3. Specification of emulsifiable concentrate

Brand	Notat-ion	Maker	Efficiency Composition (%)	Rest Composition(%)
Apharm	O ₁	Syngenta	Emamectine benzoate (2.15)	Emulsion, Sulfuric Acid, Flux (97.85)
Fenari	O ₂	DongBu Hannong	Fenarimol (12.5)	Surfactant, Supplementary, Flux (87.5)
Danitol	O ₃	DongBang Agro	Fenpropathrin (5)	Emulsion, Flux (95)
Paranica	O ₄	Novartis Agro	Tebufenpyrad (10)	Surfactant, Flux (90)

Table 4. Specification of wettable powder

Brand	Notat-ion	Maker	Efficiency Composition (%)	Rest Composition(%)
Bico	W ₁	DongBu Hannong	Bitertanol (25)	Surfactant, Supplementary, diluent (75)
Diecenam	W ₂	DongBu Hannong	Mancozeb (75)	Surfactant, Flux (25)
Antracol	W ₃	DongBu Hannong	Propineb (70)	Surfactant, Supplementary, diluent (30)
Bumerang	W ₄	DongBang Agro	Spinosad (10)	Surfactant, Supplementary, diluent (90)

가. Fenarimol (C₁₇H₁₂Cl₂N₂O) MW : 331.2

화학명 : 2, 4'-Dichloro- α -(pyrimidin-5-yl) benzhydryl alcohol

상표명 : Rubigan, Rimidin, Bloc, 웨나리, 아시원(+만코지), 아리조아(+옥시동)

성질

성상 : 백색결정

M.P : 117~119°C, V.p : 0.065mPa(25°C)

용해도 : 물에 13.7ppm(25°C, pH 7), Acetone, Acetonitrile, Benzene, Chloroform
Methanol에 녹고 Hxane에 약간 녹음.

안정성 : 햇빛에 빨리 분해됨, 52°C(pH 3.6 and 9) 28일간 안정함.

독성

- 1) 독성분류 : 저독성
- 2) 급성경구독 : LD₅₀ Rat 2,500mg/kg
- 3) 급성경피독 : 없음, 토끼의 눈에만 약간 자극을 줌
- 4) 어독 : Blue gill TLm 0.91ppm

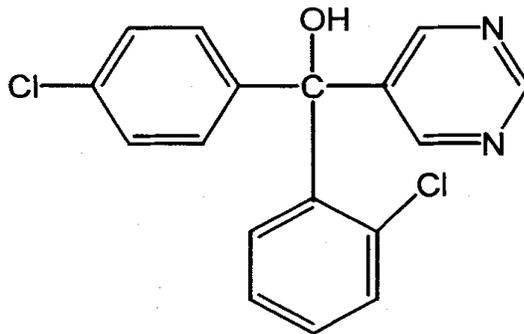


Fig. 18. Chemical structure of Fenarimol.

나. Fenpropathrin (C₂₂H₂₃NO₃) MW : 349.4

화학명 : (RS) α -Cyano-3-phenoxybenzyl-2, 2, 3, 3-tetramethyl-cyclopropane carboxylate

상표명 : Danitol, Herald, Meothrin, Rody, 펜프로

덩뎡(+테디온) 끝내기(+프로지), 한지계(+메프), 알마타(+벤즈)

성질

성상 : 백색결정체

M.P : 49~50°C, V.P : 0.730mpa(20°C)

용해도(25°C) : 물 0.33mg/ℓ, Cyclohexanone, Xylene 1kg/kg, Methanol 337g/kg

안전성 : 알칼리용액에 분해됨

독성

- 1) 독성분류 : 보통독성
- 2) 급성경구독 : LD₅₀ Rats ♂ 70.6 mg/kg
- 3) 급성경피독 : LD₅₀ Rats ♂ 1,000 mg/kg
- 4) 어독 : LC₅₀ Blue gill 0.002 mg/kg (48시간)

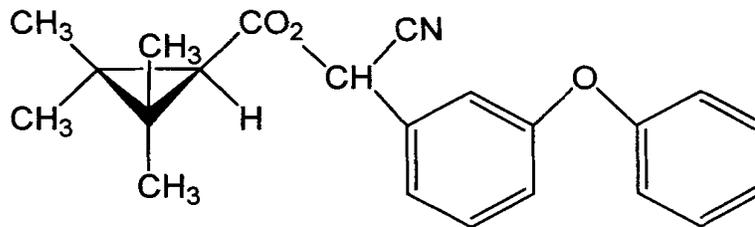


Fig. 19. Chemical structure of Fenpropathrin.

다. Tebufenpyrad (C₁₈H₂₄ClN₃O) MW : 333.8

화학명 : N-(4-Tert-butylbenzyl)-4-chloro-3-ethyl-1-methyl pyrazole-5-carboxamide

상표명 : Masai, Pyranica, 하이톤(+푸라치오카브)

성질

성상 : 무색결정체

M.P : 61~62°C, V.P : 1×10^{-5} pa(25°C)

용해도 : 물(25°C)에 2.8mg/l, Acetone, Methanol, Chloroform, Acetonitrile, Hexane, Benzene등 대부분 유기용매에 잘 녹음.

안정성 : 가수분해에 안정 (DT₅₀>28d (pH 5~9))

독성

- 1) 독성분류 : 보통독성
- 2) 급성경구독 : LD₅₀ Rats ♂ 595, ♀937 mg/kg
- 3) 급성경피독 : LD₅₀ Rats > 2,000 mg/kg
- 4) 어독 : LC₅₀ 잉어 0.073 mg/l (48시간)

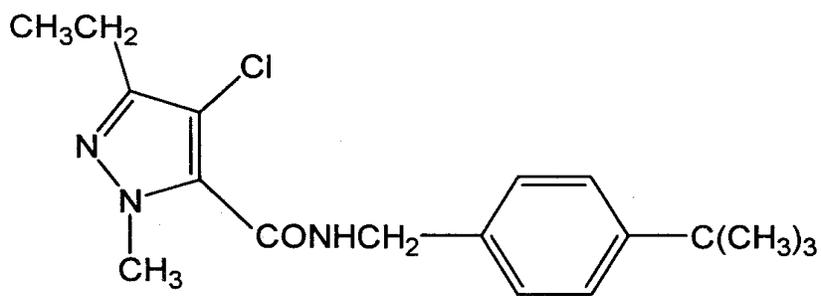


Fig. 20. Chemical structure of Tebufenpyrad.

라. Bitertanol (C₂₀N₃O₂) MW : 337.4

화학명 : All-rac-1-(biphenyl-4-yloxy)-3,3-dimethyl-1-(1h-1,2,4-triazol-1-yl)=butan-2-ol;1-(biphenyl-4-yloxy)-3,3-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol(20:80 ratio of (1RS, 2RS) and (1RS, 2RS isomers))

상표명 : Baycor, Baycor C(+깻탄), 비타놀, 바이코에이(+프로피)

성질

성상 : 무색결정체

M.P : 139.8°C(Diastereomer A), 146.3°C(Diastereomer B), V.P : 0.001mpa(20°C)

용해도(20°C) : 물 2.9mg[Ⓐ]/ℓ, 1.6mg[Ⓑ]/ℓ, 5mg^{Ⓐ+Ⓑ}/ℓ

좌우 입체대칭의 이성체로 되어 있고 대칭 A(1R, 2S)+(1S,2R), 대칭 B(1R,2R)+(1S,2S)이고 그 혼합비는 8 : 2임.

독성

- 1) 독성분류 : 저독성
- 2) 급성경구독 : LD₅₀ Rats > 5000 mg/kg
- 3) 급성경피독 : LD₅₀ Rats > 5,000 mg/kg
- 4) 어독 : LC₅₀ 무지개송어 2.2~2.7 mg/ℓ (96시간)

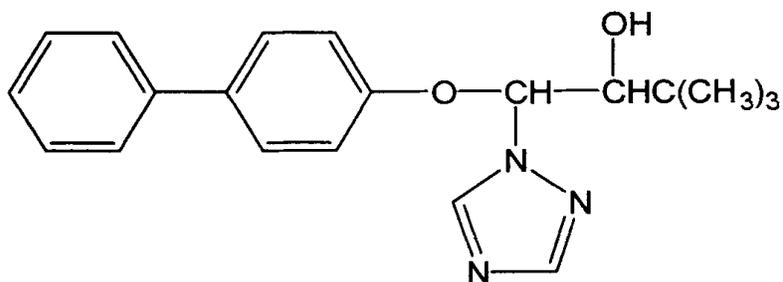


Fig. 21. Chemical structure of Bitertanol.

마. Mancozeb(Manzeb) (C₃H₆N₂S) MW : 102.09

화학명 : Manganese ethylenebis(dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt

기타명 : Manzin 80, Nemispor, Policar MZ, Vondozeb plus, Polcar S, Ziman-Dithane, Manzate 200

상표명 : Dithane M-45, 다이카(+Karathene), 지마네브, 만코지, 오센 M-45, 펜코젯 아시원(+훼나리), 신기원(과립수화제)

성질

성상 : 황색분말

Flash point : 138°C, M.p : 192~204°C 분해

용해도 : 물이나 대부분 유기용매에 불용물이나 산성조건하에 분해

안정성 : 건조한 저장조건, 정상적일 때는 안정함.

독성

1) 독성분류 : 저독성

2) 급성경구독 : LD₅₀ Rat 8,000 mg/kg

3) 급성경피독 : LD₅₀ Rats > 10,000 mg/kg, 토끼 > 5,000 mg/kg

4) 어독 : 잉어 TLm 4ppm

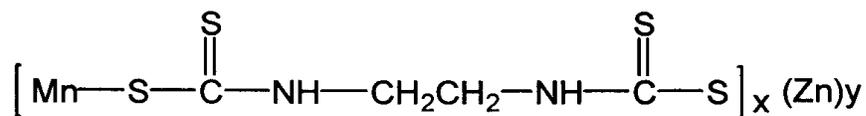


Fig. 22. Chemical structure of Mancozeb.

바. Propineb (C₅H₈N₂S₄Zn)_x MW : (289.8)_x

화학명 : Polymeric zinc propylene bis(dithiocarbamate)

상표명 : Antracol

성질

성상 : 황백색분말

M.P : 150°C 이상에서 분해됨. V.P : <1mPa (20°C)

용해도 : 일반 유기용매에 불용

안정성 : 160°C 분해, 산이나 강알칼리에 불안정

독성

- 1) 독성분류 : 저독성
- 2) 급성경구독 : LD₅₀ Rat ♂ 8,500 mg/kg
- 3) 급성경피독 : LD₅₀ Rat 10,000 mg/kg
- 4) 어독 : 잉어 TLm 18.2ppm

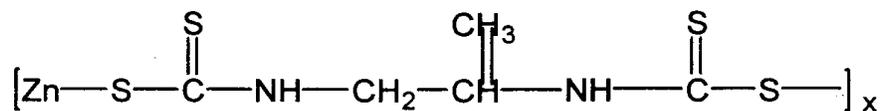


Fig. 23. Chemical structure of Propineb.

3. 광학 현미경과 SEM을 이용한 물리적 특성 분석

초음파를 이용하여 콜로이드 상태로 물속에 용해된 수화제의 입자군을 파쇄시킨 경우의 균질도를 측정하고자 그림 24와 같이 고배율 현미경, 이미지 그래버, 모니터와 PC로 구성된 영상측정 및 분석장치를 이용하였다.

물에 수화제의 용해성이나 분산을 조사하기 위하여 원예용 수화제 4종에 대하여 각각 권장희석배수에 해당하는 물과 희석한 용액을 만들었으며, 각 용액에 대해 초음파 처리 전과 처리 후에 대해 용액 중 수화제 입자의 영상을 획득하였다. 초음파 적용 방법은 초음파 진동자에 혼을 부착하여 용액에 1분간 초음파 처리를 하였다. 초음파 처리전과 처리후의 용액을 슬라이드 글라스에 묻혀 현미경을 통한 영상을 획득하였다. 각각의 약품은 권장사용희석배수로 물에 희석하여 사용하였으며, 초음파 처리전과 처리후의 수화제의 용해나 분산에 대해 조사하였다.

이 때 획득된 영상 640×480 pixel 중에서 400×400 pixel 영역만 선정하여 영상처리를 하였고, 이치화를 위한 계조치는 120을 기준으로 하였다.

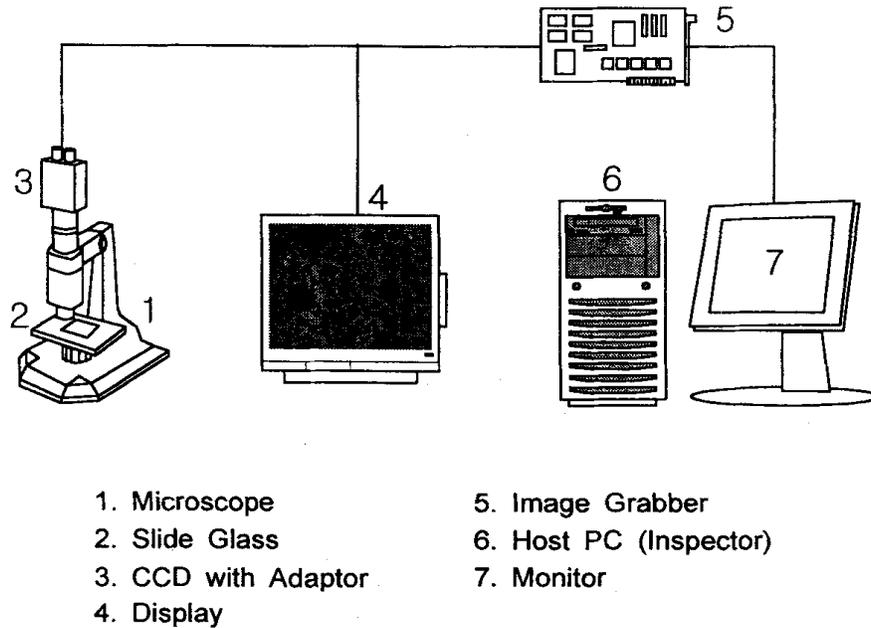


Fig. 24 Experimental setup for cluster measurement.

기준 길이비의 측정을 위해 OLYMPUS社의 Eyepiece Micrometer(0.1 mm)와 기준 눈금자(0.01 mm)를 사용하여 길이를 측정하였으며 A/D변환된 원시영상의 640pixel이 18 mm에 해당된다.

표 5는 수화제의 초음파 처리 후의 파쇄측정을 위한 영상측정 장치들의 목록과 세부 사양을 기술하였다. 표 6에는 초음파 처리에 의해 파쇄된 입자의 세부적인 형상을 측정하기 위해 사용된 SEM의 사양을 기술하였다.

Table 5. Specification of microscope

Item	Maker	Model	Spec.
Microscope	Dong Won	DSZ 45T-PT	Zoom : 7X~45X
CCD Camera	Sony	SC-ST70	768(H) × 464(V)
Image Grabber	Data Translation	DT3155	640 × 480, 8bit, B/W
Post Processor	Matrox	Inspector	Image Processing Program

Table 6. Specification of SEM

Item	Spec.	Item	Spec
Accelerating Voltage	0.2~30 kV	GUN	Schottky zirconiated-tungsten thermal field emission gun
Resolution	1.5nm at ≥ 10 kV 2.5nm at ≥ 1 kV	EDS Resolution	10 nm, 138eV at Mn Ka
Magnification	20× in HR mode ~ UHR mode is 800,000×	Detectable elements	5B to 92U
Crystal	Silicon		

4. TLC와 NMR을 이용한 화학적 변성 측정

화학적 분석을 위해서는 유기분광학을 이용하여 화학구성물의 분자구조를 분석한다. 대표적인 분석방법으로서는 GC, HPLC, NMR, IR 등이 있으며 본 연구에서는 농약의 전체적인 변성여부를 판단하기 위해서 TLC와 NMR을 이용하였다.

농약을 살포하는 초음파 적용 2-유체 연무기에서 농약의 고유의 화학적 성질이 초음파에 의한 공동현상으로 농약의 변성이 우려되어 시중의 농약 2종에 대해 각각 초음파 처리후와 처리전에 대해 농약의 화학적인 변화를 TLC와 NMR을 이용하여 측정하였다.

가. TLC(Thin Layer Chromatography) 분석

초음파에 의한 농약의 변성여부를 측정하기 위하여 원예용 농약(유제)에 2종에 대해 초음파 가진시와 비가진시에 대해 각각 TLC분석을 하였다.

초음파에 의한 농약의 변성을 측정하고자 원예용 농약 웨나리(Fenarimol), 피나리카(Tebufenpyrad)에 대해 초음파 가진시와 무가진시에 대하여 농약의 변성을 TLC(thin layer chromatography) 분석에 의해 측정하였다.

각각의 시약을 물에 100배 액으로 희석하여 시약에 시작기용 노즐의 진동자와 혼의 조합에 의해 초음파를 약 2분간 가한 뒤 초음파시와 무초음파시에 대해 TLC 분석을 하였다.

웨나리(Fenarimol)의 경우 유기용매를 이용한 추출방법으로 사용용매 CH_2Cl_2 (Dichloromethane)를 사용하였고, 웨나리 100 ml속에서 10% NaCl(10 g)을 넣고 녹인 후 CH_2Cl_2 를 100ml첨가하여 30분간 shaking하고, 유기용매층과 물층(농약층)이 분리되면 유기용매층을 회수하고, 다시 물층(농약층)에 유기용매(CH_2Cl_2) 100 ml첨가하여 상기방법으로 유기용매를 회수한다. 회수한 용매층을 Na_2SO_4 로 수분을 제거한 후 감압농축한다. 농축한 초음파시와 무초음파시의 샘플을 소량의 CH_2Cl_2 으로 녹인 후 각각 정확한 volume(2 ml)으로 mass up하여 이를 TLC plate에 동일량(10 μl)으로 spotting하였다. TLC 전개용매는 Hexane : Ethyl acetate = 2 : 1 로 전개하였다.

피라니카 100 ml속에서 10% NaCl(10 g)을 넣고 녹인 후 Hexane을 100 ml첨가하여 30분간 shaking하고, 유기용매층과 물층(농약층)이 분리가 되면 유기용매층을 회수하고, 다시 물층(농약층)에 유기용매(Hexane) 100 ml를 첨가하여 상기방법으로 유기용매를 회수한다. 회수한 용매층을 Na₂SO₄로 수분을 제거한 후 감압농축하여 농축한 초음파시와 무초음파시를 소량의 Hexane으로 녹인 후 각각 정확한 volume(2 ml)으로 mass up하였으며, 이를 TLC plate에 동일량(10 μl)으로 spotting하였다. TLC 전개용매는 Hexane : Ethyl acetate = 2 : 1 로 전개하였다.

표 7은 초음파 처리 후 농약의 화학적 정성분석을 위해 사용된 TLC Plate의 사양을 기술하였다.

Table 7. Specification of TLC plate

Item	Spec.	Item	Spec.
Plate Material	Aluminium	Sample Volume	1 to 5 μl
Surface Coating	Silicagel 60	Diameter of Spot	3 to 6 mm
Plate Size	20 × 20 cm	Diameter of Separated Spot	6 to 15 mm

나. NMR(Nuclear Magnetic Resonance) 분석

NMR분석을 위해 초음파 처리된 약품을 Whatman사의 0.1 μm까지 걸러주는 PTFE 재질의 외경 25 mm, Syringe filter를 이용하여 부유물을 제거한 후 NMR tube에 넣어 분석을 진행하였다. NMR tube는 NEW ERA사의 500 MHz용 NMR Tube를 사용하였다.

이 때 사용된 치환체는 Cambridge Isotope Laboratories, Inc. 나 SIGMA사의 DEUTERIUM OXIDE 100% D, 99.96%를 사용하였다.

표 8에는 정량적인 화학구조에 사용된 NMR장치의 세부 사양을, 표 9에는 치환제로 사용된 D₂O의 세부사양을 기술하였다.

Table 8. Specification of NMR

Item	Spec.	Item	Spec
Magnet	500 MHz	Magnet field strength	11.746 Tesla
1D	Proton, Carbon, DEPT	Temperature range	-150 to 180 °C
2D	COSY, XHCORR, NOESY	Temperature stability	± 0.2 °C
Germany, Bruker Co., DRX-500 Model			

Table 9. Specification of D₂O

Formula	D ₂ O	Magnetic susceptibility (K)	-0.719 · 10 ⁻⁶ (20°C)
Molar mass	20.03 g/mol	Dielectric constant (ε)	78.5
Density (d _{20°C/4°C})	1.11	Dipole moment(μ)	1.8 D
Melting point	3.8°C	Polarity (E _r)	264.1 kJ/mol
Boiling point	101.4°C	Donor strength (D)	138.1 kJ/mol
Refractive index(n _{20°C/D})	1.328	Chemical shifts (δ)	¹ H : 4.72 ppm ¹⁷ O : 0.0 ppm(Standard)
Dynamic viscosity (η)	1.24 mPa · s (20°C)	Coupling constants	² J(H,D)=1.0 Hz (determined from the HDO signal in acetone-d ₆)

제 4 절 결과 및 고찰

1. 현미경을 이용한 수화제의 파쇄 측정결과

20°C의 물에 수화제를 20 g l^{-1} 삽입하여, 1분간 기계적 교반처리를 한 후의 사진과 30초 초음파처리 후의 용액 중 수화제 입자의 영상을 획득하였다. 그림 25와 26은 수화제 바이코의 초음파 처리전과 처리후의 입자분포를 측정된 영상이다. 초음파 처리전 상태는 물에 녹은 수화제 입자가 전체적으로 불균일하게 엉겨 있으며, 초음파 처리후의 경우 입자가 전체적으로 고르게 단일입자화 되어 분포하였다.

그림 27은 초음파 처리전·후의 수화제 분포를 영상처리를 한 후의 입자의 크기분포를 그림 28은 초음파 처리 전·후의 실제 입자의 면적 분포를 나타낸다.

그림 29와 30은 다이센엠, 그림 33과 34은 안트라콜, 그림 37과 38은 부메랑 수화제의 초음파 처리전과 처리후의 영상이다.

그림 31, 32는 다이센엠을, 그림 35, 36은 안트라콜, 그림 39, 40은 부메랑의 영상처리 결과이다.

4종류의 수화제에 대해 모두 초음파 가진시 입자의 엉김이 줄어들고 물속에 잘 분산되어 단일입자로 되어 존재하였다. 그리고 수화제에 따라 각각 물에 용해되는 정도가 확연하게 차이가 난다. 부메랑이나 안트라콜에서는 상용에 비한 초음파 가진시의 경우 물에 용해한 차이가 확연하게 나타났다.

연무기의 노즐막힘의 직접적인 원인이 되는 수화제의 입자군 파쇄에 의해 단일입자화 되고 균일하게 물에 용해되었으며, 이는 노즐막힘에 대하여 초음파 가진시가 보다 유리한 특징을 갖는다고 할 수 있다.

가로축의 640 pixel이 실제길이 1.8 mm에 해당하므로 1 pixel은 2.8125 μm 에 해당된다. 표 10은 4종류의 수화제를 초음파 처리전·후에 측정된 원시영상을 영상 처리하여 분석된 결과이다. 영상처리의 결과로 입자의 평균면적, 최소면적, 최소면적, 입자의 개수, 전체 입자의 면적을 나타낸다. 평균입경과 최대입경의 값은 대폭 감소되었으며, 측정 영역에서의 고상의 입자가 차지하는 전체면적의 감소는 확연한 차이를 보였다.

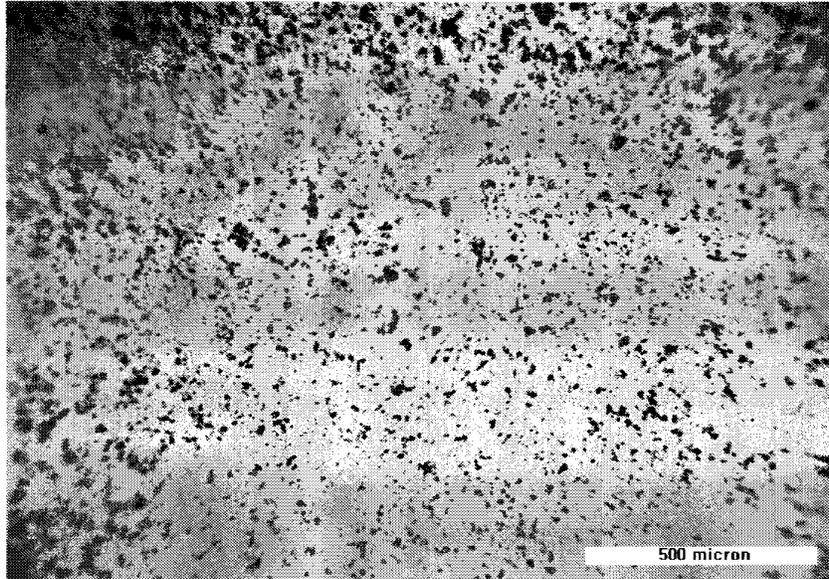


Fig. 25. Bico(W_1) Particles before sonication.
(Bar corresponds to 500 μm)

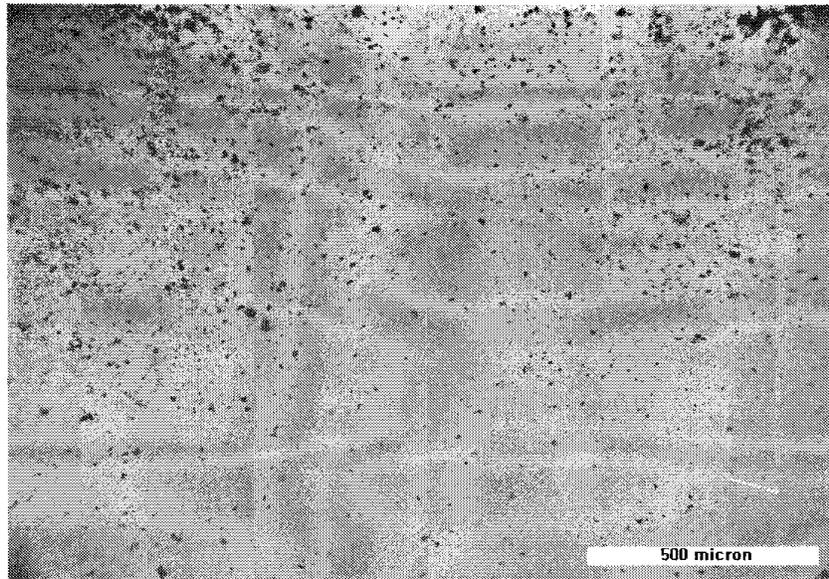


Fig. 26. Bico(W_1) Particles after 30 sec. sonication.
(Bar corresponds to 500 μm)

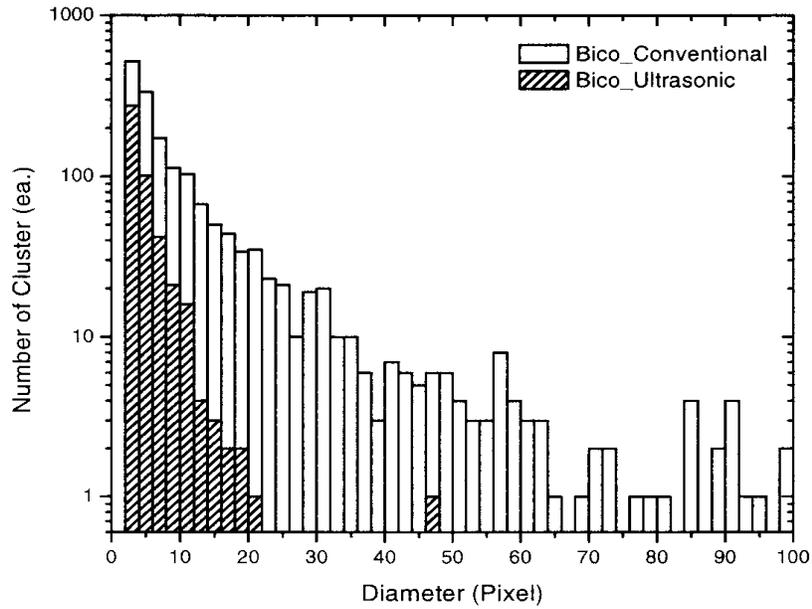


Fig. 27. Bico(W_1) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

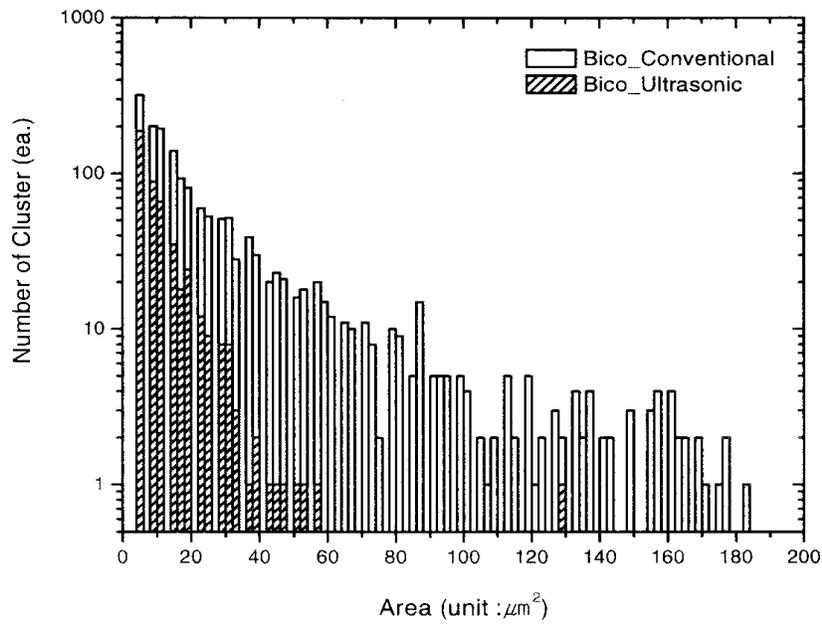


Fig. 28. Bico(W_1) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

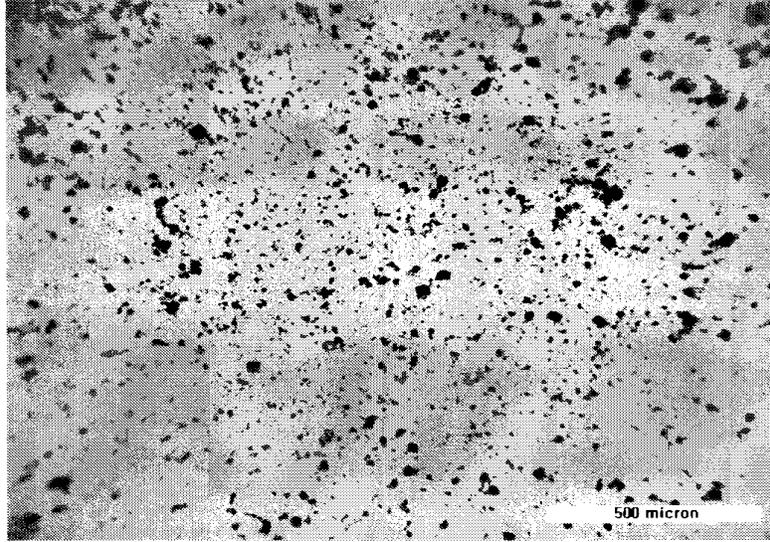


Fig. 29. Diecenam(W₂) Particles before sonication.

(Bar corresponds to 500 μm)

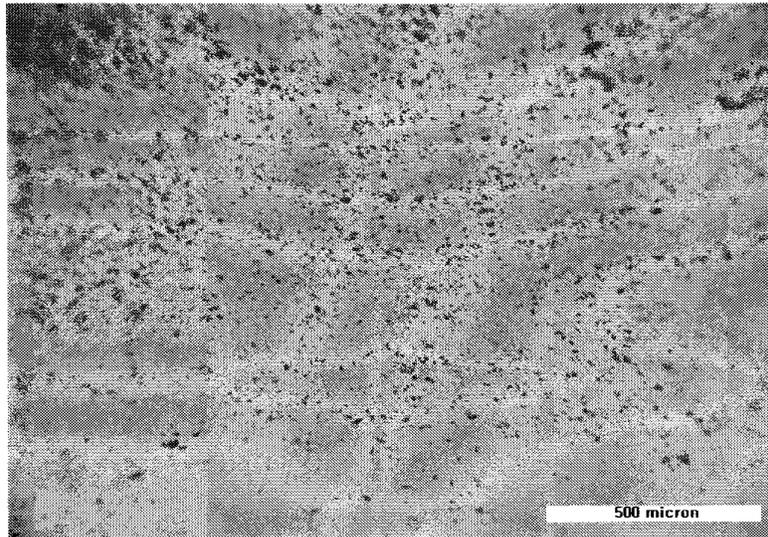


Fig. 30. Diecenam(W₂) Particles after 30 sec. sonication

(Bar corresponds to 500 μm)

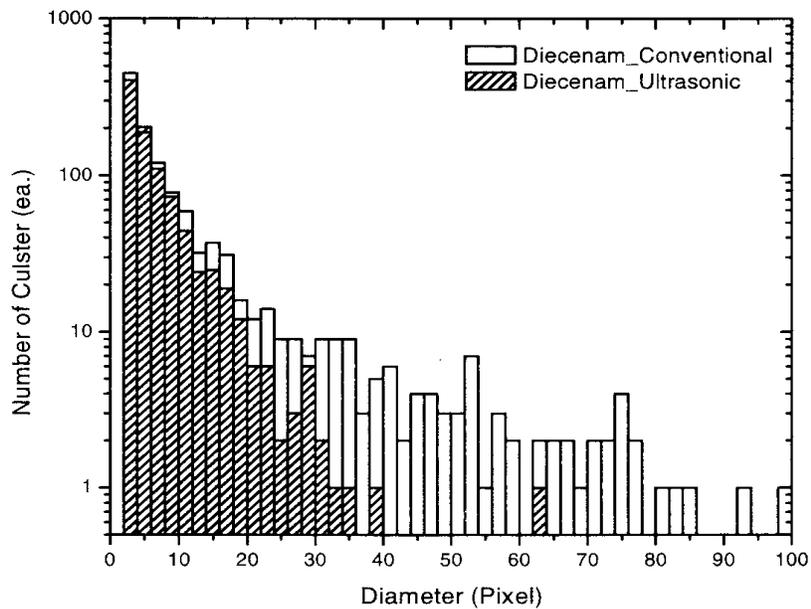


Fig. 31. Diecenam (W₂) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

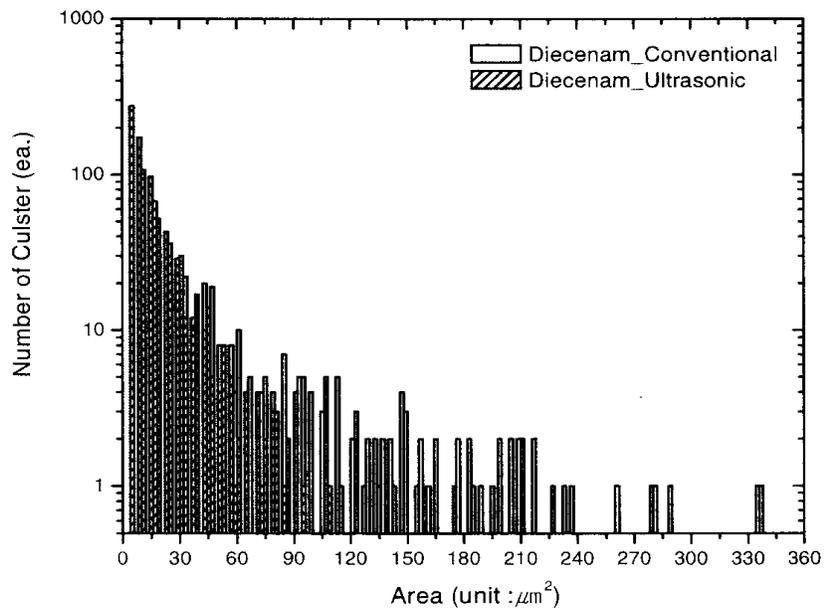


Fig. 32. Diecenam (W₂) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

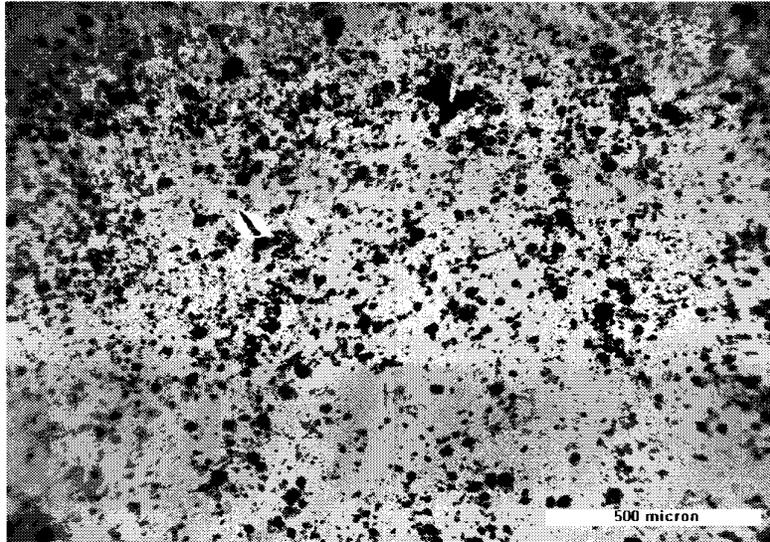


Fig. 33. Antracol (W₃) Particles before sonication.
(Bar corresponds to 500 μm)

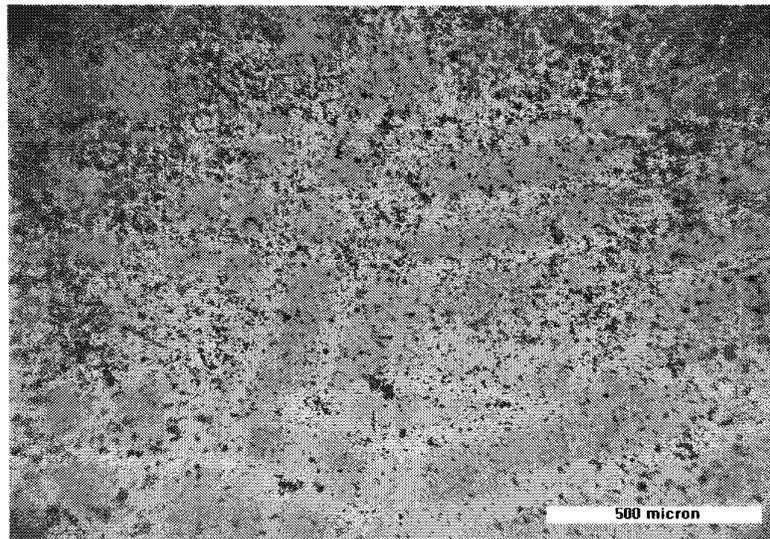


Fig. 34. Antracol (W₃) Particles after 30 sec. sonication
(Bar corresponds to 500 μm)

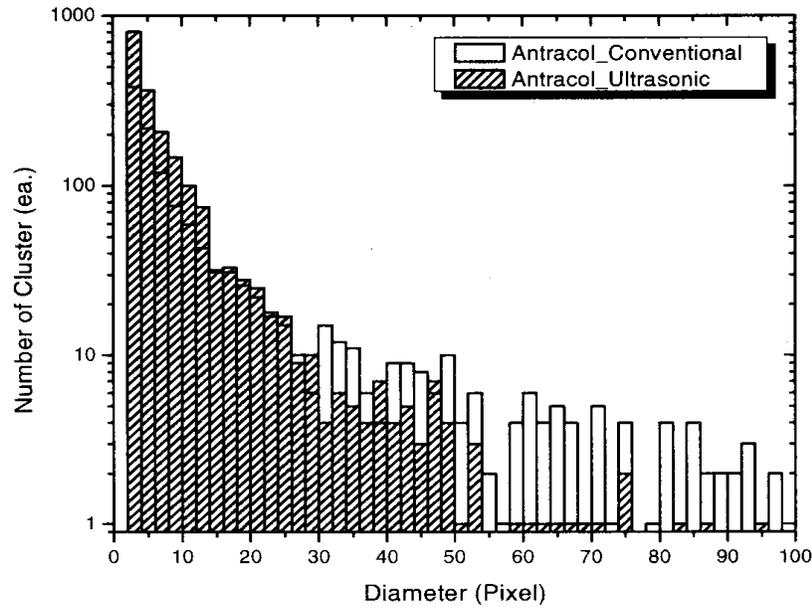


Fig. 35. Antracol (W₃) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

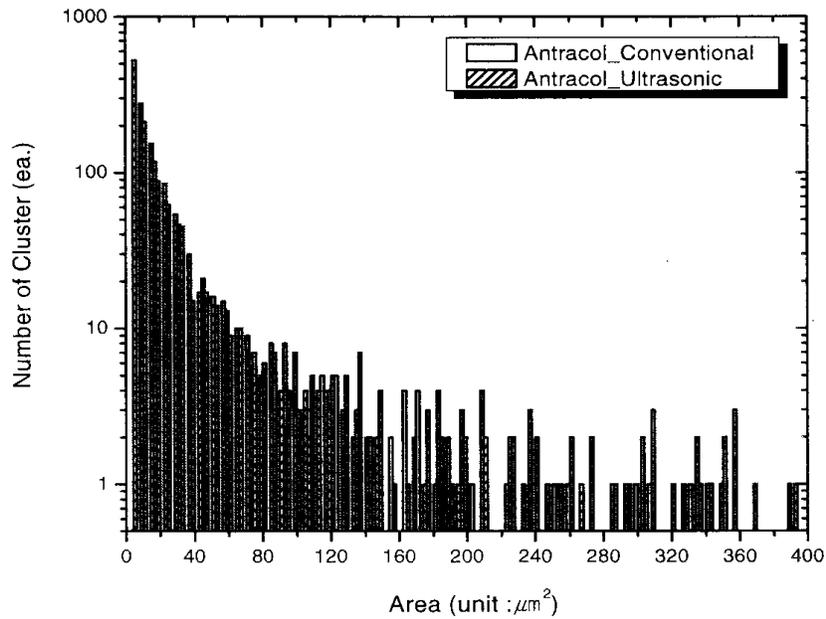


Fig. 36. Antracol (W₃) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

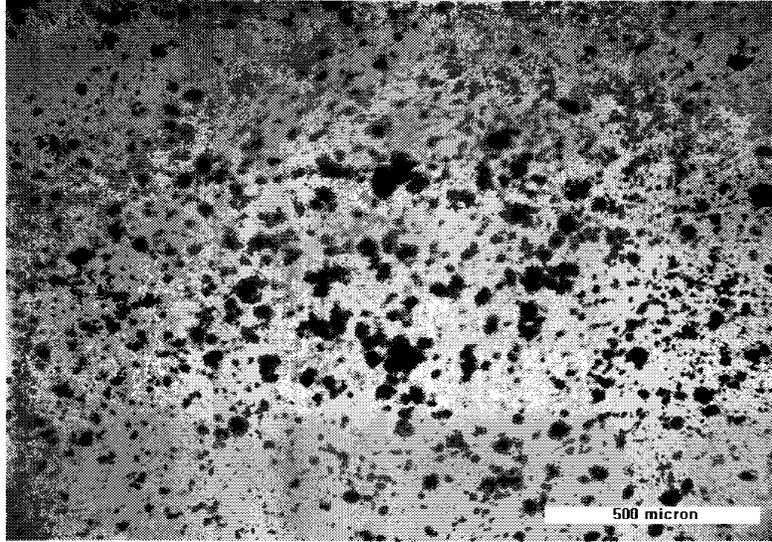


Fig. 37. Bumerang (W_4) Particles before sonication.
(Bar corresponds to 500 μm)

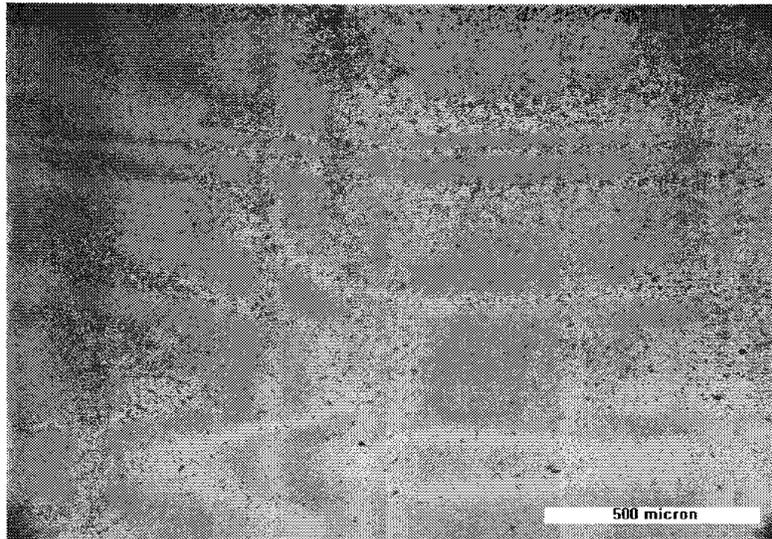


Fig. 38. Bumerang (W_4) Particles after 30 sec. sonication
(Bar corresponds to 500 μm)

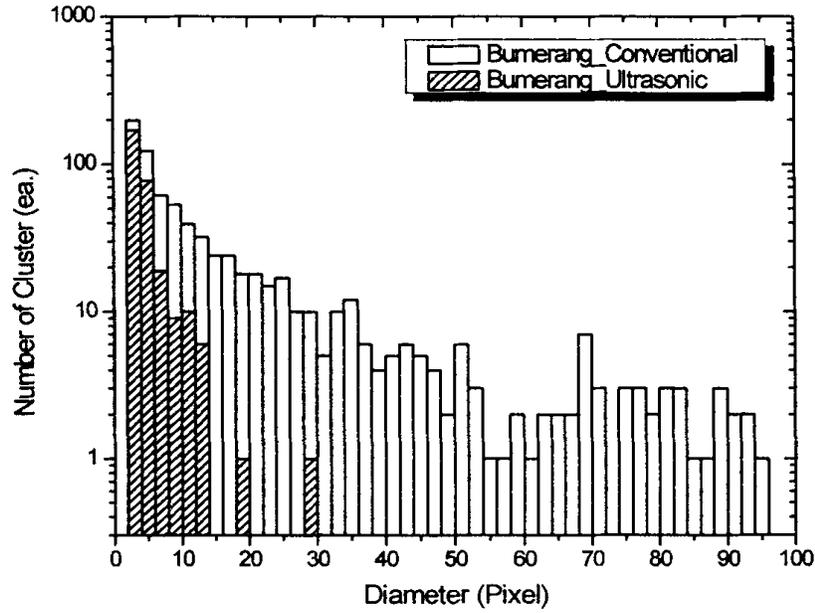


Fig. 39. Bumerang (W_4) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

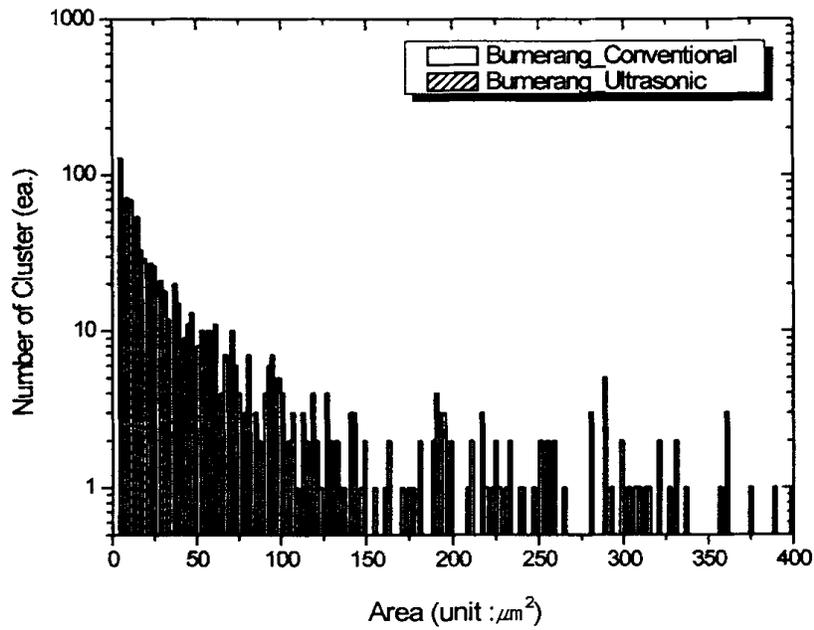


Fig. 40. Bumerang (W_4) particle size distribution before sonication and after 30 sec. of sonication.

Table 10. The concentration of Bico, Diecenam, Antracol and Bumerang in filtrate ($<100\mu\text{m}$) after sonication(28 kHz, 200 W) and with water mixing after 30 sec. (20 g l^{-1} particle concentration, 1 pixel = $2.8125\ \mu\text{m}$)

Particle	Mean Value	Min. Value	Max. Value	Num. of Points	25th Percentile	75th Percentile	Sum.
	(Pixel)	(Pixel)	(Pixel)	(ea)			(Pixel)
Bico_before sonication	11.050	2	170	1682	3	12	18587
Bico_after sonication (30s)	4.115	2	46	468	2	5	1926
Diecenam_before sonication	13.164	2	355	1197	3	13	15758
Diecenam_after sonication (30s)	5.483	2	60	832	2	6	4562
Antracol_before sonication	22.145	2	1478	1453	3	15	32177
Antracol_after sonication (30s)	7.587	2	140	1936	2	8	14690
Bumerang_before sonication	38	2	1001	704	4	33	26752
Bumerang_after sonication (30s)	3.955	2	28	294	2	5	1163

2. 수화제의 SEM 측정

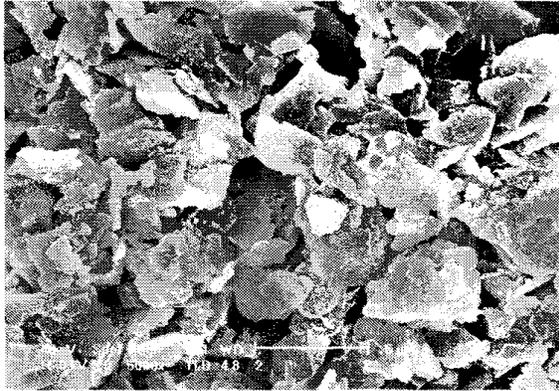
가. 수화제를 CH_3OH 에 용해시킨 상태의 SEM 사진결과

그림 41, 42는 바이코 입자를 메탄올에 용해시킨 상태의 초음파 전·후의 SEM 측정 결과이다. 초음파 처리전의 입자 표면은 미세한 판형상이고, 30초 동안의 초음파 처리후에는 각 입자간에 공극이 생성되어 있음을 관찰할 수 있었다.

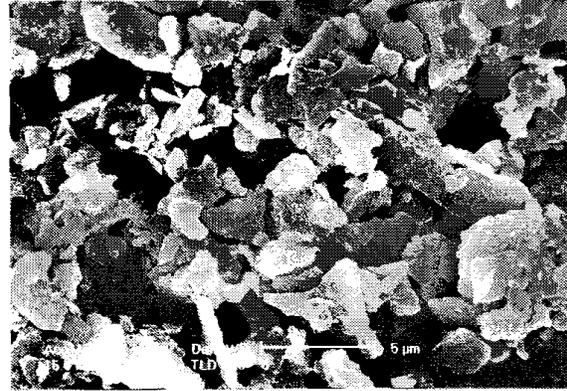
그림 43, 44은 다이센엠 입자를 메탄올에 용해시킨 후 상기와 동일한 실험방법으로 측정된 SEM 사진이다. 초음파 처리후에는 큰 입자군이 상당수 감소함을 보여준다.

그림 45, 46는 안트라콜 입자를 메탄올에 용해시킨 후 상기와 동일한 방법으로 측정된 SEM 사진이다. 초음파 처리후의 공극의 면적이 처리전과 비교하여 확연하게 증가함을 보여준다.

그림 47, 48은 부메랑 입자를 메탄올에 용해시킨 후 상기와 동일한 방법으로 측정된 SEM 사진이다. 초음파 처리전의 큰 입자들이 판형의 입자로 미세하게 파쇄되었음을 관찰할 수 있었다.

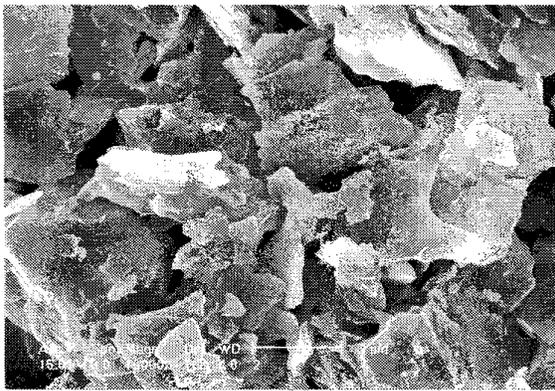


(a)

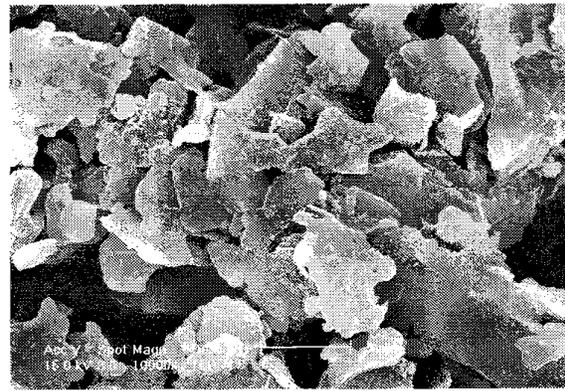


(b)

Fig. 41. SEM photographs of the dried-down Bico(W_1) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($5,000\times$ magnification)

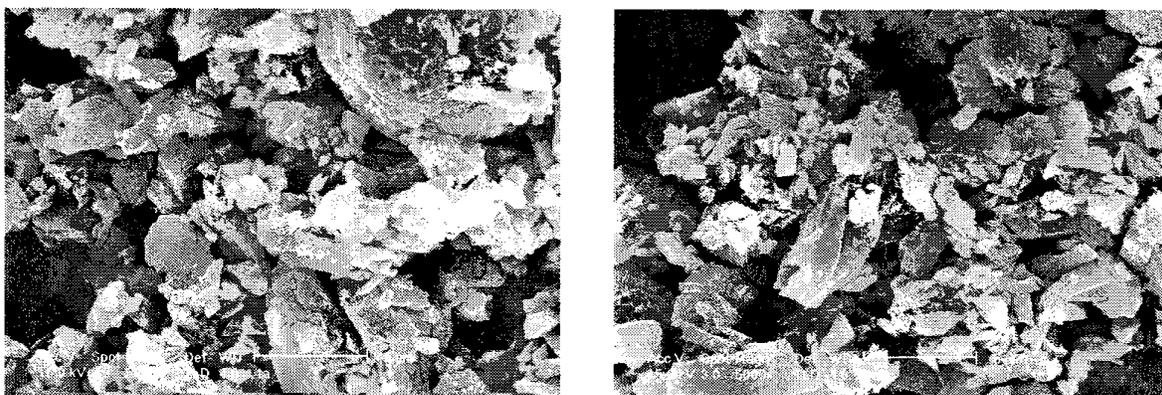


(a)



(b)

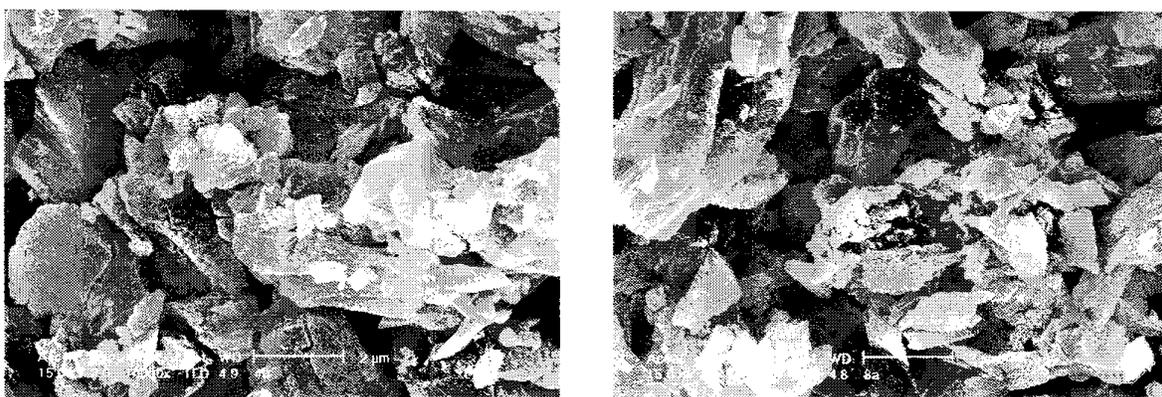
Fig. 42. SEM photographs of the dried-down Bico(W_1) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($10,000\times$ magnification)



(a)

(b)

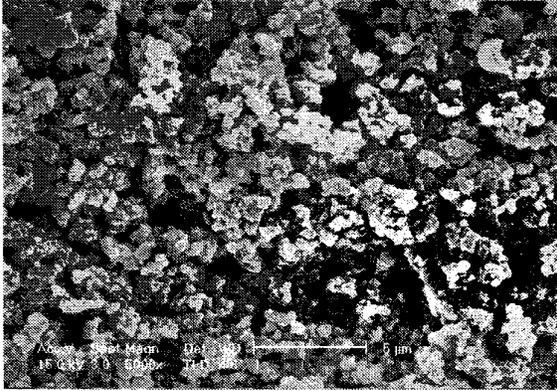
Fig. 43. SEM photographs of the dried-down diecenam(W₂) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication(5,000× magnification)



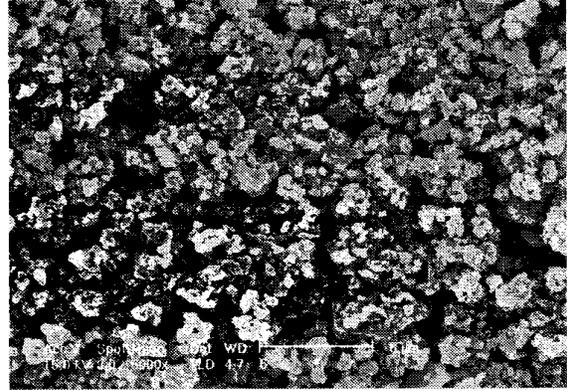
(a)

(b)

Fig. 44. SEM photographs of the dried-down diecenam(W₂) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication(10,000× magnification)

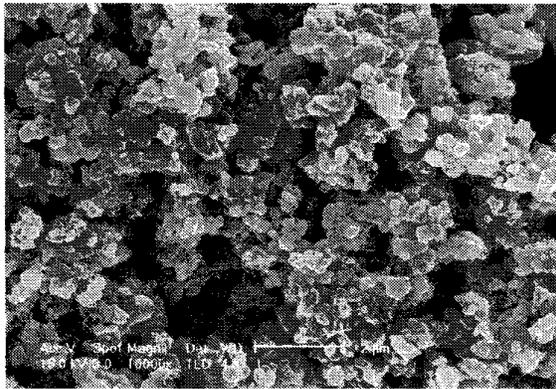


(a)

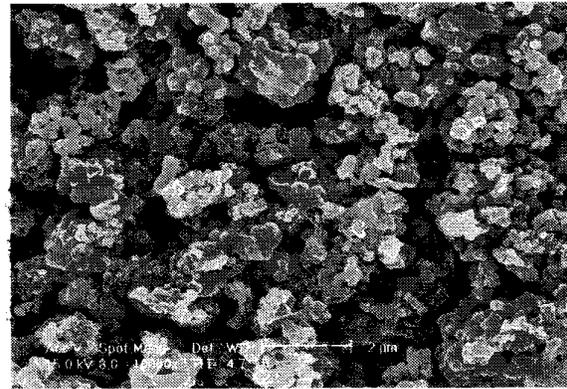


(b)

Fig. 45. SEM photographs of the dried-down antracol(W_3) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($5,000\times$ magnification)

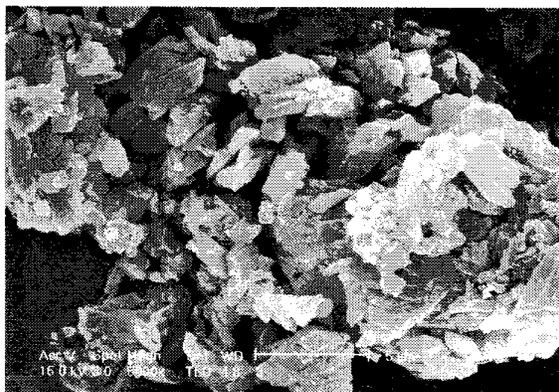


(a)

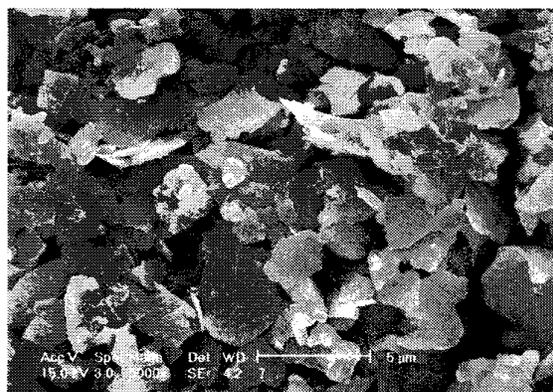


(b)

Fig. 46. SEM photographs of the dried-down antracol(W_3) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($10,000\times$ magnification)

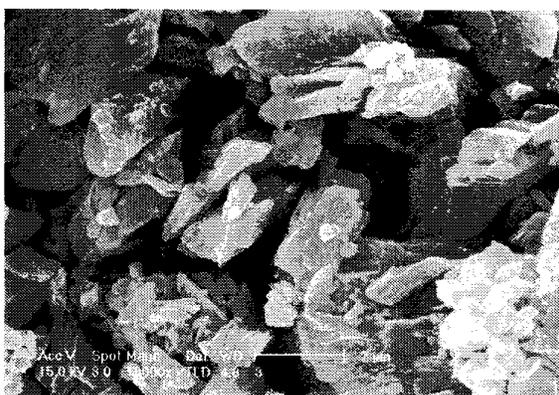


(a)

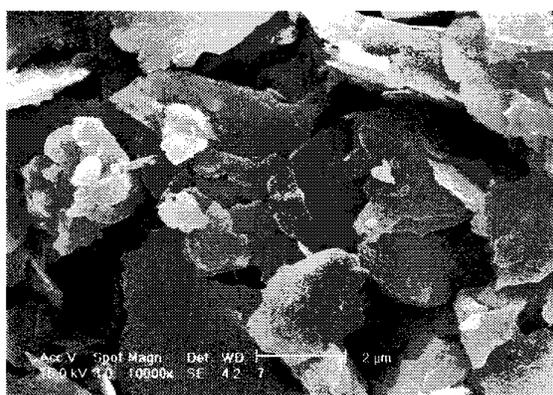


(b)

Fig. 47. SEM photographs of the dried-down bumerang(W_4) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($5,000\times$ magnification)



(a)



(b)

Fig. 48. SEM photographs of the dried-down bumerang(W_4) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($10,000\times$ magnification)

나. 수화제를 H₂O에 용해시킨 상태의 SEM 사진결과

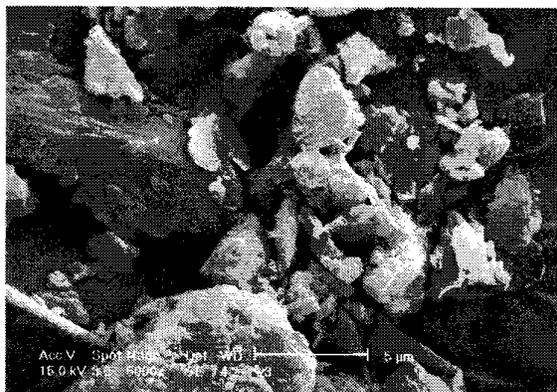
그림 49, 50은 바이코 입자를 물에 용해시킨 후 초음파 처리전·후의 SEM 측정결과이다. 초음파 처리전에 존재하던 수화제 입자들이 용해되어 수분이 증발되면서 생성된 미세한 판형상으로 존재하였다.

그림 51, 52는 다이센엠 입자를 물에 용해시킨 후 상기와 동일한 방법으로 측정된 SEM 사진이다. 초음파 처리후의 입자들의 표면에 처리전의 형상과는 상이하게 표면에 많은 크랙이 진전되고 있는 모습을 관찰할 수 있었다. 그리고 작은 입자들은 초음파 처리후에 그 비중이 감소하였는데 이는 초음파의 효과로 인해 작은 입자들이 물에 용해되었던 것으로 사료된다.

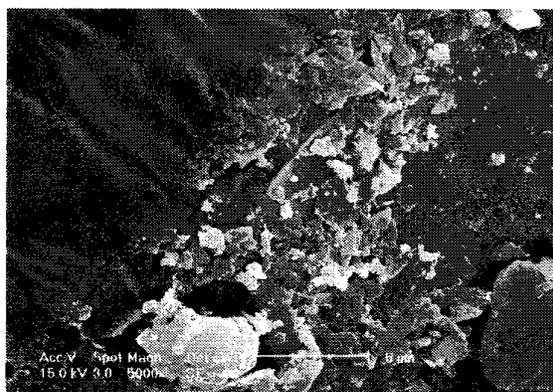
그림 53, 54은 안트라콜 입자를 물에 용해시킨 후 상기와 동일한 방법으로 측정된 SEM 사진이다. 초음파 처리전에는 입자군의 형태가 상당수 존재하며 초음파 처리후에는 많은 감소를 보였다.

그림 55, 56는 부메랑 입자를 물에 용해시킨 후 상기와 동일한 방법으로 측정된 SEM 사진이다. 초음파 처리전에는 판형상의 입자 구조가 초음파 처리 후에는 사라졌는데, 이는 초음파의 효과로 미세한 판형상의 고형물들이 물에 잘 용해된 것으로 사료되어진다.

상기의 실험결과에서 메탄올에 용해하여 초음파 처리된 영상과 물에 용해되어 처리된 영상의 차이는 각 성분의 두 용액의 용해되는 성질에 따라 그 차이가 존재한다고 사료된다.

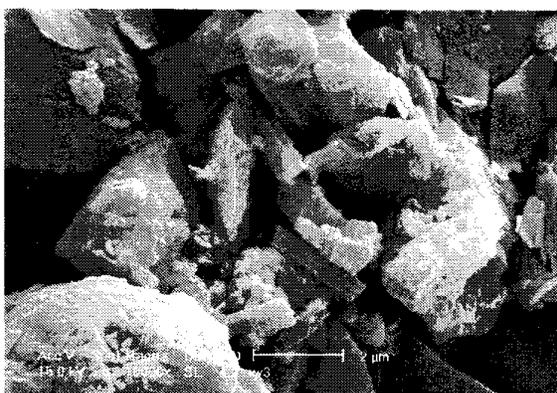


(a)

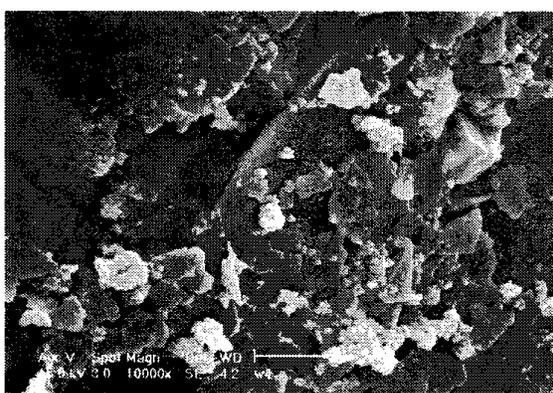


(b)

Fig. 49. SEM photographs of the dried-down bico(W_1) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication(5,000 \times magnification)

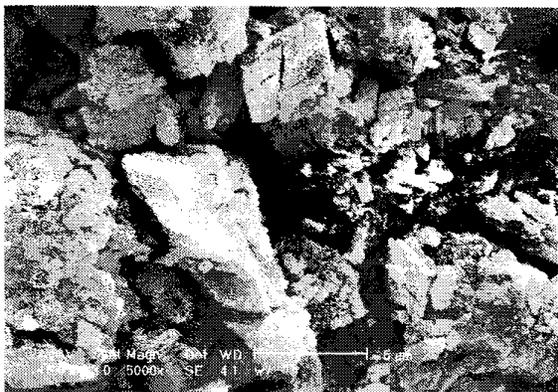


(a)

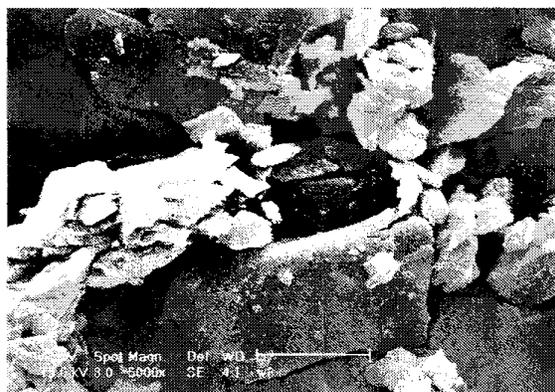


(b)

Fig. 50. SEM photographs of the dried-down bico(W_1) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication(10,000 \times magnification)

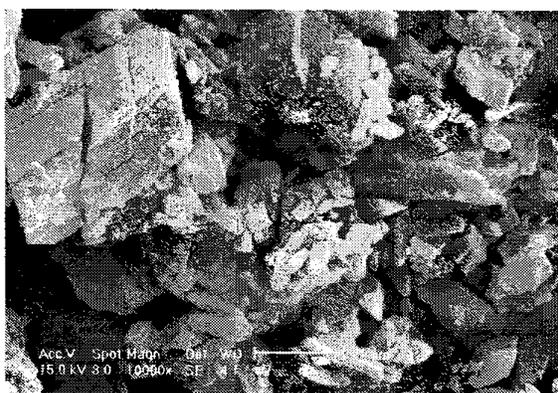


(a)

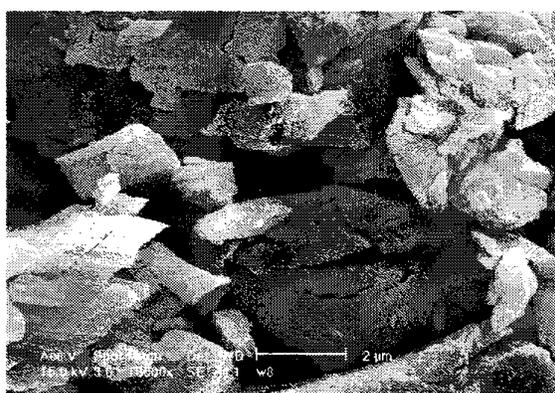


(b)

Fig. 51. SEM photographs of the dried-down diecenam(W_2) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($5,000\times$ magnification)

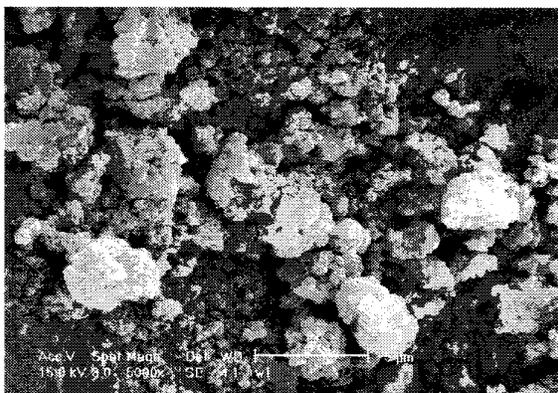


(a)

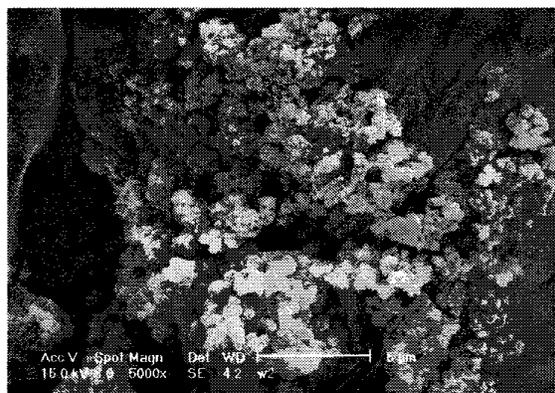


(b)

Fig. 52. SEM photographs of the dried-down diecenam(W_2) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($10,000\times$ magnification)

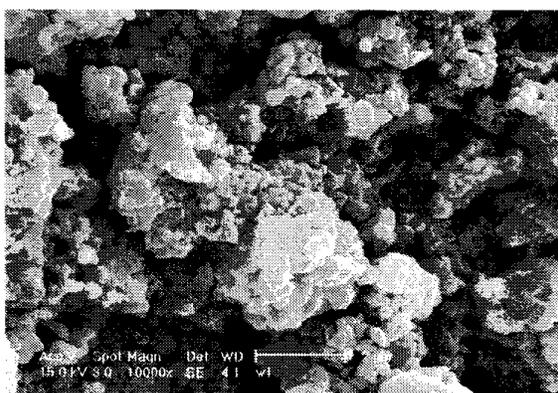


(a)

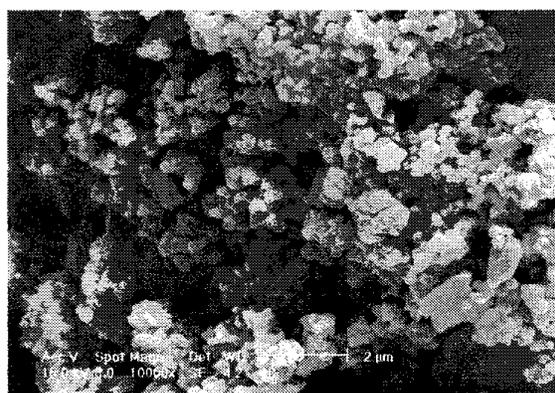


(b)

Fig. 53. SEM photographs of the dried-down antracol(W_3) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($5,000\times$ magnification)

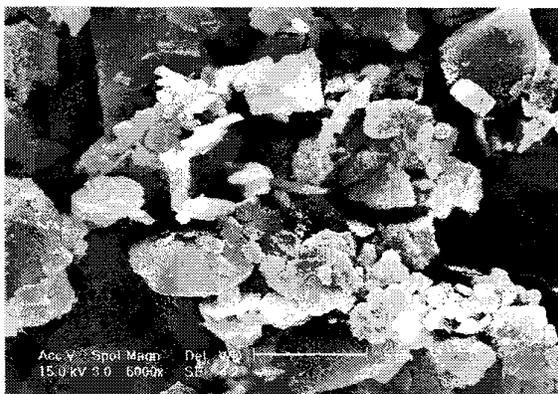


(a)

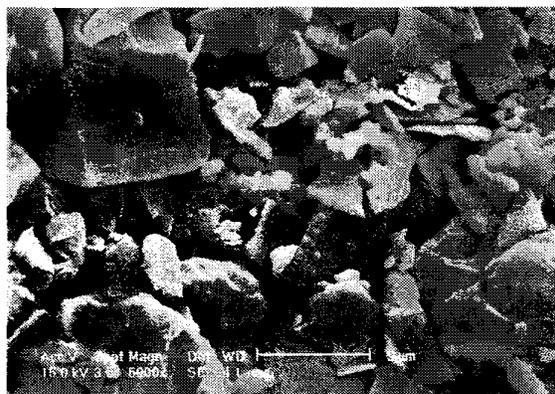


(b)

Fig. 54. SEM photographs of the dried-down antracol(W_3) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($10,000\times$ magnification)

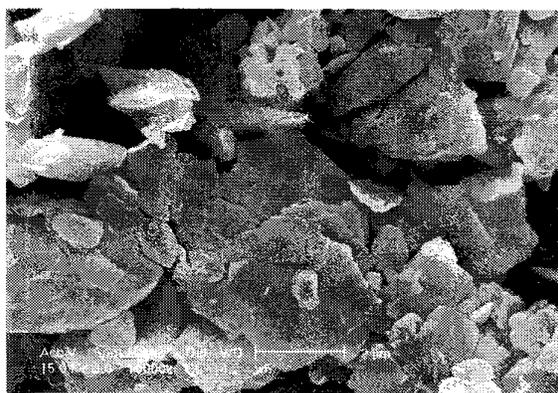


(a)

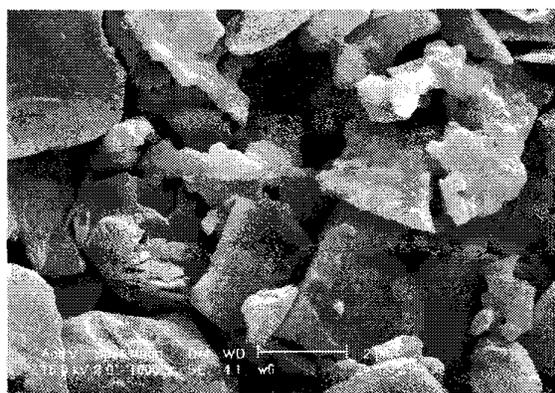


(b)

Fig. 55. SEM photographs of the dried-down bumerang(W_4) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($5,000\times$ magnification)



(a)

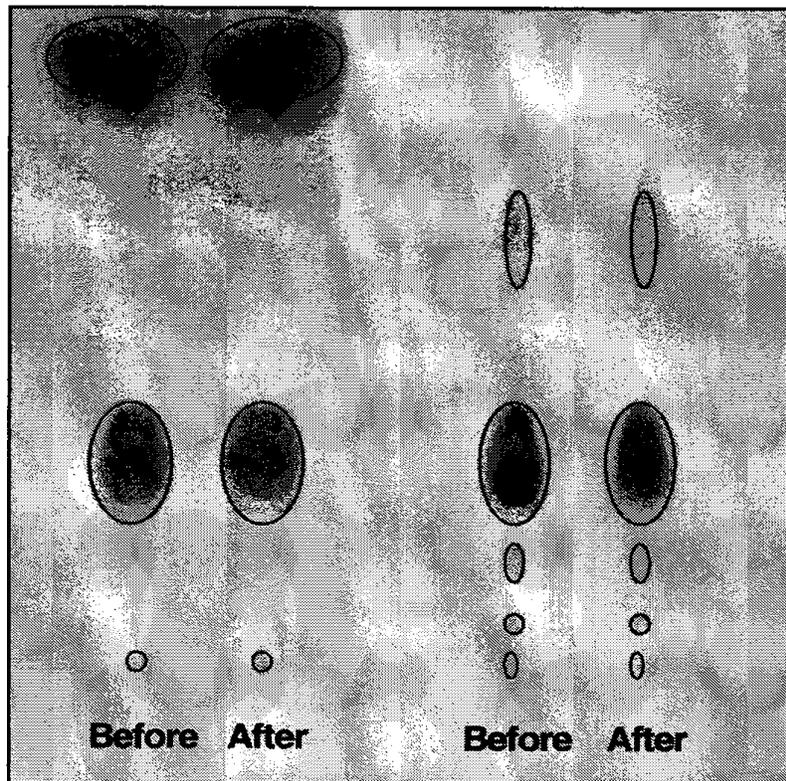


(b)

Fig. 56. SEM photographs of the dried-down bumerang(W_4) colloids formed (a) without and (b) with 30s ultrasonication($10,000\times$ magnification)

3. 유제의 TLC분석

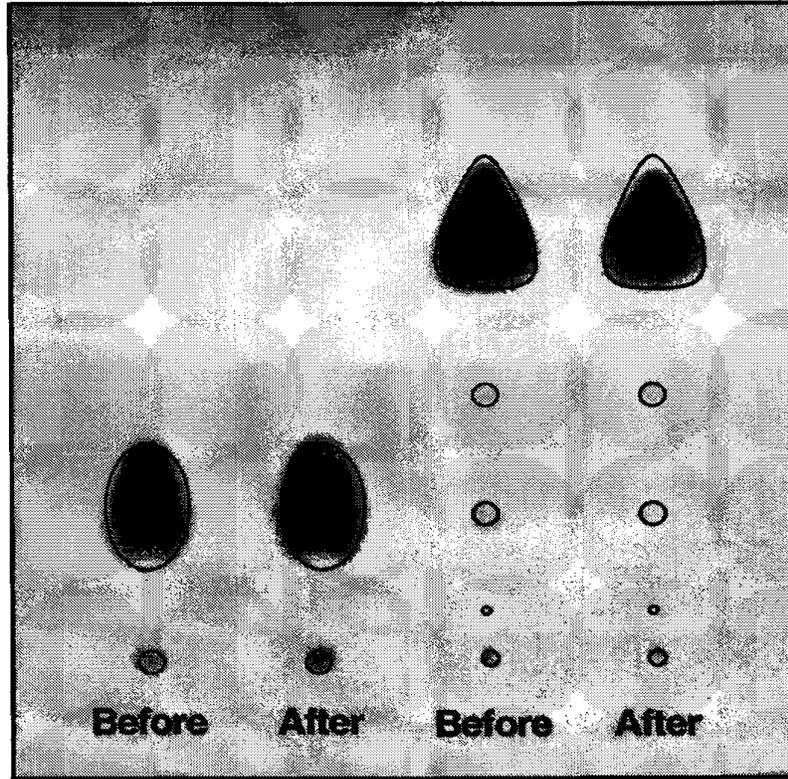
농약의 초음파에 의한 변성을 측정하기 위해 원예용 농약 2종에 대해 각각 초음파 가진시와 무가진에 대해 TLC 분석을 한 결과 다음과 같이 나타났다.



Fenarimol

Tebufenpyrad

Fig. 57. TLC Pattern of Fenarimol and Tebufenpyrad.



Fenarimol

Tebufenpyrad

Fig. 58. TLC Pattern of Fenarimol and Tebufenpyrad.

그림 57과 58은 웨나리, 피라니카의 초음파 처리전과 처리후의 TLC 결과를 나타낸다. 농축한 화합물(웨나리, 피라니카)를 TLC plate에 동일량($10 \mu\text{l}$)으로 spotting한 후 전개용매 Hexane / Ethyl acetate (2 / 1)를 사용하여 전개시킨 후 UV(254 nm)에서 확인한 결과 웨나리는 Rf값이 0.25에서, 피라니카는 Rf값이 0.7에서 각각 처리전과 처리후 화합물의 변화가 없음을 확인하였다.

4. NMR(Nuclear Magnetic Resonance)분석

그림 59는 Chembridge Soft社의 CS ChemDraw Ultra 프로그램을 이용하여 계산된다. Fenarimol의 ^1H -NMR분석 스펙트럼의 결과이다. 화학분자의 결합 구조간의 ^1H -NMR 스펙트럼의 chemical shift와의 상관관계를 보여준다.

그림 60과 61는 그림 59와는 달리 분자결합 구조의 세부적인 분석이 가능한 ACD Lab社의 ACD/HNMR Spectrum Generator를 이용하여 Fenarimol의 ^1H -NMR 스펙트럼을 예측한 결과이다. 그림 61는 작은 영역에서 chemical shift값을 확대하여 본 ^1H -NMR 스펙트럼 결과이다. ACD Lab사의 ACD/HNMR Spectrum Generator는 CS ChemDraw Ultra의 NMR 보다 세부적으로 NMR 결과의 예측이 가능하였다.

그림 62는 Fenpropathrin, 그림 63은 Tebufenpyrad, 그림 64는 Bitertanol, 그림 65는 Mancozeb, 그림 66은 Propineb의 ^1H -NMR 스펙트럼 예측 결과이다.

그림 67은 에이팜 유제의 초음파 처리전의 500 MHz ^1H -NMR 스펙트럼 분석결과이다. 4.7 ppm 부근은 D_2O 성분을 나타낸다. 그림 68은 초음파 처리후의 에이팜 유제의 500 MHz ^1H -NMR 스펙트럼 분석 결과이다. 초음파 처리전·후의 스펙트럼 분석 결과 28 kHz, 200 W초음파에 20 g l^{-1} 의 농도의 약액이 물에 용해된 20 cc에 30초간 처리하였을 경우의 분자구조의 변화는 관찰되지 않았다.

그림 69, 70은 웨나리, 그림 71, 72는 다니톨, 그림 73, 74은 피라니카의 초음파 처리전·후의 500 MHz ^1H -NMR 스펙트럼 분석결과이다.

1) Fenarimol (C₁₇H₁₂Cl₂N₂O) MW : 331.2

ChemNMR Prediction Result:

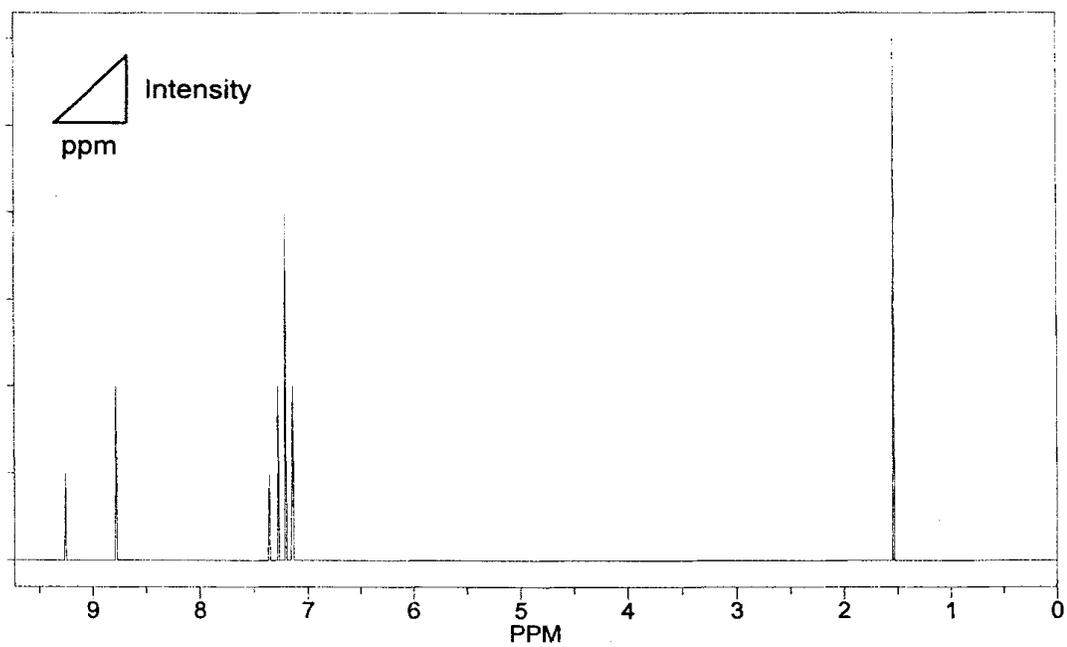
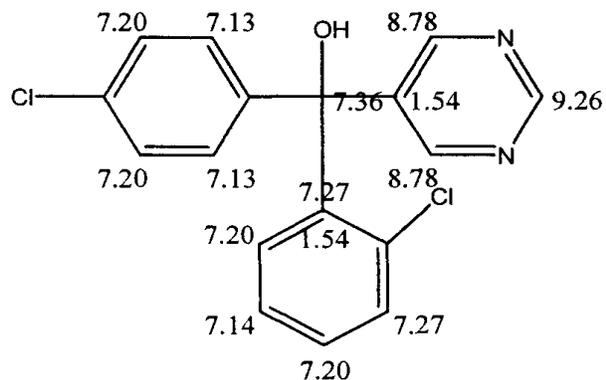


Fig. 59. ¹H-NMR spectrum of Fenarimol(ChemNMR prediction results).

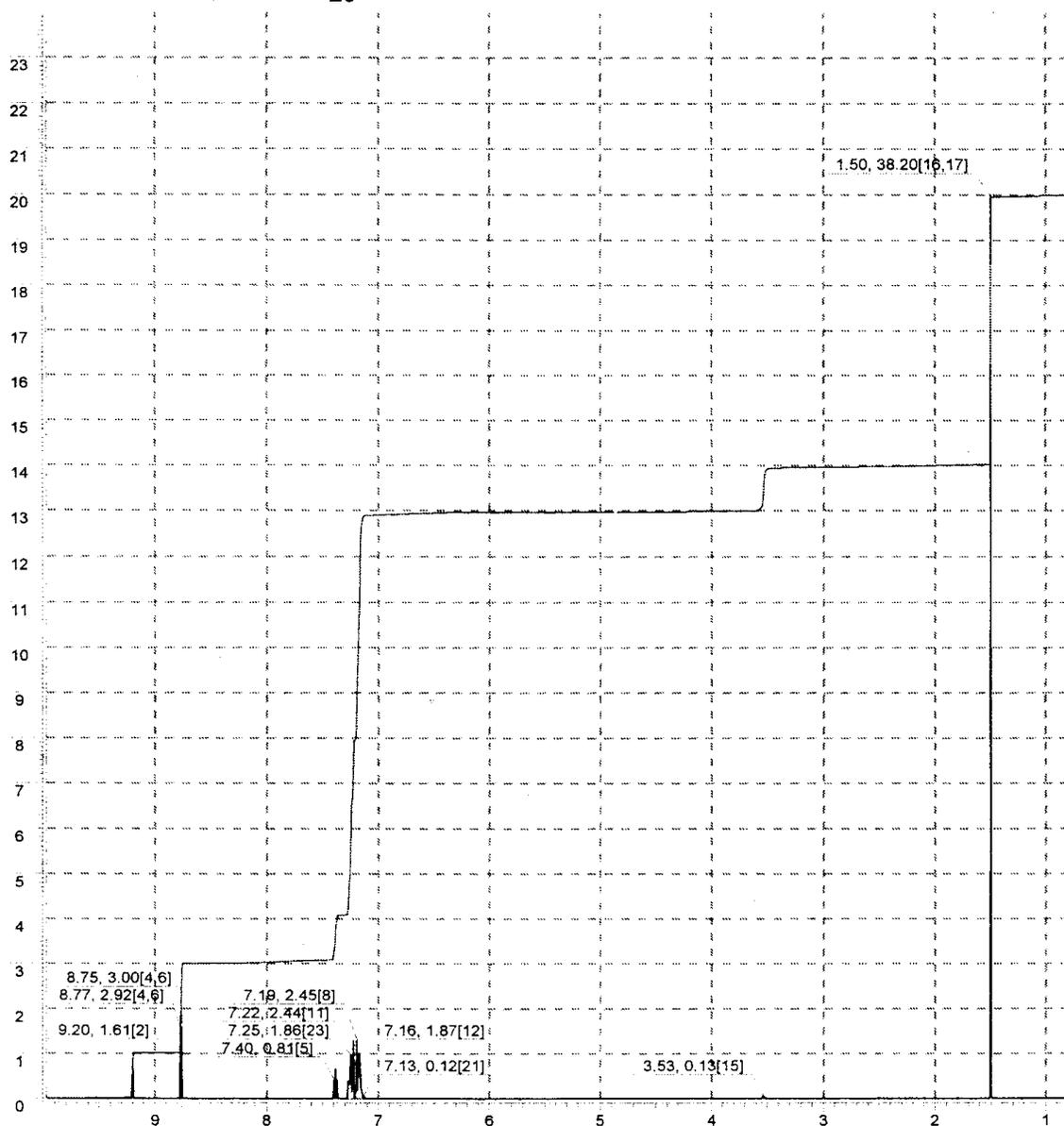
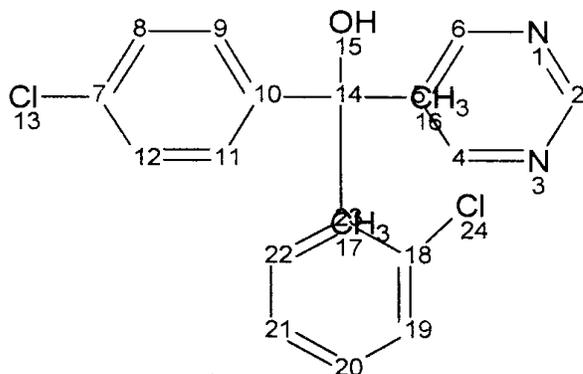


Fig. 60. $^1\text{H-NMR}$ spectrum of Fenarimol(ACD/HNMR Spectrum Generator).

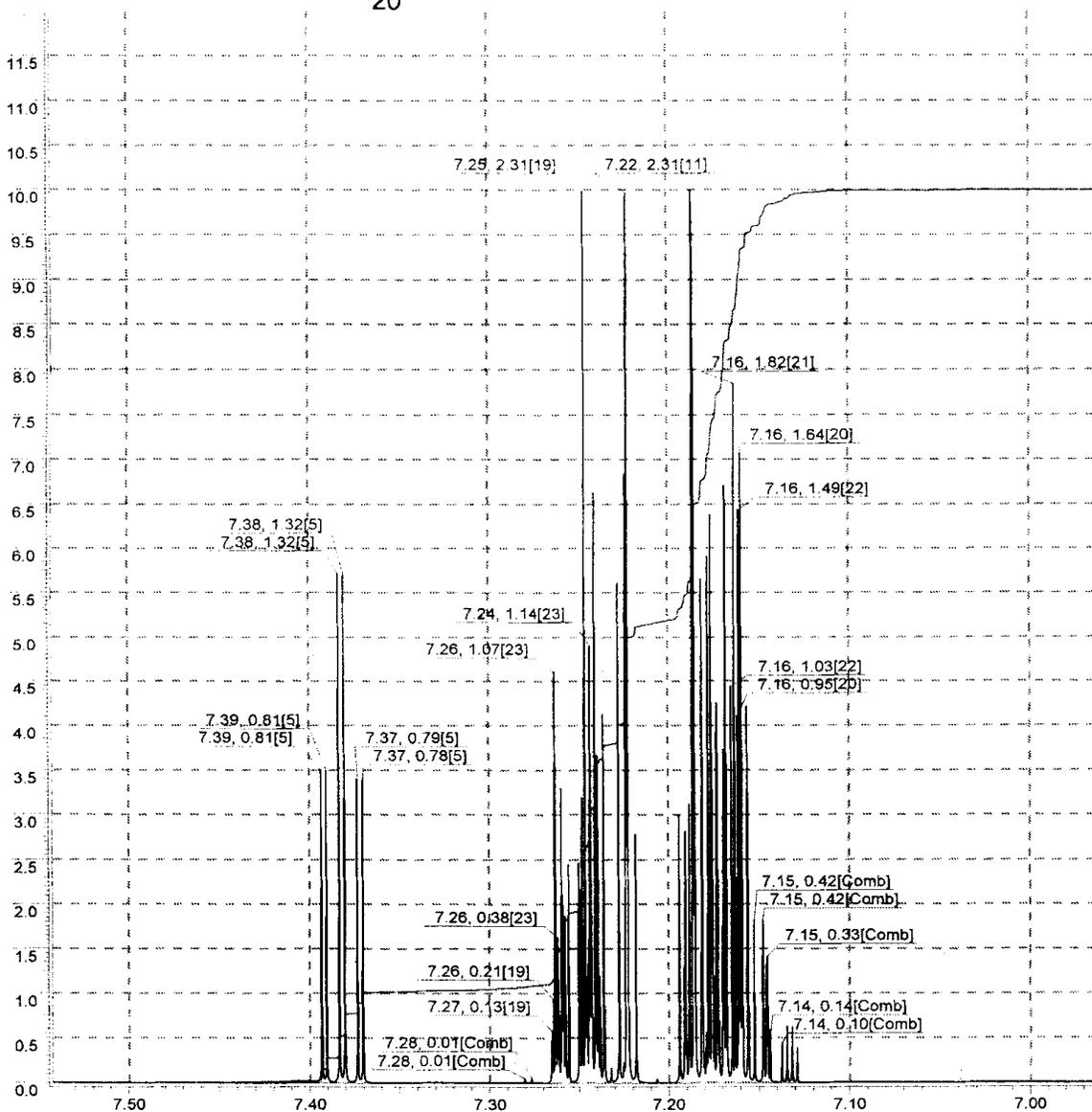
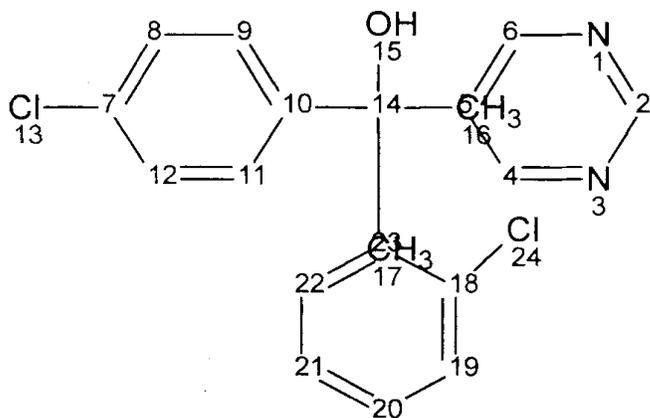


Fig. 61. ^1H -NMR spectrum of Fenarimol(ACD/HNMR Spectrum Generator).

4. Fenpropathrin (C₂₂H₂₃NO₃) MW : 349.4

ChemNMR Prediction Result:

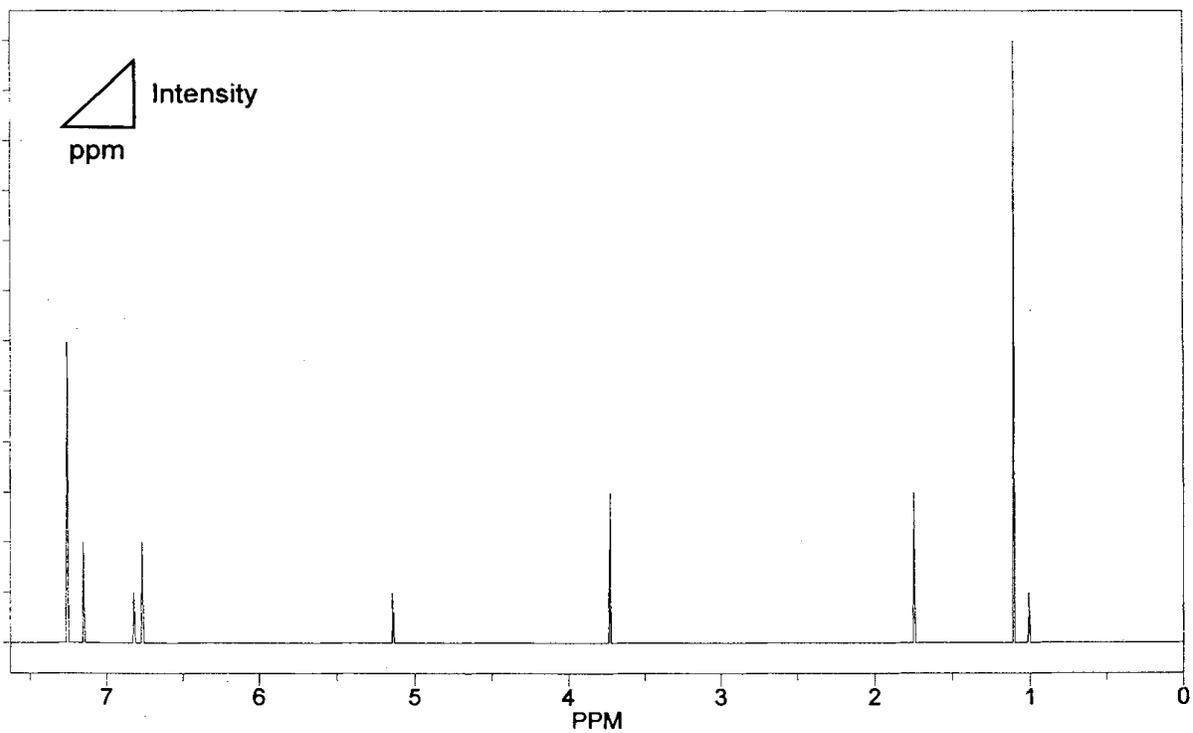
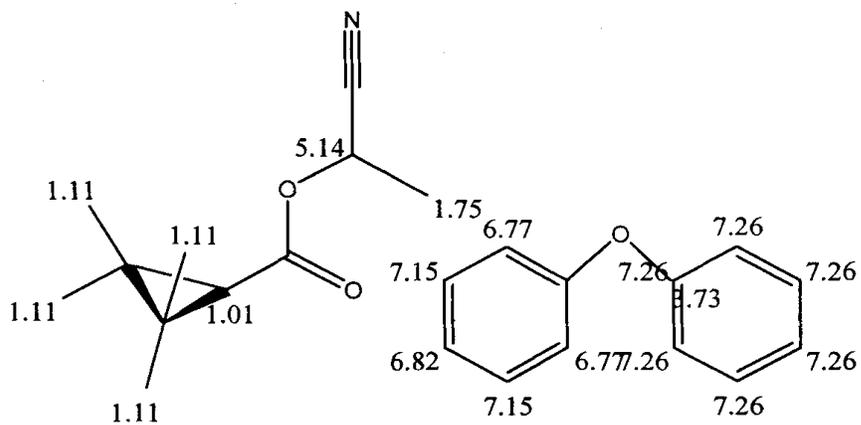


Fig. 62. ¹H-NMR spectrum of Fenpropathrin(ChemNMR prediction results).

다. Tebufenpyrad (C₁₈H₂₄ClN₃O) MW : 333.8

ChemNMR Prediction Result:

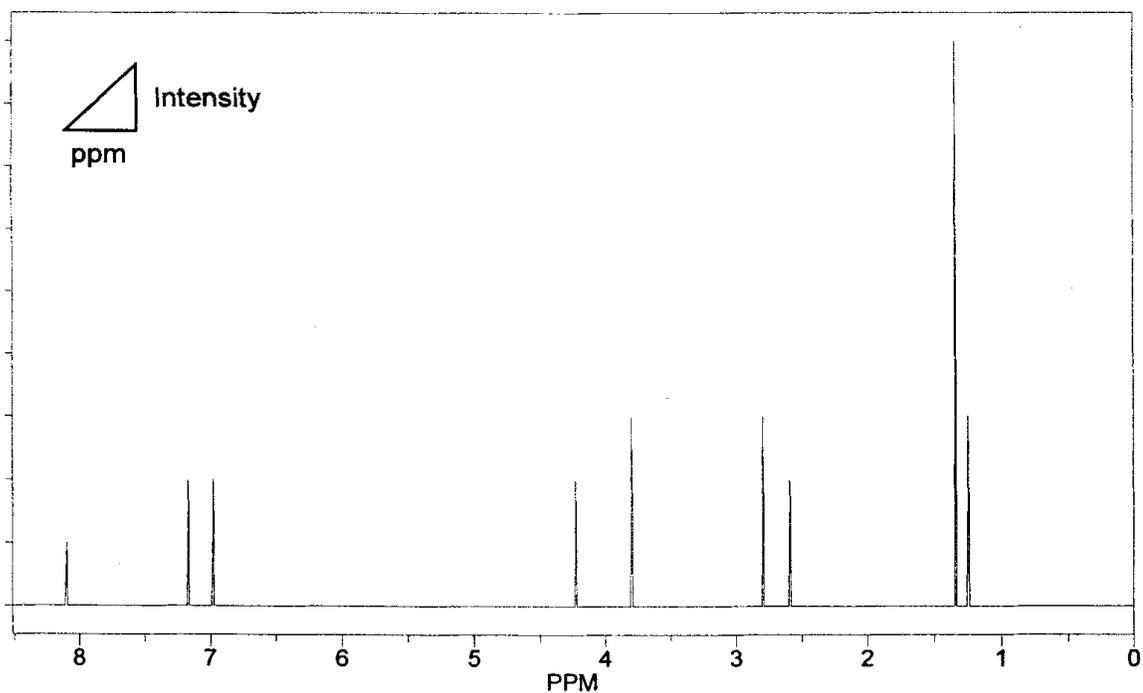
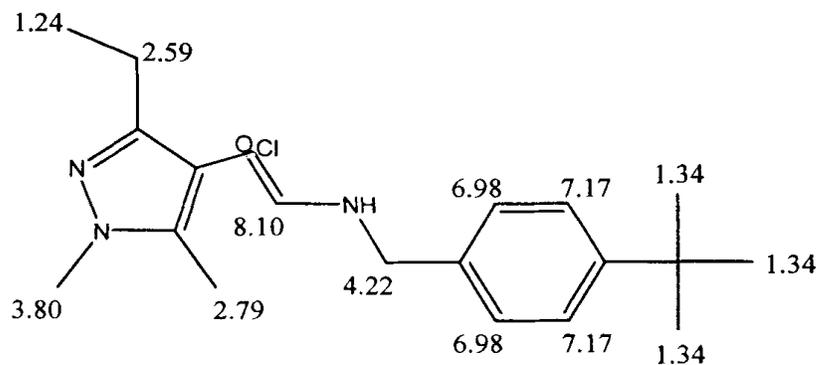


Fig. 63. ¹H-NMR spectrum of Tebufenpyrad(ChemNMR prediction results).

라. Bitertanol ($C_{20}N_3O_2$) MW : 337.4

ChemNMR Prediction Result:

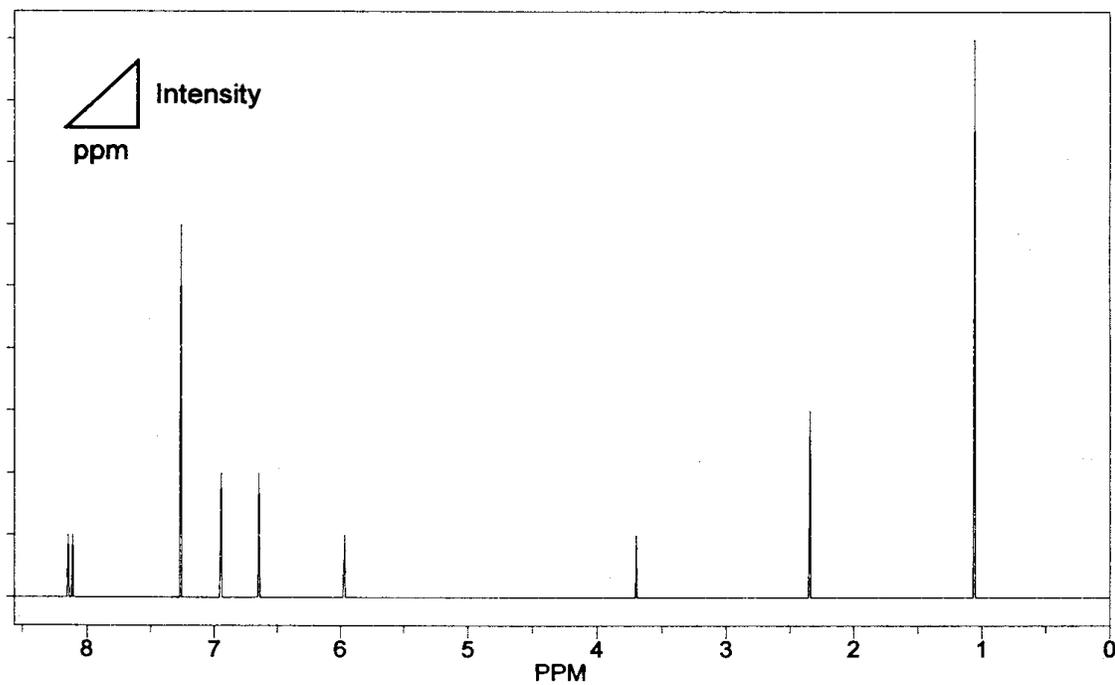
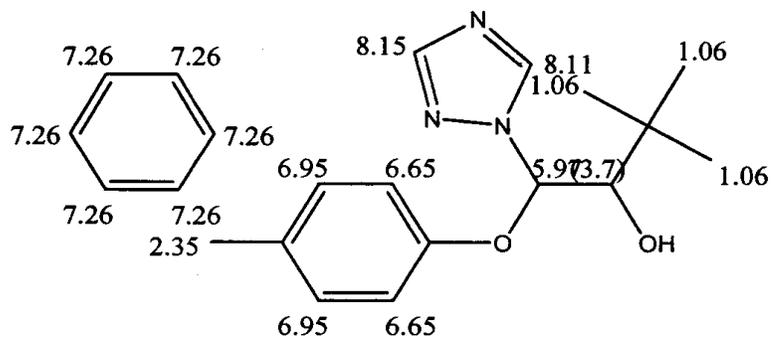


Fig. 64. 1H -NMR spectrum of Bitertanol(ChemNMR prediction results).

마. Mancozeb(Manzeb) (C₃H₆N₂S) MW : 102.09

ChemNMR Prediction Result:

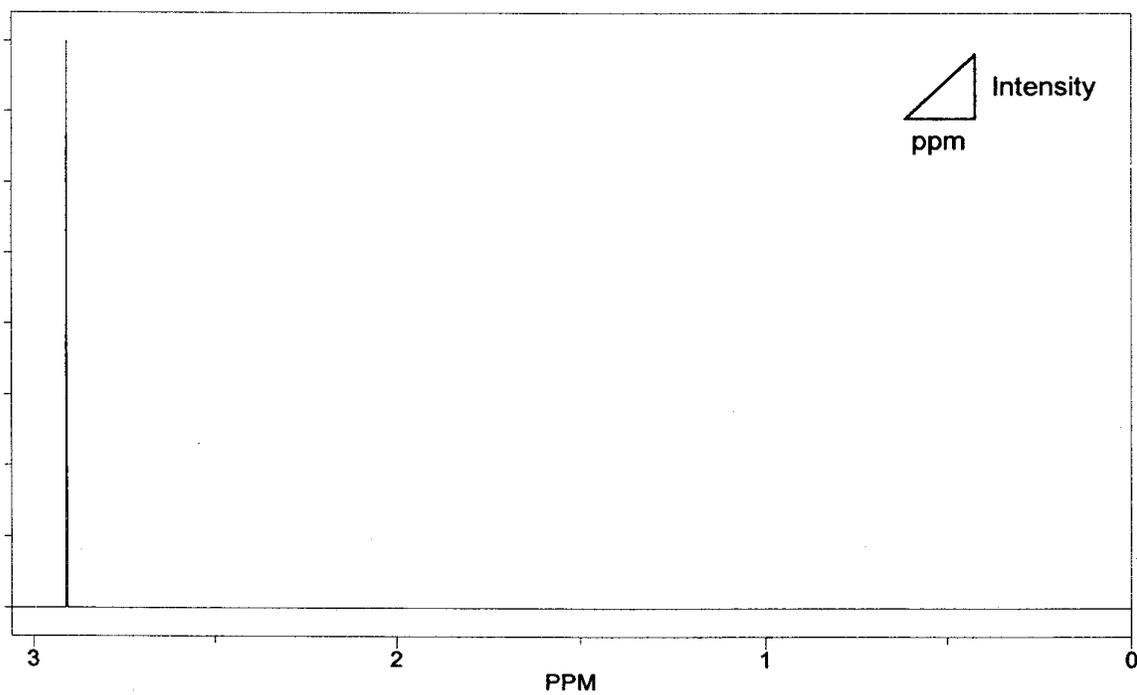
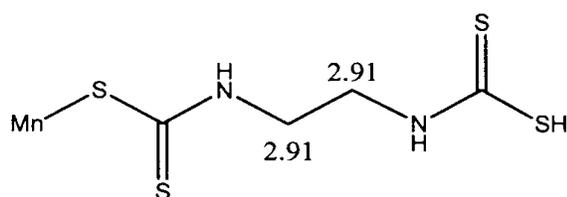


Fig. 65. ¹H-NMR spectrum of Mancozeb(Manzeb)(ChemNMR prediction results)

4. Propineb ($C_5H_8N_2S_4Zn$)_x MW : (289.8)_x

ChemNMR Prediction Result:

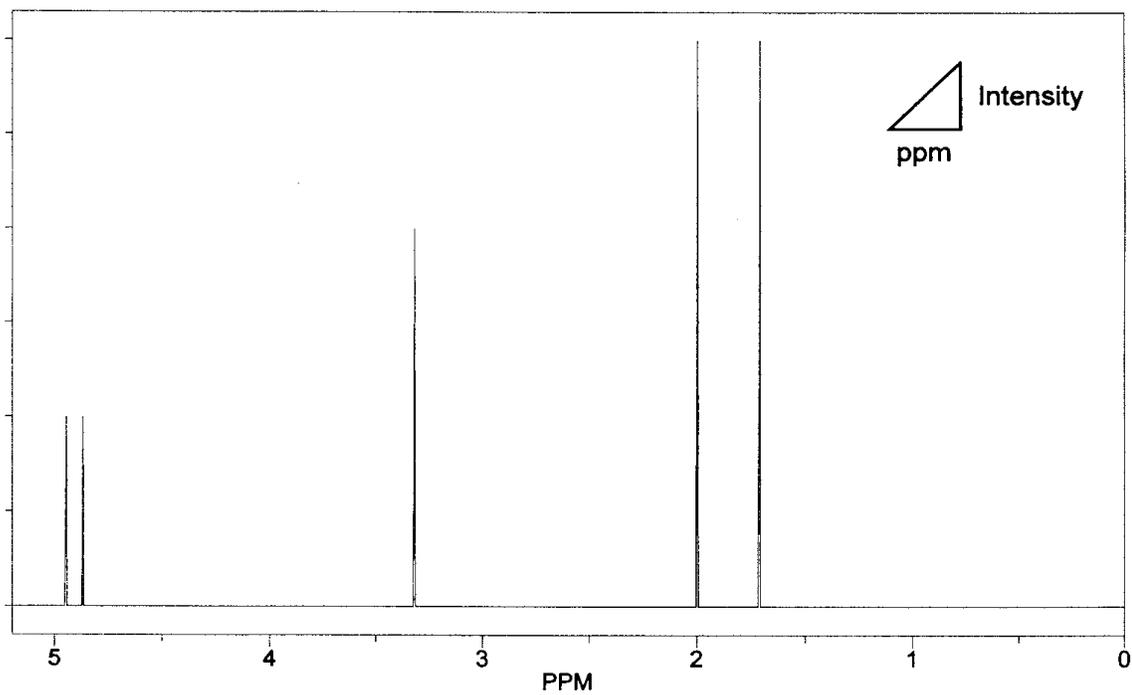
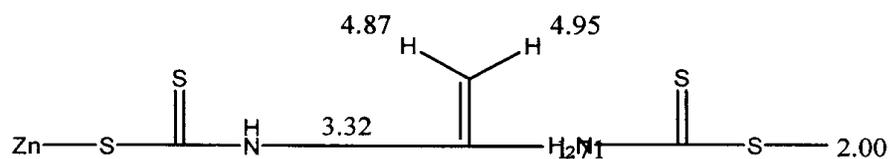


Fig. 66. ¹H-NMR spectrum of Propineb(ChemNMR prediction results).

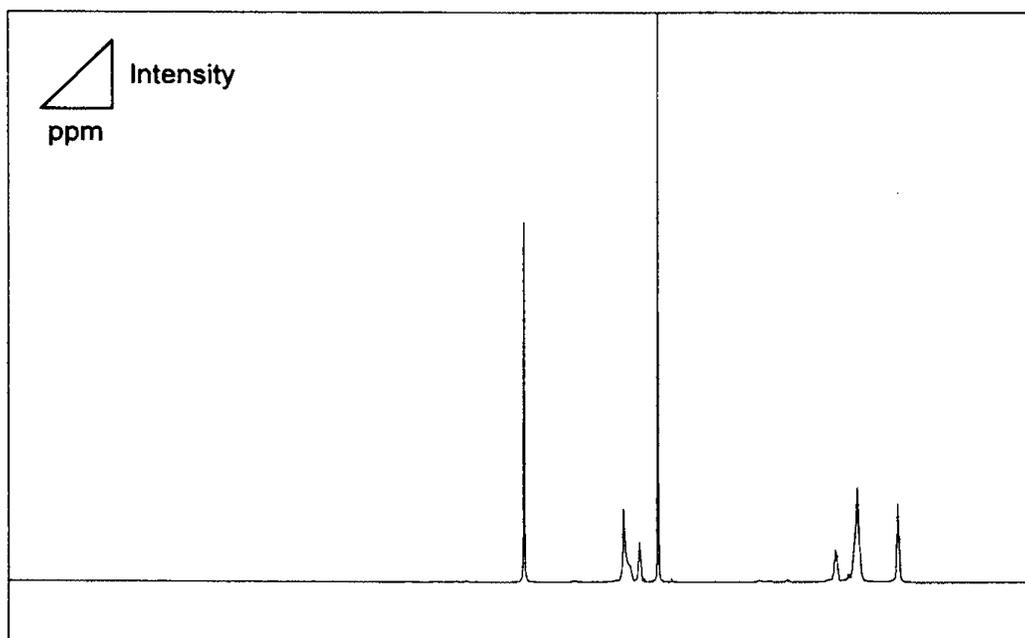


Fig. 67. 500 MHz ¹H-NMR spectrum of apharm(O₁) emulsifiable concentrate before sonication(D₂O).

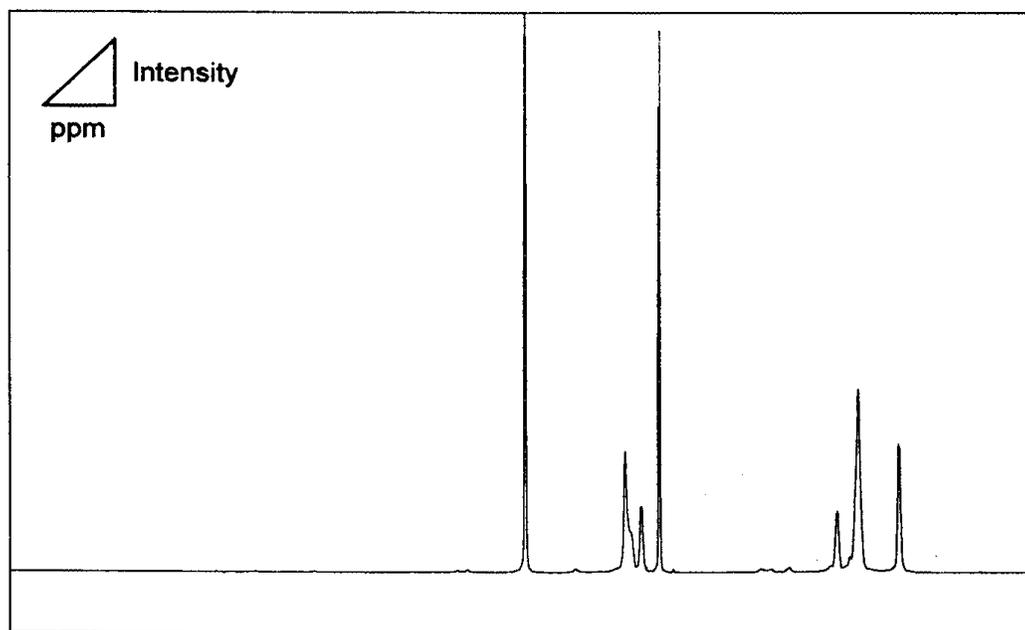


Fig. 68. 500 MHz ¹H-NMR spectrum of apharm(O₁) emulsifiable concentrate after 30sec. sonication(D₂O).

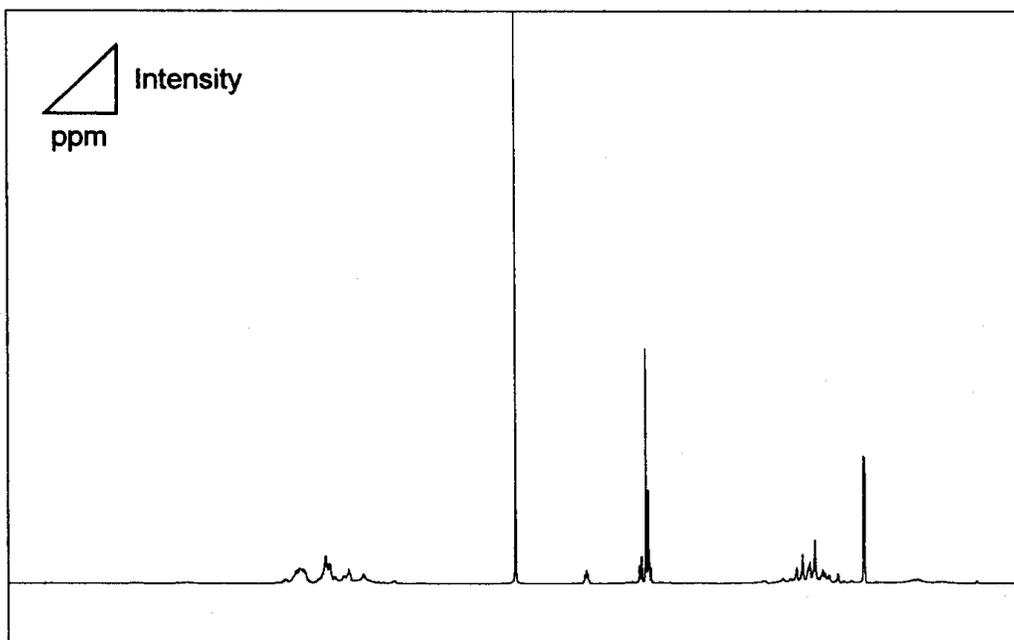


Fig. 69. 500 MHz ^1H -NMR spectrum of fenari(O_2) emulsifiable concentrate before sonication(D_2O).

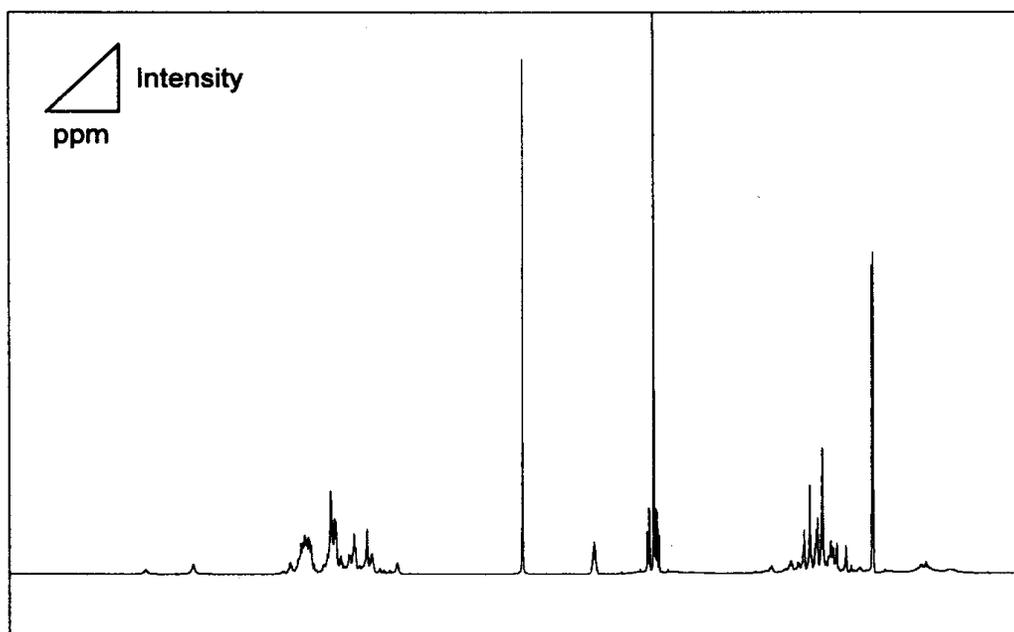


Fig. 70. 500 MHz ^1H -NMR spectrum of fenari(O_2) emulsifiable concentrate after 30sec. sonication(D_2O).

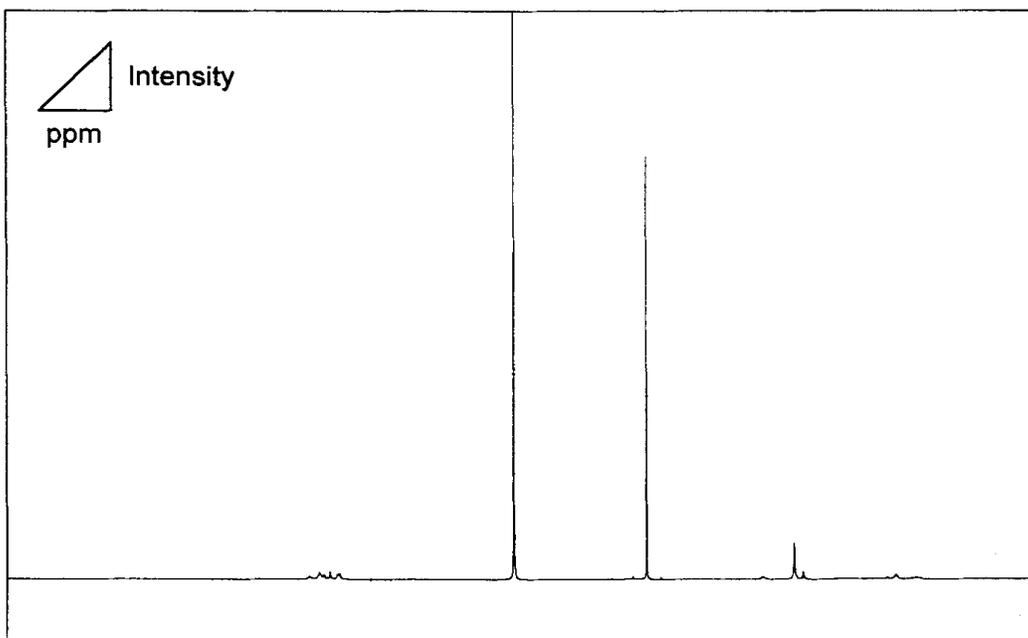


Fig. 71. 500 MHz ¹H-NMR spectrum of danitol(O₃) emulsifiable concentrate before sonication(D₂O).

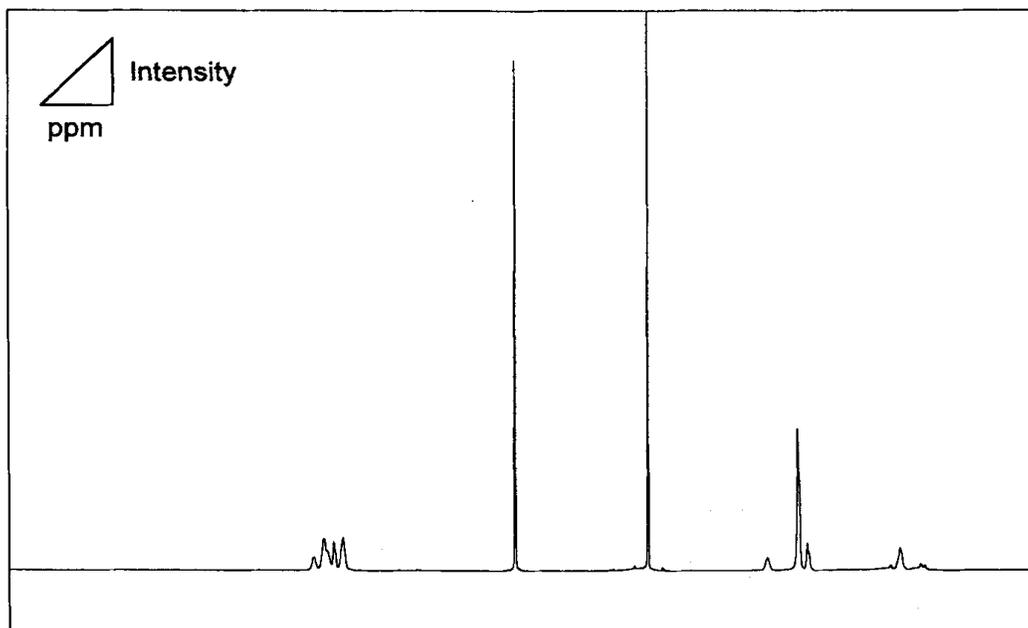


Fig. 72. 500 MHz ¹H-NMR spectrum of danitol(O₃) emulsifiable concentrate after 30sec. sonication(D₂O).

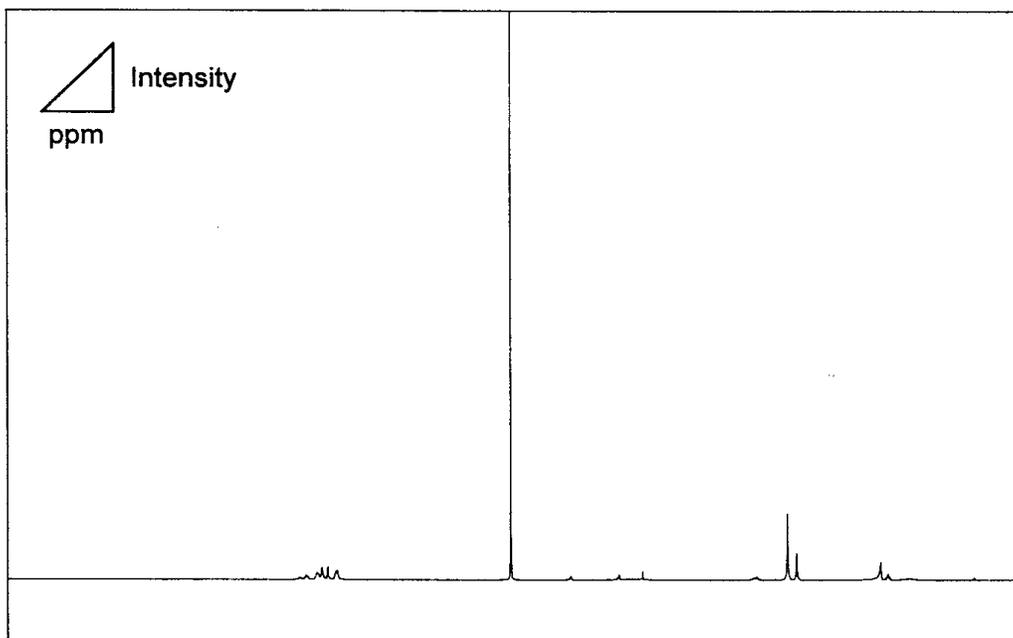


Fig. 73. 500 MHz ¹H-NMR spectrum of paranica(O₄) emulsifiable concentrate before sonication(D₂O).

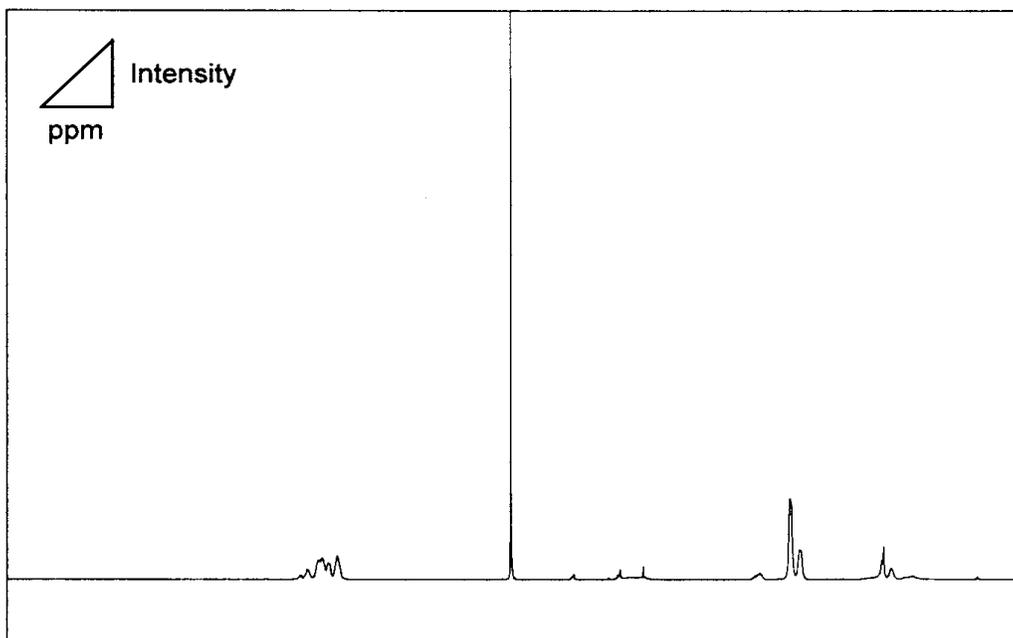


Fig. 74. 500 MHz ¹H-NMR spectrum of paranica(O₄) emulsifiable concentrate after 30sec. sonication(D₂O).

제 5 절 요약 및 결론

초음파 처리된 수화제의 현미경을 이용한 분석결과는 다음과 같다.

- 1) 수화제의 종류에 따라 각각 물에 용해되는 정도가 확연하게 차이가 났다. 안트라콜과 부메랑은 입자의 엉김이 크게 나타났다.
- 2) 4종의 수화제 모두에서 초음파 처리 전 상태는 물에 녹은 수화제 입자가 전체적으로 불균일하게 엉겨 있으며, 초음파 처리 후의 경우 입자가 전체적으로 고르게 단일 입자화되어 분포하였다.
- 3) 실험대상 4종의 수화제 모두에서 초음파 처리시 입자의 면적이 확연하게 감소되었으며, 초음파의 영향으로 전영역에서 입자의 미세화가 진전되었다.
- 4) 2-유체 분무노즐에 수화제를 사용시 발생하는 빈번한 노즐막힘 현상은 초음파 처리시 상당부분 개선될 것으로 사료된다.

초음파 처리된 수화제를 SEM을 이용한 입자 파쇄를 측정 한 결과는 다음과 같다.

- 1) 초음파 처리 전의 입자형태와 비교하여 초음파 처리 후 미세화, 입자간의 공극 확대, 입자군의 축소 및 감소가 관찰되었다.
- 2) 초음파 처리 전의 육방결정질의 수화제 입자들이 초음파 처리 후 얇은 박판 형태로 미세하게 파쇄됨이 관찰되었다.
- 3) 초음파 처리 전의 수화제의 입자 표면은 날카로운 반면 초음파 처리 이후 환형의 형상으로 관찰되었다.

4) 다이센엠 입자를 물에 용해시킨 후 초음파 처리하였을 경우 입자 표면에 많은 크랙이 진전되고 있는 모습을 관찰 할 수 있었다. 이는 초음파에 의한 입자표면의 액체매질에 발생하는 케비테이션, microstreaming, microjets, 충격파 등의 액체중에 방사되는 초음파의 물리적 성질에 기인한 것으로 사료된다.

5) 물에 용해시킨 부메랑 입자는 초음파 처리 전의 판형상 입자구조가 초음파 처리 후 대부분 소멸하였는데, 이는 초음파의 효과로 미세한 판형상 고형물의 용해가 촉진된 것으로 사료된다.

원예용 농약 2종에 대해 각각 초음파 처리전과 처리후에 대해 TLC 분석을 한 결과는 시중의 농약 2종 모두 초음파 가진시와 비가진시에 대해 각각 화학적 성질의 변화가 없는 것으로 나타났다.

4종류의 유제를 20 g l^{-1} 의 농도로 물에 희석한 20 cc용액에 28 kHz 200 W 출력의 초음파를 30초 동안 처리하여 $^1\text{H-NMR}$ 로 분석한 결과 화학적 분자결합 및 결합고리의 변형에는 영향을 미치지 않았다.

미립화 및 입자파쇄 특성을 위해 농업용 연무기에 초음파를 적용할 경우 농약의 변성이 고려되어야 하므로 다양한 주파수 대역의 초음파 및 출력량을 조절하여 세부적인 농약의 변성실험이 요구되며, 또한 초음파에 노출되는 시간도 변수로 하여 초음파 처리에 따른 농약의 변성을 검증해야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서 개발된 초음파 부가 2-유체 노즐은 상기 농약의 변성에는 영향이 없는 것으로 사료된다. 따라서 전술한 하우스재배에 심하게 발생하는 역병, 노균병, 균핵병, 잿빛 곰팡이병 등과 그리고 양액재배에서 급속히 진전되는 풋마름병 등의 방제에 아무 지장없이 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

**제 4 장 초음파분사시스템에서 분무기구
 규명 및 해석**

제 1 절 서언

일반적으로 분무의 미립화 조건은 공기와 유량비, 유속 그리고 노즐의 형태이며, 무화, 관통력, 분포 등을 들 수 있다. 이 각각의 특성들은 분사압력, 압축압력, 분사노즐의 종류, 연료의 특성 등에 서로 밀접하게 관계되어 있다. 이 분사조건에 따라 평균직경, 분무각, 집중도, 관통도, 액적의 속도 및 크기분포 등의 미립화 특성에 영향을 끼치게 된다.

초음파 분무는 액체에 초음파 진동 에너지를 추가하는 것으로 다른 미립화 방법에 비해서 비교적 분열이 잘 되고 분무량이나 입경의 제어가 용이하며, 장치가 간단하고 조용한 무화가 얻어지는 장점을 가지고 있다.

분무된 입경을 측정하기 위해서는 많은 액적들을 조사해야 하고 특히, 입경의 상한과 하한의 범위가 충분히 넓어야 하며 액적이 주위의 기체와 함께 계속적으로 운동하는 것을 고려하고, 증발 및 응축 등의 물질전달의 수반에 대한 고찰이 함께 이루어져야 한다.

액체분무의 해석에 있어서 그 응용분야에 따라 대수 평균직경, 체적 평균직경, 상대 체적 평균직경, 평균 질량직경 등의 다양한 평균직경들이 사용되고 있다.

분무 입경 측정 방법은 크게 기계적인 포집법과 광학적인 방법으로 나뉜다. 기계적 포집법은 혼적법, 액침법, 고화법 등이 있다. 혼적법은 산화 마그네슘이나 바셀린으로 코팅한 유리판에 분무를 충돌시키거나, 코팅된 판 대신 얇은 유막을 사용하여 입자를 포집한 후 사진 촬영방법 등을 통하여 입경분포를 측정하는 방법으로 휘발성이 큰 액적의 측정에 용이하며 측정이 간단하나 충돌에 의해 액적의 크기가 변할 수 있으며, 작은 액적들은 공기의 유선을 따라 판에 충돌하지 않고 유동하는 문제점이 있다. 액침법은 기계적인 셔터를 이용하여 짧은 시간동안 액적들을 유막에 채집하는 방법으로 유막은 채집한 액적들의 원래 입경을 변화시키지 않고, 구형을 유지해야 하며 액막 내에서 액적들은 이동, 흡착, 분열을 일으키지 않아야 한다. 즉, 표면장력이 작은 어떤 기름 속에 물, 글리세린, 글리세린 수용액 등 표면장력이 큰 액체입자를 떨어뜨린 후 현미경 사진으로 측정하여 분무 입경을 측정하는 방법이다. 고화법은 분무 입자를 고화시켜 이것을 분류 또는 사진 촬영하는 방법으로 상온 고화법과 고온 고화법이 있

다. 상온 고화법은 상온에서 고화되는 왁스, 송진을 가열, 용화하여 노즐에서 분사한 후, 상온 냉각시켜 분무 입경을 구하는 방법이며, 저온 고화법은 드라이 아이스, 알코올, 액체 질소 등의 저온 분위기에 액체 입자를 넣은 후 동결시켜 분무 입경을 구하는 방법이다. 광학적 방법에는 분무에 광원을 비추면 광원의 산란이 일어나는데 이 원리를 이용하여 측정하는 방법으로 High speed photography, Laser diffraction method, Laser doppler velocimeter 등의 방법이 있다. High speed photography는 짧은 섬광 광원이나 빠른 셔터 속도로 분무의 사진을 촬영하여 분무 입경분포를 측정하는 방법으로 기계적 포집법에 비해 분무나 유동장에 영향을 주지 않는 장점이 있으나, 피사체의 심도, 측정에 따른 오차가 발생할 수 있다. Laser diffraction method는 분무 입자가 레이저빔을 통과할 때 빛이 산란되는 현상을 이용한 측정 방법으로 액체 분무의 경우에는 전방 산란인 회절의 형태를 측정하여 입경분포를 측정하는 방법이다. Laser doppler velocimeter는 LDV에서 프린지 패턴을 지나는 액적에 의해 산란된 빛의 주파수와 강도를 측정하여 액적의 입경분포와 속도분포를 측정하는 방법이다.

액체를 미립화 하면 액체의 전표면적이 크게 증가하여 기액접촉면적이 매우 넓게 되어 증발, 건조 및 용해 등의 반응속도나 전열속도 등이 촉진하게 된다.

액체를 미립화하는 목적은 체적당 표면적을 크게 하는 것이지만 이용하는 분야에 따라 약간 다르다. 미립화하는 액의 형태에는 크게 액주, 액막, 방울의 3종류가 있고 실제 미립화 기구에서는 이 가운데 어떤 것이 중심이 되지만 3종류 모두가 혼재하는 것이 보통이다. 그러므로 미립화 방법의 분류를 보는 시각에 따라 분류방법이 다르다. 가압된 액이 노즐 등에서 분출하여 외기와 상대속도에 의해서 미립화 되는 것으로 압력 분사식, 단순 분무식, 선회분류식 및 충돌 분류식이라 부르는 액 자체에 의한 미립화와, 액류에 보조수단을 사용하는 방법으로서 기류에 의한 미립화, 회전원판, 회전분공 및 정전기력 등 보조수단에 의한 미립화 방법이 있다.

초음파를 이용한 액체 미립화 연구는 1759년 Lagrange에 의하여 음의 전파에 대한 수학적 연구가 발표된 이래 국내외에서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 2차 세계대전 후 매우 활발한 연구로 오늘에 이르고 있다. 이에 관한 연구는 1927년 Wood와 Loomis에 의하여 시작되었으며, 1971년 水谷, 1972년 千葉, 1980년 中山등에 의해 초음파를 이용한 액체 미립화 실험을 통하여 주파수와 평균입경 및 입경분포 등에 관한

실험결과를 발표하였다. 현재 가장 지배적인 의견은 초음파를 이용한 미립화 기구로 공동현상을 들고 있다. 즉, 진동자의 급격한 속도변화에 의해 액체내의 기포가 생성되고 이것이 액면에 적용되어 미립화를 촉진시킨다는 것이다. 이 이론은 1978년 C.Chiba에 의해 이루어졌으며, 그는 공동현상이 초음파 진동에 의한 액체의 미립화 기구라고 주장하였다. 초음파 분무 미립화는 낮은 유속과 낮은 공급 유량에서 사용될 수 있다는 장점으로 반도체 공정 기기, 가습장치, 의약품 제조에서 도포공정에 이용되는 등 응용범위가 넓어지고 있다.

본 연구에서는 초음파 분무 미립화에 관해 기존의 연구 경험과 이론 정립을 토대로 하여 농업용 액체 분무시스템에 초음파 기술을 적용하는 것이다. 기존 분사시스템과 비교하여 미립화율이 향상된 초음파 분무 시스템을 설계에 적용하는 것이다.

외국으로부터의 기술도입은 기술 전수의 기피, 기술 도입이 어려움이 산재하고 있는 실정이다.

비닐하우스 내부에서나 그 외에 사용되는 농업용 분무기는 비료나 농약의 분사시 미립화율이 낮아서 액적의 낭비가 높고 효율성이 떨어지고 있다. 따라서 캐비테이션 응용, 공진효율 극대화, Horn의 고효율화, 노즐의 최적화 등에 관한 실험을 통하여 고효율 초음파 분무 미립화 시스템을 설계하여 현재 분무시 낭비되고 있는 농약과 비료의 효율성을 높이고자 한다. 또한 수치해석을 수행하여 역비산시 미세입자의 거동에 관한 기초연구를 동시에 수행하였다. 이 기술이 완료되면 분무 성능의 향상으로 농업 생산성 향상 및 농약과 비료의 사용량 저감이 가능하고 미립화율의 상승으로 식물의 발육이 좋고 경제적인 농업기반 조성에 이바지 할 것으로 판단된다.

제 2 절 국내·외 관련기술

국내에서는 1985년 권병철과 1987년 이성래가 기화기 대신 초음파 미립화 장치를 흡기관에 부착하여 미립화 특성을 비교 실험한 연구에서 기존의 기화기보다 평균입경이 작아짐을 보였고, 1989년 남승덕과 1990년 류정인은 초음파 진동을 디젤기관에 적용하여 기존 분사노즐에 초음파 진동을 가했을 때와 가하지 않았을 때를 비교 실험한 연구에서 초음파 진동시 분무입경이 작아지고, 분무각이 확대됨을 보였다. 1991년 나우정, 이지홍이 초음파 진동을 가한 혼형 진동자에서 분무의 평균입경, 분포와 미립화기구 등을 실험하였고, 1996년 나우정, 주은선 등이 초음파 진동을 농업용 디젤 기관에 적용한 결과 분무입경이 미세화 되고 분무각이 확대됨을 보고하였다. 1996년 류정인 등은 4기통 디젤엔진을 이용하여 초음파 분사장치의 유용성을 보였다.

국외에서 초음파를 이용하여 액체를 미립화하는 연구의 시작은 1927년에 Wood, Loomis에 의하여 시작되었으며, 이들은 300 kHz, 50,000V에서 진동하는 압전형 Langevin식 석영 진동자를 이용하여 액체내의 방사압, 유화 및 연무의 생성을 실험하였다.

1971년 水谷 등은 20-70 kHz의 초음파 진동을 이용하여 각종의 액체를 이용하여 미립화하는 실험을 통하여 평균입경, 분무각 등을 구했으며, 1972년 千葉은 200 kHz-2 MHz 사이의 초음파진동을 이용하여 증류수에 대한 미립화 실험을 하여 주파수와 평균입경과의 관계식을 제시하였고, 1985년에 다시 10-60 kHz의 저주파수 초음파 진동에서 액체 미립화 실험을 통하여 주파수와 평균입경의 관계 및 입경분포등에 관한 자료를 제시하였다. 1980년 中山 등은 22 kHz의 초음파 진동에서 미립화 기구를 관찰함으로써 균일 액적군을 형성하기 위한 미립화 기구를 고찰하였다. 1984년 J.V.Droughton은 기화기를 대신한 초음파 무화장치를 1989년 K.Namiyama은 점화기관용 초음파 진동장치를 만들어 열효율의 상승 및 연료 소비율 저감을 얻었다. 1980년 Doohar, 1986년 Strandel 등은 초음파 진동에 의한 유화작용을 이용하여 에너지 향상 효과를 보고하였다.

제 3 절 초음파 혼 설계

1. 진폭 확대자(Horn)

진동자를 진동시킨 후의 진폭은 진동자의 강도에 따라 한계가 있으며 20 kHz부근의 진동자에서는 수 μm 이하로 억압해야 하나 실제 이용에 있어서는 15~40 μm 정도의 진폭을 필요로 한다.

그러므로 진동자의 작은 진폭으로부터, 이용할 수 있는 큰 진폭을 얻기 위해서는 강도가 강한 재료로 끝이 가는 혼(Horn)을 만들어 진동자에 부착하고, 진동에너지를 작은 면적으로 집중시켜야 한다. 혼은 일반적으로 대단히 큰 응력을 전달해야 하므로 함부로 이음매를 만들면 특성이 변하거나 이음매가 떨어지는 경우가 생긴다.

가. 혼의 종류

혼의 형상으로는 그림 75에서와 같이 기본적으로 스텝(step)형, 카테노이드(catenoidal)형, 익스포넨셜(exponential)형, 코니컬(conical)형의 4가지가 있으며, 초음파 가공에서의 진동자계는 그림 76과 같이 진동자의 한 끝에 콘을 뿜질, 또는 은납땜하여 이 콘선단에 여러 현상의 혼을 볼트체결하고 혼선단에 공구를 뿜질, 은납땜한다. 이 콘 또는 혼은 진동자 단면의 진폭을 확대하는 역할을 하는 것으로서 그림 76에는 진폭의 분포경향을 나타내었다. 이 때문에 콘이나, 혼을 진폭확대자, 속도변환자라고 부르며 본 연구에서는 스텝(step)형 혼을 채택하였다.

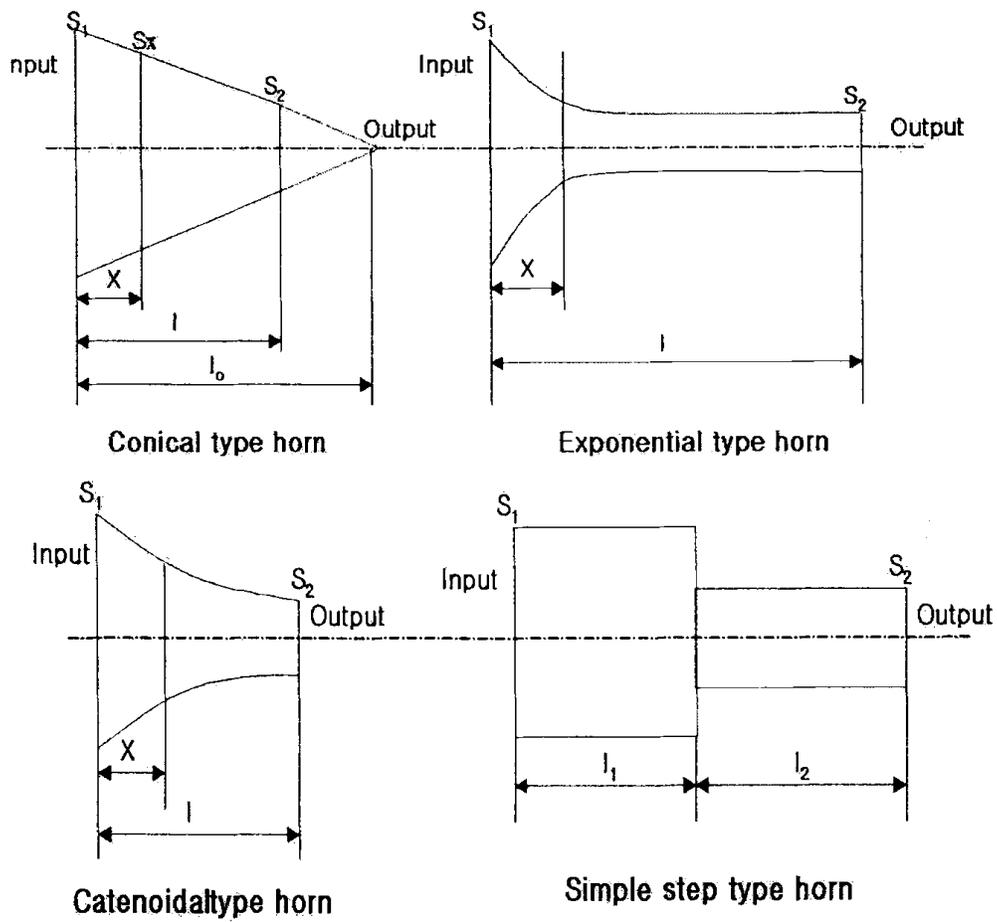


Fig. 75. Vibration mode of transducer.

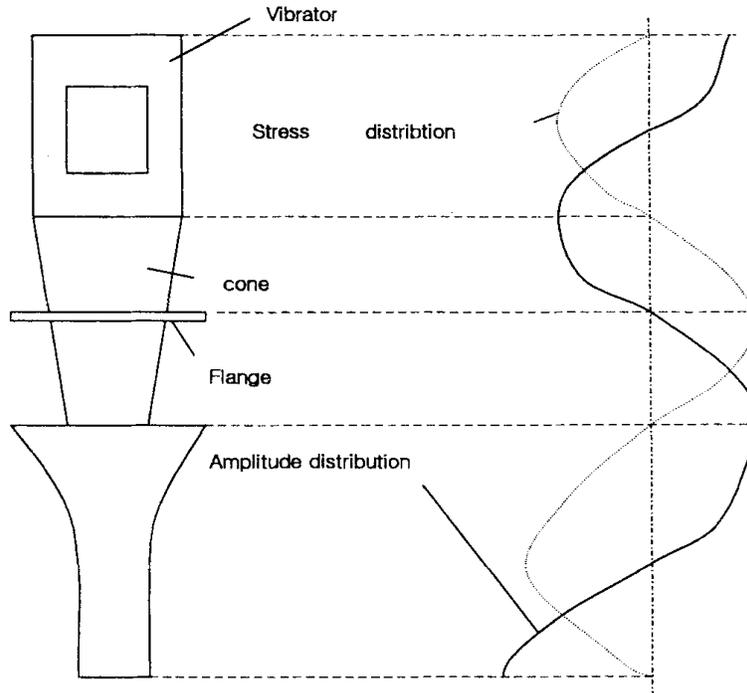


Fig. 76. The vibration types of horn.

나. 혼 재질 및 단면적의 결정법

혼 형상을 결정하려면 혼 재질을 결정하여야 한다. 재료로서 일반적으로 널리 이용되는 것은 연강이지만 이것을 스텝형 혼으로 채용할 경우 혼 속에 발생하는 진동응력이 크면 피로 손실도 크게되어 파손할 염려가 있다. 또 진폭이 크게 되면 어느 진폭값에서 내부손실이 급격하게 증대해서 재료의 파괴를 일으킨다. 스텝형 혼 등에서는 보통 연강 대신에 Ni-Cr강을 이용한다. 이외에 공구강, 스테인레스강, 황동, 티탄합금 등이 사용된다.

혼 상단면의 단면적은 종합 진폭확대비(콘부의 진폭확대비와 혼부의 진폭확대비의 곱)로도 결정된다. 이 종합 진폭확대비는 혼의 내부손실이나 피로한계 등에 의해 본 실험에서는 최대 약 20~30으로 놓는다.

다. 혼의 설계

진동에너지를 소면적으로 집중시켜 큰 진폭을 얻기 위해 만든 진폭 확대자의 형상 으로서는 단면이 지수 함수적으로 변하는 지수함수혼(Exponential horn), 원추형의 원추혼(Conical horn), 진동의 절부분에서 불연속적으로 가늘게 한 단(段) 부가 혼(Step-type horn)등이 있는데, 위의 세 종류 모두 진동자의 공진주파수로 반파장 정수 배의 공진을 하도록 설계되어 있다. 이론적인 고찰과 비교를 위해 1) Conical horn, 2) Exponential horn, 3) Catenoidal horn, 4) Step-type horn을 서술하였으며, 본 실험에 채택한 Step-type horn에 대해 상세한 설계치가 제시되어 있다.

1) Conical horn

원추형 혼은 단면이 불균일한 긴 봉이므로 2축방향에 신축하는 종진동을 주의하여야 한다. 그림 77에서 대단면으로부터 거리 X 되는 점의 단면적을 S , 봉의 영율을 E 라고 하면 운동방정식은 다음과 같이 얻어진다.

$$\sigma s \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial}{\partial x} \left(s \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

여기에서 ρ 는 봉의 밀도, u 는 변위, t 는 시간이다.

봉의 단면적이 일정한 균일봉의 경우는 다음과 같이 얻어진다.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \text{단, } c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{로서 } c \text{는 봉속을 전파하는 음속도이다.}$$

위 식에서 봉의 단면치수가 파장에 비해서 매우 작고 종진동이 주로 고려되는 경우에는 봉의 중심축에 X 를 놓으면

$$S_x \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(S_x \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) \text{ 로 된다.}$$

여기에서 S_x 는 봉의 단면에서 x 되는 점의 단면적, u_x 는 그 단면에서의 진동변위, c 는 봉의 재료 중에서의 음속도, t 는 시간이다.

코니컬형 혼의 종진동은 경계조건으로서 $x=0$ 및 l 에서 변위구배가 0으로 되므로 $x=0$ 및 l 에서 $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$ 을 이용하여 그 공진 조건식은 다음과 같다.

$$\tan al = \frac{\omega l c (D_1 - D_2)^2}{c^2 (D_1 - D_2)^2 + \omega^2 l^2 D_1 D_2}$$

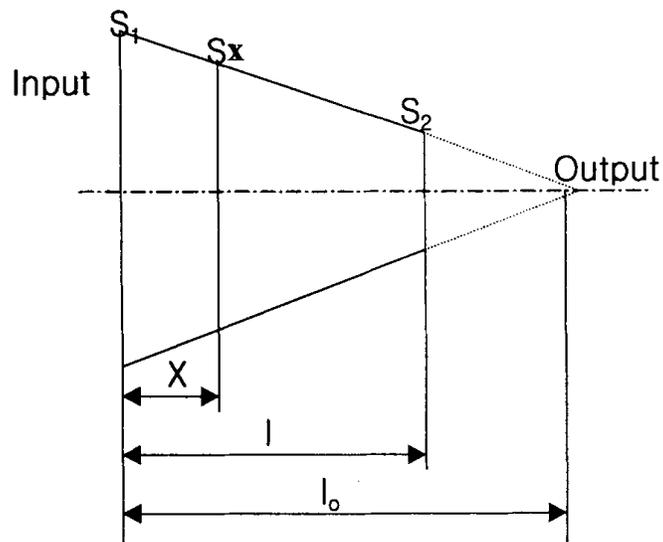


Fig. 77. Conical type horn.

2) Exponential horn

단면적이 지수 함수적으로 변화하는 혼을 일반적으로 지수 함수혼이라고 한다. 그림 78와 같은 혼에서 혼의 대단면적을 S_1 , 소단면적을 S_2 라 하면, 혼의 형상은 일반적으로 $S_x = S_1 \cdot e^{rx}$ 로 나타낸다.

이 때에도 원추형 혼의 계산에서와 같이 경계조건 $x=0$ 에서 $\frac{\partial ux}{\partial x} = 0$, $x=1$ 에서

$\frac{\partial ux}{\partial x} = 0$ 을 이용하면 지수함수혼의 공진조건으로서

$$ln = n \frac{c}{2fn} \sqrt{1 + \tan^2 \Phi} \text{ 을 얻는다.}$$

단, $\tan \Omega_n = \frac{1}{2n\pi} \log e\left(\frac{S_2}{S_1}\right) = \frac{rln}{2\pi n}$ 이므로 아래첨자 n 은 제 n 차 공진을 나타낸다.

강력 초음파 발생용 혼으로서서는 보통 제 1차 공진(반파장공진)을 이용하므로, 이때에는 일반적으로

$$l = \frac{c}{2fn} \sqrt{1 + \tan^2 \Phi} \text{ 을 얻는다.}$$

단, $\tan \Phi_n = \frac{1}{2n\pi} \log e\left(\frac{S_2}{S_1}\right) = \frac{rln}{2\pi n}$ 이므로 아래첨자 n 은 제 n 차공진을 나타낸다. 강력 초음파 발생용 혼으로서서는 보통 제 1차 공진(반파장공진)을 이용하므로, 이때에 일반적으로,

$$l = \frac{c}{2f} \sqrt{1 + \tan^2 \Phi} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{4\pi^2 + r^2 l^2} \text{ 또는}$$

$$\tan \Phi = \frac{1}{2\pi} \log e\left(\frac{S_2}{S_1}\right) = \frac{rl}{2\pi} \quad l = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{4\pi^2 + \left[\log e\left(\frac{S_2}{S_1}\right)\right]^2} \text{ 로 된다.}$$

여기에서, S_1, S_2, f 가 주어지면 혼의 길이와 임의의 단면적을 구할 수 있다. 대단면에서 진동진폭을 u_1 이라 하면, 대단면에서 x 되는 위치에서의 진폭 u 는

$$u_x = u_1 \left(\cos \frac{\omega x}{c} + \frac{rc}{2\omega} \sin \frac{\omega x}{c} \right) e^{-\frac{rx}{2}}$$

로 구해진다.

여기서 $c' = 2lf$ 이므로 지수함수혼 중에서 음속도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$c' = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{rc}{2\omega}\right)^2}}$$

이 식에서 지수함수혼 중에서 음속도 c' 는 단면이 일정한 봉의 음속도 c 보다 매우 크게 된다. 또 $\left| \frac{rc}{2\omega} \right| < 1$ 이어야 하므로 $|r| < \frac{2\omega}{c}$ 일 때 반파장 공진하는 혼의 설계가 가능하다.

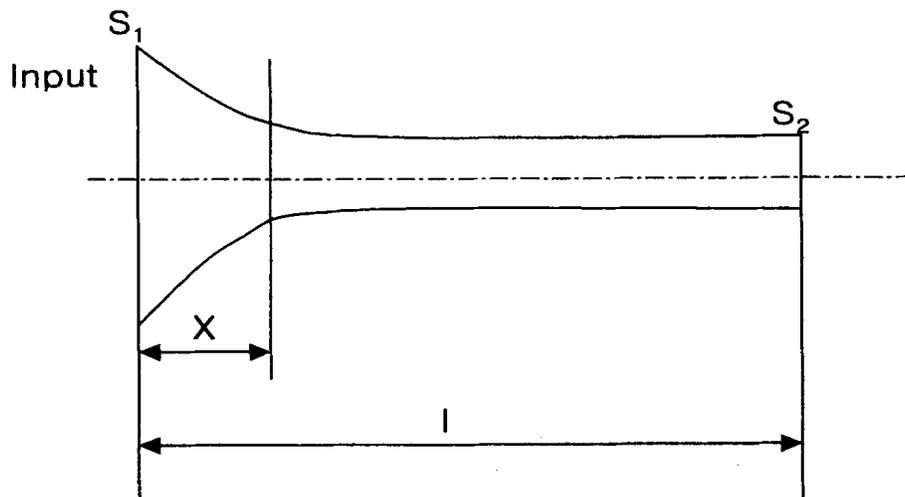


Fig. 78. Exponential type horn.

3) 카테노이덜(Catenoidal)형 혼

카테노이덜형 혼은 그 제작이 어려우므로 실용화되지 않으나 지수함수혼보다 진폭 확대율이 크므로 경우에 따라서는 지수함수혼보다 유리하다. 윤곽곡선이 카테노이덜형으로 되어 있는 혼은 지수함수혼과 유사하나 형상은 그림 79에서와 같다. 이것의 종진동 운동방정식은 타형상의 혼일 때와 똑같다. 입력단 및 출력단의 면적을 S_1 , S_2 라하고 입력단에서 x 되는 거리의 단면적을 S_x , 전체길이를 l 이라 하면, 기본과 진동을 하는 혼의 조건식은 다음과 같다.

$$\sqrt{1 - \left(\frac{\eta}{\alpha}\right)^2} \alpha l \tan \sqrt{1 - \left(\frac{\eta}{\alpha}\right)^2} = -\sqrt{1 - \frac{S_2}{S_1}} \cosh^{-1} \sqrt{\frac{S_2}{S_1}}$$

단, $\alpha = \omega/c$ ($\omega = 2\pi f$: 각 진동수), C : 혼 재료 중 음속도이고 카테노이덜 곡선은 다음 식으로 나타낸다

$$S_x = S_2 \cosh^2 \eta (l-x)$$

단면원형의 경우는 직경 D_x , D_2 를 이용하여

$D_x = D_2 \cosh \eta (l-x)$ 로 한다.

$$\eta = \frac{1}{l} \cosh^{-1} \frac{D_1}{D_2} = \frac{1}{l} \cosh^{-1} \sqrt{\frac{S_1}{S_2}}$$

의 관계가 성립한다.

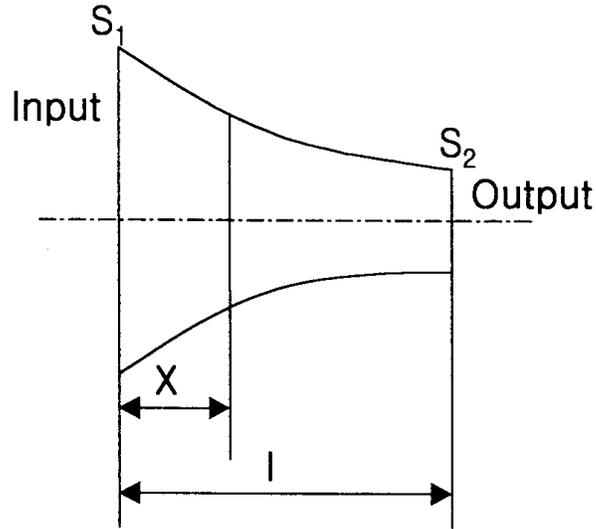


Fig. 79. Catenoidal type horn.

4) Step-type horn

강력 초음파 응용에서는 그림 80에서와 같은 단부가 흔히 널리 사용된다. 이 horn의 장점은 그림과 같은 단순 스텝형의 경우, 진폭확대율이 대단면과 소단면의 면적비로 되어 선단에서 매우 큰 진폭이 얻어진다. 단, 스텝부에서의 면적비가 크게 되면 설계 계산의 전제로 하는 응력 연속가정이 성립되고 공진주파수가 설계된 값보다 크지 않아야 실용화 될 수 있다. 일반적으로 스텝부에 알맞은 곡률을 두거나 스텝부를 익스포넨셜 곡선으로 만든다.

그림 80에서 $L_1 = L_2 = \lambda/4$ 로 하면, 끝단에서의 진폭은 최대가 되며, 절 부분에서의 진폭은 0이 된다.

공진주파수가 28 kHz일 때, 음속 전달 계수, $C = \lambda \times f$ 이므로 진폭확대자 재질의 음속 전달계수에 의해 파장(λ) 및 L을 구할 수 있다.

이 때, 진폭확대율, $M=S_1/S_2$ 즉, 양쪽의 면적비로 이루어진다.

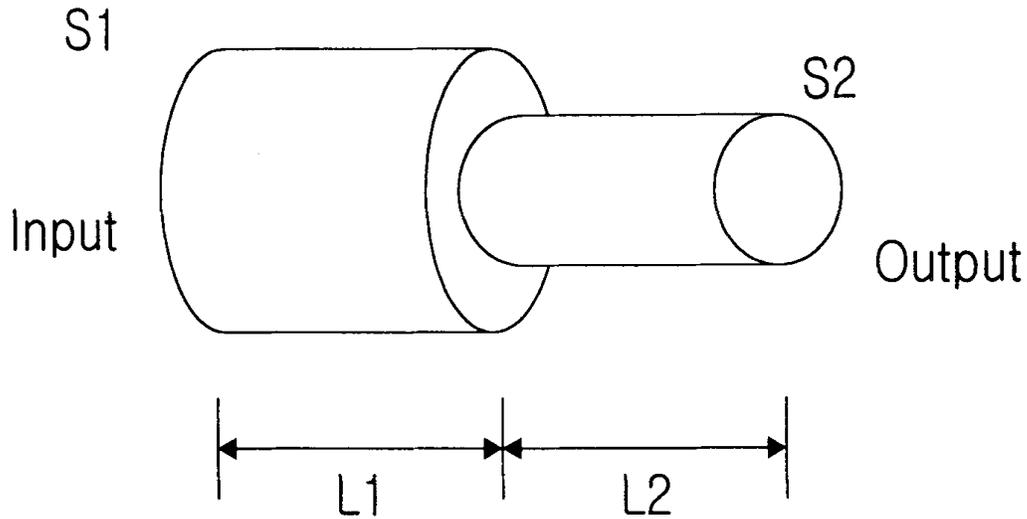


Fig. 80. Step type horn.

혼은 진폭 확대율이 가장 큰 계단 (step) 형 혼을 사용하였는데 이 혼은 단면적의 비가 증가할수록 진폭도는 증가하지만 응력분포가 커지는 단점이 있다. 본 실험에 사용된 혼의 재질은 Al 7075-T651이고, 그 주요특성은 표 11에서와 같다.

Table 11 Specification of horn

Name of alloy	Al 7075 T651
Tensile strength	58 kg/mm ²
Hardness	150 Bhn
Shear strength	34 kg/mm ²
Fatigue limit	16 kg/mm ²

본 실험에 사용된 혼은 두 가지 형태로서 효율을 비교하기 위해서 그림 81과 그림 826이 본 실험에 사용된 혼의 설계도면이다.

그림 81에는 노즐 직접 설치용으로서 노즐의 분무방향에 대하여 직각으로 노즐에 부착하여 사용할 수 있도록 제작하였다.

다른 변화를 위하여 그림 82에서는 관로 설치용으로서 물탱크와 노즐의 중간의 튜브에 설치할 수 있도록 제작하였으며, 노즐에서 가까운 위치로 부착하였다.

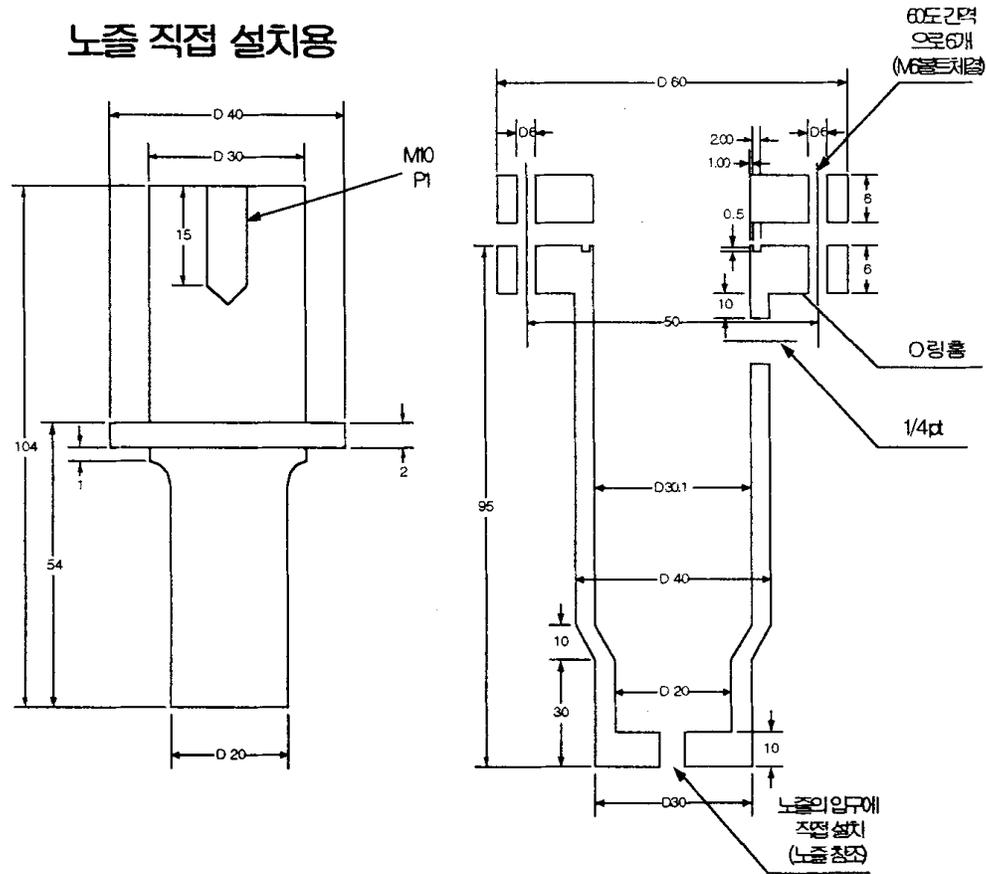


Fig. 81. Design of horn mounted in nozzle.

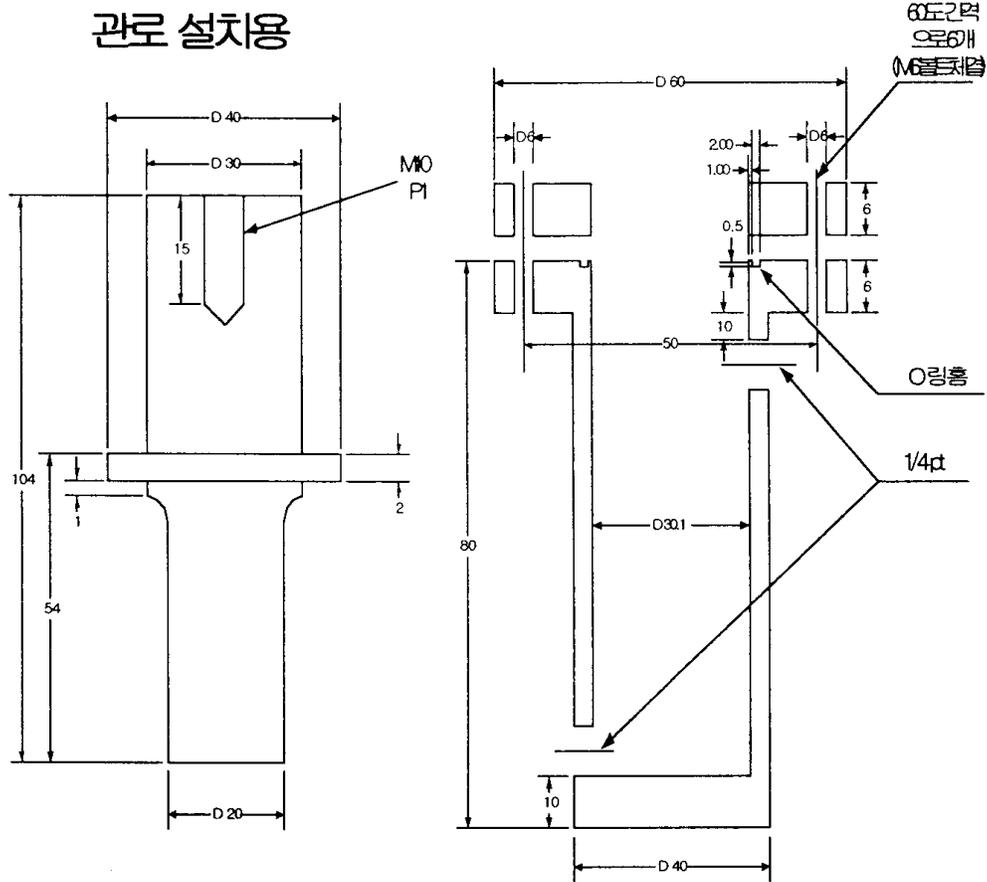


Fig. 82. Design of horn mounted in tube.



Fig. 83. Photograph of decomposed horn mounted in nozzle.

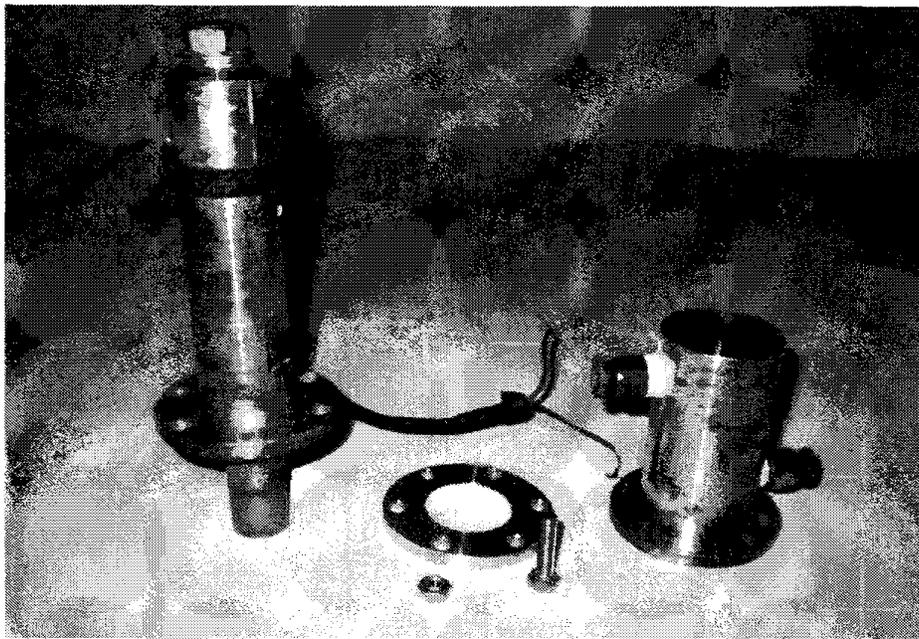


Fig. 84. Photograph of decomposed horn mounted in tube.

그림 83에서는 노즐에 직접 부착하는 혼의 분해사진을 나타냈으며, 그림 84에는 관로상에 부착하는 혼의 분해사진을 나타내었다. 그림 85에는 노즐과 혼의 실험시 결합사진을 나타내었다.

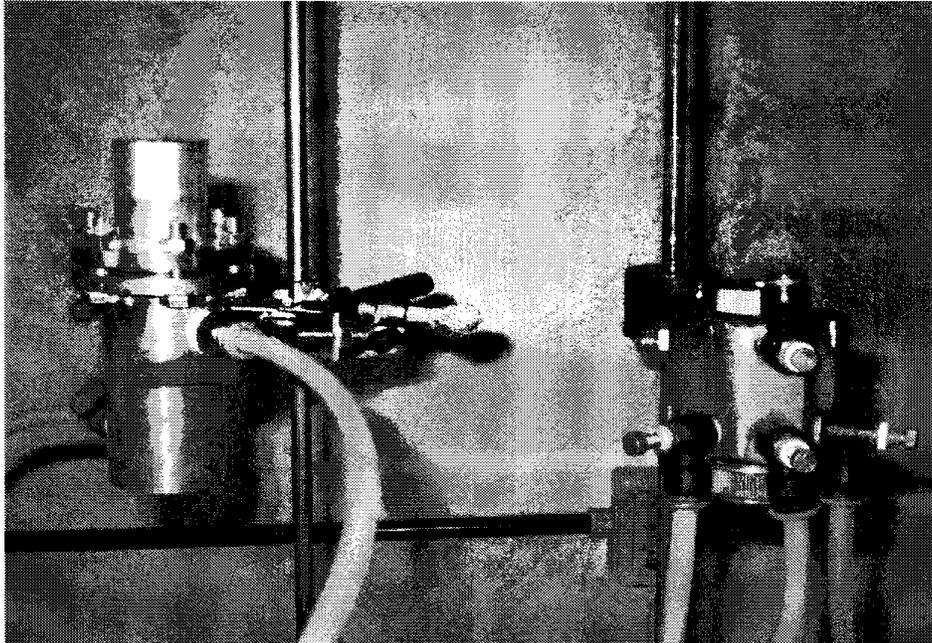


Fig. 85. Photograph of the connection part.

2. 진동자

자연계에서 발생된 초음파를 직접 이용하기에는 여러 가지 어려움이 있으므로 필요한 주파수와 강도를 얻기 위해서는 인공적으로 초음파를 발생시킬 수 있는 장치를 만들어야 한다.

이러한 장치가 바로 초음파 발생장치이며, 매질에 따라 또는, 원하는 주파수에 따라 여러 종류의 진동자(Transducer)가 있으며, 진동자의 종류로는

- 압전 진동자(Piezoelectric transducer)
- 자왜 진동자(Magnetostrictive transducer)
- 금속 자왜 진동자
- 페라이트(Ferrite) 자왜 진동자
- 집속 자왜 진동자
- 전왜 진동자(Electrostrictive transducer)
- Langevin 진동자 등이 있다.

본 실험에서는 Langevin형을 채택하였다.

가. Langevin 진동자

그림 86에서 보는 바와 같이, Inner bolted Langevin 진동자는 두 개의 다른 금속판 (탄성판)사이 에 수정판을 모자이크 상으로 모아 접착 또는 볼트 체결하여 저주파수의 강한 초음파를 얻을 수 있는 진동자이며, 볼트 죄임 방식이므로 두 금속판의 열팽창 계수가 달라도 떨어지는 일이 없으며 효율이 높다.

본 실험에 사용된 Langevin 진동자의 특징은 다음과 같다.

- 기계적 Q (Quality factor : 공진회로에서 공진의 날카로운 정도)가 높다.
- 고온에서 사용할 수 있다(일반적인 것은 100℃까지, 고온용의 것은 160℃까지 거의 특성의 변화가 없다).
- 냉각이 필요치 않다.
- 대부분이 금속 블록으로 되어 있으므로 견고하고, 대진폭의 진동에도 파괴의 위험이 없다.
- 진동자 전체로서 비교적 저주파수쪽에서도 대진폭의 초음파를 얻을 수 있어 이용범위가 넓다.
- 임피던스와 가해지는 전압이 높고 비교적 값이 비싸다.

나. Langevin형 진동자의 설계

농용 분사기용 초음파 진동자용 소자를 제조하고 이를 실제로 탑재할 수 있도록 하기 위하여 Langevin형 진동자 자체를 설계하였다.

압전 ceramic 진동자는 전계를 인가하면 분극 방향으로 신축하는 성질을 갖고 있어 일반적으로 인장 강도에 약하다. 그러나 압축 응력에는 강하기 때문에 여진시의 최대 응력을 감당할 수 있을 만큼의 압축 하중을 미리 가해 둔 진동자는 최대 가진시에도 진동에 의한 인장응력에서는 파괴되지 않는다. Langevin형 진동자는 압전 세라믹과 금속 block을 bolt로써 기계적으로 접합하기 때문에 진동 파괴 강도가 큰 것이 특징이며 진동자의 종진동에 대해서도 안전한 편이다.

초음파 진동자의 대부분은 종진동 mode와 횡진동 mode가 동시에 일어나는 경우가 많다.

따라서 Langevin 진동자의 두께와 반지름의 치수를 근접시키면 직경방향 진동과 두께 방향 진동이 결합한다. 따라서 복합 진동자라 두면 표면적인 Langevin 진동자의 설계는 그림 86을 이용하여

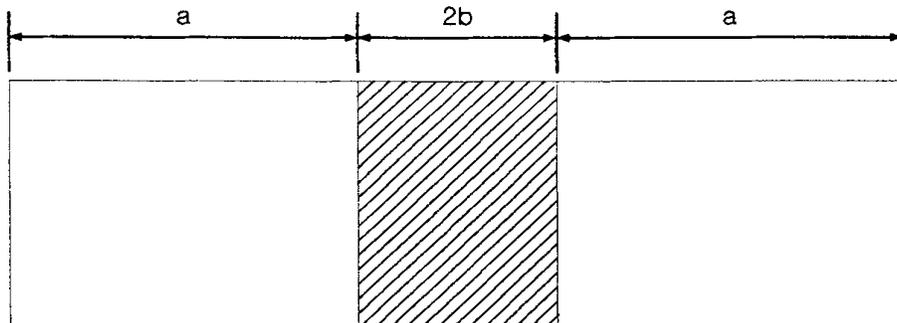


Fig. 86. Design concept for Langevin type vibrator.

$$k = \frac{\rho_1 c_1 S_1}{\rho_2 c_2 S_2} \text{----- (1)}$$

$$\lambda_1 = \frac{c_1}{f_r} \quad , \quad \lambda_2 = \frac{c_2}{f_r} \text{----- (2)}$$

$$a = \alpha \frac{\lambda_2}{4}, \quad b = \beta \frac{\lambda_1}{4} \quad \text{-----} \quad (3)$$

라 하면, 공진 조건에 의하여

$$\tan \frac{\pi}{2} \alpha \quad \tan \frac{\pi}{2} \beta = k \quad \text{-----} \quad (4)$$

여기서 ρ : 밀도, c : 전파 속도, S : 단면적($S_1=S_2$), f_r : 공진 주파수

또, 첨자 1, 2는 각각 진동자 및 금속을 나타낸다.

따라서 진동 소자가 제조되었을 때 진동 소자의 f_r 를 측정하고 또 진동 소자의 치수를 고려하여 진동소자에 알맞도록 a 를 선택한다. 물론 위에 열거된 기본식은 접착형 Langevin 진동자의 기본적인 설계식이기 때문에 bolt 체결형에 있어서는 bolt의 위치 설정, bolt의 크기, 전극의 크기 등 여러 가지의 요인들이 작용한다.

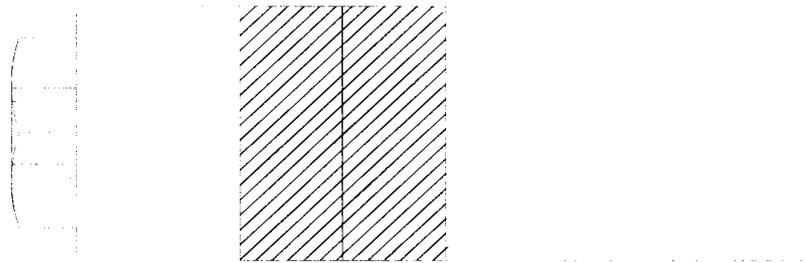


Fig. 87. Sketch of designed Langevin type vibrator.

기계화 된 진동자의 주파수 특성으로 공진 주파수와 정전 용량을 공진 주파수 측정 회로와 LCR meter를 이용하여 측정하고

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{-----} \quad (5)$$

식 5를 이용하여 Reactance를 계산하여 발진 장치의 Impedance를 진동자에 맞추도록 하였다. 실험에 사용한 초음파 진동자는 전기음향 변환효율이 높고 진동속도가 빠르면서 발열이 적고 가격도 저렴하며, 성능과 내구성이 우수한 볼트체결 랑게빈 진동자이며, 그림 87은 그의 약도이고 그 주요특성은 표 12와 같다.

Table 12. Specification of bolted Langevin transducer

Model Name	Working voltage(V)	Frequency extent(kHz)	Out Put Max (W)	Type	Capacitance (pf)	Electricity input (W)
2328PC	AC 220	25~31	600	BLT	3150	200

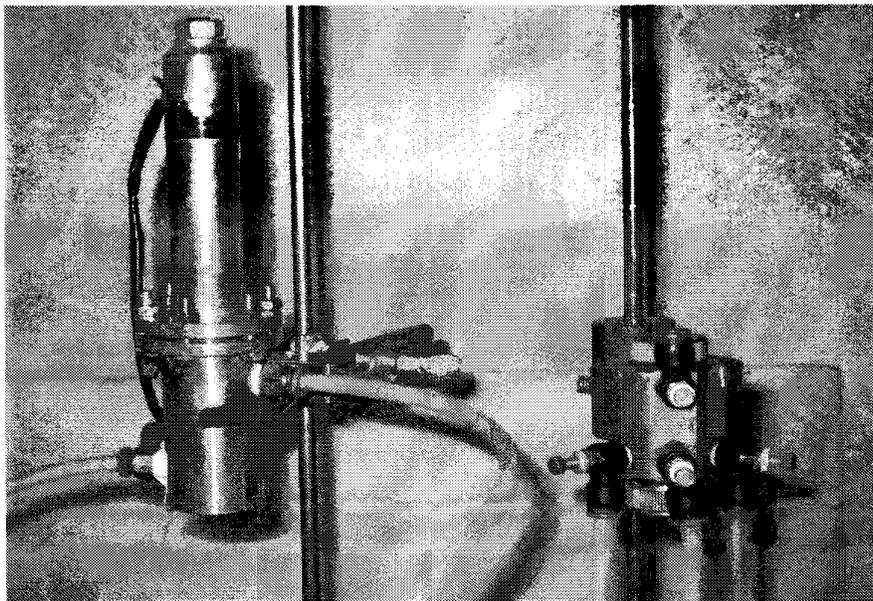


Fig. 88. Photograph of nozzle matched with vibrator.

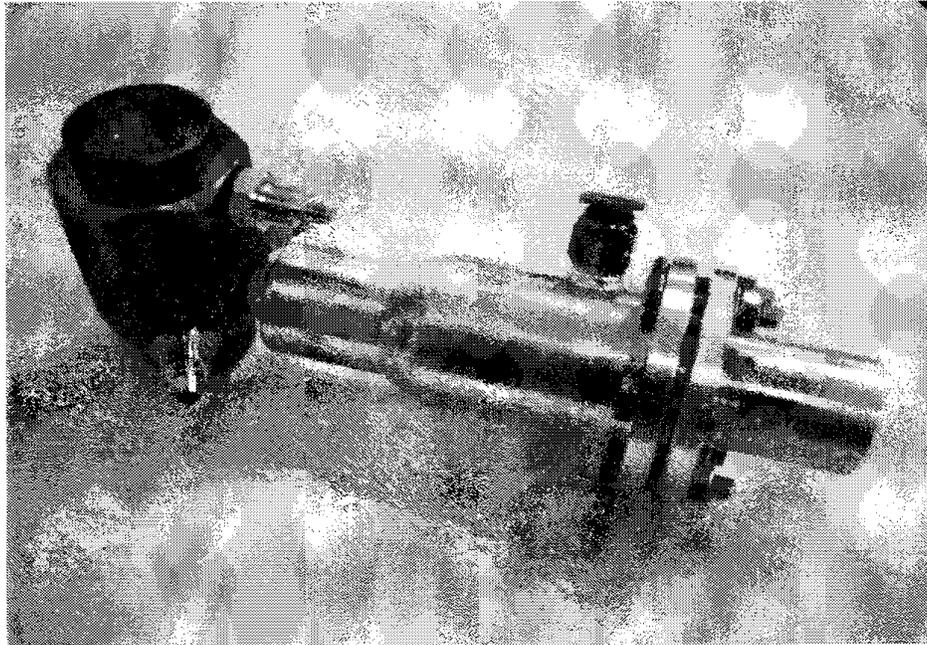


Fig. 89. Photograph of horn and nozzle.

그림 88에는 진동자를 관로상에 부착하여 초음파 에너지를 부가 할 때의 사진을 나타내었다.

그림 89에는 노즐에 혼을 직접 연결한 모습을 나타내었다.

제 4 절 초음파 발진장치 및 노즐

1. 발진장치

가. 초음파 발진기 설계시 고려사항

초음파 발진장치는 진동자(Transducer)에 전기적 신호를 가하여 요구되는 출력의 초음파를 얻는 장치로서 설계시 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

- 부하변동에의 대응
- 출력정합회로

나. 초음파 발진기의 설계

초음파 발진기는 그림 90에서와 같이 28 kHz의 주파수를 발진해 주는 발진부(Oscillation part), 발진된 주파수로 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증압시켜주는 증폭부(Amplifier), 증폭된 구형파를 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 진동자에 가해주는 정합부(Matching part)로 구성된다.

1) 발진부(Oscillation part)

발진부(Oscillation part)에서는 28 kHz를 발진함과 동시에 무부하일 때 부하의 변동에 관계없이 초음파의 진동 진폭이 항상 일정한 값을 유지하도록 정합부(Matching part)로부터 진폭에 비례하는 전압의 궤환을 받아 증폭부(Amplifier)로 가해 주는 기능을 가지고 있다.

발진 주파수는 진동자의 공진 주파수와 같도록, 궤환(Feed back)되는 주파수에 따라 결정되도록 하여 진동자가 바뀌어 공진 주파수가 달라지더라도 자동적으로 공진 주파수에 맞춰지도록 되어 있고, 출력전압은 궤환 전압에 반비례하도록 설계하여 초음파 진동자에 가해지는 부하의 변동에도 일정한 진폭을 얻을 수 있도록 설계되어 있다.

그림 91에서 보는 바와 같이 정합부로부터 궤환되어온 신호는 공진회로와 정류부에 가해진다. 공진회로는 궤환신호에 의해 트리거(Trigger)되어 진동자의 공진 주파수를 발진하는 부분이며, VR1의 가변저항에 의해 변화시킬 수 있다.

진동자는 기계적 Q가 매우 높으므로 공진주파수 부근에서는 주파수의 미소한 변화에도 임피던스가 크게 변화되어 진동자의 출력에 영향을 주므로 궤환회로에서 발진부의 공진주파수를 28 kHz 부근에서 미세하게 변화시킬 수 있도록 하여, 진동자를 바꾸어도 바뀐 진동자의 공진 주파수에 알맞게 조정되도록 설계하였다.

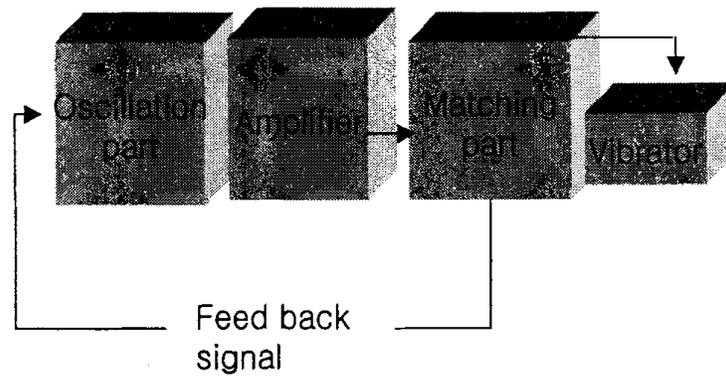


Fig. 90. Block diagram of oscillator.

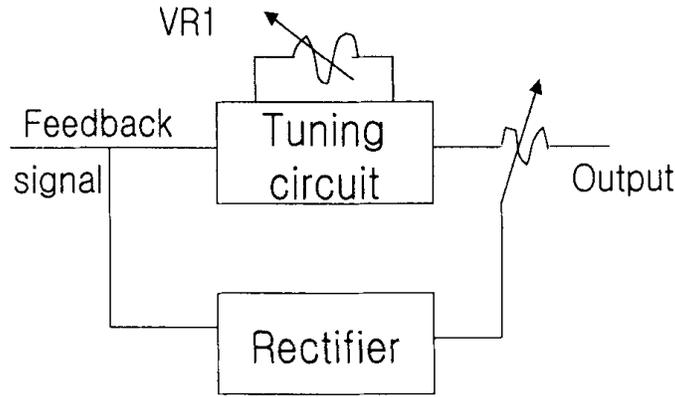


Fig. 91. Oscillation part.

2) 증폭부(Amplifier part)

그림 92에서 보는 바와 같이 증폭부는 발진부에서 발진된 28 kHz의 주파수 신호를 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭시켜 주는 부분이다.

발진부의 출력으로부터 입력된 신호는 크기를 변환시키는 저항기(VR2)를 거쳐 전압 증폭부에 가해진다. 전압증폭부는 0.5 V 정도의 전압을 11 V 정도로 증폭하여 트랜스(T1)에 가해져 전력 증폭단의 임피던스와 정합을 위하여 3.5 V로 낮추어져 전력증폭단 트랜지스터(Transistor)의 베이스(Base)에 가해진다. 트랜스(T1)는 임피던스 정합뿐만 아니라 전력증폭부에는 160 V의 전원이 가해지므로 낮은 전원전압을 가진 전압 증폭부와 함께 절연의 역할도 한다. 전력증폭부는 충분한 출력 값으로 증폭할 수 있도록 2S641 트랜지스터를 2개씩 병렬로 연결한 트랜지스터를 Push & Full로 작동시켰으며 진동자를 구동시키기 위해 높은 전압이 필요하므로 트랜스(T2)에서 전압을 6배 증가시켜 정합부에 입력시켰다.

3) 정합부(Matching part)

진동자 및 LC회로로 이루어진 정합부는, 진동자의 공진주파수와 일치하는 직렬 공진회로를 구성하여 진동자에 필요한 높은 전압을 발생시킴으로써 진동자를 가장 높은 효율로 작동하게 하는 부분이다. 또한, 궤환신호를 발진부에 가하여 연속적인 발진과 함께 부하의 변동에 따라 발진부의 출력을 변동시켜 부하가 걸리지 않았을 때, 기계적 손실에 의해 발생하는 과진동에 의한 진동자의 파손을 방지한다. 그림 93에서 보

는 바와 같이 정합부는 L1, C1, C2, C3 및 진동자로 구성되는 직렬 공진회로이다. 직렬 공진시, C와 L에는 입력전압과 회로의 Q에 의해 결정되는 입력전압보다 높은 전압이 인가되므로 고전압을 필요로 하는 진동자 자체의 내부 용량을 공진회로의 일부로 구성하여 전력의 손실을 최소화하며 진동자에 전력을 전달한다.

또한, 주파수는 진동자의 공진 주파수에, 전압의 크기는 진동자의 진폭에 비례하는 캐환신호를 얻기 위해 C1, C2의 값은 일정하므로 V_{c1} 과 V_{c2} 는 일정한 비율을 유지하나 진동자는 부하의 변동에 따라 임피던스가 변화하므로 진동자에 걸려 있는 V_b 와 V_{c2} 의 전압이 변화되며 변화된 전압이 캐환전압으로서 발진부에 가해진다.

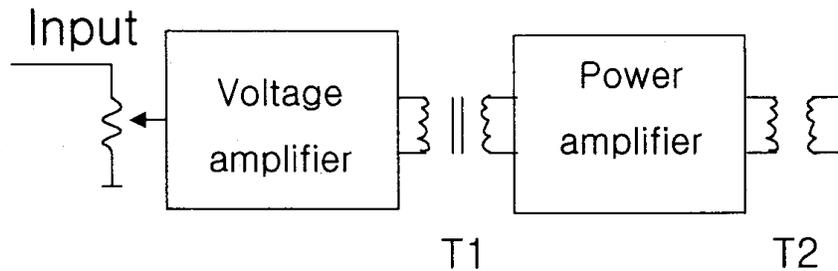


Fig. 92. Amplifier part.

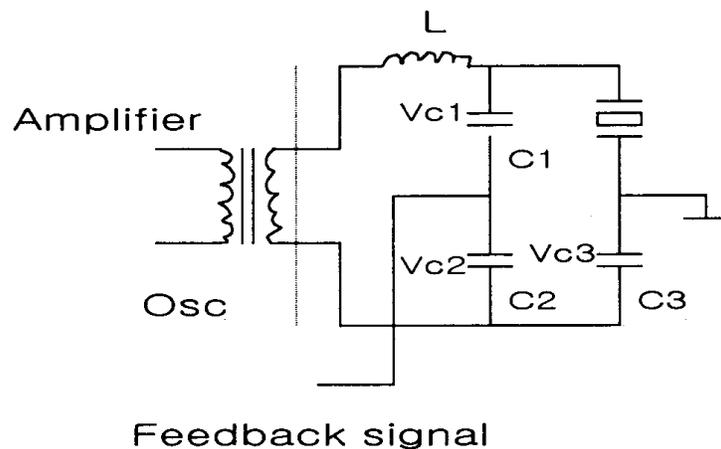
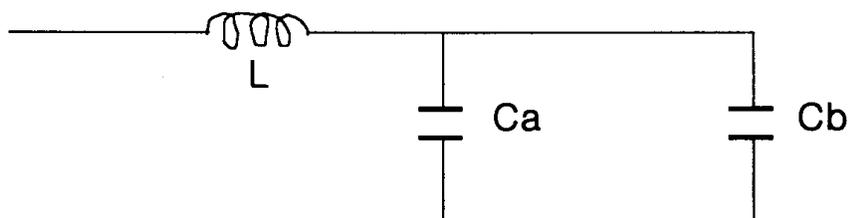


Fig. 93. Matching part.

그림 93에서의 공진회로는 그림 94에서와 같은 등가회로로 나타낼 수 있다. 전체 정전용량은 $C_a + C_b$ 이다.



$$C_a = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \qquad C_b = \frac{C_b C_3}{C_b + C_3}$$

Fig. 94. Equivalent circuit of matching part.

그림 95에서는 발진장치의 계통도를 나타냈으며, 그림 96에서는 장치의 사진을 나타내었다.

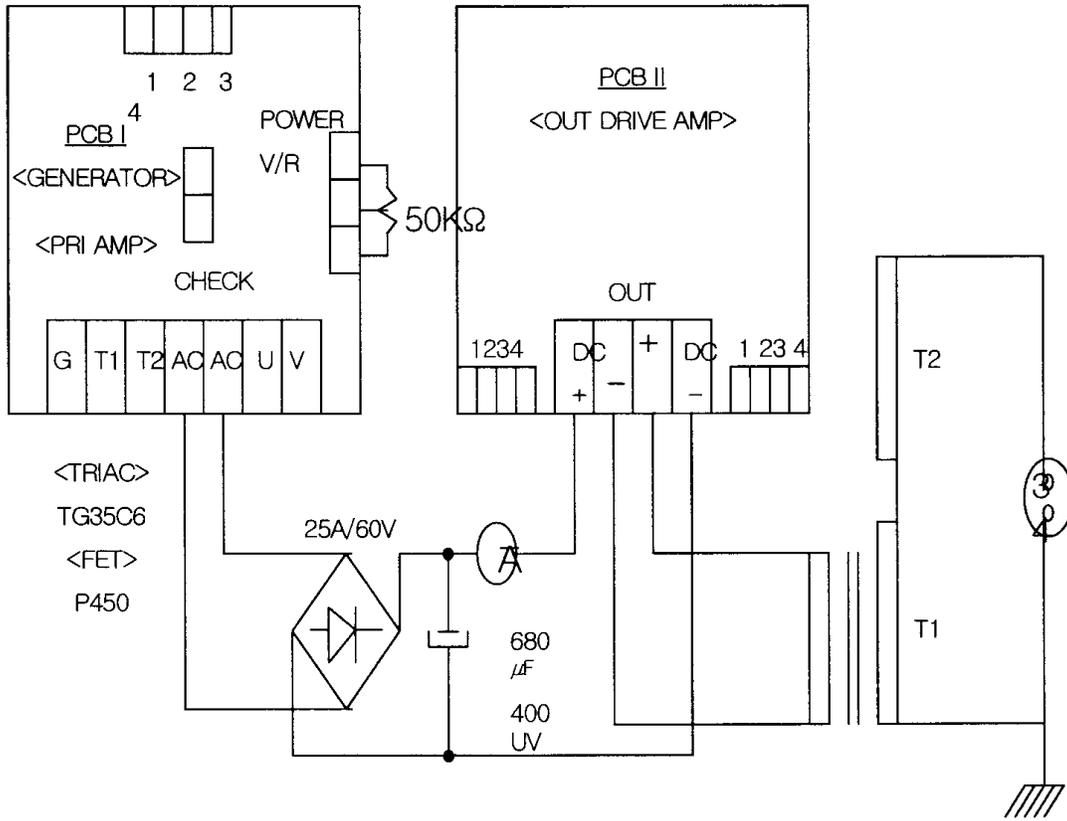


Fig. 95. Schematic diagram of ultrasonic generator.

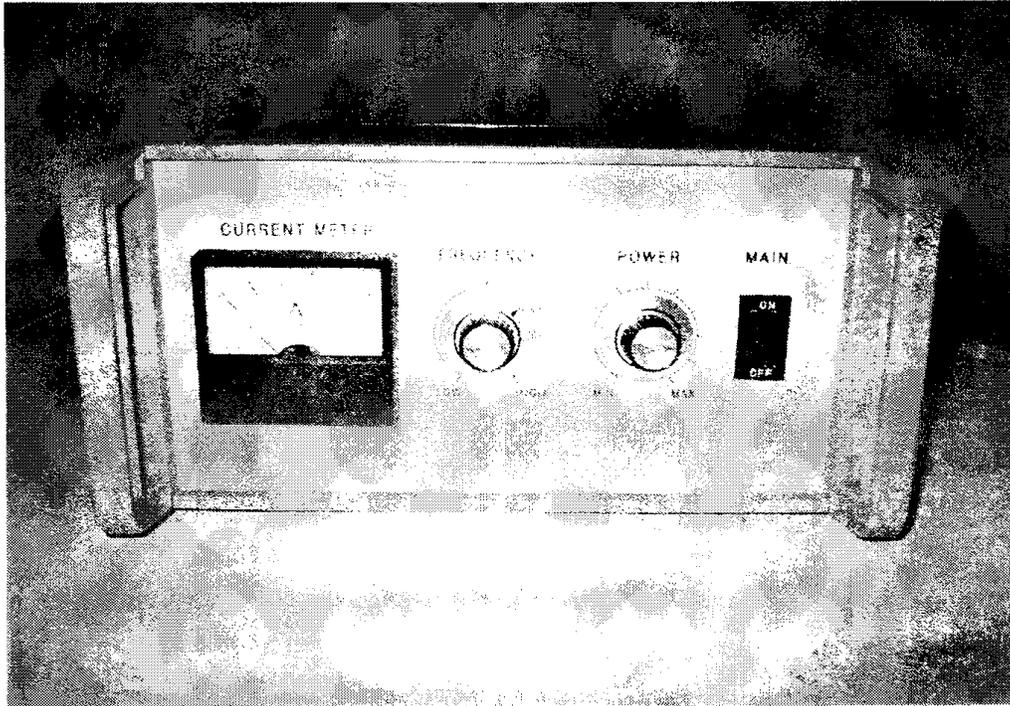


Fig. 96. Photograph of Ultrasonic Generator.

2. 노즐

가. 2-유체 분무 노즐

2-유체 분무 장치는 분사에 필요한 에너지가 많이 소모된다는 측면에서 비효율적이기는 하나 단순한 압력형 분무장치에 비하여 미세한 분무액적을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 특히 이 노즐이 분무연소에 응용되는 경우에는 액체연료와 공기가 쉽게 혼합되므로 매우 유용하며 농업용 농약 살포에는 2-유체 분무 방식이 주로 사용된다.

2-유체 분무는 액체와 기체와의 혼합위치에 따라 노즐내부혼합형과 노즐외부혼합형으로 나눈다. 내부혼합형은 분사압력이 일정할 경우 혼합지점 하류의 2상 유동양식과 이에 따른 압력 강하량의 변화에 따라서 기체와 액체의 공급유량이 변한다. 외부혼합형은 기체와 액체의 공급유량이 각기 분사압력에 따라 서로 독립적으로 결정되므로

분무상태의 조절이 용이하다.

나. 실험용 2-유체 노즐

농약 분무에는 액적이 고르고 미세하게 미립화되면서 멀리까지 분사됨이 요구된다. 이를 위해 2-유체 분무방식이 이용되며 공기보조 미립화 방법과 공기충돌미립화 방법의 장점을 따서 농약분무 노즐로서 적합하도록 설계되어야 한다.

본 실험에 사용한 노즐은 분무출구를 분사축 방향으로 전진 또는 후퇴시킬 수 있게 제작되어 있다. 따라서 상기의 2가지 분무방식인 외부혼합형과 내부혼합형을 겸용할 수 있다. 이는 분무출구를 노즐 출구면을 중심으로 후퇴 또는 전진하므로 분무상태와 분무액적의 크기를 조절할 수 있다.

그림 97에는 상기 노즐의 분해도를 나타냈으며, 그림 98에서는 그 노즐의 사진을 나타내었다.

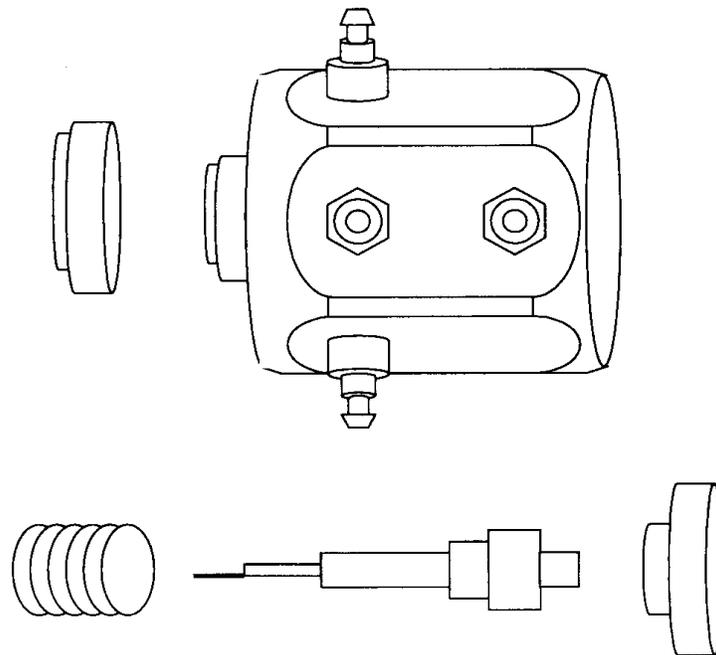


Fig. 97. Detail drawing of nozzle part.

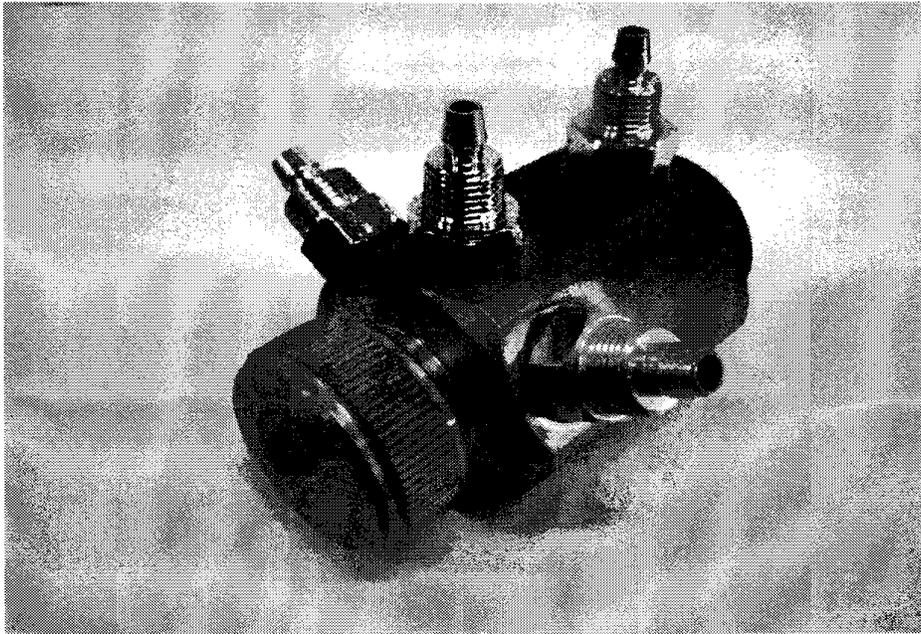


Fig. 98. Photograph of injection nozzle and connection part.

제 5 절 노즐액적분사현상 및 비산방지대책을 위한 전산유체해석(CFD Simulation)

1. 이론적 배경

가. 해석모델

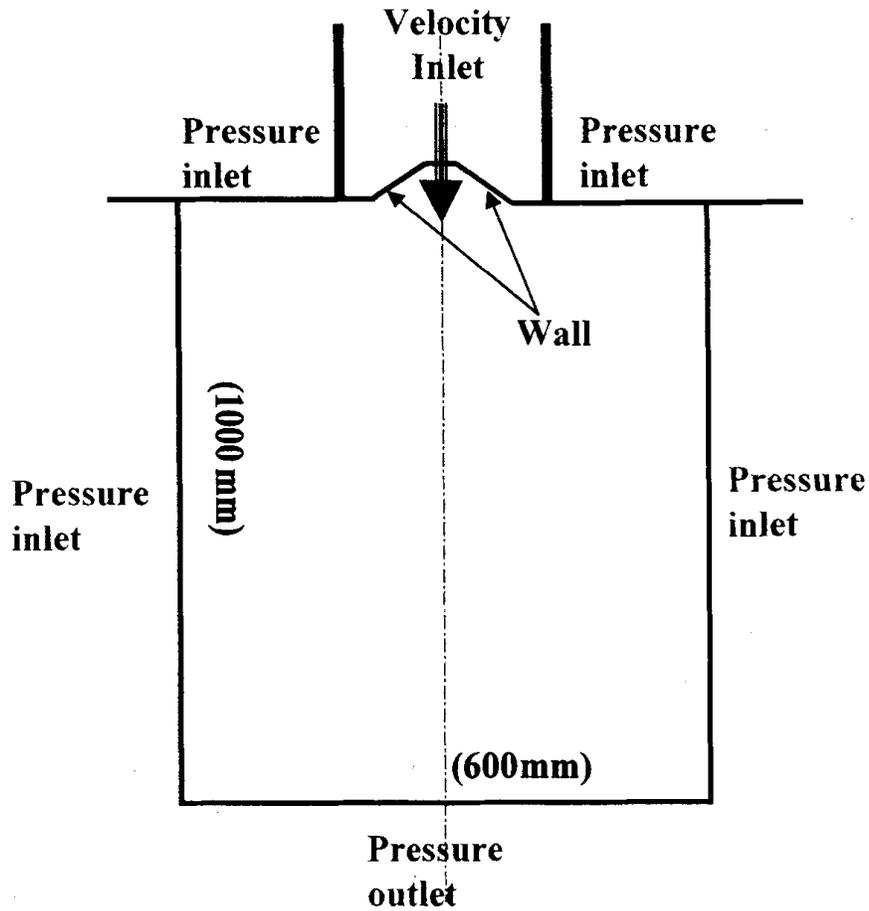


Fig. 99. Schematic diagram of computational domain.

그림 99에는 계산 영역을 나타낸 것으로 중심축을 중심으로 축대칭이며, 실제분무 영역과 유사한 검사체적이다. 이 계산 영역 안에서 노즐팁에서 고압으로 분사된 물이 공기와 함께 대기압이 작용하는 공간으로 확산되는 현상을 초음파를 가했을 때와 가하지 않았을 때로 나누어 계산하였다.

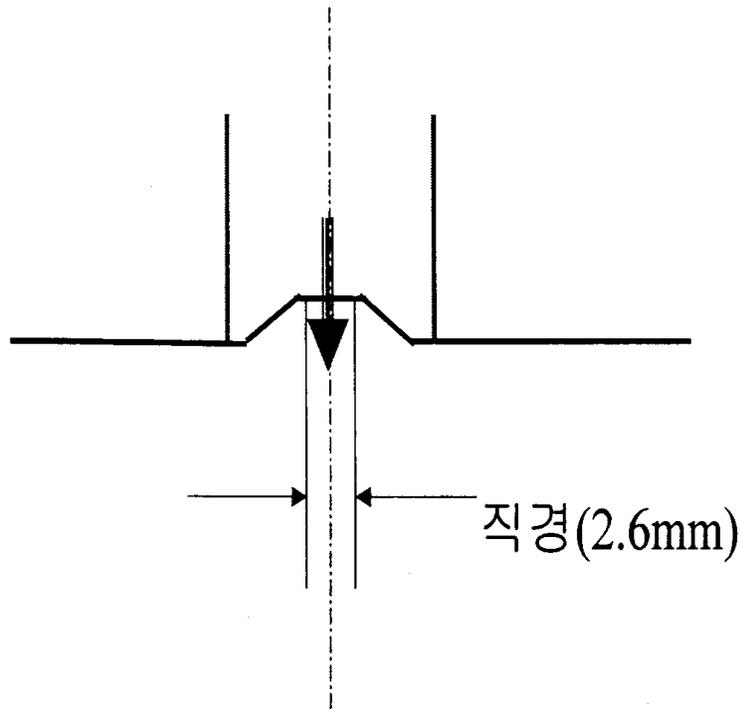


Fig. 100. Tip of injection nozzle.

그림 100에는 윗부분에 설치된 노즐의 팁 주위의 상세도를 나타낸 것으로서 공기와 함께 액적이 직경 2.6 mm의 노즐 출구를 통해 아래 방향으로 분사되어 분무가 형성되는 것을 나타낸 것이다.

나. 경계조건

노즐의 형상은 원형이며, 액적은 위에서 아래 방향으로 분사하여 분무되어진다.

사용 좌표계로는 실린더 좌표계를 사용하였으며, 좌표축의 원점은 노즐의 끝부분 가운데 위치한다.

축방향을 z축으로 하였으며, 반경방향을 r 축으로 하였다. 전체 해석(계산) 영역은 노즐 유동의 특성을 고려하여, r 방향 길이 300 mm, z 방향 길이 1000 mm로 하였다.

기타 유동 및 분무 관련 조건들은 다음과 같다.

-노즐직경 : 2.6 mm

-분무 유량 ; Water유량 : 0.16 liter/min

Air유량 : 70 liter/min 로 고정하였다.

-분무 액적의 평균 입경 :

초음파비가진시 : 55 micron

초음파가진시 : 50 micron 이며, 이 수치는 PDPA에 의해 측정된 값이다.

-유속 (Inlet Velocity)

Air : 219.9 m/sec

Water : Entrained by the Air

-물성치(Density) :

Air : 1.225 kg/m³

Water : 998.2 kg/m³

다. 지배 방정식

노즐의 형상이 원형이므로, 좌표는 축대칭이며 비압축성의 분무액적의 유동해석을 위한 지배방정식으로 연속방정식과 운동량 방정식을 사용하였다.

-연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_m$$

여기서, $i = 1(r), 2(\theta), 3(\zeta)$

-운동량 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

-k-ε 난류모델

난류 모델은 난류점성계수를 구하는 가장 일반적인 방법인 난류 운동에너지(k)와 소산율(ε)의 관계로부터 k-ε 모델을 도입하였다.

이것은 난류에너지 k로부터 특성속도를, 점성 소산율의 크기 ε를 이용하여 간접적으로 특성 길이를 구하는 모델이다.

난류점성계수는 $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$ 로 주어지며 여기서 C_μ 는 실험결과로부터 산출되는 값이다.

k-ε 난류모델은 대류항, 난류확산항, 생성항, 분자확산항과 소산항으로 구성되어 있다.

여기서 난류확산항은 k의 구배확산(gradient diffusion)으로 표현되며, 생성항은 레이놀즈 응력을 평균속도의 변형률로 표현한다. 분자 확산항은 난류확산항 등 다른 항에 비해 작으므로 무시 가능하다. 소산항은 ε의 수송방정식으로 구해질 수 있다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

k-ε 모델로 이용되는 k의 수송방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon$$

소산항은 엄밀하게 대류항, 주류에 의한 생성항, 와섬유의 신장에 의한 생성항, 확산항, 점 소산항과 분자확산항 등 여러 가지 성분에 의해 만들어진다.

k-ε 모델에 이용되는 ε의 수송방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{m_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + (1 - C_{3\epsilon}) G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

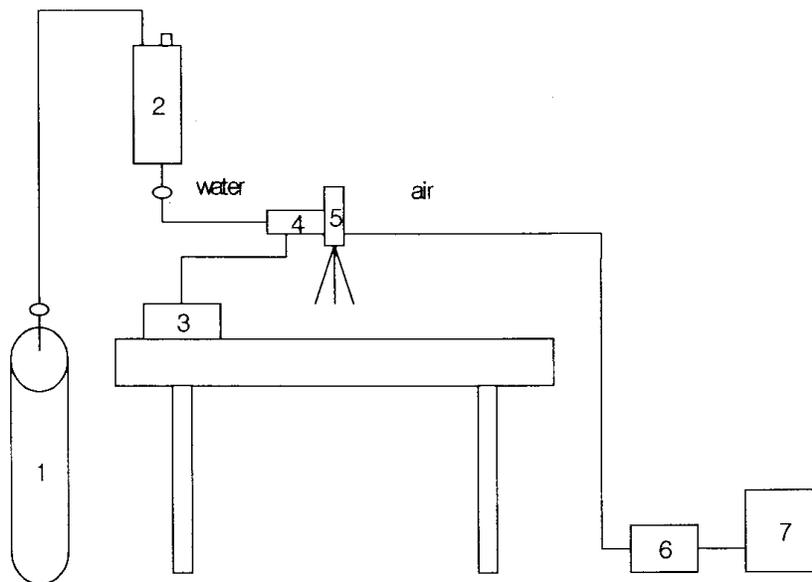
라. 수치해석 방법

수치해석 프로그램으로는 상용 열·유체 해석 프로그램인 Fluent V5.5을 사용하였고, 비압축성 유체로 가정하고, 난류모델은 가장 일반적인 k-e model을 적용하였다. 유동의 변화가 심할 것으로 예상되는 부분은 좀 더 세밀한 격자를 생성하였으며, 액적 분무해석에는 多狀유동을 해석할 수 있는 Discrete Phase Model을 사용하였다.

2. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

그림 101는 분무 실험장치의 개략도이다. 노즐은 이유체 노즐을 사용했으며, 초음파 공급장치는 초음파 발진장치와 초음파 에너지를 부가하는 장치로 구성되어 있다. 초음파 에너지는 관로상에 부가하는 방법과 노즐과 진동자를 직각으로 부착시켜 노즐 자체에 에너지를 부가하는 두 가지 방법을 사용하였다. 실험에 사용된 액체는 수돗물을 사용하였고, 그림 102에는 예비실험시의 장치를 나타내었고, 그림 103에는 오사카 대학에서의 분무 유동 측정시의 장치를 나타내었다.



- | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|
| 1. N ₂ gas | 2. Water tank | 3. Ultrasonic |
| 4. Ultrasonic(PZT BLT) | 5. Spray nozzle | |
| 6. Regulator | 7. Compressor | |

Fig. 101. Schematic diagram of the experimental apparatus

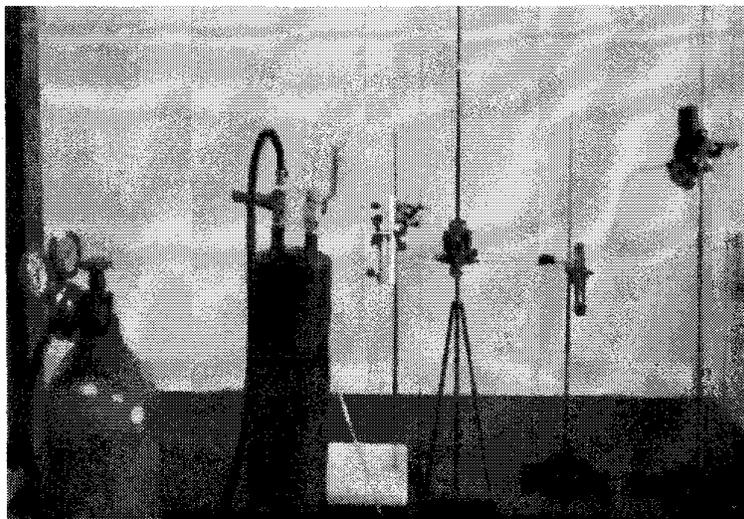


Fig. 102. Photograph of experimental apparatus.

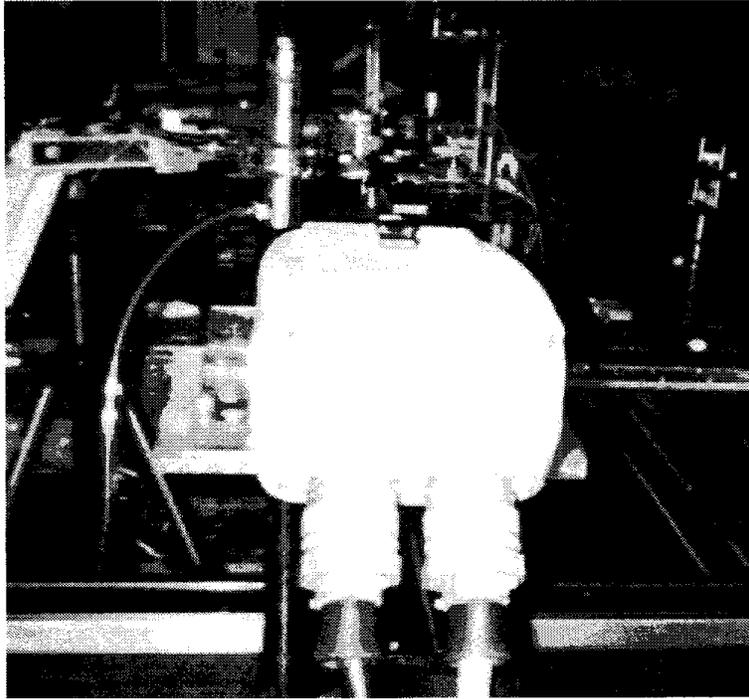


Fig. 103. Photograph of measurement apparatus.

제 6 절 실험 장치 및 방법

1. 고속도 사진촬영

그림 104에는 본 연구에 사용된 부상 유적군 촬영용 광학계측장치의 개략도를 나타내었다. 레이저시트의 광원으로는 파장 514.5 nm의 아르곤 이온 레이저(Spectra physics社, satbilite 2017)를 사용하였다. 레이저광은 평볼록렌즈($f=500$ mm)를 거쳐, 원통형렌즈($f=58$ mm)에 의해서 진동자와 반사판의 중심축을 포함한 두께 약 1 mm의 시트를 형성하였다. 이 레이저광을 이용하여 분무의 모양과 거동을 보다 선명하게 가시화하였다.

레이저 시트에 의해 조사(照射)된 미산란광은 아르곤 이온 공간섭 필터(중심파장 514.5 nm)를 통해 레이저 시트와 수직방향으로 배치된 고속도 CCD 카메라(KODAK社, Ektapro HS Motion Analyzer Model 4540)에 의해 촬영되었다. 촬영용 렌즈(Nikon社, Nikkor 초점거리 50 mm, $f : 1.2$)의 조리개는 완전히 개방하였다. 촬영 프레임은 4500매/초이고, 촬영매수는 1024매(촬영시간 약 0.23초)로 실험을 실시하였다. 또 얻어진 화상은 256×256 pixel로, 퍼스널 컴퓨터(NEC社, PC-9801ES)에 삽입하여 8bit(256계조)의 농담(濃淡)으로 디지털화되어 기록된다.

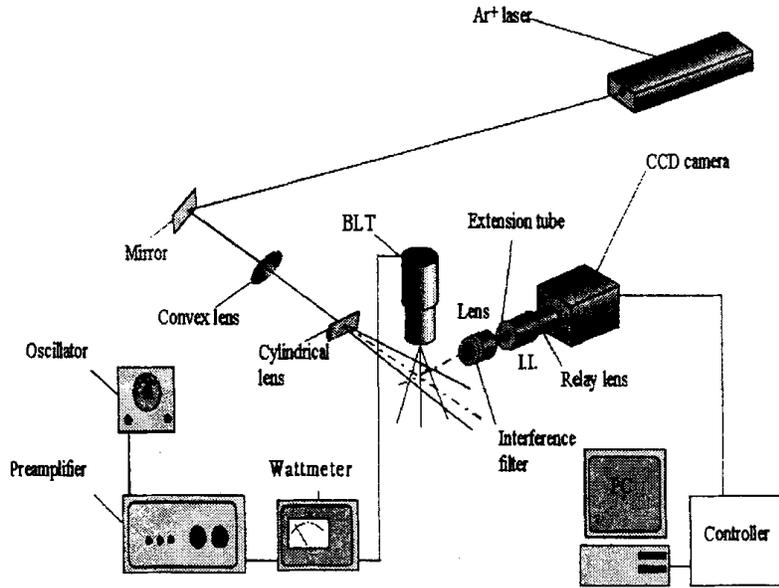


Fig. 104. Schematic diagram of experimental apparatus for droplet clusters measurement.

2. PDPA

액적의 직경과 축방향 속도의 동시측정에는, 레이저도플러 유속계를 이용하여 측정한다.

PDPA광학계를 그림 105에서 나타내었다.

광원은 Ar⁺(Spectra Physics, Stable 2016, 발진파장 $\lambda = 514.5 \text{ nm}$)를 이용한다.

Optical fiber를 통해 송광계에 유도된 레이저광은, 송광계의 beam separator에 의해 2개의 빔으로 나누어져, 빔 간격 32 mm의 평행광으로 만들어지며, 렌즈경 75 mm의 렌즈에 의해 전방 310 mm의 위치에 교차하여, 분무류 중에 측정체적을 형성한다.

이때, 한쪽의 빔에는 측정되는 속도의 방향을 알 수 있도록, AOM(음향광학소자)에 의해 주파수 쉬프트(40 MHz)된다.

수광계에는 DANTEC사의 57×10형 (수광렌즈경 75 mm, 초점거리 310 mm)을 이용하였으며, 신호처리에는 동사제품인 58N10 형의 신호처리기를 이용한다.

사용한 신호처리기는 DANTEC사 58N10 형, 주파수쉬프트 양이 40 MHz로서, 주파수대는 이하의 6종류의 설정이 가능하다.

- 39.98 ~ 40.1 MHz(band width 0.12MHz) -0.1 ~ 0.4 m/s
- 39.9 ~ 40.3 MHz(band width 0.12MHz) -0.5 ~ 1.5 m/s
- 39.7 ~ 40.9 MHz(band width 0.12MHz) -1.5 ~ 4.5 m/s
- 39.0 ~ 43.0 MHz(band width 0.12MHz) -5.0 ~ 15.0 m/s
- 37.0 ~ 49.0 MHz(band width 0.12MHz) -15.0 ~ 44.9 m/s
- 34.0 ~ 70.0 MHz(band width 0.12MHz) -29.9 ~ 149.7 m/s

수광방향은 광축전방으로부터 73.7° 의 방향으로 정한다.

이것은 실험에 사용하는 액적에 대해서, 액적에 의한 1차 굴절광이 지배적이어서, 반사광의 영향을 받지 않고, 또한 온도에 대해서도 변화하는 액적의 굴절률이, 도플러 신호의 위상차와 입경을 관련시키는 교정곡선에 미치는 영향을 거의 무시할 수 있는 각도에 상당한다.

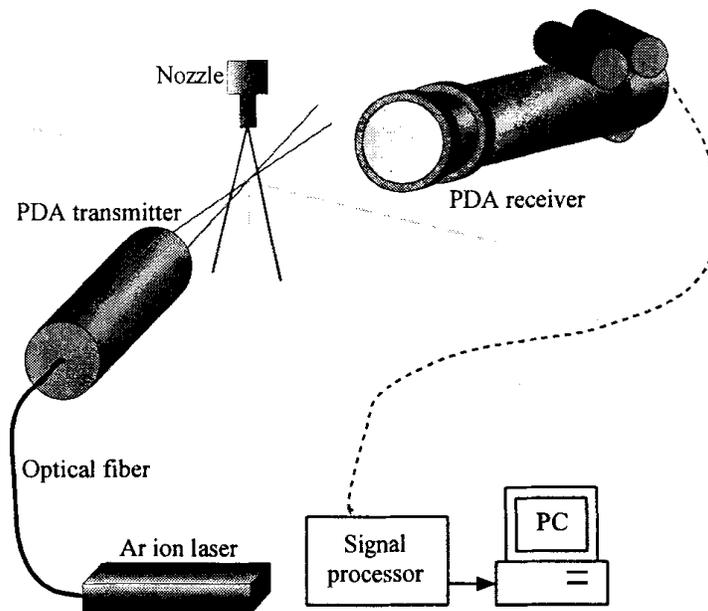


Fig. 105. Schematic diagram of PDPA.

제 7 절 결과 및 고찰

1. 기초실험

노즐의 특성을 파악하기 위해 분사되는 물의 압력과 공기의 압력을 변화시키며 분무 정도를 파악하였다. 노즐팁의 변화에 따라 분무 액적에 많은 영향을 주었으며, 공기압력 변화도 중요한 인자로 작용한다.

그림 106에는 질소 가스로 물탱크에 압력을 일정하게 주고, 공기의 압력과 질소가스의 압력을 변화시키면서 측정한 유량 값이다.

공기압력이 증가할수록 유량이 감소하였고, 유량이 감소하면 액적의 미립화율은 증가하였다.

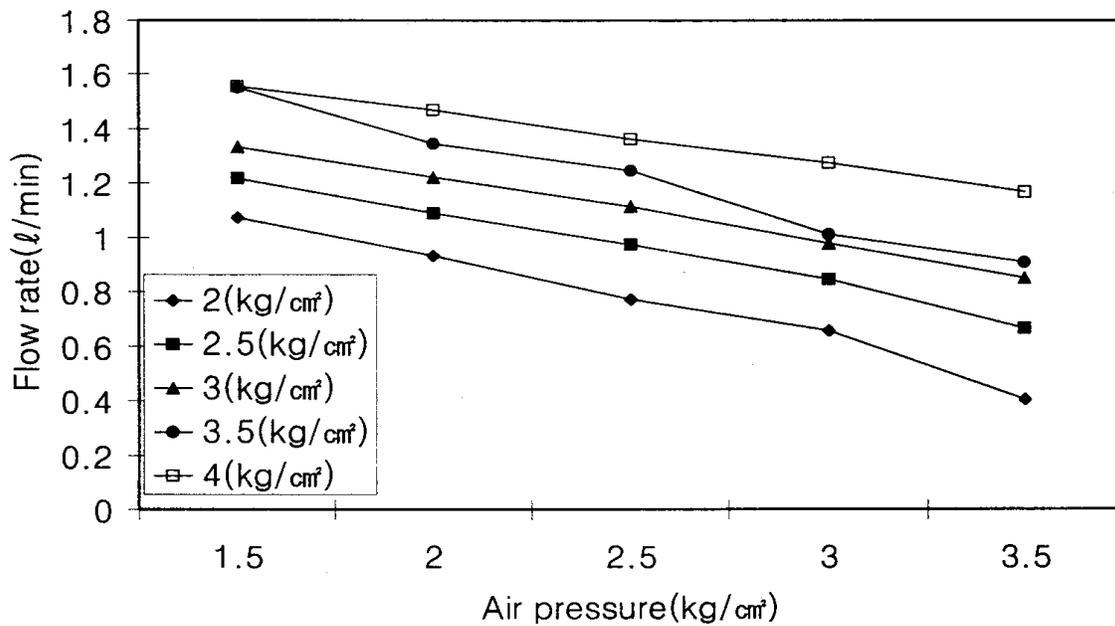


Fig. 106. Change of flow rate for variations of pressure of air.

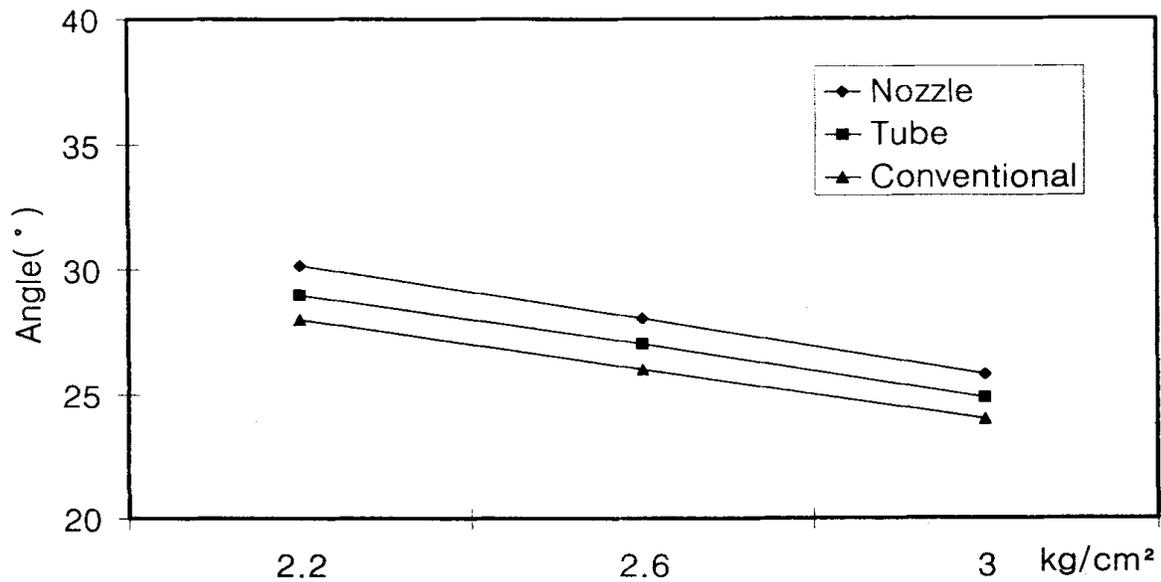


Fig. 107. Comparison of spray angles.

그림 107에는 분사 압력을 변화시켰을 때 분사각도와 분무주의 크기의 변화를 실험한 것이다. 동일한 압력조건에서도 공기분사 압력이 증가할수록 분무각도는 줄어들고 분무주의 크기는 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이 현상은 분무의 운동량의 원리와 일치하며 실험에서 동일한 결과를 얻었으며, 최적조건은 2.6 kg/cm²이었다. 관로형보다 노즐에 직접 초음파에너지를 가한 조건이 8~10% 분무각의 확산 효율이 증가되었다. 최적 노즐 조건은 노즐에 직접 초음파를 가한 것이다.

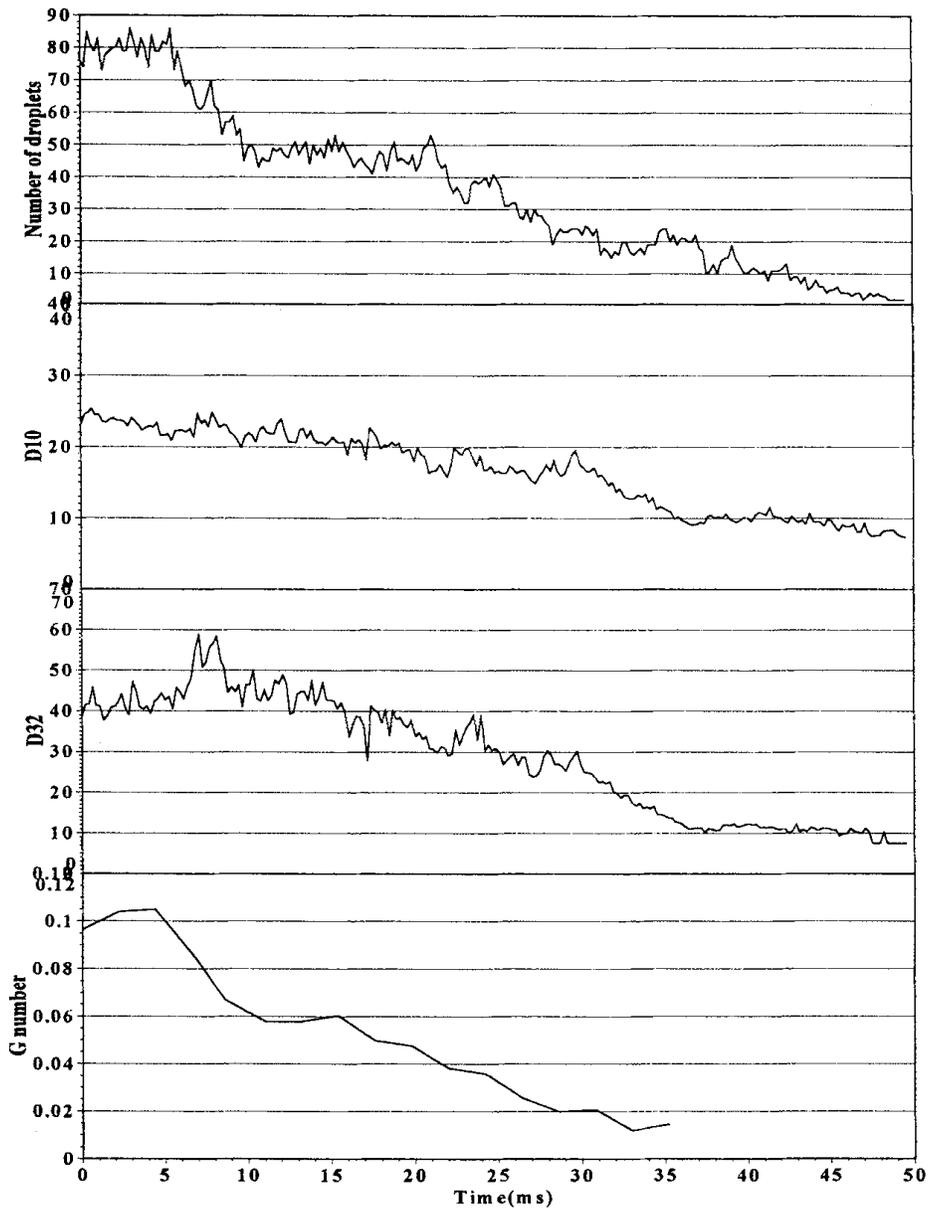


Fig. 108. Group spray data of ultrasonic.

그림 108에서 살펴보면 유적의 밀집도의 차이가 나타나는데 시간이 지날수록 분무의 농도가 희박하여 총 유적수가 일정한 값을 유지하다가 축방향으로 지날수록 단조 감소하는 형태가 나타난다. 이러한 현상은 중심에서 측정분무 유적의 농도가 높아지고, 분무주 주위에서 그룹군(Group droplets)현상이 발생함을 의미한다. 이와 같은 형태로 보아 분무각의 축소와 함께 총 유적수도 단조 감소함을 알 수 있고 분무 농도의

밀집도가 낮다는 것을 알 수 있다. 또한 시간이 진행되어 감에 따라 증발현상과 함께 분무의 희박에 의한 현상이라고 판단된다.

가. 레이저 분무사진

그림 109에는 초음파 비가진시의 노즐자체의 분무의 모습을 나타내었다.

관로상에 초음파 에너지를 부가했을 때와 노즐에 직접 혼과 진동자를 부착하여 초음파 에너지를 부가했을 때 노즐에서의 분무각 사진은 그림 110와 111 및 112이다.

초음파에너지 부가하였을 때와 부가하지 않았을 때의 분무각의 변화를 볼 수 있었다. 관로상에 부가한 방법보다 노즐에 직접 부과하였을 때 분무각이 더 늘어남을 관찰할 수 있었다.



Fig. 109. Typical atomization phenomenon.

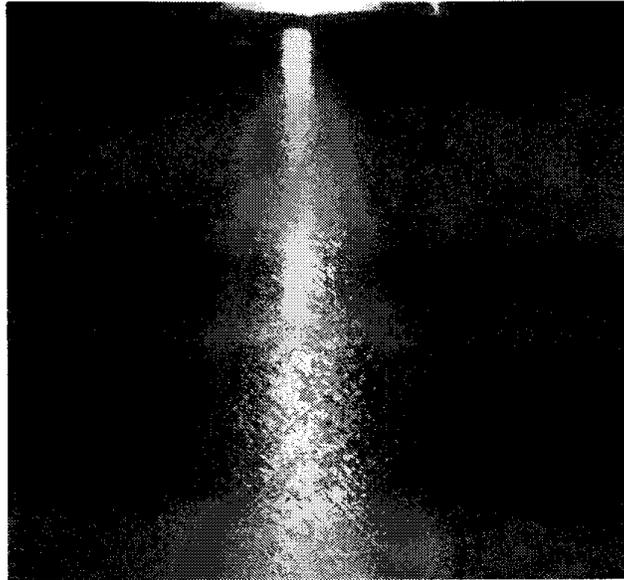


Fig. 110. Atomization phenomenon
without ultrasonic waves.



Fig. 111. Atomization phenomenon with
ultrasonic waves in tube.



Fig. 112. Atomization phenomenon with ultrasonic waves in nozzle.

그림 113에는 레이저 광원을 이용한 디지털카메라로 초음파 비가진시의 분무주 촬영 사진을 나타내었다. 그림 114에는 관로상에 초음파 에너지를 부가할때의 사진이고, 그림 115에는 노즐자체에 초음파에너지를 부가할 때의 사진을 나타내었다. 사진 상에서 흰색부분의 면적이 분무주로서 압력이 증가할수록 분무주가 늘어남을 측정할 수 있다.

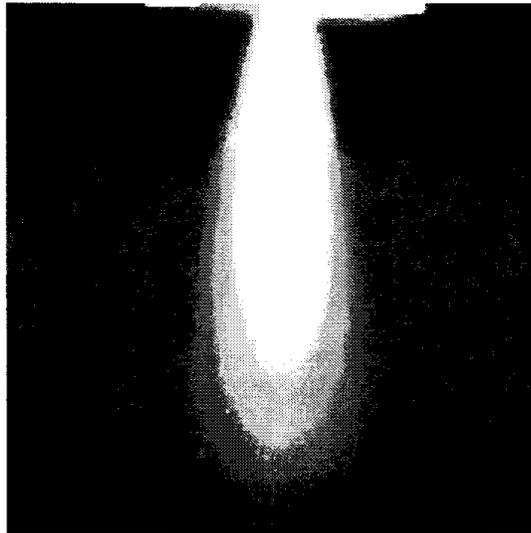


Fig. 113. Atomization column phenomenon without ultrasonic waves.

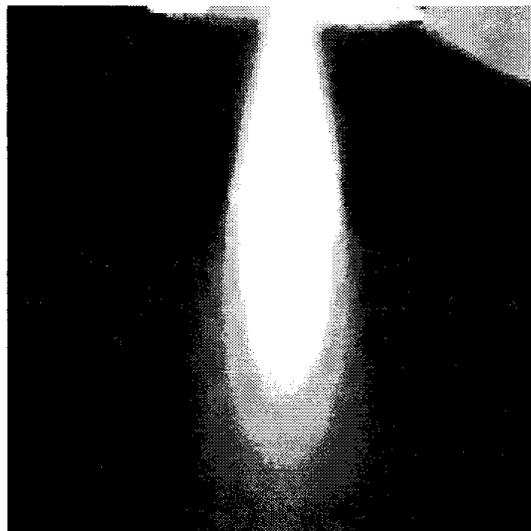


Fig. 114. Photograph of atomization column phenomenon with ultrasonic waves in tube.

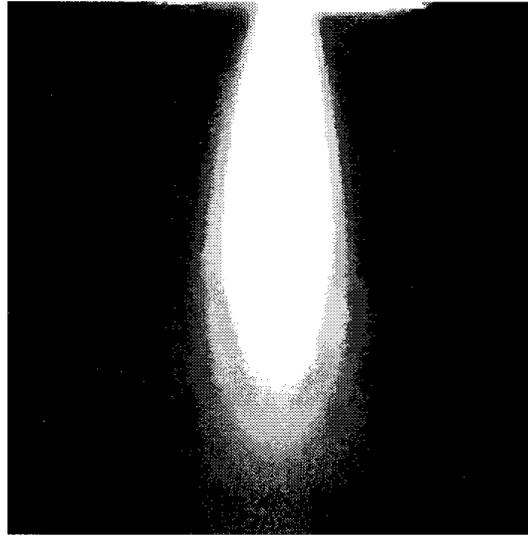


Fig. 115. Photograph of atomization column phenomenon with ultrasonic waves in nozzle.

2. 고속도 카메라

분무 액적의 형태를 고속도 카메라로 촬영하였으며, 초음파 비가진시, 관로상에 초음파 에너지를 가하였을 때, 노즐에 직접 부가하였을 때의 분무의 사진이다. 분무속도가 매우 빠르기 때문에 개개의 입자를 정확하게 관찰할 수는 없었지만 분사되는 액적의 형태를 볼 수 있었다.

초음파 비가진시 직경이 큰 입자가 많이 보이고 있으며, 초음파 에너지를 부가하였을 때 점점 액적이 미세해지고, 균일해지는 형상을 볼 수 있다.

그림 116와 117은 초음파 비가진시의 레이저 이용 고속도 사진이다

그림 118와 119은 관로상에 초음파 에너지를 가하였을 때의 고속도 사진이다.

그림 120은 노즐에 초음파 에너지를 직접 가하였을 때의 고속도 사진이다.

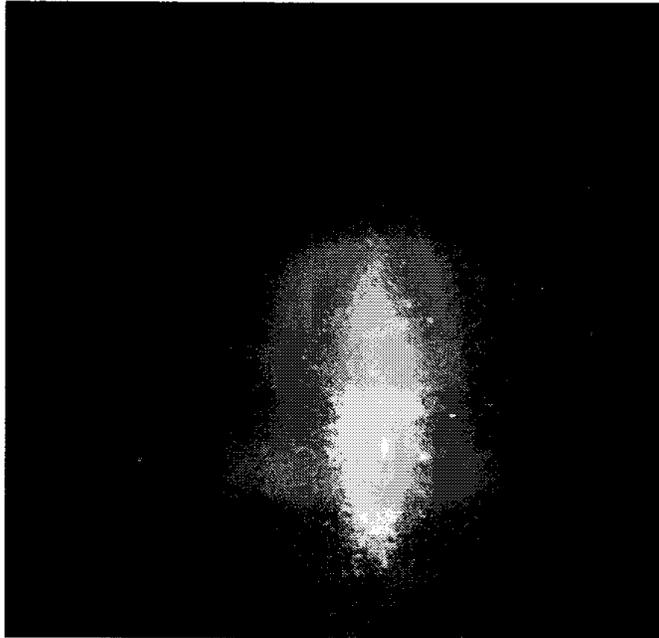


Fig. 116. Shape of droplet clusters without ultrasonic waves.



Fig. 117. Shape of droplet clusters without ultrasonic waves.

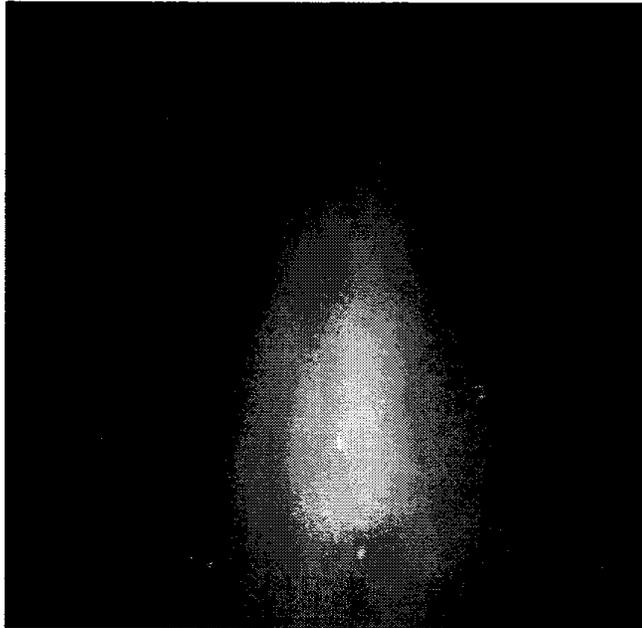


Fig. 118. Shape of droplet clusters with ultrasonic waves in tube.

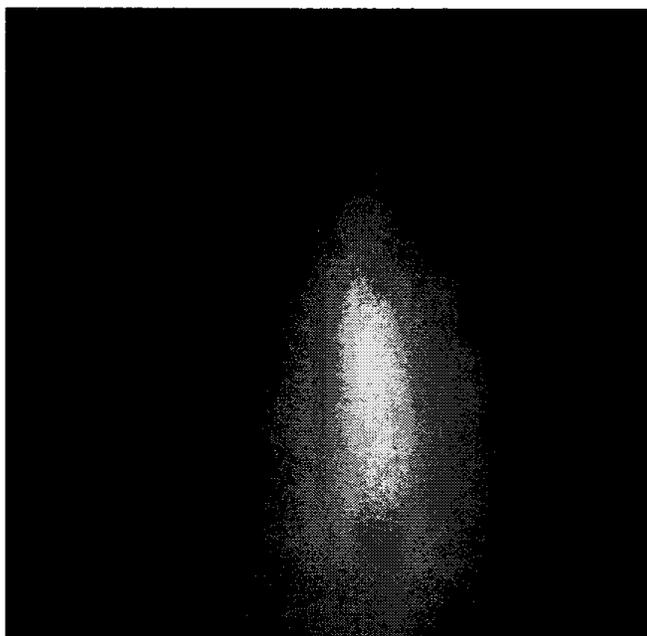


Fig. 119. Shape of droplet clusters with ultrasonic waves in tube.

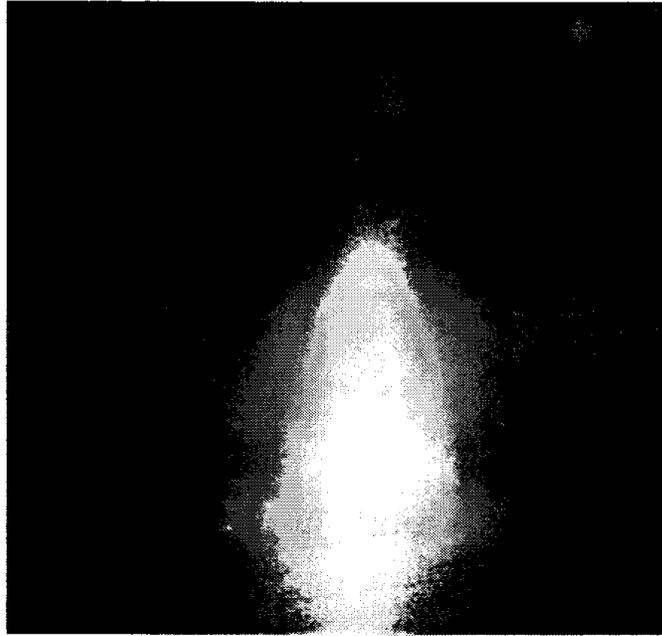


Fig. 120. Shape of droplet clusters with ultrasonic waves in nozzle.

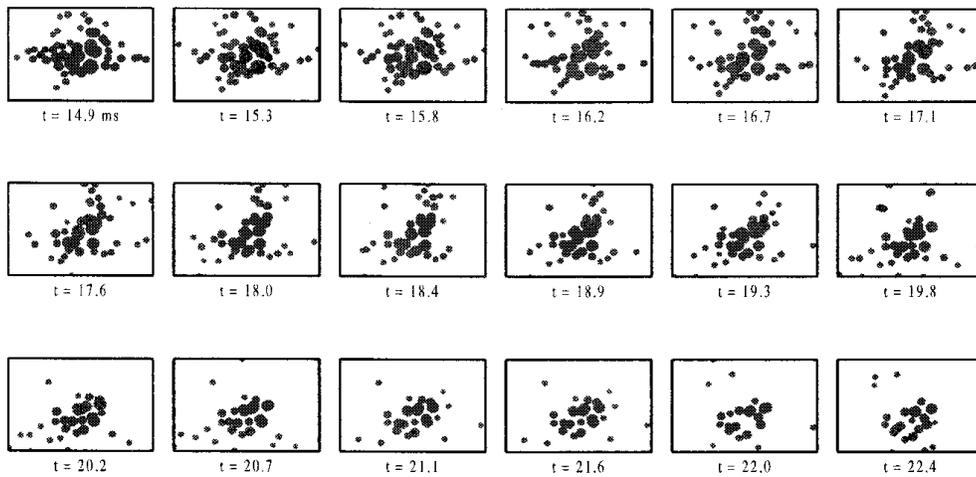


Fig. 121. Spatial distribution of droplet clusters.

그림 121에는 초음파 가진 분무의 형태를 공간 분포를 그래픽하여 시간의 변화에 따른 공간 분포를 나타내었다. 초기 분사된 분무가 초기군(Group) 밀집도에서 보면 분무 농도가 중앙에서 진하게 형성되다가 시간이 지남에 따라 분무주가 희박하게 형

성된다. 이 경향은 그림 120에서의 측정 현상과도 매우 잘 일치하는 경향이며, $t=22.4$ ms 후에는 초기 형성된 분무의 밀집도와 비교하면 62% 감소된 경향이며 분무의 크기도 시간의 변화와 함께 액적이 증발하여 감소하는 경향을 나타내고 있다.

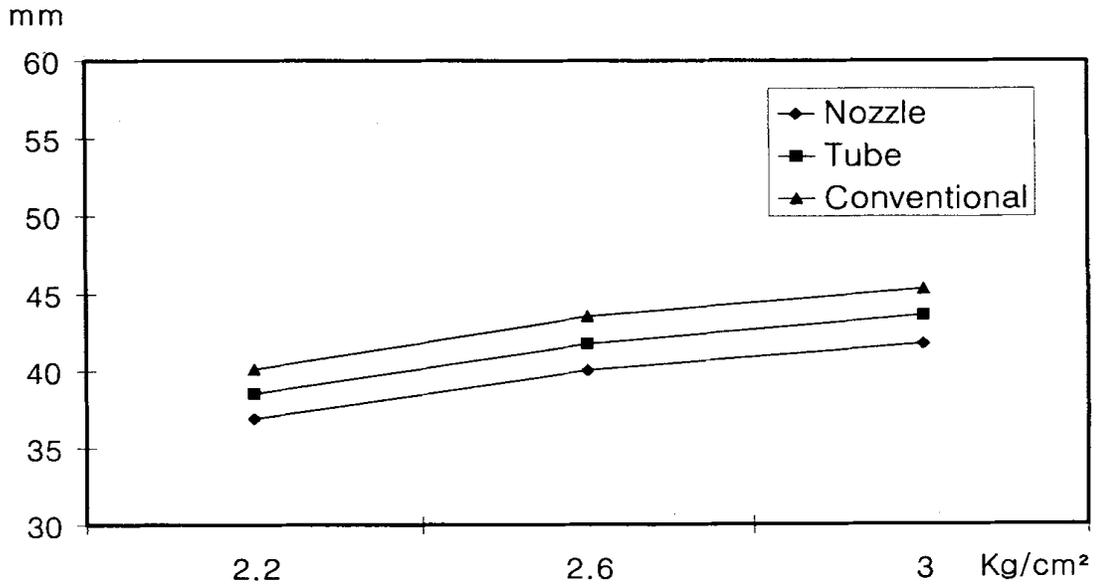


Fig. 122. Comparison of spray columns

그림 122에는 분사압력을 변화시켰을 때 실험 조건인 $2.2 \sim 3$ kg/cm²의 분사압력 변화시 분무주의 크기를 측정한 실험 결과를 나타내었다. 최대 분무주는 46 mm~37 mm 범위이며, 관로정보다는 노즐에 직접 초음파에너지를 부착한 것이 분무주의 길이가 8~11% 정도 길게 나타났다. 초음파 노즐에서 분무주는 약 50 mm 정도 떨어진 지점에서 미립화 효율이 최대가 됨을 알 수 있었다. 또한 압력이 클수록 분무주가 커지는 이론과도 일치한다.

3. 수치해석결과

가. 격자형태

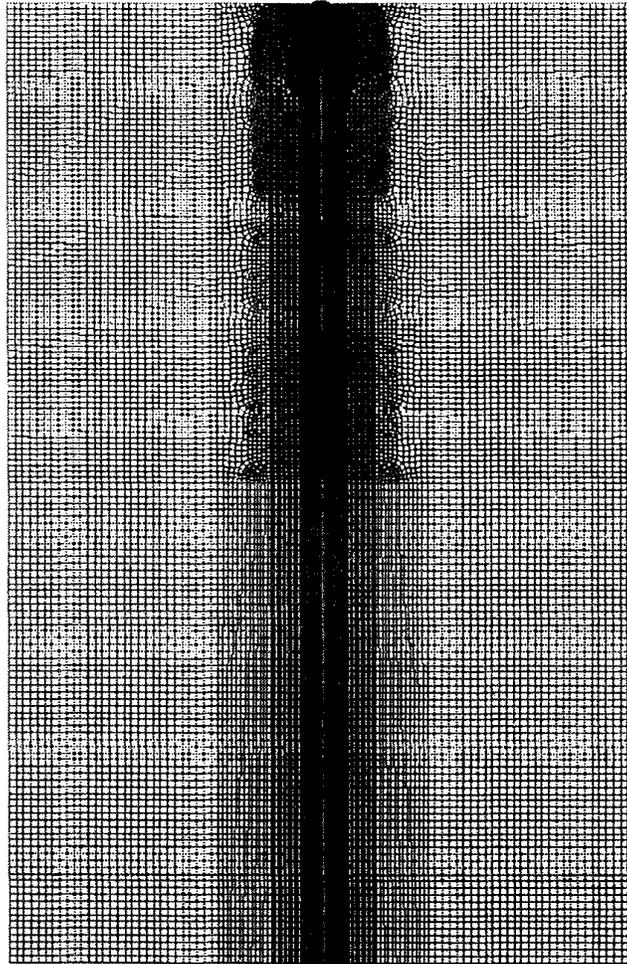


Fig. 123. Whole lattice form.

그림 123에 계산에 사용된 계산 격자를 나타내며 총 격자수는 34181개를 나타냈다. 그리고, 사용격자의 형태는 Quad unstructured mesh이다. 유동장의 변화가 클 것으로 예측되는 노즐 주위와 중심축 주위에 격자를 밀집시킨 축대칭 격자형태이다.

그림 124에는 노즐 주위의 격자를 확대한 것으로 초음파 에너지 비가진시와 가진시

의 분무각의 차이를 정확히 계산하기 위해 격자수를 증가시켰다.

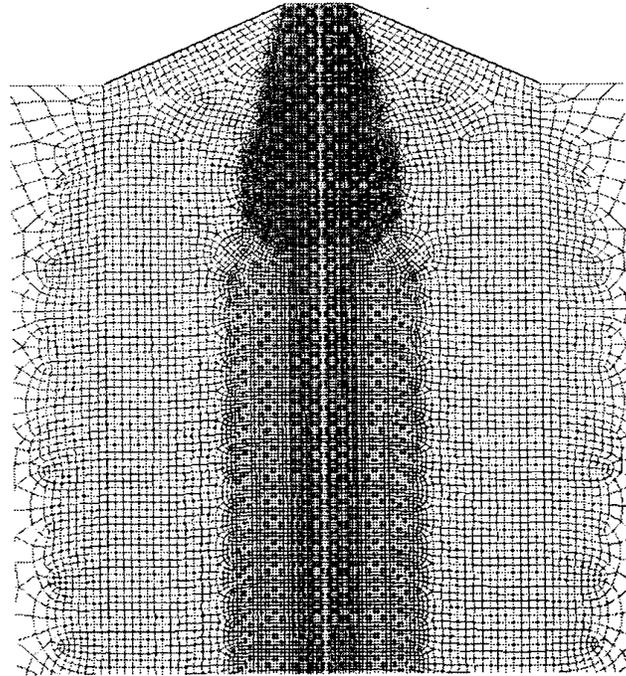


Fig. 124. Nozzle region lattice form.

나. 해석결과

1) 노즐주위의 공기 유동형태

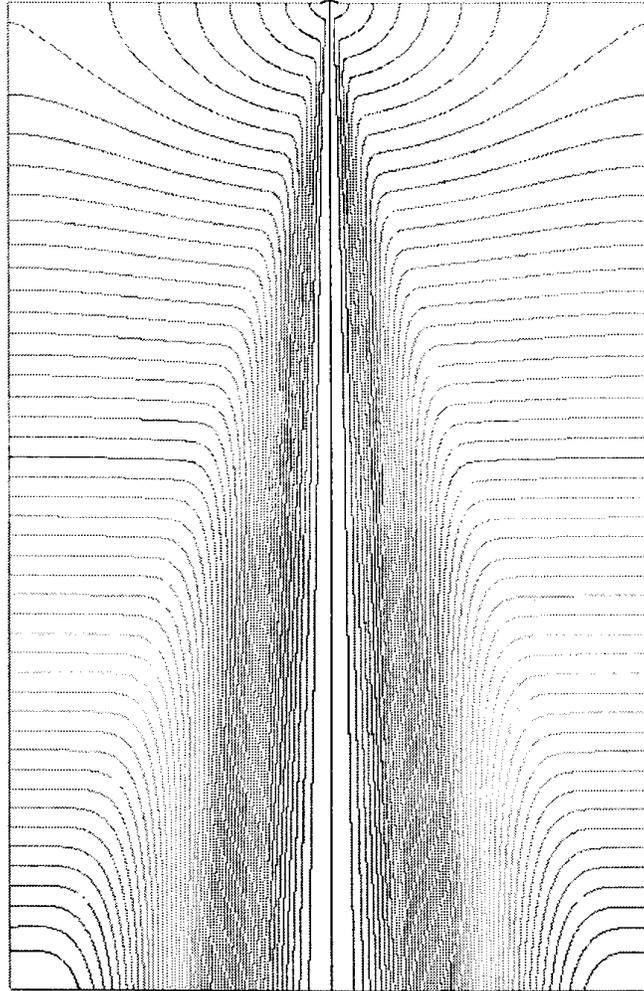


Fig. 125. Flow pattern of total area.

그림 125에는 유동장의 하부로 갈수록 노즐에서 분사된 공기 에너지가 감소하여 압력에너지가 상승하게 되며, 저압부에서 주위공기에 의해서 동반류가 형성됨을 나타내었다.

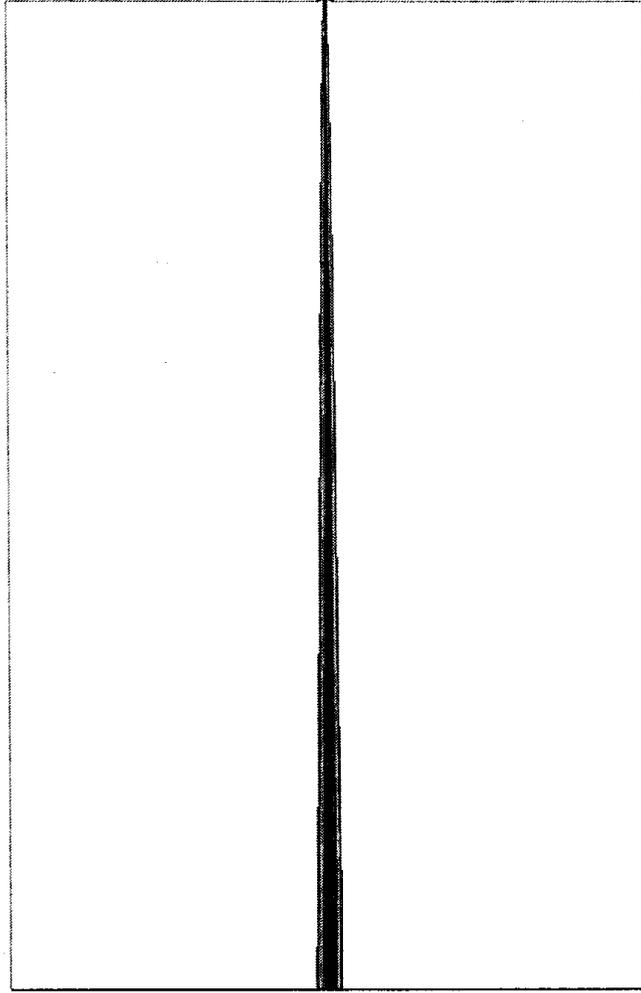


Fig. 126. Flow pattern air spray.

그림 126에는 노즐에서 분사된 공기는 강한 속도로 축방향으로 제트(jet)유동을 형성하며 분사되어지는 것을 나타냈다. 이 영향으로 그림 125에 나타난 것과 같이 노즐 팁의 주변 공기가 가까운 곳에서는 중심 방향으로 편승(entrained)되는 현상을 보인다.

2) 공기의 속도 벡터

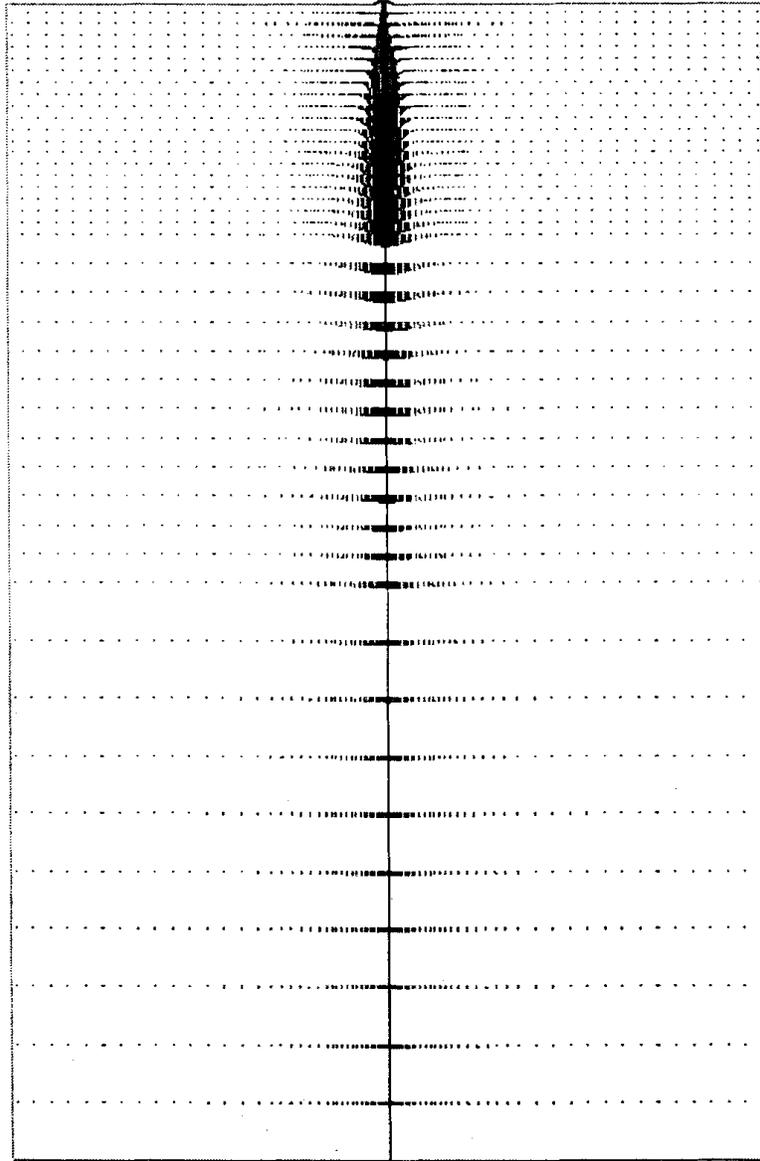


Fig. 127. Velocity vector of total area.

그림 127에는 노즐 주변에서 분사류에 의해 큰 속도를 갖는 유동장의 형성을 나타내었다. 그러나 넓은 영역으로 갈수록 분출된 속도가 주변 공기의 영향으로 확산되기 때문에 유속의 크기가 감소하는 형상을 보여주고 있으며, 이런 현상은 중심축 근

처의 중앙부보다 외측에서 먼저 발생하며 그 현상이 하부로 갈수록 중앙부에도 발생함을 보여주고 있다.

그리고, 이러한 현상은 노즐팁 주위의 확대도인 그림 128에서 분명히 나타나고 있다. 또한 중심축 주위의 속도가 하부로 갈수록 작아짐을 분명하게 확인할 수 있다.

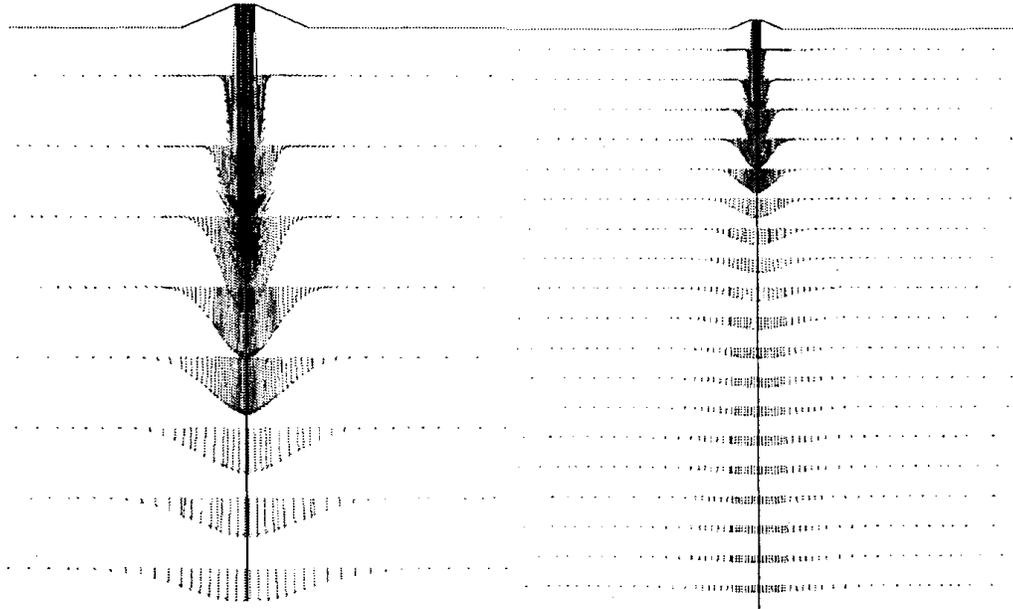


Fig. 128. Velocity vector near nozzle.

3) 액적 분무 형태

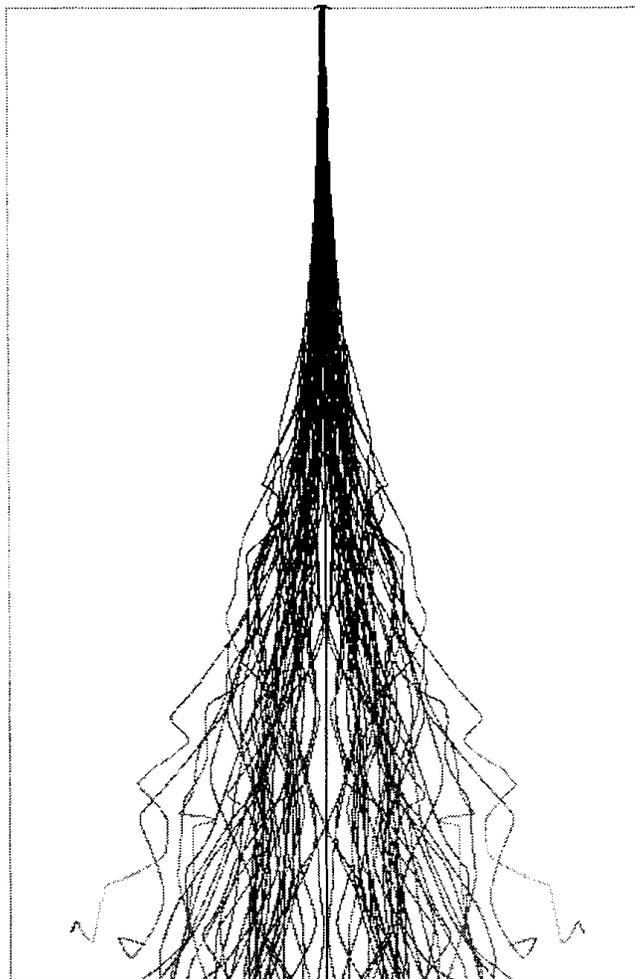


Fig. 129. Atomizing form at ultrasonic waves unused.

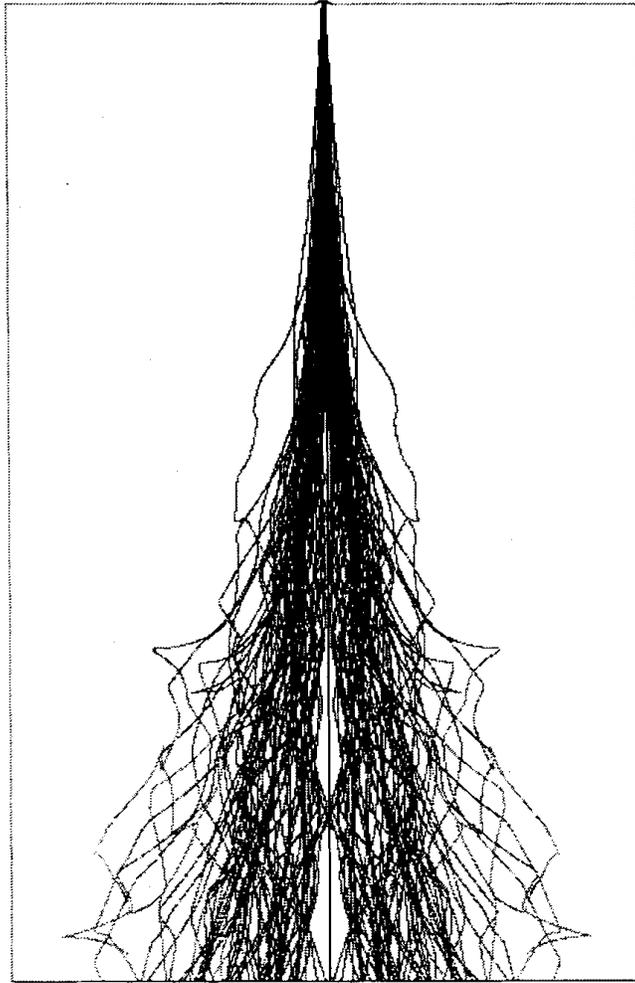


Fig 130. Atomizing form at ultrasonic waves energy used.

입구에서 공기와 함께 분출된 분무 액적은 난류 유동의 영향에 의하여 넓은 영역으로 확산되어지는 모습을 보여주고 있다.

초음파 에너지 가진시의 액적 크기(평균입경 약 50 micron)가 비가진시 액적 크기(평균입경 약 55 micron) 보다 적은 관계로 더 크게 확산되어짐을 볼 수 있다.

노즐에서 분사되는 분무각에 있어서도 초음파 가진시에서 분무각이 넓어짐을 알 수 있으며 실험과 동일한 결과를 얻었다.

4) 중심축 방향의 속도 분포

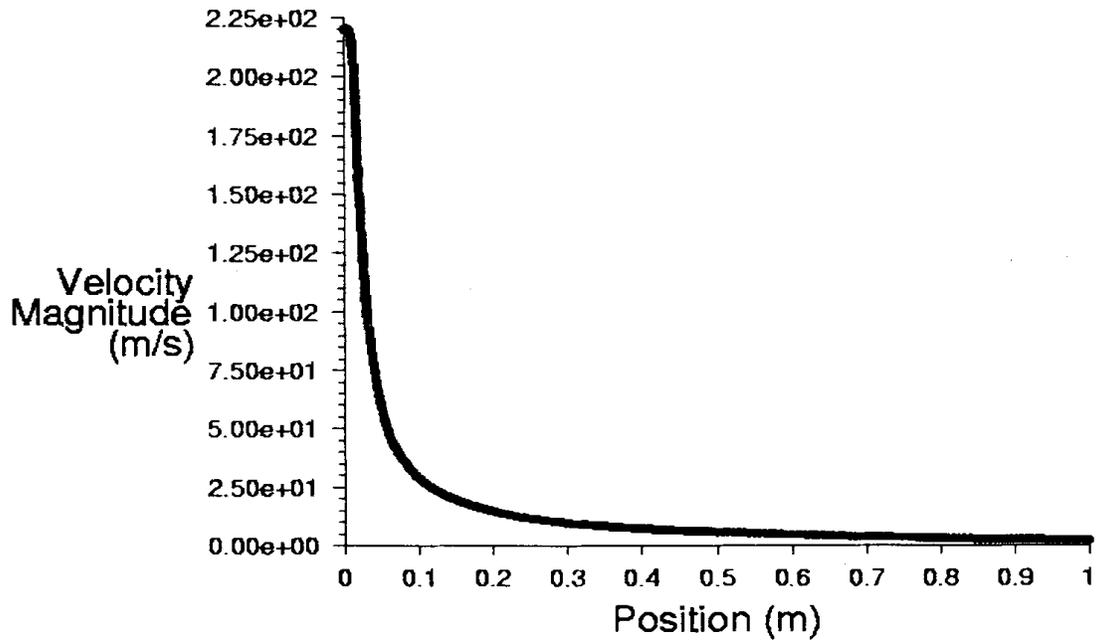


Fig. 131. Velocity distribution of central axis direction.

그림 131에는 속도 벡터에서 관찰된 바와 같이 중심축에서 속도의 크기가 지역으로 갈수록 비교적 급하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이 현상은 분무주의 경계 밖의 미세 입자는 속도가 저감하며, 중심축을 향해 빠른 속도 영역을 형성함을 보이고 있다.

제 8 절 요약 및 결론

농업 분무용 상용 노즐의 분무 미립화 효율향상을 위하여 초음파 에너지를 추가하였을 때와 비가진시의 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 노즐에서 노즐팁의 변화와 주입 공기량의 변화가 분무의 미립화와 유량에 많은 영향을 미침을 확인하였으며, 제시된 실험조건에서 최적 유량과 공기 압력을 측정하였다.
- 2) 관로상에 초음파에너지를 추가한 방법과 노즐 자체에 추가한 방법 모두 미립화 효율이 향상됨을 관찰할 수 있었다.
- 3) 분사된 분무각을 비교하였을 때 초음파 비가진시보다 초음파 가진시인 두 가지 경우, 관로상과 노즐 자체에 초음파를 가하여 분무하였을 때를 비교하면 비가진시, 관로상, 노즐자체의 순으로 분무각이 증가함을 볼 수 있었다.
- 4) 고속도 카메라로 분무형상을 촬영하였을 때 비가진시, 관로상, 노즐자체의 순으로 액적이 균일하고 미세하게 분사되는 결과가 나왔는데 이로써 초음파에너지를 추가하였을 때 분무 미립화 효율의 향상을 알 수 있었다.
- 5) 초음파 에너지를 관로상에 가하였을 때보다 노즐에 직접 작용시켰을 때 그 효율이 더 상승됨을 레이저 이용 가시화와 분무주 크기 등에서 확인할 수 있었다.
- 6) 전산유동해석을 통한 액적의 분사모습을 볼 때 초음파가진시가 분무가 미치는 영역이 넓고, 분무각이 크며, 분무액적의 미세화가 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있었다.
- 7) 전산유동해석과 실험을 통한 결과에서 초음파 가진시가 비가진시보다 미립화 효율이 상승됨을 알 수 있었으며, 전산유동해석과 실험에서 모두 동일한 경향과 분사각과 분무주, 미립화 효율이 상승되는 것을 확인하였다.

제 5 장 2-유체 노즐의 초음파 적용 분무특성

제 1 절 PDPA 분무입경 및 속도의 측정

1. 서언

본 연구에서는 온실 내 상온 연무기용으로 사용되는 2-유체 노즐에 초음파 진동자 28 kHz 전왜식과 자왜식을 사용하여 초음파 비가진시인 상용분무(Without ultrasound), 초음파 가진시의 개질분무(After sonication)와 간접진동분무(Forcing ultrasonic), 개질분무와 간접진동분무를 동시에 가하는 겸용분무법(Forcing ultrasonic + sonication) 등 4가지 분무방법에 대해서 분무입경을 측정하여 초음파의 영향에 의한 분무특성을 비교·검토하고 노즐설계의 기초자료로 활용하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1) 실험용 노즐

본 실험에 이용된 노즐은 온실 내 상온 연무기용으로 최근에 가장 널리 실용화되어 있는 2-유체 분무노즐로서 그 개략도는 그림 132에서와 같다. 이는 외부혼합형인 노즐형태로 설계되었고, 분무입경의 조절이 용이하도록 노즐 캡이 고안되었다. 또한 중앙에 바늘을 설치하여 약액이 노즐구멍에서 막힘을 방지하도록 되어 있다. 본 실험용 노즐은 상온 연무기용 노즐로서 널리 실용화되어 있으며, 제작사의 실험결과를 근거로 하면 입경과 분무유량을 고려한 노즐의 최적공기압은 196~294 kPa이었다.

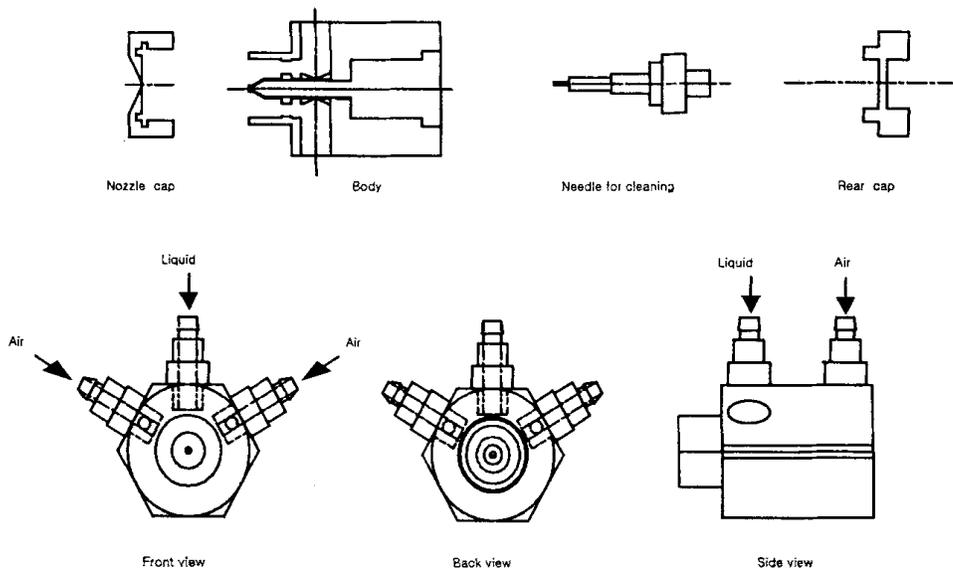


Fig. 132. Schematic diagram of the twin-fluid nozzle.

2) 초음파 진동자

초음파 진동자로는 전왜진동자, 자왜진동자 및 압전진동자 등이 주로 연구에 이용되며, 주로 가습기에 이용하는 고주파 초음파 진동자인 압전진동자는 $\phi 13$ 의 전극에 10~15[W] 정도의 고주파 전력을 인가하여 액체를 직접 수증기화하기 위해 사용된다. 따라서 2-유체 노즐 분무에 적용하기는 부적당하여 저주파 진동자인 전왜진동자 및 자왜진동자를 본 연구에서 사용하였다.

(1) 전왜진동자

그림 133는 전왜진동자 초음파 발진장치로서 이는 28 kHz의 주파수를 발진하여 증폭부에 가해주는 발진부, 발진된 28 kHz주파수로 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해 주는 증폭부, 증폭된 구형파 28 kHz를 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 전왜진동자에 가해주는 정합부로 구성되어 있다.

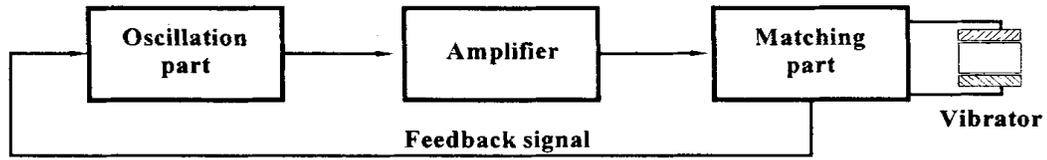


Fig. 133. Block diagram of electrostatic transducer.

전왜진동자의 재료로서는 티탄산바륨($BaTiO_3$)과 지르콘산티탄산염(PZT)등이 사용되는데 $BaTiO_3$ 은 큐리점이 $120^\circ C$ 정도로 비교적 낮아 장시간 동작시키면 분극이 약화되어 진동도 약하게 되는 단점이 있는데 비하여 PZT는 큐리점이 $200^\circ C$ 이상으로 높으므로 PZT가 널리 이용된다. 특히 고온 고압에 견디며 부착이 용이하고 내구성이 있으며 28 kHz의 진동 특성을 갖는 볼트체결형 Langevin 진동자(Bolted Langevin Vibration Transducer : BLT)는 전기 음향 변화 효율이 높고 진동 속도가 빠르면서 발열이 적고 성능이 우수하므로 널리 사용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 2-유체 노즐에 초음파의 기계적인 진동을 가하기 위해 전왜진동자인 50 W의 PZT BLT를 사용하였다. 표 13에 그 사양을 나타내었다.

Table 13. Specifications of the 50 W PZT BLT transducer

Item	Specifications
Resonance frequency	28 ± 0.8 kHz
Max. resonance impedance	30 Max Ω
Static capacitance	$4000 \pm 7\%$ pF
Max. operating power	70 watt
Diameter of radiating surface	45 mm
Total length	79 mm

(2) 자왜 진동자

그림 134에 주로 초음파 세정기의 진동자로 많이 사용되는 π 형 자왜진동자의 구성도를 나타내었다. π 형 자기 왜곡 진동자는 π 형 페라이트를 이용하고 또한 하드 페라이트(영구자석)를 통해 개자로 구성으로 사용된다. 페라이트 진동자의 공진 주파수와 같은 주파수로 여자하여 효율이 좋은 음향 진동자를 구성한다. 페라이트 자기 왜곡 진동자의 특징은 기계적 Q가 높고, 음향 변환 효율이 높으며, 내식성이 뛰어나고 큐리 온도가 높으며, 전기적 임피던스가 낮고, 임의의 형상이 제작 가능한 것 등 여러 장점이 있다. 또 주파수적으로는 강력 초음파로서 20 kHz, 28 kHz가 가장 많고 그 위로는 50 kHz, 100 kHz가 많이 이용되고 있다. 또한 자기 왜곡 진동은 수 MHz 이상의 고주파 발진은 어려우므로 그 응용은 더욱 저주파용으로 한정되어 있다.

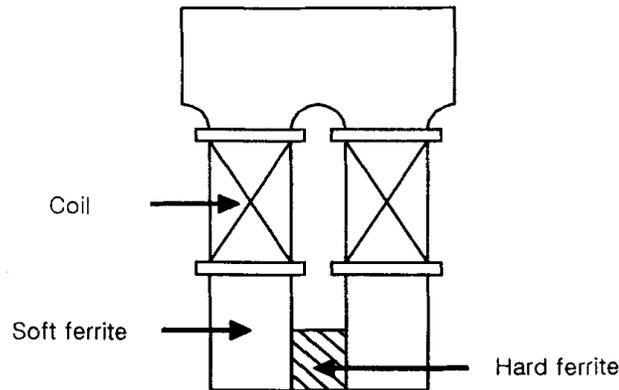


Fig. 134. Schematic diagram of π -type magnetic transducer.

π 형 자왜식 진동자는 2-유체 분무노즐에 흡입되는 분무액체에 초음파 진동을 가하기 위해 사용하였으며, 표 14에 실제 실험에 사용된 π 형 자왜식 진동자의 제원을 나타내었다.

Table 14. Specifications of the π -type magnetic transducer

Item	Specifications
Vibrator type	Ni magnetostrictive
Material	Nickel
Electroacoustic transduction efficiency	30 to 40 %
Operating frequency	50 kHz (Max.)
Operating input power	6 to 10 W/cm ²

3) 입경측정장치

분무액적의 크기와 속도의 측정에는 PDPA(Phase Doppler Particle Analyzer)를 사용하였으며, 이 광산란 측정 기법은 Mie의 산란이론에 기초한 것이며, 레이저광을 2개로 분리하여 측정하고자 하는 위치에 교차시켜 검사체적을 형성하고 이 검사체적을 통과하는 입자에 의해 산란된 산란광을 수광부에서 수 개의 광센서로 감지한다.

이 때 각 센서에서 감지한 신호의 위상차는 입자의 크기에 비례하고 도플러 신호의 주파수는 입자의 속도에 비례한다. 이러한 원리를 이용하여 입자의 크기와 속도를 동시에 측정할 수 있는 기법이다. 그림 135에 PDPA의 측정원리를 도식화한 것을 나타내었다.

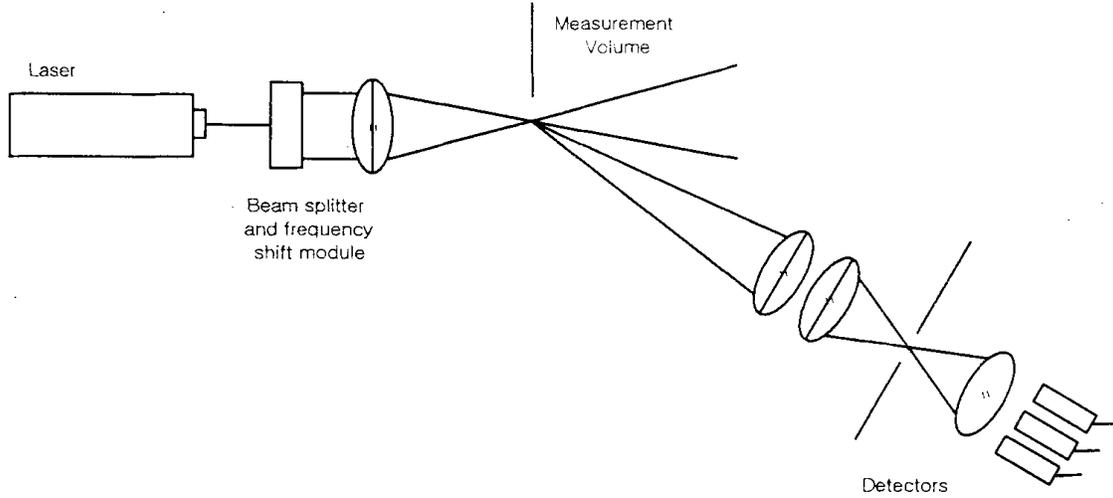


Fig. 135. The principle of PDPA measurement.

실험에 사용된 분무입경 측정장치로 Dantec사의 PDPA를 사용하였는 바 이는 Dantec사의 레이저 발광부에 해당하는 2D Fiber Flow 시스템, 입자에 의해 산란된 광선을 받는 수광부에 해당하는 Multi PDPA Signal Processor, 데이터 처리장치인 Data Management, 속도처리에 사용되는 Velocity Extension Kit 등으로 구성되어 있으며, 그 사양은 표 15에 나타낸 바와 같다.

Table 15. Specifications of the PDPA system

Item		Specifications
Measurement instrument		2-D Fiber PDPA(DANTEC, Inc.)
Light source		Ar-ion Laser
Shift frequency		40 MHz
Transmitting optics	Laser wavelength	Beam(mm) : Green(514.5), Blue(488)
	Beam separation	38 mm
	Lens focal length	400 mm
Receiving optics	Maximum diameter	173.445 μ m (Aperture ID : A)
	Scattering angle	30 degree
	Lens focal length	400 mm
High voltage		U1(1000 V), U2(1344 V) U3(1400 V), U4(1000 V)
Band width		4 - 12 MHz

농업에 있어 미립화현상을 기술하는 경우 주로 체적중위직경(Volume Median Diameter : VMD)을 대표치로 사용하고 미립화된 액적의 크기분포를 노즐에서만 분석하지 않고 목표물에 도달 부착한 상태에서 마찬가지로 중요하게 고려하기 때문에 본 논문에서는 분무입경의 표시에 이를 사용하여 나타내었다.

나. 실험방법

그림 136에서와 같이 2-유체 노즐에 초음파 진동을 가하기 위하여 28 kHz PZT BLT (전왜식)는 노즐의 후단에 부착하였고, 28 kHz π 형 자왜식 진동자는 분무액체에 초음파 진동을 가하기 위해 분무액 용기의 하단에 최고 공진 위치를 감안하여 설치하였다.

2-유체 분무노즐에 초음파를 가하는 4가지 형태로서 초음파 비가진시의 상용분무

(Without ultrasound), 분무액체에 초음파 진동을 가하는 개질분무(After sonication), 분무노즐에 초음파 진동을 가하는 간접진동분무(Forcing ultrasonic), 간접진동분무와 개질분무를 동시에 가하는 겸용분무법((Forcing ultrasonic + sonication)의 4가지 분무방법에 대해서 실험하였고, 초음파의 영향에 의한 분무특성을 비교·검토하였다.

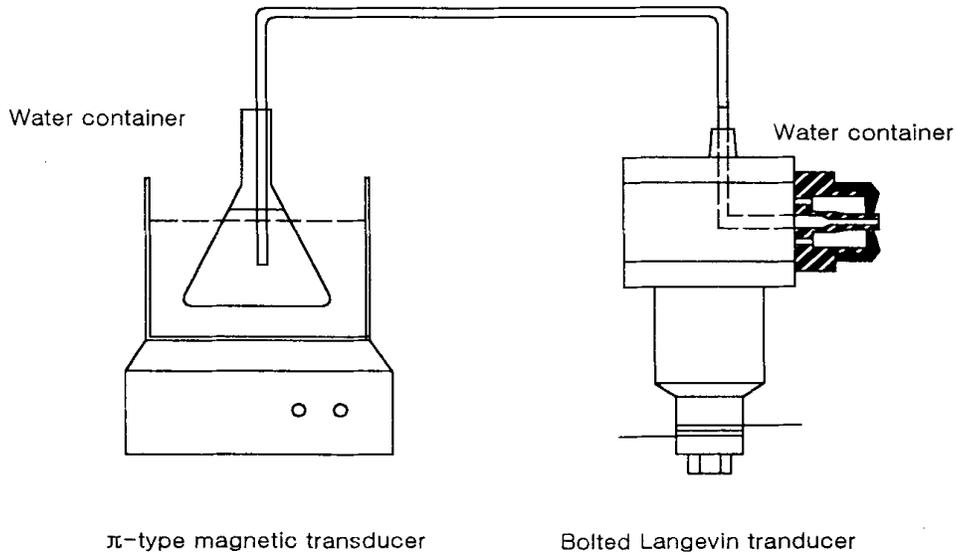


Fig. 136. An example of adding ultrasonic energy.

그림 137은 초음파 가진 분무장치 및 분무입경 측정을 위해 사용한 실험장치의 개략도이다. 이는 분무시스템, 초음파시스템, 측정시스템으로 구성되어 있으며, 분무시스템에는 분무노즐과 공기압축기, 초음파시스템에는 초음파 발진기, 진동자 그리고 측정시스템에는 PDPA와 5 W Argon-Ion Laser 등이 갖추어져 있다.

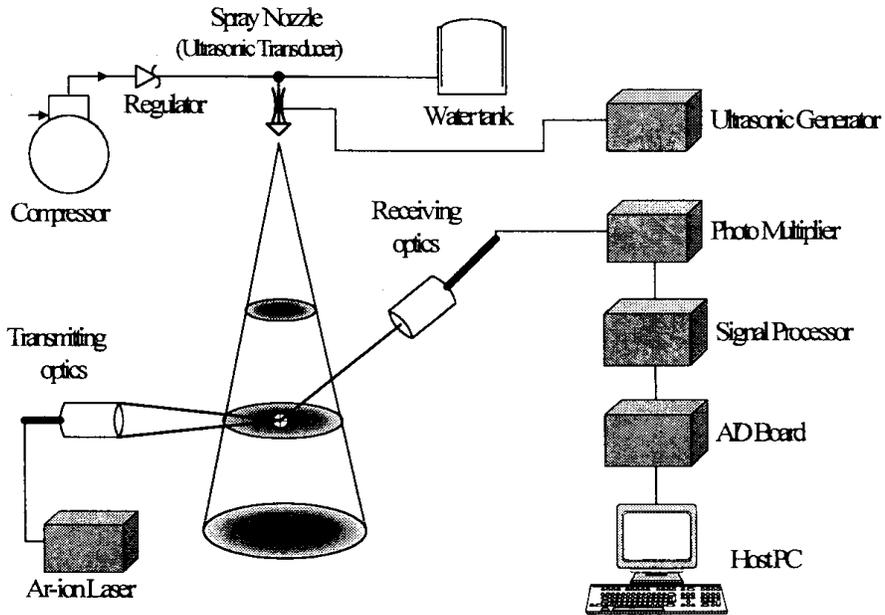


Fig. 137. Schematic diagram of the drop diameter measurement system using PDPA system.

2-유체 노즐에 적용한 초음파 분무특성의 측정에서 입경의 측정은 2-유체 분무의 풀콘형 단면에서 측정하였으며, 그림 138에는 그 측정지점을 도식화하였다. 각 측정 영역별 4가지 경우의 초음파 적용 형태에 대하여 각각 실시하였다.

분무액으로 상온의 수돗물을 사용하였고, 노즐은 현재 상용으로 시중에 판매되는 상온 연무기용으로 사용되는 2-유체 노즐로서 업체의 실험결과에 의하면 최적공기압은 196~294 kPa이며, 실제 실험 시는 196 kPa로서 실험을 실시하였다.

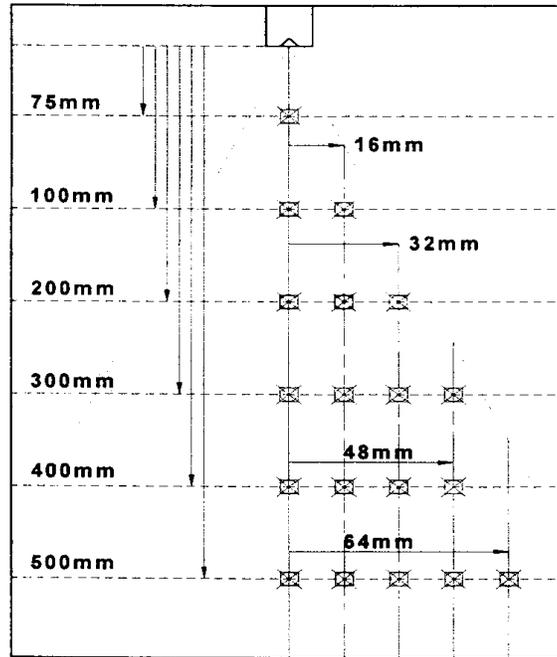


Fig. 138. Measuring point of the spray region.

3. 결과 및 고찰

그림 139은 노즐팁에서 분무축방향에 따른 4가지 경우 즉 상용분무, 개질분무, 간접진동분무, 개질 및 간접진동의 겸용분무에서의 분무 입자의 체적 중위 직경인 VMD를 비교하고 있다.

4가지 경우 모두에서 노즐에서 거리가 멀어질수록 VMD가 커지고 있다. 전 영역에 걸쳐서 상용분무 때의 VMD가 가장 크게 나타나고, 초음파 겸용 분무 때의 VMD가 가장 작게 나타나고 있으며, 측정위치 중 노즐에서 최장거리 500 mm에서 상용의 경우 65.29 μm 에 반하여 겸용의 경우 54.52 μm 로서 약 10.77 μm 의 차이를 보이고 있으며 상용에 비해 약 16.5 %의 입경감소를 보이고 있다. 이는 초음파가 분무액적의 미세화에 친화적 영향으로 작용함을 의미한다.

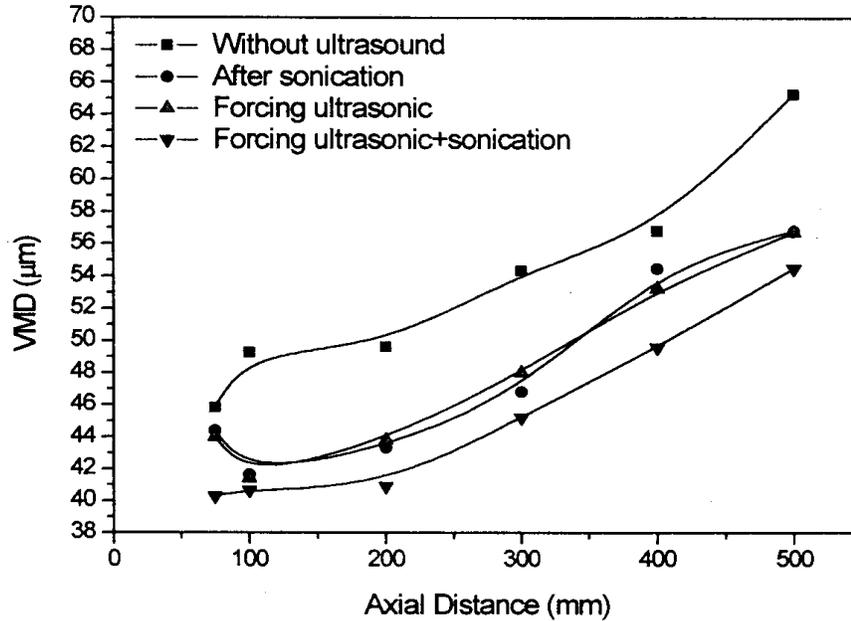


Fig. 139. VMD according to the axial distance.

그림 140에서는 노즐 팁에서 분무축방향의 거리에 따른 4가지 경우의 분무입자의 축방향 속도를 비교하고 있다. 거리 100 mm에서 500 mm까지 전반에 걸쳐서 초음파가 진의 3경우가 상용분무에 비해 액적속도가 조금씩 낮게 나타났으며 이는 상기에서와 같은 작은 입자의 관성 및 가속도의 감소로 나타난 것으로 생각된다. 또 이로 인한 액적의 비행과 부착에 유리한 난류의 증가가 예상된다.

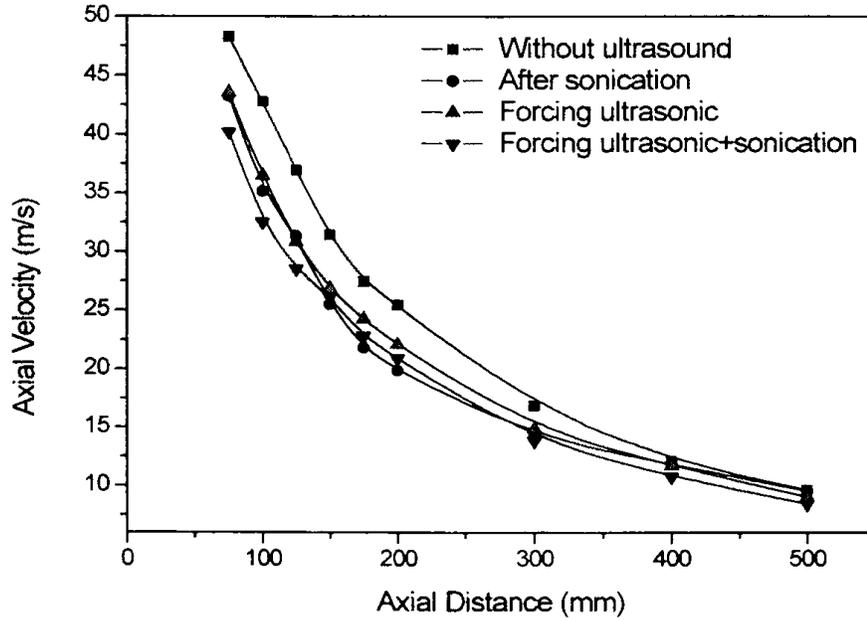


Fig. 140. Axial velocity according to the axial distance.

그림 141에서는 노즐팁에서 분무방향으로 거리가 200 mm일 때에 축에서 반경방향 거리에 따른 분무액적의 VMD를 비교하고 있다. 4가지 경우 모두에서 반경방향으로 갈수록 VMD가 작아지고 있으며, 초음파와 가진시의 액적이 상용에 비해 전반적으로 입경이 감소하는 것으로 나타났다.

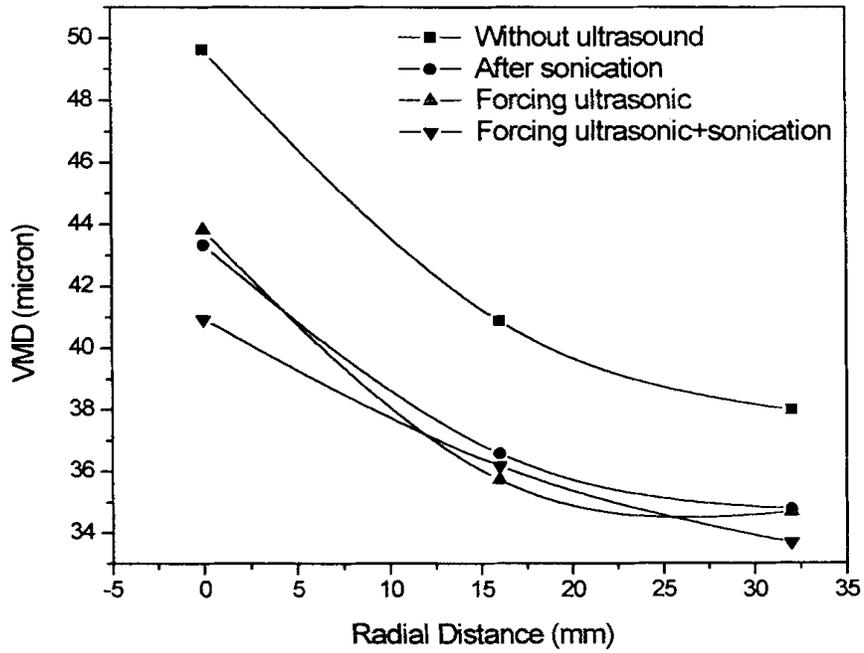


Fig. 141. VMD according to the radial distance at the axial distance of 200 mm.

그림 142과 그림 143에서 노즐팁에서 분무방향으로 거리가 300 mm, 400 mm일 때에 축에서 반경방향 거리에 따른 분무액적의 VMD를 비교하고 있다. 초음파 가진시의 액적이 상용에 비해 전반적으로 입경이 감소하고 있음을 보여준다.

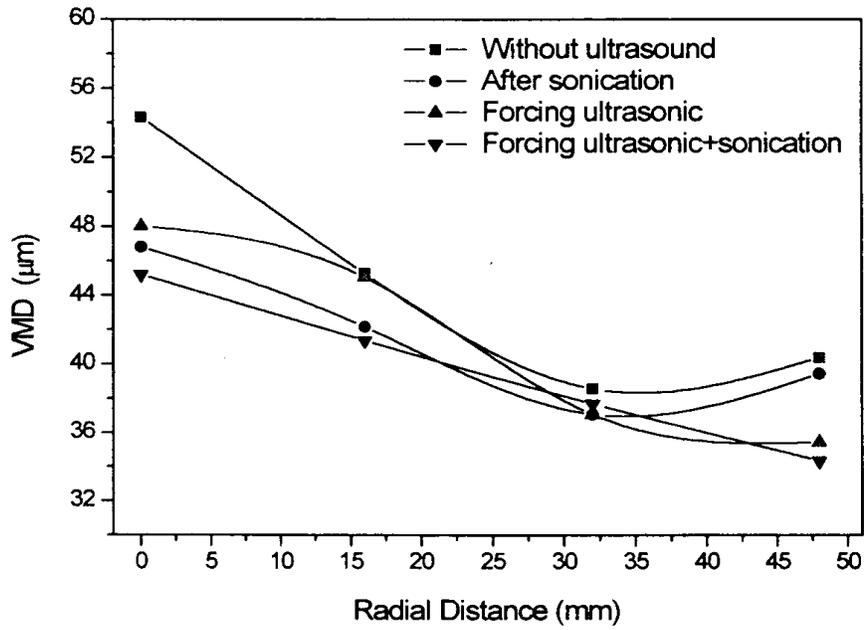


Fig. 142. VMD according to the radial distance at the axial distance of 300 mm

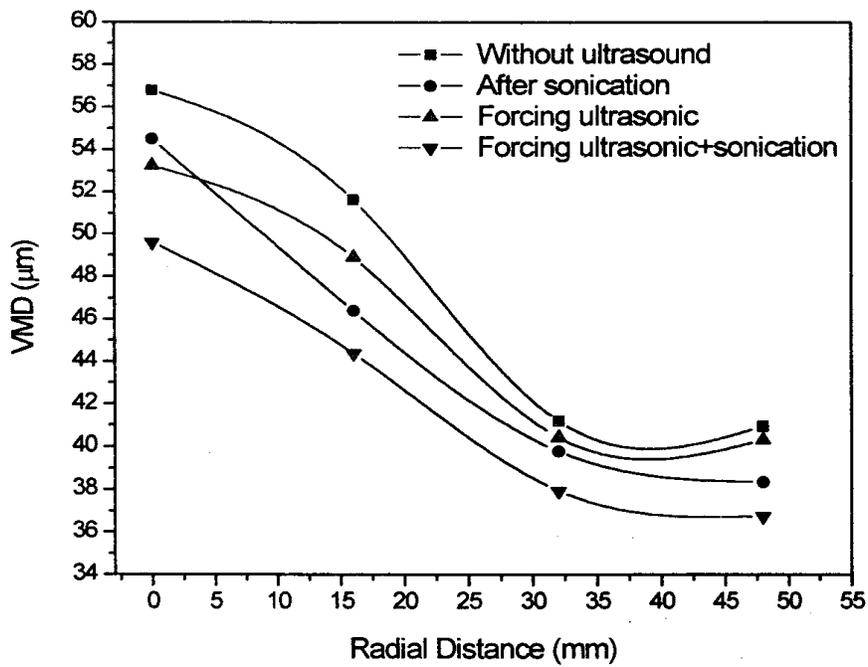


Fig. 143. VMD according to the radial distance at the axial distance of 400 mm

그림 144에서는 노즐팁에서 분무방향으로의 거리가 500 mm일 때 반경방향거리에 따른 VMD의 비교를 나타낸다. 전반적으로 초음파 비가진시인 상용분무의 액적이 반경방향 영역에서 전반적으로 크게 나타나고 있다. 반경방향에 따른 겹용분무와 상용분무의 입경차이가 분무중심에서 10.77 μm , 반경방향 거리 16 mm에서 4.14 μm , 32 mm에서 0.07 μm , 48 mm에서 0.08 μm , 64 mm에서 2.95 μm 로서 반경방향 전 영역에서 겹용분무시가 상용에 비해 평균 7.2 %의 입경이 감소하였다.

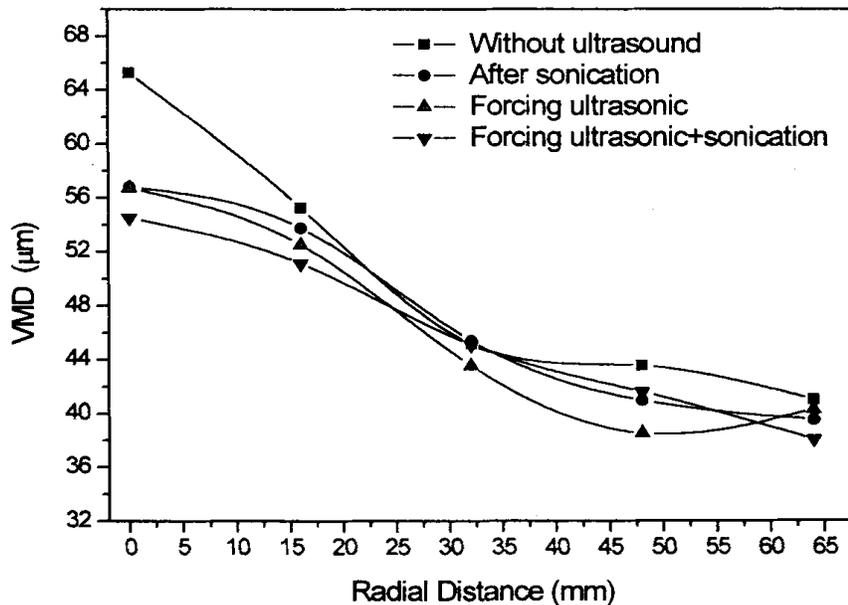


Fig. 144. VMD according to the radial distance at the axial distance of 500 mm.

반경방향 거리에 따른 입경분포에서 상용과 초음파 가진시의 입경차이가 분무 중심에서 가장 크게 나타났으며, 반경방향 거리 32 mm까지 입경의 차가 감소하는 경향을 보이다가 다시 거리의 증가에 따라 입경차가 증가하는 경향으로 나타났다. 비교적 입경이 큰 액적이 분포하는 분무중심에서 초음파의 효과가 가장 크게 나타난 것으로서 초음파가 큰 입자를 파쇄하고 합착을 방지하는데 효과가 있는 것으로 생각된다.

그림 145는 축방향 거리 300 mm에서 분무입경 분포를 상용과 초음파 가진시에 대하여 비교하고 있다. 상용에 비해 초음파 가진시의 경우 분포도가 입자가 작은 쪽에 집중적으로 모여 분포도의 높이가 높고 뾰족한 양상을 보이고 있는데, 이는 초음파 가진시의 분무액적이 더 균일하고 미세함을 나타낸다.

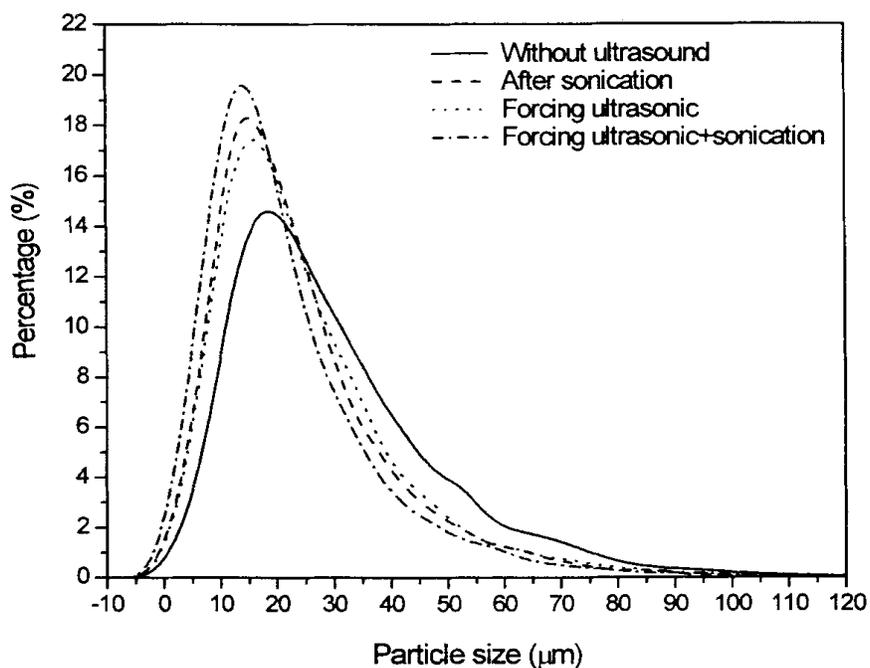


Fig. 145. Drop size distribution curves at the axial distance of 300 mm.

그림 146에서 상기와 같은 초음파 가진시 축방향 거리 400 mm에서 반경방향에 따른 분무입경 분포를 비교하고 있다. 그림 24에서와 같이 상용에 비해 초음파 가진시의 분무액적이 더 균일하게 나타났다.

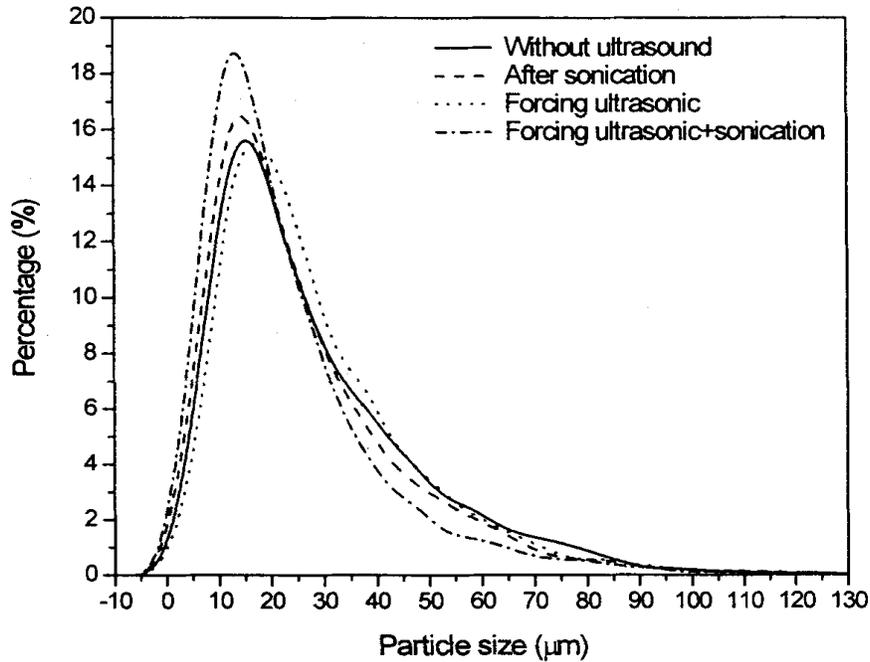


Fig. 146. Drop size distribution curves at the axial distance of 400 mm.

그림 147에서는 상기와 같은 초음파 가진시 축방향 거리 500 mm에서 반경방향에 따른 분무입경 분포를 비교하고 있다. 역시 초음파 가진시가 상용에 비해 입경이 보다 균일, 미세화 되고 있다.

분무입경 60 μm 이상의 입경분포에서 보면 상용에 대한 초음파 가진시 액적의 개수가 크게 줄어들었다. 기존 상용 연무기의 2-유체 노즐은 불균일 입경 특히 입경이 큰 액적이 생성되어 송풍팬의 기류에 실리지 못하고 노즐근방에 과도하게 자유 낙하하게 되어 약해를 유발시키는 단점을 가지는데 초음파 가진 시 이를 다소 해소할 수 있을 것으로 생각된다.

이러한 효과는 전술한 농약제재의 물리적 성질, 즉 유화성, 습전성, 수화성, 현수성, 부착성 등을 향상시켜 방제효과를 높이는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

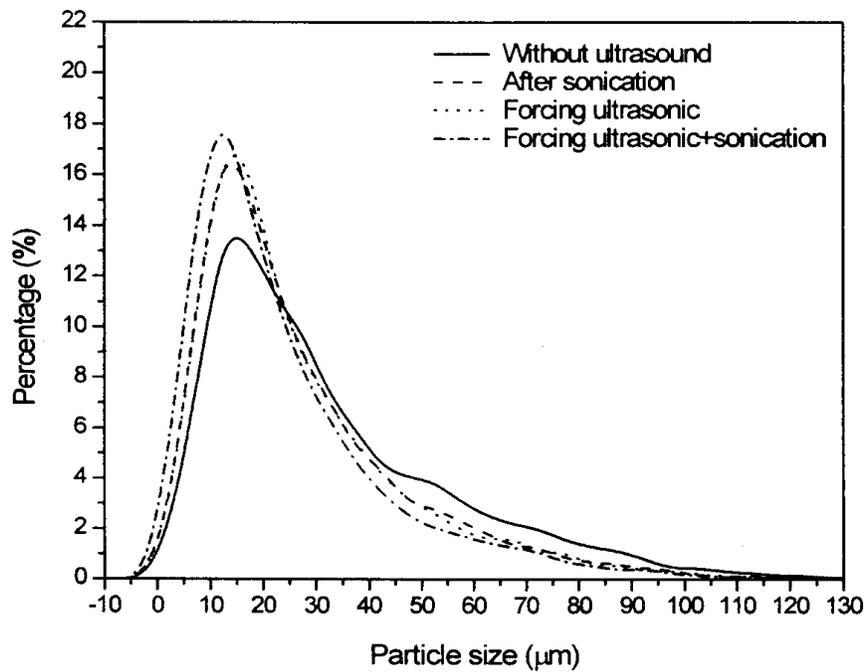


Fig. 147. Drop size distribution curves at the axial distance of 500 mm

4. 요약 및 결론

상온연무기의 연무입자의 미립화에 대한 초음파 에너지의 효과를 규명하기 위하여 상온연무기용 2-유체 노즐에 초음파 비가진시인 상용분무, 초음파 가진시의 간접진동 분무, 개질분무, 간접진동분무와 개질분무를 동시에 가하는 겸용분무법 등 4가지 분무 방법에 대해서 실험하여 초음파의 영향에 의한 분무특성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초음파 비가진시인 상용에 비해 초음파 가진시의 경우 입경의 미세화와 균일도에 서 우세하게 나타났으며, 분무액체와 노즐에 동시에 초음파를 가한 겸용분무 방 법에서 가장 좋은 효과가 나타났다.
- 2) 축방향 거리 500 mm에서 반경방향에 따른 겸용분무와 상용분무의 입경차이가 분 무중심에서 10.77 μm , 반경방향 거리 16 mm에서 4.14 μm , 32 mm에서 0.07 μm , 48 mm 에서 0.08 μm , 64 mm에서 2.95 μm 로서 반경방향 전 영역에서 겸용분무시의 경우가 상용에 비해 평균 7.2 %의 입경이 감소하였다.
- 3) 축방향 속도에 대하여 초음파 가진의 3경우가 상용분무에 비해 액적속도가 느리 게 나타났으며, 이로 인한 액적의 비행과 부착에 유리한 난류의 증가가 예상되었 다.

제 2 절 영상처리에 의한 포집입자의 측정

1. 서언

본 연구에서는 온실 속에서 분무되는 농약분무 실제 그대로를 관찰하기 위하여 상용분무와 초음파 진동을 분무액체에 가하는 개질분무로 하여 분무실험을 실시하였으며, 상용분무와 초음파 개질분무시의 타겟에 부착된 포집입자를 관찰하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1) 실험용 노즐

온실 내 연무 방제용으로 많이 사용되는 2-유체 노즐로서 PDPA실험에서 사용한 노즐과 동일한 노즐을 사용하였다.

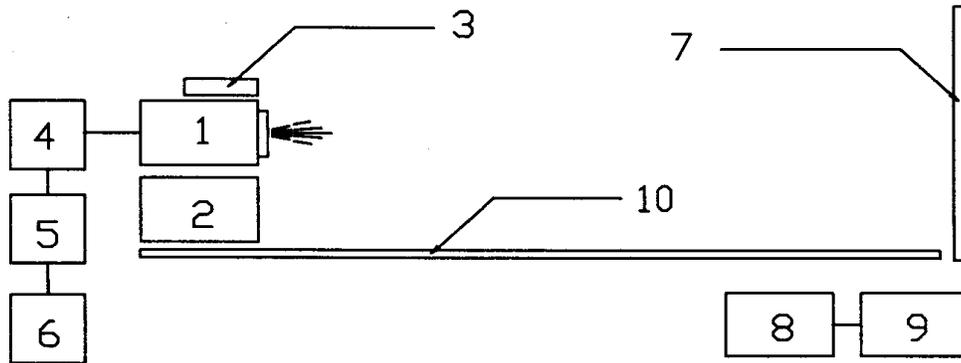
2) 초음파 진동자

분무액체에 초음파 개질효과를 가하기 위해 28 kHz π 형 자왜식을 사용하였다. 표 1에 나타난 자왜식 진동자를 사용하였다.

3) 분무액적 측정 장치

그림 148은 원거리 영역 분무실험장치의 개략도이다. 이는 분무시스템, 초음파 시스템, 포집시스템 등으로 구성되어 있으며, 분무시스템에는 분무노즐, 공기압축기, speed valve 및 timer 등이, 초음파 시스템에는 π 형 자왜진동자 등이, 포집시스템에는 분무노즐, 부착스크린, 이송장치 및 레이저 포인터 등을 구비하고 있다.

이송장치는 분무노즐을 부착하여 레일 위로 포집 스크린에 수직방향으로 전후 이동이 가능하게 되어있다. 레이저 포인터는 분무중심 방향을 스크린 상에 고정시키기 위해 직진성이 우수한 레이저빔을 발한다.



- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. Spray nozzle | 6. Air compressor |
| 2. Conveyor | 7. Collection screen |
| 3. Laser pointer | 8. Data acquirer |
| 4. Ultrasonic device | 9. Computer |
| 5. Water tank | 10. Railway |

Fig. 148. Schematic diagram of the experimental apparatus.

나. 실험 방법

이 실험은 온실 속에서 분무되는 농약 분무 실제 그대로를 관찰하기 위해 행하였다. 따라서 길이 20 m, 폭 12 m, 동고 3.6 m, 현고 2.8 m의 농용비닐필름 피복의 파이프 온실에서 실험이 행하였다. 분무노즐 또한 현재 국내에서 시설내 연무기로 많이 사용하고 있는 상용노즐을 사용하였다. 공기압축기로 압력을 공급하고 압력조정기에 의해 압력을 조절하고 분무시간을 단속적으로 일정하게 하기 위해 솔레노이드 밸브와 Timer를 사용하였다. 분무액체를 일반 수도물(50 cc)로 하고 스크린 부착 입자 식별을 확실하게 하기 위해 고농도 순정 만년필용 잉크 (30 cc, 흑색)를 첨가하여 분무액을 만들었다.

액적 포집 스크린에는 액적이 잘 부착되고 퍼짐이 작은 성질을 가진 코팅이 된 40 cm×40 cm(가로×세로)의 광택지를 택하였다.

측정 영역의 거리는 노즐 끝에서 분무 축 방향으로 2100, 2300, 2500 mm로 정하고, 이 거리를 포집 스크린에 수직되게 정확히 접근 또는 멀리 하기 위해 분무노즐 장치를 이송장치에 부착하고, 이 이송장치를 바닥에 깔린 평행 레일 위를 매끄럽게 움직이게 하였다.

실제 온실에서 액체 살포환경과 유사하게 하기 위해 측면 공기 출입구는 차단하고 상기 측정 지점에서 초음파 비가진의 상용 분무 5회, 초음파 가진시의 분무 5회로 측정하였다.

이 실험에 적용된 초음파 적용방법은 상기의 3종류 초음파 응용방법 중에서 개질법을 택하였다.

측정 시간은 18:00~22:00, 분무압력은 196 kPa로 일정하게 유지하고 분무지속시간은 실험 시마다 0.5초로 하였다. 실험시의 온실내의 평균온도는 26℃, 습도는 77%를 유지하였다. 이때 분무액인 상용 수도수의 평균온도는 22~26℃로 하였다.

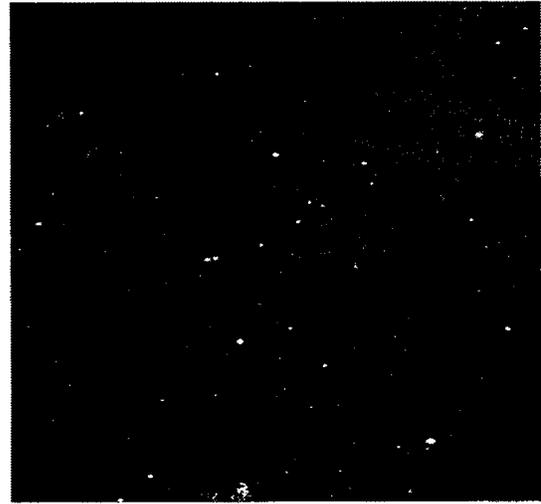
포집영역에서 관찰 대상은 노즐 축방향으로 고정시킨 레이저빔을 중심으로 하여 가로, 세로 각 3 cm로 하였다. 이를 Image analysis program(Matrox社 Inspector ver. 1.71)을 사용하여 Pixel 및 액적수를 분석 검토하였다.

3. 실험결과

원거리 영역 측정은 상기의 원거리 영역 측정 방법에서 언급한 바와 같이 온실 속에서 분무되는 농약분무 실제 그대로를 관찰하기 위함으로 그림 149는 노즐팁으로부터 분무거리 2500 mm에서 포집지에 부착된 실제 입자들이며, (a)는 비가진시, (b)는 초음파 가진시를 나타내고 있다. 여기서는 초음파의 개질법의 결과이다.



(a) Without ultrasound



(b) After sonication

Fig. 149. Comparison of spray droplets at the spray distance
2500 mm from the nozzle tip.

그림 150는 분무거리가 2100, 2300, 2500 mm 즉 원거리 영역에서 분무방향에 수직한 액적포집용 스크린에 부착된 입자들을 디지털로 변환하여 영상처리한 액적 pixel수를 초음파 가진시와 비가진시에 대해서 비교하고 있다. 초음파 가진시가 비가진시보다 전반적으로 pixel수가 우세하게 나타나고 있다. 이는 균일액적의 분무로 증발이나 비산이 적어 일정량의 분무시 효율적임을 알 수 있다. 초음파 가진, 비가진 다함께 분무거리가 멀수록 부착 액적수가(pixel수) 감소함을 볼 수 있다.

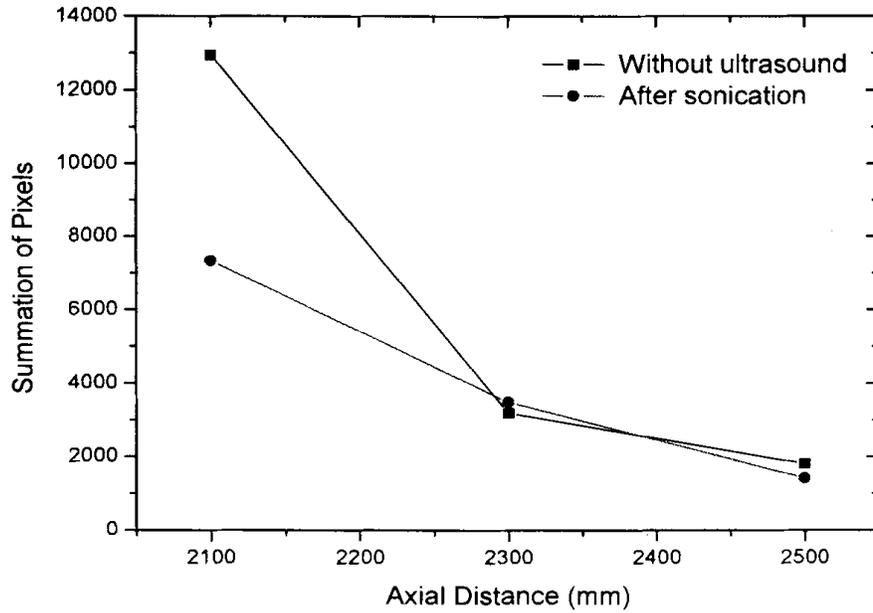


Fig. 150. Comparison of summation of pixels of droplets according to the axial distance from the nozzle tip.

표 16은 5회 실험 결과로 나타난 축방향 거리에 따른 분무액적의 전 pixel수에 대한 Data를 보이고 있다.

Table 16. All pixels of spray droplets

Replication	2.5 m Without ultrasound	2.5 m After sonication	2.3 m Without ultrasound	2.3 m After sonication	2.1 m Without ultrasound	2.1 m After sonication
1	2067	1230	2998	3501	9557	9412
2	3018	388	3486	2614	5988	13104
3	549	2135	2160	2273	9694	28759
4	404	1940	6448	2815	9142	3927
5	1058	3316	2375	4746	2266	9588
Max.	3018	3316	6448	4746	9694	28759
Min.	404	388	2160	2273	2266	3927
Average	1419	1802	3493	3190	7329	12958
S.D.	1106	1090	1732	979	3212	9423

그림 151은 측정영역 30×30 mm이내의 200개 전후의 액적의 pixel수를 평균한 값의 축방향 거리에 따른 분포도이다. 2100 mm에서는 초음파 비가진시의 상용분무와 가진시의 개질법 분무에 의한 값은 비슷하게 나타났으나, 2300 mm, 2500 mm에서는 초음파 가진시의 평균 pixel수가 우세하게 나타나고 있다.

이는 원거리영역에서도 초음파 가진시의 분무액적수가 비가진시인 상용분무에 비해 우세함을 말해주고 있다.

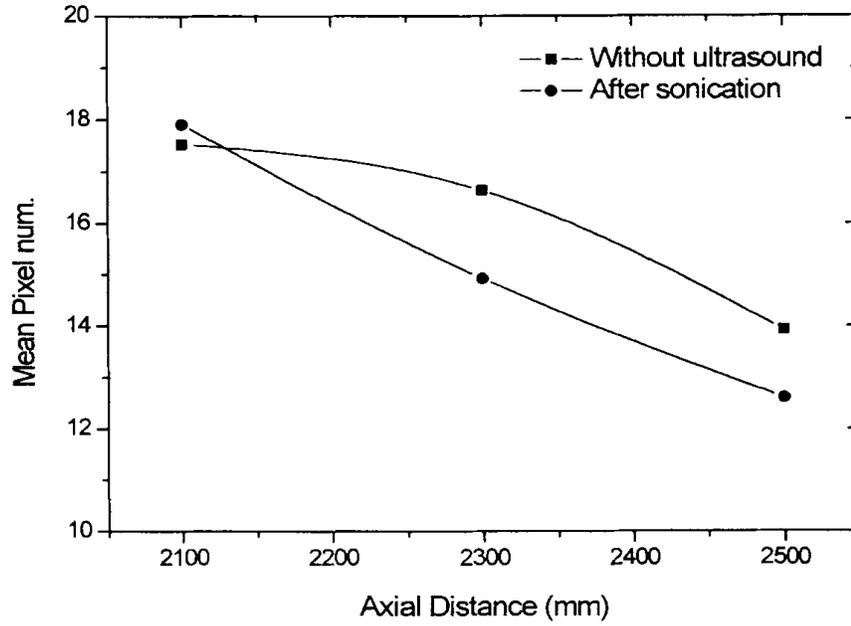


Fig. 151. Comparison of average pixels of droplets according to the axial distance from the nozzle tip.

표 17은 상기 그래프의 평균 pixel data를 보이고 있다.

Table 17. Average pixels of droplets

Replication	Treatment	Min. Pixel num.	Mean Pixel num.	Max. Pixel num.	Std. Deviation	Variance	Average
1	2.5 m Without ultrasound	1	19.32	265	36.88	1360	12.60
2		1	17.45	491	43.39	1883	
3		1	9.466	68	12.69	161	
4		1	5.114	27	5.291	28	
5		1	11.68	59	12.71	161.5	
6	2.5 m After sonication	1	14.47	176	23.78	565.7	13.92
7		1	8.818	47	10.82	117.1	
8		1	12.94	314	30.12	906.9	
9		1	12.94	314	30.12	906.9	
10		1	20.46	386	41.3	1706	
11	2.3 m Without ultrasound	1	13.33	382	33.35	1112	14.86
12		1	18.66	195	26.43	698.4	
13		1	14.48	96	18.85	355.3	
14		1	14.86	110	17.69	313.1	
15		1	13.33	382	33.35	1112	
16	2.3 m After sonication	1	17.86	99	18.97	359.8	16.64
17		1	12.4	129	18.36	336.9	
18		1	17.76	192	24.95	622.5	
19		1	16.22	180	21.66	469	
20		1	18.99	189	27.33	747	
21	2.1 m Without ultrasound	1	19.5	183	22.59	510.2	17.91
22		1	19.52	204	22.39	501.2	
23		1	19.87	1879	86.91	7553	
24		1	16.34	814	40.97	1679	
25		1	14.33	151	19.82	392.9	
26	2.1 m After sonication	1	15.14	152	19.32	373.4	17.52
27		1	18.37	164	20.3	412	
28		1	21.17	374	25.75	662.8	
29		1	16.62	315	28.45	809.6	
30		1	16.35	249	23.49	551.7	

그림 152은 관찰 단위면적내의 분무액적들의 표준편차를 보이고 있다. 거리 2100 mm에서는 상용분무의 표준편차가 초음파 가진시에 비해 크게 나타나고 있다. 이는 표준편차가 클수록 액적크기가 불균일하다는 원리에 비추어서 거리 2100 mm에서는 상용분무 액적의 크기가 초음파 가진분무 액적의 크기에 비해 불균일함을 뜻한다. 2300 mm와 2500 mm에서는 서로 비슷하게 나타나고 있다. 초음파 가진시가 상용분무 시에 비해 3거리 영역에서 표준편차가 고르게 나타나고 있음은 초음파 가진시의 분무액적들의 크기가 먼거리 영역 전반에 걸쳐 비가진시보다 균일함을 말해주고 있다. 이는 초음파 가진시의 특성인 균일액적 분포의 친화성을 잘 말해주고 있다.

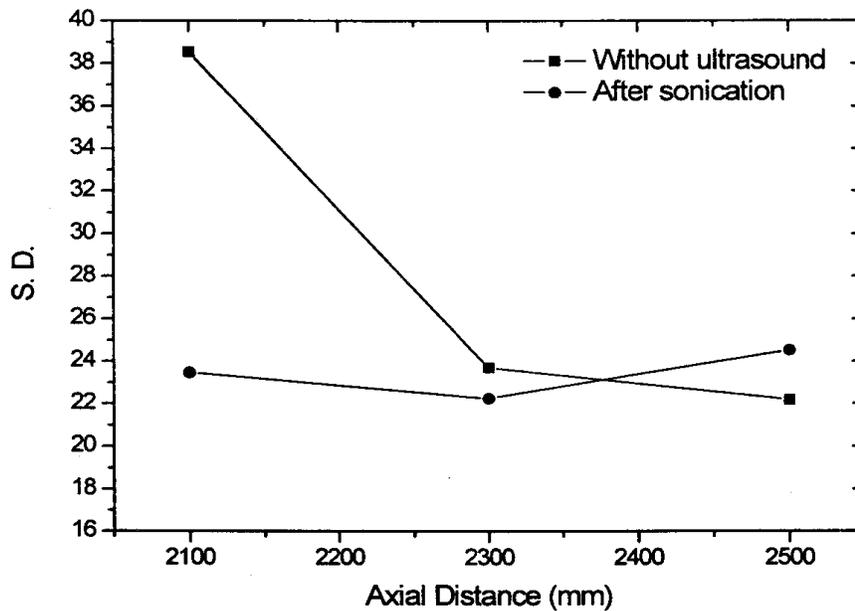


Fig. 152. Comparison of standard derivations of spray droplet pixel numbers according to the axial distance from the nozzle tip.

표 18은 상기 그래프를 위한 표준편차의 data를 보이고 있다.

Table 18. Standard deviations of spray droplet pixel numbers

Replication	2.5 m Without ultrasound	2.5 m After sonication	2.3 m Without ultrasound	2.3 m After sonication	2.1 m Without ultrasound	2.1 m After sonication
1	36.88	23.78	22.18	18.97	22.59	19.32
2	43.39	10.82	26.43	18.36	22.39	20.30
3	12.69	30.12	18.85	24.95	86.91	25.75
4	5.29	16.60	17.69	21.66	40.97	28.45
5	12.71	41.30	33.35	27.33	19.82	23.49
Average	22.19	24.52	23.70	22.25	38.54	23.46

그림 153은 관찰면적내의 액적의 수를 평균한 값들을 축방향 거리에 따라 비교하고 있다. 축방향거리 2100 mm에서는 초음파 가진에 의한 액적수가 비가진시인 상용분무 액적수에 비해 뚜렷한 우세함을 보이고 있다. 2300, 2500 mm에서는 비슷하게 나타나고 있다. 이는 축방향에서 멀어질수록 합착현상이 왕성했음을 의미한다.

초음파 가진시와 비가진시를 막론하고 축방향 거리가 멀어질수록 부착 액적수가 감소됨은 분무 액적을 받는 스크린의 거리가 멀어질수록 중력에 의해 낙하되면서 스크린까지 도달하지 못하는 입자수가 증가되는 것으로 사료되며, 비산 및 증발현상도 있을 것으로 추측된다.

표 19는 상기 그래프의 내용인 관찰영역내의 분무액적수의 data를 보이고 있다.

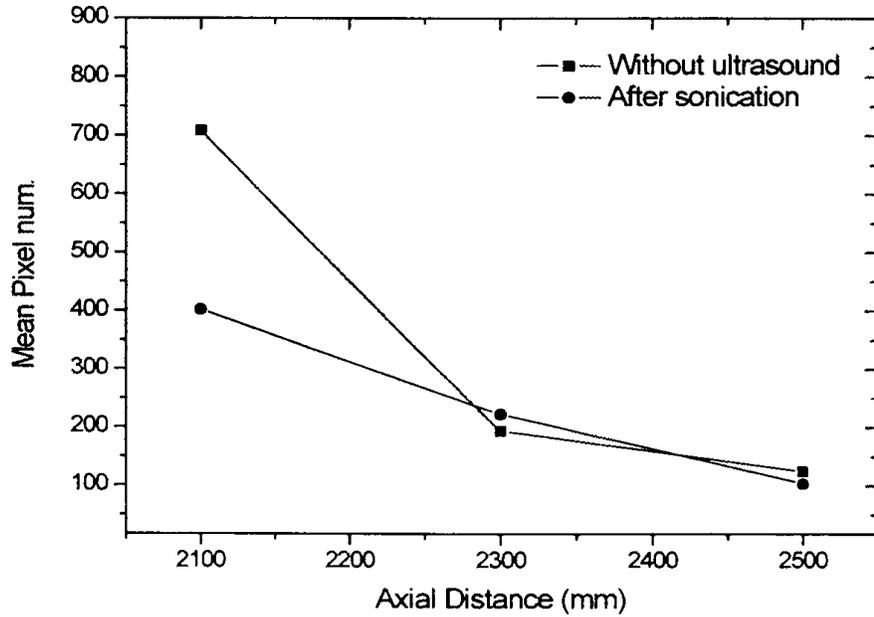


Fig. 153. Comparison of spray droplet numbers according to the axial distance from the nozzle tip.

Table 19. Droplet numbers

Replicati on	2.5 m without ultrasound	2.5 m After sonication	2.3 m without ultrasound	2.3 m After sonication	2.1 m without ultrasound	2.1 m After sonication
1	109	87	168	200	489	623
2	180	44	187	212	309	714
3	58	174	149	129	487	1374
4	79	148	429	172	571	245
5	91	167	181	255	158	589
Average	103.40	124.00	222.80	193.60	402.80	709.00

4. 요약 및 결론

- 1) 축방향거리 2100, 2300, 2500 mm에서 스크린에 부착된 관찰영역내의 전 Pixel수는 축방향 거리가 멀수록 작게 나타났으며, 초음파 가진시의 Pixel수가 초음파 비가진시의 상용분무에 비해 더 우세하게 나타나고 있다. 이는 초음파 가진시에 스크린에 부착되는 전체 액적이 초음파 비가진시인 상용 분무시에 비해 다소 우세함을 의미한다.
- 2) 상용 분무와 초음파 가진 분무의 표준편차 비교에서 초음파 가진 분무때의 표준편차가 전체적으로 상용분무 때보다 작게 나타났으며, 이는 초음파 분무 액적이 상용 분무 시의 액적보다 균일성이 우세함을 의미한다.
- 3) 스크린에 부착된 분무액적의 수의 비교에서 초음파 가진시가 상용 분무때 보다 전체적으로 우세하게 나타나고 있다.

이상의 결론에서 보는 바와 같이 초음파의 분무 액적 미세화에 미치는 영향이 분무 영역의 근거리에서는 뚜렷하게, 원거리에서는 조금 우세하게 나타남으로서, 초음파의 분무 액적 미세화 및 분포 균일의 친화성이 분무 전 영역에 걸쳐 증명되고 있다.

제 3 절 PIV를 이용한 유동특성 조사

1. 서언

본 실험은 2-유체 분무 노즐의 유동특성과 초음파가 분무 유동에 미치는 효과를 조사하기 위해서 2차원 유동장을 동시 다점으로 계측이 가능한 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용하여 4개의 계측영역 별로 측정하였다. 효율적인 설계를 위하여 노즐 주위의 유동특성과 분무형태에 대한 분석이 요구되므로 인해 분무유동의 가시화를 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1) PIV 시스템

분무유동의 원시영상 가시화에는 5W 출력의 Ar-ion Laser를 사용하였고, PIV계측을 위해 구성된 장치들의 동기를 위해 Kanomax사의 PIV Driver를 사용하였다.

광량이 적은 고속 유동장의 측정을 위해 Gated ICCD(Image Intensified CCD Camera, Hamamatsu사, C4273)를 사용하였다. 이 때 계측영역의 최대 크기는 ($H \times V$: 130 mm \times 100 mm)이다.

고속으로 분무된 유동장의 연속적인 계측을 위해 Hi-8mm Camcorder에 원시 영상들을 백업 받고 실험을 진행하였으며 영상의 A/D 변환을 위해서는 Data Translation사의 DT3155 이미지 그래버를 사용하였다. 디지털로 변환된 영상의 속도벡터 추출 알고리즘은 고속 노즐분무 유동장에 많이 적용되고 있는 2프레임 계조치 상호상관법을 적용하여 동일입자 입자추적을 하였다. 속도벡터의 추출은 PTV(Particle Tracking Velocimetry)를 이용하여 적용하는 게 처리속도가 월등히 우수하지만 2유체 분무와 같이 산란입자의 분포가 균일하지 못한 경우와 개별입자 추적이 불가능한 경우에는 2프레임 계조치 상호상관법을 적용하여 속도벡터를 추출하여야 한다. 이러한

경우 PTV 알고리즘으로 입자추적을 할 경우는 어려움이 월등하게 증가하여 입자추적이 불가능하다.

속도벡터의 추출 후 운동에너지, 난류강도, 와도, Reynolds Stress 등을 계산하여 유동구조를 분석하였다.

그림 154은 2-유체 분무노즐의 유동계측을 위한 PIV측정시스템의 전체적인 구조를 나타내며, 그림 155는 노즐의 위치와 계측영역을 도식화하였다.

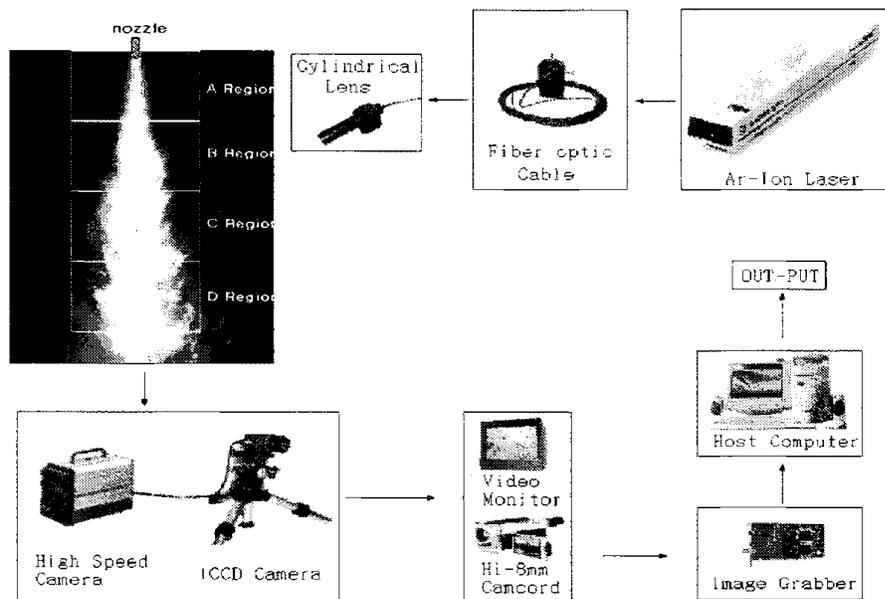


Fig. 154. Arrangement of PIV System.

나. 실험방법

2-유체 분무 노즐의 유동특성과 초음파가 분무 유동에 미치는 효과를 조사하기 위해서 2차원 유동장을 동시 다점으로 계측이 가능한 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용하여 4개의 계측영역 별로 측정하였다. 기존의 PDPA 측정자료를 통하여 특정 위치에서의 정량적인 속도 계측값이 존재하지만 효율적인 설계를 위하여 노즐 주위의 유동특성과 분무형태에 대한 분석이 요구되므로 분무유동의 가시화를 하였다.

2유체 분무유동의 특성상 60 m/s 이상의 고속유동장의 측정을 위해서는 고출력의 레이저 광원과 영상카메라가 필요하다. 하지만 고출력의 레이저 광원은 계측영역의 국부에 온도 상승을 유발하므로 광원의 출력은 낮추고 영상강화를 위한 ICCD(Intensified CCD)카메라를 이용하여 분무 유동장을 측정하였다. 고속유동장의 측정을 위해서는 광원을 pulse형태로 만들어 주어야 하는데 Gated ICCD 카메라에서의 shutter speed는 28 μ s, 42 μ s로 하여 측정하였다.

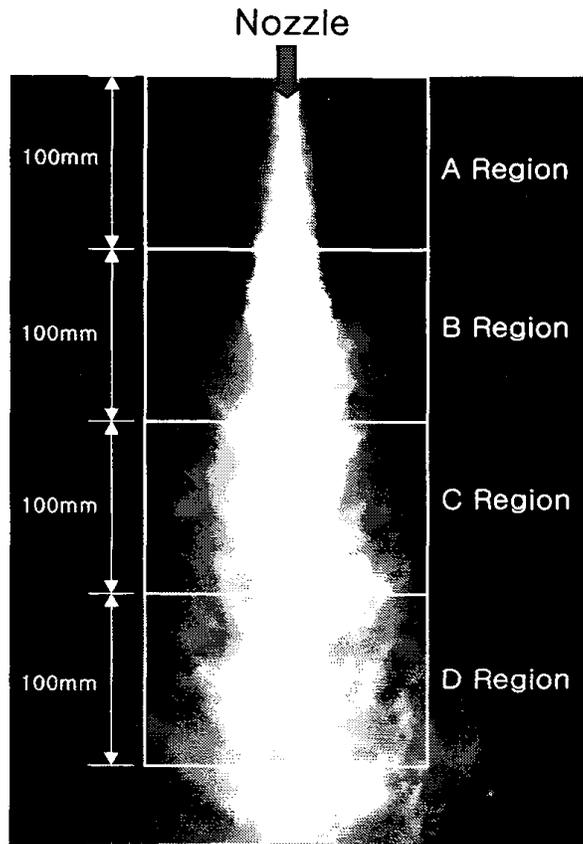


Fig. 155. Definition of measuring region.

본 연구에서는 2-유체 분무노즐에 초음파를 가하는 4가지 형태로서 초음파 비가진 시의 상용분무(Without ultrasound), 분무액체에 초음파 진동을 가하는 개질분무(After sonication), 분무노즐에 초음파 진동을 가하는 간접진동분무(Forcing ultrasonic), 개질분무 및 간접진동분무와 개질분무를 동시에 가하는 겸용분무법(Forcing ultrasonic + sonication)의 4가지 분무방법에 대해서 실험하였고, 초음파의

영향에 의한 분무유동 특성을 비교·검토하였다.

그림 156는 분사압이 294 kPa일 경우의 초음파 비가진시 상용분무 원시영상이다. 풀콘 형상의 유동형태를 잘 나타내고 있으며 외부공기와의 혼합되는 유동특성을 잘 보여주고 있다. 전체 계측영역의 거리는 400 mm이다. 아래 그림은 영상강화 CCD(Intensified CCD Camera)를 이용하여 Shutter Speed 300 μ s인 경우의 원시영상이다.

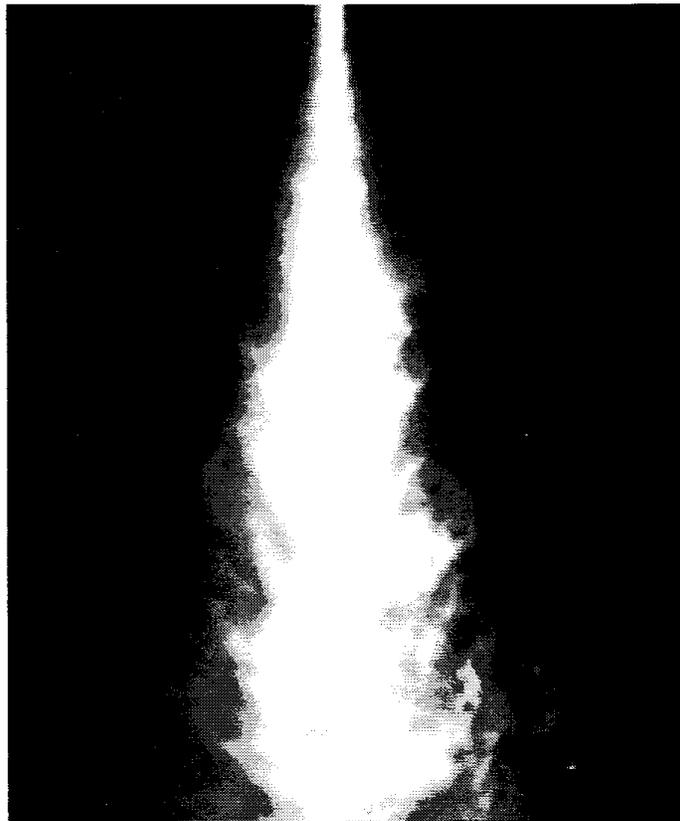


Fig. 156. Instantaneous raw image.

(length 400 mm, Conventional Spray, Pressure : 294 kPa)

그림 157은 분무유동의 중심축을 관통하는 2차원 레이저 시트광을 위한 레이저와 광학장치들의 사진이다. 분무유동의 3차원성분을 최대한으로 배제하기 위해 1 mm의 평면 시트광을 만들 수 있는 광학계를 구성하였다. 레이저 광원에 의한 유동의 2차원 성분이 가시화되고 ICCD카메라와 PIV Driver의 제어를 통해서 고속의 유동이 저장된다.

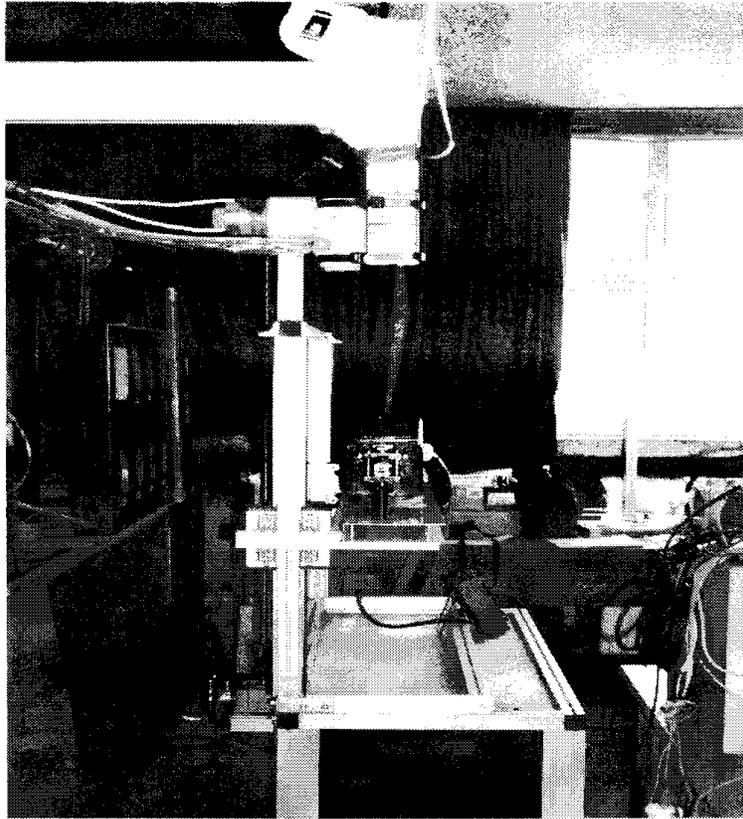


Fig. 157. Photo of the experimental apparatus for laser alignment.

그림 158, 159, 160는 영상획득 장비와 영상획득 후 후처리에 사용되는 장비들의 사진을 보여준다. 영상의 A/D변환을 위해 2 Frame-Grey Level Cross Correlation Algorithm을 적용하여 입자를 추적하고 있다. 영상의 A/D 변환을 위해서는 Data Translation사의 DT3155 8bit image grabber를 사용하였다. 그림 39는 분무유동의 가시화를 잘 보여준다. 그림 40은 분무노즐에 초음파 진동자의 부착을 보여준다. 그림 37은 고속의 유동장과 산란입자의 구분이 명확하지 않는 경우에 주로 사용되며 본 연구에서 사용된 ICCD 카메라의 실제 사진이다. Zoom lens뒤에 광량증폭기가 부착되어 광량이 부족한 경우에도 영상획득이 가능하다.

그림 40는 PZT BLT 초음파 진동자를 부착한 2-유체 분무노즐을 나타낸다.

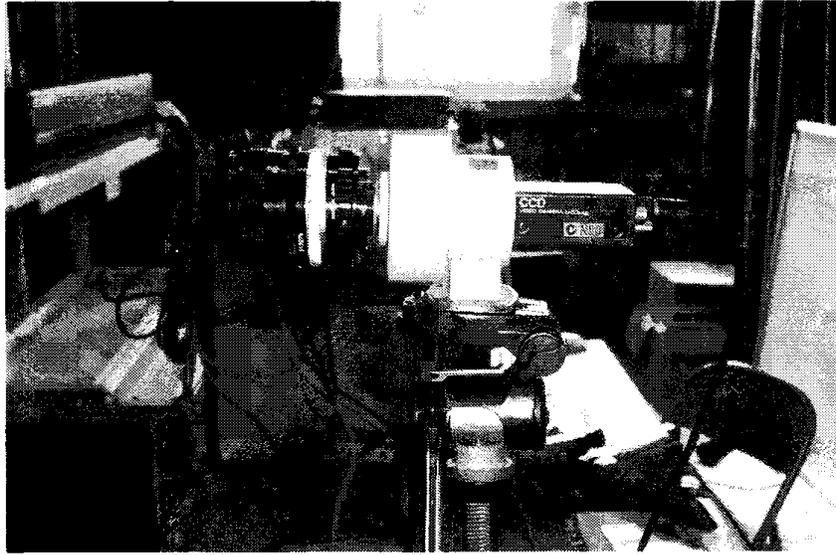


Fig. 158. Photo of the experimental apparatus(Flow Visualization 1).

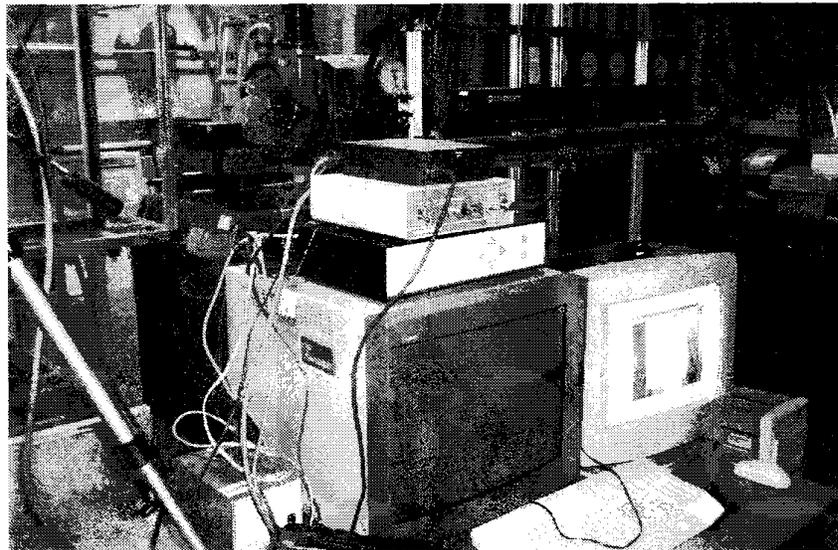


Fig. 159. Photo of the experimental apparatus for image processing

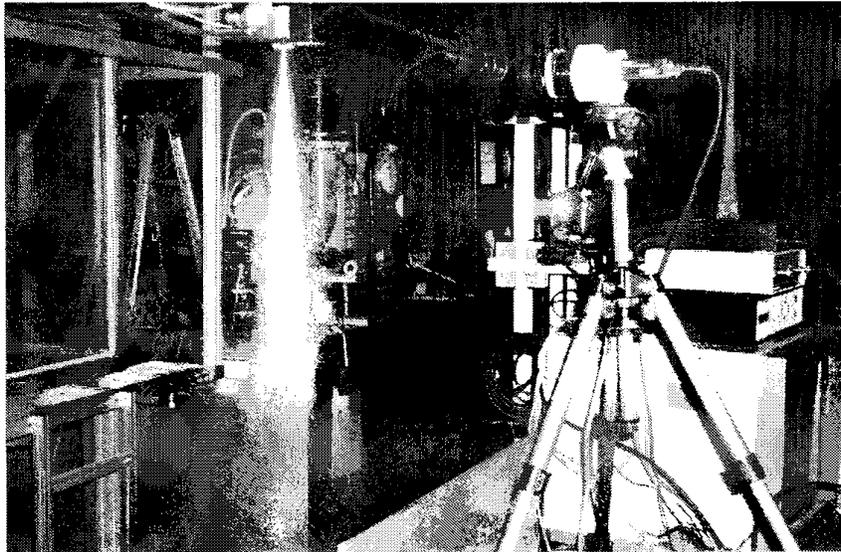


Fig. 160. Photo of the experimental apparatus(Flow Visualization 2)

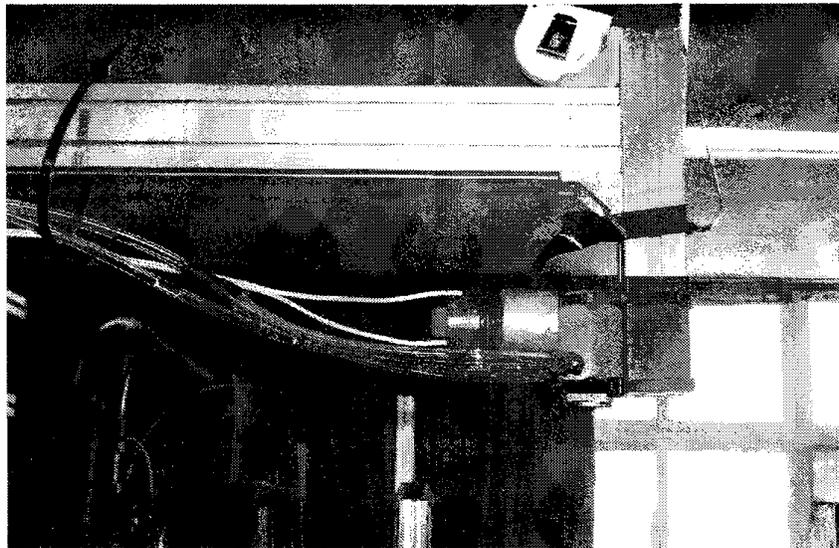


Fig. 161. Photo of the twin-fluid nozzle attached with vibrator for forcing ultrasonic vibrations.

3. 실험결과

그림 162는 노즐 출구에서 급격한 압력의 차이로 주위의 공기가 유입되는 유동구조와 노즐 출구에서 약 100 mm부근에 vena contracta현상에 따른 속도증가의 구배를 보여준다. 계측영역 A, B에서 vena contracta의 영향으로 인하여 속도가 순간적으로 증가하는 경향을 보였고, 분사압력의 증가에 따라 포텐셜 코어의 형상은 바뀌게 된다.

이러한 경향으로, 분무노즐로부터 분사된 유동장은 고속의 난류유동이며, 노즐의 출구에서 속도는 균일한 특성을 가진다. 그 이유는 제트의 출구에서부터 멀어질수록 제트와 주위와의 운동량교환으로 제트의 자유경계층은 확대되고 그 속에서 균일한 출구속도가 유지되는 포텐셜 코어가 축소되기 때문이다.

그림 162는 분사압이 294 kPa일때 초음파 비가진시 시간평균속도벡터이고 계측영역의 전체 길이는 400 mm이다. 이 때 최고속도가 되는 vena contracta부위의 속도는 약 65 %로 계측되었다. 노즐분무의 유동특성이 난류이므로 시간평균의 속도평균값은 순시의 속도분포보다 작게 측정되었다. 즉 PDPA속도측정값과의 오차는 시간평균을 함으로써 생기는 확률적 오차이다.

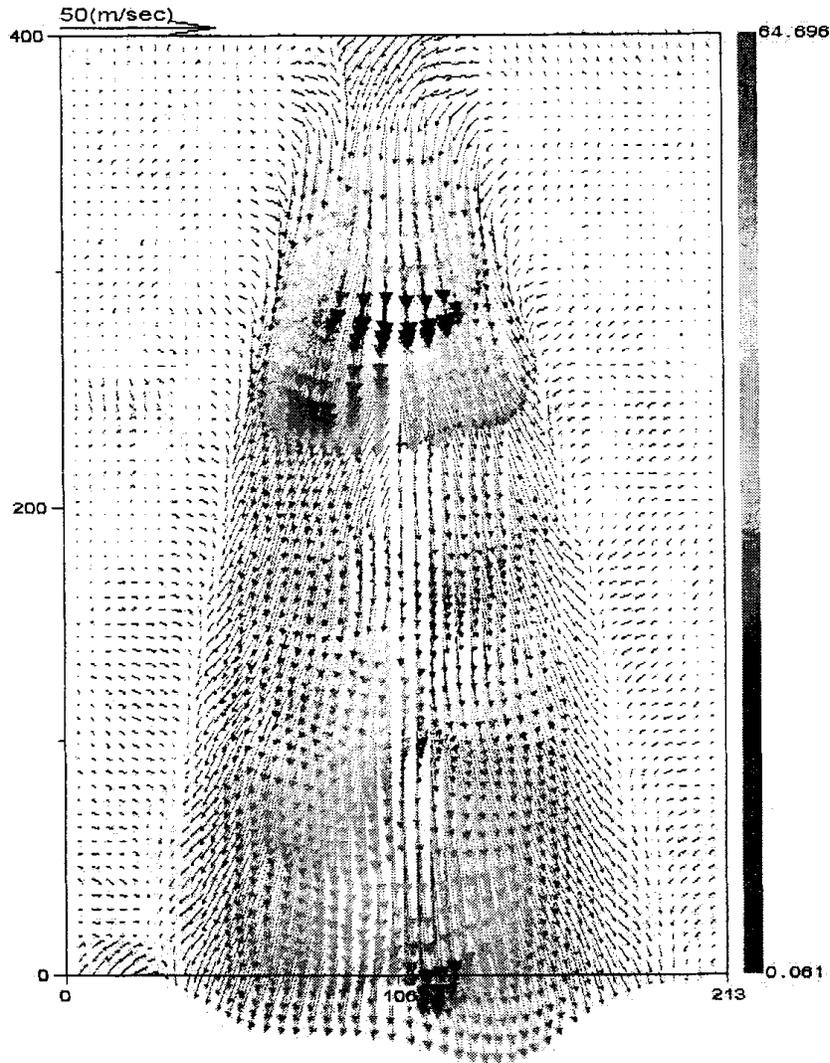


Fig. 162. Time-mean velocity vector distribution.
 (Length : 400 mm, Without ultrasound, Pressure : 294 kPa)

그림 163은 상용분무일 때 시간평균 속도 프로파일을 보여준다. 노즐 출구로부터 약 100 mm부근에서 속도구배가 급격히 증가하는 vena contracta현상, 압력구배에 따른 entrainment 유동 특성, 포텐셜코어의 경계선도 관찰할 수 있다.

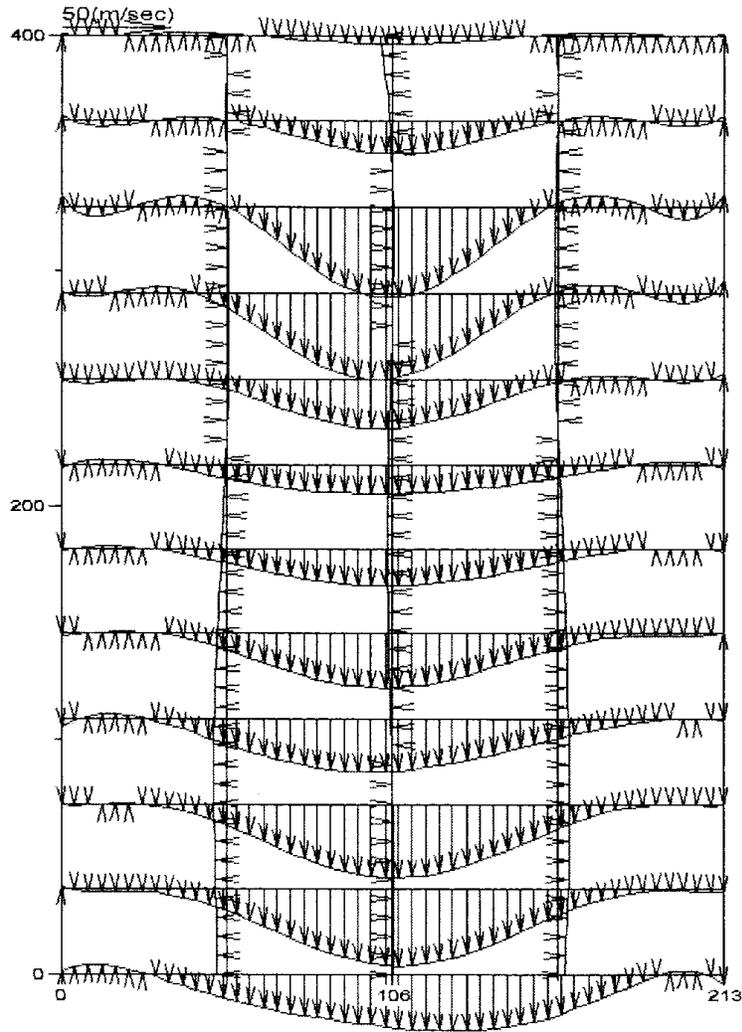


Fig. 163. Time-mean velocity profile.

(Length : 400 mm, Without ultrasound, Pressure : 294 kPa)

그림 164는 ICCD로 계측된 원시영상과 상기 그림 42의 시간평균속도벡터의 조합으로 노즐분무형상의 가시화와 속도벡터의 추출을 확연하게 보여준다.

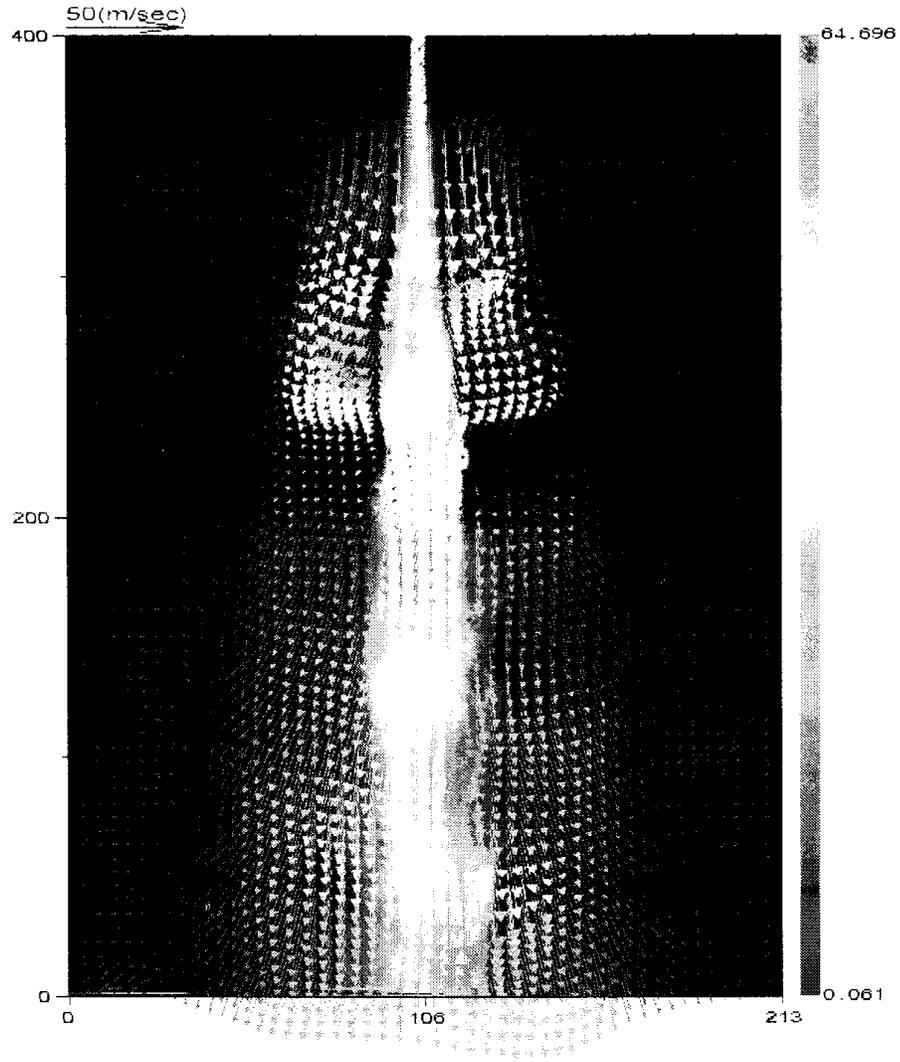


Fig. 164. Time-mean velocity vector distribution with raw image.
 (Length : 400 mm, Without ultrasound, Pressure : 294 kPa)

그림 165는 ICCD로 계측된 원시영상과 상기 그림 163의 시간평균속도프로파일의 조합으로 노즐분무형상의 가시화와 상기의 여러 현상들을 동시에 관찰할 수 있다.

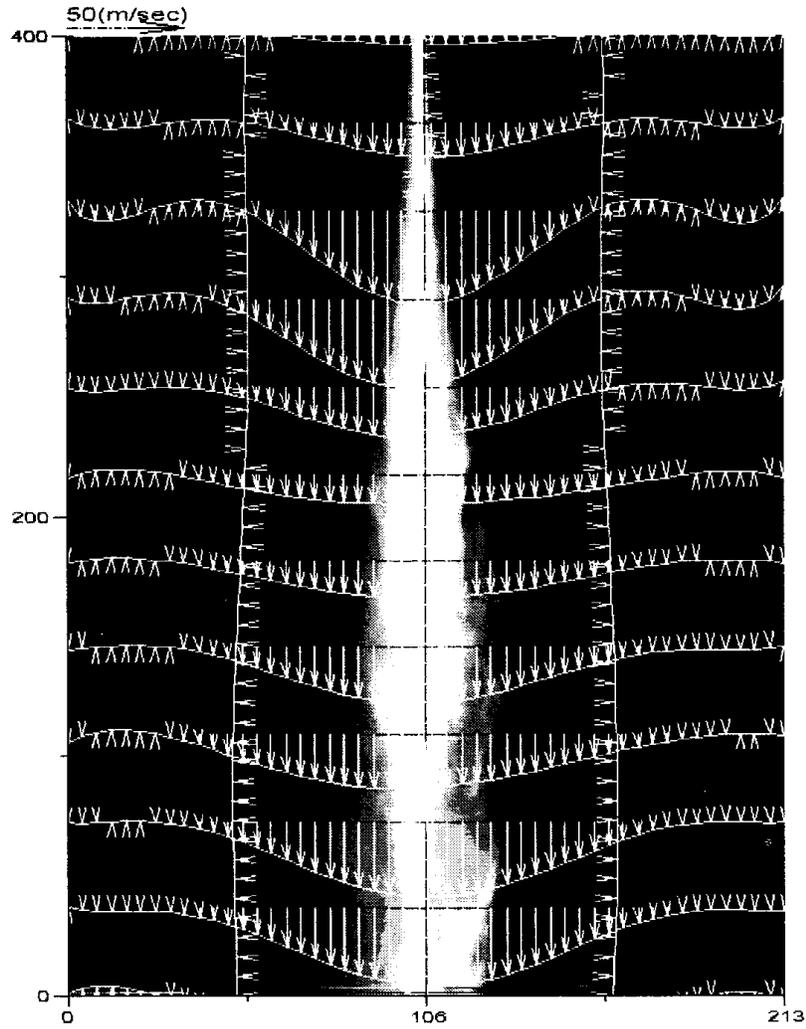


Fig. 165. Time-mean velocity profile with raw image.
 (Length : 400 mm, Without ultrasound, Pressure : 294 kPa)

그림 166와 그림 167은 상용분무시 분무노즐의 팁에서부터 400 mm 영역까지의 순간 속도장과 시간평균속도장이다. 순간속도장인 그림 167은 큰 와류의 구조로 속도구배가 축방향을 기준으로 서로 엇갈리게 분포되어 있으며, 주기에 따른 유동구조의 변화를 관측할 수 있다.

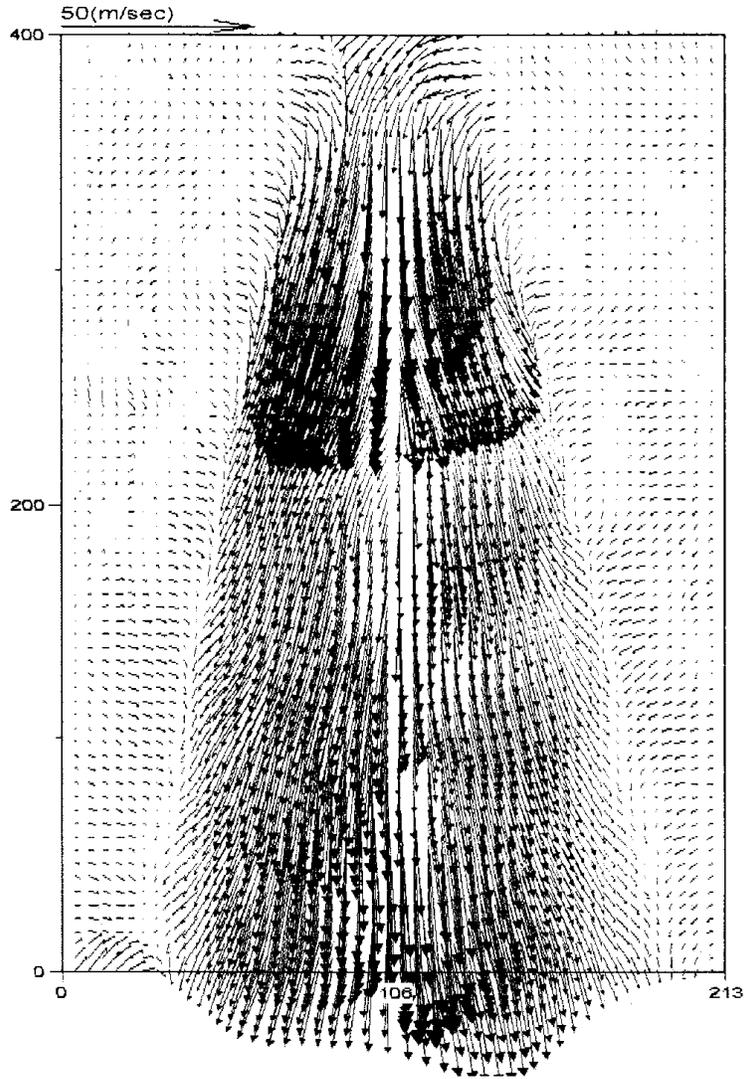


Fig. 166. Time-mean velocity vector distribution. (Without ultrasound)

400장의 순간속도장을 시간평균한 그림 166는 전반적인 유동특성을 잘 나타내고 있다.

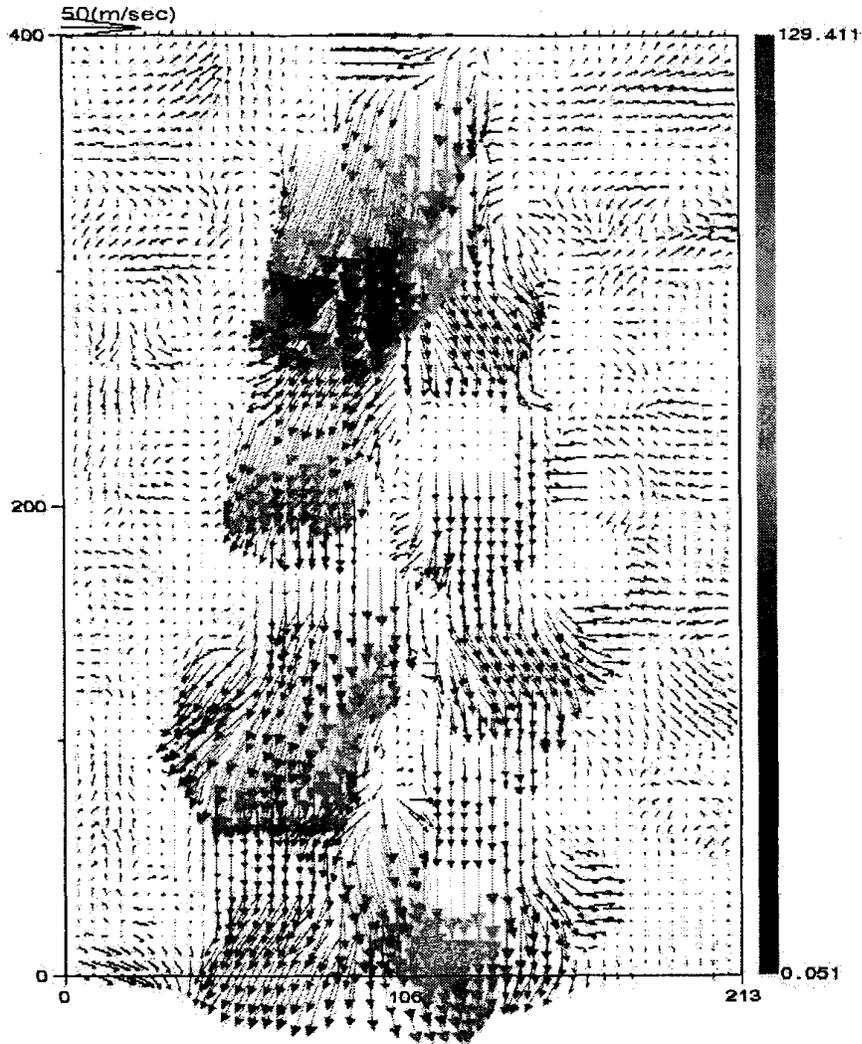


Fig. 167. Instantaneous velocity vector distribution(Without ultrasound)

그림 168, 169, 170, 171, 172는 초음파 가진의 유무와 적용방법에 따라서 5단계의 분사압력에 대한 PIV속도장의 최대값을 나타낸다. 순간속도장을 시간평균하여 최대 속도값을 비교하였는데 노즐팁으로부터 거리가 멀어질수록 속도가 감소하는 경향은 전반적으로 우세하며, 초음파 가진의 유무에 따라 최대속도값은 확연한 차이를 보이지 않는다. 분사압력 98 kPa일 경우에 초음파의 효과가 우세함을 보여주고 있다.

최대속도값의 분포는 상용분무>노즐진동>개질법>‘노즐진동+개질법’의 순으로 나타나고 있는데 속도와 입경은 상관관계에 있으므로 저 유량, 저압분무에서는 초음파의 효과가 지배적임을 알 수 있다. 따라서 고유량, 고압분무에서 초음파의 효율적인 적용에는 고출력의 초음파가 요구된다.

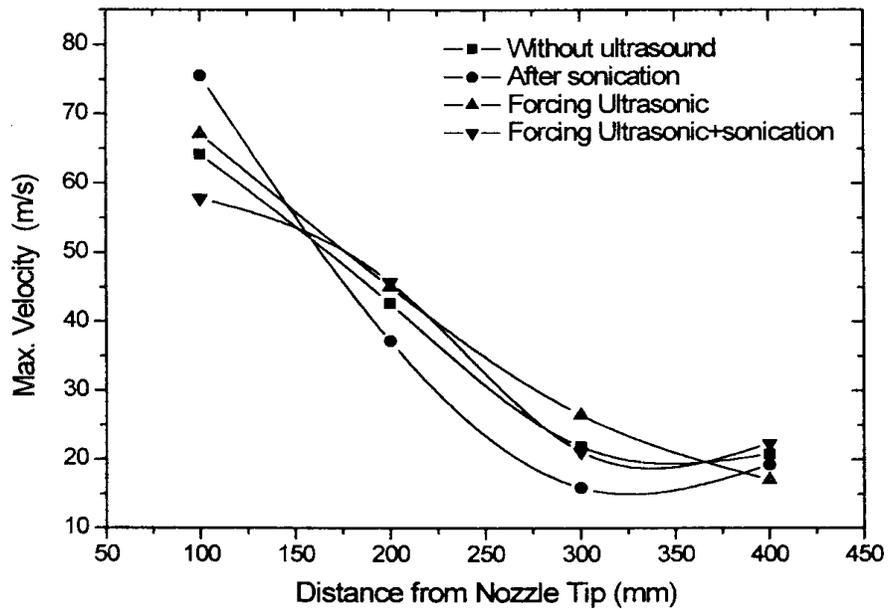


Fig. 168. Comparison of maximum velocity according to the sonication type along the axial distance(Pressure : 294 kPa)

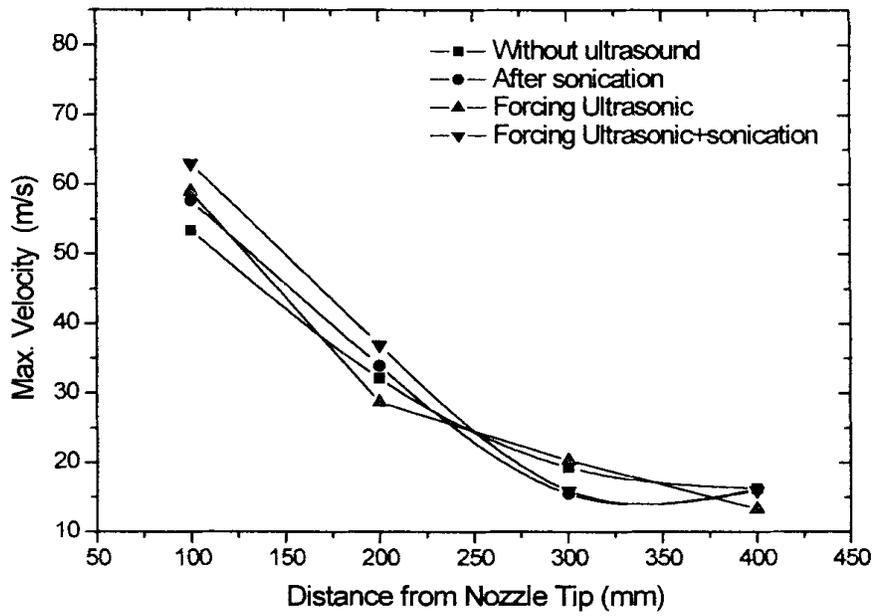


Fig. 169. Comparison of maximum velocity according to the sonication type along the axial distance (Pressure : 245 kPa)

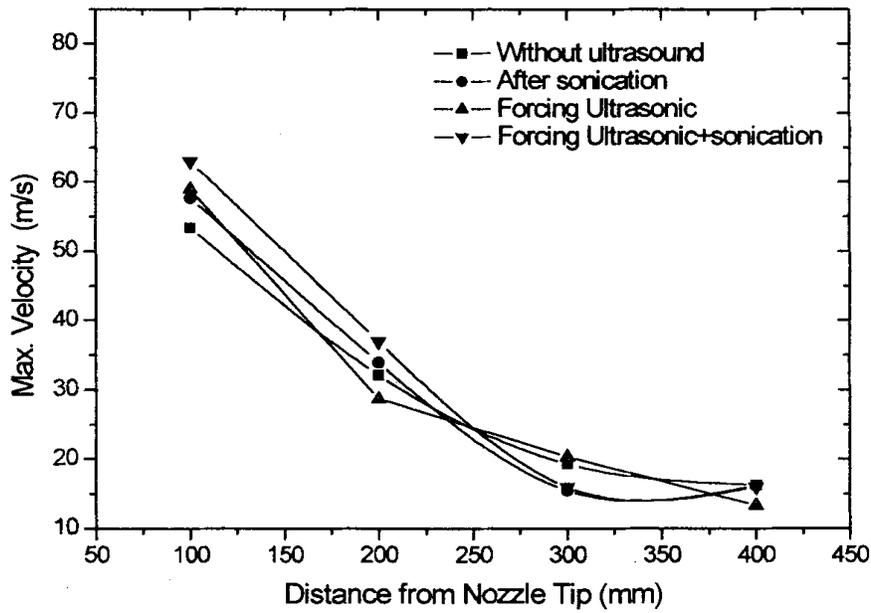


Fig. 170. Comparison of maximum velocity according to the sonication type along the axial distance (Pressure : 196 kPa)

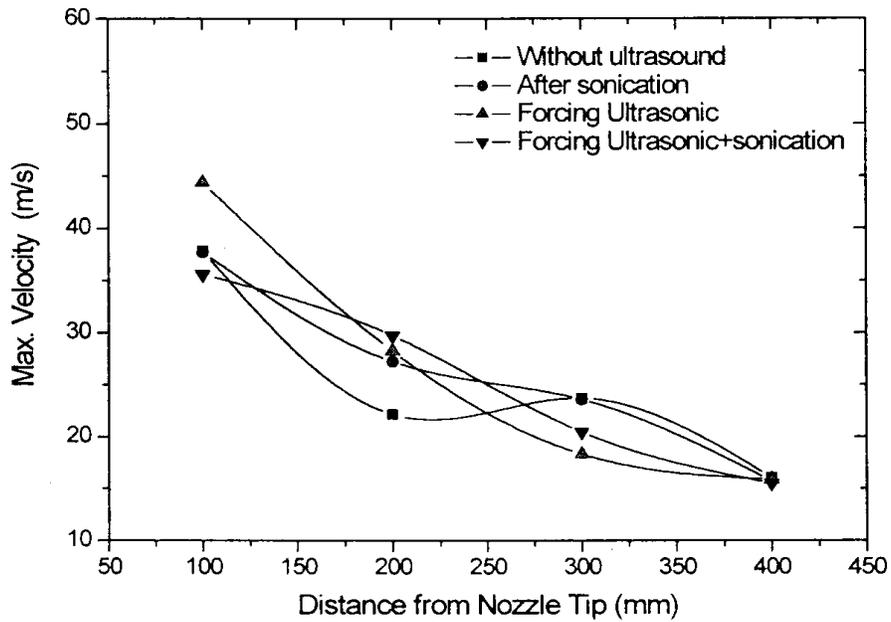


Fig. 171. Comparison of maximum velocity according to the sonication type along the axial distance (Pressure : 147 kPa)

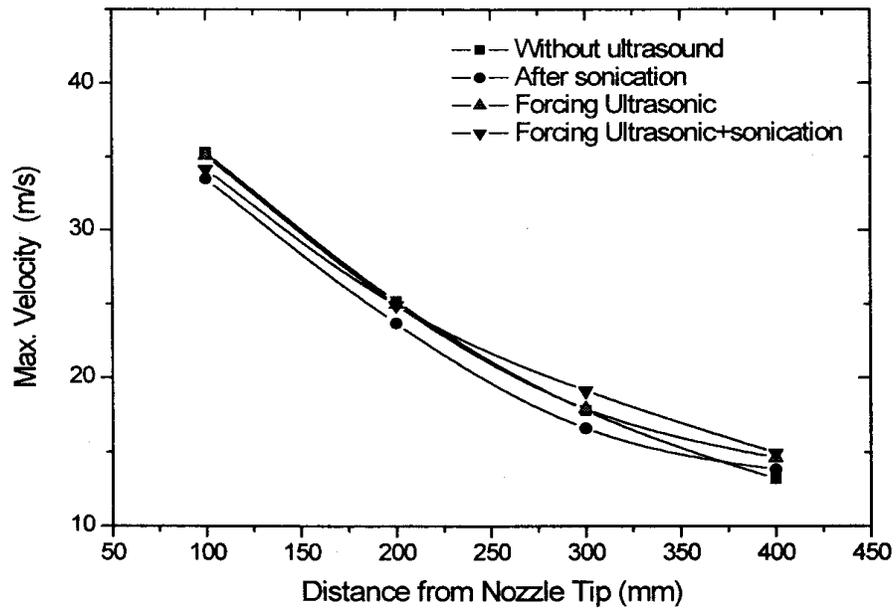


Fig. 172. Comparison of maximum velocity according to the sonication type along the axial distance (Pressure : 98 kPa)

그림 173는 분사압이 294 kPa일 경우의 PIV속도측정값으로 계산된 평균운동에너지 선도, 그림 174은 X방향의 평균 Re응력선도, 그림 175는 XY방향의 평균 Re응력선도, 그림 176는 Y방향의 평균 Re응력선도, 그림 177은 평균난류강도선도, 그림 178은 평균와도선도, 그림 179은 평균난류운동에너지 선도이다. 평균운동에너지선도는 시간평균 속도구배와 동일한 경향을 보이며, 유동 형태를 잘 나타내고 있다. 그림 174, 175, 176의 Re응력선도를 통해 2유체 분무의 외부와의 전단혼합의 구조를 잘 나타내고 있다. 그림 177의 시간평균 난류강도를 통해 분무주위의 난류유동 구조를 파악할 수 있으며 전단혼합의 영향을 잘 나타낸다. 그림 178의 시간평균와도는 분무유동의 와(渦) 구조를 잘 나타낸다. 그림 179의 시간평균난류운동에너지 역시 분무유동의 구조를 잘 보여주고 있다.

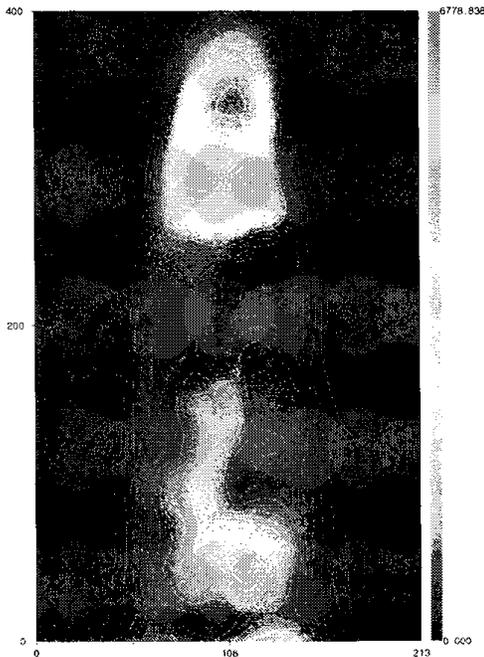


Fig. 173. Averaged kinetic energy.



Fig. 174. Averaged X-Re. stress.

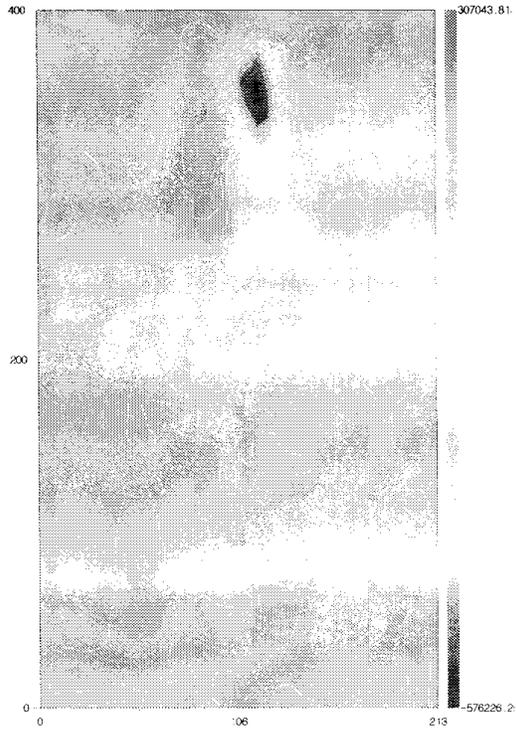


Fig. 175. Averaged XY-Re. stress.

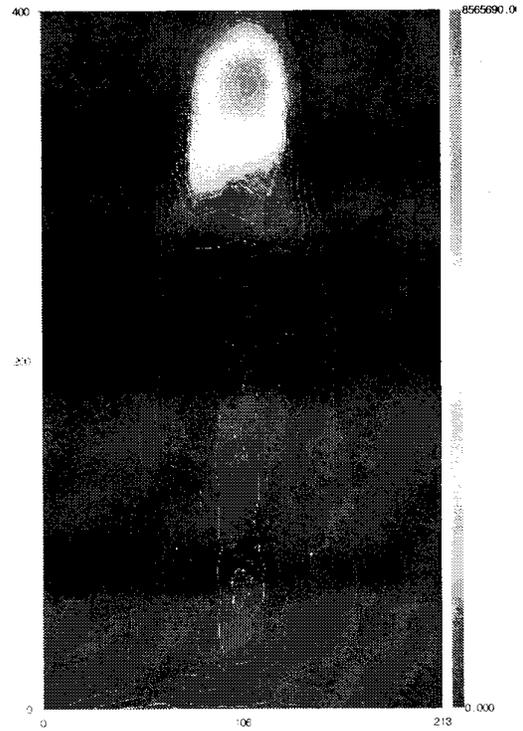


Fig. 176. Averaged Y-Re. stress.

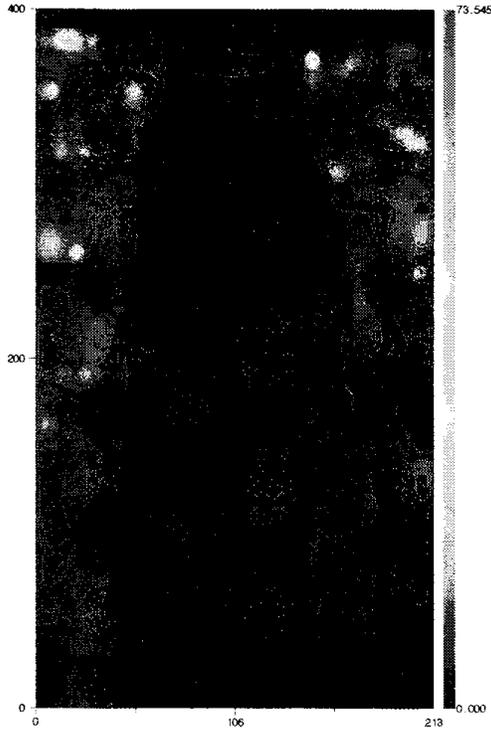


Fig. 177. Averaged turbulence intensity.

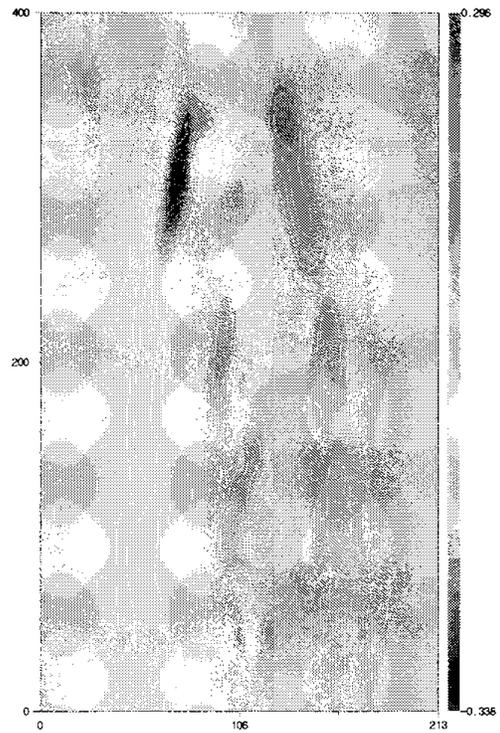


Fig. 178. Averaged vorticity

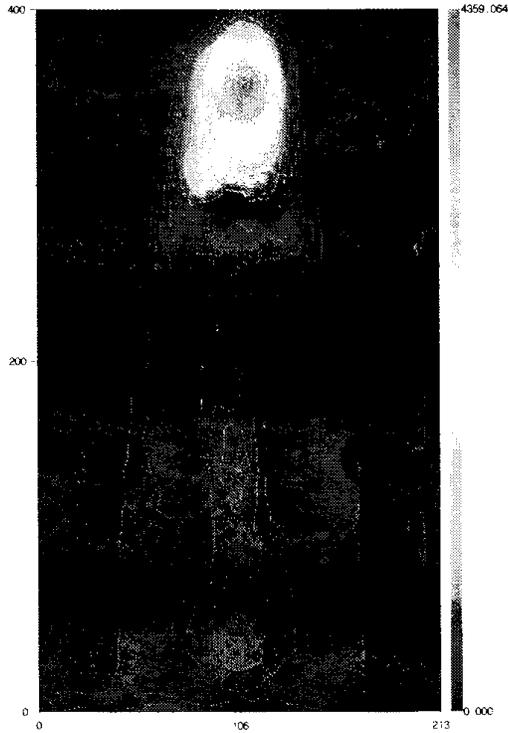


Fig. 179. Averaged turbulent kinetic energy.

그림 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186에는 2차원 등고선도 값을 더욱 가시적인 3차원 plot으로 표현하였다. 모두 상기한 바와 같이 분무유동의 구조를 잘 나타낸다.

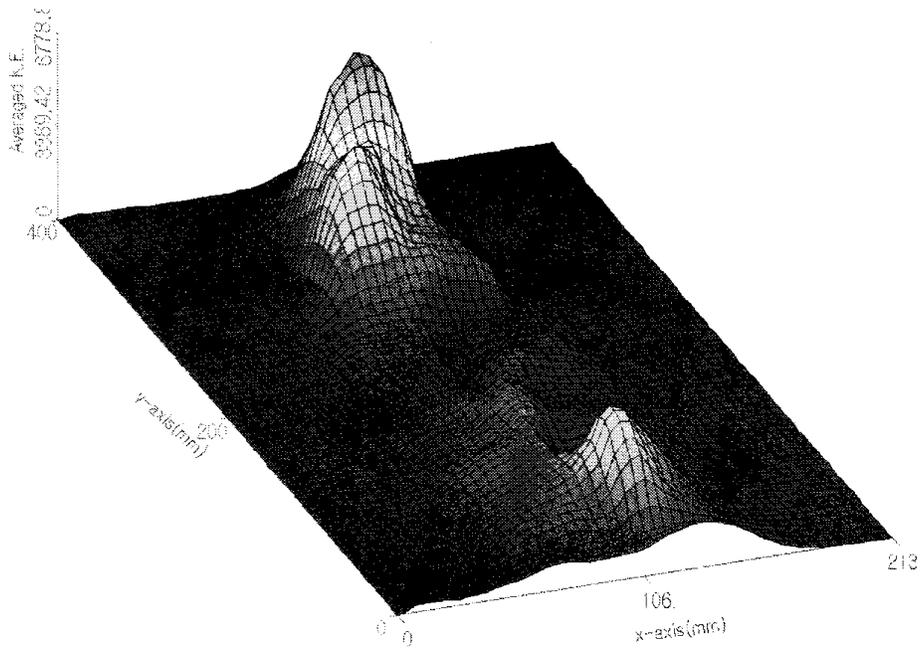


Fig. 180. Averaged kinetic energy.

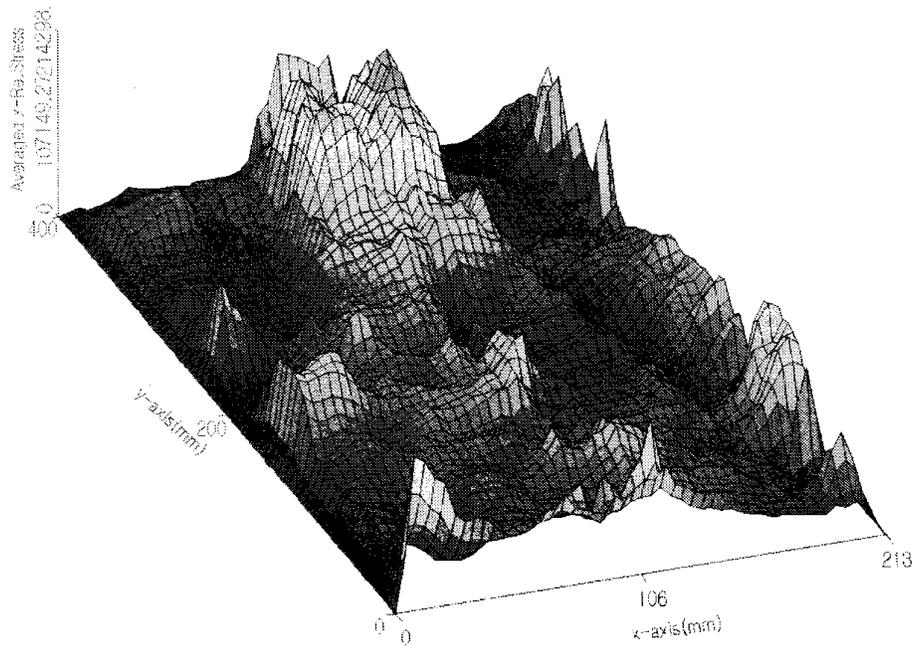


Fig. 181. Averaged X-Reynolds stress.

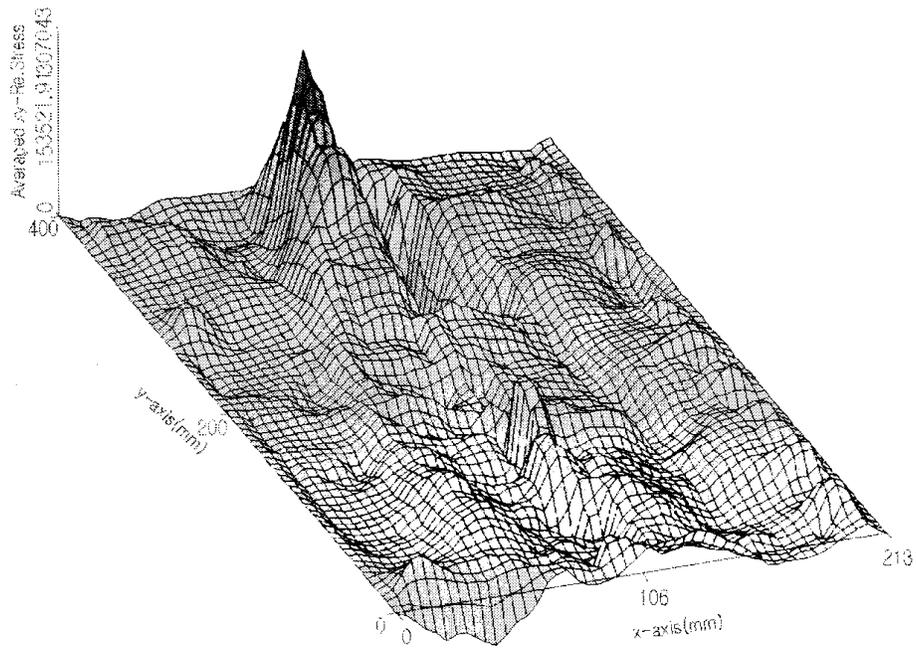


Fig. 182. Averaged XY-Reynolds stress.

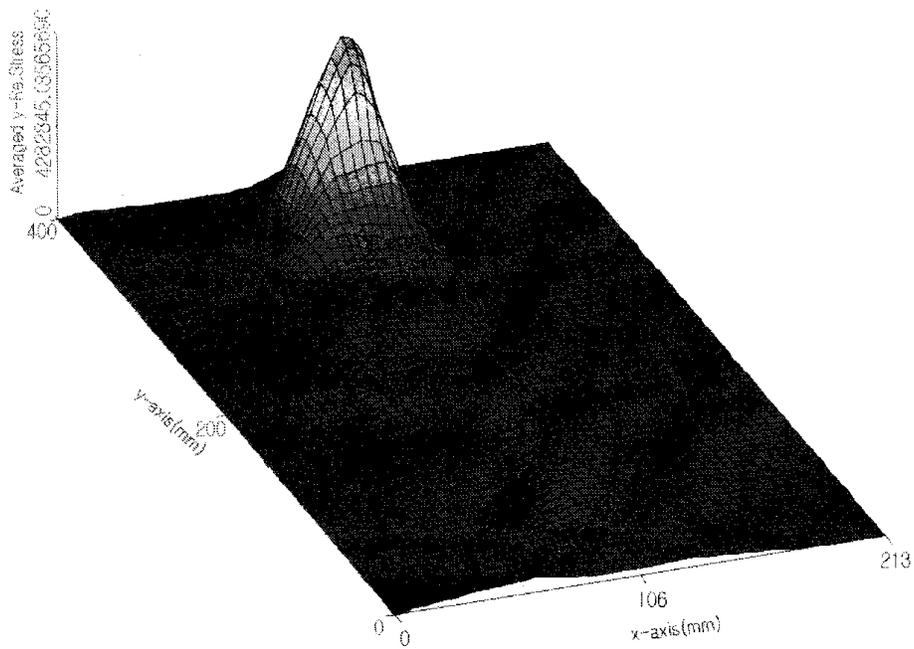


Fig. 183. Averaged Y-Reynolds stress.

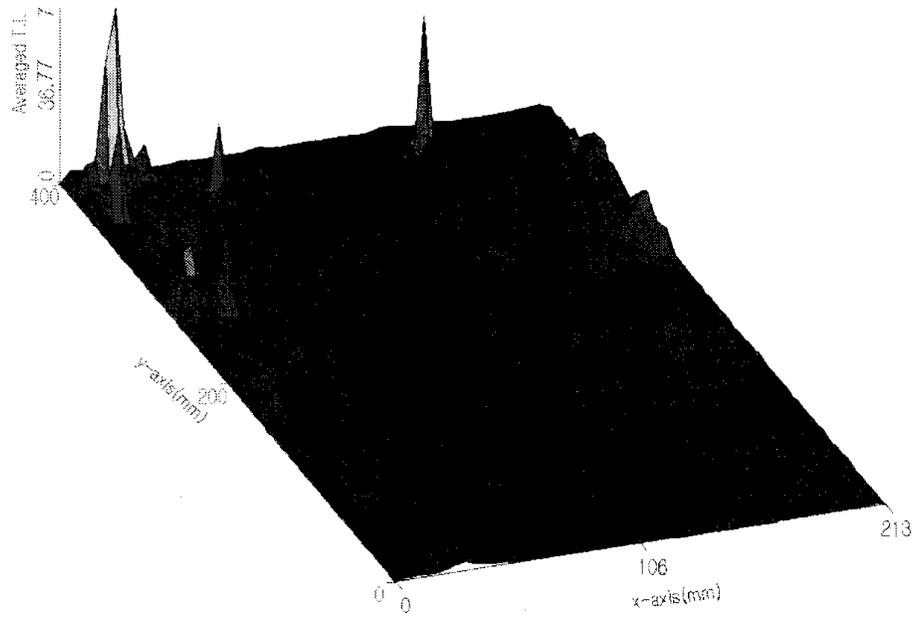


Fig. 184. Averaged turbulence intensity.

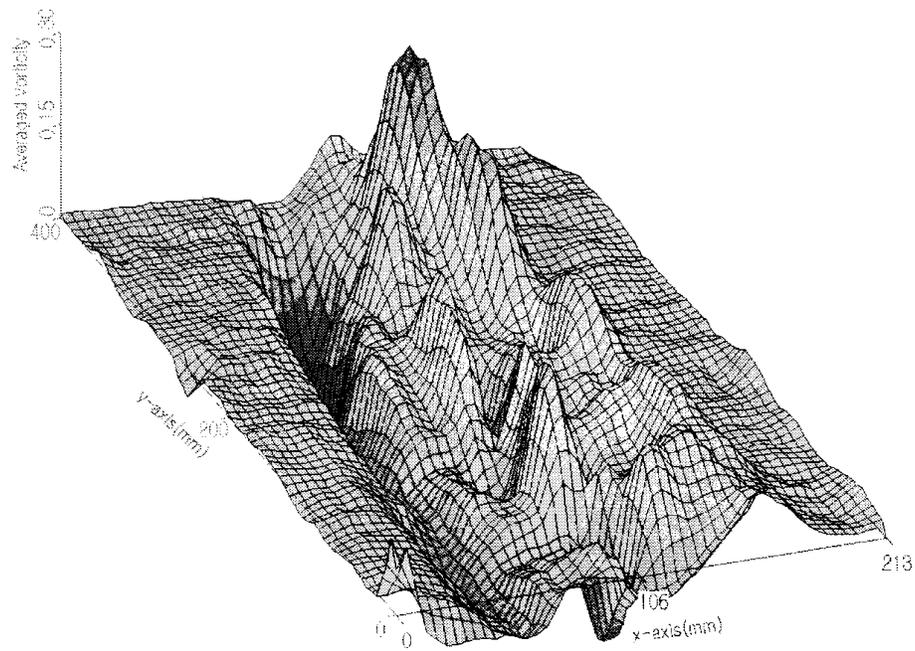


Fig. 185. Averaged vorticity.

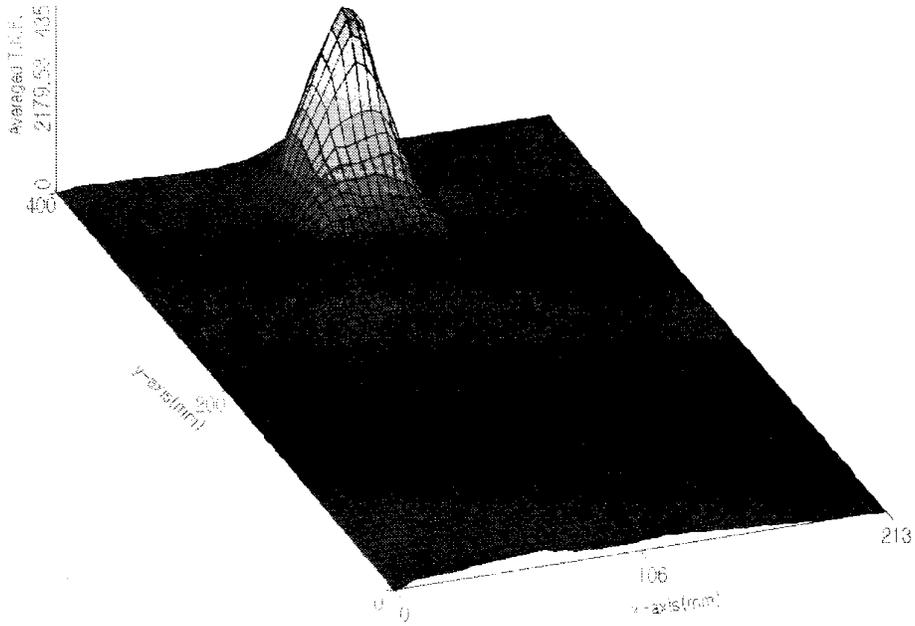


Fig. 186. Averaged turbulence kinetic energy.

표 20, 21, 22는 4가지 초음파 적용의 방법과 5가지 분사압력의 차이에 따른 4개의 영역에서의 최대속도이다.

Table 20. Max. velocity of PIV measurement - Part 1

Case	Distance (mm)	Pressure (kPa)	Sonication type	Temp.(℃)	Max. velocity(m/s)
1	0~100	294	Without ultrasound	22	64.157
2	0~100	294	After sonication	23.5	75.550
3	0~100	294	Forcing ultrasonic	23	67.120
4	0~100	294	Forcing Ult.+Son.	23~24	57.808
5	0~100	245	Without ultrasound	22	62.672
6	0~100	245	After sonication	22.5~24	67.608
7	0~100	245	Forcing ultrasonic	23	53.681
8	0~100	245	Forcing Ult.+Son.	25	53.247
9	0~100	196	Without ultrasound	24	53.441
10	0~100	196	After sonication	25	57.722
11	0~100	196	Forcing ultrasonic	24	59.012
12	0~100	196	Forcing Ult.+Son.	26	63.028
13	0~100	196	Without ultrasound	24.5	37.854
14	0~100	196	After sonication	25	37.705
15	0~100	196	Forcing ultrasonic	24.5	44.408
16	0~100	196	Forcing Ult.+Son.	26	35.609
17	0~100	98	Without ultrasound	25	35.318
18	0~100	98	After sonication	26	33.502
19	0~100	98	Forcing ultrasonic	24	35.108
20	0~100	98	Forcing Ult.+Son.	25	34.177
21	100~200	294	Without ultrasound	23.5	42.674
22	100~200	294	After sonication	25.5	37.226
23	100~200	294	Forcing ultrasonic	23	45.068
24	100~200	294	Forcing Ult.+Son.	23	45.767
25	100~200	245	Without ultrasound	25	34.503
26	100~200	245	After sonication	26	42.194
27	100~200	245	Forcing ultrasonic	24	33.658
28	100~200	245	Forcing Ult.+Son.	26	39.690
29	100~200	196	Without ultrasound	25	32.150
30	100~200	196	After sonication	25	33.940

Table 21. Max. velocity of PIV measurement - Part 2

Case	Distance (mm)	Pressure (kPa)	Sonication type	Temp.(°C)	Max. velocity(m/s)
31	100~200	196	Forcing ultrasonic	25	28.720
32	100~200	196	Forcing Ult.+Son.	27	36.958
33	100~200	196	Without ultrasound	24.5	22.158
34	100~200	196	After sonication	25	27.255
35	100~200	196	Forcing ultrasonic	24	28.379
36	100~200	196	Forcing Ult.+Son.	25	29.741
37	100~200	98	Without ultrasound	24	25.221
38	100~200	98	After sonication	24.5	23.720
39	100~200	98	Forcing ultrasonic	26	24.994
40	100~200	98	Forcing Ult.+Son.	27	24.962
41	200~300	294	Without ultrasound	23	21.878
42	200~300	294	After sonication	24.5	15.927
43	200~300	294	Forcing ultrasonic	23	26.510
44	200~300	294	Forcing Ult.+Son.	25	21.192
45	200~300	245	Without ultrasound	24	21.585
46	200~300	245	After sonication	24	24.885
47	200~300	245	Forcing ultrasonic	25	22.220
48	200~300	245	Forcing Ult.+Son.	25	19.773
49	200~300	196	Without ultrasound	24	19.351
50	200~300	196	After sonication	26	15.535
51	200~300	196	Forcing ultrasonic	23.5	20.354
52	200~300	196	Forcing Ult.+Son.	25.5	16.020
53	200~300	196	Without ultrasound	24	23.701
54	200~300	196	After sonication	26	23.587
55	200~300	196	Forcing ultrasonic	24	18.332
56	200~300	196	Forcing Ult.+Son.	25	20.467
57	200~300	98	Without ultrasound	27	17.815
58	200~300	98	After sonication	24	16.617
59	200~300	98	Forcing ultrasonic	24	17.912
60	200~300	98	Forcing Ult.+Son.	24	19.139

Table 22. Max. velocity of PIV measurement - Part 3

Case	Distance (mm)	Pressure (kPa)	Sonication type	Temp.(°C)	Max. velocity(m/s)
61	300~400	294	Without ultrasound	23	20.797
62	300~400	294	After sonication	24	19.240
63	300~400	294	Forcing ultrasonic	23	17.057
64	300~400	294	Forcing Ult.+Son.	24	22.390
65	300~400	245	Without ultrasound	23	20.282
66	300~400	245	After sonication	23	18.702
67	300~400	245	Forcing ultrasonic	22.5	15.632
68	300~400	245	Forcing Ult.+Son.	23	17.409
69	300~400	196	Without ultrasound	25	16.328
70	300~400	196	After sonication	24.5	16.245
71	300~400	196	Forcing ultrasonic	23	13.318
72	300~400	196	Forcing Ult.+Son.	23	16.057
73	300~400	196	Without ultrasound	23	16.039
74	300~400	196	After sonication	24.5	15.691
75	300~400	196	Forcing ultrasonic	25.5	15.879
76	300~400	196	Forcing Ult.+Son.	25	15.504
77	300~400	98	Without ultrasound	24.5	13.203
78	300~400	98	After sonication	24.5	13.835
79	300~400	98	Forcing ultrasonic	24.5	14.630
80	300~400	98	Forcing Ult.+Son.	25	14.954
full	0~500	294	Without ultrasound	25	63.151

4. 요약 및 결론

농약 분무용 상용 2-유체노즐에 초음파를 적용하여 분무 미립화 효율향상을 위한 PIV측정을 영역별로 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 노즐 출구에서 급격한 압력의 차이로 주위의 공기가 유입되는 유동구조와 노즐 출구에서 약 100 mm 부근에 vena contracta현상에 따른 속도증가의 구배를 계측하였다. 계측영역 A, B에서 vena contracta의 영향으로 인하여 속도가 순간적으로 증가하는 경향을 보였다. 계측의 결과로부터 분무유동장을 해석하면 분사압력의 증가에 따라 포텐셜 코어의 형상은 상이하다. 이러한 경향으로, 분무노즐로부터 유동이 없는 정지된 주위로 분출될 때 제트는 난류유동이며, 노즐의 출구에서 속도는 균일한 특성을 가진다.
- 2) 분사압이 294 kPa일 때 초음파 비가진시 시간평균속도벡터에서 최고속도가 되는 vena contracta부위의 속도는 약 65 m/s로 계측되었다. 노즐분무의 유동특성이 난류이므로 시간평균의 속도평균값은 순시의 속도분포보다 작게 측정되었다. 노즐출구로부터 약 100 mm 부근에서 속도구배가 급격히 증가하는 vena contracta현상, 압력구배에 따른 entrainment되는 유동특성, 포텐셜 코어의 경계도 관찰되었다.
- 3) 초음파 가진의 유무와 적용방법에 따라서 5단계의 분사압력에 대한 PIV속도장을 4개의 계측영역에서 측정하였다. 순간 속도장을 시간 평균하여 최대 속도값을 비교하였는데 노즐팁 으로부터 거리가 멀어질수록 속도가 감소하는 경향은 전반적으로 우세하며, 초음파 가진의 유무에 따라 최대 속도 값은 확연한 차이를 보이지는 않았으나 분사압력 98 kPa일 경우에 초음파의 효과가 우세하였다. 최대 속도값의 분포는 상용분무>노즐진동>개질법>'노즐진동+개질법' 순으로 나타나고 있는데 속도와 입경은 상관관계에 있으므로 저유량, 저압분무에서는 초음파의 효과가 지배적임을 알 수 있다. 따라서 고유량, 고압분무에서 초음파의 효율적인 적용에는 고출력의 초음파가 요구된다.

**제 6 장 상온 연무기용 초음파노즐과 분무특성
및 발진회로 설계**

제 1 절 2-유체 초음파노즐 설계 및 유동특성

1. 서언

전장의 초음파의 영향에 의한 분무특성 비교실험의 결과를 기초로 하여 상온 연무 기용 2-유체노즐에 초음파 진동자 및 진동의 증폭부인 혼(horn)을 조합하여 2-유체 초음파노즐 2종을 설계하여 각각 초음파 가진시와 비가진시의 분무입경을 분무입경 측정장치를 통해 측정하여 초음파 작용에 의한 균일, 미립화의 특성을 노즐별로 비교하여 최적 초음파 적용 노즐을 선정하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1) 실험용 노즐

그림 187에는 설계 노즐 1번을 나타내었는데 이 노즐은 분무액체가 혼의 중심부를 따라 흐르며 2-유체 노즐의 팁부분에 해당하는 진동자의 끝단에서 최고의 공진을 받아 배출되고 다시 공기와 충돌하여 분무입자를 형성하는 외부혼합형 2-유체 노즐형상으로 제작되었다. 초음파를 발생하는 초음파 진동자가 혼의 뒷면에 체결되도록 설계하였으며, 2-유체 노즐형상을 가진 초음파 혼(horn)으로 구성되어 있다. 분무액체가 혼의 중심부를 통하는 동안 초음파의 기계적인 진동과 함께 분무액체가 개질되는 구조로 설계되었다.

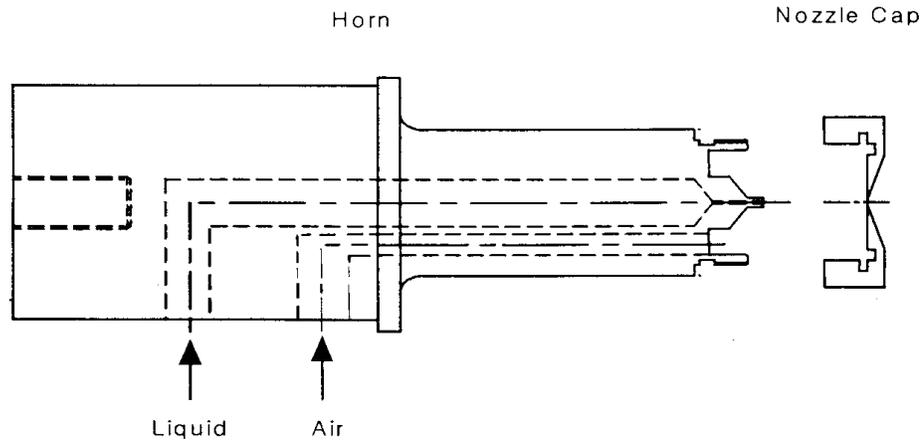


Fig. 187. Schematic diagram of the ultrasonic forced twin-fluid nozzle No. 1.

그림 188에는 설계노즐 2번을 나타내었는데, 이는 혼의 선단을 분무액이 통과하는 관로에 직접 삽입하여 강력한 초음파에너지에 의해 액체가 개질되고, 노즐팁에 초음파 진동이 전달되는 2가지 효과를 동시에 나타나도록 설계된 초음파 노즐이다.

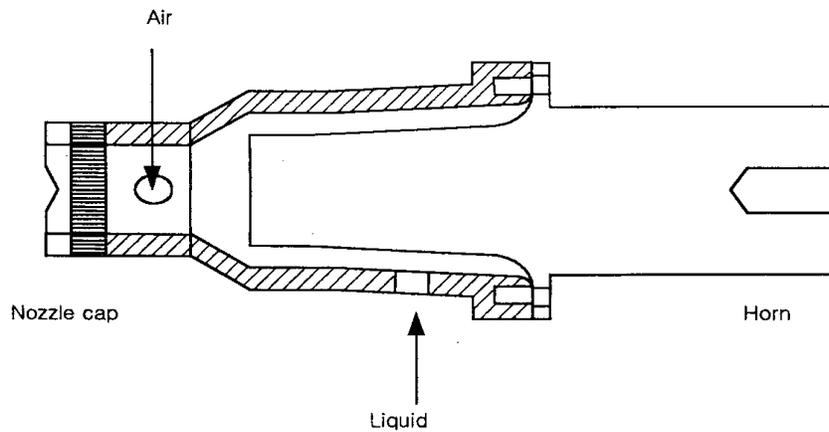


Fig. 188. Schematic diagram of the ultrasonic forced twin-fluid nozzle No. 2.

2) 초음파 진동자

초음파 출력을 증가시키고 노즐에 접합이 용이하도록 초음파 진동자의 직경이 30 mm이고, 출력 200 W의 28 kHz인 PZT BLT 진동자를 사용하였고, 증폭부를 결합하여 노즐에 부착하였다. 초음파 진동자의 사양은 표 23에 나타난 바와 같다.

Table 23. Specifications of the 200 W PZT BLT transducer used

Item	Specifications
Normal Frequency	28 kHz
Admittance	0.050 S
Capacitance	25000 pF
Max. Input Power	200 W
Diameter	30 mm
Length	92 mm

3) 입경측정 장치

본 실험에 사용한 노즐의 분무입경 측정장치는 입자 분석기 Droplet and Particle Sizer series 2600C, Malvern system을 사용하였다. 그림 189는 Malvern system의 원리도이다.

이 측정장치는 Fraunhofer 회절(diffraction) 현상을 이용하여 입경을 측정하는 기법이다. Fraunhofer 회절은 빛의 파장(λ)이 액적의 직경(d)보다 작은 경우($\lambda \ll d$)액적의 가장자리에서 발생하는 회절현상으로 그 회절 무늬는 입자의 크기에 따라 일정한 형태를 유지하며 변화한다. 따라서 입자의 크기에 따라 다르게 나타나는 회절 무늬를 측정하면 입자의 크기를 알 수 있다. 일반적으로 여기에 이용되는 광원은 He-Ne 레이저이며 산란광은 링 디텍터로 감지한다. 링 디텍터로 받아들인 산란광 신호를 컴퓨터로 변환시키고 이를 처리하여 입경을 측정하게 되어있다.

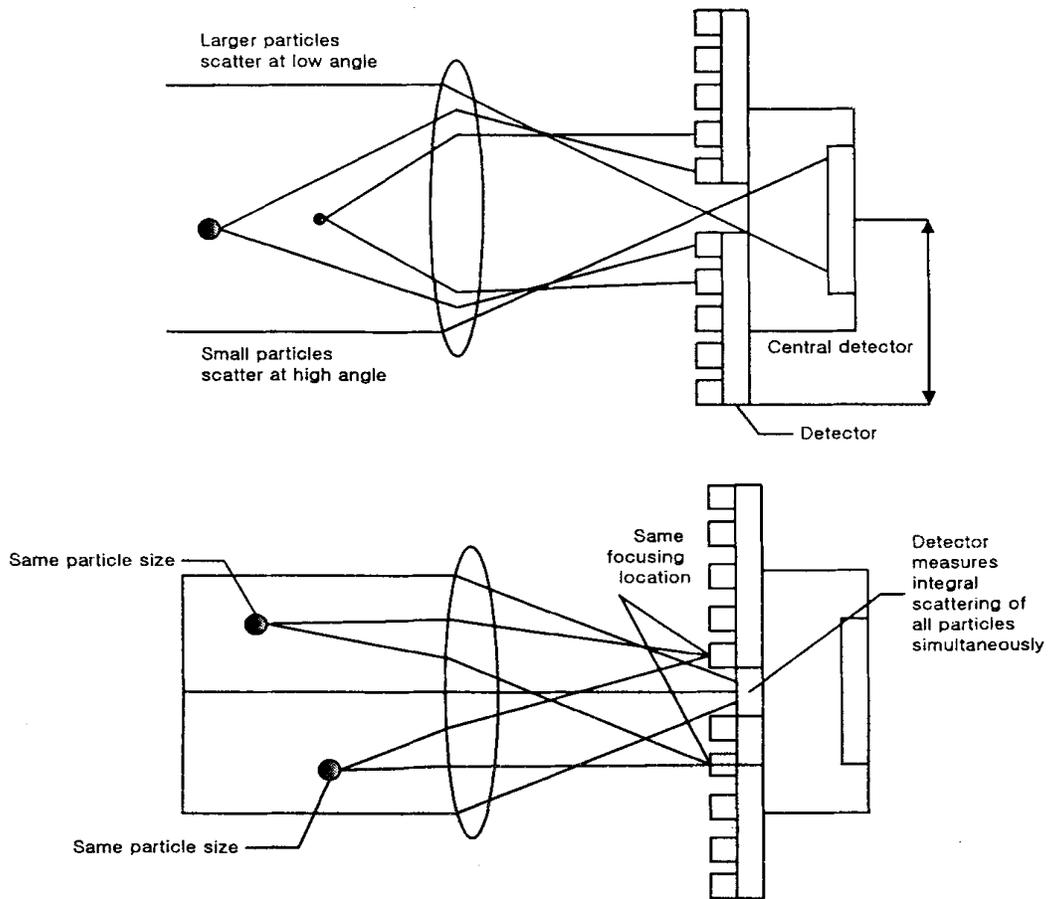


Fig. 189. Principle of droplet size measurement using Malvern system.

이 측정기는 레이저 광선을 이용해 빛의 산란에 의해 분무입자의 입경을 비접촉식으로 측정하는 장치로 0.5~1880 μm 의 범위를 3단계로 구분하고 32개의 그룹으로 입경의 도수분포를 나타내며, 광원은 2 mW의 He-Ne 레이저로서 633 nm의 파장을 가지며 측정부의 지름은 9 mm이다. 표 24는 실험에 사용한 Malvern 시스템의 사양을 나타낸다.

Table 24. Specifications of the Malvern system

Description	Specifications
Method	Laser Diffraction Light Scattering
Laser source	2 mW He-Ne Laser
Size range	0.5 - 1880 microns in six ranges. Each Classified into 32 size group
Parameters measured	%size less than weight in band, %volume concentration beam obscuration, VMD, SMD, D10%, D50%, D90%, Span
Sample method	Both Continuous and Pulsed spray. Repetitive and single shot spray capability powder particles.
Sampling methods	Spray type
Detector system	Solid state detector
Receiver	10U sec parallel sampling
External trigger	Provided
Data display and recording facilities	CRT display
Printer for hard copy	Provided
Disk drive	Floppy Disk
Data processor	486DX-2 (66 MHz)

나. 실험방법

그림 190에는 Malvern 2600C를 이용하여 설계 노즐의 초음파 효과에 따른 입경변화를 측정하기 위한 장비의 개략도를 나타내었다. 2-유체 노즐의 분사를 위한 공기 압축기, 에어필터, 레귤레이터와 초음파 구동을 위한 초음파 발전기와 초음파 노즐이 이송장치에 부착되어 있다. 온실에서 사용될 경우의 실험을 위해 축류팬을 설치하였다. Malvern 2600C는 2 mW의 He-Ne 레이저, 빔확장기, 푸리에 렌즈, 링다이오드, 신

호분석기, PC, 데이터 로거로 구성되었다. 1.9~188 μm 의 측정범위를 가진 100 mm focal length의 렌즈를 사용하였으며 이 때 Cut-off distance는 133 mm이었다..

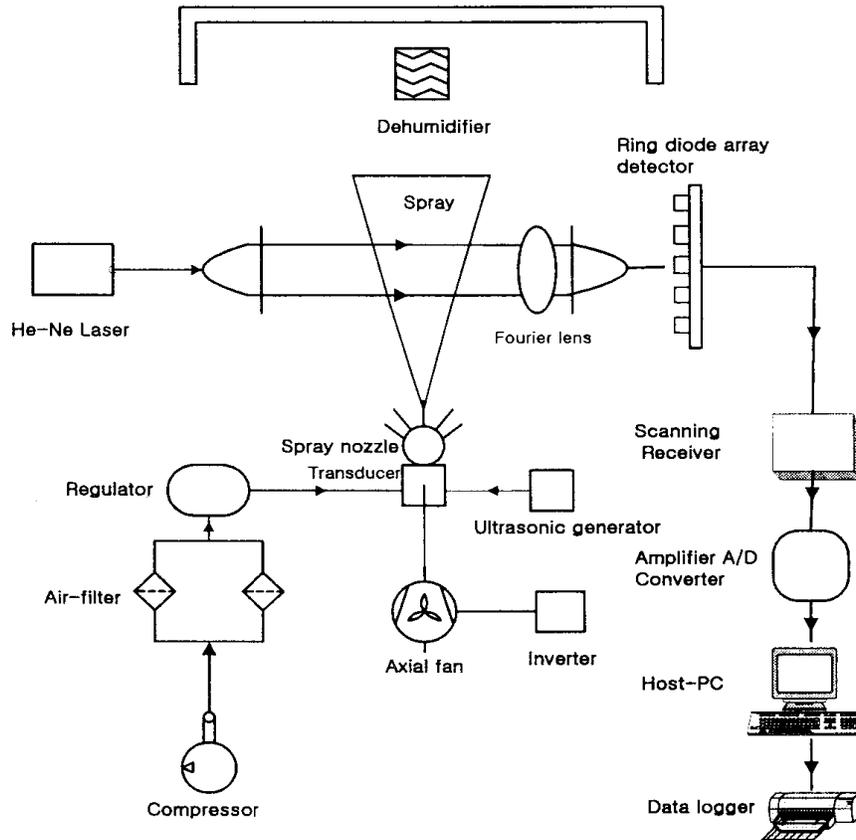


Fig. 190. Schematic diagram of the drop diameter measurement using Malvern system.

입경의 측정은 분무 축방향 거리 100, 200, 300, 400 mm에서 각각 측정하였으며, 초음파의 최적 2-유체 노즐 적용형태를 결정하기 위해 실험용 노즐에 대하여 초음파 가진시와 비가진시인 상용에 대하여 각각 측정하였다.

분무액으로 수돗물을 사용하였고, 분사공기압은 245 kPa로 설정하였으며, 입경의 대표치는 VMD를 사용하여 나타내었다.

연속적인 분무 시 상대습도 증가에 의한 상대습도변화에 따른 입경측정 오차를 줄이고자 제습기를 설치하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 191에는 실험용 노즐 1번에 초음파를 적용하였을 경우 가장 양호한 입경변화 특성을 나타내었다. 축방향 거리가 증가할수록 초음파 영향에 의한 입경감소가 두드러졌다. 이는 초음파에 분무입자 상호간의 합착을 방지하는 효과가 있음을 나타낸다.

노즐 1번의 분무거리 400 mm에서 초음파 비가진시인 상용의 경우에 대한 초음파 가진시의 경우 입경차가 13.45 μm 로 25.5%의 입경이 감소하였다.

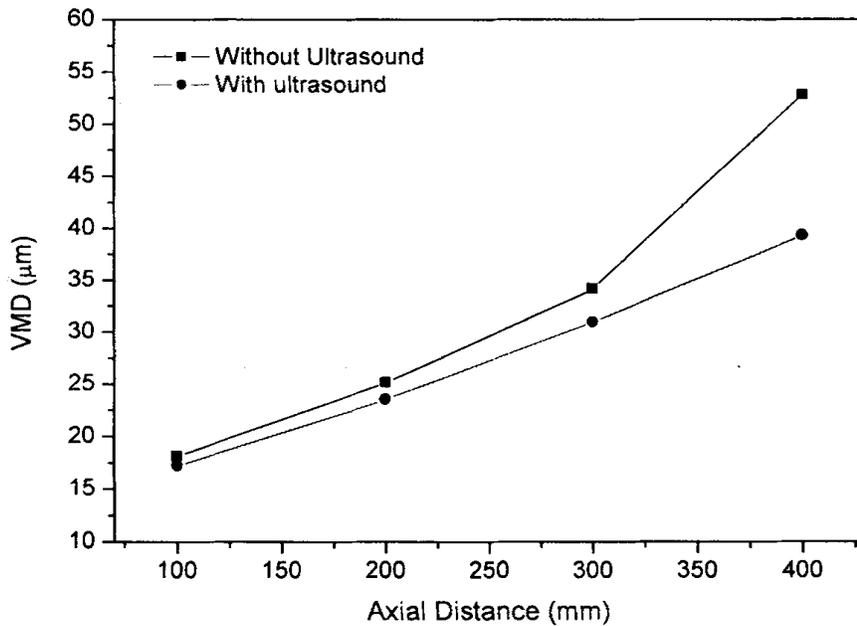


Fig. 191. VMD of the nozzle no. 1 according to the axial distance.

그림 192에는 실험용 노즐 2에 초음파를 적용하였을 경우의 가장 양호한 입경변화 특성을 나타내었다. 노즐 2에서 초음파 비가진시인 상용에 대한 초음파 가진 시의 입경차가 분무거리 400 mm에서 14.05 μm 로 33%의 입경이 감소하였다. 노즐 2번의 초음파 비가진시에 대한 초음파 가진 시의 입경감소가 분무거리 200 mm에서의 입경차이를 제외한 모든 영역에서 노즐 1번의 입경감소보다 크게 나타났다.

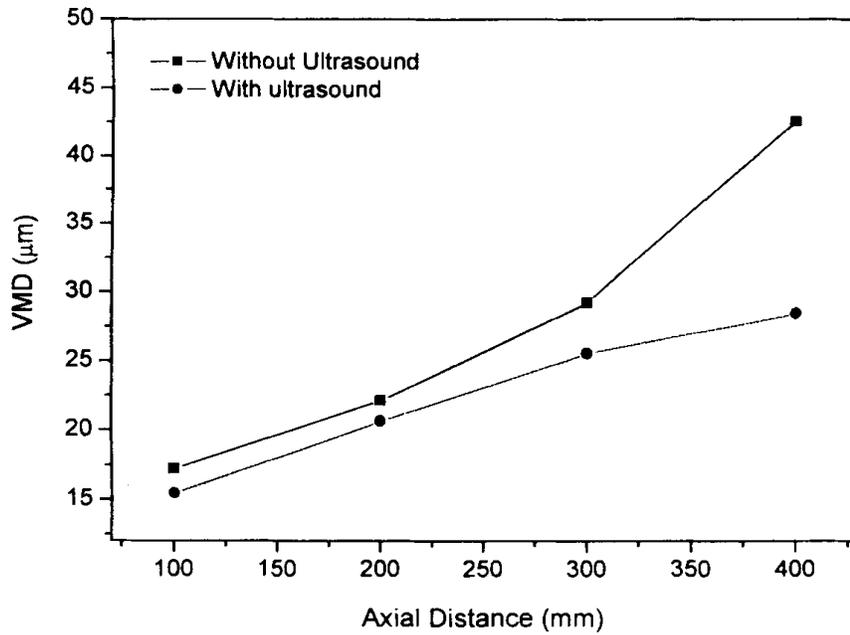


Fig. 192. VMD of the no. 2 nozzle according to the axial distance.

그림 193과 194는 실험용 노즐 1의 축방향 거리 200 및 400 mm에서 측정된 분무입경의 분포를 나타내고 있다. 분무거리 200 및 400 mm 모두에서 초음파와 가진시의 경우 비가진시에 비해 분무입경 60 ~ 70 μm 이상의 영역에서 측정 액적의 수가 많이 감소하여 전체 입경분포에서 그만큼 균일하게 나타났다. 분무거리 400 mm에서 더욱 입경 감소가 두드러지게 나타나고 있다.

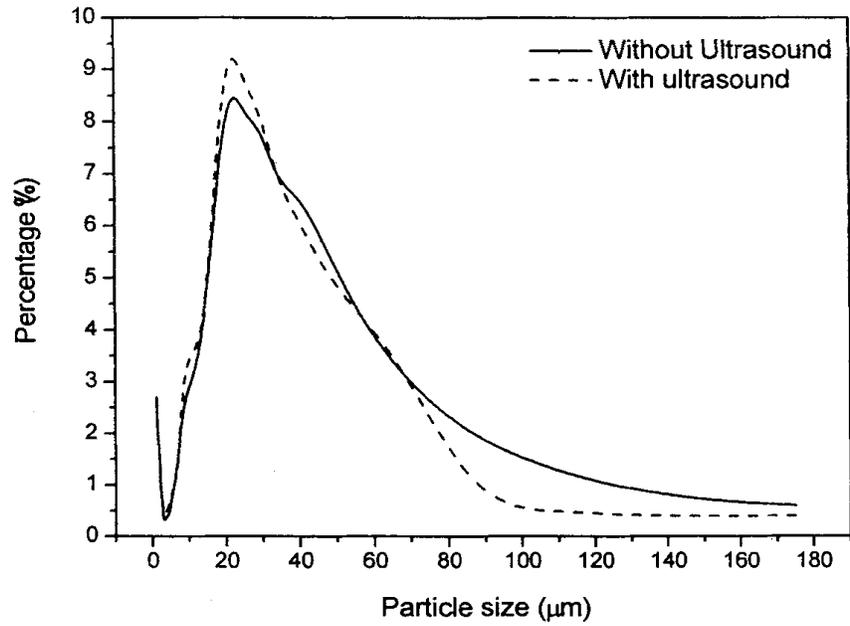


Fig. 193. Drop size distribution curves of the Nozzle 1 at the axial distance of 200 mm.

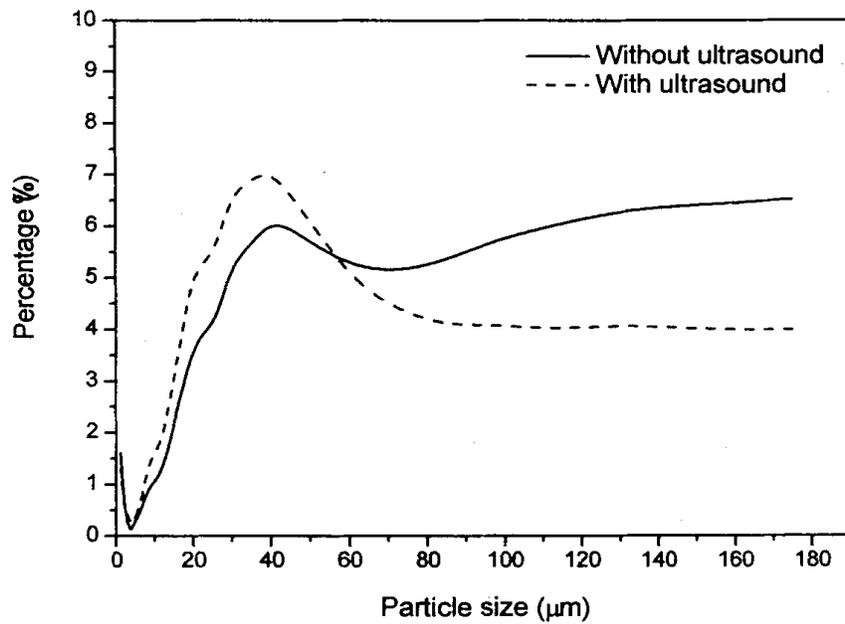


Fig. 194. Drop size distribution curves of the nozzle 1 at the axial distance of 400 mm.

그림 195와 196은 실험용 노즐 2의 축방향 거리 200 mm, 400 mm에서 측정한 분무입경의 분포를 비교하고 있다. 상기 서술한 바와 같은 입경의 감소와 균일화가 나타났다. 분무거리가 200 mm에서 400 mm로 진행하면서 50 μm 이상의 영역에서 초음파 가진 시의 경우에 입경이 큰 영역대의 입자수가 특히 감소하고 있는 경향을 볼 수 있다.

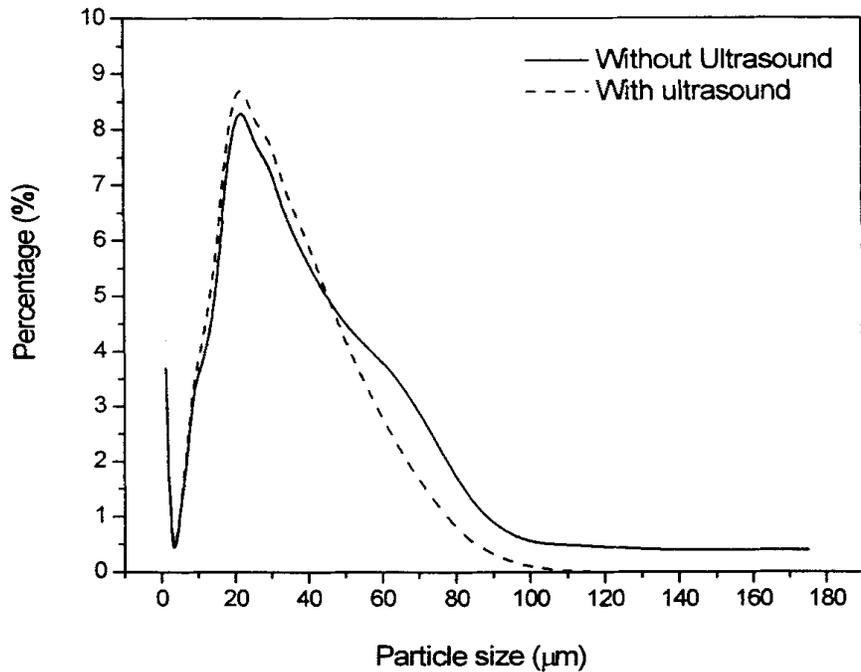


Fig. 195. Drop size distribution curves of the nozzle 2 at the axial distance of 200 mm.

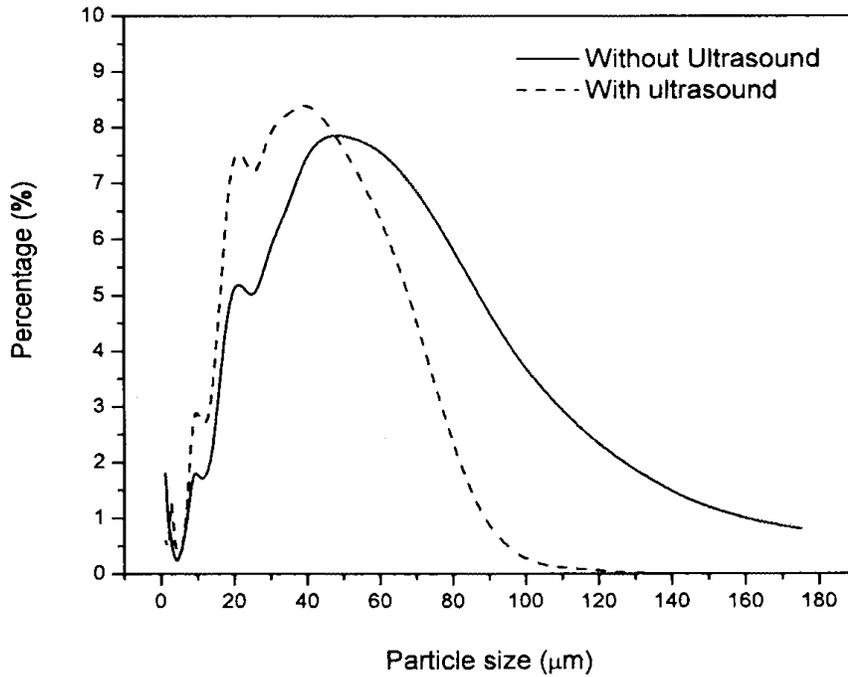


Fig. 196. Drop size distribution curves of the nozzle 2 at the axial distance of 400 mm.

이와 같이 노즐 1번에 비하여 노즐 2번에서 초음파 가진 시의 입경이 보다 작아지고 균일하게 나타나는 경향을 보이고 있는 것으로 미루어 볼 때 분무액체가 2-유체 노즐형상을 가진 초음파 혼의 중심부를 통하는 동안 초음파의 기계적인 진동과 함께 분무액체가 개질되는 구조를 가진 초음파 노즐 1번에 비해 분무액의 관로에 초음파 혼을 삽입하여 분무액체에 강력한 초음파 진동과 노즐 팁에 간접진동을 가하는 방식의 노즐 2번의 형태가 더 양호한 것으로 판단된다.

4. 결론

2-유체노즐에 초음파 진동자 및 horn을 조합하여 실험용 노즐 2가지를 설계, 제작하였으며 이에 따라 초음파 작용에 의한 분무입경의 균일 및 미립화 성능을 측정, 비교하였다.

- 1) 초음파 비가진시인 상용에 대한 초음파 가진 시의 입경감소가 분무거리 400 mm에서 가장 양호한 경우 노즐 1번은 13.45 μm , 노즐 2번은 14.05 μm 으로 나타나고 노즐 1번에 대해 분무거리 200 mm에서의 입경을 제외한 모든 분무거리에서 노즐 2번이 초음파 비가진 시에 대한 입경감소가 더 양호하게 나타났다.
- 2) 또한 노즐 2번에서 생성된 입경이 보다 균일하였는 바, 2-유체 노즐형상을 가진 초음파 혼(horn)으로 구성된 노즐 1번에 비하여 분무액의 관로에 초음파 혼을 삽입하여 분무액체에 강력한 초음파 진동과 노즐 팁에 간접진동을 가하는 노즐 2번이 보다 양호한 노즐로 판단되었다.

제 2 절 초음파 적용방식에 따른 2-유체 노즐의 분무특성

1. 서언

노즐의 종류와 초음파 적용방식에 따라 분무현상에 미치는 초음파의 효과를 파악하고자 5가지 분무방식에 의한 분무실험을 수행하여 분무 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 노즐 및 방법

그림 197에 일반 상온 2-유체 연무 노즐의 개략도를 나타내었다.

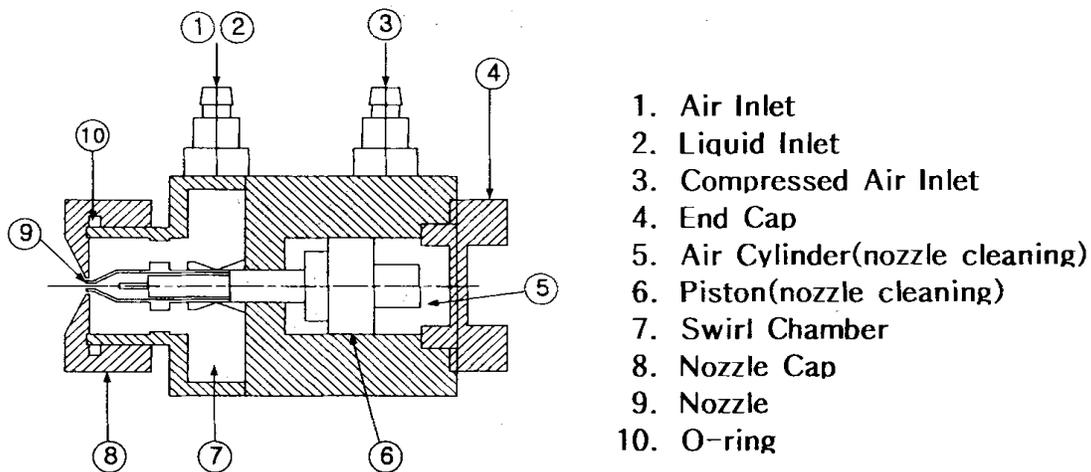
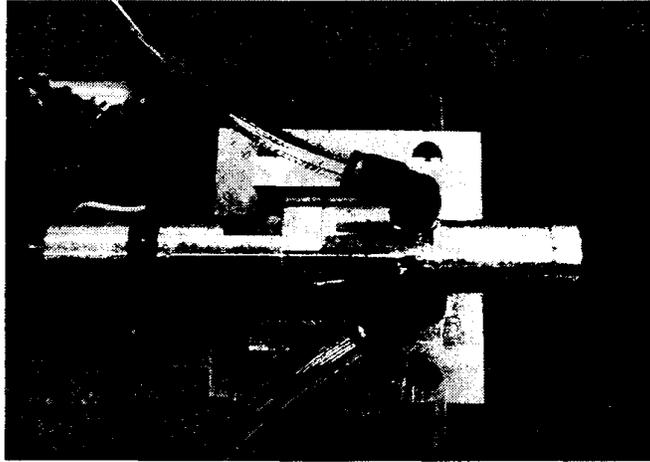


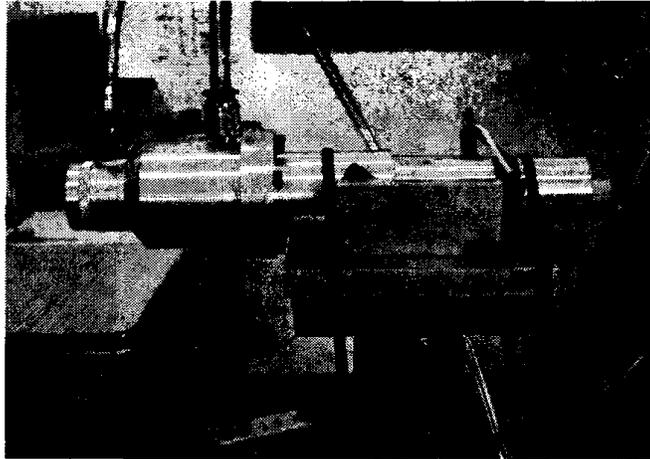
Fig. 197. Schematic diagram of the commercial twin-fluid cold-fog nozzle.

총 5가지 방식으로 초음파를 적용하였는 바, 첫째 방식(M₁)은 일반 상온 노즐에 유입전의 액체에 초음파를 가한 개질법이고, 둘째 방식(M₂)은 상기 노즐에 50 watt 초음파 진동자를 부착한 방식이며, 셋째 방식(M₃)은 200 watt 초음파 진동자 horn을 듀랄루민 재질의 2-유체 노즐에 조합 설계한 2-유체 초음파 노즐을에 의한 분무방식이며(그림 187 및 그림 198), 넷째 방식(M₄)은 상기 M₃방식의 노즐출구부분을 황동으로 제작한 노즐에 의한 분무방식이며(그림 188 및 그림 198), 다섯째 방식(M₅)은 M₃ 방

식의 2-유체 초음파 노즐의 horn 부분에서 유입액체가 초음파를 받는 면적을 크게 한 2-유체 초음파 노즐에 의한 분무방식이다.



M₃



M₅

Fig. 198. Photos of the nozzle of mode 3 and 5 (M₃ and M₅).

3. 결과 및 고찰

표 25에 상기 5가지 방식의 분무압과 분무입경과의 관계를 나타내었다.

Table 25. Comparison of droplet sizes according changes of spray pressure(μm)

spray pressure (kPa) \ spray mode	147	196	245	294	343
M ₁	11.445	10.37	9.565	9.375	8.51
M ₂	8.245	7.67	7.165	6.92	6.585
M ₃	6.47	5.84	5.55	5.345	5.15
M ₄	6.475	5.925	5.745	5.27	5.03
M ₅	8.58	7.93	7.26	6.645	6.22

그림 199은 표 25의 비교 그래프이다

전체적으로 분무압이 커짐에 따라 분무액적의 입경이 작아지고 있음은 그 원리에 부합되고 있다. M₁ 분무방식의 분무입경이 분무압에 따라 가장 크게, M₃와 M₄ 방식의 분무입경이 가장작게 나타나고 있다.

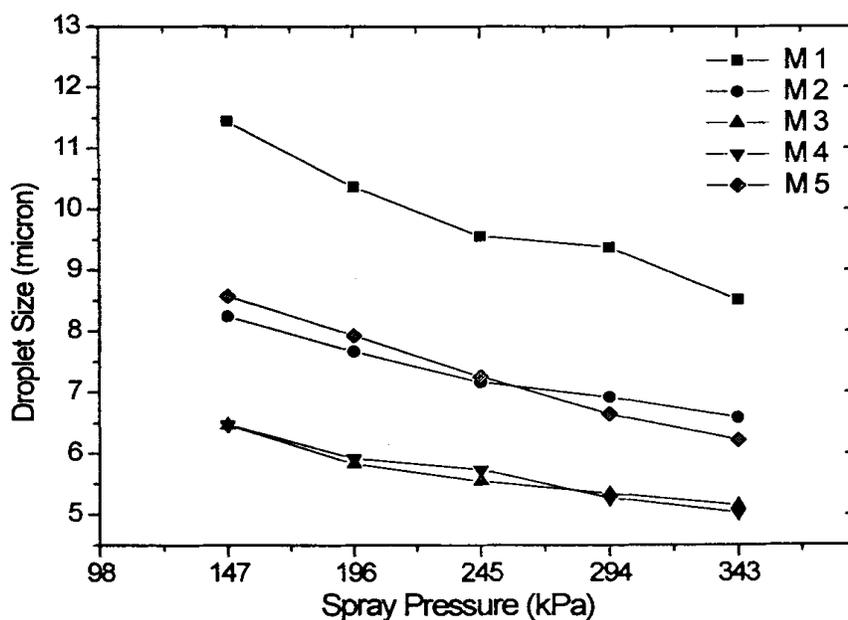
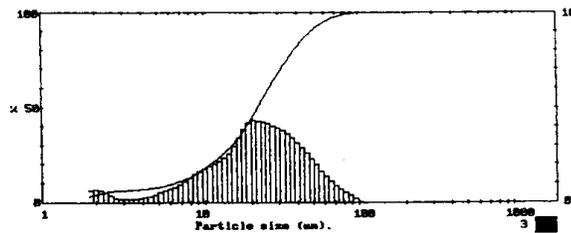
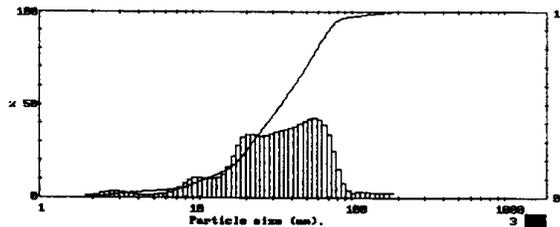


Fig. 199. Comparison of droplet size according to change of spray pressure of each spray mode.

그림 200은 상기의 분무방식 1 즉, M_1 에서 일반상용 연무노즐의 측정거리에 따른 분무액적의 크기 분포도를 비교하고 있다. (a)는 분무노즐 출구 끝에서 10cm 떨어진 곳에서의 분무액적군의 분포도이고 (b)는 40cm 떨어졌을 때의 분포도이다. (a)에서의 분포도는 (b)에 비해 Gauss 분포도에 가깝게 나타나고 있다. (b)에서는 큰 입자 분포 부분이 넓게 나타나고 있는데, 이는 노즐출구로부터 분무입자가 멀어질수록 합착 현상이 많이 일어났음을 의미한다. (a)에서의 SMD는 $9.76\mu\text{m}$, $D[V, 0.5]$ 는 $21.74\mu\text{m}$ 로, (b)에서는 $18.89\mu\text{m}$, $D[V, 0.5]$ 는 $33.55\mu\text{m}$ 로 나타나고 있다. 이는 분무입자가 멀리갈수록 상기의 합착현상이 증가했음을 정량적으로 말해준다.



(a) D=10cm



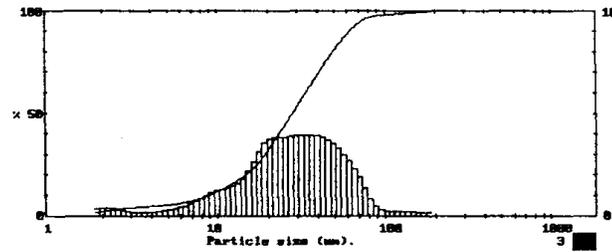
(b) D=40cm

Fig. 200. Comparison of spray droplet distribution according to the distance between the nozzle tip and the measuring laser beam band.

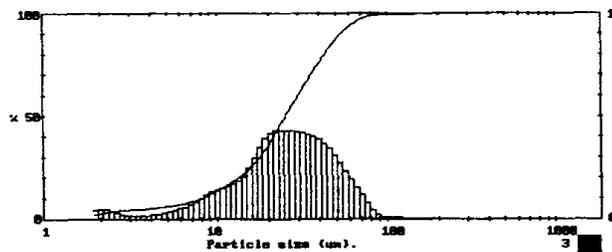
(Spray pressure 196 kPa)

그림 201은 상기 M_1 에서 분무거리 20cm 일 때 초음파 가진여부에 따른 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. (a)는 초음파 비가진 용액의 분무경우이고 (b)는 분무전 액

체에 초음파가 가해지는 개질법에 의한 분무액적크기의 분포도이다. 초음파가 가해진 경우의 분포도가 비가진시보다 분포도가 좁게 나타나고 있다. 이는 초음파가 가해진 액체 분사시가 비가진액체 분사시보다 입자가 다소 균일 미립화가 되었음을 말해준다.



(a) no ultra



(b) ultra

Fig. 201. Comparison of spray droplet size distributions between no ultra and ultra. (S.D. : 20 cm)

그림 202는 상기 경우에서 측정거리에 따른 초음파 비가진 및 가진시의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 두 경우 모두 분무거리가 커질수록 입자가 커지고 있다. 거리 10cm일 때 초음파 가진 경우의 입자가 비가진시보다 조금 컸으나 멀리감에 따라 초음파 가진시의 SMD가 비가진시보다 다소 작아지고 있다. 이는 액적미립화에 초음파가 영향을 끼침을 보이고 있다.

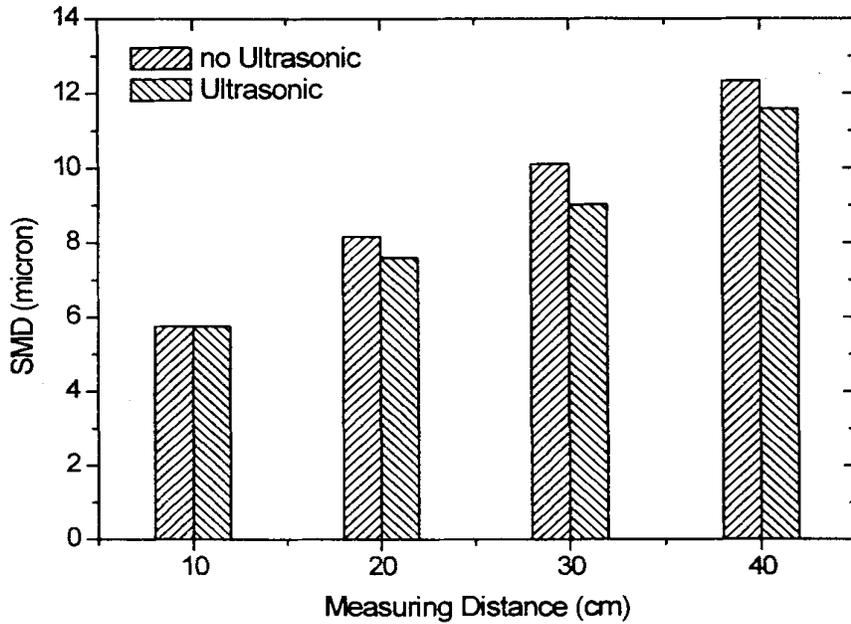
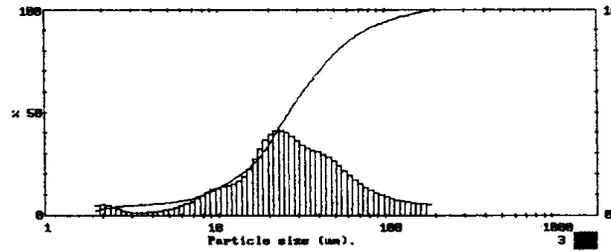
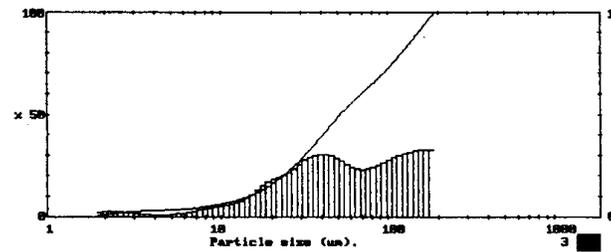


Fig. 202. Comparison of SMD size according to the measuring distance between no ultra and ultra.

그림 203은 M₂ 방식 즉, 50Watt, 28kHz 초음파 진동자를 상기의 일반상용 연무 노즐위에 부착한 노즐의 측정거리에 따른 비가진시의 분무액적의 크기 분포도를 비교하고 있다. (a)는 분무노즐 출구 끝에서 20cm 떨어진 곳에서의 분무액적군의 분포도이고 (b)는 40cm 떨어졌을 때의 분포도이다. (a)에서의 분포도는 (b)에 비해 상기 M₁에서와 같이 Gauss 분포도에 가깝게 나타나고 있으나 (b)에서는 큰 입자 분포 부분이 (a)에서 보다 훨씬 크게 나타나므로써 분무거리가 멀어질수록 분무입자가 합착 현상등으로 크게 나타남을 분포 그래프 상에서 만으로도 여실히 볼 수 있다. 여기서 (a)에서의 SMD는 12.12 μ m, D[V, 0.5]는 26.25 μ m로, (b)에서는 21.58 μ m, D[V, 0.5]는 51.35 μ m로 나타나고 있다. 이 또한 상기한 바와 같이 분무거리가 멀어짐에 따른 합착현상의 증가를 정량적으로 증명하고있다.



(a) D=20cm

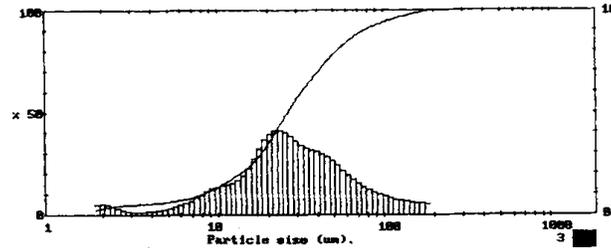


(b) D=40cm

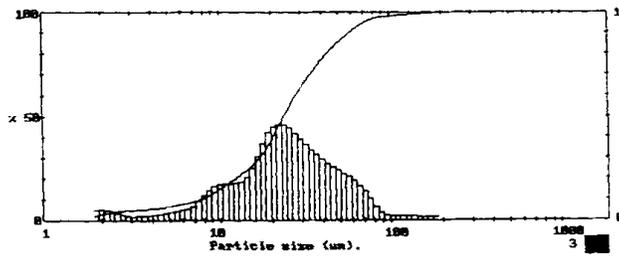
Fig. 203. Comparison of the spray droplet size distribution according to the distance between the nozzle tip and the measuring laser beam band.

(S.P. : 196 kPa)

그림 204는 상기의 M₂ 방식에서 분무거리 20cm일 때 초음파가진 여부 2경우에서 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. (a)는 초음파 비가진시의 분무의 경우이고 (b)는 분무노즐위에 부착된 초음파 진동자에 의한 즉 간접진동법에 의한 분무액적의 크기 분포도이다. 초음파 가진 경우(b)의 분포도가 비가진경우(a)보다도 분포도가 좁게 나타나고 있다. 이는 상기와 같이 초음파에 의한 균일미립화의 영향임을 보이고 있다.



(a) no ultra



(b) ultra

Fig. 204. Comparison of the spray droplet size distribution between no ultra and ultra.

그림 205는 상기 경우에서 측정거리에 따른 초음파 가진 유무의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 두 경우 모두가 분무거리가 커질수록 입자가 커지고 있다. 거리 20cm일 때 초음파 가진 경우의 입자가 조금커진 듯 했으나 거리가 멀어짐에 따라 초음파 가진시의 SMD가 비가진시보다 다소 작아지고 있다. 이는 거리가 멀어질수록 초음파의 액체미립화 친화성이 커짐을 의미한다.

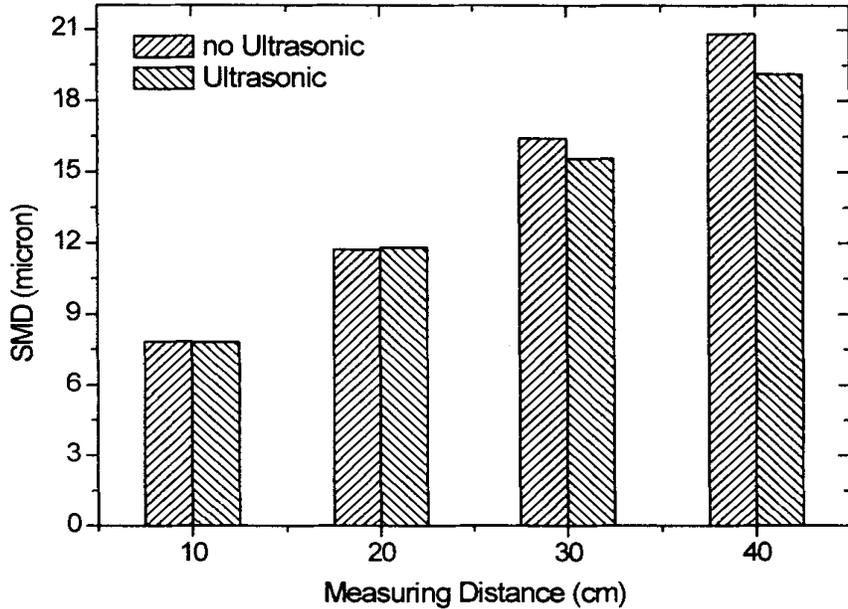
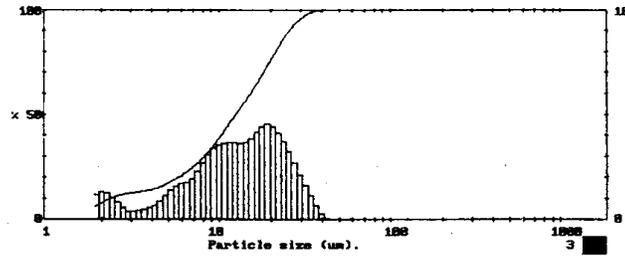


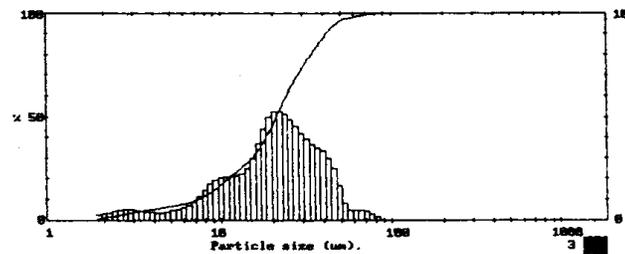
Fig. 205. Comparison of SMD between no ultra and ultra according to the measuring distance.

그림 206은 M₃방식 노즐 즉 200 Watt의 초음파 진동자 horn에 2유체 연무노즐을 조합 설계한 2유체 초음파 연무노즐에 의한 측정거리별 분무액적의 크기 분포도를 비교하고 있다. (a)는 분무노즐 출구끝에서 10cm 떨어진 곳에서의 분무액적군의 분포도이고 (b)는 40cm에서의 분포도이다.

(a) 에서의 분포도에 비해 (b)에서의 분포도는 입자 크기가 큰 쪽으로 넓게 분포됨을 보여준다. 이는 상기에서와 같이 분무거리가 멀어질수록 분무입자들의 함착으로 큰 액적이 많아졌음을 의미한다. (a)에서의 SMD는 5.74 μ m, D[V, 0.5]는 12.37 μ m로, (b)에서는 12.24 μ m, D[V, 0.5]는 20.99 μ m로 나타나고 있다. 이는 상기 사실을 입증해 주는 정량적인 비교이다.



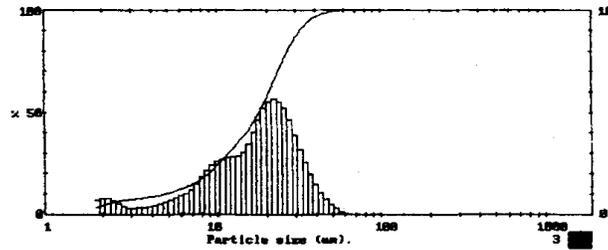
(a) D=10cm



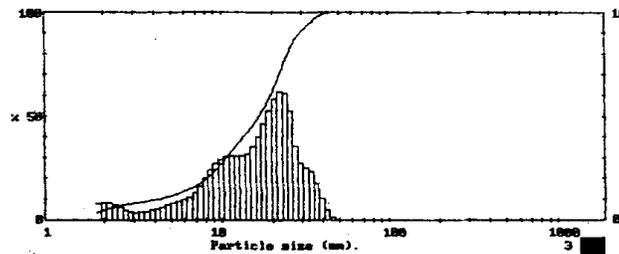
(b) D=40cm

Fig. 206. Comparison of spray droplet distribution between the nozzle tip and the measuring laser beam band. (S.P. : 196 kPa)

그림 207은 상기의 M₃의 분무거리 20cm에서 초음파가진 여부에 따른 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. 초음파 가진시(b)가 비가진시(a)보다 분포도가 좁게 모임을 볼 수 있다. 이 때 초음파 비가진시의 SMD는 8.29 μ m, D[V, 0.5]는 17.78로, 초음파 가진시는 각기 7.7 μ m, 16.53 μ m로 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무입자의 미립화에 친화적임을 말해준다.



(a) no ultra



(b) ultra

Fig. 207. Comparison of the spray droplet size distribution between no ultra and ultra.

그림 208은 상기경우에서 측정거리에 따른 초음파 가진 유무시의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 두 경우 모두가 분무거리가 커질수록 입자가 커짐은 상기와 같다. 거리가 10cm인 두 경우의 입자크기가 비슷하게 나타났으나, 분무거리가 멀어질수록 초음파가진시의 SMD가 작아짐은 상기와 같다. 이 역시 초음파의 미립화 친화성을 입증해 주고 있다.

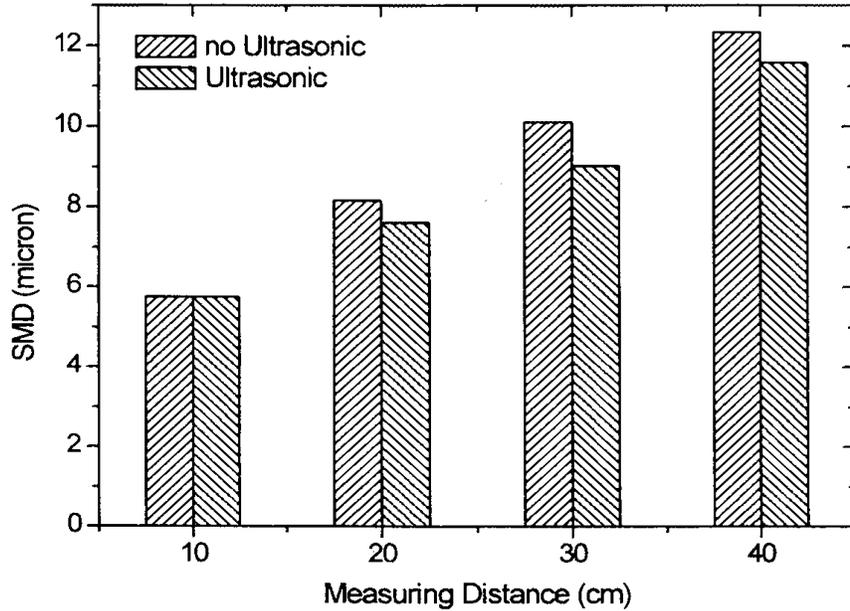
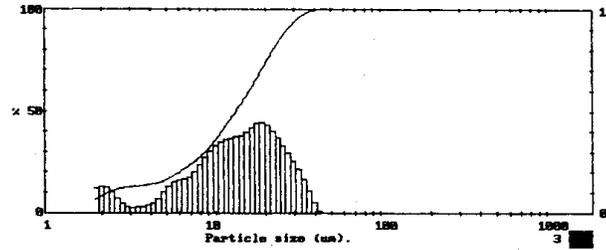
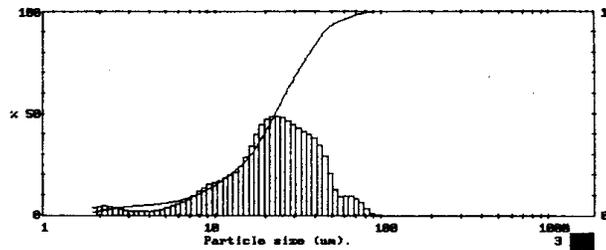


Fig. 208. Comparison of SMD between no ultra and ultra according to the measuring distance.

그림 209는 M₄방식 노즐 즉 상기 M₃의 2유체 초음파 노즐에서 노즐 출구 tip부분만 황동으로 만든 노즐의 측정거리에 따른 분무액적의 크기 분포도를 비교하고 있다. (a)와 (b)는 분무거리가 각기 10cm, 40cm에서의 분무액적 크기의 분포도이다. 상기와 같이 (b)의 분포도가 (a)보다 분무액적입경이 큰 쪽으로 넓게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 이 때 (a)에서의 SMD는 5.73 μ m, D[V, 0.5]는 13.09 μ m로, (b)에서는 각기 11.88 μ m와 22.75 μ m로 나타나고 있다. 이 또한 상기와 같이 분무거리가 커질수록 분무입자의 함착현상으로 분무액적이 크게 나타남을 말해준다.



(a) D=10cm

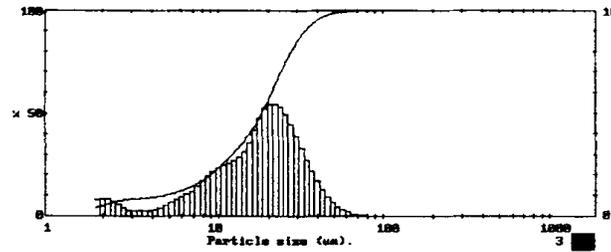


(b) D=40cm

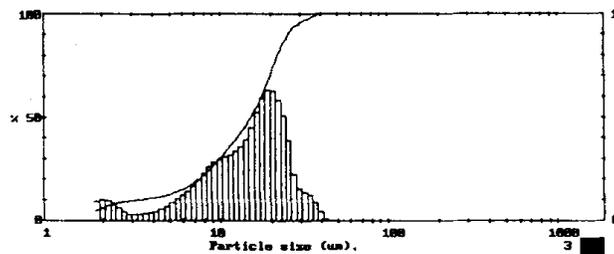
Fig. 209. Comparison of the spray droplet size distribution according to the distance between the nozzle tip and the measuring laser beam band.

그림 210은 상기 M₄방식에서 노즐의 분무거리 20cm일 때 초음파 가진 여부의 두 경우에서 측정거리에 따른 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. 초음파 비가진시 (a)보다 초음파 가진시(b)의 분무입자 크기 분포가 분무입경이 작은 쪽으로 좁게 분포되고 있음은 상기와 같다.

이 때 초음파 비가진시와 가진시의 SMD와 [V, 0.5]의 값은 각기 8.04 μ m, 18.10 μ m 및 6.87 μ m, 15.05 μ m로 나타나고 있다.



(a) no ultra



(b) ultra

Fig. 210. Comparison of the spray droplet size distribution between no ultra and ultra.

그림 211은 상기 경우에서 측정거리에 따른 초음파 가진유무의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 초음파 가진유무에 관계없이 측정거리가 멀어 질수록 입자 크기는 합착현상으로 인해 크게 나타나고 있다. 상기와 같이 분무거리 10cm일 때는 초음파 가진시의 액적크기가 비가진시보다 약간 커다가 분무거리가 커짐에 따라 감소함을 볼 수 있다. 이는 상기와 같이 초음파가 분무액적의 미립화에 친화적임을 말해준다.

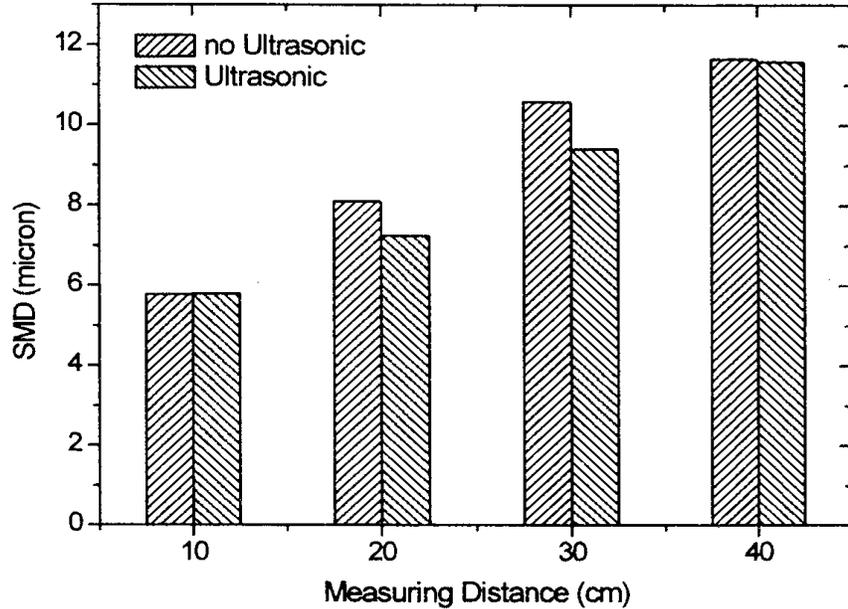
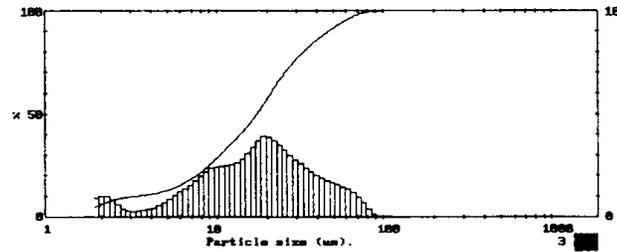


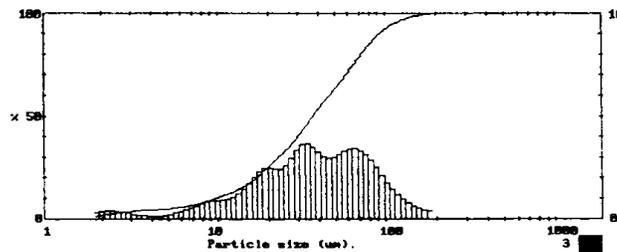
Fig. 211. Comparison of SMD between no ultra and ultra according to the measuring distance.

그림 212는 M₅ 방식노즐 즉 상기와 같이 M₃방식의 2유체 초음파 노즐을 초음파 노즐 설계 조건에 맞추어가며 초음파 받는 면적을 최대화시킨 노즐의 측정거리에 따른 분무액적의 크기 분포도를 비교하고 있다.

(a)와 (b)는 각기 분무거리 10cm와 40cm에서의 분무액적크기의 분포도를 보이고 있다. 분무거리가 멀수록 입자크기가 큰 쪽으로 분포도가 넓게 분포함을 보이고 있음은 상기와 같다. (a)와 (b)에서의 SMD와 D[V, 0.5]는 각기 7.19 μ m, 17.25 μ m 및 15.8 μ m, 36.35 μ m로 나타나고 있다. 분무거리가 10cm일 때 보다는 분무거리가 40cm일 때의 입자크기는 두배나 됨을 알 수 있다. 이는 상기와 같이 합착현상 증가에 의한 것으로 사료된다.



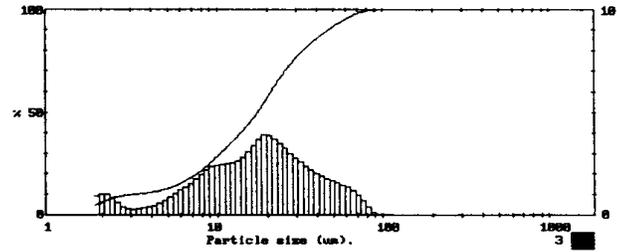
(a) D=10cm



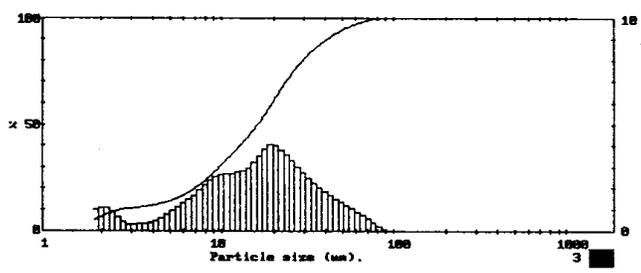
(b) D=40cm

Fig. 212. Comparison of the spray droplet size distribution according to the distance between the nozzle tip and the measuring laser beam band.

그림 213은 상기 M₅양식의 노즐에서 분무거리 10cm일 때 초음파 가진 여부 두 경우에서 측정거리에 따른 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. 초음파 가진시(b)의 분포도가 초음파 비가진시(a)보다 분무입경이 작은 쪽으로 다소 좁게 나타났음을 볼 수 있다. 여기서 초음파 비가진시와 가진시의 SMD와 D[V, 0.5]의 값은 각기 7.19 μ m, 17.25 μ m 및 6.73 μ m, 15.99 μ m로 주어지며, 이는 초음파 가진시 분무액적의 크기가 작아짐을 정량적으로 보여준다.



(a) no ultra



(b) ultra

Fig. 213. Comparison of the spray droplet size distribution between no ultra and ultra.

그림 214는 상기 경우에서 측정거리에 따른 초음파 가진유무시의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 초음파 가진유무에 관계없이 분무거리가 멀수록 분무액적 입경이 커짐은 상기와 같다. 또한 초음파 가진시가 비가진시보다 분무액이 미립화됨을 볼 수 있다. 이는 초음파가 분무액적의 균일 미립화에 친화적임을 말 해 준다.

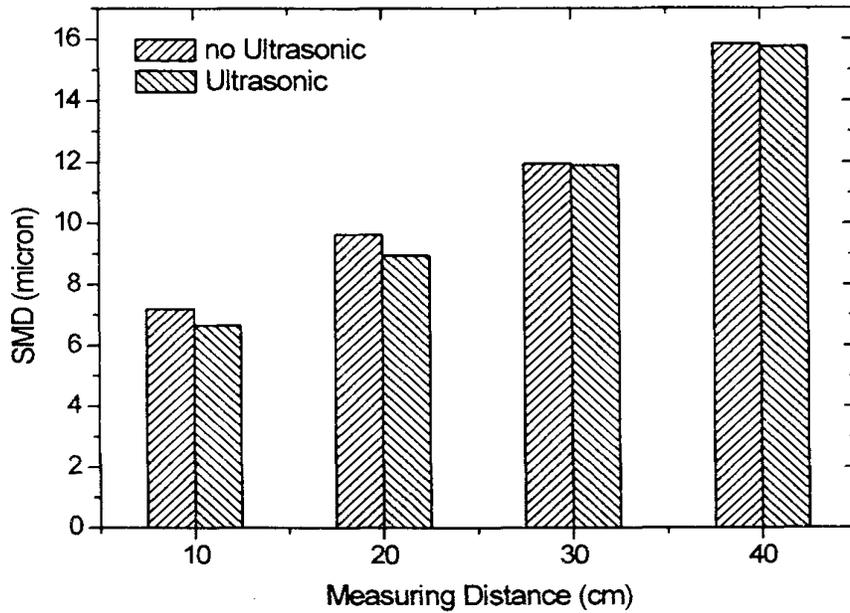


Fig. 214. Comparison of SMD between no ultra and ultra according to the measuring distance.

표 26은 상온 연무기의 fan가동시 분무압변화에 따른 SMD를 초음파 가진여부간에 비교한 표이다.

Table 26. Comparison of droplet size between no ultra and ultra according to changes of spray pressure (μm)

Pressure (kPa)	196	294	392	490
no ultra or ultra				
no ultra	12.33	12.39	12.55	12.25
ultra	11.83	11.925	11.96	12.03

초음파 가진유무에 관계없이 분무 nozzle에서의 분무거리에 대한 측정결과와는 대조적으로 분무압에 대한 분무액적 크기비가 많이 작아짐을 볼 수 있다. 이는 분무노즐에 의한 분무입자를 fan의 힘으로 비산시키는 복잡한 미립화 mechanism에 의한 미립화의 평준화 현상으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 전 분무압에 걸쳐서 초음파 가진시가 비가진시보다 분무액적이 다소 작게 나타났다. 이는 2-유체 초음파 분무노즐과 fan을 조합한 초음파 적용 fan부착 상온연무기의 경우에서도 초음파가 분무액적 미립화에 영향을 끼침을 말해 준다. 따라서 초음파 진동자 horn에 기존 상온 연무기의 2-유체 노즐 시스템을 조합·설계·제작한 초음파 진동자 horn 2-유체노즐의 개발은 시설 재배를 위한 자동 방제기용 상온 연무기의 분무 노즐의 고효율 향상을 기대케 한다.

4. 결론

일반 상온 연무기의 노즐에 초음파를 부가한 2가지 방식과 본 연구에서 특수 설계한 2-유체 초음파 분무 노즐에 의한 3가지 방식에 의한 분무시스템을 구성하여 Malvern system에 의해 측정, 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 5가지 분무방식 모두에서 분사압이 클수록 입자 크기가 작아졌고 분무거리가 멀수록 입자가 커지는 분포 특성을 보였다. 이는 분무 이론에 부합된다.
- 2) 5가지 분무방식 모두에서 초음파 가진이 초음파의 개질법과 간접 및 직접진동법 등을 통해서 초음파 비가진시보다 미립화가 이루어졌다. 이는 초음파가 분무미립화에 친화적임을 말해준다.
- 3) fan에 의한 분무의 확산 실험에서도 초음파 가진의 경우가 비가진시보다 분무미립화가 더 이루어졌다. 이는 기존 상온 연무기의 2-유체 노즐을 초음파 진동자 horn에 설계·정합한 초음파 2-유체 노즐이 시설재배용 고효율 자동방제기용 분무노즐로서의 개발에 연구대상이 될 수 있음을 기대케 한다.

제 3 절 발진회로 및 발진장치 제작

초음파 진동자로는 전왜진동자, 자왜진동자 및 압전진동자 등이 주로 연구에 이용되고 있다. 저주파 초음파 transducer로는 28 kHz의 전왜진동자와 자왜진동자가 있다.

그림 215는 전왜 진동자 발진기의 회로도를 보이고 있다. 이것은 MOPA 방식에 의한 28 kHz, 300 W의 B급 초음파 발진 회로이다. 발진단은 2SC756에 의한 콜피츠 발진 회로인데 발진 주파수는 발진 코일 중의 코어 위치를 변화시킴으로써 L을 변화시켜서 조정한다. 구동단은 2SD88을 동작시켜 트랜스 결합에 의해서 전력단 임피던스 정합을 해서 구동하고 있다. 결합 코일 T₁은 ϕ 20베이크 보빈에 1차 80T(ϕ 0.4DSC), 2차 10T-0-10T(ϕ 0.6DSC)를 권선한 것이다.

전력단의 베이스, 어스간 다이오드 SD₁, SD₂는 베이스·이미터 간 역전압 흡수용에 들어있다. 컬렉터 사이에 들어 있는 1 μ F의 콘덴서는 서지 흡수용, 진동자에 병렬로 들어 있는 콘덴서 C_p는 자왜 진동자의 경우인데 리액턴스분을 없애고 진동자의 역율 개선은 거의 생각할 필요가 없다. 출력 트랜스 T₂는 페라이트 코어(EI-120)2매에 1차4T-0-4T(50/0.18리츠선)가 감겨 있다. 진동자 입력 파워의 조정은 발진단과 구동단 간에 들어 있는 1 k Ω 의 가변 저항을 조정해서 구동단의 베이스 입력을 가감함으로써 하고 있다.

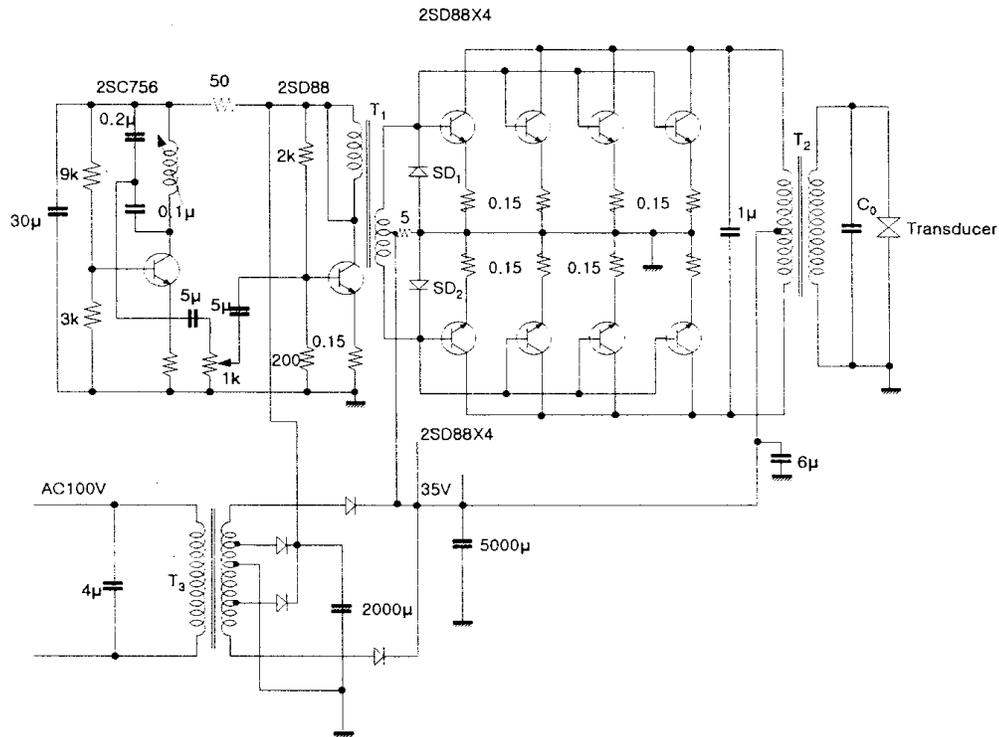


Fig. 215. Circuit diagram of master oscillation generator power amplifier formulation in electrostatic transducer.

그림 216은 자왜진동자의 회로도를 보이고 있다. 이것은 자왜진동자의 정합 회로인데 니켈 진동자처럼 직류 여자용 전원을 필요로 하는 경우에는 그 직류 전류가 트랜스 기타 여분이 있는 곳에 흐르지 않도록 직류 저지용 콘덴서의 뒤에 넣고 반대로 고주파 전류가 직류 여자용 전원 측에 달아나지 않도록 하기 위해서는 고주파 새류코일을 붙여 두어야 한다.

그림(a)는 비교적 간단한 정합 방식인데 가장 자주 사용되며 이 경우 정합용 콘덴서 C가 직류 저지용 콘덴서의 역할도 겸비한다. 그림(b)는 자왜 진동자의 임피던스가 일반적으로 낮기 때문에 이것을 동조 회로에 직렬로 넣어서 부하의 일부로 한 것이다. 자왜 진동자는 그 공진 주파수에서는 저항과 초크가 직렬로 연결된 것과 바꾸어 놓을 수 있다.

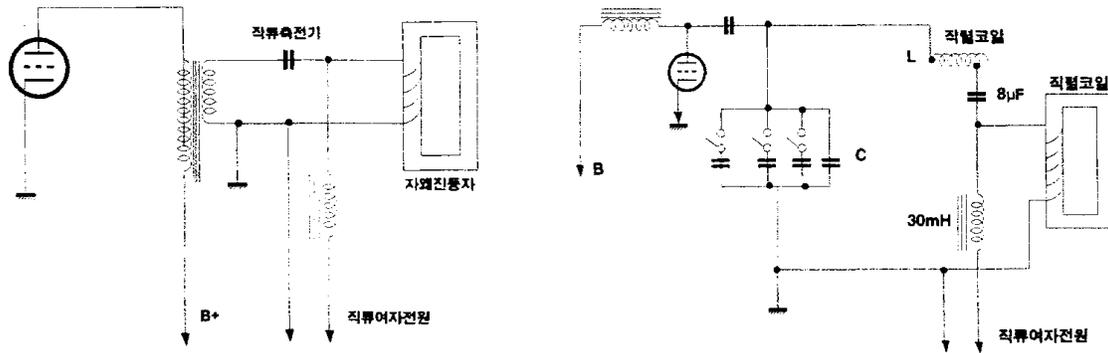


Fig. 216. Circuit diagram of oscillation generator.

그림 217은 기존에 사용하던 300 W급 28 kHz MOPA형 초음파 발진기의 실물사진이다. 소자들의 냉각을 위해서 공냉식팬이 설치되어 있으며 발진 모듈의 제작으로 상당한 부피를 차지하며 주파수 튜닝기능과 출력조절으로 진동자의 출력을 조절할 수 있다. 내구성면과 조작성, 간편성을 위해 개조의 필요성이 절실하게 요구되었다. 또한 실제 농작업 현장에 적용 시에는 흙, 먼지 등에 의하여 회로가 손상을 입지 않도록 보완할 필요가 있다.

그림 218은 기존의 그림 94의 발진기를 보완하여 농작업 현장에 적용할 수 있도록 제작한 MOPA식 28 kHz 200 W급 발진기이다. 전체적으로 구성이 간략하며 부피도 작고 조작도 간단하게 스위치의 개폐에 따라 작동되도록 설계하였다.

그림 219는 현재 시판되고 있는 세척기용 자왜식 초음파 발진회로와 진동자의 실물 사진이다. 간략하면서도 내구성 있도록 구성되어 있다.

무 부하시 내구성이 있는 28 kHz 200 W 용작기용 진동자를 사용하여 기존문제들을 줄였으나, 기존의 제품보다 진동부위의 제조단가가 2.5배 상승하였다.

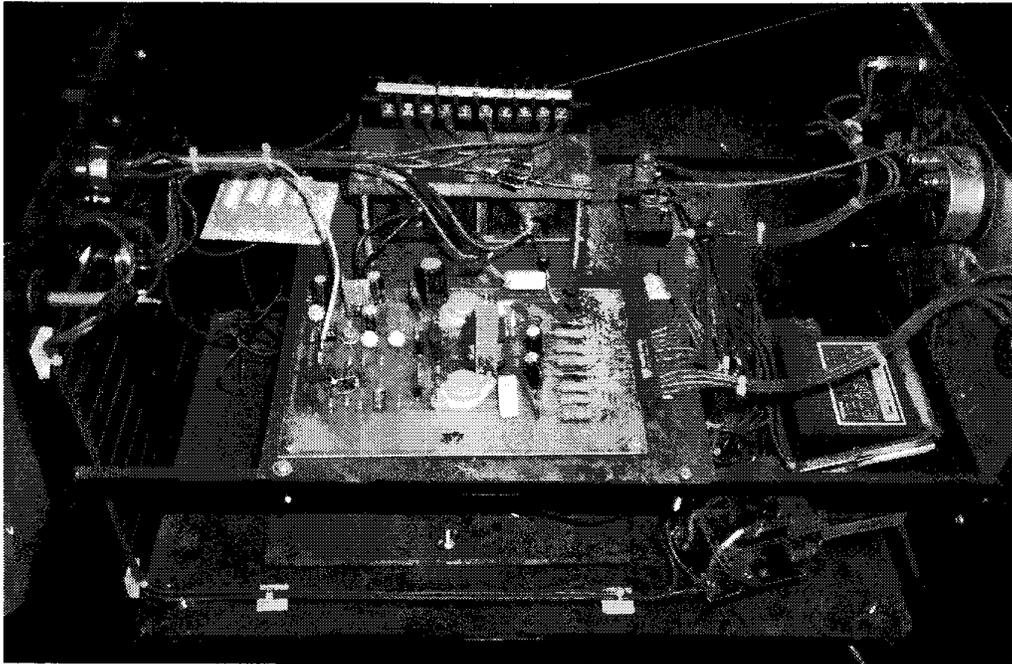


Fig. 217. Photo of the Ultrasonic generator(old type)

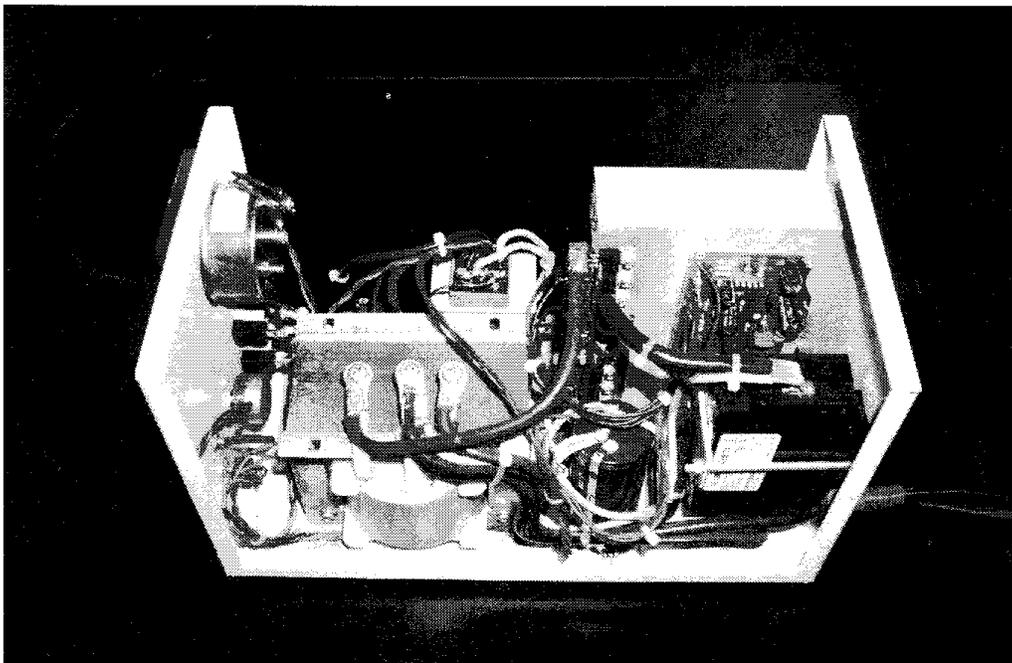


Fig. 218. Photo of the ultrasonic generator(portable type)

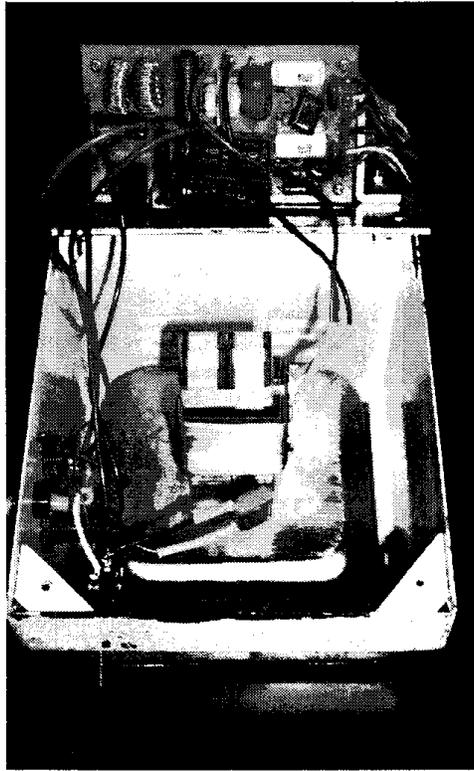


Fig. 219. Photo of the ultrasonic generator(magnetic transducer type)

그림 220, 221, 222는 본 연구에 의해서 제작되어진 초음파 발진기의 형상이다.

3개 모델의 공통적인 사양은 28kHz, 300W이상의 출력을 낼 수 있으며, MOPA(Master Oscillation Power Amplitude)방식의 회로를 채택하였다. 증폭소자 및 전자소자들의 냉각을 위해 볼베어링어로 제작된 냉각팬을 부착하였다. 부하가 없는 상태에서 오랜시간 동안 발진기가 구동되어 내부 회로의 손상을 방지하기 위해서 외부스위치 즉 센서에 의해 연무기의 송풍팬이 작동된 후에 발진기가 작동되도록 외부스위치 라인을 고안하여 부착하였다.

초음파 발진기가 농업용 연무기에 사용되므로 상당한 먼지의 유입 및 고온, 다습으로 인한 내구성을 고려하여 제작되었으며, 2차 년도에는 초음파 발진부의 부피를 상당히 줄여 최적화된 상태의 발진기를 제작하였다.

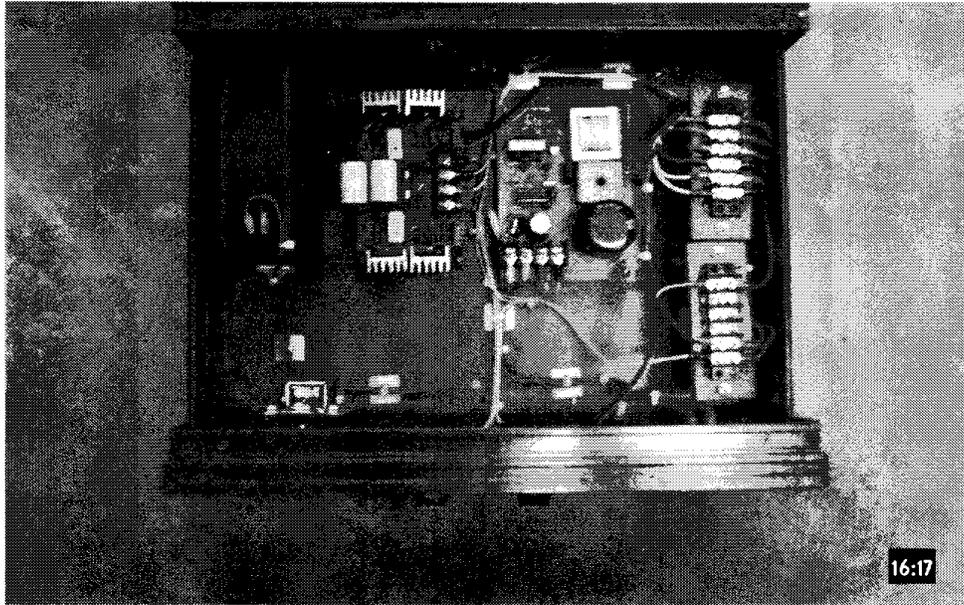


Fig. 220. Photo of the ultrasonic generator(design 1)

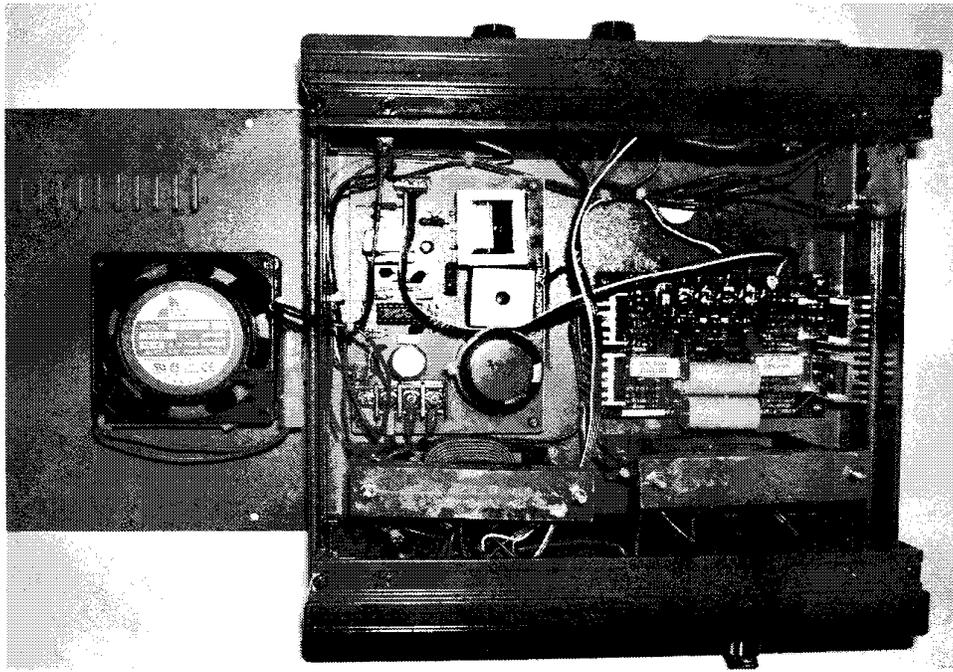


Fig. 221. Photo of the ultrasonic generator(design 2)

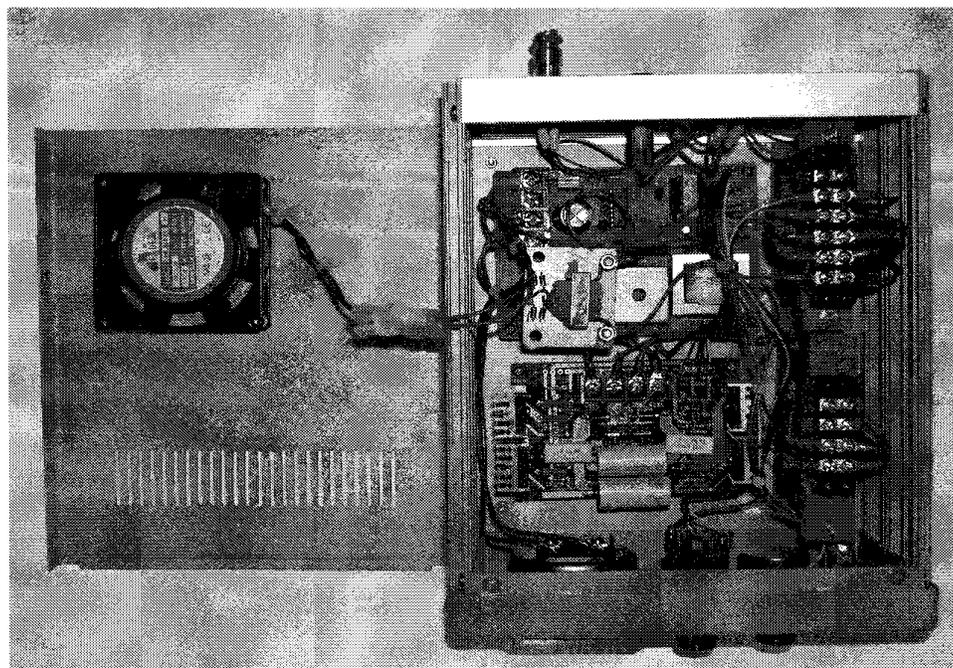


Fig. 222. Photo of the ultrasonic generator(the completed design)

제 7 장 온실 적용 실험 및 경제성 분석

제 1 절 온실 적용 실험

1. 서언

전술한 2-유체 초음파 노즐 2번을 연무기에 장착한 시작기를 제작하여 실제 온실에서의 분무를 통하여 온실 내 부착밀도 분포와 부착입경 분포를 초음파 비가진시인 상용과 초음파 가진시에 대하여 측정하여 연무기용 2-유체 초음파노즐의 성능을 확인하였다. 슬라이드 글라스에 부착된 약액의 잔류량을 흡광광도계를 이용하여 분석한 부착밀도 분포와 현미경을 이용한 영상처리를 이용하여 측정한 온실 내 작물의 부착입경 분포의 결과를 비교하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1) 시작기

전술한 실험결과에 의하면 2번 노즐이 분무공기압 245 kPa에서 연무기용 2-유체 초음파노즐로서 적합할 것으로 판단되어 본 실험에서는 노즐 2번을 시중의 상온 연무기의 노즐부에 장착, 시작기를 제작하였다.

그림 223는 초음파적용 2-유체 분무노즐을 적용한 시작기로서 초음파 발생장치, 약액공급장치, 압축공기공급장치, 송풍기와 노즐부로 구성하였으며, 초음파 장치로는 초음파 발진장치와 저주파수인 28 kHz의 전왜진동자인 PZT BLT를 사용하였다.

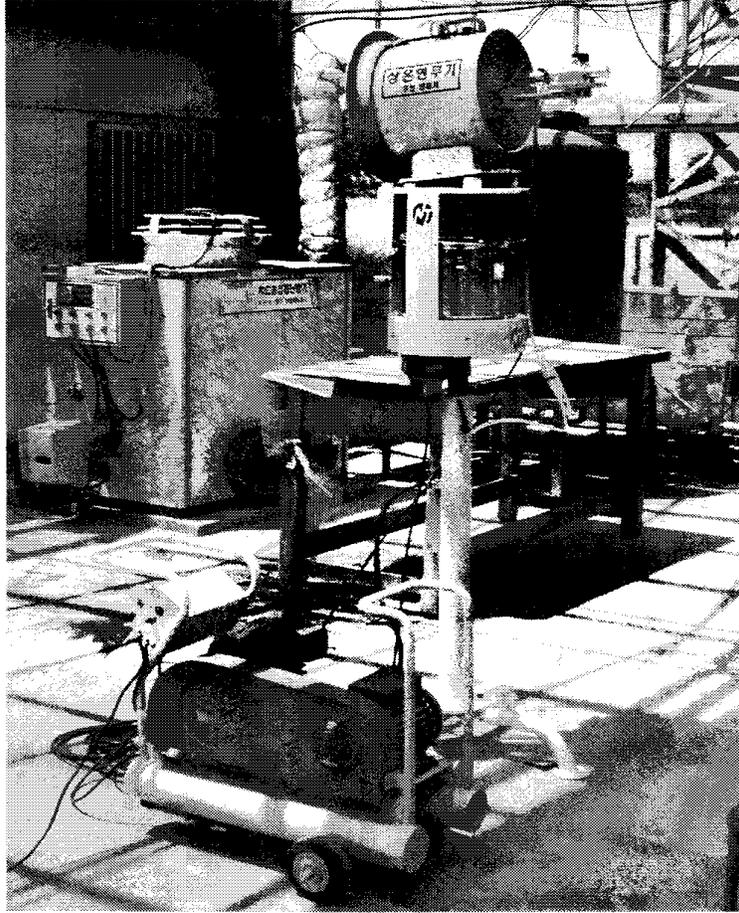


Fig. 223. Experimental ultrasonic cold-fog machine.

2) 모의식물

분무 약액의 부착분포를 측정하기 위해 모의식물을 그림 224와 같이 제작하였으며 지상고 1 m 지점에 약액 부착용 슬라이드 글라스(75 mm × 25 mm, t1)를 모의식물의 가지 위, 아래에 부착하도록 제작하였다.

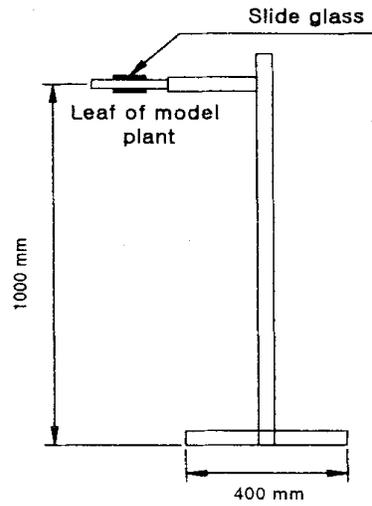


Fig. 224. Schematic representation of the model plant.

3) 공시온실

공시 온실의 폭은 9 m, 길이 35 m의 유리온실로서 약액의 부착밀도를 측정하기 위하여 식물을 심지 않고 모의식물을 종방향 3개소, 횡방향 4개소로 총 12개소에 배치하였다. 그림 225에는 실제 온실에서 모의식물을 배치한 측정지점을 나타내었다.

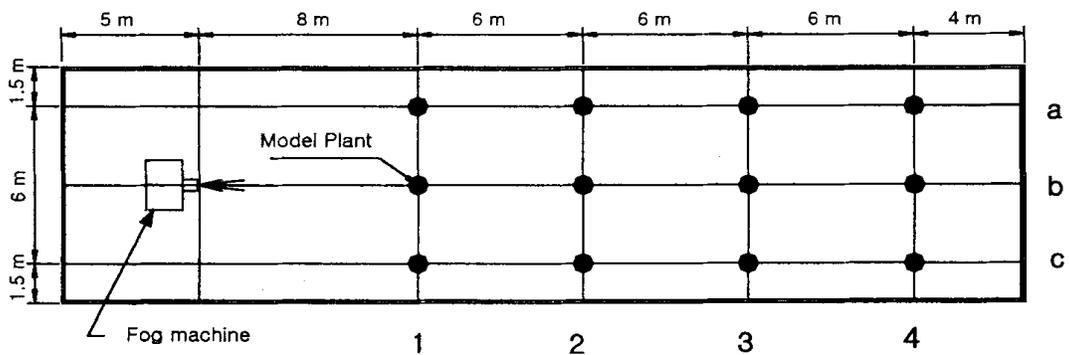


Fig. 225. Schematic representation of sampling points in the greenhouse.

나. 실험방법

1) 부착밀도 분포의 측정

본 실험은 초음파분무와 상용분무의 부착밀도의 비교를 목적으로 하고 있으며, 각 각에 대해 3회씩 반복 실험하였다. 공시온실에서 연무기와 온실 맞은편 끝까지의 거리가 30 m였다. 송풍팬에 의한 연무약액의 충분한 확산을 위해 온실 맞은 편에서 풍향과 풍속을 측정한 결과 약 5000 m³/h가 적당하였다. 온실 내 분무에서 분무량을 크게 하기 위해 최적공기압 범위 중 가장 높은 공기압 245 kPa로 하였다. 노즐의 지상으로부터의 높이는 2 m, 분사각은 5° 로 하여 온실의 종방향만을 향하여 분사하였다. 공시 약액은 매 실험마다 4 l의 물에 황색식용색소 200 g을 희석한 수용액을 사용하였다.

온실 내 약액의 부착밀도를 측정하기 위해 모의식물을 온실 내 총 12개소에 설치 후 모의식물 앞의 윗면과 아랫면에 총 24개의 슬라이드 글라스를 부착하였다. 약액의 분무는 실제 온실현장에서 연무기가 사용되는 시간인 야간에 실시하였고, 온실 밀폐 후 약액을 분무하고 분무 종료 5시간 후 슬라이드 글라스를 회수하여 각 시편을 10 ml의 증류수에 세척하여 그 세척 액의 최대흡광도를 흡광광도계를 통하여 측정하였다. 표 27에는 최대 흡광도 측정에 사용된 분광광도계의 제원을 나타내었다.

Table 27. Specifications of photoelectric spectrophotometer

Items	Specifications
Maker	Shimadzu Co. (Japan)
Model	UV-2201
Wavelength range	200 - 900 nm
Measurement mode	Abs, %T

측정된 최대 흡광도값은 미리 농도를 달리하여 작성한 표준검량곡선을 토대로 최종적으로 슬라이드 글라스에 부착되는 약액의 부착밀도(ml/cm²)로 표시하였다.

그림 226에는 본 실험에서 사용한 검량곡선으로 최대흡광도와 농도와의 관계를 나타내었다. 측정된 시료의 최대흡광도는 본 곡선의 회귀식을 토대로 농도를 유추하였으며, 농도와의 관계에서 부착량을 계산하였고, 최종적으로 슬라이드 글라스의 면적으로 나눈 부착밀도로 표시하였다.

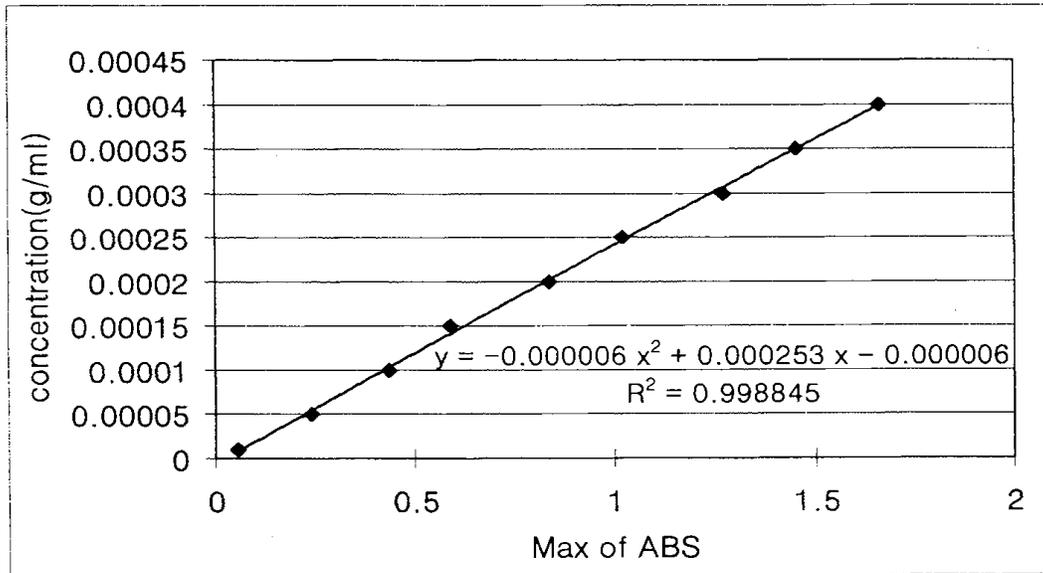


Fig. 226. Relation of concentration and maximum absorbance.

표 28에는 온실 내 부착밀도 측정실험에서 분무시작 시에 측정된 온도와 습도를 나타내었다. 실험중 온도와 습도는 온실 내의 연무기 위치와 온실의 반대편 4b위치에서 각각 측정하였으며, 측정된 두 값에는 큰 차이가 없었다.

Table 28. Temperature and relative humidity in the greenhouse

Conditions		Temperature(°C)	Relative humidity(%)
Without ultrasound	1	24	59
	2	23	47
	3	24	48
Ultrasonic	1	24	62
	2	23	46
	3	23	49

2) 부착입경의 측정

식물에 부착되는 부착입경을 측정하기 위하여 실제 작물 잎 대신에 슬라이드 글라스에 실리콘 오일(1000 cSt)을 도포한 후 각각의 모의식물의 줄기 끝에 부착하였다. 실리콘 오일의 중력에 의한 낙하를 고려하여 모의식물 윗부분에만 슬라이드 글라스를 배치하였다.

분무시의 공기압은 245 kPa으로 하였고, 분무 약액은 영상처리의 편의와 증발방지를 위해 수도물 2ℓ에 흑색잉크 20 cc를 희석한 수용액을 사용하였으며, 약액의 분무는 실제 온실현장에서 연무기가 사용되는 시간인 야간에 실시하였고, 증발을 감안하여 분무종료 5분 후 슬라이드 글라스를 회수하여 사전에 배율과 초점이 조정된 현미경에 장착 즉시 영상을 획득하였다.

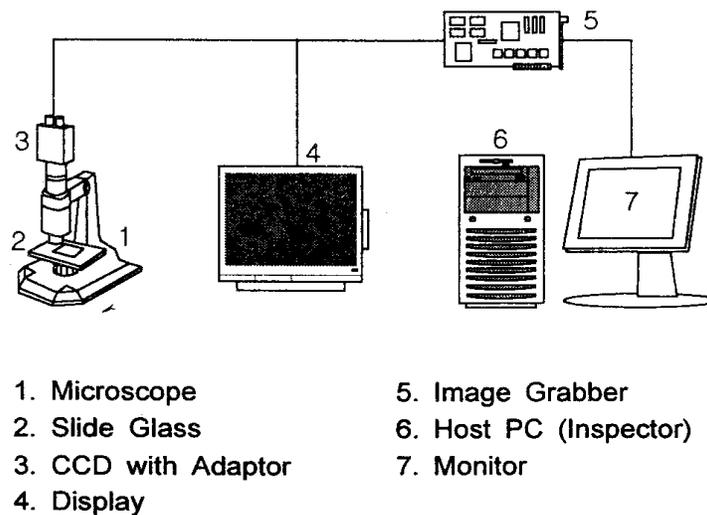


Fig. 227. Schematic diagram of the image processing system.

그림 227에는 실험 시에 사용한 영상처리 장치를 나타내었는 바 현미경, CCD 카메라, 모니터, 영상획득을 위한 Image Grabber와 Host PC로 구성하였다.

표 29에는 영상처리 장치를 구성하고 있는 각 장치의 제원을 나타내었다.

Table 29. Specifications of the image processing system

Item	Maker	Model	Specification
Microscope	Dong Won	DSZ 45T-PT	Zoom : 7X ~ 45X
CCD camera	Sony	SC-ST70	768(H) × 464(V)
Image grabber	Data Translation	DT3155	640 × 480, 8bit, B/W
Post processor	Matrox	Inspector	Image Processing Program

회수한 슬라이드 글라스는 가로(2 mm) × 세로(2 mm)를 측정영역으로 하였으며, 각각의 측정영역에 대해 임의로 5곳을 선정, 측정하였는바 이 때 현미경을 통하여 획득한 영상의 1 pixel의 값은 1.74 μm 이었다.

상용과 초음파에 대해 각각 5회 분무하여 슬라이드 글라스 측정 영역의 영상을 획득하였고, 영상처리 프로그램을 이용하여 입경을 측정하여 최종적으로 각 영역의 입경을 평균하여 VMD로 표시하였다.

표 30에는 온실 내 부착입경 측정실험에서 분무시작 시에 측정한 온도와 습도를 나타내었다. 온도와 습도는 온실 내의 연무기 위치와 온실의 반대편 4b위치에서 각각 측정하였으며, 측정된 두 값은 큰 차이가 없었다.

Table 30. Temperature and relative humidity in the greenhouse.

Conditions		Temperature(°C)	Relative humidity(%)
Without ultrasound	1	25	64
	2	24	56
	3	26	57
	4	25	58
	5	24	63
Ultrasonic	1	25	66
	2	24	60
	3	26	59
	4	25	59
	5	23	65

3) 분무흐름에 따른 입경분포 측정

온실 내 바람의 유동에서 팬의 풍속이 직접 영향을 미치는 영역에서의 상용분무와 초음파 분무의 입경 분포를 측정하고자 그림 228과와 같은 측정영역에 실리콘을 도포한 슬라이드 글라스를 배치하고 송풍량 5000 m³/h로 약액을 분무하고 분무 5분 후 회수하여 VMD를 측정, 비교하였다.

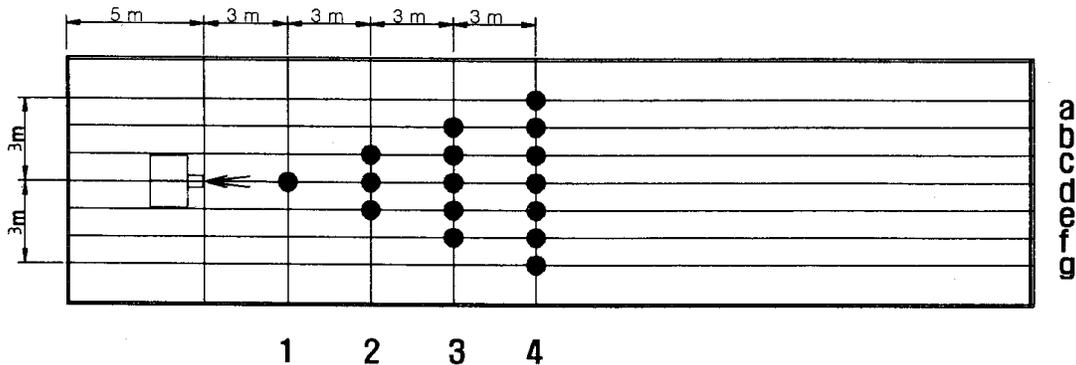


Fig. 228. Schematic representation of sampling point in the greenhouse (direct wind-affected region).

3. 결과 및 고찰

가. 부착밀도

Table 31. Droplet quantity adhered on the slide glasses in 5 hours after spraying

Location	Droplet quantity (ml)			
	Upper side		Lower side	
	Without ultrasound	Ultrasonicated	Without ultrasound	Ultrasonicated
1a	0.0105	0.0108	0.0012	0.0012
2a	0.0116	0.0111	0.0014	0.0014
3a	0.0129	0.0133	0.0010	0.0010
4a	0.0118	0.0105	0.0004	0.0004
1b	0.0336	0.0295	0.0027	0.0026
2b	0.0187	0.0158	0.0020	0.0017
3b	0.0144	0.0145	0.0009	0.0011
4b	0.0118	0.0109	0.0012	0.0011
1c	0.0103	0.0120	0.0013	0.0013
2c	0.0117	0.0146	0.0013	0.0013
3c	0.0134	0.0134	0.0009	0.0010
4c	0.0103	0.0113	0.0004	0.0006
Sum	0.1708	0.1679	0.0148	0.0148
Average	0.0142	0.0140	0.0012	0.0012
S. D.	0.0065	0.0052	0.0006	0.0006

표 31에는 분무 5시간 후에 측정된 모의식물에 부착된 약액의 부착량의 분포를 나타내었는 바 윗면의 슬라이드 글라스 전체 부착량의 총합은 상용분무 0.1708 ml, 초음파가진분무 0.1679 ml로 초음파가진 분무가 0.0029 ml만큼 낮게 나타났다. 하지만

과다 부착현상이 분무기에서 제일 가까운 1b 지점에서 발생하였는 바, 상용분무의 경우에 초음파 가진의 경우보다 14% 더 과도하게 부착되었다. 이는 그 만큼 초음파 분무가진 분무시스템의 장점을 나타낸다.

1b지점을 제외한 다른 모든 지점에서의 부착량의 총합에서 상용분무 0.137 ml, 초음파가진분무 0.138 ml로 초음파 분무의 경우가 상용분무에 비해 부착량이 높게 나타났다. 표준편차는 상용분무 0.0065 ml, 초음파가진분무 0.0044 ml로 온실 전체면에 대하여 초음파가진분무의 경우 상용에 비해 보다 균일하게 분포하였다. 슬라이드 글라스 아랫면 부착량은 2가지 분무법에서 부착총량(0.0148 ml)과 표준편차(0.0006 ml)가 동일하게 나타났다.

그림 229와 230에는 윗면 슬라이드 글라스의 평균부착밀도를 상용분무와 초음파가진분무에 대해 나타내었다. 노즐에서 가장 가까운 위치 1b 위치에서 상용분무($17.90 \times 10^{-4} \text{ ml/cm}^2$)에 비해 초음파가진분무($15.76 \times 10^{-4} \text{ ml/cm}^2$)의 경우로 부착밀도가 $2.14 \times 10^{-4} \text{ ml/cm}^2$ 만큼 낮았다. 이는 입경이 큰 분무입자의 낙하에 의해 노즐근방에서 약해를 발생시키는 기존 분무 보다 양호한 분무특성이라 할 수 있다.

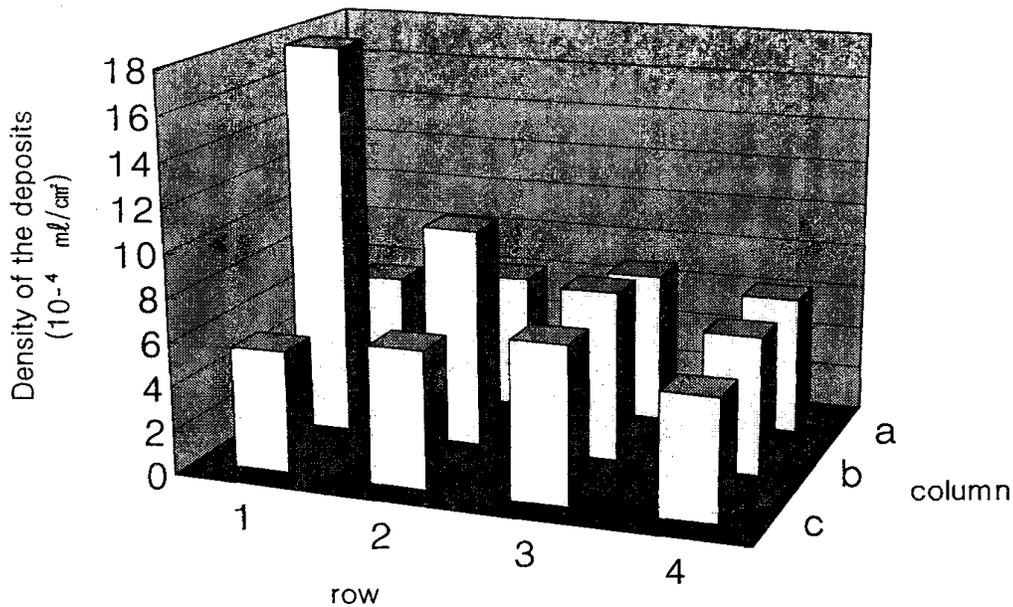


Fig. 229. Density of the spray deposits without ultrasound in the greenhouse(upper side).

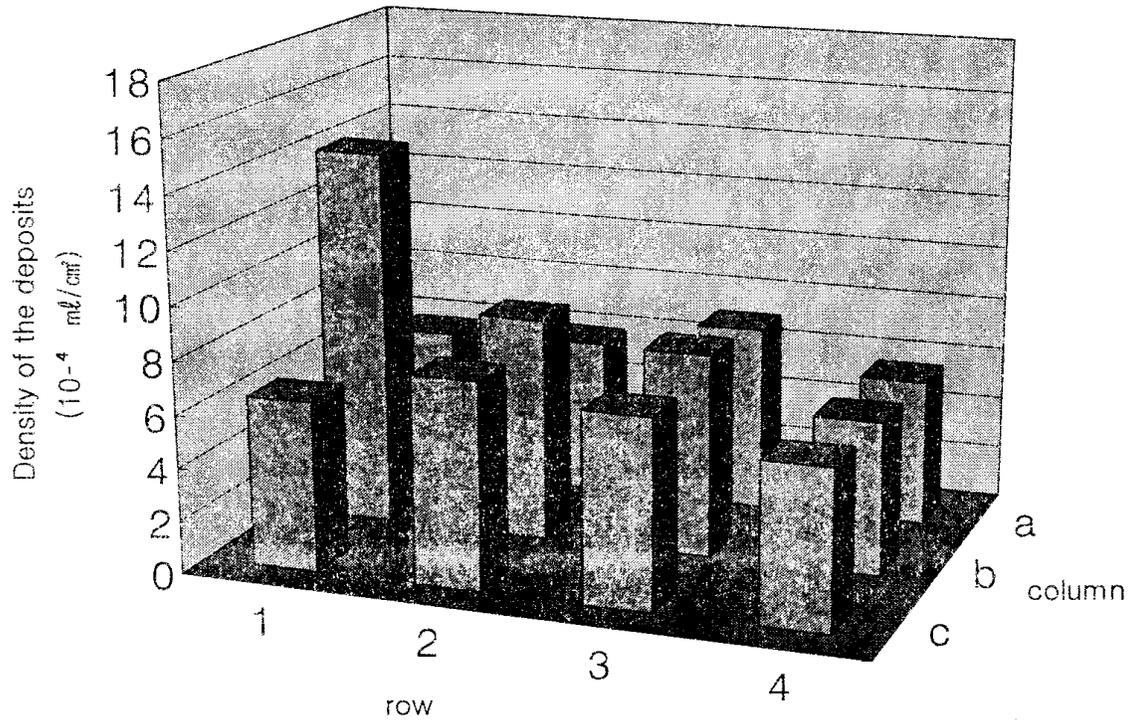


Fig. 230. Density of the ultrasonicated spray deposits in the greenhouse(upper side).

그림 231와 232는 아래면 슬라이드 글라스의 평균부착밀도를 상용분무와 초음파분무에 대해 나타내고 있다. 액적이 도달하기 어려운 부분 즉 모서리 부분(1a, 1c, 4a, 4c)에서의 부착밀도의 합이 상용분무의 경우 $1.79 \times 10^{-4} \text{ ml/cm}^2$ 에 비해 초음파분무의 경우 $1.85 \times 10^{-4} \text{ ml/cm}^2$ 로 $0.06 \times 10^{-4} \text{ ml/cm}^2$ 만큼 초음파의 경우에서 높게 나타났다. 따라서 초음파분무가 상용분무에 비해 온실 내 약액분무에서 식물잎 뒷면의 온실 내 모서리 부분에 식재되어 있는 작물의 잎 아래면의 약액부착면에서 보다 유리할 것으로 판단된다.

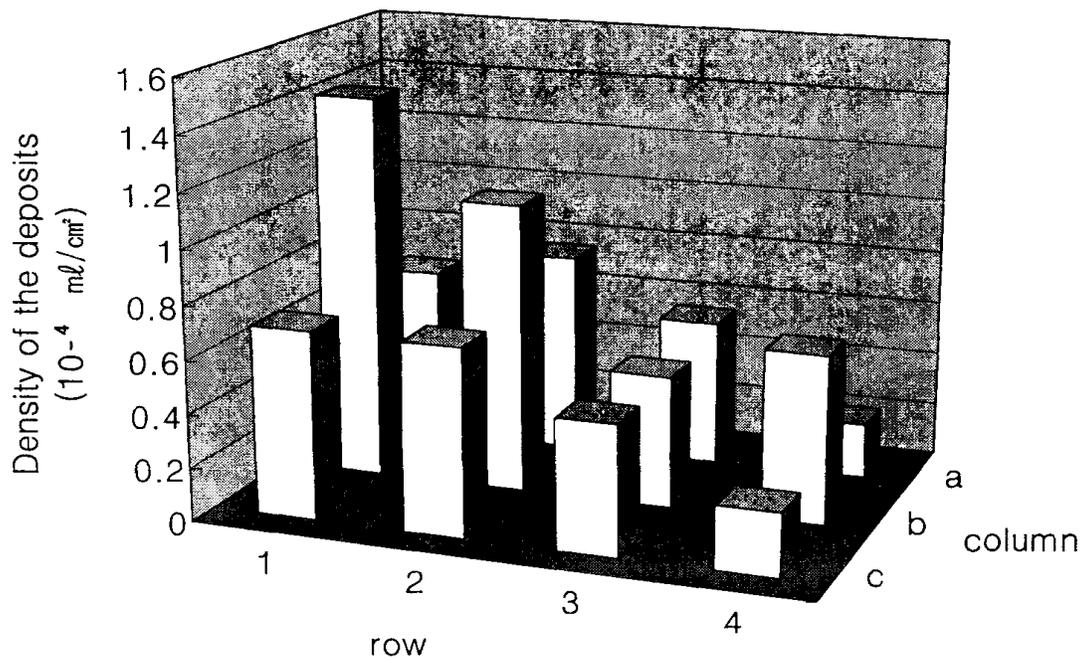


Fig. 231. Density of the spray deposits without ultrasound in the greenhouse(lower side).

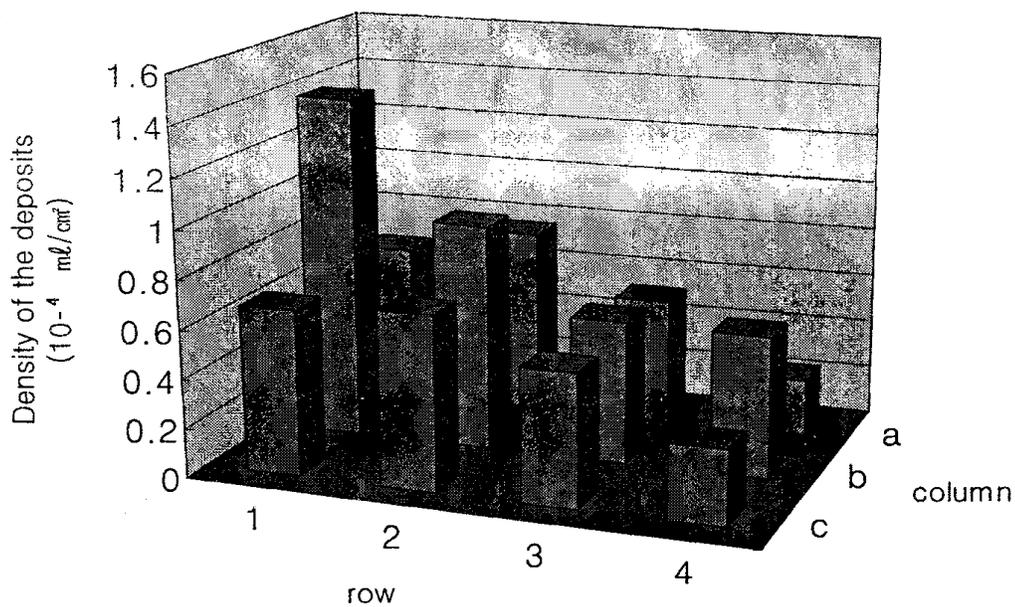


Fig. 232. Density of the ultrasonicated spray deposits in the greenhouse(lower side).

나. 부착입경

온실 내 모의식물에 부착에 알맞은 송풍량을 찾기위해 실험을 수행하였다. 송풍량은 단계별로 2500, 3333, 4166, 5000 m³/h로 하였으며, 모의 식물의 부착위치 중 b열에 해당하는 1b, 2b, 3b, 4b 위치에 슬라이드 글라스를 배치하여 VMD를 측정 한 결과 그림 233에 나타내었다. 1b위치에서 송풍량이 2500, 3333, 4166 m³/h의 경우에 비해 송풍량이 5000 m³/h의 경우에 부착입경이 보다 작게 나타났으며, 전체 부착입경의 표준편차에서도 5000 m³/h의 경우 25.7 μ m로 다른 조건들의 표준편차인 50.0 μ m(2500 m³/h), 70.8 μ m(3333 m³/h), 39.8 μ m(4166 m³/h)에 비해 가장 낮게 나타났다. 따라서 본 실험조건에서 알맞은 송풍량은 5000 m³/h로 나타났다.

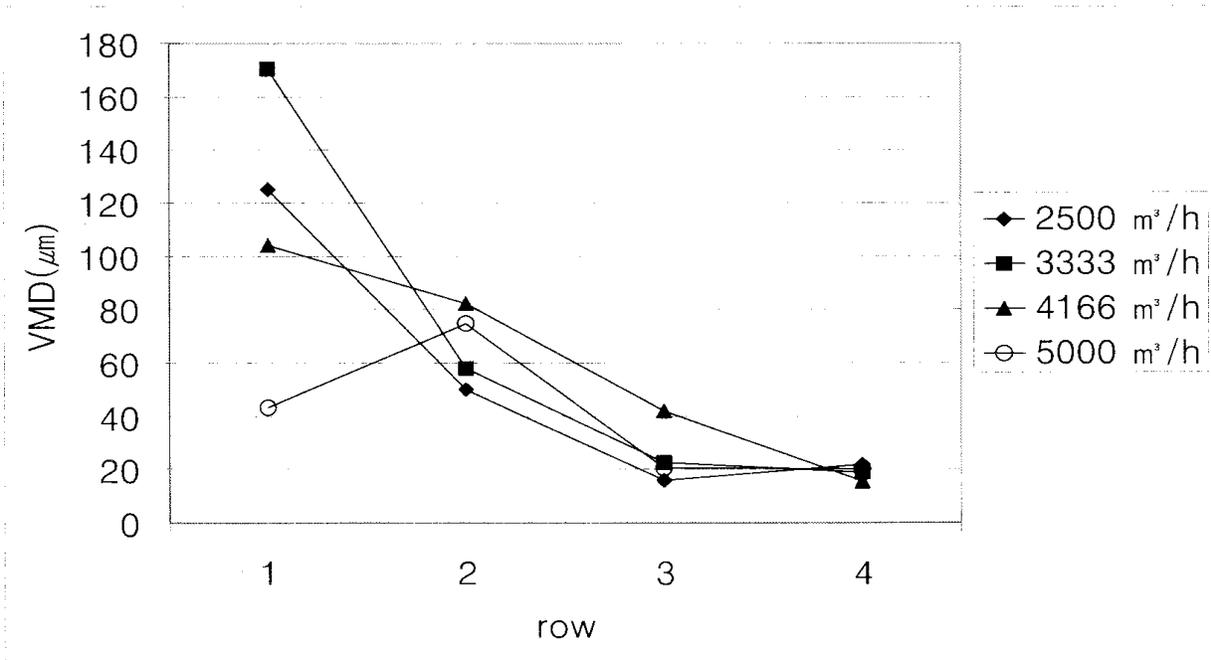


Fig. 233. VMD according to the air flow.

그림 234와 235에는 부착입경의 측정을 위해 현미경을 통해 입력한 상용과 초음파 가진시의 원시영상을 나타내었다. 초음파 가진시의 분무입경이 작게 분포된 것이 확연히 나타나 있다.

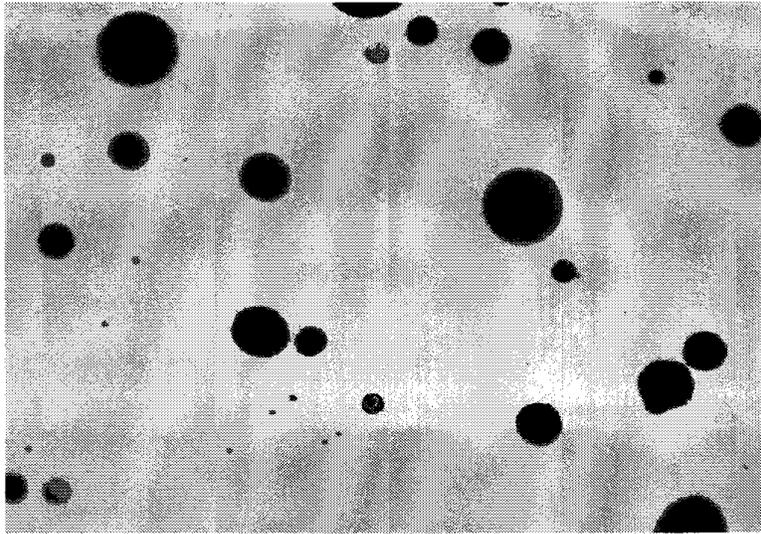


Fig. 234. Microphotograph of spray droplets without ultrasound.

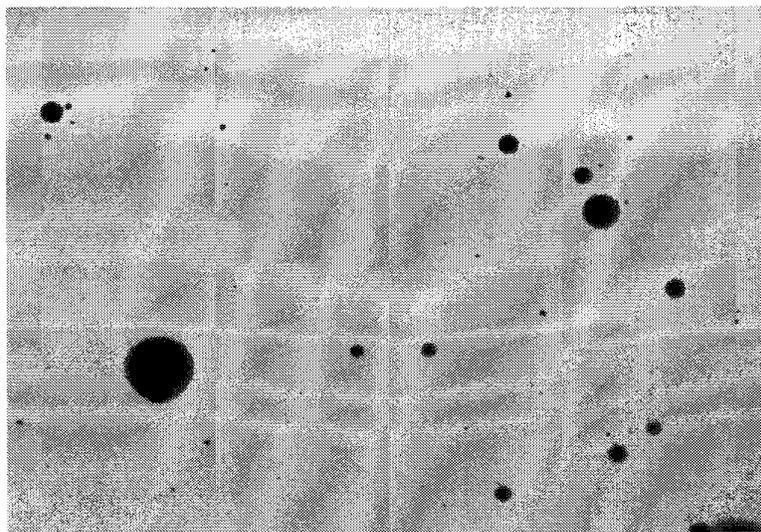


Fig. 235. Microphotograph of ultrasonicated spray droplets.

그림 236과 237에는 상용분무와 초음파가진 분무시의 슬라이드 글라스에 부착된 입경의 체적중위직경(VMD)을 나타내었다.

입경이 큰 액적이 부착되는 위치인 1b 위치에서의 입경은 상용분무 시 $203.8 \mu\text{m}$, 초음파가진 분무시에 $142.7 \mu\text{m}$ 으로 $61.1 \mu\text{m}$ 의 차이를 보이고 있으며, 4b 위치를 제외한 전체 측정영역에서도 초음파가진 분무시의 부착입경이 상용에 비해 작게 나타나고 있

다. 전체 측정영역에서 초음파가진 분무시의 경우가 상용에 대하여 평균 15.5 μm 의 입경 감소가 나타났다(5% 유의수준에서 다름). 또 전 측정영역에서의 상용분무의 표준편차가 52.58인데 비해 초음파가진 분무의 경우 36.81로 초음파 분무시 전 영역에서의 부착입경이 보다 균일하였다.

온실 내 액적 도달이 비교적 어려운 위치 (1a, 1c, 4a, 4c)에서의 부착입경도 초음파가진 분무시의 경우 상용에 비해 작게 나타났다.

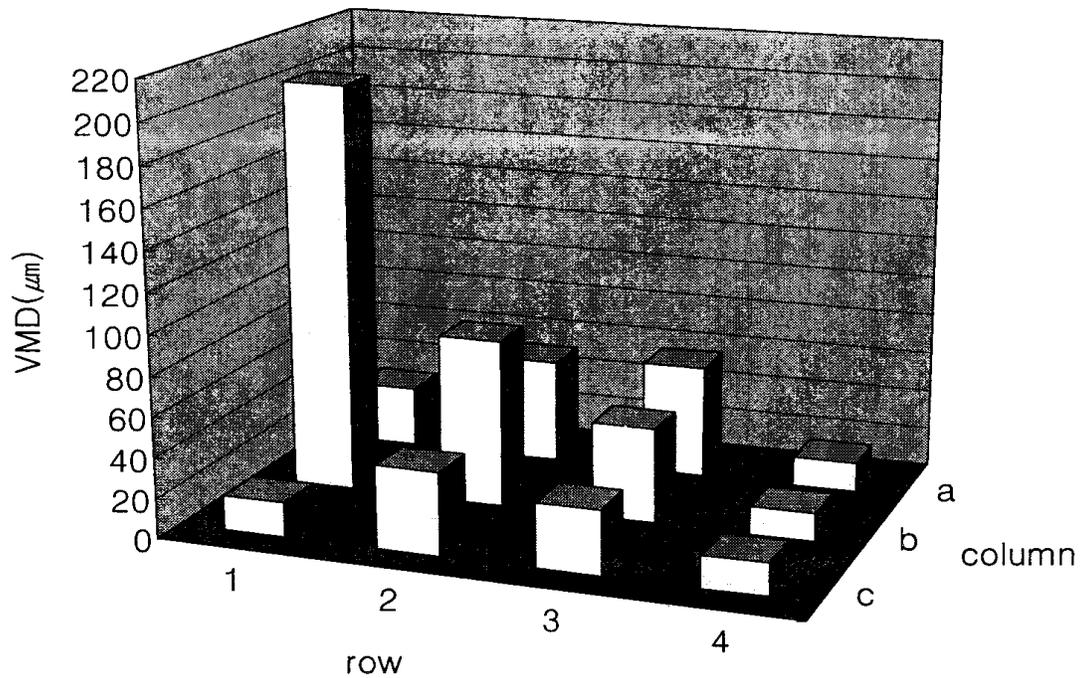


Fig. 236. VMD of spray droplets without ultrasound in the greenhouse.

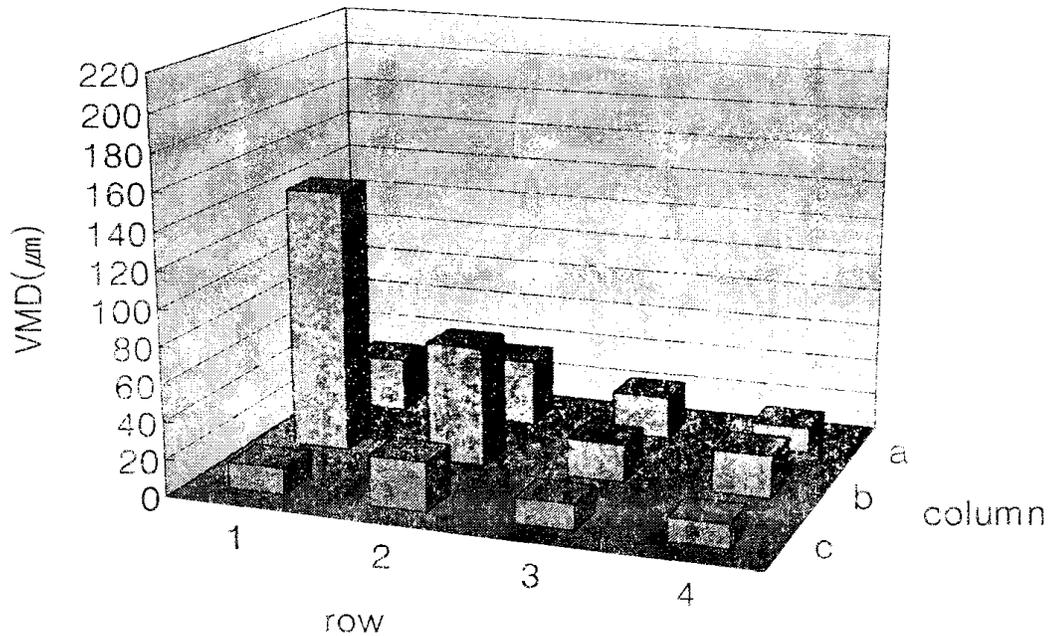


Fig. 237. VMD of ultrasonicated spray droplets in the greenhouse.

표 32에 분무 5분 후 측정된 슬라이드 글라스 내의 측정영역 5곳의 부착입경에서 체적을 구한 것을 나타내었다. 노즐에서 가장 가까운 위치인 1b에서 초음파에 비해 상용의 부착량이 상당한 차이를 보이고 있고, 4b 위치를 제외한 전체 영역에서 상용에 비해 초음파분무의 부착량이 전체적으로 낮게 나타났다. 전체 부착량의 총합을 보면 상용분무의 경우 $26919 \times 10^{-14} \text{ml}$ 에 비해 초음파분무의 경우 $5053 \times 10^{-14} \text{ml}$ 으로 나타났으며, 1b 위치를 제외한 부착량의 합은 상용분무의 경우 $2457 \times 10^{-14} \text{ml}$, 초음파 분무의 경우 $471 \times 10^{-14} \text{ml}$ 로 상용분무의 부착량이 $1986 \times 10^{-14} \text{ml}$ 만큼 높게 나타났다.

Table 32. Droplet quantity adhered on slide glasses after 5 minutes of spraying

Location	Droplet quantity (10^{-14} ml)	
	Upper side	
	Without ultrasound	Ultrasonicated
1a	185	41
2a	754	45
3a	205	21
4a	9	7
1b	24462	4582
2b	829	277
3b	135	13
4b	10	14
1c	26	8
2c	236	29
3c	56	8
4c	12	8
Sum	26919	5053
Average	2243	421
S.D.	7003	1312

분무 5시간 후 측정된 슬라이드 윗면의 부착량은 1b 위치의 부착량을 제외한 총량에서 초음파가진 경우에 높게 나타나고 아래면 부착량은 동일하게 낮고, 분무 후 5분 뒤에 측정된 슬라이드 글라스 윗면의 부착량에서 1b 위치를 제외한 총부착량은 초음파 가진시가 비가진시에 비해 낮게 나타났다. 이 결과는 초음파에 의해 입경이

더욱 미세화되어 온실 내 작물에 액적의 완전 부착될 때까지 상용에 비해 초음파가진 경우에 부유액적의 수가 더 많았음을 의미한다. 또한 본 실험의 초음파가진 조건(28 kHz, 200 W)에서는 미세화된 입경의 증발 또는 비산이 문제시 되지않을 것이라는 결과를 제시하고 있다.

줄기와 잎의 형태가 복잡하게 얽힌 실제 식물이 식재된 온실의 경우 온실 내 부유 입자가 많은 분무를 형성하는 2-유체 초음파노즐의 경우에 보다 양호한 부착이 이루어지리라 생각된다.

다. 풍속이 직접 영향을 미치는 영역에서의 부착입경

그림 238과 239는 분무입자의 강제 대류를 위해 설치된 팬의 영향에 따른 분무입자 도달거리의 상관관계를 파악하고자 상용분무와 초음파가진 분무의 VMD를 비교하였다.

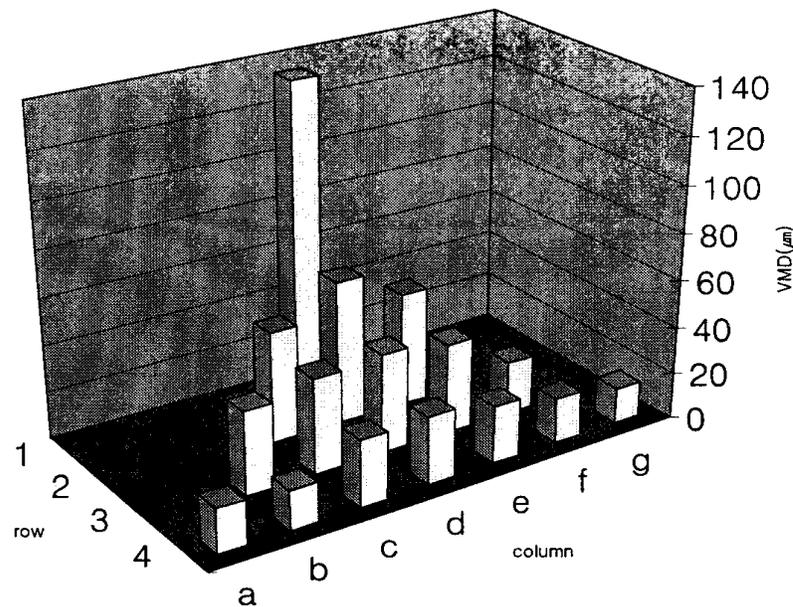


Fig. 238. VMD of spray deposits without ultrasound in the greenhouse. (direct wind-affected region)

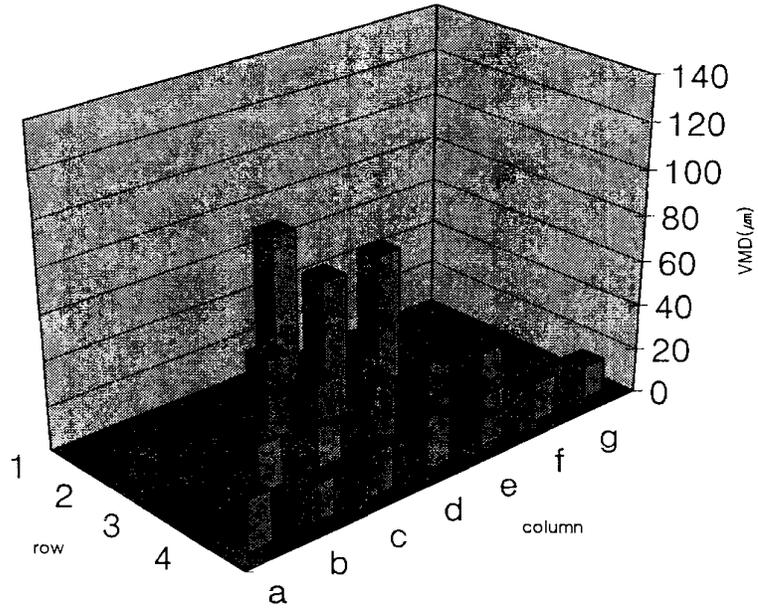


Fig. 239. VMD of ultrasonicated spray deposits in the greenhouse. (direct wind-affected region)

표 33은 초음파 가진 분무기와 상용 분무기의 분무흐름에 따른 위치별 입경분포를 나타내었다.

Table 33. VMD of deposits in the greenhouse (direct wind-affected region)

Locations	Without ultrasound(μm)	Ultrasonic(μm)
1d	135.2	71.0
2c	47.6	36.1
2d	61.5	61.3
2e	48.7	63.3
3b	35.4	21.5
3c	40.6	37.0
3d	42.6	25.8
3e	38.6	26.1
3f	22.6	20.3
4a	18.8	22.8
4b	16.5	17.1
4c	28.0	19.1
4d	28.6	24.0
4e	24.3	22.9
4f	19.0	17.6
4g	15.0	14.8
SUM	623	500.7
Average	38.9	31.3
S.D.	28.9	17.9

노즐에서 가장 가까운 거리 1d위치에서 상용 135.2 μm 에 비해 초음파 71.0 μm 으로 초음파 분무의 경우 부착 입경이 작게 나타났다. 총 16개의 측정지점 중 2e, 4a, 4b의 위치에서만 초음파가진 경우 상용의 경우보다 부착입경이 크게 나타났다.

4. 요약 및 결론

2-유체 초음파노즐을 장착한 연무기를 이용하여 실제 온실에서의 분무실험을 하고 온실 내 부착밀도 분포와 부착입경 분포를 초음파 비가진시인 상용과 비교하여 연무기용 2-유체 초음파노즐의 성능을 확인한 결과는 다음과 같다.

- 1) 슬라이드 글라스 윗면의 전체 부착량의 총합은 상용분무 0.1708 ml, 초음파분무 0.1679 ml로 초음파가진 분무의 경우에 조금 낮게 나타났다. 그러나 과다부착량이 발생하는 1b 지점을 제외한 부착량의 총합에서는 초음파가진 분무의 경우에 상용분무의 경우보다 부착량이 높게 나타났다. 또한 입경균일도는 초음파 가진외의 경우에 더 양호하였다.
- 2) 슬라이드 글라스 아랫면 부착량은 두가지 분무방법에서 부착총량과 표준편차가 동일하게 나타났다.
- 3) 부착입경은 4b위치를 제외한 전체 측정영역에서 초음파분무시의 입경이 상용의 경우에 비해 작게 나타나고 있으며, 전체 측정영역에서 초음파 분무시의 경우가 상용의 경우에 대하여 평균 15.5 μm 의 입경 감소가 나타났다. 전 측정영역에서의 상용분무의 표준편차가 52.58인데 비해 초음파 분무의 경우 36.81로 초음파 분무시 전 영역에서의 부착입경이 보다 균일하게 나타났다.
- 4) 분무 5시간 후 측정된 윗면 부착량은 1b 위치에서 부착량을 제외한 총량에서 초음파가 보다 많고, 아랫면 부착량은 동일하게 나타났으며, 분무 5분 뒤에 측정된 부착량에서 1b 위치를 제외한 부착량은 초음파 가진 시에 무가진 시에 비해 적게 나타난 것을 고려하면 이는 초음파에 의해 입경이 미세하게 되어 온실 내에 액적이 완전 부착할 때까지 상용에 비해 초음파가 부유액적의 수가 더 많은 것으로 사료된다.

5) 풍속이 직접 영향을 미치는 영역에서의 부착입경에서, 노즐에서 가장 가까운 거리 1d위치에서 상용에 비해 초음파가진시에 부착 입경이 작게 나타났고, 총 16개의 측정지점 중 2e, 4a, 4b의 위치에서만 초음파가진 경우에 상용의 경우보다 부착 입경이 크게 나타났다.

제 2 절 시작기의 소비 전력량

1. 서언

제작한 시작기의 상용의 연무기와의 경제성 비교를 위해 전력소비량을 전력량 측정 장치를 통하여 초음파 비가진시와 가진시에 대해 각각 측정하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

그림 240은 전력량 측정을 위해 구성된 소비전력량 측정장치로서 누전차단기, 개폐기, 소비전력을 측정하기 위한 전력량계 등으로 구성하였으며, 이 장치를 연무기와 AC 전원장치 사이에 연결하였다.

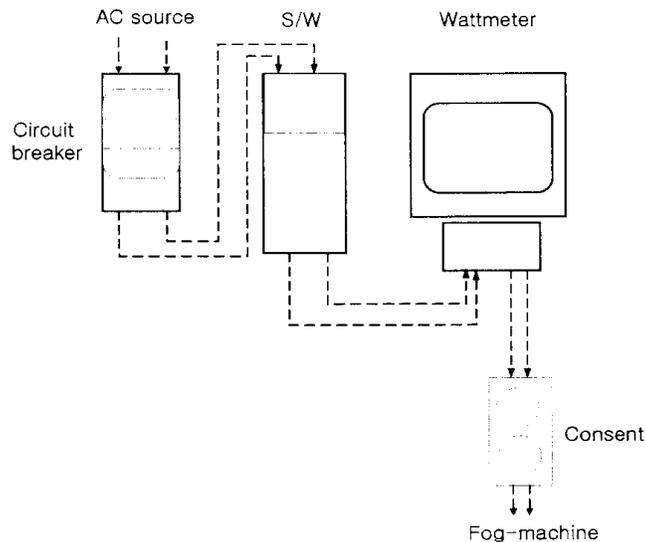


Fig. 240. Measurement system of electric energy consumption.

나. 실험방법

제작한 시작기를 기초로 하여 초음파 연무기의 초음파장치를 제외하여 상용연무시의 전력량을 측정하고, 초음파 장치를 가동하여 초음파가진 연무시의 전력량을 제작한 소비전력량 측정장치를 통하여 각각 30분간 측정하였다. 전력량 측정은 상용연무와 초음파가진 연무에 대해 각각 30분간 3회씩 실시하였으며, 실제 온실 연무시와 동일하게 약액을 분무하고 팬을 가동시키는 조건에서 실시하였다. 그림 241은 실제 전력량 측정실험의 모양을 나타낸다.

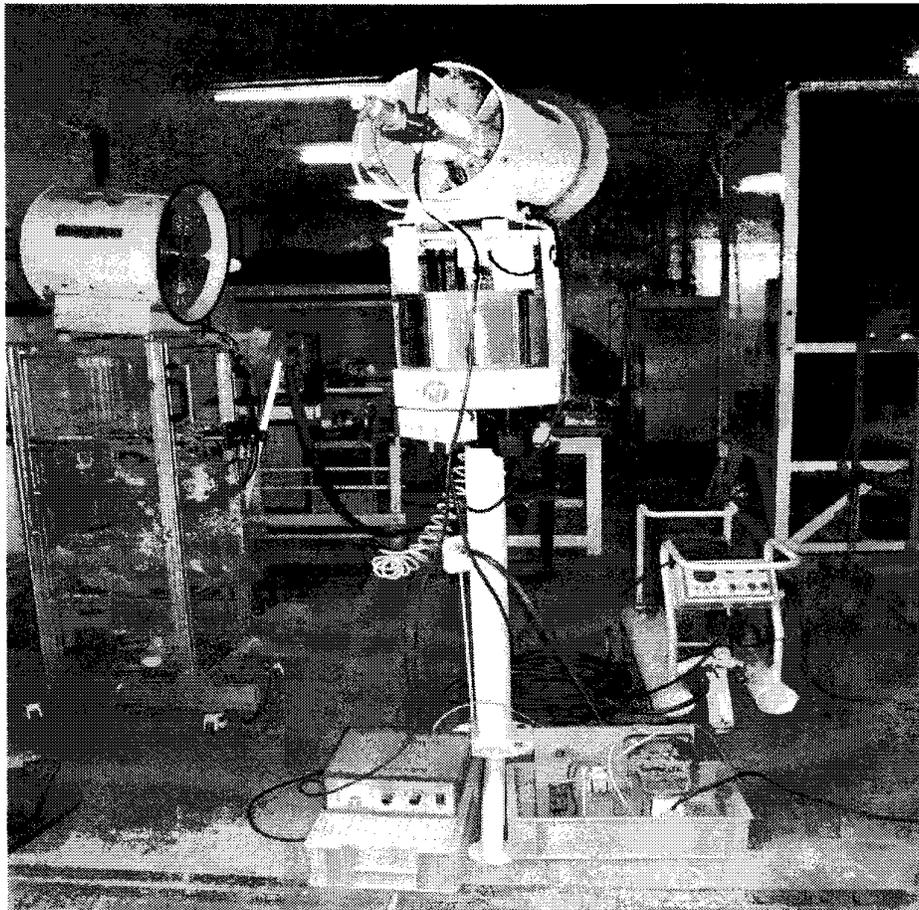


Fig. 241. Photo of electric energy consumption measurement.

3. 실험결과

소비전력량 비교 측정실험을 실시한 결과는 표 34와 같다. 30분간 시작기를 가동하여 측정한 소비전력량은 상용연무의 경우 1.11 kW·h에 비해 초음파가진 연무 1.23 kW·h로서 10.8% 정도 높게 나타났다. 이는 한달 평균 10시간 연무기를 사용한다고 가정하면 kW·h 당 26.40원의 농사용(을) 전기요금으로 환산하면 상용연무의 경우 586.08원/월, 초음파 연무의 경우 644.16원/월 으로, 연간 요금차이는 700원 미만으로 큰 차이가 없다.

Table 34. The result of measured electric energy consumption

Replication	Electric energy consumption(kW·h)	
	Without ultrasound	Ultrasonicated
1	1.11	1.22
2	1.11	1.23
3	1.12	1.23
Average	1.11	1.23

제 3 절 경제성 분석

초음파 비가진 및 가진의 경우의 시작기의 경제성을 방제효율향상, 소비에너지 및 예산단가 등의 항목으로 나누어 분석하였다.

1. 방제효과 상승

초음파 가진의 경우 분무입경의 감소, 입경균일도 향상 등에 의해 방제효과가 상승하고 수화제 농약의 사용이 가능하여 농약종류의 선택폭이 대폭 넓어지며 현장의 큰 애로점인 노즐막힘 현상의 근본적인 차단 등의 우수한 장점이 있으나 이를 정확한 액수로 정량화하기에는 어려움이 있다.

2. 전력요금

같은 량의 약액을 분무시 전력량 소비를 측정한 결과 초음파 가진의 경우가 약 10.8% 정도 전력을 더 소비하는 바, 1달에 분무시간을 10시간으로 가정하면 58원/월의 전기요금이 추가된다.

3. 제조단가

- 1) 초음파 가진의 경우 제조 단가는 비가진의 경우에 비해 진동자 및 초음파 발진 장치가 추가되므로 30만원 정도 단가 상승이 예상된다.
- 2) 압축기를 포함하지 않고 대신 약액 공급펌프를 장착하고 초음파 가진 장치를 구성하였을 경우에도 분무가 가능한 바 이 때는 약 27~30만원의 단가감소가 추정된다. 이런 경우 초음파 부가 연무장치의 가격은 비가진 연무장치와 거의 같게 된다.

4. 내구성

내구성의 경우 초음파 가진의 경우에 진동자와 초음파 발전장치가 추가되므로 비가진의 경우보다는 약간 불리하다.

참고문헌

1. 경상대학교. 2001. 시설원예작물의 병과 방제. 농과대학 최고농업경영자과정 교재 : 249~267
2. 김명규. 1994. 무인상온연무방제기 개발에 관한 기초연구. 경상대학교 농업기계공학과 대학원 박사학위논문
3. 농업기계가격. 2001. 한국농기계협동조합.
4. 민영봉, 김명규, 김도완. 2000. 터보팬 2류체 노즐에 의한 분무입자의 증발 현상. 한국농업기계학회 2000년 동계학술대회 논문집.
5. 박석호, 노수영. 1995. 공기운반분무기용 세라믹 노즐의 미립화 성능. 한국농업기계학회지 21-2 155~166.
6. 안형철, 이중용, 정창주, 이종인. 1999. 분무량과 분무입경의 독립적 제어를 위한 이류체노즐 제어시스템 개발. 1999. 한국농업기계학회 하계 학술대회 논문집. 22~27.
7. 용장우. 1973. 동력분무기의 노즐에 관한 연구(II). 한국농공학회지 15(3): 1~6
8. 용장우. 1975. 동력분무기의 노즐에 관한 연구(IV). 한국농공학회지 17(3): 78~83
9. 양환승, 이두행, 이승찬. 1990. 신농약. 향문사
10. 이강걸. 1996. 수도작용 분무제의 피복특성에 관한 실험적 연구. 서울대학교 대학원 석사 학위논문.
11. 이상우. 1993. 분무기용 노즐의 구조에 관한 연구. 한국농업기계학회지 18(2) : 100~109
12. 이채식, 박우풍, 홍종태. 1986. 시험연구 보고서. 농촌진흥청 기계화 연구소. 169~183
13. 이채식, 박우풍, 홍종태. 1987. 시험연구보고서. 농촌진흥청 기계화 연구소. 190~196
14. 정대은. 2000. 2류체노즐에서 초음파 에너지 부가 액체의 미립화 특성에 관한 연구. 진주산업대학교 기계공학과 산업대학원 석사학위논문.

15. 정창주. 1998. 정밀방제기술 개발에 관한 연구(1차년도 완결 보고서). 농촌진흥청.
16. 최규홍, 손낙률. 1975. 휴반살포용 노즐의 분무특성에 관한 연구. 한국농공학회지 17(2): 44~48
17. Azimi, A.H., T.G. Carpenter and D.L. Reichard. 1985. Nozzle Spray Distribution for Pesticide Application. Trans. of the ASAE 28(5) : 1410~1415
18. Bode, L.E., B.J. Butler and C.E. Goering. 1976. Spray Drift and Recovery as Affected by Spray Thickener, Nozzle Type, and Nozzle Pressure. Trans of the ASAE 21(1): 70~74
19. Bode, L.E., M.R. Gebhardt and C.L. Day. 1968. Spray Deposit Patterns and Droplet Sizes Obtained from Nozzles Used for Low Volume Application. Trans. of the ASAE 11(6): 754~756, 761
20. Bouse. L.F. 1994. Effect of Nozzle type and operation on spray droplet size. ASAE 37(5) : 1389~1400
21. Bouse, L.F. J.B. Carlton, I.W. Kirk and T.J. Hirsch, Jr. 1994. Nozzle Selection for Optimizing Deposition and Minimizing Spray Drift for the AT-502 Air Tractor. Trans. Trans. of ASAE 37(6): 1725~1731.
22. Dante, E.T. and C.P. Gupta. 1991. Deposition Studies of an Electrostatic Spinning Disc Sprayer. Trans. of ASAE 34(5): 1927-1934.
23. Derksen, R.C. R.L. Gray. 1995. Deposition and Air Speed Pattern of Air-Carrier Apple Orchard Sprayers. Trans. of ASAE 38(1) : 5~11
24. Gupta, C.P. and T.X. Duc. 1996. Deposition Studies of a Hand-Held Air-Assisted Electrostatic Sprayer. Trans. of ASAE 39(5): 1633~1639
25. Himel, C.M. 1969. Air assisted crop spraying : an introductory review. BCPC Monograph 46 : 3~14.
26. Himel, C. M. 1969. The optimum size for Insecticide Spray Droplets. J. of economic Entomology 62(4) : 919~925
27. Himel, C. M, and A. D. Moore. 1969. Spray Droplet Size in the Control of Spruce Budworm, Bell Weevil, Boll worm and Cabbage Looper, J. of Economic Entomology, 62(4)

28. Krishnan, P., T.H. Williams and L.J. Demble. 1988. Spray pattern Displacement Technique for Agricultural Nozzle Using Spray Table. Trans. of the ASAE 31(2) : 386~389
29. Lefebvre. A. H. 1989. Atomization and Sprays. Hemisphere.
30. Owens. J. M and G.W. 1987. Bennett. ULV Particle Size Deposition on Immature Greenhouse Whiteflies. J. of Economic Entomology. 71(3) : 466~468.
31. Peterson, D.L. and H.W. Hogmire. 1995. Evaluation of Tunnel Sprayer Systems for Dwarf Fruit Trees. Applied Engineering in Agriculture 11(6) : 817~821
32. Reichard, D. L., et. al. 1986. A System for Photographically Studying Droplet Impaction on Leaf Surface: Trans. ASAE 29(3) : 707~713
33. Salyani, M. 1988. Droplet size effect on spray deposition efficiency of citrus leaves. Trans. of ASAE 31(6) : 1680~1684
34. Smith.D.B, E.C.Burt and E.P. Lloyd. 1975. Selection of optimum spray-droplet size for boll weevil and drift control. J. Econ. Entomol. 68(3) : 415~417
35. Womac, A.R., J.E. Mulrooney, B.W. Young and P.R. Alexander. 1994. Air deflector effects on aerial sprays. Trans. of the ASAE 37(3) : 725~733
36. Yetes, W.E., N.B. Akesson. 1963. Fluorescent tracers for quantitative microresidue analysis. Trans. of the ASAE 6(2) : 104~114
37. Yates, W.E., Robert E. Cowden and Norman B. Akesson. 1983. Nozzle design influence on uniformity of droplet size spectrums from agricultural aircraft. Trans. of the ASAE 26(6) : 1633~1637, 1643
38. Zhang, L., L.Wang and E.E.Thierstein. 1994. Measuring nozzle spray uniformity image analysis. Trans. of the ASAE 37(2) : 381~387.
39. 今井正信, 武長 孝, 中川西弘之. 1957. 動力噴霧機の改良に関する研究(第4報). 農機誌. 19(4) : 163 ~ 166
40. 西村 功. 1961. 農用噴口の特性について. 農機誌 23(4) : 165 ~ 167
41. 松尾 昌樹, 盛 苗, 内野敏剛. 1990. 静電式常温煙霧機の走行散布特性と有孔圓錐電極の開発. 農機誌. 52(6) : 61 ~ 66.

42. 武長 孝. 1975. 最近のハウス内防除機と今後の方向, 農業及び園藝, 50(3), 411～414, 1975.
43. 松尾 昌樹, 内野 敏剛. 1989. ハウス内煙霧下での垂直電極走行式静電防除機システム. 農機誌 51(5) : 47 ~ 53.
44. 田中 孝. 1953. 動力噴霧機内部の脈流と噴出量の関係について. 農機誌. 15(1) : 25 ~ 28.
45. 津賀辛之介, 武長 孝, 梶山道雄. 1978. 微量・少量散布機. 農機誌 40(3) : 458 ~ 461.
46. 村田利男, 守田伸六. 1983. 園藝施設用農薬少量散布機による散布薬液粒子の捕集法と粒径分布. 農機誌 45(1) : 63 ~ 70.
47. 村田利男, 守田伸六. 1983.
園藝施設用農薬少量散布機による散布薬液の捕集法と粒径分布と施設内環境.
農機誌. 45(2) : 199 ~ 205.
48. Won-Tae Kim, Sam-Goo Lee, Byung-Joon Rho, Shin-Jae Kang. 1998. On the Intermittent Spray Characteristics : KSME International Journal 12. 5 : 907-916.
49. Hiroyasu Saitoh, Shohji Tsushima, Masaaki Negoro, Fumiteru Akamatsu, Masashi Katsuki. 2000. Observation of Flame Propagation in a Premixed-Spray Stagnation Flow : 10th Intermittent Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics
50. Grehan, G and Gouesbet, G., 1979. Mie theory calculations : new progress, with emphasis on particle sizing, Applied Optics. 18, 20.
51. H.H. Chiu, H.Y. Kim and E.J. Croke. 1982. Internal Group Combustion of Liquid Droplets : Nineteenth Symp. (Int.) on Combust : 971-980.
52. H.H. Chiu, and C.L. Lin. 1996. Anomalous Group Combustion of Premixed Clusters : Twenty-Sixth Symp. (Int.) on Combust : 1653-1661.
53. Mitsuaki Tanabe, Toshifumi Morita, Kiyoshi Aoki, Kimiyoshi Satoh, Toshiro Fujimori and Jun'ichi Sato. 2000. Influence of Standing Sound Waves on Droplet Combustion : Proceedings oh the Combustion Institute. 28 : 1007-1013.
54. H.H. Chiu, T.M. Liu. 1977. Group Combustion of Liquid Droplets : Combustion

Science and Technology. 17 : 127-142.

55. 권병철. 1985. 超音波를 利用한 吸氣管内에서의 吸入燃料 微粒化에 關한 實驗的 研究. 충남대학교 석사학위 논문.
56. 오제하, 김원태, 강신재, 노병준. 1996. 이유체 선회분사 노즐의 액적크기에 관한 실험적 연구 : 한국액체미립화학회지(1, 1) : 21-27.
57. 정중수, 이교우. 1998. PDPA와 화상처리법(PMAS)의 비교를 위한 분무 측정 실험 : 한국액체미립화학회지. (3, 1) : 1-9.
58. 김원태, 이강웅, 장연상, 강신재, 노병준. 1997. 핀틀형 연료분사기의 액적크기와 속도 상관관계 고찰 : 한국액체미립화학회 학술강연회 논문집 : 111-117.
59. 이성래. 1987. 吸氣管内에서 超音波를 利用한 燃料의 微粒化에 對한 實驗的 研究 : 충남대학교 석사학위 논문
60. 이지근, 오제하, 강신재, 노병준. 1999. PDPA계측에 의한 다공 디젤 노즐의 분무 미립화 특성에 관한 연구 : 한국액체미립화학회지. (4, 1) : 45-54.
61. 주은선, 정진도, 송민근. 1998. 2-유체 분무에서 액체미립화에 대한 초음파의 영향에 관한 연구 : 한국액체미립화학회지. (3, 4) : 50-57.
62. 남승덕. 1989. 超音波 인젝터를 利用한 디젤 噴霧特性에 關한 實驗的 研究 : 충남대학교 석사학위 논문
63. 윤면근, 류정인. 1996. 초음파 연료 분사장치의 분무특성에 관한 연구 : 한국액체미립화학회지 (1, 1) : 85-91.
64. 류정인. 1990. 디젤기관의 완전연소를 위한 초음파 연료 분사장치의 개발에 관한 연구. 과학기술부 연구보고서.
65. 송기정 외 3인. 1999. 가스터빈 연소기용 이중 공기 공급 연료 노즐의 무화특성연구 : 한국항공우주공학회 춘계학술발표회논문집 : 285-288.
66. 윤면근. 1996. EFI기관에서 초음파 에너지 부가시 분무 및 연료 특성 변화에 관한 연구 : 충남대학교 석사학위논문.
67. 이지홍. 1991. π 형 초음파 분무기에서 자유 낙하하는 액적의 미립화 특성 : 경상대학교 석사학위논문.
68. 김승모. 2001. 초음파를 이용한 부상유적군의 연소 기구에 관한 기초 연구 : 호서대학교 석사학위논문.

69. 나우정 외 4인. 1997. 농업시설 분무 냉방을 위한 분사노즐의 분무특성 : 한국농업기계학회 하계학술대회논문집 : 74-79.
70. K . Namiyama. 1989. Development fo ultrasonic atomizer and its application to S.I. Engine : SAE paper : No.890430.
71. Minoru Tsukahara 외 1인. 1989. W/O Emulsion realizes low smoke and efficient operation of DI engines with out high pressure injection : ASE paper : No.891841.
72. J.V.Droughton, et al. 1984. The effect of ultrasonic mixing of the fuel on the performance of an internal combustion engine : SAE paper No.840238.
73. 주은선, 나우정, 김종천. 1996. 고점성 바이오유의 미립화를 위한 초음파의 적용 : 생산기술연구소 논문집. (12, 1) : 227-233.
74. Yifang Lu, Nicolas Riyanto and Linda K. Weavers. 2002. Sonolysis of synthetic sediment particles : particle characteristics affecting particle dissolution and size reduction : Ultrasonics Sonochemistry. (9, 4) : 181-188.
75. Michael D. Kass. 2000. Ultrasonically induced fragmentation and strain in alumina particles : Materials Letters. (42, 4) : 246-250.
76. Kingsuk Mukhopadhyay, Chandra Dhar Dwivedi and Gyanesh Narayan Mathur. 2002. Conversion of carbon nanotubes to carbon nanofibers by sonication : Carbon, Volume. (40, 8) : 1373-1376.
77. Zhaoxia Jin, Lei Huang, Suat Hong Goh, Guoqin Xu and Wei Ji. 2002. Size-dependent optical limiting behavior of multi-walled carbon nanotubes : Chemical Physics Letters. (352) : 328-333.
78. T. Saito, K. Matsushige and K. Tanaka. 2002. Chemical treatment and modification of multi-walled carbon nanotubes : Physica B: Condensed Matter, (323) : 280-283.
79. D. M. Delozier, R. A. Orwoll, J. F. Cahoon, N. J. Johnston, J. G. Smith, Jr and J. W. Connell. 2002. Preparation and characterization of polyimide/organoclay nanocomposites : Polymer (43) : 813-822.
80. Debjit Chattopadhyay, Izabela Galeska and Fotios Papadimitrakopoulos. 2002.

- Complete elimination of metal catalysts from single wall carbon nanotubes :
Carbon (40) : 985-988.
81. 최두석, 윤면근, 류정인. 1996. 초음파 에너지 부가 디젤연료의 화학적, 물리적 특성에 관한 연구 : 한국자동차공학회논문집 (4, 3) : 147-155.
 82. Franco Cataldo. 2000. Ultrasound-induced cracking and pyrolysis of some aromatic and naphthenic hydrocarbons : Ultrasonics Sonochemistry (7) : 35-43.
 83. Gareth J. Price, Emma J. Lenz and Christopher W. G. Ansell. 2002. The effect of high-intensity ultrasound on the ring-opening polymerisation of cyclic lactones : European Polymer Journal (38, 9) : 1753-1760.
 84. D. Feng and C. Aldrich. 2000. Elution of ion exchange resins by use of ultrasonication : Hydrometallurgy (55, 2) : 201-212.
 85. C. P. Chu, D. J. Lee, Bea-Ven Chang, C. S. You and J. H. Tay. 2002. "Weak" ultrasonic pre-treatment on anaerobic digestion of flocculated activated biosolids : Water Research (36, 11) : 2681-2688.
 86. R. H. de Lima Leite, P. Cognet, A. -M. Wilhelm and H. Delmas. 2002. Anodic oxidation of 2,4-dihydroxybenzoic acid for wastewater treatment: study of ultrasound activation : Chemical Engineering Science (57, 5) : 767-778.
 87. S. Lafitte-Trouque and C. F. Forster. 2002. The use of ultrasound and -irradiation as pre-treatments for the anaerobic digestion of waste activated sludge at mesophilic and thermophilic temperatures : Bioresource Technology (84, 2) : 113-118.
 88. A. Ebringerova and Z. Hromadkova. 2002. Effect of ultrasound on the extractibility of corn bran hemicelluloses : Ultrasonics Sonochemistry (9, 4) : 225-229.
 89. Yukitoshi Izumi, Masayo Izumi, Ann M. Benz and Charles F. Zorumski. 2001. Lactate dehydrogenase release is facilitated by brief sonication of rat hippocampal slices and isolated retinas following acute neuronal damage : Journal of Neuroscience Methods (108, 1) : 49-55.
 90. Nadine Barrie Smith, Joshua M. Temkin, Frederic Shapiro and Kullervo

- Hynynen. 2001. Thermal effects of focused ultrasound energy on bone tissue : *Ultrasound in Medicine & Biology* (27, 10) : 1427-1433.
91. H. Bohm, P. Anthony, M. R. Davey, L. G. Briarty, J. B. Power, K. C. Lowe, E. Benes and M. Groschl. 2000. Viability of plant cell suspensions exposed to homogeneous ultrasonic fields of different energy density and wave type : *Ultrasonics* (38, 8) : 629-632.
92. Evelyne Gonze, Nadine Commenges, Yves Gonthier and Alain Bernis. 2002. High frequency ultrasound as a pre- or a post-oxidation for paper mill wastewaters and landfill leachate treatment : *Chemical Engineering Journal*, In Press, Corrected Proof, Available online 2 November.
93. Yukiko Mizutani, Yasuki Matsumura, Shinya Matsumoto, Kenji Matsui, Kazuhiro Chiba and Tomohiko Mori. 2002. Factors affecting reaction of cucumber root lipoxygenase in phospholipid vesicle dispersions : *Colloids and Surfaces B* (25, 2) : 171-181.
94. Juliana Carla Garcia and Keiko Takashima. 2002. Photocatalytic degradation of imazaquin in an aqueous suspension of titanium dioxide : *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, In Press, Corrected Proof, Available online 26 November.
95. C. Sanchez-Brunete, E. Miguel and J. L. Tadeo. 2002. Multiresidue analysis of fungicides in soil by sonication-assisted extraction in small columns and gas chromatography : *Journal of Chromatography A* (976, 2) : 319-327.
96. Hyungsu Kim and Jae Wook Lee. 2002. Effect of ultrasonic wave on the degradation of polypropylene melt and morphology of its blend with polystyrene : *Polymer* (43, 8) : 2585-2589.
97. Weiping Huang, Xianghai Tang, Israel Felner, Yuri Kolytyn and Aharon Gedanken. 2002. Preparation and characterization of $\text{Fe}_x\text{O}_y\text{-TiO}_2$ via sonochemical synthesis : *Materials Research Bulletin* (37, 10) : 1721-1735.
98. K. M. Swamy and K. L. Narayana. 2001. Intensification of leaching process by dual-frequency ultrasound : *Ultrasonics Sonochemistry* (8, 4) : 341-346.

99. B. Balasundaram and A. B. Pandit. 2001. Selective release of invertase by hydrodynamic cavitation : Biochemical Engineering Journal (8, 3) : 251-256.
100. Antonio Canals, Angel Cuesta, Luis Gras and M Remedios Hernandez. 2002. New ultrasound assisted chemical oxygen demand determination : Ultrasonics Sonochemistry (9, 3) : 143-149.
101. Darcey G. Wayment and Dominick J. Casadonte, Jr. 2002. Design and calibration of a single-transducer variable-frequency sonication system : Ultrasonics Sonochemistry (9, 4) : 189-195.
102. 尹彩赫. 1996. 農藥總覽. 도서출판 한림.