

최 종
연구보고서

온실 및 버섯재배사용 통합환경측정 시스템
개발 - 탄산가스, 온도, 습도 측정시스템

(Development of CO₂ gas analyzer
for mushroom cultivation)

(주)이플러스티
기술연구소

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “온실 및 버섯재배사용 통합 환경측정시스템 개발-탄산가스, 온도 습도 측정시스템”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 08월 15일

주관연구기관명 : (주)이플러스티

총괄연구책임자 : 박 동 선

세부연구책임자 : 박 동 선

연 구 원 : 이 종 민

연 구 원 : 장 근 석

연 구 원 : 이 병 재

연 구 원 : 강 석 경

협동연구기관명 : 농진청 농업기계화연구소

협동연구책임자 : 최 광 재

연 구 원 : 오 권 영

연 구 원 : 유 병 기

연 구 원 : 이 성 현

연 구 원 : 박 환 중

연 구 원 : 김 장 렬

요 약 문

I. 제 목

온실 및 버섯재배사용 통합 환경측정시스템 개발
- 탄산가스, 온도, 습도 측정시스템

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 국내의 버섯 재배농가에는 탄산가스, 온도, 습도 등을 신뢰성 높게 측정할 수 있는 계측시스템이 보급되어 있지 않다. 해외로부터 수입되어 소량 보급된 탄산가스 측정기는 그 신뢰성이 전혀 검증되지 않았고 대부분의 농민들이 사용하지 않고 있다. 버섯의 품질을 높이고 고수익을 위하여 국내 실정에 맞는 통합환경측정시스템의 개발이 시급히 요구되었다.

III. 연구개발 내용 및 범위

국내 버섯 재배농가 실정에 적합하고 가격이 적절한 수준의 탄산가스 측정기를 개발하기 위하여 핵심부품들의 국산화와 시스템의 개발을 수행하였다. 적외선 광원 및 광센서로서 PbSe(Lead Selenide) 재질의 고성능 부품을 적용하였고, 가스셀, 마이크로컨트롤러 등의 하드웨어를 국산화하였다. 노이즈 신호비를 개선하고, 영점 변동을 최소화하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하였다. 시제품을 이용하여 수원 농진청 인근과 충북 초정리의 느타리 버섯재배농가에서 실증시험을 수행하였다. 실증시험에서 우수한 성능을 확인하였다. 향후 상업화를 위한 내구성 및 신뢰성을 최종적으로 검증하고 양산을 위한 양산개발을 본격적으로 추진할 예정이다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구 개발의 결과물인 버섯재배사용 저농도 탄산가스 측정기의 국내 농가 보급을 위하여 여러 가지의 도움을 요청합니다.

SUMMARY

2 years' Work on the development of the CO₂ gas analyzer has been carried out for the purpose of mushroom cultivation in the cultivation plant in Korea. At present, most of the farmers do not use the gas analyzer to get better mushroom, but are depending on their feeling like as five senses and experience. A few of the farmers purchased the gas analyzer from overseas, but they have been complaining that they can not rely on it's performances like as reproducibility, accuracy, inconvenience, and etc. Before this work, a simple comparison of the performances of the gas analyzers from overseas has be done to understand current situation of them.

Based on the experience of the development of gas analyzers for vehicle exhaust gas measurement, a new work was carried our to develop high-reliable major components which are low-cost for the mushroom cultivation in Korea.

An infrared light source and a mid-infrared detector, and their key-components were developed to reduce the production cost. A single crystal Sapphire window, a miniature thermoelectric cooling cooler, and standard package(TO-8) have been developed. Several machining and production were done to develop a low-cost, gold-coated gas cell, and numerical analysis were performed to improve the sample flow and responsibility of the analyzer. A microcontroller of the analyzer were developed using 80C51 8-bit microprocessor, and 12 bit A/D resolution.

The prototype CO₂ gas analyzer showed good overall performances in the aspect of accuracy, resolution, reproducibility, zero and span drift.

Finally, the experiment in the mushroom cultivation plant near Suwon-City and Chojung-Ri showed us reliable performances mentioned above. Remains are more experiment in the cultivation plant to get much information on the durability of the gas analyzers which should be improved before the production.

CONTENTS

Chap. 1	Introduction	7
1.1	Current situation of CO ₂ gas analyzer for mushroom cultivation	7
1.2	Requirement on CO ₂ gas analyzer for mushroom cultivation	8
Chap. 2	Status of the related study and technology	12
Chap. 3	Development of CO ₂ gas analyzer for mushroom cultivation	15
3.1	Technical target	20
a.	Technical target	20
b.	Annual plan	22
3.2	Development work and result	24
a.	System concept and design	24
b.	Infrared light source and detector	27
c.	Low cost gas cell	36
d.	Microcontroller	52
e.	Improvement of S/N ratio	59
f.	Automatic zero and span correction	61
g.	Total control of mushroom parameters	64
h.	Reliability test in mushroom plant	73
Chap. 4	Assessment of the result	112
4.1	Assessment of the result	112
4.2	The estimated effect by the result	114
Chap. 5	Future plan	117
Chap. 6	Reference	118
	Acknowledgement	118

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 -----	7
1.1 버섯 재배를 위한 탄산가스 측정기의 국내 현실 -----	7
1.2 국내 실정에서 요구되는 탄산가스 측정기의 사양 -----	8
제 2 장 국내외 기술개발 현황 -----	12
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 -----	15
3.1 기술개발 추진체계 -----	15
3.2 연구원 편성표 -----	18
3.3 기술개발의 목표 -----	20
가. 기술개발의 최종목표 -----	20
나 연도별 주요개발 내용 요약 -----	22
3.4 기술개발의 세부 내용 및 결과 -----	24
가. 시스템의 개념 및 설계 -----	24
나. 고 신뢰성의 적외선 광원 및 센서의 개발 -----	27
다. 저가형 가스셀의 개발 -----	36
라. 적외선 광원 제어회로 및 센서 인터페이스 회로 개발 -----	52
마. 적외선 노이즈(S/N비) 제거기술 개발 -----	59
바. 자동제로 교정 로직 개발 -----	61
사. 통합 컨트롤러의 개발 -----	64
3.5 실증시험 및 결과 -----	73
가. 버섯재배 환경측정시스템 -----	73
나. 버섯재배 공기조화장치 -----	78
다. CO2 가스농도 측정기의 버섯재배 환경적응성 -----	80
라. 버섯재배 탄산가스 농도분석 -----	82
마. 버섯재배 자동 환경관리시스템 -----	84
바. 결과 및 고찰 -----	85

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 -----	112
4.1 목표달성도 -----	112
4.2 기술개발에 따른 기대 효과 -----	114
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 -----	117
제 6 장 참고문헌 -----	118
감사의 글	

제 1 장 연구개발과제의 개요

1.1 버섯 재배를 위한 탄산가스 측정기의 국내 현실

버섯 및 온실재배 시설용으로 판매 중인 탄산가스 분석기는 기능상의 차이에 따라 50~200만원 선이다. 그러나 이들 대부분은 국내에서 생산되지 않고 수입되고 있으며, 이러한 수입품을 구매하였거나 설치한 대부분의 농가에서는 ①신뢰성 결여, ②작동불량, ③서비스 부재 등을 호소하고 있다. 구매한 대부분의 농가에서 탄산가스 데이터를 이용하여 환기를 자동화하지 않고 경험적인 느낌에 의존하여 버섯을 재배하고 있다. 따라서 특상품의 상품을 재배 할 수가 없으며, 농가의 고부가가치 창출에 큰 걸림돌이 되고 있다.

<표 1> 국내 시판되는 수입품 탄산가스 분석기 측정 결과

	측정 장소	영국 E사 제품 (Anagas CD98)	캐나다 F사 제품 (Yes-206)	미국 T사 제품 (Model 8700)
탄산 가스 측정 결과 (ppm)	이플러스티 사무실 (충북 청원군)	1700	750	
	사무실 책상 (수원 농진청)	3625	3006	3210
	사무실 난로앞 (수원 농진청)	4295	2525	2625
	건물 통로 (수원 농진청)	2475	1250	1800
	외부 대기 (수원 농진청)	1530	488	475
	온 도	불가	가능	가능
	습 도	불가	불가	불가
	측정원리	NDIR	NDIR	NDIR
	가스샘플링 방식	펌핑 방식	확산 방식	확산 방식
	기 타	방수성능 우수	방수 안됨	방수 안됨
	구입가격	180 만원	90 만원	70 만원

본 연구를 위해 국내에서 판매되고 있는, 수입품 버섯 재배사용 탄산가스 측정기 3종류를 구입하여 동일장소, 동일시각에 측정한 결과를 <표 1>에 제시하였다.

<표 1>의 시험결과로부터 알 수 있듯이 국내 농가에 보급되고 있는 탄산가스 측정기 제품은 심각한 문제점을 보여주고 있다. 위 결과는 일반 실내 및 대기 환경에서 측정하였으나, 버섯 재배사와 같이 다습한 환경에서는 수분에 의한 장애 및 간섭효과를 고려할 경우 더욱 심각한 결과가 예측된다.

특히 버섯 재배사에서 주로 요구되는 0~3000 ppm 구간에서 펌핑방식과 확산방식의 큰 차이는 농민들이 전혀 신뢰할 수 없음을 이해시켜 주는 결과였다. 요약컨데, 국내 농민들의 사용방법 미숙이나 실수에 의한 작동불량이 아니라, 무분별하게 수입되어 버섯 재배사에 공급된 탄산가스 측정기들이 근본적인 문제점을 갖고 있었다. 대다수의 버섯 재배농민들이 호소하는 신뢰성 결여는 장비 자체의 문제점으로 확인되었다.

1.2 국내 실정에서 요구되는 탄산가스 측정기의 사양

온실 및 버섯 재배사용 환경 측정기기는, 재배 농업인 및 전문가의 의견을 반영한 결과 <표 2>의 사양을 갖추어야 할 것으로 파악되었다.

본 연구는 1차년도에 재배 농업인 및 전문가의 의견을 조사하여 정확한 사용목적과 버섯의 발생과 생육에 미치는 환경요인들을 파악하였다.

국내 대부분 느타리 버섯재배 농가의 시설은 버섯재배에서 가장 중요한 온.습도, 환기, 광 등의 재배환경을 조절할 수 있는 자동시설이 없는 보온 덮개식 간이시설 혹은 조립식 판넬을 이용한 재배시설이 대부분이다. 재배시설에 관한 정확한 통계는 없으나 재배식 보온덮개 간이 시설이 약 60%이상 차지하는 것으로 추정되고 있으며, 최근에 극히 일부 농가에서 많은 돈을 투자하여 조립식 판넬 재배사에 냉각장치를 설치한다든지, 풍차식 자동 재배사를 설치하여 재배하고 있는 농가도 있다. 또한 버섯재배에서 빼놓을 없는 중요한 항목중의 하나가 배지재료와 재배형태라고 할 수 있는데 거의 모든 농가가 폐습을 사용하여 균사재배를 실시하여, 일부에서 벗짚을 이용한다든지 혹은 봉지재배를

실시하고 있다.

<표 2> 버섯 재배사용 탄산가스 분석기 요구사항

1	측정변수	이산화탄소	온도	습도
2	측정범위	0~2000, 5000 ppm	0~200℃	0~95%
3	신뢰성	±2% 이내	1℃ 이내	±2% 이내
4	응답시간	5초 이내		
5	방수성	버섯 재배사 내부에 설치형으로 사용시 방수성이 필수.		
6	자동 제로교정	1년간 검교정이 필요없이 자동 제로교정만으로 관리 용이함.		
7	휴대성 및 설치성	휴대하고 이동하며 측정할 수 있어야 함.		
8	외부기기 인터페이스 기능	환기팬 구동기능, PC 인터페이스 기능 등이 제공되어야 함.		
9	사후 서비스	고장에 따른 신속한 서비스 및 수리 비용이 저렴하여야 함.		
10	유지보수비용	년간 유지 보수 비용이 1~2만원 이하로 저렴하여야 함.		
11	수 명	최소 5년 이상의 무상보증수리를 원함.		
12	가 격	사양에 따라 50~150만원선이어야 함.		
13	기 타	국가공인 형식승인 제도에 의한 품질보증제도 도입 희망.		

자료에 따르면 특히 느타리 버섯재배 실패 또는 소득 감소의 원인은 여러 가지가 있으나 버섯의 발생 및 생육에 미치는 환경요인은 크게 온도, 수분, 광, CO₂농도(환기)가 주요인자들이다. 이러한 주요 인자는 아래와 같은 영향을 미친다.

가. 온도

품종에 따라 버섯균의 성장, 발이 및 생육 시에 요구되는 온도가 다르다. 일반적으로 자실체 발생과 생육온도는 버섯균의 성장온도보다 5~10℃ 정도 낮다. 균사 생장시 적온보다 과도하게 높은 온도에서 배양하면 자실체의 발생은 빨라지나 잡균의 오염이 문제가 되고 버섯 발생량과 품질이 저하된다. 또 균사생장 적온보다 과도하게 낮은 온도에

서 배양하면 배양일수도 오래 걸리고 경우에 따라서는 균사배양이 덜 된 상태에서 버섯이 발생하여 기형버섯과 수확량 감소의 원인이 되기도 한다.

나. 배지의 수분 및 상대습도

배지의 수분은 버섯균의 성장 및 자실체 발생에 막대한 영향을 주는 환경요인 중 하나이다. 일반적으로 배지 조제시 배지의 수분함량은 65~75%로 조절하는 것이 정상이다. 배지의 수분함량이 과도하게 낮으면 균사생장이 늦어지고 부분적으로 느타리 균사가 성장하지 못하는 경우가 생기며 이러한 부위로 푸른곰팡이병균 등과 같은 유해균의 침입이 쉽게 이루어진다. 이에 본 연구에서도 배지 주변의 습도를 측정하여 간접적인 습도의 함량을 조절할 수 있도록 고려한다.

다. 광

일반적으로 버섯균의 균사생장에는 광이 필요 없다. 균사 성장시에 광을 조사하면 균사생장이 저해되고 균상 표면이 과도하게 노화되어 버섯이 발생하지 않는 원인을 제공하게 된다. 반면에 양송이를 제외한 버섯의 자실체 발생에는 광이 필수적으로 필요한데 일반적으로 330~520nm의 광으로 100~200Lux 정도의 밝기가 적당하다.

라. CO2 환기

대기중의 산소는 19~20%정도이고 이산화탄소는 0.03%이나 이산화탄소의 배출량은 산업의 발달과 더불어 급격히 증가하고 있다. 버섯균은 호흡을 하면서 산소를 소비하고 이산화탄소를 배출하는데 밀폐된 공간에서 배양하면 0.6%까지 증가하는 경우도 많다. 일반적으로 0.3%정도까지는 균사생장을 촉진하나 0.5%이상이 되면 균사생장도 심하게 저해를 받는다. 자실체 생육시에 800 ~1200ppm 농도가 적당하며 이산화탄소의 농도가 과도하게 높으면 대가 길어지고 갓이 깔대기 모양으로 형성되는 기형버섯이 발생한다. 따라서 재배시에는 버섯의 생육시기와 외부의 온,습도 조건을 고려하여 환기를 조절할 필요가 있다.

본 연구에서는 자동차 배기가스 측정용 가스 분석기(HC, CO, CO₂, O₂, NO, NO₂ 측정)를 개발한 경험을 바탕으로, 기존의 수입품보다 정밀하며, 실시간 응답속도와 5년 이상의 내구성을 보증하는 버섯 재배사용 환경(탄산가스, 온도, 습도) 측정기기를 개발하고자 한다. 뿐만 아니라 가격은 자동차용 분석기의 20% 수준(50~100만원선)

이어야 한다. 제품의 기능과 가격은 국내 농가의 실정에 적합할 뿐만 아니라, 수입품의 성능과 가격을 능가하여 수출이 가능하도록 개발할 예정이다.

자동차용 배기가스 분석기는 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 未燃탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x), 산소(O₂) 등을 1%의 정밀도로 고속(0.01~1 sec)으로 측정하는 장비들이다. 장비의 가격은 측정정밀도와 응답속도에 따라 500만원~3억원선이다. 이 장비들은 자동차의 배기가스를 실시간 연속측정하며 하루 8~24시간 가동을 기본으로 설계되어 있다.

특히 자동차 배기가스의 성분은 100%의 습도에 미세한 액적까지 포함하고 있으며, 미량의 질산, 황산 수용액도 포함되어 있다. 따라서 내산성, 내식성과 같은 내구성이 뛰어난 장비들이며 응답속도가 빠르고 정밀도가 높은 고가 장비들이다. 따라서 농업용으로 사용하기에는 지나치게 고가장비이며 온실 및 버섯 재배시설에 적합하도록 개선되어야 할 점도 있다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

국내 계측기기 산업의 생산은 '90년 이후 97년까지 연평균 20.1%의 고성장을 보였으나, '98~99년에는 전년대비 약 40%정도 감소하였다(통계청 자료). 계측기기 산업의 수출은 3억 달러, 수입은 22억 달러 규모로 수입규모가 수출의 7배 정도로 나타나고 있어 극심한 무역 역조가 지속되고 있다. 그 중 가스분석용 기기는 '98년 수출이 440만 달러인 반면에 수입은 3,600만 달러를 차지하였다. 세계적으로는 42억 달러의 광센서 및 물질센서 계측기기 시장이 형성되어 있으며 지속적으로 성장하고 있다.

국내 계측기기 산업의 기술수준은 저가품의 경우 일정 수준에 이른 것으로 평가되고 있으나 첨단 계측기기의 경우 취약한 상태에 머물고 있어 핵심기술 및 부품의 수입 의존도가 큰 것으로 나타나고 있다. 제품의 가격은 우위에 있는 것으로 평가되나 품질, 디자인, 기술 등의 면에서 열위를 보여 종합적인 경쟁력은 비교열위에 놓여 있다. 부가가치가 높은 가스분석용 기기 등의 정밀계측기기가 기술 및 품질수준만 수요에 부응할 수 있다면 내수시장의 수입대체 여지가 높은 것으로 평가되고 있다. 즉 국산 계측기기가 지속적인 수요산업 성장에도 불구하고 기대 미달로 매년 수입이 대규모로 이루어져 왔으나 품질을 인정받게 되면 수입대체를 이룰 수 있을 것으로 예상된다.

<표 3> 국내 계측기기 무역수지 현황

(단위 : 백만불)

구 분	'95	'96	'97	'98	'99	평균
수 입	2,262	3,662	3,386	1,708	2,035	2,611
수 출	283	345	323	291	292	307
무역수지	△1,979	△3,317	△3,063	△1,417	△1,743	△2,304

- 자료 : KOTIS

세계 계측기기 산업의 시장규모에 대한 산업연구원 자료에 따르면 1998년 기준 약 1,170억 달러로 추정하며 2003년까지 연평균 증가율이 약 4.5%로 예상됨에 따라 시장규모는 1,464억 달러에 이를 전망이다. 주요 생산국으로는 미국, 독일, 일본 등으로 전세계 시장의 약 75%를 차지하고 있으며 이중 미국은 세계 생산량의 48%를 점유하고 있다.

<표 4> 세계 계측기기 시장규모

(단위 : 백만불)

구 분	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	연평균증가율	
								'96-'98	'99-'02
시 장	46,193	46,808	46,743	47,070	47,990	48,958	50,036	3.9	1.5
생 산	45,295	46,785	45,705	45,058	-	-	-	3.0	-

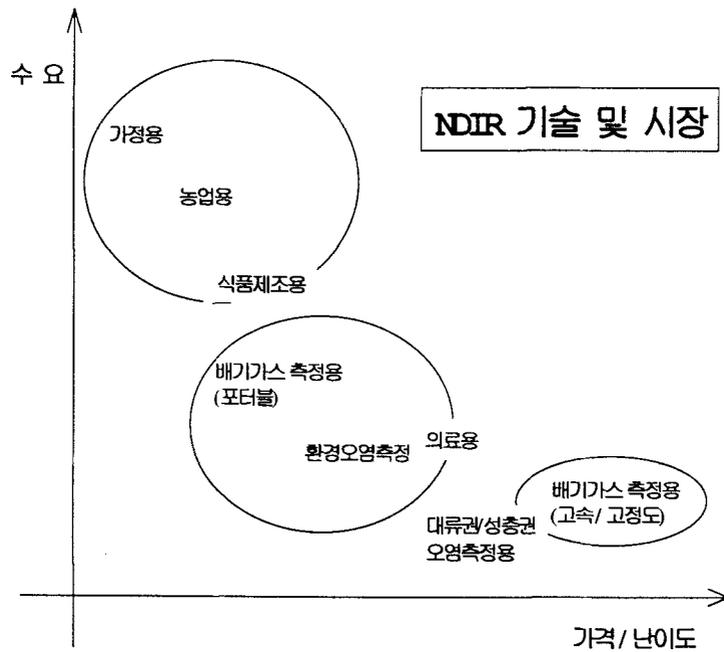
- 자료 : YEAR BOOK '98/'99, 한국전자산업진흥회 '99

세계적으로 산업 고도화와 아울러 환경오염에 대한 규제가 날로 강화되고 있어 청정 공정기술에 대한 관심이 고조되고 있으며, 생활용품부터 첨단산업에 이르기까지 효율적 공정관리와 제품의 규격, 품질, 성능보장 등을 위하여 모든 산업에서 정밀 계측이 전제되고 있다. 선진국은 장기간 계측관련 경험을 축적한 전문기술인력을 중심으로 새로운 소재와 제조기술을 이용하여 지능화, 복합기능화, 초소형화의 계측기기를 개발하고 있다. 특히 의료, 생체, 환경기술분야의 측정 및 분석기술, 고성능 정보통신기용 시험장비 기술 등은 이러한 첨단계측기기 산업에 근간을 두고 발전하고 있다. 그리고 세계시장 경쟁이 치열해지면서 기업간 기술 이전은 거의 불가능해졌다.

현재 중고가형의 적외선 가스분석기는 국내에서 개발되지 않고 있다. 그 이유로는 가스분석기의 정밀도를 제고하고 응답시간을 짧게 하는 분야의 설계능력이 뒤떨어지기 때문이다. 이는 국내 관련산업이 과거 30년 동안 일본, 미국, 유럽 등의 우수 메이커에 국내 시장을 내주고 매우 영세해져서 막대한 기술개발 투자 여력이 없기 때문이다.

광흡수식 비분산 적외선 가스분석기의 응용분야는 아래와 같이 광범위하다.

- 산업용 및 가정용 가스 분석기 - 자동차 유해 배기가스 측정, 대기오염도의 측정, 제한된 공간에서 위험한 인화성 가스 누출 감지 등.
- 식품 제조 및 농업용 - 맥주 제조, 발효감시, 온실 및 버섯재배산업 등.
- HVAC, IAQ 측정 - 실내 공기오염 및 공조 시설용.
- 의료용 - 알콜 농도 측정, 환자의 CO2 측정, 병실/수술실 오염도 측정.
- 환경오염 측정용 - CH4, N2O, CFCs, HFCs, PFCs 측정 등.



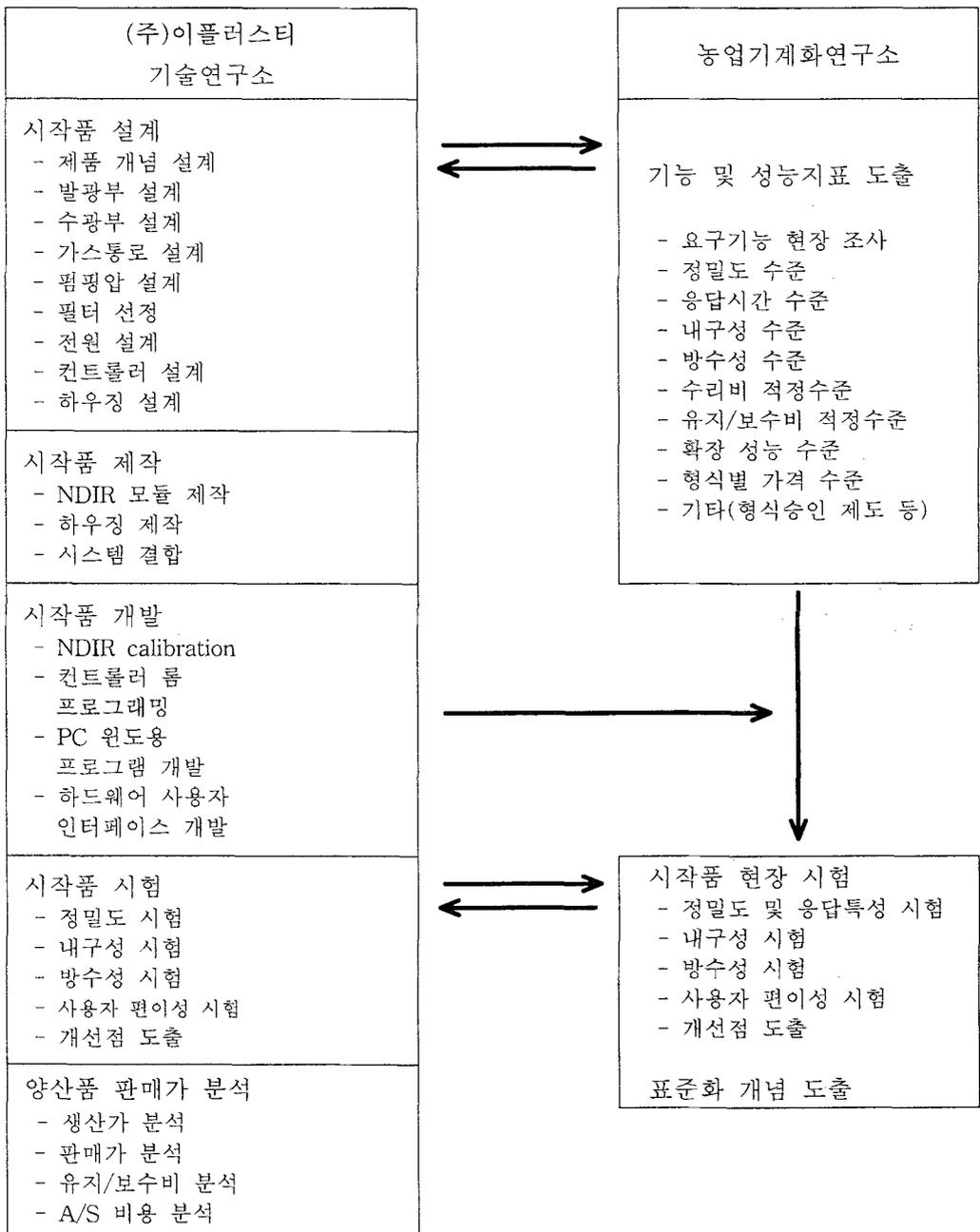
<그림 1> NDIR 분석기의 가격 및 수요량의 분포

상기의 적용분야에 따른 제품들의 가격은 50만원에서 3억원에 이르기까지 다양하다. 이는 제품의 기술성과 직결되는 것으로서 자동차 유해 배기가스를 측정하기 위하여 적용되는 초고속 적외선 분석기(Fast response NDIR analyzer)의 가격이 가장 높다. 이 제품의 국내 유통가는 약 5천만원에서 1억원 정도이며 일본의 H사, 영국의 C사가 생산하고 있다. 이들 제품은 높은 신뢰성, 정밀도, 내구성을 갖추고 있기 때문에 가격 뿐만 아니라 생산단가도 매우 높다. 국내 온실 및 버섯 재배사에 공급될 환경측정기기는 상기의 생산단가를 낮추되 품질(신뢰성, 내구성 등)은 유지하여야 하는 매우 어려운 측면이 있다.

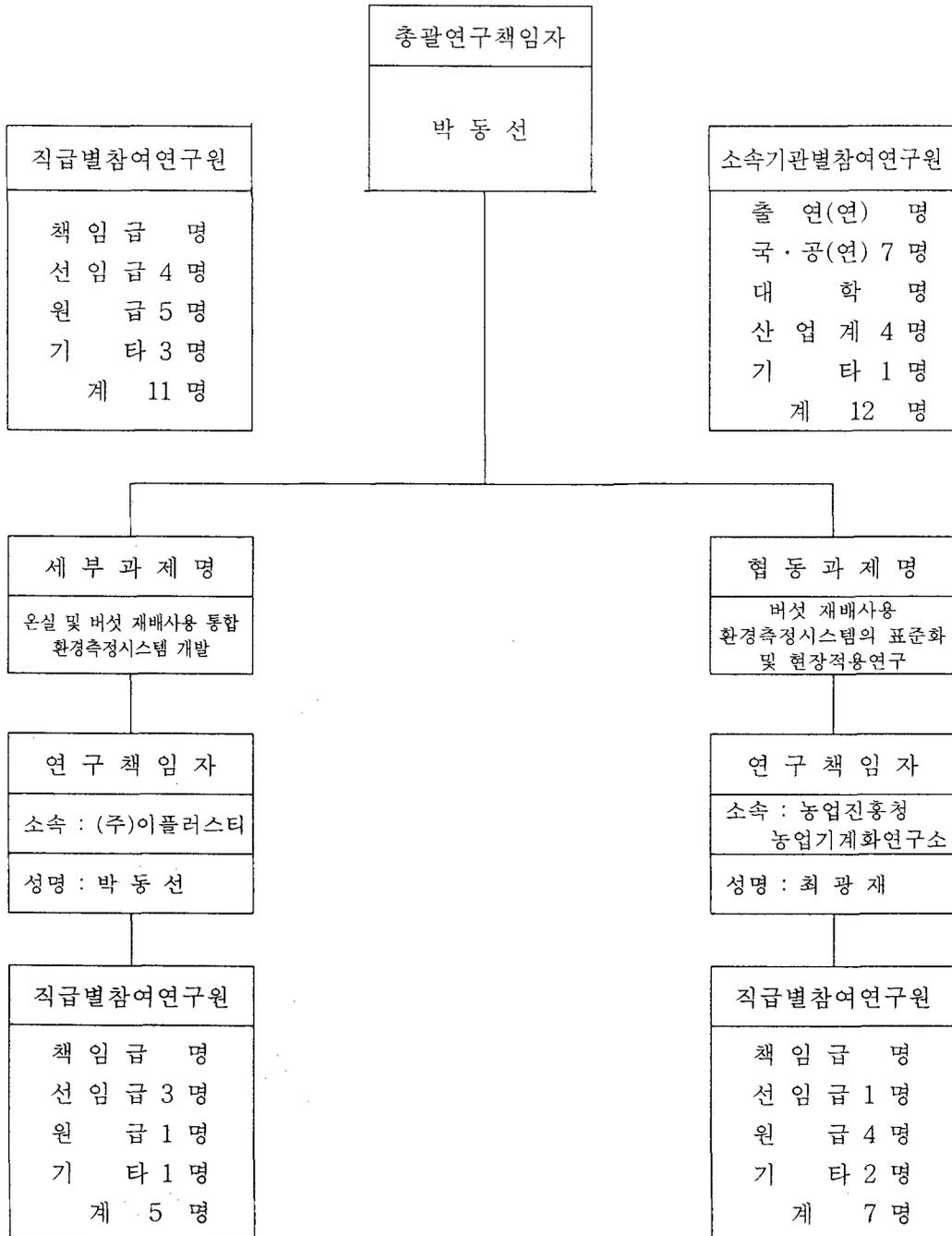
(주)이플러스티는, 기존에 수행하고 있던 고정밀, 초고속 적외선 가스분석기 개발 기술을 근간으로, 국내 농가실정에 적합한 환경측정기기를 개발하여 외국 장비의 국내유입을 막아 무역역조를 개선하고, 나아가 아시아권을 포함한 선진국으로 역수출이 가능한 좋은 제품을 개발하고자 한다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

3.1. 기술개발 추진체계



3.2. 연구원 편성표



가. 총괄연구책임자

1) 인적사항

성 명	국 문	박동선 (朴東宣)	직위(급)	선임급
	영 문	Park, Dong Sun	전자우편	macit@chollian.net
주 소	자 택	대전 서구 둔산동 908 샘머리 A 214-1005 (042-485-2591)		
	직 장	충북 청원군 남이면 적북리 124-1 첨단산업협동화단지 (전화: 043-269-0841) (FAX: 043-269-0840)		
주민등록번호	650921 - 1702110 (만 35 세)			

2) 학 력

연도(부터 ~ 까지)	학 력	전 공	학 위
1985. 03 ~ 1989. 02	서울대학교 공과대학	기계공학	공학사
1989. 03 ~ 1991. 02	서울대학교 대학원	기계공학	공학석사
1991. 03 ~ 1997. 02	서울대학교 대학원	기계공학	공학박사
최종학위논문제목	버너방식 DPF에서 재생과정의 최적화에 관한 연구		

3) 경 력

연도(부터 ~ 까지)	기 관	직 위	비 고
1995. 01 ~ 2000. 02	대우자동차 기술연구소	선임연구원	
2000. 03 ~ 2001. 01	(주)이플러스티	연구소장	대표이사(겸)

4) 주요연구업적(최근 5년)

연구제목 및 주요 내용	연구기간	발표지	연구당시 소속기관	역 할	연구비 지급기관	비고
A Burner-Type Trap for Particulate Matter From a Diesel Engine	1998	Journal of Combustion and Flame	서울 대학교	연구원	한국 델파이	SCI 저널
Regeneration Characteristics of A Burner Type Diesel Particulate Trap System in a Steady-State Engine Operation	1997	Journal of Combustion Science and Technology	서울 대학교	연구원	대우 자동차	SCI 저널
Considerations on the Temperature Distribution and Gradient in the Filter during the Regeneration in Burner Type Diesel Particulate Trap System	1996	Society of Automotive Engineering	서울 대학교	연구원	아시아 자동차	미국 자동차 공학회

연구제목 및 주요 내용	연구기간	발표지	연구당시 소속기관	역할	연구비 지급기관	비고
Considerations on the Temperature Distribution and Gradient in the Filter during the Regeneration in Burner Type Diesel Particulate Trap System(II)	1998	Society of Automotive Engineering	서울대학교	연구원	쌍용자동차	미국 자동차 공학회
Experimentelle Untersuchung der Regelcharakteristics in einem Abgasnachbehandlungssystem	1997	Motororen Technische Zeitschrift	서울대학교	연구원	대우기전	독일 자동차 공학회
버너방식 DPF 시스템에서 가스온도 제어를 통한 재생과정의 최적화에 관한 연구 외 6편	1997	한국자동차 공학회	서울대학교	연구원	대우기전	국내 학술 논문지
버너방식 DPF 시스템에서 가스온도 제어를 통한 입자상 물질 연소율제어의 실험적 검증 외 5편	1997	한국자동차 공학회	서울대학교	연구원	기아자동차	국내 학술 대회
4기통 전기점화기관의 피스톤 온도분포 측정에 관한 연구 외 4편	1997	대우자동차 외 3개사	서울대학교	연구원	대우자동차	연구 보고서
디젤차량의 입자상물질 저감시스템	1997	대한민국 특허청	서울대학교	연구원	대우기전	특허
가스 샘플링을 위하여 천공된 산소센서	2000	대한민국 특허청	이플러스티	책임	자체	실용신안

나. 협동·세부·위탁연구책임자

구분	세부과제명	성명	소속기관 (부서)	직위	연구 참여 직급	전공 및 학위				참여율 (%)
						학위	년도	전공	학교	
세부	온실 및 버섯 재배사용 통합 환경측정시스템 개발	박동선	주식회사 이플러스티 기술연구소	연구 소장	선임급	박사	1997	기계 공학	서울대	25
협동	버섯 재배사용 환경측정시스템의 표준화 및 현장적용연구	최광재	농진청 농업기계화 연구소	농공 연구관	선임급	박사	1995	농업 기계	경북대	25

다. 연구원

세부과제명 (담당연구내용)	성명	소속기관 및 부서	직위	연구 참여 직급	전공 및 학위				참여율 (%)
					학위	년도	전공	학교	
온실 및 버섯 재배사용 통합 환경측정시스템 개발 <주관연구기관>	박동선	주식회사 이플러스티 기술연구소	연구 소장	선임	박사	1997	기계 공학	서울대	25
	장근석		선임	선임	석사	1992	기계 공학	서울대	25
	백선영		선임	선임	석사	1994	화학	연세대	40
	이병재		주임	원급	전문 학사	1994	자동차 전공	서라벌대	25
	이홍용		농업인	기타급	학사	1982	농화학	고려대	20
버섯 재배사용 환경측정시스템의 표준화 및 현장적용연구 <협동연구기관>	최광재	농진청 농업기계화 연구소	공업 연구관	선임	박사	1995	농업 기계	경북대	25
	오권영		연구사	원급	석사	1999	농업 기계	충남대	30
	유병기		연구사	원급	석사	1999	농업 기계	성균관대	30
	박환중		연구사	원급	석사	1990	농업 기계	전국대	25
	이성현		연구사	원급	석사	1997	농업 기계	충북대	30
	김장렬		기계원	기타급	중졸	-	-	-	25
	박원배		기타	기타급	고졸	-	-	-	100

3.3 기술개발의 목표

가. 기술개발의 최종 목표

1) 기술개발 목표

평가항목	평가방법	적용기준	개발목표치	비중(%)
이산화탄소 측정성능	환경측정기기 형식승인 및 정도검사 규정	NIST승인 표준가스(SRM)	측정범위 = 0~5000ppm T90 = 2 초 정밀도 = ± 2 % 분해능 = 1 ppm	30
습도 측정성능	환경측정기기 형식승인 및 정도검사 규정	교정시험기관 측정기	측정범위 = 0~95 % T90 = 5 초 정밀도 = ± 2 % RH 분해능 = 1 % RH	25
온도 측정성능	환경측정기기 형식승인 및 정도검사 규정	교정시험기관 측정기	측정범위 = 0~200 °C T90 = 2 초 정밀도 = 1 °C 분해능 = 0.1 °C	20
컨트롤러 성능	정상작동 여부 자체개발 여부	재배사 환경측정	CPU : 40MHz DSP A/D : 100kHz 12bit	10
자동 제로교정	환경측정기기 형식승인 및 정도검사 규정	NIST승인 표준가스(SRM)	제로안정성 = 0.5%/day	10

2) 평가방법 및 평가항목

항목	세부항목	수입제품 (버섯재배용 기준)	(주)이플러스티 개발목표
이산화탄소 측정성능	측정범위	0~2000 ppm	0~2000, 5000 ppm
	T90	60 초	2 초
	정밀도	2~5 %	±2 %
	분해능 시료채취방식	1 ppm diffusion	1 ppm pumping
습도 측정성능	측정범위	0~100 %	0~95 %
	T90	60 초	5 초
	정밀도 분해능	2 % RH 2 % RH	±2 % RH 1 % RH
온도 측정성능	측정범위	0~50 ℃	0~200 ℃
	T90	60 초	2 초
	정밀도 분해능	1 ℃ 0.1 ℃	1 ℃ 0.1 ℃
측정기 형태	휴대형과 설치형	제한된 시설에만 사용가능	농가 요구에 따라 능동적인 응용 가능
방수성능	재배사 방수시험	미비	우수

나. 연도별 주요개발 내용 요약

구분	주요개발내용	성능 및 규격
1단계 (2001년)	<p>원료 자재</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ CO2 측정 <ul style="list-style-type: none"> - pulsed IR광원 - 실리콘 포토다이오드 센서 - 가스유로 셀 ○ 습도/온도 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 정전용량식 고분자 습도 센서 - K type 온도센서 	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO2 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 필라멘트 내구성=2만시간 - optical filter 내장 - pumping 셀 ○ 습도/온도 측정 <ul style="list-style-type: none"> - silicon base의 고분자 센서
	<p>개발 기술 및 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ CO2 측정 <ul style="list-style-type: none"> - pulsed IR광원 설계개발 - IR bandpass filter가 장착된 실리콘 센서 - pumping 셀 설계 ○ 습도/온도 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 정전용량식 고분자 습도센서 삽입형과 wall 타입 회로설계 	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO2 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 2~20μm pulse 구동회로 - 2~5.25μm 투과용 사파이어창 4.26μm 투과용 filter삽입 - pumping 셀(200~500ml/min) ○ 습도/온도 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 빠른 응답과 높은 직선성 응답 기존 저항측정방식에 비해 장시간 안정성 유지
	<p>개발 제품 용도 /기능</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ CO2 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 재배사내의 정확한 CO2 농도 분석으로 생장조건 유지 ○ 습도/온도 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 고품질 수확을 위한 재배사 내의 정확한 온.습도조절용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO2, 습도, 온도 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 휴대형과 설치형 두가지로 제품 완성 - 편리한 자동제로교정 기능으로 유지관리 우수
	<p>개발 목표</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 재래식과 자동화 재배사별 특성에 맞는 맞춤형 환경측정기로 응용가능토록 완성한다. <ul style="list-style-type: none"> - 가격 : 50만원대(설치용) 100만원대 (설치/휴대 및 환기팬 구동용) - 내구성 : 주요부 5년 이상 소모품 6개월 이상 - 방수성 만족 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 재배사별 제품을 설치한 후 최적의 측정기 컨트롤러를 제작
	<p>시제품 성능 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업기계화연구소 성능시험 <ul style="list-style-type: none"> - 수입품 장비와 성능 비교 시험 - 국내 재배사 환경 적합 여부 시험 - 내구성 시험 및 만족여부 	

구분		주요개발내용	성능 및 규격
2단계 (2002년)	개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 탄산가스 측정센서 및 시스템의 기능 및 성능 지표 도출 ○ 실전 배치를 통한 내구성 시험 ○ 상업화를 위한 최종 사양 도출 ○ 탄산가스센서의 버섯재배용 표준 성능시험방법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 농가 적합성 여부 <ul style="list-style-type: none"> - 농업인 의견 수렴 및 개선 - 유지 보수비 산정 - 방수 성능 확인
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 수출을 위한 해외 현지 농업 환경 파악 및 제품 기능 반영 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해외농가 실정 반영 ○ 가격 및 기타 요구조건 반영

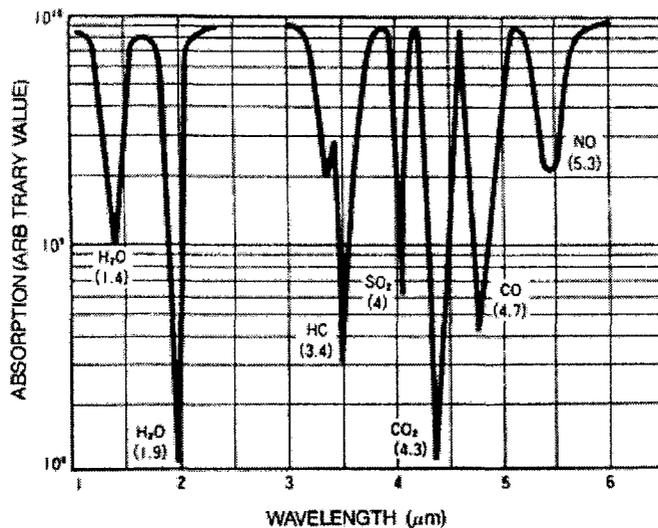
3.4 기술개발의 세부 내용 및 결과

가. 시스템의 개념 및 설계

<그림 2>에는 각종 가스의 적외선 흡수 파장이 도시되어 있다. 적외선을 이용하여 탄산가스를 측정하기 위해서는 탄산가스의 흡수하는 4.3 μm 의 파장을 이용한다. 탄산가스가 흡수하는 파장은 시료 중의 수분이 흡수하는 파장과 간섭을 일으키지 않음을 알수가 있다. 적외선을 이용하여 실시간으로 탄산가스의 변화하는 농도를 측정하기 위해서는 이에 적합한 광원과 검출센서가 선정되어야 한다.

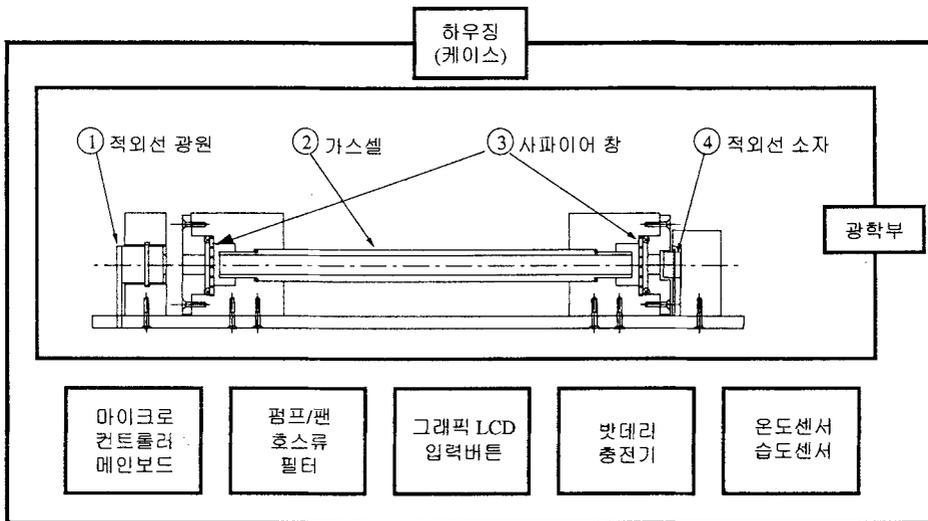
적외선 광원으로는 필라멘트 광원, 백금 광원, PbSe(Lead Selenide) 광원 등이 있으며 본 연구에서는 가장 고속으로 작동하며 신뢰성이 검증된 PbSe 광원을 선정하였다. 그러나, PbSe 반도체 광원은 성능이 탁월한 반면 러시아, 미국, 일본에서만 생산되는 것이며 가격이 고가인 단점이 있다.

적외선 검출소자로는 Thermopile, Pyroelectric, InSb, 및 PbSe 센서 등이 있다. 본 연구에서는 광원과 동일한 특성을 갖는 PbSe 센서를 선정하였다. 역시 각종 적외선 센서 중에서 가장 고가이다. PbSe 소자는 현재까지 알려진 적외선 소자로서 상온 특성이 가장 우수한 것으로 알려져 있다.



<그림 2> CO₂ 가스의 적외선 흡수 파장

<그림 3>에는 일반적인 탄산가스 분석기의 구조와 구성품이 도시되어 있다. 가장 핵심적인 부분은 광학부와 마이크로컨트롤러이다. 광학부는 적외선 광원, 가스셀(시료가 통과하는 통로), 단결정 사파이어 창, 적외선 검출소자 등으로 이루어져 있다. 시료는 사파이어 창과 가스셀 사이의 입구로 유입되어 가스셀의 반대편 출구로 빠져나간다. 통과하는 시료에 적외선이 照射되며 탄산가스에 흡수되지 않은 적외선 광속이 검출센서에 도달한다. 시료 중의 탄산가스 농도가 높으면 이에 반비례하여 검출센서에 도달하는 적외선 광량이 감소한다. 이러한 상관성을 이용하여 시료 중의 가스 농도를 측정하게 된다.



<그림 3> CO2 분석기의 구조 및 구성품

현재까지 개발된 적외선 광원은 광원캡슐(패키지) 표면에 가스와 필라멘트가 직접 접촉하지 않도록 단결정 사파이어 창(single crystal Sapphire window)을 일체화하였다. 그러나 일반적으로 가스유로의 입구와 출구에 또 다시 사파이어 창을 설치하기 때문에 적외선은 세개의 사파이어 창을 통과하며 투과율이 50% 이하로 감소한다.

적외선의 투과율이 떨어지면 고농도에서의 가스 측정을 위한 검출센서의 신호가 해상도가 떨어지므로 큰 오차를 발생시킨다. 이를 보상하기 위해서는 더 큰 에너지를 방사하는 광원을 사용하여야 하는 문제점이 발생한다. 이를 피하기 위해서는 투과율을 높이는 쪽으로 시스템을 설계하여야 한다.

일본의 H사는 가스유로 내부에 광원과 적외선 센서소자를 위치시켰다. 이렇게 하면 적외선이 광원캡슐의 사파이어 창을 한번만 통과하므로 적외선 감쇄량이 매우 낮아지고 센서에서 검출하는 참신호값도 커진다. 즉, 노이즈/신호비(S/N비)가 작아져서 가스 농도에 따른 측정정밀도가 매우 높아지게 된다. 뿐만 아니라 혼합가스 상호간의 간섭(interference) 효과에 대한 참신호값 비가 커져서 간섭효과를 소프트웨어적으로 제거하는 데 큰 도움이 된다.

광원의 내부에 설치된 필라멘트는 약 800~1000℃까지 가열되어 적외선을 방사하게 된다. 광원을 pulsation 시키는 방식의 경우, 필라멘트는 지속적으로 팽창과 수축을 반복하므로 과도한 열적 피로를 받게된다. 따라서 열응력이 집중되는 부분을 고려하여 필라멘트 구조를 최적화시켜야만 하며 열응력 분포는 적외선 화상사진을 촬영하여 개선할 수가 있다. 이러한 부품들에 대한 설계가 최적화되지 않을 경우, 필라멘트는 변형되고 방사되는 광량과의 관계특성이 바뀌게 되어 측정의 신뢰성을 상실하게 된다. 따라서 필라멘트 방식의 적외선 광원은 고속 응답특성을 갖도록 제어하는데 구조적인 어려움을 갖는다. 이를 피하기 위해 본 연구에서는 반도체 타입의 PbSe 소자를 이용한 광원을 적용하였다.

당사에서 현재 개발중인 자동차 배기가스용 분석기 역시 NDIR 방식의 측정기로서 설계 구조를 변경하여 버섯 및 온실재배용 환경측정기에 적용이 가능하다. 그러나 자동차 배기가스 측정용은 내식성과 같은 특수성 때문에 모든 부품이 고가품을 사용하고 있으나 이를 새로이 저가형 버섯 재배사용으로 개발하여야 한다. 국내 농가의 실정에 적합한 고신뢰성, 저가의 탄산가스 측정기를 개발하기 위해서는 모든 부품을 새로이 저가형으로 개발하여야 하는 어려움이 있다.

본 연구에서는, 기존의 초핑모터와 디스크를 제거한 pulsed light source를 적용하고, 광원으로부터의 적외선 직진성을 높이고 다습환경에 견디는 광학부의 설계하며, 2~5.25 μm 를 80%이상 투과하는 사파이어 단결정 창과 4.25 μm CO₂ 흡수 파장을 수신하는 광수신부인 PbSe 소자의 감도를 높이기 위한 구조설계가 진행 되어야 한다. 또한 노이즈/신호비를 저감시키기 위해 IR bandpass filter를 PbSe 소자에 삽입하여 설계 개발하고자 한다. 측정정밀도는 1~2% 이내, 응답시간은 현장의견을 반영하여 2초 이내로 개발되어야 한다.

따라서 본 연구 및 개발에서는 국내 버섯 재배농가에 보급하기 위한 저가의 고신뢰성 탄산가스 측정기를 개발하기 위하여 아래의 연구를 수행한다.

- . 고 신뢰성의 적외선 광원 및 센서의 개발
 - PbSe 소자의 개발
 - 열전반도체(TEC : Thermo-Electric Cooler)의 개발
 - 단결정 사파이어 창(Single crystal Sapphire window)의 개발
 - 접합기술 개발
- . 저가형 측정 셀 개발
 - 가스유로의 최적화 설계
 - 가스셀 가공 기술 개발
- . 마이크로 컨트롤러의 개발
 - 적외선 광원 제어 회로 및 센서 인터페이스 회로 개발
 - 적외선 노이즈(S/N 비) 제거 기술 개발
 - 자동제로교정 로직 개발
- . 탄산가스측정기를 이용한 버섯재배사 자동환기기술 개발
- . 실증시험을 통한 내구성 평가

나. 고 신뢰성의 적외선 광원 및 센서의 개발

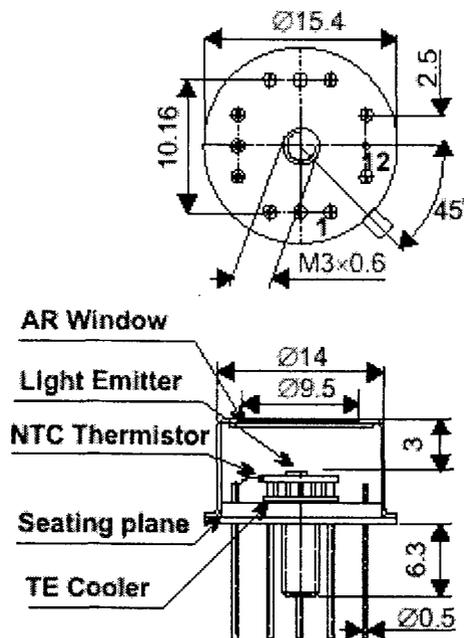
국내에서는 근적외선 영역을 검출하기 위한 실리콘 포토다이오드 소자만 개발되어 있을 뿐, 가스분석에 이용되는 중적외선 소자는 개발된 적이 없으며 이에 대한 연구도 전무하다. 가스분석에 이용되는 중적외선 소자는 전세계적으로 수요가 크지 않았기 때문이다. 향후 실내공기질 모니터링 분야에서 중적외선 소자가 크게 수요가 증가할 것으로 예측되기 때문에 국내에서도 가까운 장래에 개발되리라고 기대된다.

본 연구의 수행자는 본 연구와는 별도로 과학기술부의 지원을 받아 중적외선 소자 및 패키지를 개발하는 연구를 수행하고 있다. 중적외선 소자로는 저가의 thermopile 센서, 중가의 Pyroelectric 소자가 있으며, 고가의 PbSe 소자가 있다. 본 연구에서 사용하는 PbSe 중적외선 광원은 <그림 4>와 같은 구조를 갖는다. 핵심부품으로는 단결정 사파이어 창(AR window), 광원(Light Emitter), NTC 써미스터(Thermistor), 열전냉각소자

(TE Cooler)등이 있다.

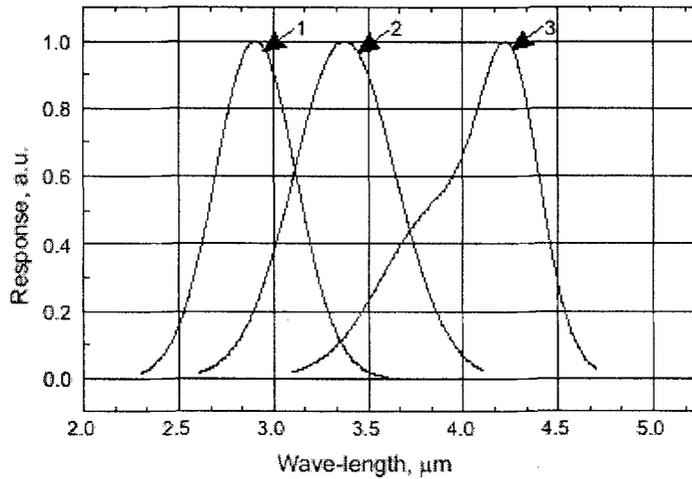
단결정 사파이어 창에는 적외선 반사를 막기 위한 무반사 코팅이 되어 있다. PbSe 재질의 광원이 있으며 광원 하부에는 광원의 온도를 일정하게 유지시키기 위한 열전반도체를 이용한 열전냉각소자가 위치하고 있다. 광원 옆에는 열전냉각소자의 냉각면과 광원의 온도를 측정하기 위한 백금 측온저항체를 이용한 온도센서가 접합되어 있다. (그림 4)의 패키지는 표준패키지 중의 하나인 TO-8 패키지이다.

상기의 광원에서 방사되는 적외선은 <그림 5>와 같은 분포를 갖는다. 본 연구에서는 3번의 파장을 방사하는 광원을 사용하였다.



<그림 4> PbSe 광원 패키지의 구조

PbSe 광검출소자의 상업적인 패키지는 <그림 6>과 같은 구조를 갖는다. 무반사 단결정 사파이어 창, PbSe 검출소자, NTC 써미스터, 열전냉각소자 등으로 구성되며, PbSe 소자 위에서는 검출하고자 하는 파장만을 투과시키는 Narrow bandpass filter가 접합되어 있다. PbSe 광검출소자는 광원과 달리 <그림 7>과 같은 넓은 밴드의 적외선에 반응에 반응하기 때문에, CO₂가 흡수하는 4.3 μ m의 좁은 파장만을 통과시키기 위하여 Narrow

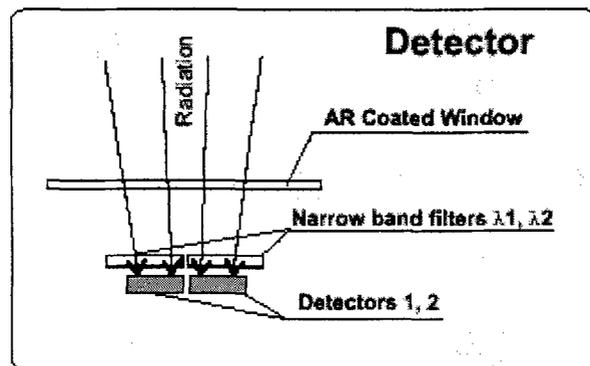
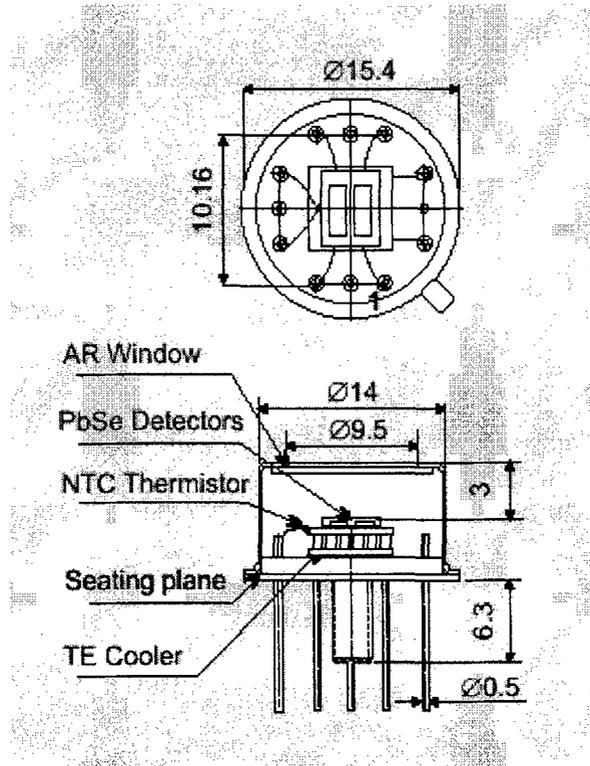


<그림 5> PbSe 광원의 방사 파장

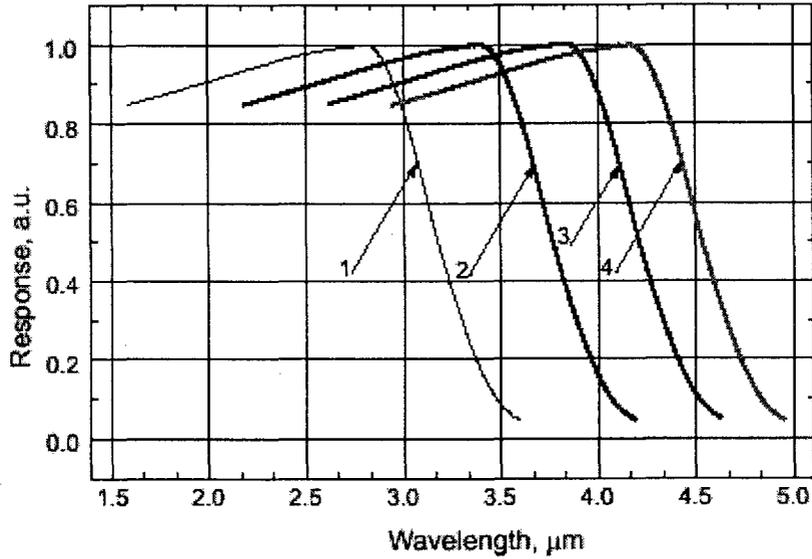
bandpass filter가 접합되어 있다. 본 연구에 사용된 소자는 <그림 7>의 4번 특성을 갖는 소자가 사용되었으며, Optoelectric 특성은 <표 5>와 같다. 특히 본 연구에서는 측정하고자 하는 $4.3\mu\text{m}$ (Measuring band)뿐만 아니라 $3.9\mu\text{m}$ (Reference band)의 적외선도 검출하여 기준광량으로 사용하고 있다. $3.9\mu\text{m}$ 는 대기 중에 흔히 존재하는 수분, CO, CO₂, NO_x, SO₂에 흡수되지 않기 때문에 광원의 광량 변화에 따른 보정을 위한 로직에 사용된다.

상기의 PbSe 재료의 광원 및 광검출소자는 표면온도에 따라 방사량(Emissivity)과 반응도(Spectral response)가 변화하기 때문에 표면온도를 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 이를 위하여 PbSe 소자 인접한 위치에 온도센서(NTC thermistor)를 설치하여 표면온도를 모니터링하고 피드백 제어에 사용한다. 표면 냉각을 위한 소자는 BiTe 재료의 열전반도체로 제작되며 열전반도체를 이용하여 제작된 국소 열전냉각소자의 구조가 <그림 8>에 도시되어 있다.

개발된 열전냉각소자는 1 Stage 국소 TEC로서, 최대온도차 = 73°C , 최대흡열량 = 0.2~0.25W, TEE의 크기 = $0.5 \times 0.5 \times 1.0\text{mm}$, TEC 모듈의 크기 = $5.0 \times 5.0\text{mm}$ 이다.



<그림 6> PbSe 광센서 패키지의 구조 및 구성품



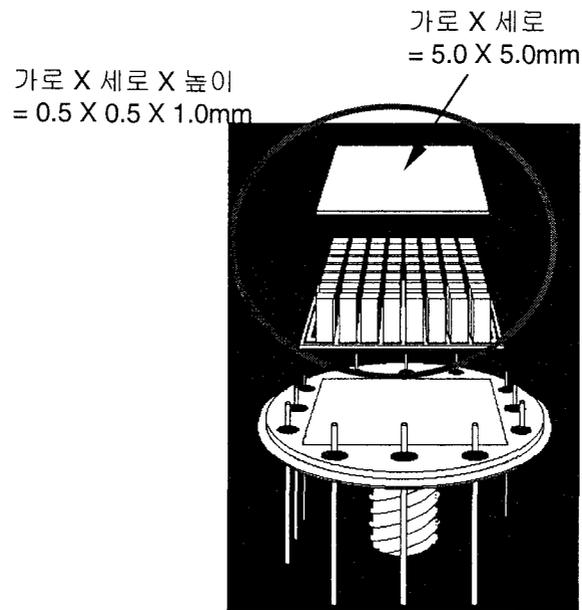
<그림 7> PbSe 검출소자의 방사 파장

<표 5> PbSe 검출소자의 Optoelectric 사양

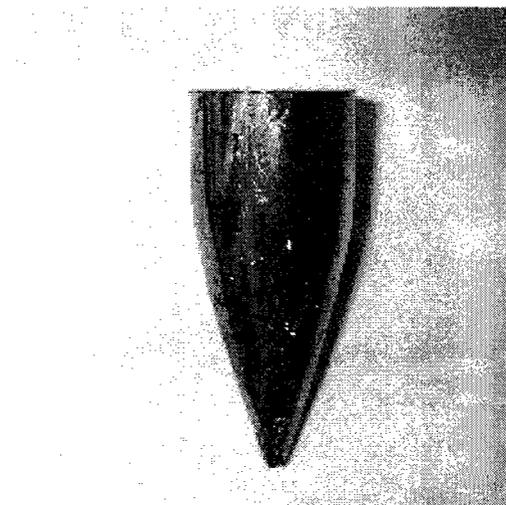
Type	$\lambda_1, \mu\text{m}$	$\lambda_2, \mu\text{m}$	$\Delta\lambda_{0.5}, \mu\text{m}$	$D^* \cdot 10^{-9}$	$S_U, \text{V/W}$	$\tau, \mu\text{sec}$	Goal Gas
PRM1-3032-25-xxxx	3,00	3,23	0,08	0,4	30	<30	Methane
PRM2-3032-25-xxxx	3,00	3,23	0,08	1,2	200	<100	Methane
PRM1-3439-25-xxxx	3,45	3,90	0,25	1,0	60	<30	Hydrocarbons
PRM2-3439-25-xxxx	3,45	3,90	0,25	3,5	300	<100	Hydrocarbons
PRM1-4239-25-xxxx	4,28	3,90	0,12	0.2-0.5	30	<10	CO ₂
PRM2-4239-25-xxxx	4,28	3,90	0,12	1.2-1.6	200	<30	CO ₂

Notes:

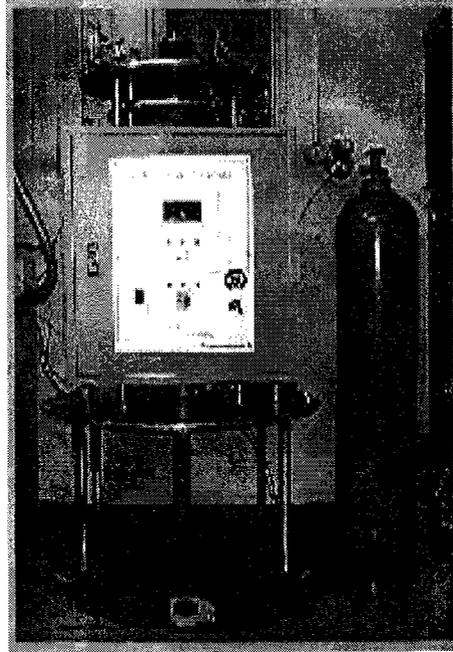
1. $D^* (500, 800, 1) \text{ cm} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{Hz}^{1/2}$
2. $S_U (500, 800)$



<그림 8> Thermo-Electric Cooling Module의 구조



<그림 9> n-type BiTe 계 Ingot 시제품



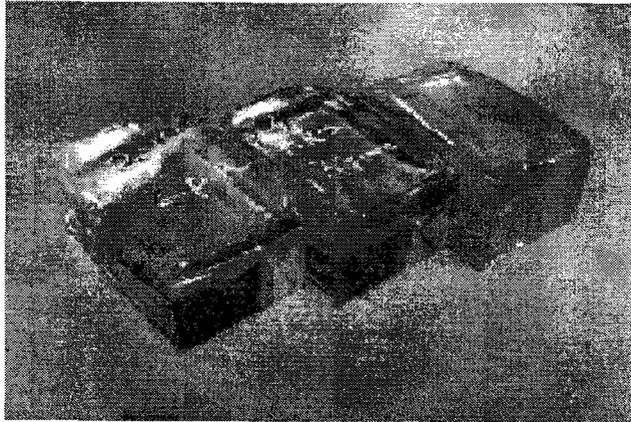
<그림 10> 열전반도체 결정 성장로

열전냉각소자를 구성하는 열전반도체를 개발하기 위하여 <그림 9>와 같은 잉곳(Ingot)을 <그림 10>의 성장로에서 성장시킨 후 미세절단 및 이종접합 과정을 거쳐 제작하는 공정을 개발하였다. 개발된 열전반도체의 성능은, SEEBECK 계수=205mV/K, 전기 비저항= 1.42×10^{-3} ohm. m으로서 매우 우수한 성능을 보여주었다. 열전반도체 결정 성장 기술 개발은 요업기술원이 담당하였다. 본 연구에서는 결과물을 이용하여 PbSe 광원과 검출소자에 적용하였다.

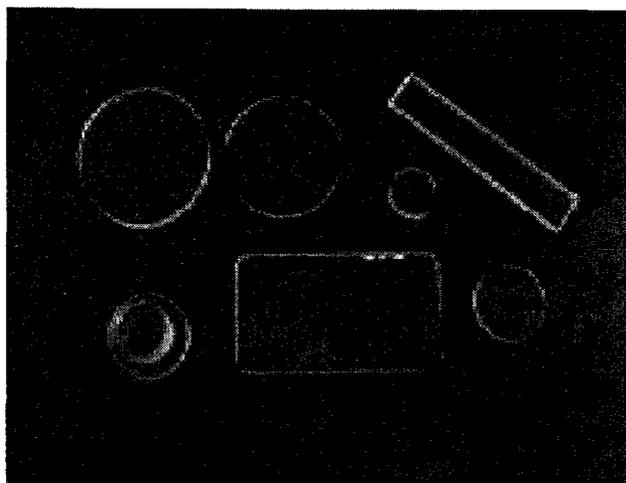
단결정 사파이어 창(Single crystal Sapphire window)은 사파이어 테크놀로지社가 개발을 담당하였다. 단결정 사파이어 창의 개발을 위하여 단결정 성장로에서 <그림 11>과 같은 잉곳을 성장시킨 후 다이아몬드 절단기에서 웨이퍼로 절단한 후 연마하여 <그림 12>와 같은 제품의 개발에 성공하였다.

국산화되어 본 연구에 적용된 단결정 사파이어 창의 사양은 <표 6>과 같으며 외관은 <그림 13>과 같다. 사파이어 창은 적외선이 투과되어야 하므로 투과율이 매우 높아야

한다. 연마과정에서 결정되는 표면조도는 적외선의 난반사를 결정하는 매우 중요한 성능지표로서 투과시키하고자하는 파장의 1/4 이하로 유지되었다.



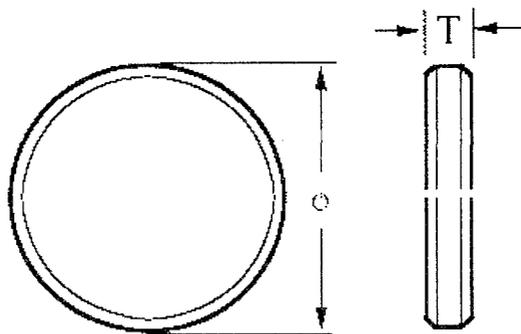
<그림 11> 단결정 Sapphire Ingot
단결정 크기 : 120*120*70mm



<그림 12> 사파이어 원도우 및 가공 시제품

<표 6> 사파이어 단결정 원도의 사양

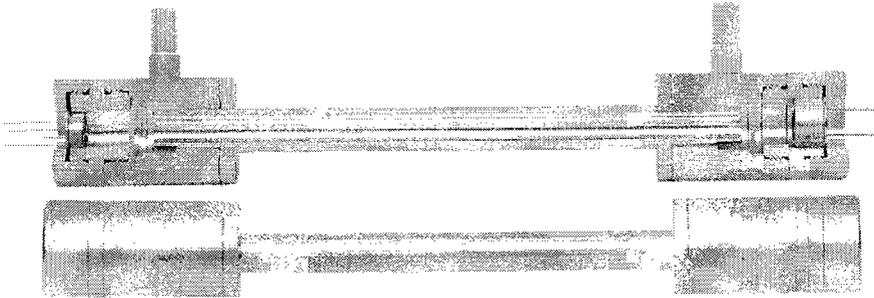
1	Material	Optical Grade Sapphire Crystal
2	Design Wavelength	546.1nm
3	Design Index	1.771@546.1nm
4	Diameter Tolerance	$\pm 0.0, -0.15$ mm
5	Centration	<3 arc minutes
6	Clear Aperture	>80%
7	Surface Figure	1/4(WL) @632.8nm
8	Surface Quality	80-50 scratch and dig
9	Bevel	0.25 mm x 45°



<그림 13> 사파이어 단결정 원도의 외관

다. 저가형 가스셀 개발

1) 가스셀 가공 기술 개발



<그림 14> 1차 샘플로 제작된 가스 셀

버섯 재배사 측정 시스템은 다습한 가스가 유로를 통과하므로 벽면의 재질 선정과 가공상태가 매우 중요하다. 일반적으로 SUS430 재질이나 SUS314 재질의 인발관을 사용하나 기본적으로 금속관은 성형시 내부 표면조도가 거칠기 때문에 적외선 난반사를 방지하기 어렵다. 다습한 가스와 함께 적외선이 통과하기 때문에 가스셀의 표면조도는 적외선의 난반사를 방지할 수 있는 조도를 제공하여야 한다. 광선이 통과하는 가스셀의 표면 조도 또한 파장의 1/4 정도의 거칠기를 제공하여야 한다. 이러한 특성은 광선이 통과하는 단결정 사파이어 창과 동일한 의미를 갖는다.

따라서 성형 후 내표면가공(polishing)을 하고 무전해 니켈 도금을 하여 표면조도를 향상시키고 내부식성을 높이게 된다. 그러나 이런 가공이 시행될 경우 가공비 상승으로 인한 제품가격이 매우 높아지는 단점이 있다. 저가형 분석기들은 표면가공을 하지 않고 바로 내부식성 도금 처리를 하는 경우가 있다.

본 연구에서는 독자적으로 개발 진행중인 특수 PX GLASS 튜브를 사용하여 내부 표면을 산화 에칭시킨 다음 순금코팅 처리하여 내부식성과 표면 조도를 개선하고자 시도하였다. 특수 PX GLASS 튜브는 성형 시부터 내부 표면이 금속보다 훨씬 뛰어난 조도를 제공하나 일반적으로 단순한 원통형으로만 성형이 되고 입구 및 출구의 형상을 복잡하게 성형하기 어렵다. 따라서 본 기술개발에서는 이러한 문제점을 개선할 수 있도록 시도하였다. 순금코팅은 니켈도금보다 훨씬 뛰어난 내부식성을 제공하기 때문에 고가형의 분석기에 최근 적용되기 시작한 기술이다.

요구되는 표면조도가 어느 정도인지 선진국의 탄산가스 분석기에 적용된 가스셀의 표면조도를 벤치마킹하였다. <그림 16> 및 <그림 17>에는 미국 A사의 가스셀 표면조도를 측정된 결과가 제시되어 있다. 측정은 표준과학연구원에서 수행하였다. <그림 16>와 <그림 17>의 상단 그래프에서 표면조도는 $\pm 0.2\mu\text{m}$ 이하로 유지되었음을 알 수가 있다. 탄산가스 측정을 위하여 사용되는 파장인 $4.3\mu\text{m}$ 의 1/4 정도의 거칠기는 $1.1\mu\text{m}$ 이므로, 요구되는 표면 거칠기보다 약 20% 수준의 낮은 조도로 유지되고 있음을 알 수가 있다. 미국 A사의 가스셀은 PX 튜브에 순금코팅을 한 제품이었다.

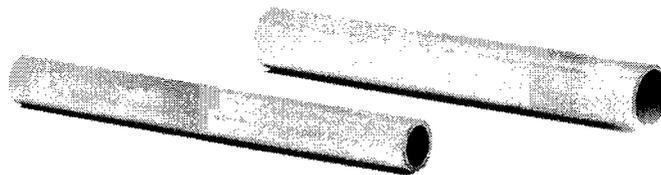
국내 농가의 버섯 재배사 측정 시스템에 적합한 저가형 가스셀을 제작하기 위하여, 1차로 SUS 304 재질의 판을 이용하였다. 내경 가공을 한 후 내경의 표면조도를 높이기 위하여 호닝 작업을 거쳤다. 작업 후 내부식성을 높이기 위하여 니켈 도금을 하였다. 제작 공정이 완료된 후 표면거칠기를 측정된 결과가 <그림 18>에 제시되어 있다. 상단의 그래프에서 표면거칠기는 $\pm 0.8\sim 0.9\mu\text{m}$ 정도로 유지되고 있음을 알 수가 있다. 적외선의 난반사를 막기 위한 최소 조도인 $1.1\mu\text{m}$ 이하로 유지되고 있으나 미국 A사의 표면조도보다 4배 정도 나쁜 성능을 보였다. 본 1차 샘플은 가공성이 좋은 SUS 304 재질을 사용하였으나, 내경 가공 후 표면 연마 작업에서 상당히 많은 시간을 소요하였다.

2차 샘플은 연마 시간을 줄이고 작업이 용이하도록 하기 위해 재질을 황동으로 변경하였다. 1차 샘플과 동일한 공정으로 제작한 후, 측정된 표면조도 측정결과가 <그림 19>에 제시되어 있다. 상단의 그래프에서 표면거칠기는 $\pm 1.0\mu\text{m}$ 정도로 유지되고 있음을 알 수가 있다. 역시 최소조도는 만족하나 미국 A사의 조도보다 4배 정도 나쁜 결과를 보여주고 있다. 그러나 1차 샘플 대비 가공시간은 반으로 짧아졌다.

<그림 20>의 결과는 2차 샘플 제작 방법으로 제작한 시제품 중 가장 좋은 결과를 보

여주고 있는 결과이다. $\pm 0.5 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 정도로 약간 개선되었으나 역시 만족스럽지 못하였다. 특히 내경 가공 및 표면 연마 가공을 거친 시제품들 간의 편차가 $0.5 \mu\text{m}$ 정도로서 만족스럽지 못하였다. 시제품들간의 편차를 줄이고 가공 시간과 표면조도를 개선하기 위하여 새로운 방법을 시도할 필요가 있었다.

상기의 1차 및 2차 샘플은 10개씩 총 20개가 제작되었으나 모두 대동소이한 결과를 보여주었다. 내면 연마 작업 후 니켈 도금을 하거나 순금 도금을 하였으나 결과는 미국 A사의 성능을 만족하지 못하였다.



<그림 15> 3차 샘플로 제작된 가스 셀

3차 시제품은 미국 A사와 동일한 PX 튜브를 이용한 제작을 시도하였다. 그러나 PX 튜브를 일정한 내경과 관 두께를 유지하기 위해서는 시제품 제작을 위하여 금형 제작이 필요하였다. 간이 금형을 제작하여 PX 튜브 시제품 10개를 제작하였다. 관의 내경은 10.0mm 이고 두께는 1.0mm 이다.

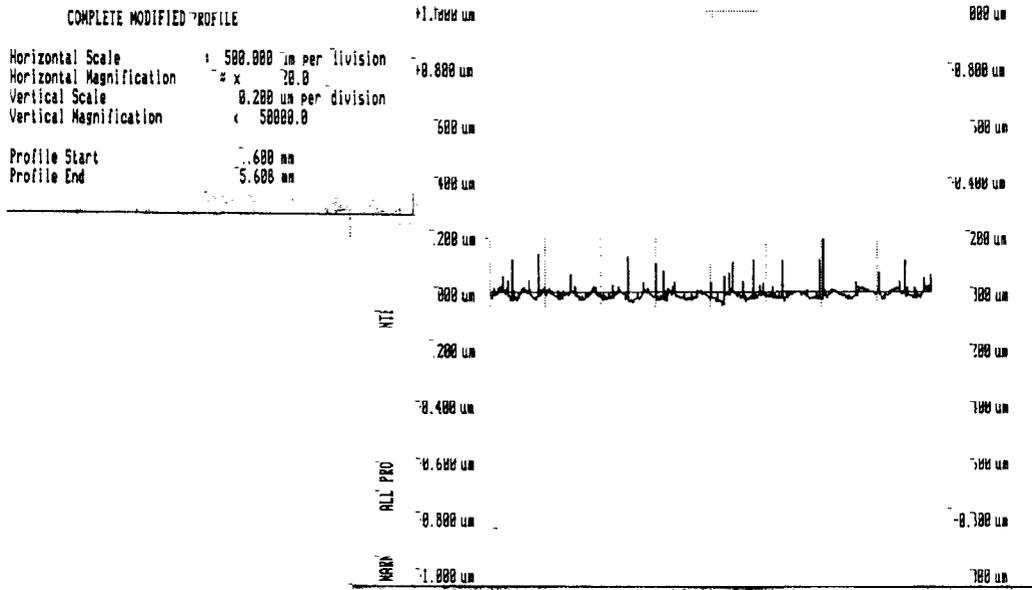
PX 튜브를 인발하여 제작한 후 표면을 침식시킨 후 순금 도금을 실시하였다. 표면을 침식시키지 않으면 유리 재질의 PX 튜브에 도금이 되지 않는다. 따라서 도금이 완료된 후에는 도금되기 전보다 표면조도가 증가한다(나빠진다).

<그림 21>, <그림 22>, 및 <그림 23>에는 10개의 3차 시제품에 대한 표면조도 측정 결과가 제시되어 있다. <그림 21>과 <그림 22>의 상단의 그래프에서 표면조도는 ± 0.1

μm 정도로 유지되고 있음을 알 수가 있다. 이 성능은 최소조도인 $1.1\mu\text{m}$ 의 약 10%, 미국 A사의 조도인 $\pm 0.2\mu\text{m}$ 의 약 50%로서 매우 우수한 결과이다. 또한 평균조도인 Ra를 포함하여 Rq, Rt, Ry 등 모든 측면에서 미국 A사보다 우수한 결과를 보여주고 있다.

<그림 23>에는 3차 시제품 중의 하나에 대한 표면조도 측정결과이다. 특정 지점에서 표면조도가 약 $0.8\mu\text{m}$ 정도 높은 값으로 측정되었다. 특히 이 지점은 평균 조도면에서 침식이 많이 되어 발생한 것으로 도금 전의 침식 공정에서 비정상적인 가공이 되었다. PX 튜브의 인발 공정에서 발생한 불량인지, 침식 공정에서 발생한 것인지는 명확하지 않다. 향후 이에 대한 보완 연구가 이루어져야 하며 제품의 양산 시에 품질 관리에 유의하여 야할 부분으로 판단된다.

결과적으로 1차 및 2차 시제품에 비하여 3차 시제품은 안정적이면서도 약 10배 정도 표면조도가 좋아졌다. 또한 제작 공정도 상대적으로 단순화되었고, 제작 시간이 짧아 제품의 양산에 훨씬 적합하다고 판단된다. 단, 3차 시제품의 정밀도를 유지하기 위해서는 인발 공정을 위한 정밀한 금형을 제작하여야 하는 부담이 있다.



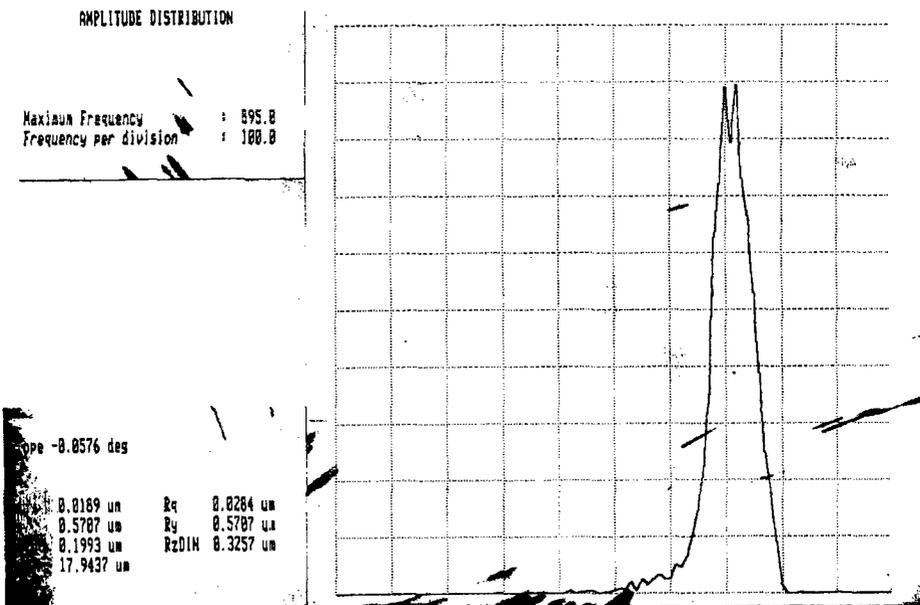
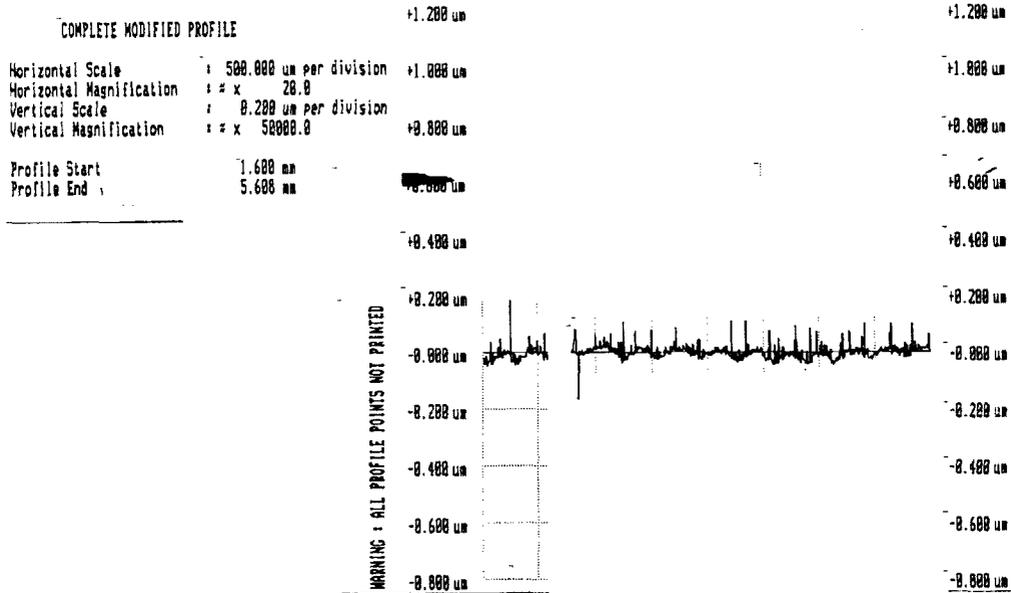
AMPLITUDE DISTRIBUTION

Maximum Frequency	: 547.0
Frequency per division	: 100.0

Slope 0.0761 deg

Ra	0.0163 um	Rq	0.0230 um
Rt	0.2671 um	Ry	0.2671 um
Rz150	0.1754 um	RzDIN	0.2467 um
Sm	17.5881 um		

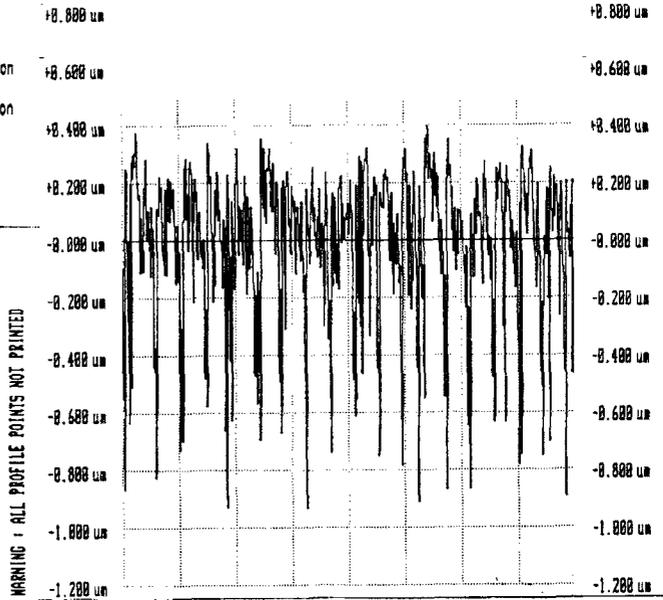
<그림 16> 미국 A사의 가스셀 표면조도측정 결과 1



<그림 17> 미국 A사의 가스셀 표면조도측정 결과 2

COMPLETE MODIFIED PROFILE

Horizontal Scale : 500.000 um per division
 Horizontal Magnification : x 20.0
 Vertical Scale : 0.200 um per division
 Vertical Magnification : x 50000.0
 Profile Start : 1.600 mm
 Profile End : 5.600 mm

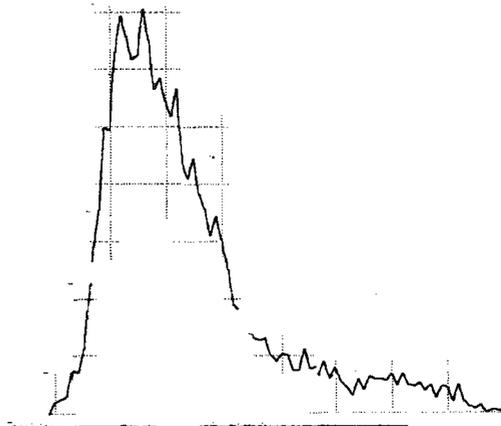


AMPLITUDE DISTRIBUTION

Maximum Frequency : 353.0
 Frequency per division : 50.0

Slope -0.0186 deg

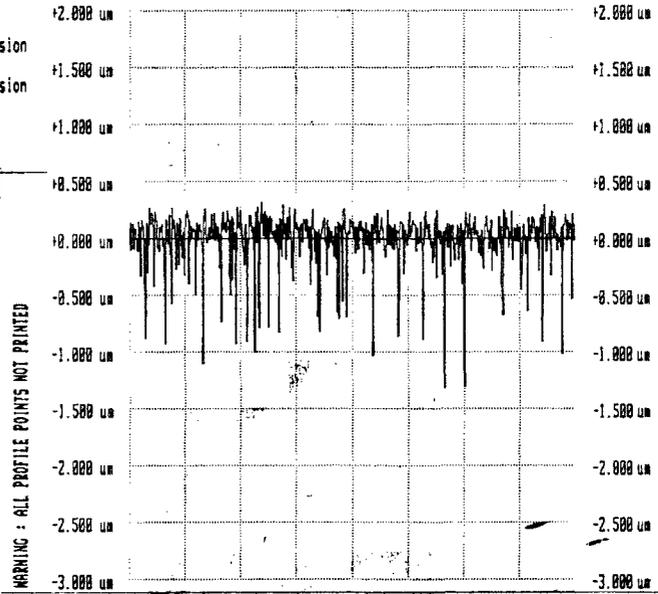
Ra	0.1965 um	Rq	0.2633 um
Rt	1.7934 um	Ry	1.7088 um
RzISO	1.2095 um	RzDIN	1.4486 um
Sm	26.2450 um		



<그림 18> 1차 샘플 가스셀 표면조도측정 결과

COMPLETE MODIFIED PROFILE

Horizontal Scale : 500.000 um per division
 Horizontal Magnification : \times 20.0
 Vertical Scale : 0.500 um per division
 Vertical Magnification : \times 20000.0
 Profile Start : 1.600 nm
 Profile End : 5.600 nm

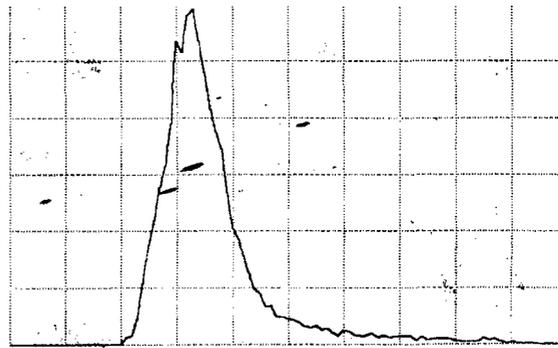


AMPLITUDE DISTRIBUTION

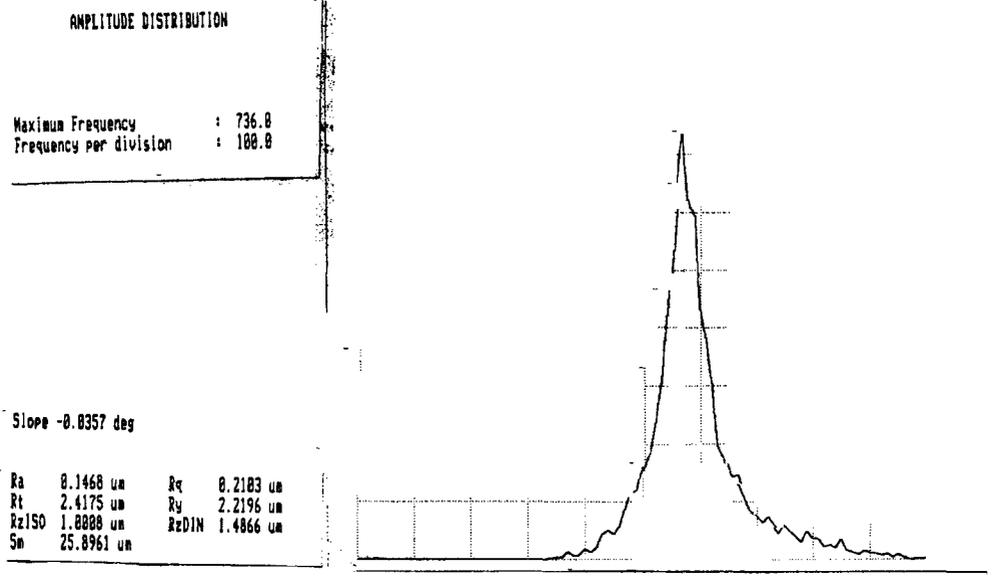
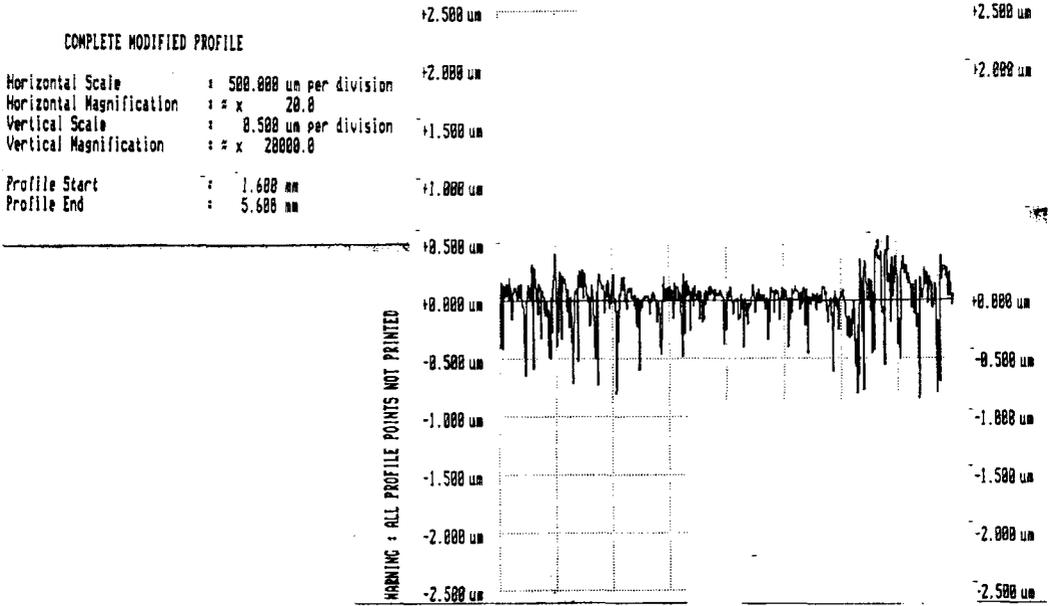
Maximum Frequency : 592.0
 Frequency per division : 100.0

Slope 0.1340 deg

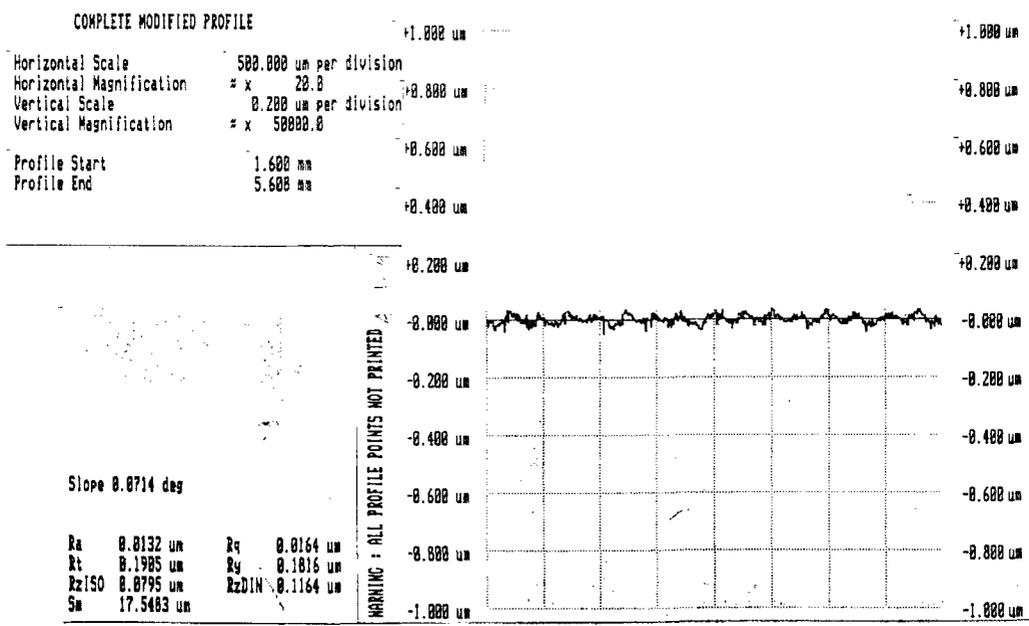
Ra 0.1491 um Rq 0.2265 um
 Rt 2.1287 um Ry 1.8757 um
 Rz150 1.3869 um RzDIN 1.6142 um
 Sm 17.5483 um



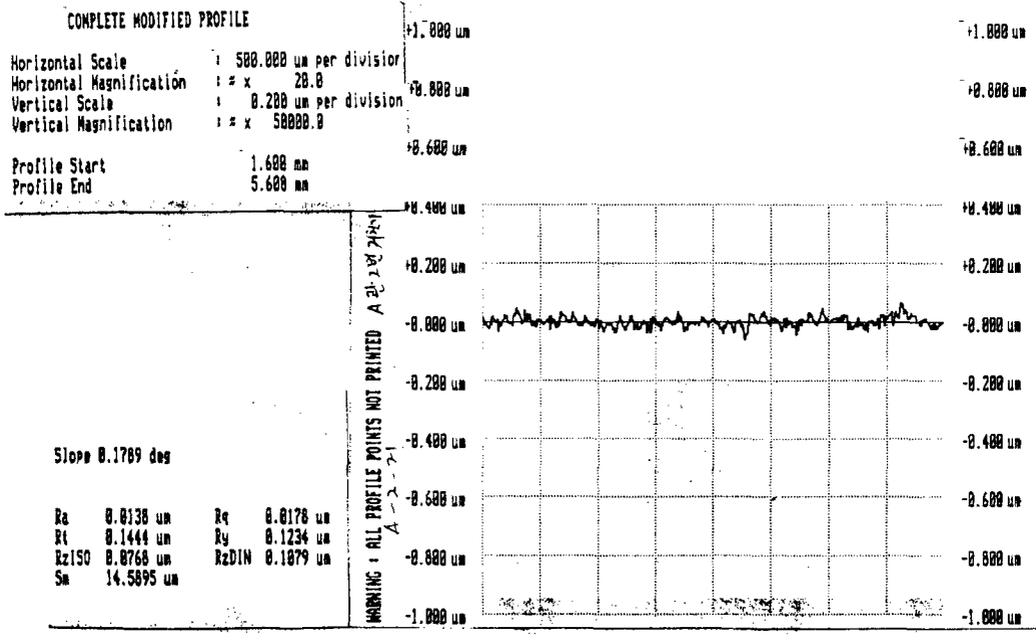
<그림 19> 2차 샘플 가스셀 표면조도측정 결과 1



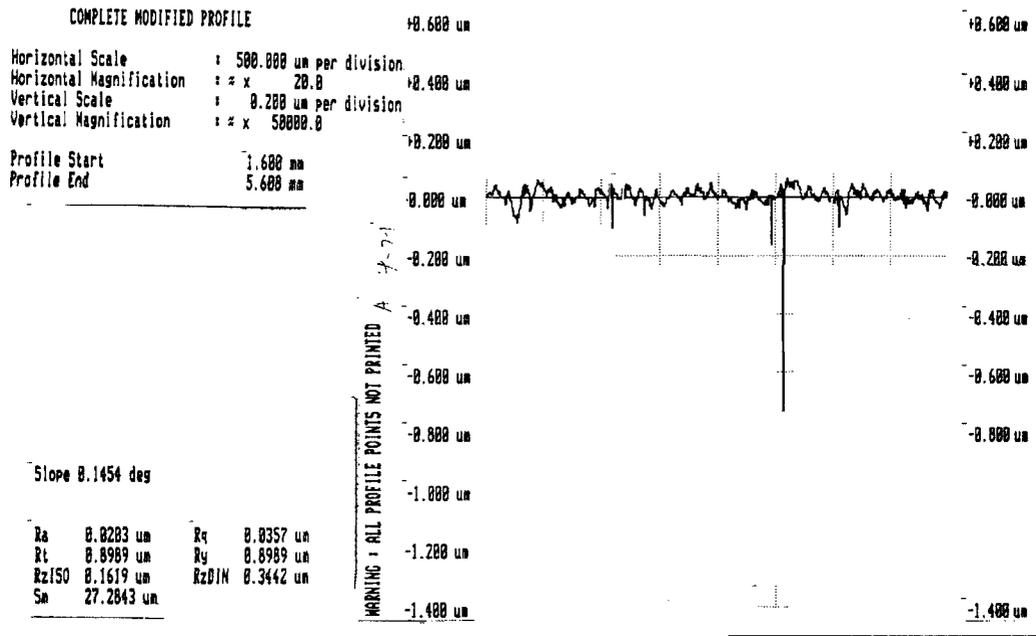
<그림 20> 2차 샘플 가스셀 표면조도측정 결과 2



<그림 21> 3차 샘플 가스셀 표면조도측정 결과 1

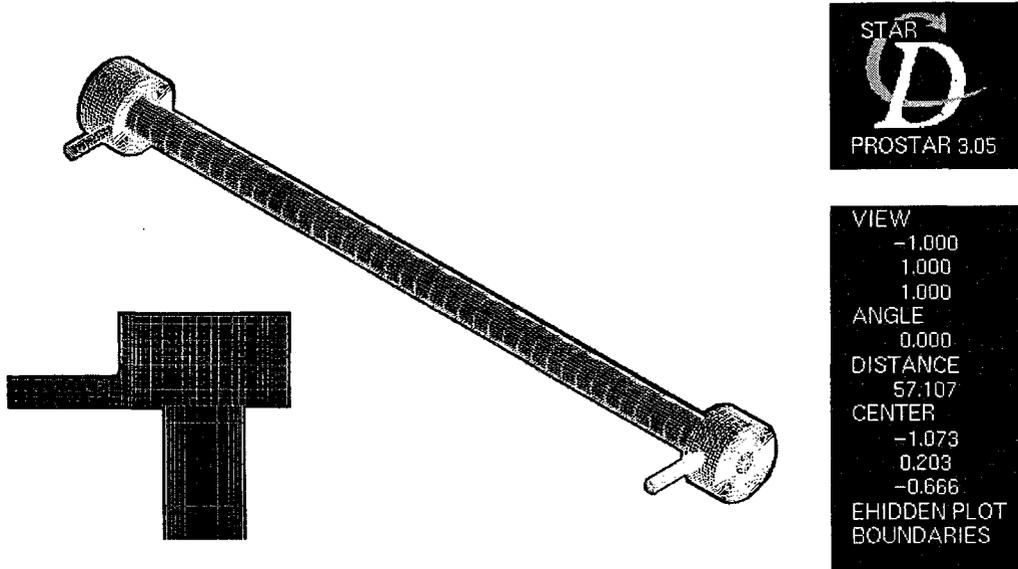


<그림 22> 3차 샘플 가스셀 표면조도측정 결과 2



<그림 23> 3차 샘플 가스셀 표면조도측정 결과 3

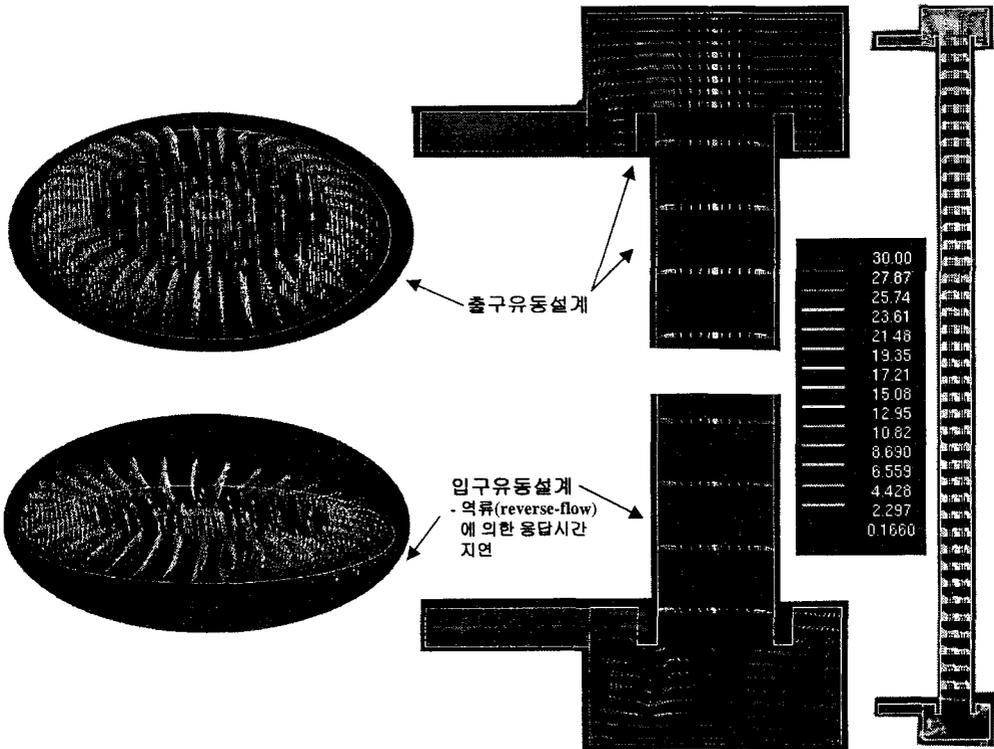
2) 가스유로의 최적화 설계



<그림 24> 설계된 가스셀의 유동해석을 위한 격자

가스 셀의 구조 중에서 가스가 통과하는 유로(E : GAS PASSAGE)의 최적화 설계는 일차적으로 응답속도를 높이기 위한 첫 번째 관문이다. 입구로 유입된 가스는 입구의 복잡한 통로를 통과하여 적외선이 투과되는 가스유로로 유입된다. 이 과정에서 입구 또는 출구와 가스유로 연결부에는 역류(Reverse flow)가 발생한다. 역류는 상류와 하류의 가스를 혼합시켜 가스는 비정상 상태가 되며 가스농도 측정시 응답시간을 지연시킨다. 또한, 역류가 발생하지 않는다 하더라도 가스유로의 벽 근처에 만들어진 경계층(Boundary layer) 부근에서는 역시 유동의 속도가 느려져 상류와 하류가 혼합되는 효과가 발생한다. 따라서 이러한 역류를 방지하고, 상류와 하류의 가스 혼합을 최소화시키는 것이 응답속도를 향상시키는 관건이 된다. 지금까지 국내의 분석기 메이커들은 이러한 현상에 대한 고찰이 부족하여 고속 응답 특성을 갖는 고가형 분석기의 개발을 성공하지 못하였다. 가스의 유속을 빠르게 하고, 센서의 응답시간만 빠르면 시스템의 응답속도가 빨라질 것이라고 생각하는 것은 설계자들이 가장 흔히 범하기 쉬운 오류 중의 하나이다. 본 기

술개발에서는 3차원 난류유동 해석과 실험적인 고찰을 통하여 가스의 입구, 중앙유로, 출구에서의 역류를 최소화시켜 가스농도변화에 대한 시간응답성(T90)을 1~2초 이내로 개발하고자 한다.

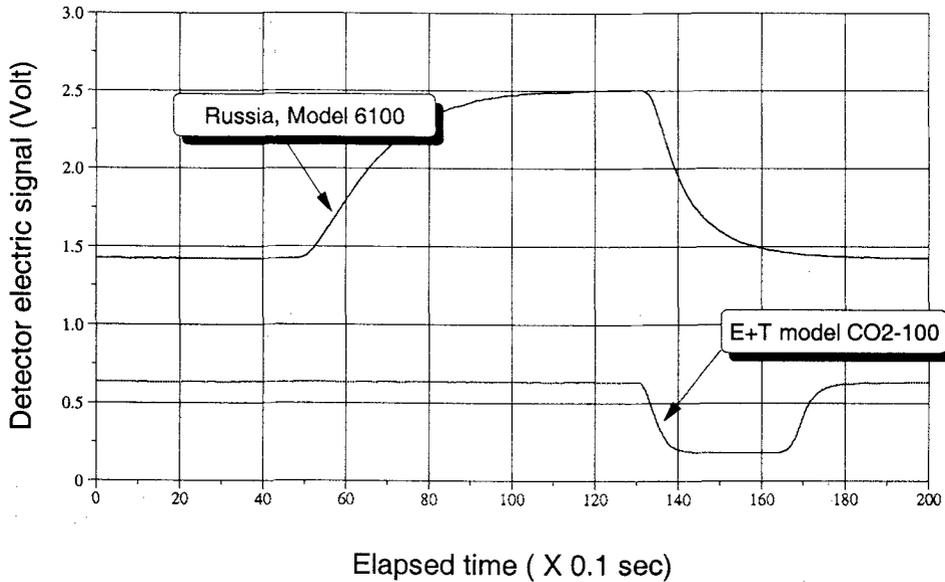


<그림 25> 설계된 가스셀의 유동해석 결과의 일례

<그림 24>에는 상용 난류 유동 해석 패키지인 STAR-CD를 이용한 계산 격자를 생성시킨 모습이다. 시료가 통과하는 유로 중에서 구조가 복잡한 부분은 조밀하게, 구조가 단순한 부분은 적절하게 격자를 생성시켰다.

<그림 25>는 생성시킨 격자를 이용하여, 유동의 입구 및 출구 조건을 실제와 유사하게 설정하고 계산한 일례이다. 시료가 유입되는 입구의 유로가 설계가 미흡하여 역류가 발생한 것을 알 수가 있다. 가스 셀에서 역류가 발생하면 먼저 유입된 시료가 머무르다가 후에 유입되는 시료와 혼합되는 결과를 초래하여 응답특성을 나쁘게 하는 원인이 된

다. <그림 25>에서 시료가 유입되는 입구 쪽의 구조를 변경하여 역류가 발생하지 않고, 시료 셀의 단면적별 유속분포가 일정하도록 재설계하고 결과를 확인하였다.



<그림 26> 시작품 탄산가스 분석기의 응답특성

결과적으로 이러한 시료 셀(가스 셀)의 구조는 <그림 26>과 같은 결과를 발생시켰다. <그림 26>에는, 러시아 R사의 고속 탄산가스 분석기인 모델 6100과 본 연구의 시제품 탄산가스 분석기의 응답특성을 비교하여 제시한 그림이다. 가스 셀에 질소가스를 유입시키다가 순간적으로 3000ppm의 탄산가스로 전환하여 유입시켰을 때, 분석기의 탄산가스 검출센서(중적외선 검출센서)의 응답신호를 비교한 것이다. 러시아 R사의 모델 6100은 동일한 시험에서 T90 응답속도가 1.6초 정도이었으며, 본 연구의 시제품(그림에서 E+T model CO2-100)은 0.7초 정도였다. 이 신호는 중적외선 검출센서로부터 직접 입력 받은 것이므로 어떠한 전기적인 부가회로, 혹은 신호처리 기술이 가해지지 않은 실험 결과로서, 응답속도의 직접적인 비교 자료로서 가치가 있다.

<표 5>에서 PbSe 중적외선 검출센서의 전기적 응답속도가 10~30 μ sec 이므로, 검출센서의 응답특성 차이에 의해 <그림 26>과 같은 차이가 발생한 것이 아니다. 즉, 가스

와 적외선이 통과하는 가스 셀의 구조 차이에 의해 상기와 같은 응답특성 차이가 발생한 것이다.

따라서 본 연구에서 개발된 가스 셀의 구조는 응답특성 측면에서 선진 제품 대비 우수한 성능을 제공함을 알 수가 있다.

가스 셀의 설계에서 가스 셀의 중간 부분인 직관 부분은 유동에 별다른 영향을 미치지 않는다. 그러나 가스 셀의 입출구 부분은 유동에 매우 큰 영향을 미치며, 연구 결과에 의하면 입구 쪽의 유로 설계가 매우 중요함을 알 수가 있었다. 입구 쪽의 유로 설계가 가스 분석기의 전체 응답속도에 지배적인 인자임을 확인할 수가 있었다.

라. 적외선 광원 제어 회로 및 센서 인터페이스 회로 개발

<그림 27>에는 광원부, 수광부, 1차 증폭회로, 마이크로컨트롤러, 노이즈제거필터 등으로 구성된 탄산가스 측정기 제어회로의 흐름도가 제시되어 있다. 마이크로컨트롤러는 광원부의 PbSe 재질의 중적외선 발광소자를 제어하고, 수광부의 PbSe 적외선 검출소자로부터의 신호를 인터페이스한다. 수광부 검출소자의 신호는 매우 미약한 신호이므로 약 4,000배 정도 증폭하여 1V 레벨이 되었다. 회로 상에서 하드웨어적인 노이즈를 최소화하기 위해 마이크로컨트롤러에 입력되기 전에 증폭회로를 거친다.

마이크로컨트롤러는 적외선 광원을 구동하기 위한 전력을 제어하며, 1 사이클은 10msec이다. 10msec 동안 ON 기간은 1msec 이며 이 시간 동안 10회 측정하여 산술평균한 후 1개의 데이터를 지시부, A/O 채널, 및 RS232 통신을 통하여 PC로 전송한다. 나머지 9msec 동안은 광원을 구동하지 않는다.

수광부의 적외선 검출소자로부터의 신호는 약 4,000배 증폭된 후, A/D 회로를 거친다. A/D 회로는 12비트의 해상도를 갖는다. PC에서는 RS232 통신을 통하여 마이크로컨트롤러로부터 초당 100번의 데이터를 받아 산술평균한 후 초당 1개의 데이터를 화면에 디스플레이한다. 탄산가스의 농도는, 가스 셀로 제로가스(질소가스)만을 공급할 때의 광검출센서의 출력신호와 표준가스를 공급할 때의 출력신호를 비교하여 탄산가스 농도로 환산한다.

<그림 28>에는 시제품 마이크로컨트롤러의 외관이 제시되어 있다. 현재 3차 시제품의 개발이 진행되고 있으며, 2차 시제품은 농가 실증 실험에 적용되었다. 1차 시제품으로부터 추가적인 회로를 개선하고 고성능 반도체 칩과 CPU를 적용하여 마이크로컨트롤러의 크기를 줄였다. 1차 시제품의 CPU로 8051 칩이 사용되었으며, 2차 시제품에는 A/D 기능과 같은 각종 회로가 내장된 C8051칩이 적용되었다.

<그림 29>와 <그림 30>에는 마이크로컨트롤러 2차 시제품, 가스 셀 2차 시제품, 및 PC 등이 연결된 시험 장면이 제시되어 있다. 2차 시제품을 이용하여 표준가스와 제로가스를 공급하며 PC용 소프트웨어를 개발하였으며, 농가 실증시험도 시작하였다. 현재는 모두 3차 시제품으로 대체되어 양산을 위한 사양으로 개발이 진행되고 있다.

<그림 31>과 <그림 32>에는 PC용 소프트웨어 실행화면이 제시되어 있다. <그림

31>은 가스 셀로 표준 및 제로가스를 공급하며 광검출센서로부터의 신호와 가스 농도의 상관식을 만드는, 가스 농도 보정화면이다. 상관식은 3차, 4차, 및 5차 식으로 보정할 수 있도록 개발하였다. 화면의 왼쪽 중간에는 가스농도와 출력전압 사이의 관계를 숫자로 보여주고 있으며 오른쪽 그래프에서는 이 관계를 시각적으로 보여주고 있다. 본 그림에서 알 수 있듯이 가스농도와 PbSe 재질의 적외선 검출소자의 출력 사이에는 1차 선형적인 관계가 성립하지 않는다. 4차 또는 5차 다항식으로 상관성을 도출하면 99.9% 이상의 상관성을 갖는다. 측정하고자 하는 구간의 최소 및 최대 값 사이의 10 포인트에서 가스농도를 단계적으로 변화시키며 출력신호와의 상관성을 구할 수 있도록 개발하였다. 이러한 방법은 고가의 자동차 배기가스 인증시험 장비에서 사용하는 방법이며 현재까지 알려진 가장 정확한 방법이다.

본 연구에서는 제로가스와 5,000ppm의 표준가스를 준비한 후 각각의 가스 라인을 가스분할기(Gas divider 또는 Gas mixer)에 연결하여 0~5,000ppm을 10등분할 수 있도록 실험장치를 준비하였다. 가스분할기는 일본 호리바사의 고정밀 분할기를 사용하였으며 정밀도는 $\pm 1\%$ 이내이다. 공급 가스의 유량은 1.5리터로 설정하였다.

실제로 농가에서 본 시제품 탄산가스 측정기를 사용할 때는 이 화면을 사용할 필요가 없다. 농가에서는 가스분할기가 없으며 여러 가지 농도의 표준가스를 보유하지 않고 있기 때문이다. 가스분할기를 보유한 연구소 등에서 정밀하게 측정하고자 할 때, 출고 시 설정된 보정식을 재수정 또는 검증하고자 할 때 사용한다. 향후 탄산가스 측정기가 양산되어 국내 농가에 보급될 때는, 이 화면은 출고 시 측정기의 정밀 보정을 위하여 사용할 뿐이다.

<그림 32>는 탄산가스 농도를 측정하는 화면이다. 다소 화면 구성이 전문가 위주로 구성되어 있는 듯하나, 탄산가스 농도를 정확하게 측정하는 해외의 고가품 측정기들의 화면과 유사하다. 실증 시험에 적용해 본 결과 사용 농가에서도 크게 어려워하지 않았다. 화면의 각 메뉴의 기능을 이해하면 오히려 재미있어하는 경향도 있었다. 중앙의 그래프에서는 X축에 디스플레이 시간을 설정할 수 있도록 하였으며, Y축에 디스플레이되는 농도 구간을 설정할 수 있도록 화면 구성하였다. 탄산가스 농도는 왼쪽 하단에 단독으로 숫자로 실시간 표시하고 있으며, 또한 중앙 하단에 여러 가지 측정값과 함께 표시하고 있다. 왼쪽 하단의 농도 표시 밑에는 데이터 저장을 위한 시간 간격을 설정할 수 있도록 하였다. 본 화면에 실시간으로 표시되는 각종 데이터는 실시간으로, 정해진 시간 간격으로 저장되도록 설정할 수 있다.

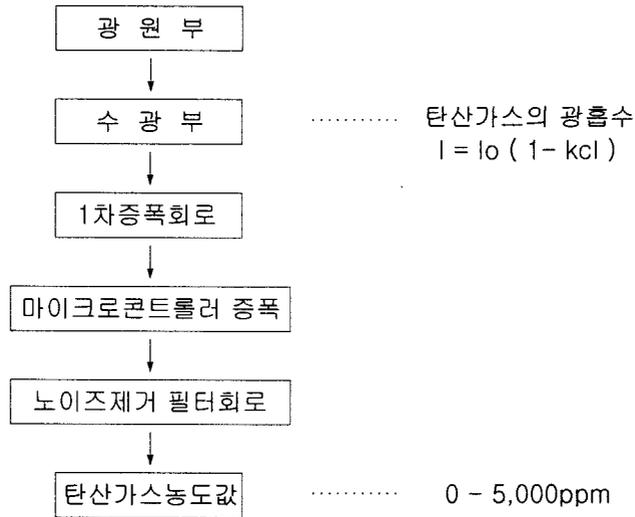
오른쪽 중간 쪽에는 발광부 및 수광부의 목표온도를 설정할 수 있도록 되어 있다. 이 기능은 계측기의 신뢰성과 정밀도에 직접적으로 영향을 미치는 매우 중요한 변수이다. 일반적으로 농가에서는 탄산가스 측정기를 버섯 재배사 내부에 설치하거나 외부 공조 제어실에 설치한다. 버섯 재배사 내부에 설치한 경우는 연중 측정기 내부의 온도가 크게 변하지 않는다. 그러나 외부 공조 제어실에 설치한 경우는 공조 제어실의 온도가 동절기와 하절기 기준으로 최대 40도 정도 차이가 날 수 있다. 공조 제어실은 일반적으로 공조하지 않는다. 겨울에는 거의 영하의 온도로 하강하며 여름에는 영상 40도까지 상승한다. 공조 제어실의 온도는 내부에 설치된 탄산가스 측정기 주변 온도가 된다. 탄산가스 측정기 내부에는 PbSe 재질의 광원과 광검출소자가 설치되어 있다. 이 소자들은 국소 열전 냉각 소자 상부에 접합되어 있음을 3.2절 (나) 항에서 설명한 바 있다. 열전 냉각 소자 상부는 냉각면(Cold side)이 되며 하부는 가열면(Heating side)이 된다. 광원과 광검출소자를 일정한 온도로 냉각 및 유지하기 위해서는 가열면에서 외부로 방열이 원활이 이루어져야 한다. 이를 위해서는 화면에 설정된 발광부 및 수광부의 목표온도를 적절히 설정하여야 한다. 여기서 목표온도는 냉각면의 온도를 의미한다. 냉각면에 설치된 NTC 써미스터로부터 측정되는 온도이다. 이 온도가 제어실의 온도보다 과다하게 낮은 온도로 설정되면 제어실에서 방열이 이루어져야 하는 가열면의 온도가 냉각되지 않는다. 가열면에서 방열이 원활이 이루어져야 냉각면에서 상부에 접합된 소자의 냉각을 원활히 할 수가 있다. 본 연구에 사용된 국소 열전 냉각 소자는 상온의 환경에서 최대 -40℃까지 냉각시킬 수 있다. 그러나 이렇게 사용하면 소자의 수명이 급격히 단축된다. 통상적으로 외기 온도로부터 약 40도 정도 낮은 온도로 유지할 수 있도록 사용한다. 본 연구에서는 외기 온도보다 10~20도 정도 낮은 온도로 일정하게 유지하도록 제어하였다.

냉각면의 온도제어 정밀도는 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이다. 본 연구에서 실험을 수행한 결과 최대정밀도는 $\pm 0.05\sim 0.07^{\circ}\text{C}$ 정도였으나 실질적으로는 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 정도를 이용하였다.

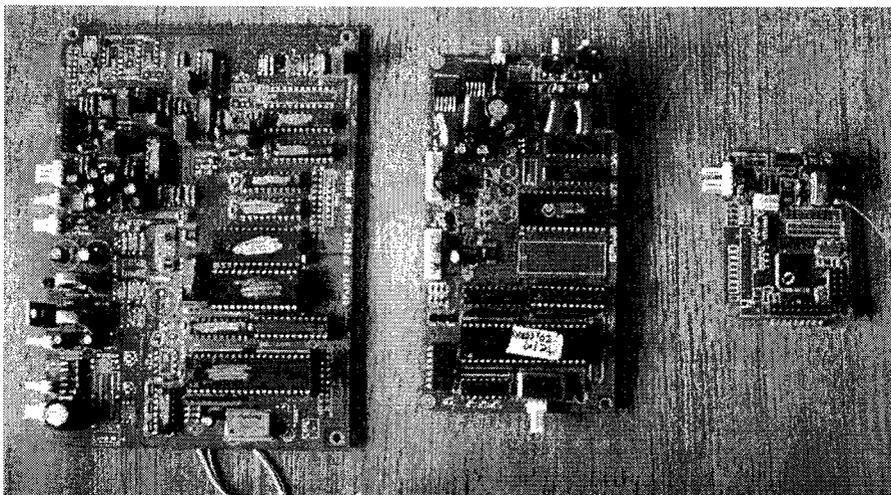
냉각면의 온도가 낮을수록 광원이 방사하는 광량과 수광소자의 민감도가 증가하여 측정 데이터의 해상도를 높이는 좋은 효과를 가져온다. 그러나 상기에서 설명하였듯이 냉각면의 온도가 낮으면 그 만큼 많은 양의 열을 냉각면에서 가열면으로 펌핑하여야 하므로 열전 냉각 소자에도 과부하가 걸리는 것이며 이는 냉각소자의 수명을 단축시킨다.

현재 개발 중이므로 냉각면의 온도를 수동으로 사용자가 설정하며 사용할 수 있도록 프로그램이 개발되었다. 향후 탄산가스 계측기의 주변온도를 측정하여 자동으로 이 목

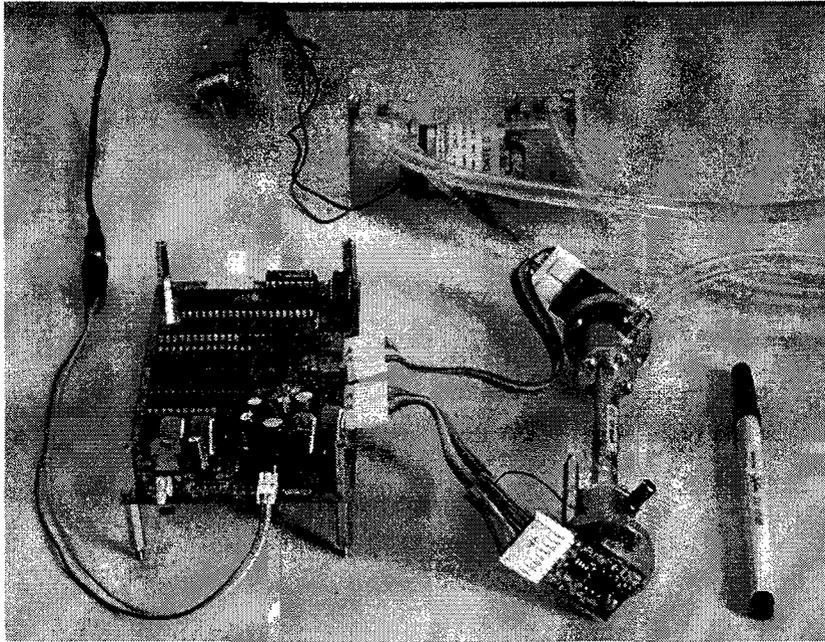
표온도가 설정되도록 프로그램을 수정하는 것을 고려 중이다. 그러나 이를 위해서는 충분한 환경시험을 거쳐야 한다.



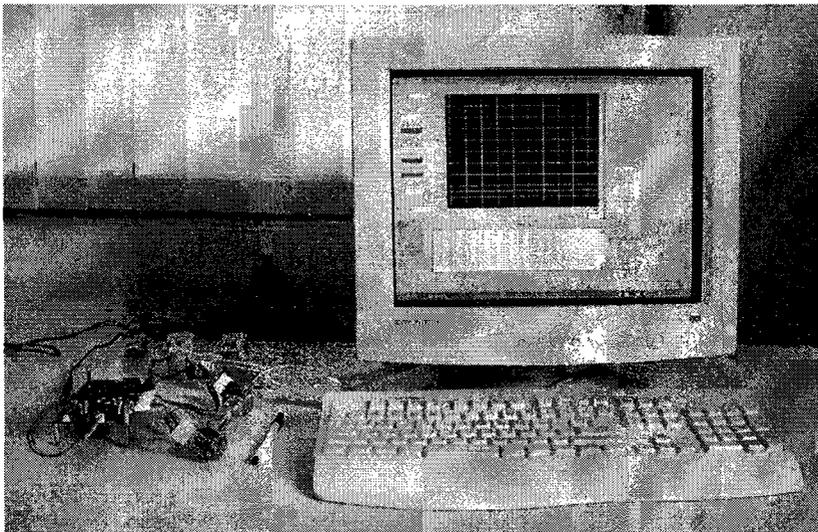
<그림 27> 광검출센서(수광부) 신호처리 흐름



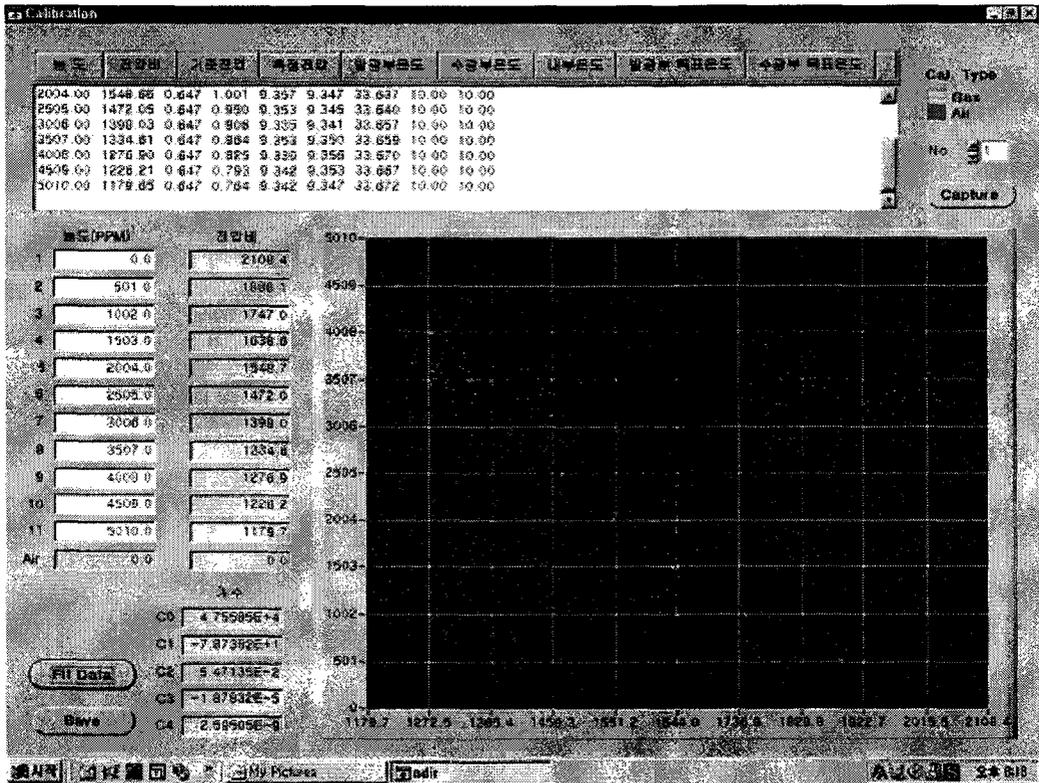
<그림 28> 탄산가스 측정기 마이크로컨트롤러 시제품 (1차, 2차, 및 3차품)



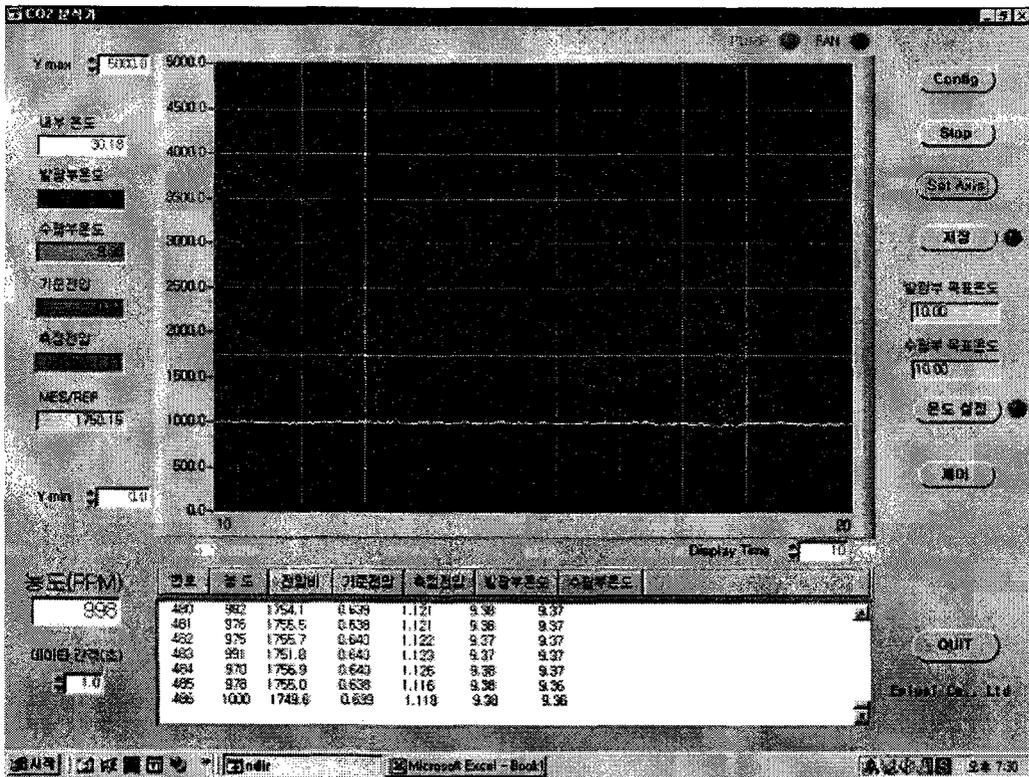
<그림 29> 탄산가스 측정기의 핵심부 외관(1차년도)



<그림 30> 탄산가스 측정기 핵심부 및 PC(1차년도)



<그림 31> 탄산가스 측정기 PC 프로그램(Calibration 화면)



<그림 32> 탄산가스 측정기 PC 프로그램(측정 화면)

마. 적외선 노이즈(S/N 비) 제거 기술 개발

적외선 가스 분석기는 국내에서 이미 과거 20여년간 한국표준과학원, C사, H사, S사 등이 실패한 바 있다. 현재 100% 전량 수입에 의존하고 있으며 금액으로는 연간 약 500억원에 이른다. 앞선 연구개발에서 실패한 원인은 신호대 노이즈 제거 기술의 개발과 영점 안정성 등의 확보에서 실패하였기 때문이다.

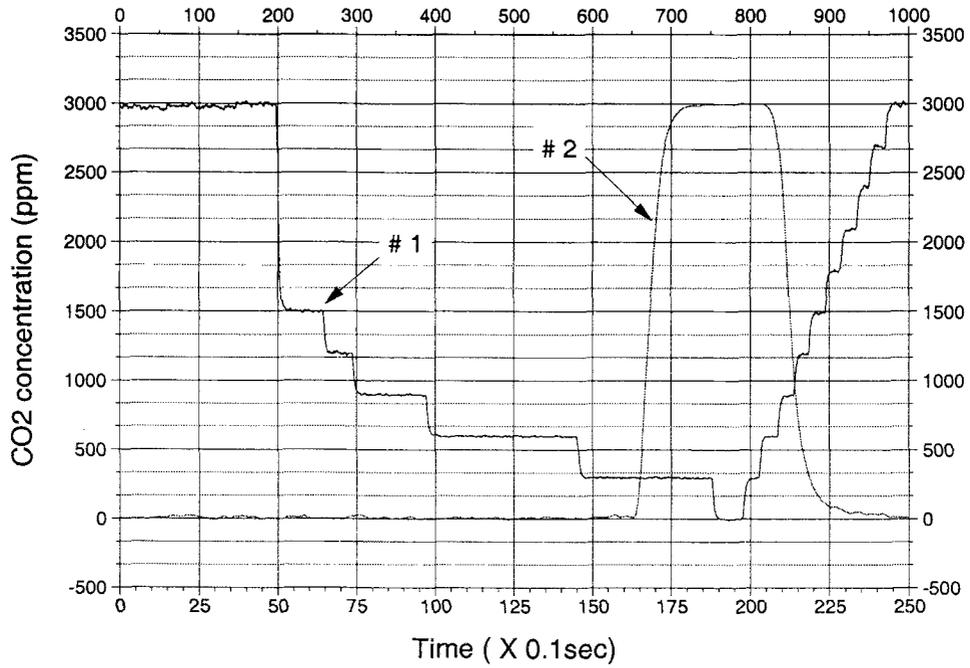
본 연구에서 가장 어려움 점, 또는 최종 난관이라고 판단되는 영점안정성(ZERO STABILITY)과 노이즈 제거기술의 개발이 초미의 관심사였다. 본 연구에서는 노이즈 제거를 위하여 전자회로상의 필터와 소프트웨어 필터를 개발 적용하여 24시간 영점편차를 1%이하로 낮추는데 성공하였고, 72시간 영점편차 역시 1%수준에 이르러 어려운 난제를 극복하여 연구개발상의 어려움 없이 계획대로 진행되었다. 완성품 제작과 함께 실증시험을 통하여 검증하고 있다.

<그림 33>에는 가스분할기를 이용하여 0~3,000ppm을 10등분하여 측정된 데이터이다. 본 데이터는 하드웨어 및 소프트웨어적인 필터를 적용한 후의 결과이다. 노이즈 레벨은 1% 미만이며 절대값으로는 $\pm 10\text{ppm}$ 수준이다. 이 수준은 고가의 자동차 배기가스 인증장비들이 제공하는 수준이다. S/N비는 선진제품과 비교 시 만족할만한 수준에 도달하였다고 판단된다.

적외선 분석기는 외부 적외선의 영향을 매우 민감하게 받는다. 이를 위하여 전자회로와는 별도로 가스 셀의 온도를 일정하게 유지하여 외부 적외선 교란에 의한 영향을 제거하였다. 가스 셀의 온도가 시료에 의하여 영향을 받으면 가스 셀에 의한 적외선 검출소자의 교란이 커지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 가스 셀의 온도를 일정하게 유지하고자 가스 셀을 일정한 온도로 가열하였으나 초기에는 가스 셀을 가열시키는 히터의 영향으로 오히려 전기적인 신호 교란에 더 커지는 어려움을 겪었다. 가스 셀을 가열시킬 때는 가열 전원을 마이크로컨트롤러의 전원과 분리시켜야 한다.

가스 셀의 온도를 일정하게 유지하고자 할 때 가스 셀을 직접적으로 가열하는 방법과, 간접적으로 가열하는 방법이 있다. 본 연구에서는 1차 시작품 때는 가스 셀을 직접 가열하였으나, 2차 시작품에서는 가스 셀로 유입되는 시료를 일정한 온도로 가열하는 간접적인 방법을 취하였다. 시료를 일정한 온도로 가열하기 위하여 이중 동관 구조의 소형

열교환기를 개발하였다. 이중 동관 열교환기는 목표 온도로부터 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 유지시키는 성능을 보여주었다. 농가의 실증시험에서는 $40 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다.



<그림 33> 탄산가스 측정기 농도별 측정 데이터

바. 자동제로교정 로직 개발

24시간 및 72시간 영점안정성과 노이즈 제거기술은 만족스러운 결과를 얻었으나, 적외선 분석기는 발광소자와 수광소자의 특성 변화로 인하여 주기적인 영점조정을 해주어야 한다.

<그림 34>에는 영점 및 스펜(표준농도) 교정을 5차 다항식으로 수행한 데이터가 제시되어 있다. 그러나 적외선 분석기에서는 시간이 경과함에 따라 이 보정 곡선이 변화하게 된다.

0ppm에서 센서 출력값이 1020 정도의 값을 보여주고 있다. 이 값(m/r)은 PbSe 광검출소자(광센서) 내부의 측정셀의 출력전압과 기준셀의 출력전압의 비를 의미한다. 측정셀(Measuring cell)과 기준셀(Reference cell)의 의미에 대해서는 3.2절의 (나)항을 참조하기 바란다. 기준셀은 3.9 μ m의 파장에 대해 반응하기 때문에 CO₂의 농도가 변하여도 이 값은 변화하지 않는다. 광원의 방사 파장과 광량의 변화에 대처하고 측정오차를 최소화하기 위해 이러한 방법을 사용하고 있다.

적외선 분석기는 외부환경과 광원 및 광센서(광검출소자)의 특성변화 때문에 <그림 34>의 보정곡선 상의 측정값들이 변화하게 되고 곡선도 변화한다. 따라서 주기적으로 보정곡선을 교정하여야 한다.

환경분야에서 사용되는 고가의 연돌 자동측정시스템에서는 매일 1~2회 영점 및 스펜 조정하도록 되어 있으며 해외 우수 제품들은 이를 시행하고 있다. 자동차 분야의 고가 계측기는 일간, 주간 교정을 실시하고 있으며, 간단한 포터블 계측기는 매 측정 시에 자동으로 영점 조정을 수행하는 로직을 이용하고 있다.

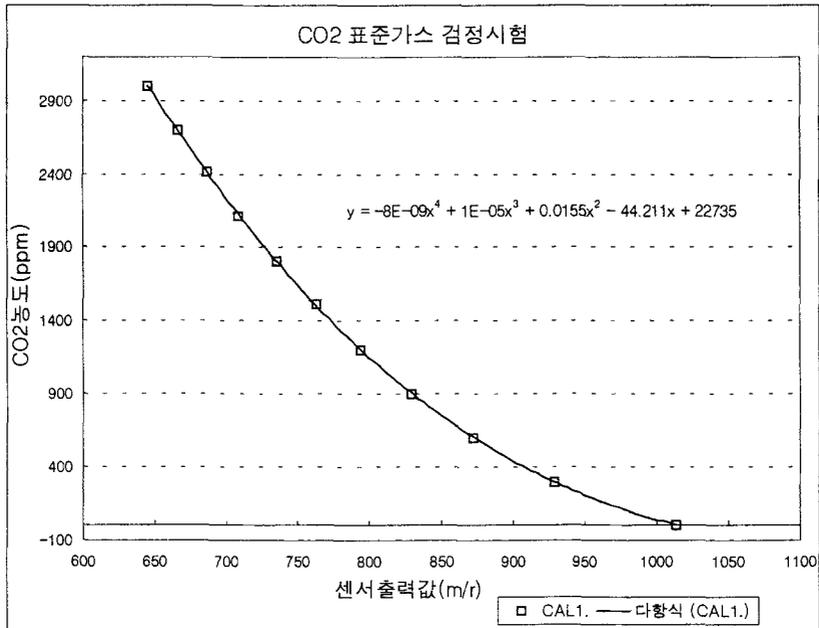
버섯 재배사용 탄산가스 측정기의 개발을 위해서는 우선 보정곡선이 장시간 변동되지 않도록 하드웨어적인 충실함이 뒷받침되어야 한다. 그리고 보정곡선이 장시간 사용 후 변동되었을 때 이를 어떻게 간단한 방법으로 교정해 주는가 하는 것도 매우 중요하다. 농가에서는 측정기의 출고 시에 사용하는 고가의 가스분할기나 표준가스가 없기 때문에 자력으로 교정해 줄 수가 없기 때문이다. 고가의 연돌 상시 모니터링 시스템과 자동차 인증용 계측기에서는 주기적으로 2포인트 교정을 실시한다. <그림 34>와 같이 0~3000ppm의 측정범위를 예로 들면, 제로가스(질소가스, 0ppm)와 80%의 스펜가스(2400ppm 정도)를 사용하여 2포인트를 측정한 후 나머지 점들은 선형보간법을 이용하

여 산술적으로 교정한 후 보정 곡선을 수정한다. 버섯 재배농가에서는 스펠가스가 없기 때문에 이 방법도 적용할 수가 없다. 물론 제로가스로 없다.

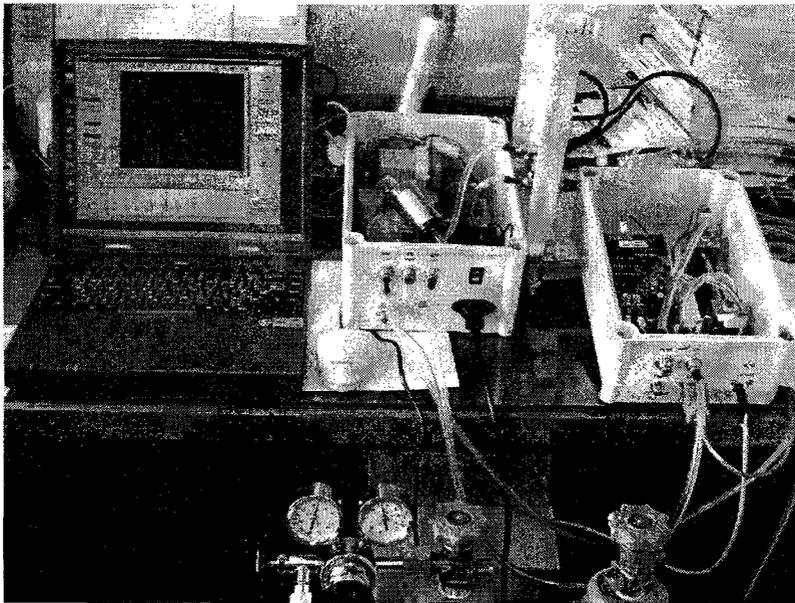
간단한 실내 공기질 모니터링 계측기와 자동차용 포터블 배기가스 측정기는 1포인트 교정하는 로직을 제공한다. 이 때 사용하는 로직은 대기보정(Ambient correction)만 하는 것이다. 청정지역의 대기 중의 탄산가스 농도를 350ppm으로 간주하고 대기 중의 공기를 흡입할 때의 측정값을 350ppm으로 설정하고 이 점을 이용하여 전체 10포인트의 측정값을 외삽으로 또는 일정한 값을 가감하여 보정한다. 이 방법은 다소 정밀도가 낮아진다. 그러나 농가 실정에서는 이 보정로직을 적용할 수 밖에 없다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 1포인트, 2포인트, 3포인트~10포인트 등의 보정방식을 제공하여 사용자가 필요할 경우 보정곡선을 수정할 수 있도록 하였다.

상기에서 언급한 소프트웨어적인 보정곡선의 수정 방법 외에, 기본적으로 버섯재배사에 적용 가능한 탄산가스 측정기는 영점이 변화하지 않도록 하드웨어적으로 충실하게 뒷받침되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서 개발한 탄산가스 측정기는 광원과 광센서의 온도를 국소 열전 냉각 모듈을 사용하여 온도의 변화가 발생하지 않도록 정밀하게 제어하고 가스 셀의 온도 및 시료의 온도를 일정한 값으로 유지하기 위하여 하드웨어가 구성되어 있다. PbSe 소자의 표면온도를 목표값으로부터 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 갖도록 제어되고 있으며, 가스셀과 시료의 온도는 목표값으로부터 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 갖도록 제어되고 있다.



<그림 34> 영점 및 표준농도 보정



<그림 35> 영점 및 표준농도 보정 장면

사. 통합 컨트롤러의 개발

2차 제작된 시작품 컨트롤러는 CO₂, 온도, 습도만 측정이 가능한 개발품이다. 그러므로 환기팬 구동을 위한 동작신호를 추가로 제공하여 CO₂ 농도가 일정농도 이상되면 환기팬이 동작신호를 출력하도록 설계하였다. 또한 샘플링 유속은 사용시간이 길어지면 펌프의 토출압력이 저하되므로 이를 감지하고 설정유속을 유지 할 수 있도록 설계한다.

수원의 농진청과, 충북 청원군 초정리의 버섯 재배사에서의 실증시험을 위하여, 탄산가스측정기를 이용하여 탄산가스 농도를 측정하고 환기시스템으로 동작신호를 출력시켜 자동환기시스템을 완성하였다. 수원의 농진청 농업기계화연구소와 별도로 초정리의 버섯 재배 농가에서 실증시험을 수행하였는 데 사용환경이 다소 상이하여 운용시스템도 다소 상이하였다.

본 통합환경측정시스템은 실증시험에서 버섯 재배사 외부의 공조실에 설치되어 운용되었다. 따라서 재배사와의 거리가 10미터 이상되었기 때문에 재배사의 온도와 습도를 측정하여 피드백 제어함에 어려움이 있었다. 공조 제어실에 설치된 고성능 펌프를 사용하여 버섯 재배사로부터 시료를 실시간으로 채취하여, 탄산가스 측정기까지 유입시키면 시료의 온도가 변화하여 온도 및 습도 측정이 의미가 없었다.

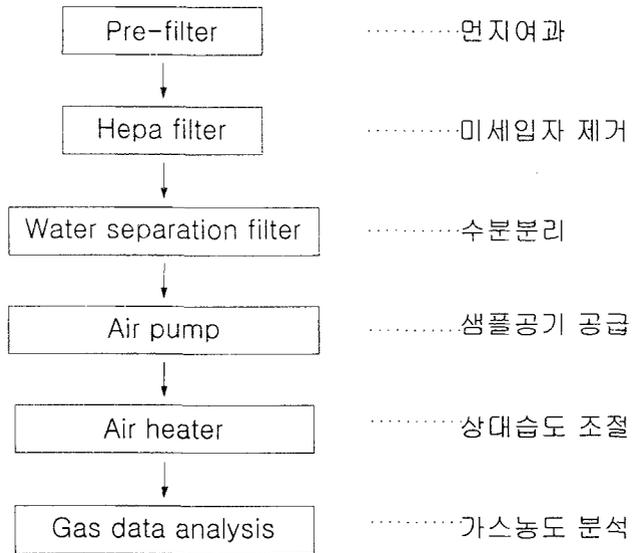
초정리에서의 경우를 예로 들면, 재배사 내부에 설치된 온도와 습도센서로부터의 측정값은 공조실에서 모니터링은 하되 피드백 제어에 사용하지 않았다. 탄산가스 측정을 위하여 재배사의 시료를 펌핑하여 공조 제어실로 흡입하여 탄산가스 농도를 측정하고, 공조실에서 적절한 온도와 습도로 유지된 공기를 탄산가스 농도를 기준으로 버섯 재배사로 공급하여 환기시키는 형태로 제어되었다.

수원의 농업기계화 연구소에서도 온도와 습도는 다른 센서를 이용하여 측정하고 탄산가스 농도만을 본 계측기를 사용하여 측정하였다.

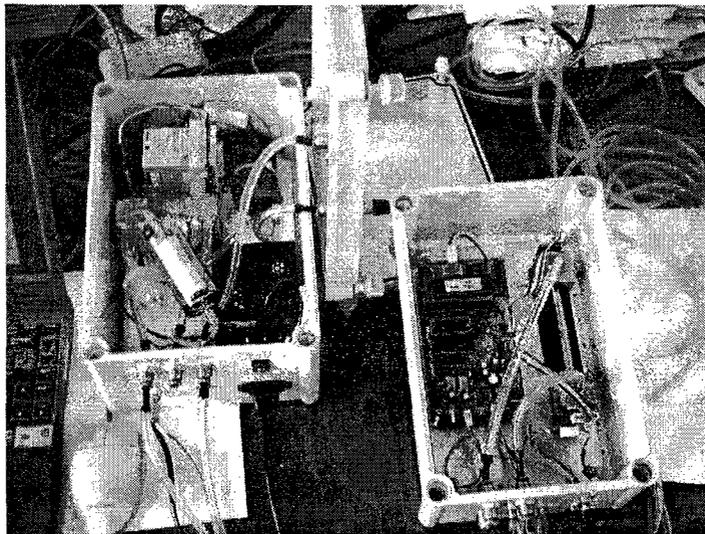
<그림 36>과 같이, 버섯 재배사의 탄산가스를 측정하기 위한 시료채취를 위하여 2단계의 공기필터를 적용하였으며, 수분의 제거를 위하여 수분 제거필터를 적용하였다. 수분 제거필터는 탄산가스 계측기 구성부품들의 수명을 유지하기 위하여 반드시 필요한 것으로 판단되어 설치하였다. 수분 제거후 시료의 온도를 가열하여 가스 셀로 유입되는 시료의 온도를 일정하게 유지시켰다.

공조 제어실까지의 시료채취를 위한 고성능 펌프 이외에 별도로 탄산가스 측정기 내

부에 펌프와 유량계를 설치하여 시료의 흡입에 문제가 없도록 장치를 제작하였다



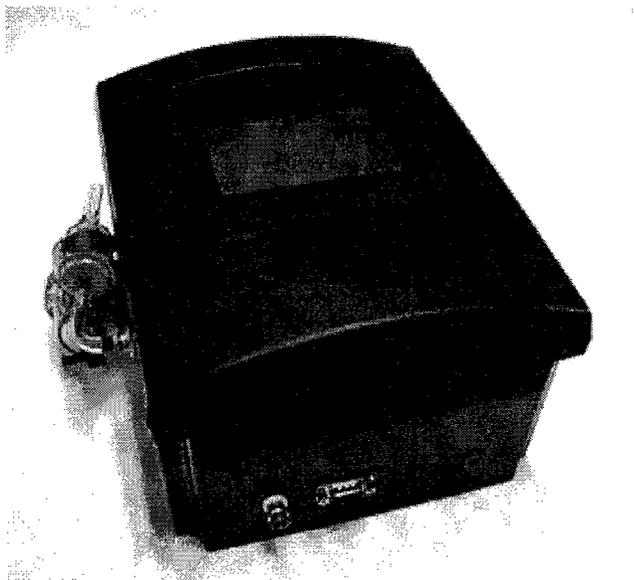
<그림 36> 시료 채취 경로



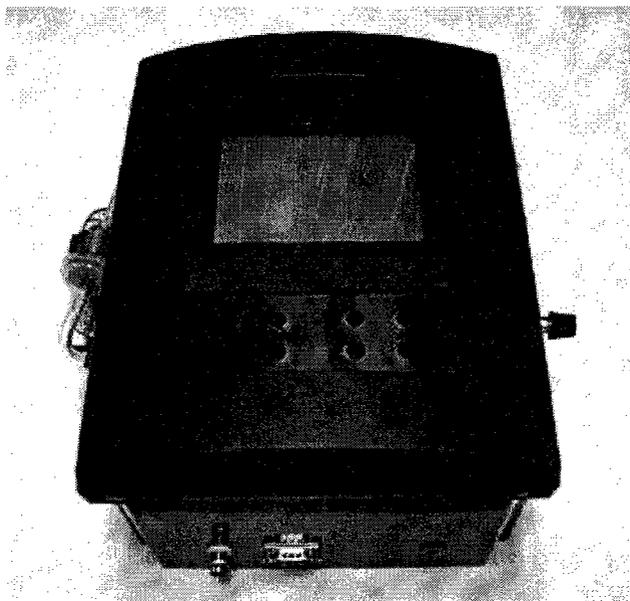
<그림 37> 탄산가스측정기 시스템 Integration (1차년도)

<그림 37>은 1차년도 탄산가스 측정기 시제품의 외관이며, <그림 38>에서 <그림 41>은 2차년도 시제품의 모습이다. 2차년도 시제품은 대형 고해상도 그래픽 LCD를 사용하여 사용자가 PC 없이 Stand-alone 제품으로 사용이 용이하도록 개발을 진행 중에 있다. 그래픽 LCD와 측정기 내부의 핵심부품들의 장착을 위한 케이스 제작을 위하여 본 연구와는 별도로 사출금형을 제작하였다.

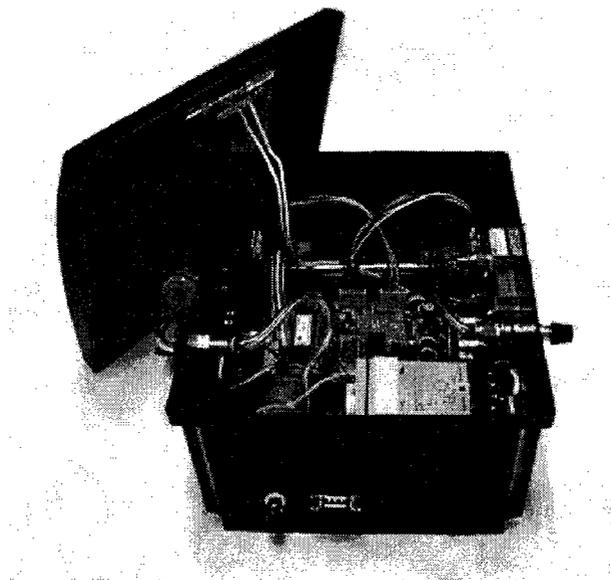
<그림 42>에는 수원 농진청에서 제작한 통합환경제어시스템의 전기적 구성 개략도가 제시되어 있다. <그림 43>은 그 외관이다. <표 7>은 그 제원이 제시되어 있다.



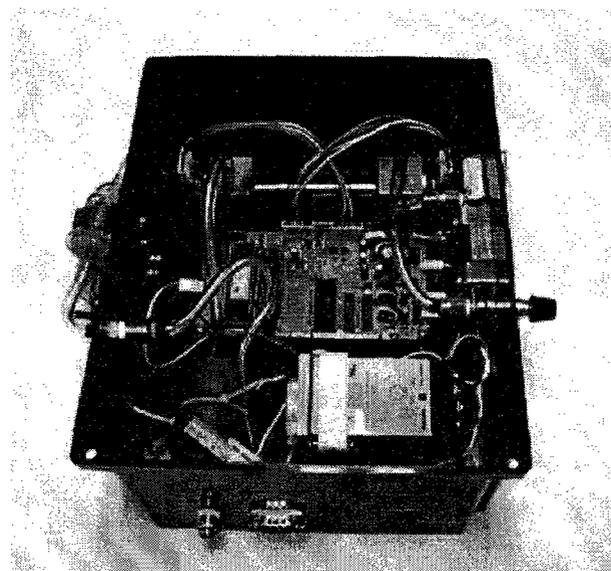
<그림 38> 탄산가스측정기 시스템 외관 측면 (2차년도)



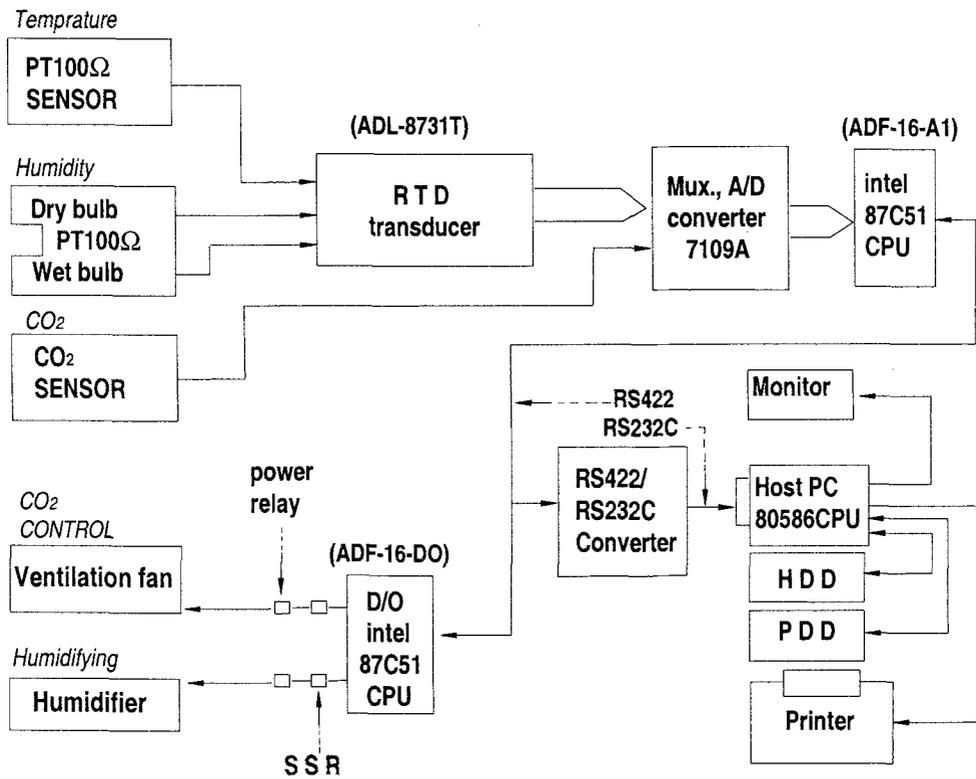
<그림 39> 탄산가스측정기 시스템 외관 정면 (2차년도)



<그림 40> 탄산가스측정기 시스템 내부 측면 (2차년도)



<그림 41> 탄산가스측정기 시스템 내부 정면 (2차년도)



<그림 42> 통합 환경제어시스템 제어회로 개략도 (2차년도)

<표 7> 통합 환경제어시스템 제어회로 제원

구 분	제 원
I/O시스템 (ADF-16AI)	16 channel, 13bit resolution, full differential channel, unipolar+5V +10V voltage input, bi-polar $\pm 5V \pm 10V$ current input, 0~20mA 4~20mA $\times 1 \sim \times 100$ instrument amplifier, Intel 87C51 CPU
RTD온도증폭기	1mA D.C excitation, $2 \mu V/^{\circ}C$ gain drift, $0.2 \mu p-p$ 0.1~10Hz noise level, 0~5V output voltage
습도계측	통풍건습구식 Pt 100 Ω 측온저항체 온도측정 Sprung식으로 건·습구온도 수증기압 분석 계산식 $RH=100 \epsilon / \epsilon s(\theta d)$ (%)



<그림 43> 통합 환경제어시스템 외관 (2차년도)

3.5 실증시험 및 결과

버섯재배 환경관리 자동화기술 개발은 버섯재배의 생력화, 품질의 고급화를 촉진시킬 수 있다. 버섯재배의 기계화수준이 아직 빈약한 우리나라 버섯생산의 국제 경쟁력은 노동자 임금이 낮은 개발도상국에 비해 매우 불리한 여건에 있으며 자본, 시설 및 기술로 무장한 일본, 화란 등 선진국에 비하여도 경쟁력이 극히 낮은 실정이다.

버섯 발육기에는 호흡작용이 왕성하며 특히 버섯이 대량으로 발생하여 자실체가 비대하는 시기에 충분한 환기를 함으로써 버섯의 발생과 상품성 있는 버섯을 생산할 수가 있다.

재배사의 탄산가스 농도가 높아지면 갓이 작아지고 대가 길어지며 수확시기가 지연되어 버섯의 품질저하를 초래한다. 또한 배지균사의 노화촉진으로 수확기간이 단축되므로 총 수확량이 감소한다. 특히 어린 버섯은 탄산가스 및 기타 유해가스에 민감하여 버섯이 발생되지 않으며 버섯발생 후에도 충분히 환기해야 하나 겨울철에는 보온 때문에, 여름철에는 냉방 때문에 환기가 불충분하여 버섯품질이 나빠지고 수량의 감소를 초래할 우려가 크다.

노타리·양송이 버섯재배사는 측창과 지붕에 배기구가 설치되어 있고 측창과 천창 배기구의 개방정도에 따라 환기가 이루어지는 자연환기가 보편적이다. 자연환기보다 진보된 강제환기방식은 버섯재배사 벽면에 송풍팬을 설치하고 타임머에 의해 농가의 경험에 따라 설정된 시간에 송풍팬이 작동하여 환기가 이루어지며 '90년대 후반부터 이와 같은 환기방식으로 전환되었다.

그러나 자연환기방법의 경우에는 바람이 많이 부는 날씨가, 겨울철 추운날씨, 여름철 냉방재배 할 때에는 재배사 온습도를 적절히 관리하기가 곤란하므로 재배 농가는 재배사 관리에 주의를 집중해야만 하는 실정이다.

또한 외부공기의 온도와 습도는 버섯재배에 적합한 환경조건과는 큰 차이가 있으므로 송풍기를 설치하여 환기할 경우에 외부의 건조한 공기, 또는 차거나 더운 공기가 직접 들어오게 되므로 버섯재배사 내부온도와 습도에 급격한 변화를 주어 버섯의 생육을 해치고 병 발생을 유발시킬 우려가 있다.

농가 버섯재배사의 환경관리기술은 보일러에 의한 난방, 가습기에 의한 습도조절, 환기팬에 의한 환기방법이 이용되고 있으나 다음과 같은 문제점이 지적되고 있다.

- 첫째, 재배사내의 탄산가스농도에 따른 적정 환기관리가 이루어지지 않고 있음
- 둘째, 겨울철 외부의 찬 공기와 여름철 외부의 더운 공기가 버섯재배사 내부공기와 직접 환기됨에 따라 환기열에너지 손실이 크다.
- 셋째, 외부공기가 재배사내부에 직접 유입되므로 재배사내의 공기 온·습도가 급격히 변화한다.
- 넷째, 버섯을 재배하는 계절의 외부공기는 건조하므로 버섯 재배사에 가습이 필요하다.

양송이버섯 1kg 생산과정에 약 3kg의 물이 증발되며 느타리버섯의 배지 수분함량은 맥류짚 사용시 75% w.b., 옥수수숙대 사용시 70% w.b. 정도가 적합하다고 한다.

재배사의 상대습도는 생육시기에 따라 달라서 양송이의 버섯발이 시기에는 95%, 수확 시기는 85~92%가 적합하고, 느타리버섯의 발이시기에는 95%, 그리고 버섯이 1cm이상 성장한 후에는 85%가 최적조건으로 알려져 있다. 느타리 벗짚다발 또는 폐면 균상재배에 있어서 목표습도는 발이시기 95%, 수확시기 85% 수준이 적합하다고 하다.

양송이버섯 발이 후 7일째에 최대한의 실내습도 유지와 신선한 공기 도입이 요구되며, 균상면적 1평방 피트(ft)당 0.3~0.5CFM이 필요하다. 또한 양송이 재배시 재배면적 200m²인 재배실에서 최대환기 능력2,500m³/hr의 시설이 요구된다.

팽이버섯의 가스발생량은 표준재배시 접종후 15일경 800cc 한병당 1일 80cc이며 팽이버섯의 군사성장기에 배양병중의 CO₂농도는 0.2~0.4%전후가 적당하다고 한다.

현행 버섯재배 체계로 볼 때 작업노력이 많이 들고 기술적으로 까다로운 버섯재배사의 온도, 습도, 환기 등을 최적수준으로 조절할 수 있는 관리시스템의 개발을 통한 노력 절감과 과학적 관리가 시급한 실정이다.

우리 나라의 버섯 총 버섯재배면적은 2000년 현재 1,102ha이며 그중 느타리버섯은 총 재배면적의 67%인 737ha를 차지하고 있으며 생산량도 70,759톤으로 전체 버섯생산량의 60%를 차지하는 대표적인 버섯이라 할 수 있다.

느타리버섯 재배가 많은 이유는 소비시장이 가장 크고, 다른 종류의 식용버섯에 비하여 비교적 초기 시설투자비가 적어도 되고 큰 자본을 들이지 않고 재배할 수 있으며, 배지 재료도 비교적 값이 싼 벗짚, 폐면 등을 이용하여 연중 재배가 가능하고, 자본 회전이 빠른 이점이 있기 때문이다.

이 연구에는 버섯재배에 있어서 반복되는 환경관리 작업을 자동화함으로써 안정적으로 일관된 버섯재배의 환경관리를 실현할 수 있다. 이에 따라 노력을 절감할 수 있으며

로 버섯 재배규모를 확대할 수 있고 다른 작목의 영농이 가능하다. 또한 버섯재배사의 환경관리 자동화를 통하여 안정적으로 고품질 버섯생산이 실현될 수 있다.

본 시험을 통하여, 버섯재배 환경측정시스템으로 온도, 습도 측정정밀도를 분석하고, 버섯재배 공기조화장치 이용기술을 개발하며, 버섯재배사 탄산가스농도를 분석기술을 개발하여, 버섯재배 자동 환경관리시스템을 개발하고자 하였다.

가. 버섯재배 환경측정시스템

○ 온·습도측정 데이터수집장치

시험에 사용한 원격감시·제어장치는 RTD증폭기,A/D변환기가 내장되어 있는 원격 데이터 처리시스템, RS-422/RS-232C 통신변환기 및 제어에 사용한 개인용 host컴퓨터로 구성된다. 버섯재배사 계측은 습도측정을 위한 통풍형 건습구 측정장치와 그리고 탄산가스 트랜스미터로 하였다.

RTD 증폭기 : 3선식 백금 측온저항체(PT100 Ω)에 사용할 수 있는 RTD증폭기로서 Analog Design Lab사의 8731T Transducer를 사용하였다. 센서의 온도에 따른 저항의 변화량을 전압으로 변환·증폭시켜 온도에 비례하여 0~5V의 전압출력을 얻을 수 있는 장치이다. 이 RTD증폭기는 센서로부터 도선 저항을 보상하는 3선식 측정방법이며 외부의 노이즈는 common mode rejection 및 차동증폭기(instrument differential)가 있어서 노이즈를 제거하도록 되어있으며 그 제원은 다음과 같다.

<표 8> RTD 증폭기 제원

구 분	제 원
Excitation	1mA D.C
Gain drift	2 μ V/ $^{\circ}$ C
Noise level	0.2 μ p-p, 0.1Hz ~ 10Hz
Non-linearity	0.05%, Max(G=1 ~200)
Temperature range	-50 $^{\circ}$ C ~ +150 $^{\circ}$ C
Output voltage	0~5.000V

Remote I/O system : remote control I/O 시스템인 ADF-16-AI를 버섯재배사의 아날로그 데이터를 원격 감시하는 A/D 변환기로 사용하였다. 이 장치는 one-chip micro-controller, RS-232C 및 RS-422가 내장되어 있어 host computer와 통신 protocol에 의해 I/O data를 처리한다. 확장 channel의 data 입출력은 multi-drop point to point 방식의 network를 구성하고 있다.

통신속도는 300bps에서 19,200bps까지 선택하여 사용 할 수 있는 구조이며 본 시험에서는 9,600bps를 선택 사용하였다.

Remote A/D장치마다 고유의 시스템 address를 가지며 host computer의 통신 port를 늘림에 따라 remote A/D series의 대수를 확장시킬 수 있다.

입력 mode는 differential 방식으로 각 채널마다 flying capacity isolation 이 되어 있으며 16채널로 구성된다. 입력치 0~5V 전압 값은 10진수의 0~4,095step으로 읽혀진다. 전압 입력시 0~5V, 0~10V 또는 전류 입력시 4~20mA를 처리한다.

RS-422/RS-232C 통신변환기 : 4 선식 full duplex network system으로 remote I/O system의 CPU와 host computer의 CPU간의 통신이 되도록 하는 장치로서, RS-422 4선식 통신선은 최대 1.5km의 거리에 data 송수신이 가능하며 RS-232C로 변환시켜 컴퓨터에 내장된 RS-232C 통신 port를 통하여 host computer 에 접속된다.

<표 9> 데이터 입출력시스템

구 분	제 원
No. of channels	16 ch
Resolution	13 bit
Step	sign bit + 4,096 step
Input mode	full differential/channel
Voltage input	unipolar : +5V, +10V
Current input	bipolar : ±5V, ±10V
Instrument amplifier	0~20mA, 4~20mA, x1~x100
CPU	Intel 87C51

Host computer로서 데이터수집 및 제어에 intel 80386CPU, RAM용량 4MB, Hard disc 용량 120MB인 마이크로 컴퓨터를 사용하였다.

Digital 출력시스템 : 현장의 디지털데이터를 원격제어하는 장치로서 one-chip

micro-controller를 탑재하여 개인용 주컴퓨터와 통신protocol에 의해 I/O 데이터를 처리한다. 출력방식은 16채널 relay 로서 출력용량 DC 48V, 3A이다.

온도측정 :온도센서는 사용이 간편하여 널리 사용되며 상온에서 사용할 때 정밀도가 높고 안정도가 높은 PT100 Ω 측온저항체를 사용하였다. PT100 Ω 측온저항체 센서는 1 $^{\circ}$ C당 저항값의 변화는 약 0.4 Ω 이 되며 기준 직접 보상회로가 불필요하여 저항값을 구하면 곧 온도 값으로 변환시킬 수 있다. 온도변화에 따른 RTD 센서의 저항값은 보상도선으로 RTD 증폭기에 입력되고 RTD 증폭기에서 출력된 전압치는 A/D변화기가 내장된 ADF-16-AI remote I/O에 입력되어 host computer에서 온도값을 분석하도록 하였다.

습도측정 : 습도센서는 습도의 변화에 따라 모발이나 필름의 신축에 따라 potensio meter의 저항값으로 출력되는 센서와 고분자 박막센서가 있으며, 국내에서는 고분자 박막센서가 널리 이용되고 있다. 본 실험에서는 습도측정을 위하여 통풍 건습구온도 측정장치를 사용하여 시판 습도센서의 습도반응 특성을 비교하였다.

<표 10> 통풍건습구 습도측정시스템

구 분	제 원
I/O시스템 (ADF-16AI)	16 channel, 13bit resolution, full differential/channel, unipolar+5V +10V voltage input, bi-polar $\pm 5V \pm 10V$ current input, 0~20mA 4~20mA $\times 1 \sim \times 100$ instrument amplifier, Intel 87C51 CPU
RTD온도증폭기	1mA D.C excitation, 2 $\mu V/^{\circ}C$ gain drift, 0.2 $\mu p-p$ 0.1~10Hz noise level, 0~5V output voltage
습도계측	통풍건습구식 Pt 100 Ω 측온저항체 온도측정 Sprung식으로 건·습구온도 수증기압 분석 계산식 $RH=100 \epsilon / \epsilon_s(\theta d)$ (%)

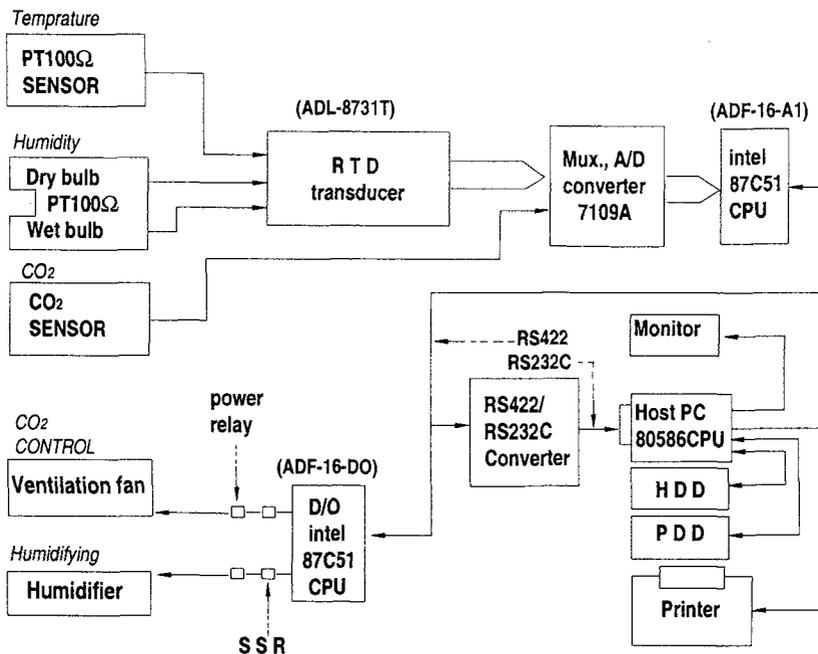
통풍건습구 측정방식의 아스만식 통풍건습구온도계(assmann psychrometer)의 원리를 이용하여 건습구온도측정장치(Ventilated dry & wet bulb psychrometer)를 제작하였다. 통풍관에 풍속이 3m/sec 되게끔 흡출프로펠러팬을 설치하여 공기를 통과시키고 통풍관내에 건구 RTD센서와 병렬로 습구 RTD센서를 설치하였다. 센서의 감지부에 모슬

린천을 설치하여 모세관현상으로서의 센서의 두부가 적셔지도록 하였고 통풍 건습구온도센서에 의한 습도측정은 건구온도와 습구온도에서 그 기체의 수증기압을 구하는 Sprung 공식을 기초로 하여 컴퓨터 프로그램에 의하여 습도를 계산하였다.

○ 분석방법

온도분석 : 온도측정용 PT100Ω 측온저항체의 전기적 신호가 ADL-8731T RTD amplifier에 입력되고 증폭되어 출력된 값이 아날로그 신호로 ADF-16-AI remote I/O system에 입력된다. voltage 값은 remote I/Osystem의 analog input 기본 unit당 16 point, 4,096 step의 digital 값으로 변환 출력된다.

온도계측을 위한 컴퓨터 프로그램 언어는 Quick BASIC이다.



<그림 44> 마이크로컴퓨터 이용 자료수집 · 제어시스템

습도분석 : 통풍 건습구온도를 측정하여 물의 증발에 따른 기화열을 이용하는 열역학적인 습도 측정법으로 분석하였다.

포화수증기압은 온도만의 함수로서 온도가 증가함에 따라 커지게 된다.
 Goff-Gratch에 의하여 유도된 포화수증기압의 관계식을 기초로 하여 다음과 같이 岡田
 가 제안한 포화수증기압(사용온도범위 -30~50℃)

$$e_s = \exp(a_0 + a_1 \theta + a_2 \theta^2 + a_3 \theta^3 + a_4 \theta^4) \dots (1)$$

여기서, θ : 온도 [℃]

$$a_1 : 0.07266115$$

$$a_2 : -3.003879 \times 10^{-4}$$

$$a_3 : 1.181765 \times 10^{-6}$$

$$a_4 : -3.863083 \times 10^{-9}$$

$$a_0 : 1.809378 \text{ mb} [6.414672 \text{ Pa}]$$

얼음의 포화수증기압(사용온도범위 -30~0℃)

$$e_s = \exp(a_0 + a_1 \theta + a_2 \theta^2 + a_3 \theta^3) \dots (2) \quad 8$$

여기서, θ : 온도 [℃]

$$a_1 : 0.08238957$$

$$a_2 : -2.990908 \times 10^{-4}$$

$$a_3 : 1.362765 \times 10^{-6}$$

$$a_0 : 1.809378 \text{ mb} [6.414672]$$

건구온도 θ_d 와 습구온도 θ_w 에서 수증기압 (e)을 구하기 위하여 Sprung의 관계식을
 사용하면

$$e = e_s(\theta_w) - AP(\theta_d - \theta_w) \dots (3)$$

여기서, $e = e_s(\theta_w)$: 습구온도에 대한 포화수증기압

P : 대기압 [1,013 mb]

A : 습구의 형상이나 통풍속도에 따라 다르나, 풍속 2.5~10m/sec 범위
 에서는 일정하게 되며 $A = 0.00066 (1 + 0.00115 \theta_w)$,

결빙시에는 A 값에 0.882를 곱한 값을 적용.

상대습도(RH)는,

$$RH = 100 e / e_s(\theta_d) (\%) \dots (4)$$

여기서, e : Sprung식에서 구한 수증기압

$e_s(\theta_d)$: 건구온도에 대한 수면상의 포화수증기압

물, 얼음의 포화수증기압(mbar)값을 식(1) 및 (2)에 의하여 구하고 식(3)의 Sprung 식으로 습구온도에 대한 포화수증기압을 구하여 식(4)로 상대습도를 계산하였다.

건습구 측정온도로부터 수증기압을 구하여 상대습도를 계산하는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

한편, 습도센서의 특성을 조사하기 위하여 다음과 같이 RHU-21 습도트랜스듀서(Hansaeng계기)는 고분자화합물 박막센서로서 습도의 계측값이 DC 4~20mA로 출력되므로 인디케이터를 사용하여 습도값으로 표시하여 비교하였고, 시험측정에 널리 사용되는 TR-72S 온습도 데이터로거도 같이 비교하였다.

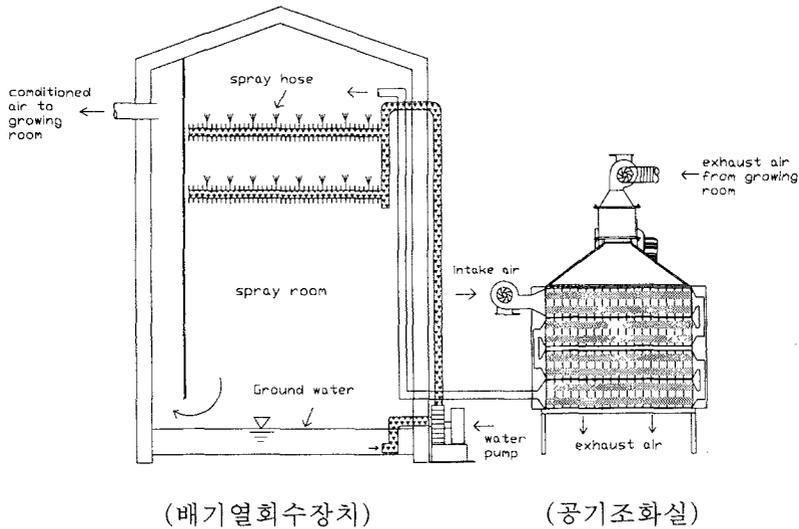
나. 버섯재배 공기조화장치

○ 공기조화장치 구조

버섯재배사의 실내공기는 대체로 외부의 기상조건과는 크게 다르며, 버섯의 재배에 적정 온도는 15~20℃의 서늘한 온도이며, 상대습도는 80~90%수준으로 다소 습도가 높으며, 탄산가스농도가 되도록 낮아야 한다.

버섯재배의 환경관리가 어려운 점은 신선한 공기를 공급하기 위하여 환기를 하는 경우 외기의 차가운 공기로 기온이 내려가기 쉽고, 가운을 하는 경우 온도는 올라가지만 건조해지고, 냉방을 하는 경우는 기온이 내려가면서 습도가 높아지는 등 한가지 조절로 두 가지 이상의 환경요인이 변하기 때문에 재배사내의 공기환경을 원하는 상태로 조절하기가 어렵다. 일반적으로 환기방법으로는 자연환기와 강제환기로 대별할 수 있으나 밀폐 버섯재배사 또는 대형 버섯재배사에서는 자연환기만으로는 적정 버섯재배환경을 유지하는데 어려움이 있다

이 시험에서는 버섯재배사의 배기공기의 열에너지를 흡기공기와 박막을 통하여 교차 통과하므로써 열전달이 일어나도록 열교환기를 제작 설치하였다. 또한 단열벽을 갖춘 샤워실에 수온 15℃ 내외의 지하수를 살수하면 재배사 내부의 습도가 높아지고 공기의 온도는 지하수의 온도와 가깝게 변화되므로 외부의 공기를 급기하여 공기의 습도를



(배기열회수장치)

(공기조화실)

<그림 45> 공기조화장치

높이는 한편, 여름철에는 급기 온도를 낮추고, 겨울철에는 급기 온도를 높여서 공급할 수 있는 공기조화장치를 다음과 같이 제작 설치하였다. 열 교환장치와 공기조화장치를 연결 설치한 구조는 그림 45와 같다.

<표 11> 공기조화장치 제원

구 분	제 원	
배기열회수장치	크기(L×W×H, m)	0.73×0.72×1.60
	열교환기종류	공기-공기 열교환기
	열교환기크기(L×W×H, m)	0.73×0.65×0.08
	방열판 전면면적(m ²)	0.475
	흡배기팬 규격(m ³ /h)	실로코팬 420
공기조화장치	크기(L×W×H, m)	2×2×2.5
	공간체적(m ³)	10
	펌프규격	원심펌프, 220V, 250W
	살수호스 규격(mm)	유공 분수호스 Ø40
	살수량(ℓ/min)	350

○ 시험방법

공기조화장치를 통과한 공기의 온도변화 및 상대습도 변화정도는 공기조화장치 입, 출구의 공기온도 및 습도변화를 측정하여 분석하였다.

상대습도의 변화 = 공기조화기 배출공기의 상대습도와 공기조화기 흡입공기의 상대습도를 측정하여 비교하였다.

온도변화 = 공기조화기 배출공기의 온도와 공기조화기 흡입공기의 온도를 측정하여 비교하였다.

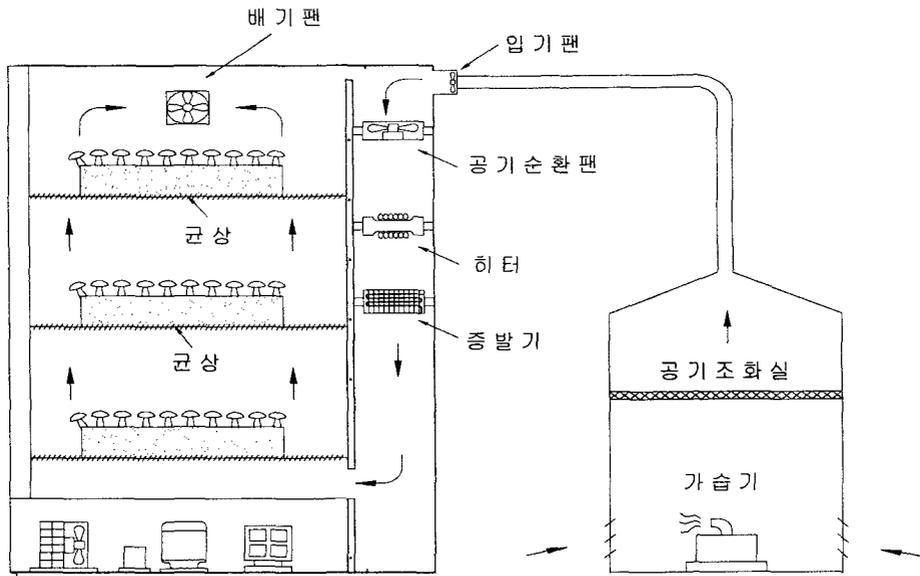
<표 12> 공시 버섯재배사

구 분	제 원
형 식	아치지붕형
재배사 구조	재래식 파이프프레임 보온덮개 재배사
크 기(L×W×H, m)	5.4×3.4×2.4
바닥면적(m ²)	18.5
균상면적(m ²)	22.7×3단

다. CO₂ 가스농도측정기의 버섯재배 환경적응성

버섯재배의 환경은 저온 다습하고 간혹 관수작업중 물방울이 가스농도 측정기에 부착될 경우가 있으며, 버섯포자의 발생량이 많아 일반 건물의 공기조화 장치에 설치하여 사용하는 경우에 비하여 매우 열악한 조건이다.

본 시험에서는 그로스챔버에 느타리버섯을 재배하면서 챔버에 상기 4종의 탄산가스 센서를 설치하여 센서의 수명을 조사하였다. 그로스챔버 내의 센서 적용시험조건은 온도 15℃, 상대습도 95%로 하였으며 주기적으로 센서의 이상유무를 관찰하였다.



<그림 46> CO2가스농도측정기의 버섯재배 적응시험

<표 13> 시험장치 제원

구 분		제 원
버섯재배 챔버	형식	온·습도 탄산가스 조절형
	크기(L×W×H, mm)	600×750×1700
	내부체적(m ³)	0.18
냉·난방, 가습장치	가온장치	500W×220V 전기히터
	냉방장치	0.5ps R-22컴프레셔, 증발기
	가습장치	1구식 초음파가습기
온·습도조절장치	온도센서	Pt 100Ω 측온저항체 및 조절기
	습도센서	RHU-21(30~95%RH)
	탄산가스센서	GMW22D(0~5,000ppm)

라. 버섯재배 탄산가스농도분석

○ 공시 CO₂ 가스 측정기

버섯재배사의 CO₂가스농도 분석은 시중 판매되는 NDIR 방식의 해외수입 CO₂가스 농도 측정기와 본 연구로 개발중인 CO₂가스농도 측정기를 사용하여 비교하였다. 적외선 흡광법에 의한 탄산가스농도 측정기는 시료가스와 검출부의 접촉방식에 따라 샘플링 방식과 확산식의 두 가지 방식으로 구분된다. 샘플링 방식은 탄산가스농도의 응답속도가 빠르며, 확산식 탄산가스분석기는 응답속도가 늦다.

본 시험에서는 탄산가스농도 측정기의 정밀도, 응답성 등의 특성을 비교하기 위하여 표준 CO₂가스로 탄산가스농도 측정기를 검정하여 시험하였다. 본 연구로 개발중인 CO₂가스농도 분석기의 측정시스템은 아래 표 14와 같으며, CO₂ 가스농도측정기는 0-5,000ppm 범위로 설정하여 분석하였다.

<표 14> 탄산가스농도 측정기 제원

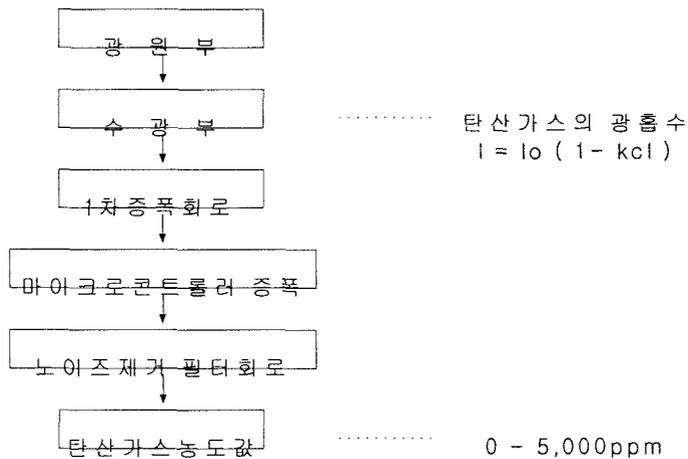
구 분	시작품 센서	대조 탄산가스센서		
		VENTOSAT 1070	VAISALA GMW22D	aSENSE
형 식	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR
공기접촉방식	공기샘플링	공기확산식	공기확산식	공기확산식
CO ₂ 측정범위	0~5000 ppm	0~5000 ppm	0~5000 ppm	0~7000 ppm
출력전기	4~20 mA	0~5 V	4~20 mA	4~20 mA
부대장치	수분, 공기필터	-	-	온도센서

특히 시작품 CO₂센서의 측정방식은 공기펌프로 공기를 샘플링하여 공기중의 CO₂ 농도를 측정하는 시스템을 구성하며, 버섯재배사의 공기에 버섯포자가 많이 혼합되어 있고, 습도가 높은 점을 고려하여 먼지, 미세한 입자를 여과시키고 수분을 분리하는 여과장치를 설치하였다.

<표 15> 탄산가스농도분석 CO2 가스트랜스듀서

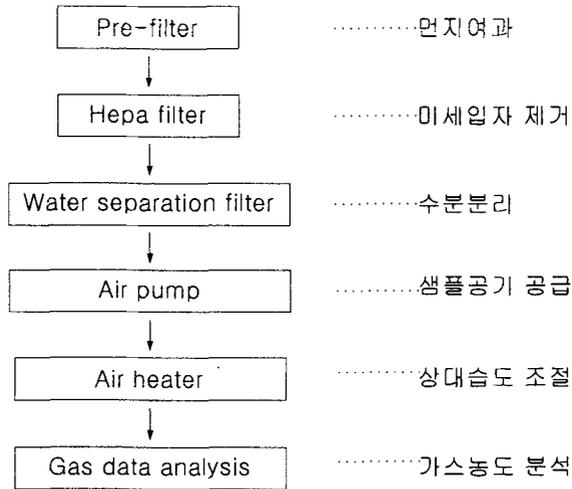
구 분	제 원
모델	GMT222, VAISALA
측정방법	비분산적외선분석, 흡기식
측정범위	CO ₂ 0 ~ 5,000ppm
분해능	100ppm
재현성	풀 스케일의 1.5 %
응답속도	15초 이내
공기샘플링	직경 φ7mm, PVC호스

- 계측시스템(흡광분광광도법)



<그림 47> 탄산가스농도 계측시스템

- 시작품 CO₂센서의 흡기·계측시스템



<그림 48> 탄산가스농도 샘플링 계측체계

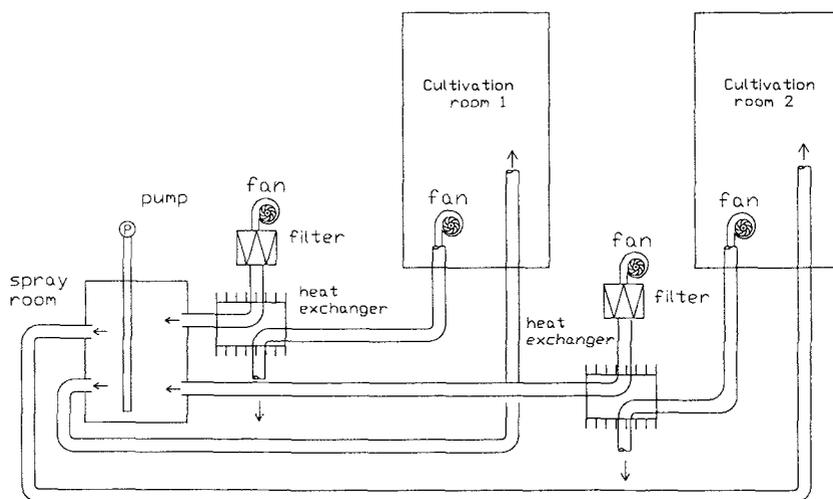
마. 버섯재배 자동 환경관리시스템

버섯재배사에 CO₂가스센서를 설치하여 버섯재배에 활용할 수 있는 자동환기시스템을 그림과 같이 설치하였다. 버섯재배사의 배기공기는 필터를 통하여 배기하며 열회수장치를 거쳐 외부로 방출된다. 흡기공기는 공기필터를 경유하여 흡기팬에 의하여 열회수장치를 거쳐 버섯재배사에 흡기된다. 이와같은 환기시스템은 흡기시 공기조화실에서 습도와 온도를 조화시켜 버섯재배사의 환경관리의 편이를 도모코자 하였다.

버섯의 발육시기에는 탄산가스가 지속적으로 발생되며 버섯의 발육에 지대한 영향을 미치므로 적정수준으로 탄산가스농도를 낮출 수 있도록 환기되어야 한다. 버섯재배에 있어서 탄산가스농도의 한계치는 버섯의 종류와 품종에 따라 상이하나 느타리버섯재배에 있어서 800ppm 이내가 적합하며, 탄산가스 농도가 높아지면 환기하여 일정 수준 이내로 낮추어야 한다.

본 시험에 사용한 가스분석기는 대기중 탄산가스를 측정할 수 있는 비분산형 적외선 분석법에 의한 탄산가스 측정기로서 0~5,000ppm이며 4~20mv출력을 얻도록 되어있

으므로 본 개발의 버섯재배사 자동 환경관리시스템에 연결하여 설정한 탄산가스 농도에 따라 자동으로 환기되게 하였다.



<그림 49> CO₂가스농도제어 버섯재배 환기시스템

탄산가스는 다이어프램펌프에 의해 PE흡입관으로 버섯재배사에서 가스분석기에 흡입되고 가스분석이 끝난 가스 혼합공기는 외부에 방출된다.

한편 표준가스로 교정된 탄산가스측정기를 버섯재배사 내부와 배출구에 설치하여 실내의 탄산가스 농도변화를 측정하였다.

바. 결과 및 고찰

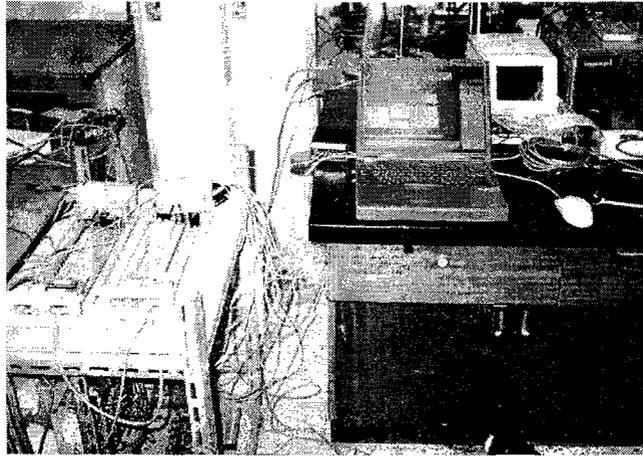
(1) 버섯 재배 환경측정시스템

마이크로컴퓨터에 의한 원격감시 장치는 재배사내의 온도, 습도, CO₂ 가스농도를 측정하여 자료분석을 위한 것이며 나아가 버섯재배사 자동 환경관리에 이용할 수 있다.

버섯재배의 적합 환경온도는 버섯의 품종에 따라 차이가 있으나 12~20℃ 범위에 있으며 습도범위는 80~90% 수준이다. 버섯의 발이 및 수확기간에 적정 수준의 CO₂ 가스농

도 유지는 대단히 중요하며 버섯의 종류와 품종에 따라서 큰 차이가 있다.

그림 52는 버섯재배사 내 주간의 온도 및 습도변화를 나타낸 것이다. 측온저항체를 온도센서로 사용하여 측정한 온도값은 18~20℃ 범위에서 Ot형 온도센서로 측정한 온도와 그 차이는 1℃ 이내 이었다.



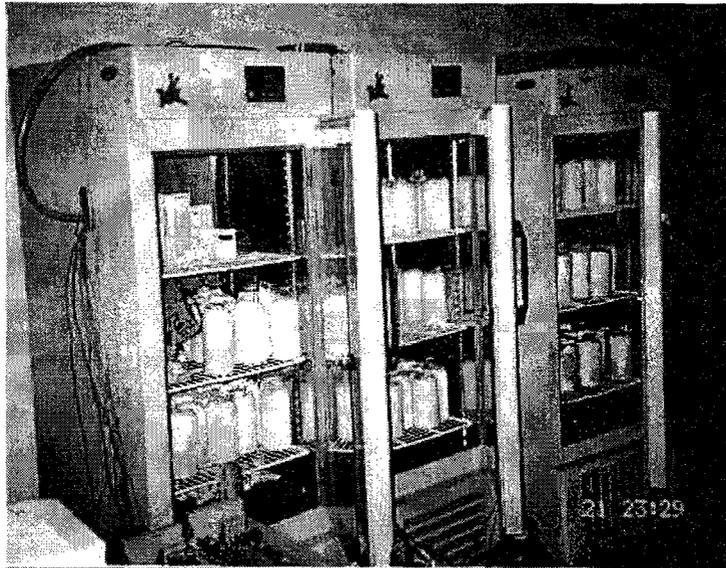
<그림 50> 컴퓨터이용 데이터수집 및 제어시스템(농기계연)

<표 16> 환경측정시스템 제원

구 분	제 원
I/O시스템 (ADF-16AI)	16 channel, 13bit resolution, full differential /channel, unipolar+5V +10V voltage input, bi-polar±5V ±10V current input, 0~20mA 4~20mA ×1~×100 instrument amplifier, Intel 87C51 CPU
RTD온도증폭기	1mA D.C excitation, 2μV/℃ gain drift, 0.2μp-p 0.1~10Hz noise level, 0~5V output voltage
습도계측	통풍건습구식 Pt 100Ω 측온저항체 온도측정 Sprung식으로 건·습구온도 수증기압 분석 계산식 $RH=100 \frac{\epsilon}{\epsilon s(\theta d)}$ (%)

한편 습도측정값은 상대습도 80% 내외일 때는 통풍건습구식 온도측정방법에 비해 Oh형 습도센서는 상대습도가 0-4%의 낮았으며, Vh형의 상대습도는 4~7%정도 낮았다. 그리고 상대습도가 90%내외로 높을 경우에는 습도센서간에 습도계측값이 5% 수준으로 그 차이가 낮았으나 상대습도가 90%에서 80% 수준으로 낮아지면 습도의 측정오차는 약 10% 낮게 측정되었다.

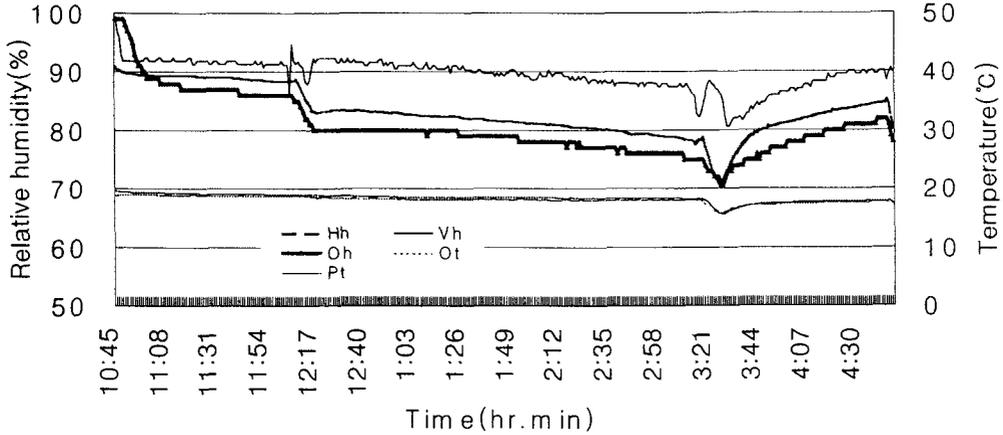
전체적으로 공시한 습도측정시스템은 모두 같은 경향을 나타내었으며, 통풍건습구 측정방법은 응답속도가 빨라 실시간으로 데이터가 출력되는데 비해 고분자화합물 센서인 Oh와 Hh는 상대적으로 응답성이 다소 낮고 측정의 덜 민감한 경향이다.



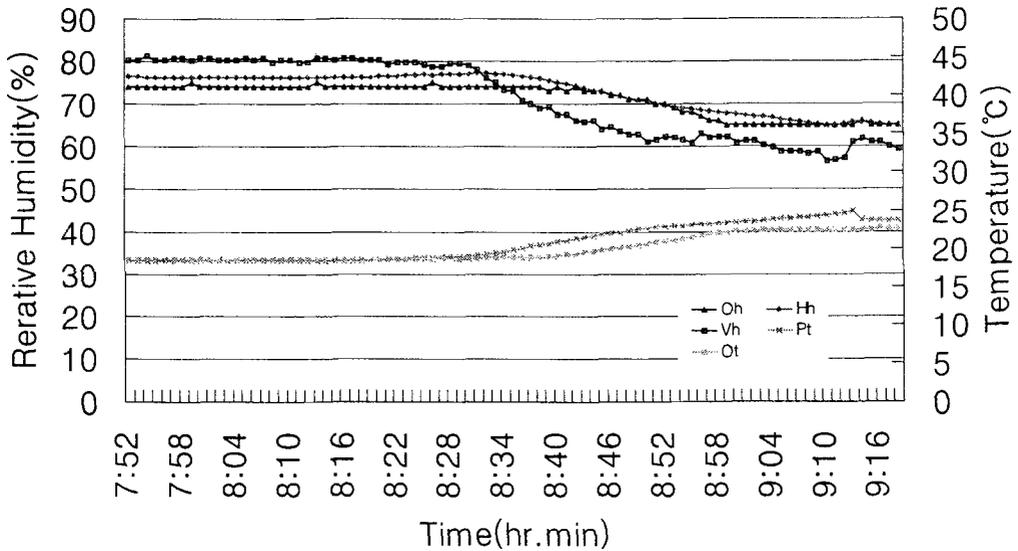
<그림 51> 버섯재배용 그로스챔버(농기연)

또 다른 예로서 그림 53과 같이 이른 아침 외기의 상대습도가 높을 때는 통풍건습구식 습도측정시스템 Vh가 80% 수준인데 비해 습도측정기 Hh는 75%, Oh는 73% 수준을 나타내었다. 08:30경 아침의 태양고도가 높아지고 기온이 상승하면 상대습도가 낮아지게 되는데 통풍건습구식 습도측정시스템 Vh로 측정한 상대습도는 급격히 낮아지는 경향을 보였으나 다른 두 종류의 습도측정기의 상대습도 측정치는 매우 완만하게

저하하는 경향을 보였으며, 습도의 차이도 일시적으로 5~10% 수준 차이가 있었다.



<그림 52> 상대습도 측정 방법 간의 측정치 비교



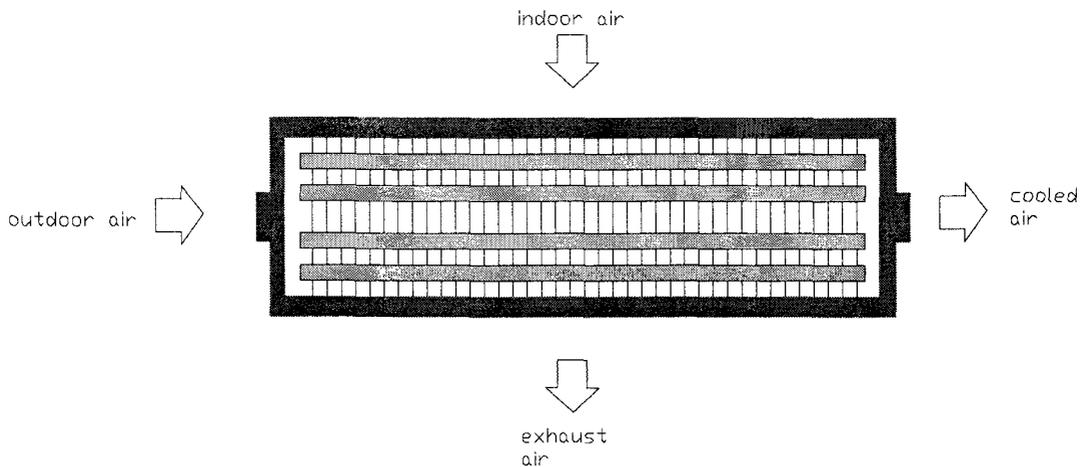
<그림 53> 상대습도 측정 방법간의 측정치 비교

(2) 버섯재배 공기조화장치

버섯 재배에 적합한 환경조절을 위하여는 재배사 환기작업시 재배사 내의 온도변화가 크지 않아야 하며, 재배사 내부의 위치에 따라 온도와 습도변화가 작아야 한다. 또한 버섯재배사에 상당히 많은 량의 공기를 계속 환기해야 하므로 재배사 냉·난방에 요구되는 에너지 소모량을 줄여야 한다.

재배사의 여름철 냉방에너지를 줄이고 겨울철에는 난방에너지를 줄이기 위한 설치한 열교환장치의 여름철 냉방작업시 냉열 회수에너지는 외기온도에 따라 차이가 있으며, 외기온이 높아질수록 냉열 에너지 회수율이 커지고, 겨울철에는 외기온이 낮아질수록 난방열 에너지 회수율이 커진다.

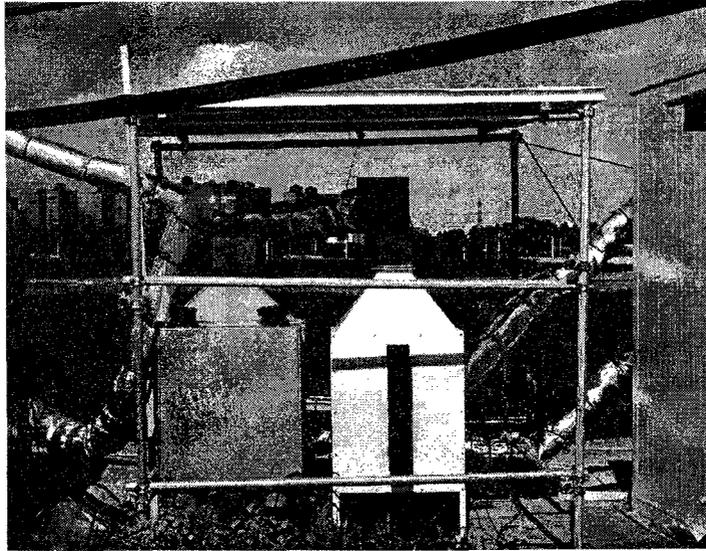
이 시험에서 적용한 열 회수장치는 시중 유통되는 5톤 트럭 엔진의 방열기를 사용하였다. 재배사의 배출공기와 재배사에 환기되는 입기 공기가 방열기를 통과하는 속도가 늦을수록 열 회수율이 높아지게 되며, 방열기를 통과하는 공기속도를 늦추기 위하여는 장치의 제작비가 높아진다. 이와 같은 공기-공기 열 교환시스템은 농기계연 '97년 겨울철 버섯재배사 배기열교환장치의 시험결과 열회수율이 약 50~70%로 나타나 경제성이 있을 것으로 판단된다.



<그림 54> 배기열회수 열교환 모식도

버섯재배가 용이한 계절은 버섯재배 적합온도와 비슷하게 외기온이 15℃ 내외인 이

른 봄철과 늦은 가을철이며, 특히 강우일은 공중습도가 85% 전후로 유지되므로 버섯재배에 아주 최적 자연조건이 된다. 오래 전부터 버섯재배사 내에 수막시설을 이용하는 느타리버섯 재배기술이 널리 보급되고 있으며, 이 시설은 버섯재배사 내의 습도를 높여주고 버섯재배사내의 기온도 낮추어줄 수 있어 자연적으로 버섯재배에 적합한 조건을 만들어 줄 수가 있다.



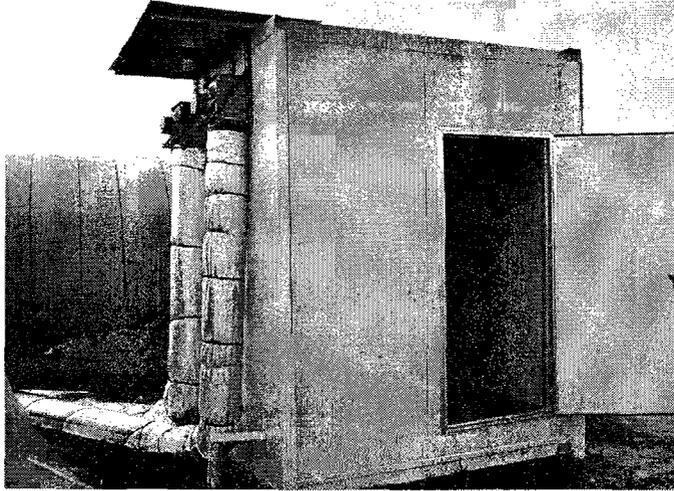
<그림 55> 버섯재배사 배기열 회수장치(수원 입북동)

이 시험에서는 수온이 15℃ 내외인 지하수를 양수하여 살수실에서 분수호스를 통하여 살수할 때 이곳을 통과하는 재배사의 흡기공기에 습도를 높여주고 지하수온에 가까워지도록 온도를 조절하여주는 역할을 기대할 수가 있다

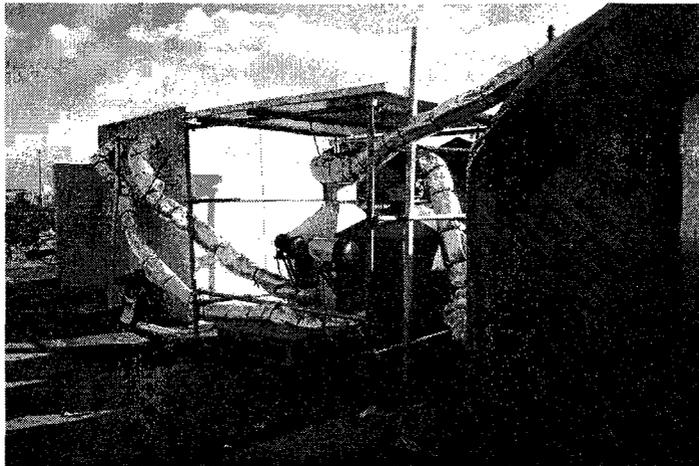
이 시설은 두 가지 목적으로 이용될 수 있는데, 그 하나는 지하수 살수 또는 동력 분무기로 물을 미립화 시켜 흡기공기가 이 공기 샤워실을 통과하여 습도를 높이면서, 분진 등 공기를 여과시키는 역할을 할 수가 있고, 또 하나는 이 지하수의 살수량을 크게 하고 살수실 규모도 크게 하여 재배사 흡기공기를 천천히 통과시키면 버섯재배사 흡기공기의 습도를 조절하면서 사계절 지하수(수온14~15℃)의 열에 의해 공기온도를 조화시킬 수 있다.

그림 56은 본 시험에 이용된 버섯재배사 흡기공기 살수·가습실이며, 버섯재배사의 환기장치에 연결하여 흡기팬이 작동할 때 양수기에 의해 지하수를 분수호스로 살수하도

록 되어있다. 그리고 지하수를 과도하게 소모시킬 우려가 있으므로 흡기공기 살수·가습실의 바닥에는 항상 50cm 깊이로 냉수가 저장되도록 하고 타임스위치로 지하수 양수기를 단속 작동시키고 양수한 저장 지하수의 수온이 15℃를 기준으로 2~3℃ 높아질 때마다 양수하여 신선한 지하수로 교체시킨다.



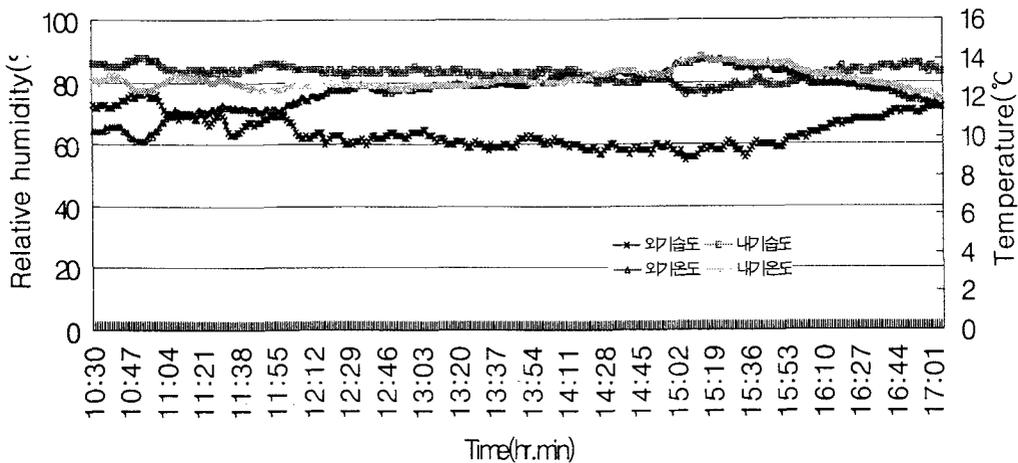
<그림 56> 버섯재배사 공기조화실(수원 입북동)



<그림 57> 배기열 회수장치와 공기조화실의 연계시스템(수원 입북동)

외부공기의 습도는 태양고도가 높아짐에 따라 공기의 포화도가 커 지게되므로 상대 습도가 낮아지다가 저녁 일몰 후에는 또다시 외 기온이 낮아지면서 상대습도는 높아져 외부공기를 가습 할 필요성이 감소한다. 그러므로 주간외 공기습도가 낮아지므로 환기작업과 동시에 가습기로 공기습도를 높이게 되나, 일반적으로 가습기 주변의 공기습도는 높게되고 조금 떨어진 지점의 습도는 낮아져서 버섯재배 환경관리에 어려움이 있다.

그러나 본 공기조화시스템은 흡입공기가 지하수 살수공간을 통과하면서 공기의 습도가 높아지게 되어 버섯재배에 적합한 습도로 유지시킬 수 있는데, 주간외 버섯재배사 흡기공기의 상대습도를 8~20% 수준 높일 수 있어 버섯재배사의 자연가습기 대응으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 58> 공기조화실의 흡입공기와 배출공기의 온·습도변화

(3) 탄산가스센서의 환경적응성 분석

버섯재배사 공기의 온도는 $15^{\circ}\text{C} \pm 1$ 정도이며, 상대습도 95% 수준의 높은 습도조건에서 2개월간 유지시키면서 습도센서의 기능을 조사하였으며, 초기 20일 후 V-1 제품에 이상이 발생하였으며, 다음으로 27일 후 L-제품에 이상이 발생하였다.

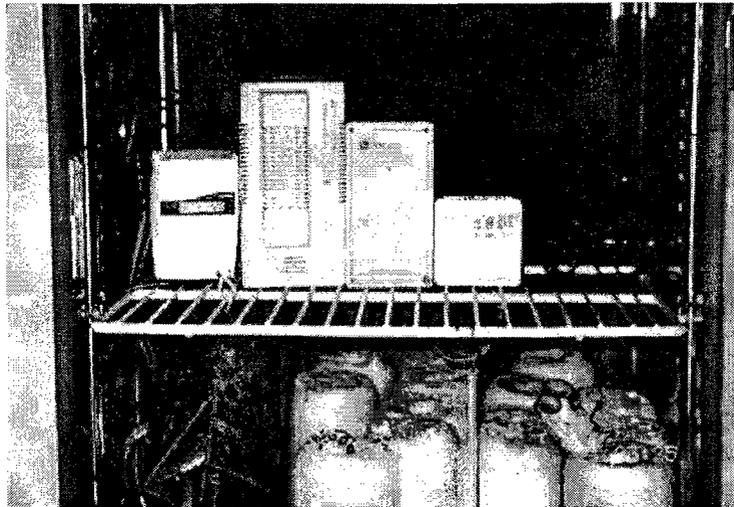
그 다음에는 45일 후 V-2 제품의 데이터 출력시스템에 이상이 발생하였으며, 시험 끝

날인 60일 시점에서 A-제품을 조사한 바, 장치에 고장은 발생하지 않았으나 탄산가스 농도의 측정오차가 500~1,000ppm 수준으로 매우 높았다.

이와 같이 공기습도가 매우 높은 조건에서는 탄산가스농도 측정기에 쉽게 고장이 발생할 수 있으므로 버섯재배 약조건에 견딜 수 있는 버섯재배용 적합센서의 개발 또는 보완이 요구된다.

<표 17> 탄산가스센서의 신뢰성 조사

구 분	주 용도	조사시점	이상유무
V사 공기확산식 (NDIR 0-5000ppm)	다목적	20일 후	데이터출력 고장
V사 공기확산식 (NDIR 0-5000ppm)	건물 공기조화	45일 후	데이터출력 고장 (LCD표시 정상)
A사 공기확산식 (NDIR 0-7000ppm)	다목적	60일 후	출력값 오차 커짐
L사 공기확산식 (NDIR 0-7000ppm)	건물 공기조화	27일 후	데이터출력 고장



<표 18> 시판 CO2센서의 내구성 조사

(4) 버섯재배 탄산가스농도분석

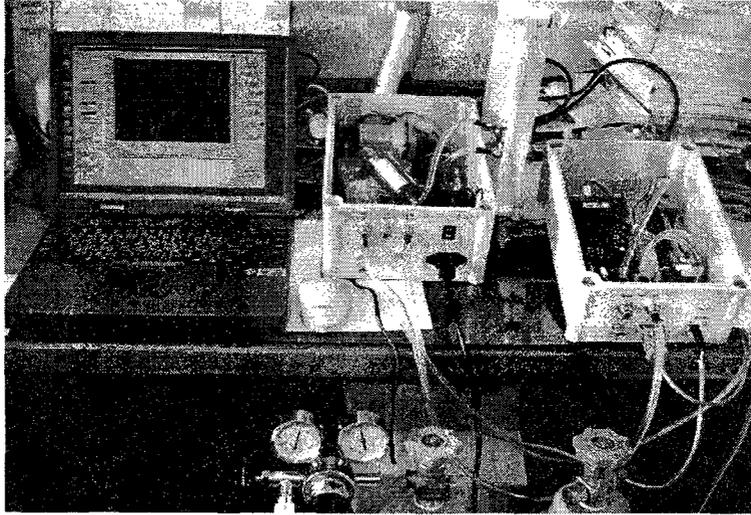
시작품 가스농도측정시스템은 버섯재배사의 공중습도가 높고 버섯포자가 다량으로 발생하여 분진이 많은 악조건에서 충분히 적용할 수 있도록 설계되었다. 이 시작장치가 실용화되기 위하여 탄산가스의 측정 정밀도와 반복성 영점편차 등에 대하여 분석한 결과는 다음 표와 같다.

시작품센서에 탄산가스 농도 3,000ppm을 기준하여 시험하였을 때 50%가스 주입시 교정오차 0.90%로 환경부의 환경측정기기 기준 ≤ 5%보다 낮았고, 영점편차는 24시간 경과시 0.33%, 72시간경과시 1.08%로 ≤ 2% (24h)에 비해 역시 낮은 값을 나타내었다.

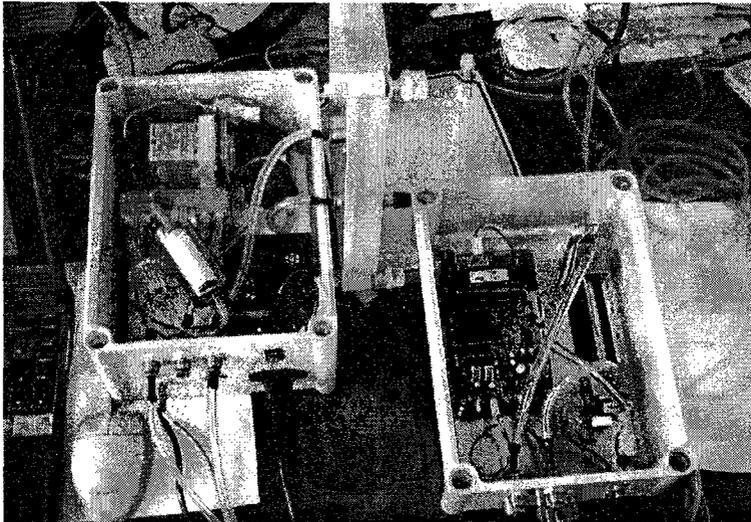
한편 교정편차는 24시간 경과시 0.55~1.37%로 ≤ 2.5% (24h) 낮은 값을 나타내었으며, 재현성은(50ms interval) 2% 미만으로 환경측정기기 기준치(≤ 2%) 이내이었다.

<표 19> 환경부의 환경측정기기의 기준값 교정오차 기준

구 분	기 준	측정치 (3,000ppm기준)	환경기기기준
교정오차	50%가스주입	0.90%	≤ 5%
영점편차	24시간 경과	0.33%	-
	72 "	1.08%	≤ 2% (24h)
교정편차	24시간 경과	0.55~1.37%	-
	72 "	1.81~4.33%	≤ 2.5% (24h)
재현성	50ms interval	< 2%	≤ 2%



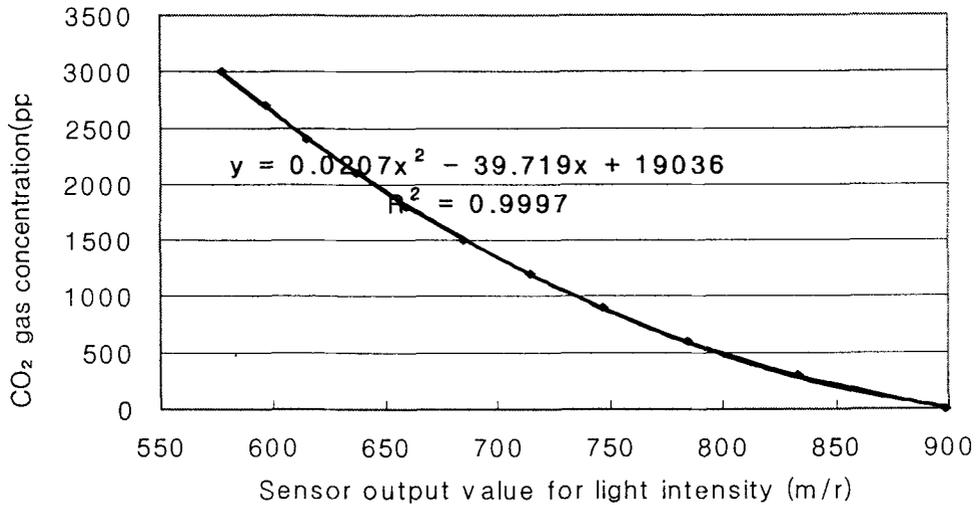
<그림 59> 시작품 탄산가스센서의 성능분석(농기연)



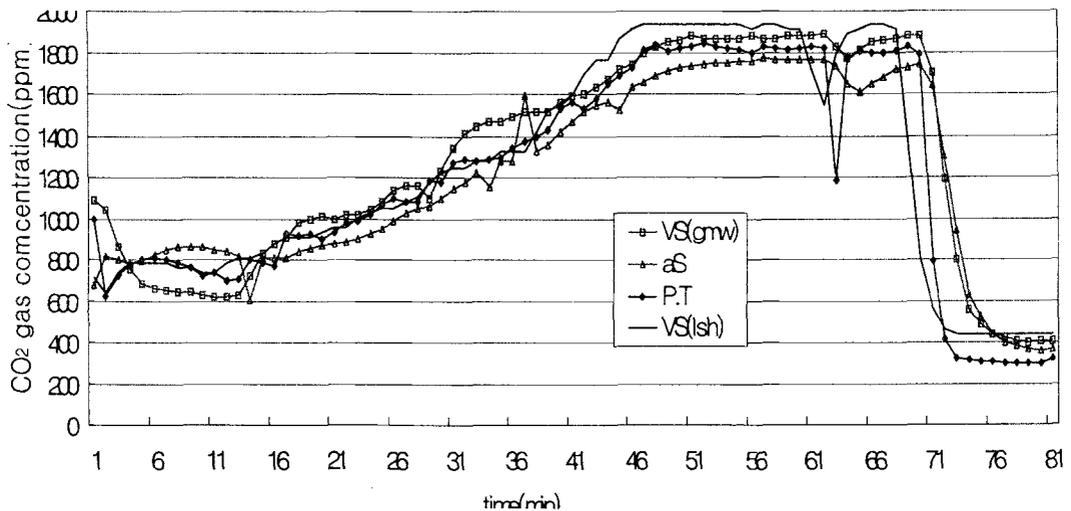
<그림 60> 시작품 탄산가스센서의 내부구조

시작품 CO₂센서의 탄산가스농도는 기준광에 비하여 탄산가스혼합공기를 통과한 광 강도 출력전기의 비교값과 가스균분기로 조제한 탄산가스농도 값과의 관계를 회귀분

석한 식은 $Y=0.0207X^2 - 39.719X + 19036$ ($R^2=0.999$) 이었으며, 이 관계식은 고도의 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이 관계식을 기초로 공기중 탄산가스의 농도 데이터를 컴퓨터로 인터페이싱 하여 분석하였다.



<그림 61> 탄산가스농도에 따른 시작품센서 광강도 출력값의 캘리브레이션



<그림 62> 시작품 CO2센서와 시판 CO2센서와의 측정치 비교

시작품 탄산가스센서의 측정은 3개의 해외 탄산가스센서 전문업체에서 생산된 시판 제품과 비교할 때 시작품의 탄산가스농도 계측데이터는 실시간으로 수집되는데 비해 시판제품은 응답속도가 다소 늦은 것으로 나타났다 그러나 탄산가스농도의 계측 정밀도면에서 비교센서와 시작품 탄산가스센서 간에 별 차이가 없는 것으로 생각된다.

(5) 버섯재배 자동 환경관리시스템

○ 시스템의 구조 및 특성

버섯재배사 배지내의 탄산가스농도는 매우 높으나 이 시기에 발생하는 탄산가스에 대한 환기계획은 대단히 중요하지는 않으나, 버섯의 발육시기에는 대량의 탄산가스가 지속적으로 발생되며 버섯의 발육에 지대한 영향을 미치므로 계획적인 환기작업이 뒤따라야 한다.

버섯재배에 있어서 탄산가스농도의 한계치는 버섯의 종류와 품종에 따라 상이하나 느타리버섯재배에 있어서 적정 탄산가스농도는 800ppm 이하이어야 한다. 본 시험에서 사용한 가스분석기는 가스흡입 PE관의 입구를 재배사의 중앙통로 부근의 2단균상 버섯배지위 20cm높이의 공간에 설치하고 가스분석기는 재배사 외부에 설치하여 가스농도의 경시적 변화를 측정하였다.

버섯재배사내의 공기중 탄산가스 농도가 적정수준 이상으로 높아지면 탄산가스센서와 조절장치에 의해 자동으로 환기를 할 수 있는 장치와, 흡입공기로 인한 재배사내 공기 온·습도의 급격한 변화를 방지하기 위하여 흡입공기를 버섯재배에 적합한 온·습도에 가깝도록 조절하는 장치가 필요하다.

또한, 환기를 위하여 외부공기를 흡입시에는 배기열 회수장치를 통과하므로써 환기로 인한 배기 열에너지 손실을 감소할 수 있으며 외부공기를 흡입하는 과정에서 열교환기와 가습장치에 의해 버섯재배에 적정한 수준으로 온·습도를 조화시킬 수 있다.

흡입공기는 송풍팬에 의해 공기조화기 내의 온도에 가깝게 조화되며, 공기조화기내의 물방울에 접촉하여 공기조화기 배기구를 거치고 덕트를 통하여 버섯재배사내에 흡기하게 된다.

이러한 버섯재배사 자동 환경조절장치는 버섯재배사의 온습도·탄산가스 농도를 측정 제어하는 계측제어장치와, 재배사의 환기를 자동으로 조절하는 장치, 재배사 유입공기의 상태를 개선하는 공기조화기로 구성되어 있다.

이 장치는 버섯재배사의 자동환기와 배기열을 회수하여 흡입공기의 온도를 조절하여 버섯재배에 적합한 온·습도조건에 가까워지도록 조화시킨다. 탄산가스 농도조절을 위한 환기는 탄산가스센서가 탄산가스농도를 감지하여 계측된 전기신호를(4~20mA) 콘트롤러에 전송하면 탄산가스농도가 설정농도(예 800ppm)보다 높을 경우에는 배기팬, 흡기팬, 공기조화기송풍팬을 가동시킨다. 배기 및 흡기 공기의 흐름은 다음과 같다.

배기공기흐름 : 재배사 배기구 → 배기필터 → 배기관 → 흡기팬 → 열교환기 → 배기구 방출

흡입공기흐름 : 외기공기 → 흡기필터 → 흡기팬1 → 열교환기 → 흡기관1 → 공기조화기 → 흡기팬2 → 흡기관2 → 버섯재배사

배기열을 회수하여 재활용하기 위하여 열교환기가 설치되어 있으며, 배기팬에 의해 재배사에서 배출되는 공기의 배기열은 열교환기의 냉각판 외부를 통과하면서 냉각판에 열을 전달하고 흡기팬에 의해 강제로 방열기의 냉각공기튜브를 통과하는 외부 흡입공기와 열전달에 의해 대기로 방출되는 배기열을 상당부분 회수하는 장치이다.

즉 겨울철에는 재배사 배기공기의 난방열에너지를 회수할 수 있고, 여름철에도 배기공기의 냉방에너지를 회수할 수 있으며, 오염된 공기입자를 걸러낼 수 있도록 열교환기 앞의 공기여과기에 의해 미세한 분진입자를 여과시킬 수 있다.

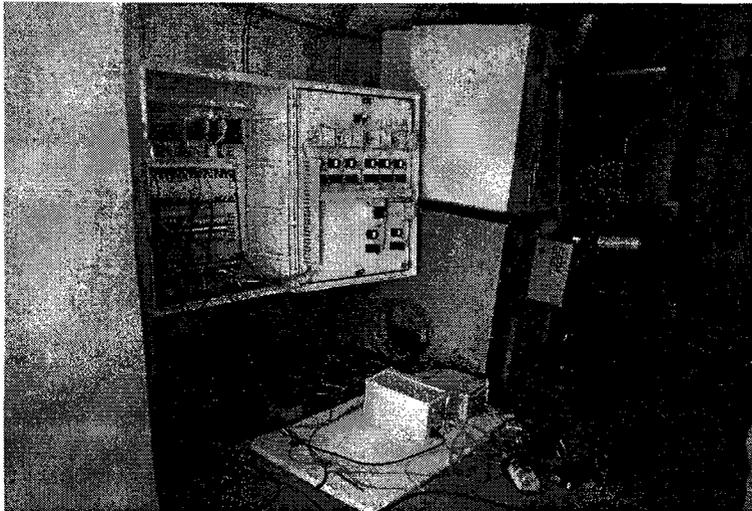
버섯재배사 내외의 온도차가 크지 않은 기상조건에서는 배기 방출밸브를 열어 열교환기를 거치지 않고 직접 대기중에 방출된다. 한편, 흡기관 에도 외부공기가 열교환기에 통과하기 이전에 필터를 통과하므로 흡입공기의 이물질을 여과하여 열교환성능이 저하되지 않는다.

버섯재배사 내의 상대습도를 버섯재배시기에 적합하게 유지시키기 위하여 재배사내의 공기습도를 설정하면(예, 85~90%RH) 버섯재배사 내부에 설치한 습도센서에 의해 재배사 계측 상대습도의 전기신호(4~20mA)를 습도컨트롤러에 전송하게 되고 습도컨트

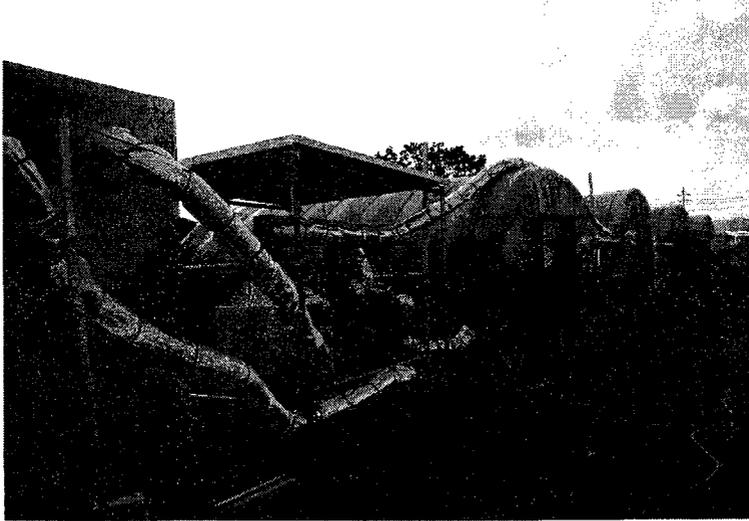
롤러는 계측된 실내습도와 설정습도를 비교하여 재배사내의 공기습도가 설정습도보다 낮을 경우에는 습도컨트롤러에 의해 가습기를 가동시켜 습도를 높여준다.



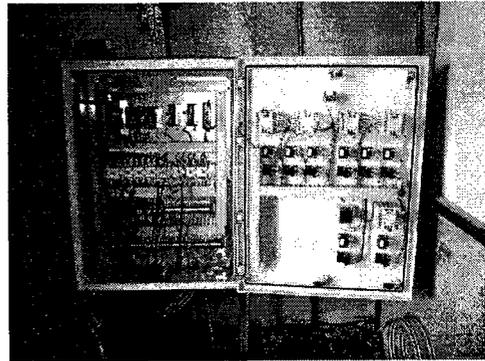
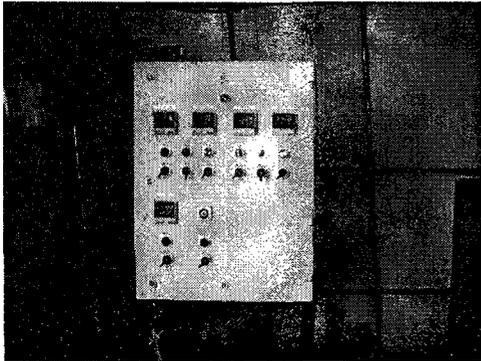
<그림 63> 시험재배사 설치 자동환경조절시스템(수원 입북동)



<그림 64> 시험재배사 탄산가스농도 측정(수원 입북동)



<그림 65> 다동 버섯재배사 자동환경관리시스템(수원 입북동)



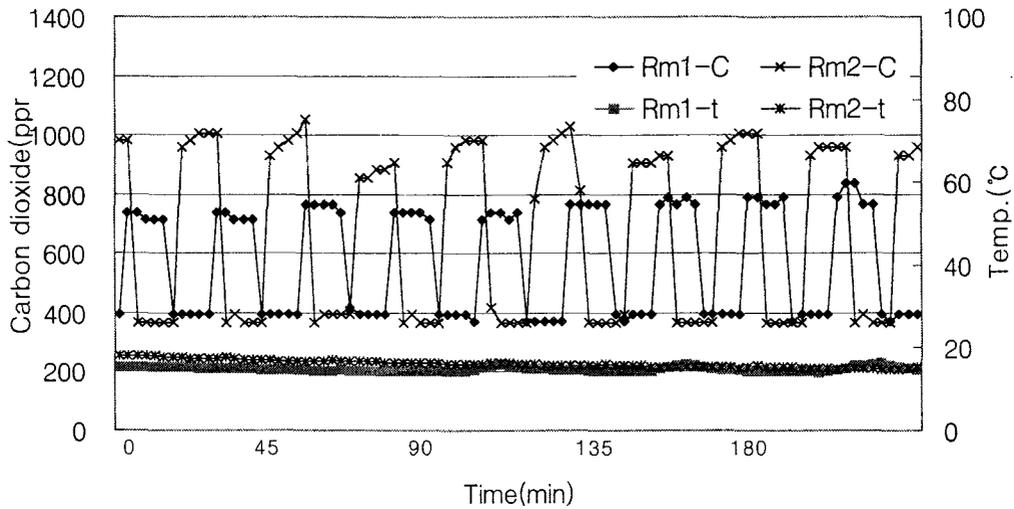
<그림 66> 다동 버섯재배사 자동 환경관리시스템의 제어장치(수원 입북동)

○ 버섯재배사 자동 온·습도, 환기관리시스템

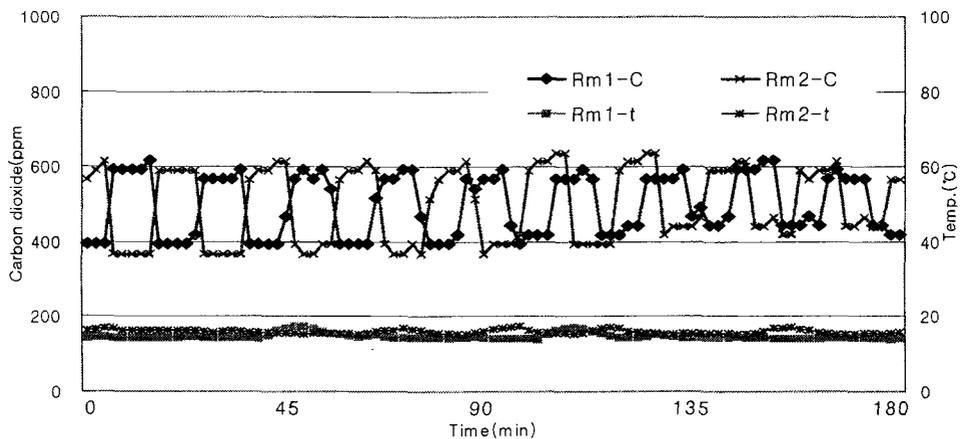
그림 67은 느타리버섯 재배 1주기의 환기관리 상태를 측정된 것이다. Rm1의 탄산가스 농도를 500~700ppm 범위로 설정하였을 때 실제 탄산가스농도는 400~600ppm

사이로 유지되었다. 또한 Rm2는 500~900ppm 범위로 설정하였을 때에 탄산가스농도는 400~1,000ppm 사이로 유지시킬 수 있었다.

또한 그림 68과 같이 느타리버섯 재배 2주기의 환기관리상태는 Rm1 및 Rm2 모두 500ppm으로 설정하였을 때 버섯재배사의 탄산가스농도는 400~600ppm 범위로 유지되었다.



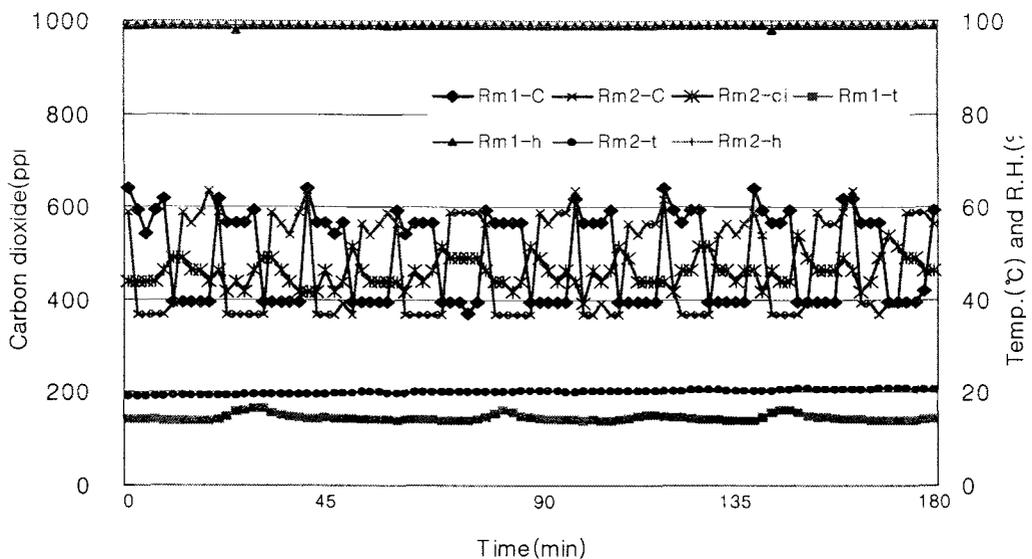
<그림 67> 다동 버섯재배사의 환기작업 중 탄산가스농도 변화(재배전기)



<그림 68> 다동 버섯재배사의 환기작업 중 탄산가스농도 변화(재배중기)

그림 69의 경우는 버섯재배사의 탄산가스 관리농도를 500ppm 수준으로 유지시켰을 때 샘플링 계측한 버섯재배사의 탄산가스농도가 400~600ppm 사이로 유지되었는데, 버섯재배사내에 탄산가스 농도측정기로 직접 측정한 값과 비교하면 430~520ppm 수준에서 변화를 보이고 있어 샘플링 공기의 탄산가스농도와는 다소 차이가 있었다.

이는 버섯재배사 내의 탄산가스농도가 측정 지점에 따라 다소 차이가 있는 것으로 볼 수 있으므로, 버섯재배사의 탄산가스농도를 측정 또는 환기관리할 경우에는 버섯재배사 내에서 공기가 주로 정체되어 탄산가스 농도가 높은 곳에 설치하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

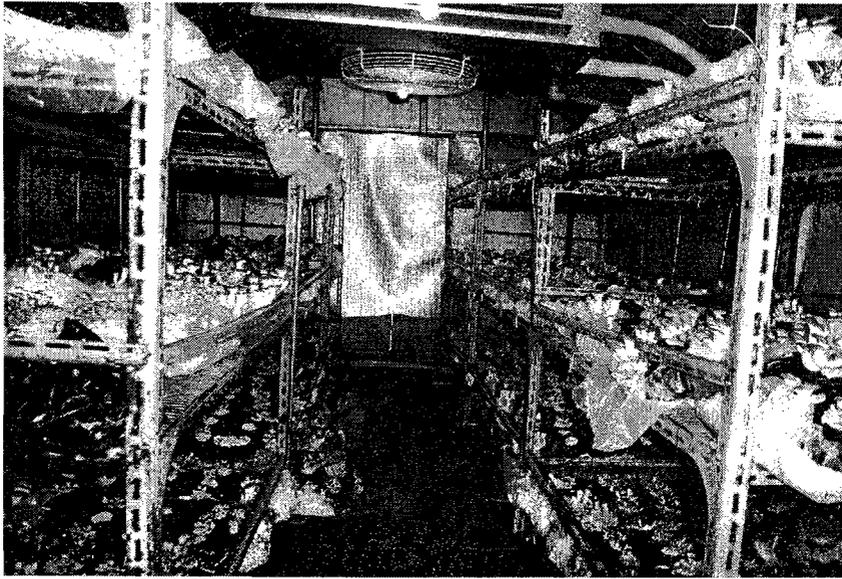


<그림 69> 다동 버섯재배사의 탄산가스농도 변화(재배중기)

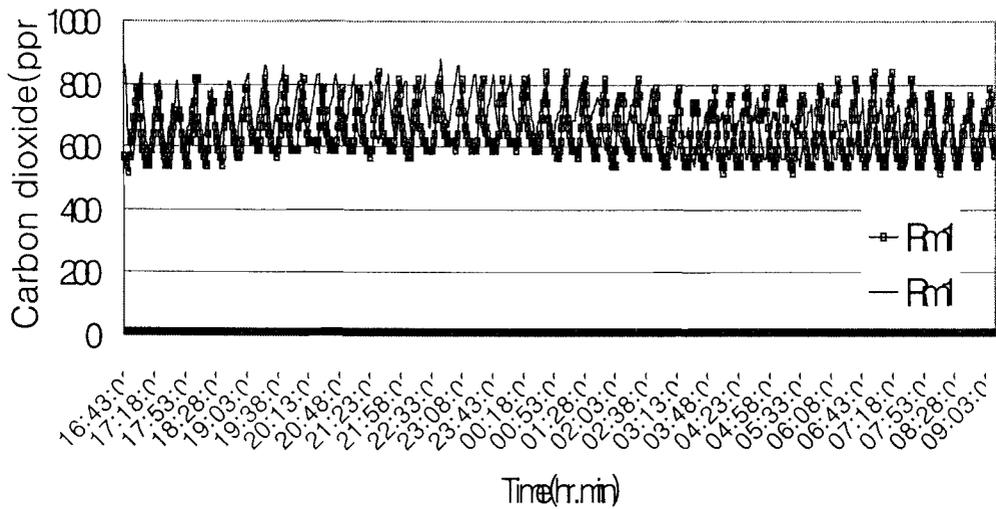
이와 같이 본 버섯재배사 온도, 습도, 환기 자동환경관리 시작시스템은 버섯재배사 2동으로부터 공기를 각각 샘플링 하여 탄산가스센서 1셋으로 교번 계측하고 시퀀스제어로 2동의 버섯재배사를 자동 환경관리하면 탄산가스센서의 구입비용을 절약할 수 있을 것으로 분석되었다.

이 시스템을 이용하여 야간중의 버섯재배사 2동을 환기작업에 이용한 바, 각 재배사의 탄산가스농도는 그림 70과 같이 버섯재배사 내의 탄산가스농도는 650ppm~750ppm 범위에서 다소 변화를 나타내었는데 이는 버섯재배사 공기를 샘플링 하여 PE관으로 버섯재배사 에서 계측실로 이송하여 샘플공기의 탄산가스농도를 측정하는

시간적인 차이가 지연되기 때문인 것으로 생각된다.



<그림 70> 자동 환경관리 버섯재배사의 버섯생육(수원 입북동)

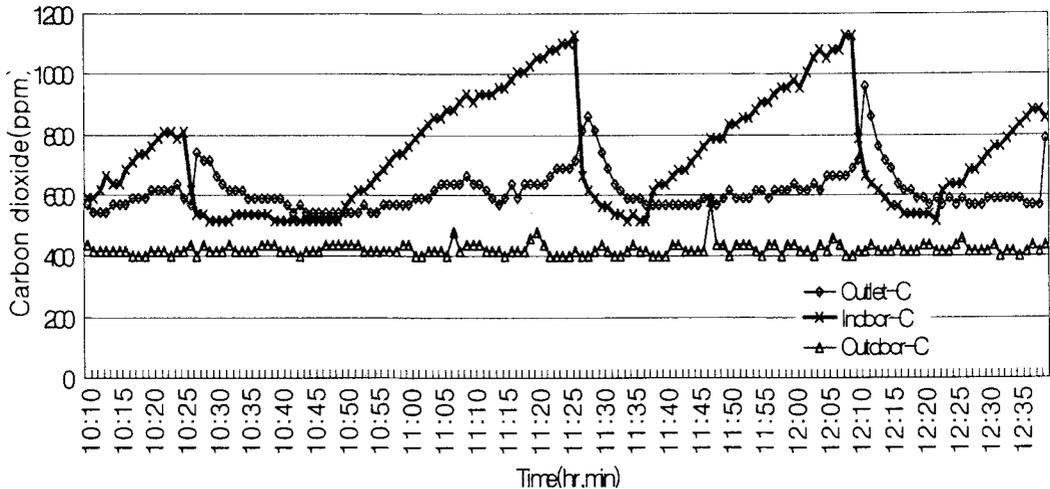


<그림 70> 자동한기 재배사의 탄산가스농도 변화

○ 탄산가스농도 측정센서 및 타임스위치에 의한 환기관리

버섯재배사의 탄산가스농도가 증가하면 재배사 내의 공기를 환기하여야 하는데, 버섯재배사의 탄산가스농도가 증가하여 환기가 요구되는 시점의 소요시간과 환기를 통하여 버섯재배사의 탄산가스농도가 적정 버섯재배조건으로 낮아지는 시점에 도달하는 소요시간을 알 수 있으면 탄산가스농도측정기로 측정하고 타임스위치를 이용하여 여러 동의 버섯재배사 환기에 이용할 수 있다.

그림 71은 외기의 탄산가스농도의 변화와 버섯재배사의 탄산가스농도가 증가하는 과정을 보이고 있으며, 탄산가스농도가 600ppm 에서 1130ppm에 도달하는 시간은 30분 소요되며 여기서 530ppm 수준으로 탄산가스농도가 낮아지는 환기시간은 15분 소요되었다.

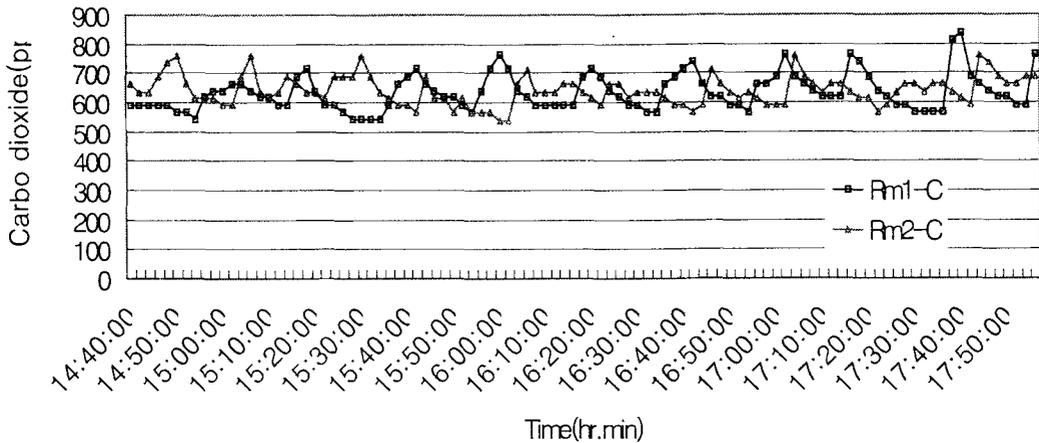


<그림 71> 실내외 탄산가스농도 변화와 버섯재배사 환기주기

그러므로 탄산가스농도 600ppm에서 700ppm에 소요되는 시간과 700ppm에서 600ppm으로 낮아지는 시간을 추정하여 타임스위치로 환기시간을 제어하면 버섯재배사 공기의 환기관리가 가능하다.

그림 72에서, Rm1은 탄산가스센서에 의해 자동 환기되도록 하였고 Rm2는 타임스위치를 사용하여 15분간 팬가동되고 15분간 팬가동이 정지되게 하였을 때 각 버섯재배

사의 탄산가스 농도를 측정한 것이다. 이 그림에서 보는바와 같이 버섯재배사의 탄산가스 농도관리는 570ppm에서 750ppm 수준으로 유지시킬 수 있으므로 탄산가스 농도를 측정하여 버섯재배사의 환기관리에 이용할 수가 있다.



<그림 72> 탄산가스센서제어(Rm1)와 타임스위치제어(Rm2)의 비교

○ 버섯재배사의 온도 및 습도관리

버섯재배사의 온도와 습도는 환기작업을 하므로 외부공기의 영향을 크게 받으며 주간에는 버섯재배사 내의 공기온도가 일정하여도 상대습도는 낮아진다. 즉 야간에는 일반적으로 주간에 비하여 외기 온도가 낮아지고 이에 따라 습공기포화점이 낮아지므로 상대습도가 높아진다.

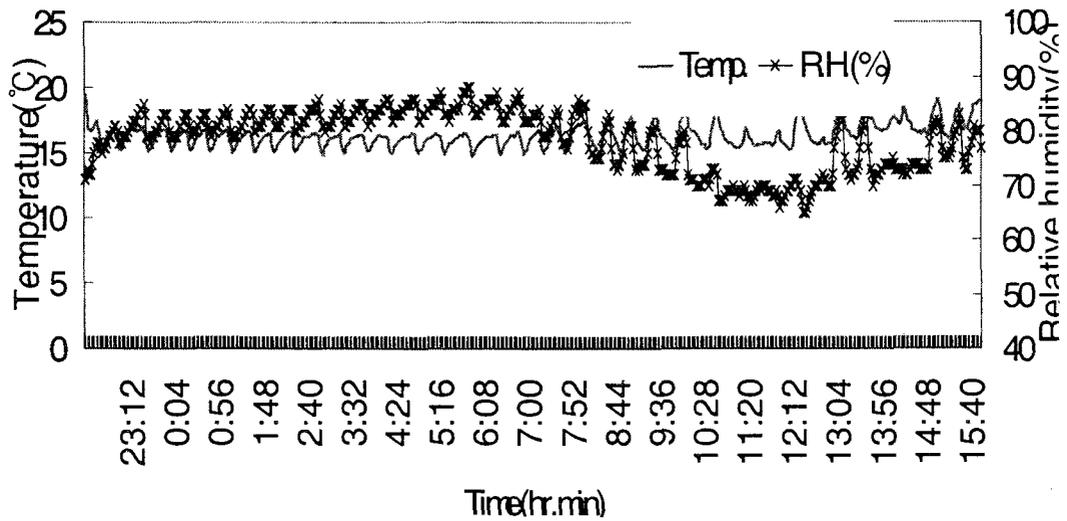
그러므로 3월 중순~5월 상순과 9월 하순~11월 중순 기간에는 외부 기온과 상대습도가 버섯재배에 적합한 조건이므로 야간에도 버섯재배사에 가습하지 않고 자연환기를 할 수가 있다.

그림 73과 같이 재배사 내부의 공기온도는 온도조절기에 의해 제어되므로 거의 일정하나 공중 상대습도가 낮아져 가습장치를 사용할 필요가 있다

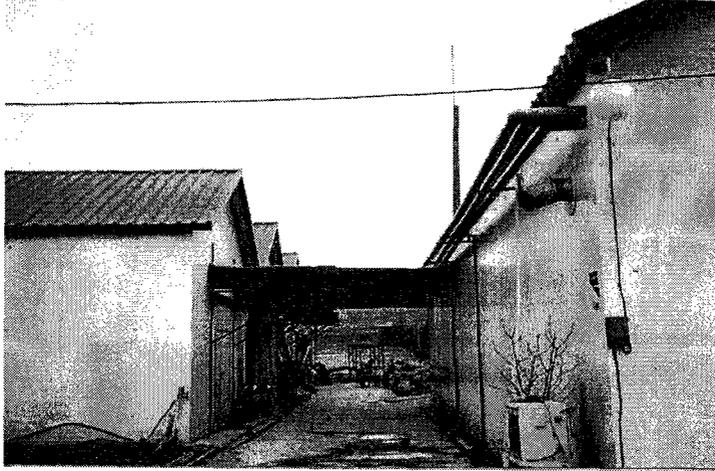
○ 시작품 CO₂센서의 농가 버섯재배사 적용시험

시작품 탄산가스센서를 충북 청원군 초정리 소재 느타리버섯 재배농가에 설치하여 시험하였다. 농가의 버섯재배사는 느타리버섯 표준재배사 200m² 규모 3동이였으며, 버섯재배사의 공기를 펌프로 흡기하여 공기의 탄산가스 농도를 측정하고 측정값을 모니터에 표시된다.

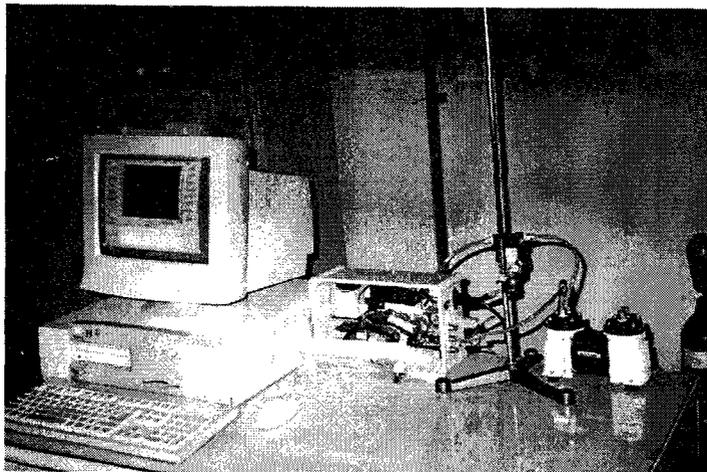
시작품 탄산가스센서를 이용하여 느타리버섯재배사의 환기팬 가동시간 설정에 이용하고 있었다



<그림 73> 하루중의 주야간 버섯재배사 온도 및 습도변화



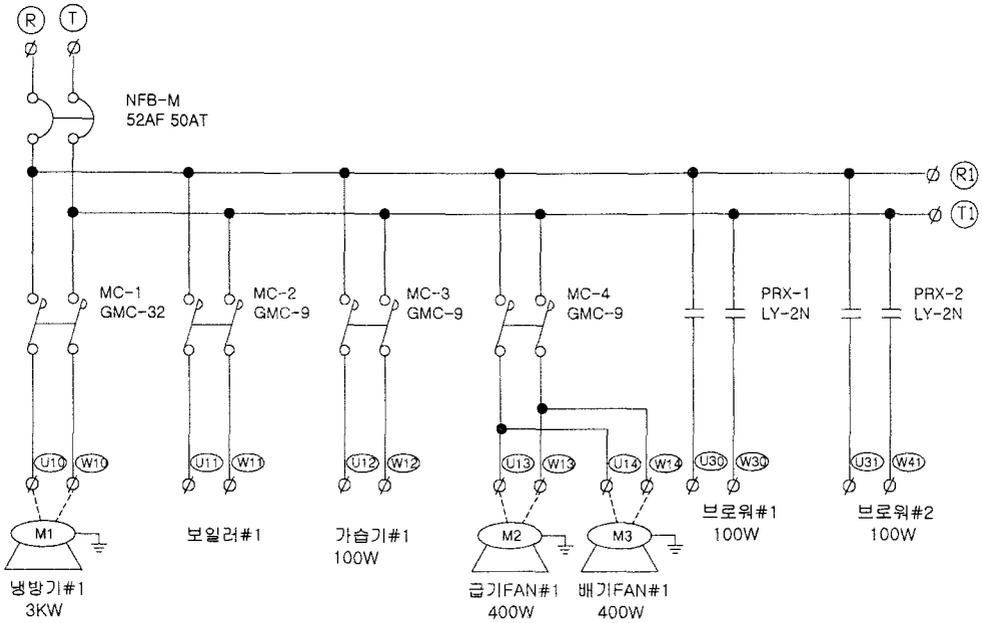
<그림 74> 탄산가스센서 설치농가 버섯재배사(청원군 초정리)



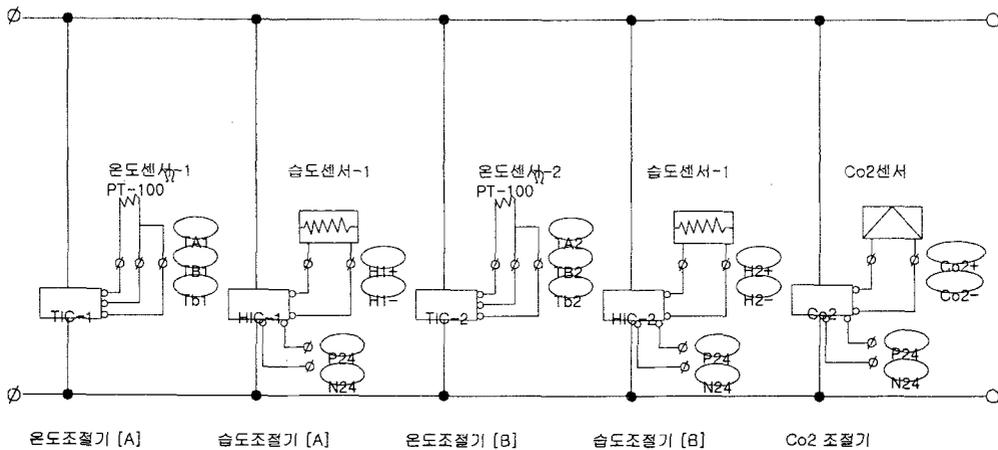
<그림 75> 농가 버섯재배사의 탄산가스농도측정 및 환기(청원군 초정리)

사. 실증시험 결과요약

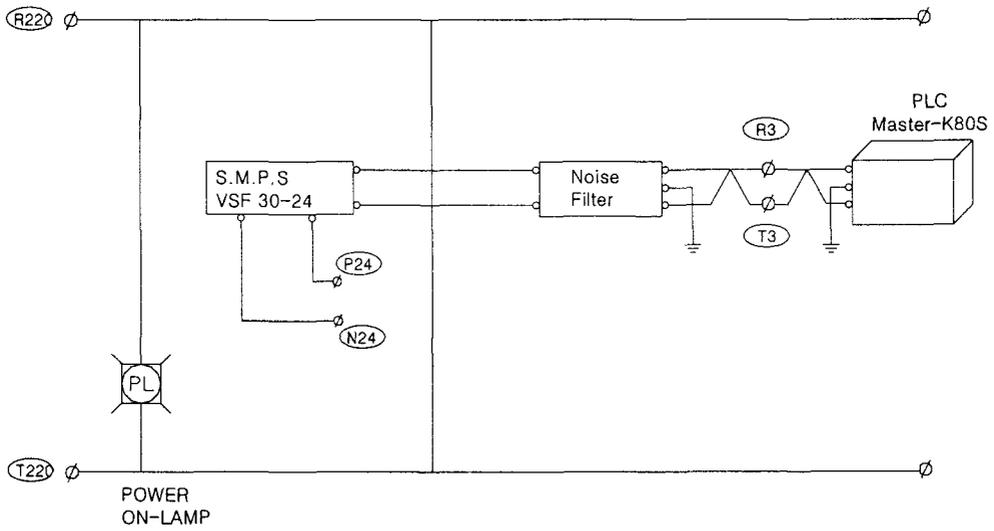
- (1) 시작품 탄산가스센서는 흡기공기 가열장치, 공기여과기, 수분필터를 갖추어 버섯재배사 탄산가스측정에 적합하게 설계하였으며, 교정오차 0.3%, 영점편차(72h) 1.08%, 재현성 2%미만 등 계측성능이 환경기기 기준치이내 이었다.
- (2) 시판 고분자화합물 습도센서와 통풍건습구 습도측정시스템의 습도측정성능을 비교한바 통풍건습구 습도측정시스템의 습도측정 값이 정밀도는 4% 수준 높고, 응답속도는 5분 정도 빠른 것으로 분석되었다.
- (3) 버섯재배사 공기조화시스템은 주간의 재배사 흡기공기 상대습도를 8~20% 수준 높일 수 있는 것으로 나타나 버섯재배사의 가습기 대응으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.
- (4) 시작품 탄산가스센서의 측정은 시판제품과 비교할 때 측정 정밀도면에서 큰 차이가 없었으나 현장 측정시 응답속도는 다소 높은 것으로 나타났다.
- (5) 재배사 2동을 동시에 시퀀스 제어로 자동관리할 수 있는 버섯재배사 온도, 습도, 환기 등 자동환경관리시스템을 개발하였으며, 2동의 버섯재배사에 자동 환경관리가 가능한 것으로 분석되었다. 아울러 탄산가스센서로 계측하고 타임스위치로 환기 제어도 가능함을 확인할 수 있었다.



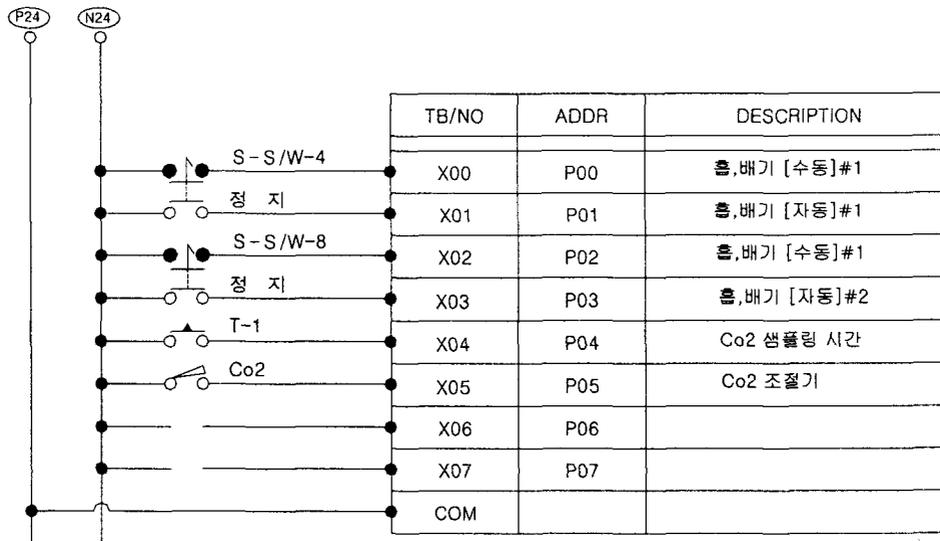
<그림 76> 실증시험 재배사의 자동환경조절시스템 회로 개략도 1



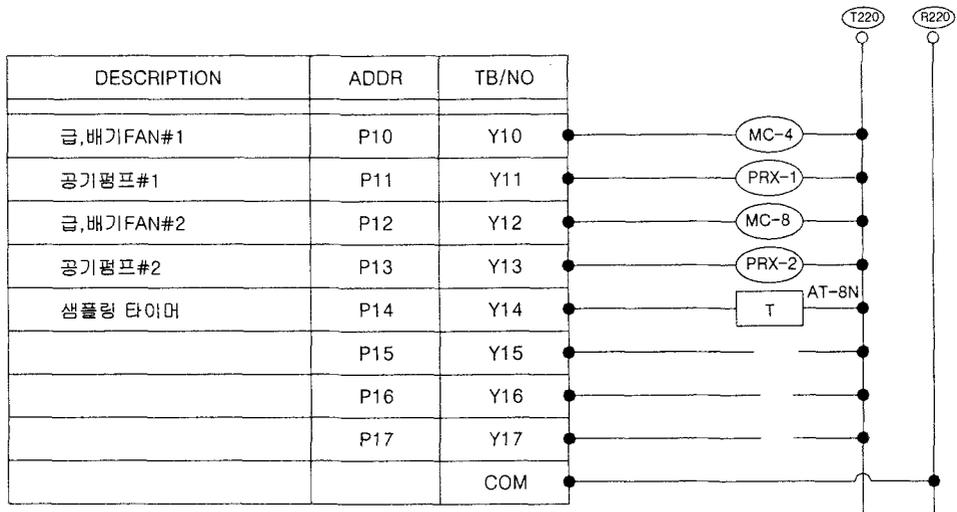
<그림 77> 실증시험 재배사의 자동환경조절시스템 회로 개략도 2



<그림 78> 실증시험 제배사의 자동환경조절시스템 회로 개략도 3



<그림 79> 실증시험 제배사의 자동환경조절시스템 회로 개략도 4



<그림 80> 실증시험 재배사의 자동환경조절시스템 회로 개략도 5

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

4.1 목표 달성도

항 목	세 부항 목	개 발 목 표	개 발 결 과	달성도 (%)
탄산가스 측정성능	측정범위	0~5,000ppm	0~5,000ppm	100
	T90	2초	0.1초	“
	정밀도	±2%	±1%	“
	분해능	1ppm	1ppm	“
	영점안정성	환경계측기기 기준	환경계측기기 기준	“
	시료채취방식	펌핑방식	펌핑방식	“
	자동영점조정기능	대기보정방식	대기보정방식	“
	가격 경쟁력	100~200만원	150~200만원	90
습 도 측정성능	측정범위	0~95%	0~95%	100
	T90	5초	5초	“
	정밀도	±2%	±2%	“
	분해능	1% RH	1% RH	“
온 도 측정성능	측정범위	0~200℃	0~200℃	100
	T90	2초	1초	“
	정밀도	±1℃	±1℃	“
	분해능	0.1℃	0.1℃	“
환 경 적합성	방수성능	방폭형	방폭형	100
	사용자 편리성	사용자 요구반영	사용자 요구반영	“

상기 표에서과 같이 연구개발목표를 거의 대부분 달성하였으나 가격 경쟁력 측면에서

는 개발 목표와 상이점이 있다. 유럽의 V사와 같은 형태의 계측기기를 개발하여 공급할 경우 구입한 농가에서는 부가적으로 펌프와 필터 등을 구입하여야 하기 때문에 추가 비용이 발생한다. 그러나 본 연구 개발에서의 결과물은 본 보고서에서 설명한 바와 같이 부가적으로 구입하여야 하는 부대장치를 모두 포함한 가격이다. 따라서 결과적으로는 수입장비 대비 가격 경쟁력이 높은 편이고 사용자의 입장에서 구매 즉시 현장에 적용이 가능하기 때문에 이점이 있다.

성능 대비 가격 경쟁력 측면에서는 수입 장비와 비교 시 월등히 높다고 판단된다. 본 연구 개발을 통하여 개발된 탄산가스 측정기는 연돌 자동 측정망에 적용되는 환경용 보다 우수한 성능을 보여주고 있다. 환경용 계측기는 탄산가스 측정을 위하여 측정기 본체(600만원)와 시료채취기구 및 시료 전처리 기구(1,500만원)를 모두 구입할 경우 시중에서 약 2,000만원 정도를 호가한다. 본 연구의 결과물은 이러한 환경용과 동등 이상의 성능을 제공하고 있다.

향후 환경관리공단 성능시험을 통하여 본 결과물의 성능을 입증할 예정이다. 환경부의 국립환경연구원에서는 환경관리공단의 성적서를 바탕으로 환경계측기기의 형식승인을 허가제를 시행하고 있다. 국립환경연구원의 형식승인서를 취득할 경우 본 연구의 결과가 매우 우수함을 최종적으로 입증하는 것이 될 것이다.

4.2 기술개발에 따른 기대 효과

가. 버섯재배 농가의 소득증대에 기여

<표 10> 연도별 버섯재배면적 증감추이

년도	'93	'94	'95	'96	'97	'98	연평균 증가율
평	2,368,644	2,515,470	3,083,695	3,384,286	3,461,897	3,371,741	7.5%

농림부 자료('99)에 따르면 우리나라 버섯재배에 참여하고 있는 농가수는 10,898호이고 재배면적은 3,371,741평에 연 생산량이 113,094톤 달하고 있다. 우리나라 국민 1인당 연간 버섯 소비량은 '85년에는 불과 0.84kg 인 것이 '90년에 1.28kg로 그 증가율이 170%에 이르렀다. 버섯 소비량은 국민소득의 증가에 비례해서 증가하는 것이 국내 외의 일관된 경향이나 최근 우리나라는 IMF의 관리체계에 접어들면서 소비위축으로 국내 생산 버섯의 소비량도 잠정적으로 감소하는 추세를 보여 왔으나 '99년부터는 경제의 성장과 회복징후가 나타나고 있어 버섯의 소비량도 증가세로 돌아설 전망이다. 다만 값싼 외국산(중국) 버섯의 수입량이 계속 늘어나고 있어 국내 버섯산업에 어려움이 가중될 것으로 판단되어지는 바, 수입품과의 차별화를 위한 고품질의 버섯생산 체계를 갖출 수 있도록 환경자동화 시설과 같은 보급이 확대될 전망이다.

<표 11> 우리나라의 국민 1인당 연간 버섯 소비량

년도	'90	'92	'94	'96	증가율
소비량(Kg)	1.28	1.61	1.63	2.18	170%

- '99 농림부

<표 12> 버섯 시장 경매 가격대

- 하절기(2kg 1박스당)

구분	하품	중품	상품	특상품
가격	~ 7,000원	~ 10,000원	~ 20,000원	~ 25,000원

- 춘추절기(2kg 1박스당)

구분	하품	중품	상품	특상품
가격	~ 3,000원	~ 5,000원	~ 7,000원	~ 10,000원

- 월간버섯 잡지 2000년 12월호 참조

상기의 표에서와 같이 버섯의 가격은 일차적으로 공급과 수요의 측면에서 결정된다. 국내 대부분의 재배사(80% 정도)는 냉동기를 갖추고 있지 않아 하절기에는 생산을 하지 못한다. 따라서 하절기에는 공급이 수요에 미치지 못하여 그 가격이 가장 높으며, 난방 시설을 갖춘 재배사가 생산하는 동절기에는 가격이 중간 정도이며, 냉난방 시설이 필요없는 춘추절기에는 가격이 가장 낮다. 뿐만 아니라 각 절기에도 버섯의 가격은 그 품질에 따라 매우 다양하다.

버섯 재배의 성공여부는 재배 전과정에 의해 결정되나, 병충해의 방제, 환경제어 등이 결정적인 역할을 한다. 특히 환경의 제어는 고품질의 버섯을 생산하는 데 있어서 결정적이다. 예로써, 버섯의 갓 모양이 동전만하고 대는 길고 통통한 형태가 특상품에 속하며 이들은 재배자의 기술에 따라 약간씩 특이한 향기를 발하는 제품들이다. 갓과 대의 형태는 온도, 습도 뿐만 아니라 탄산가스의 농도에 의해 결정된다. 따라서 탄산가스, 온도 및 습도 측정기의 신뢰성은 제품의 품질에 결정적인 기여를 하는 변수들이며 자동 온도 및 환기 제어장치와 결합될 경우 획기적인 노동력의 절감과 고수익이 기대된다.

본 연구 개발이 상업화되고 국내 농가에 보급되어 국내 버섯 재배사에서 활용될 경우, 버섯의 품질을 크게 향상시킬 수 있어 농가의 소득증대에 기여할 것이며 값싼 중국산의 국내 진출을 차단하는 효과가 발생할 것으로 예상된다.

나. 국산화를 통한 수입대체 및 수출 증대 효과

1) 국내시장 규모

현재 국내 버섯재배 산업에 일부 사용되는 중저가형 적외선 CO2 측정기는 국내에서 개발되지 않고 수입품으로 대부분 국내 실정에 벗어난 성능과 정확도로 무분별하게 사

용되고 있다. 이러한 현실에 비추어 당사의 제품은 수입대체효과 뿐만 아니라 잠재시장을 창출한다면 약 80억원대의 신규시장을 창출할 수 있다.

- 국내수입가격 : 50 ~ 200만원/대
- 시장규모 : 80~200억원
- 산출근거 : 10,898호(버섯농가)×0.8(재래식재배사) ×50~100만원
(당사제품 예상가격)

2) 해외시장 규모

산업연구원 자료를 인용하면 세계 계측기 산업의 시장규모는 1998년 기준 약 1,170억 달러로 추정되며 2003년까지 연평균 증가율이 약 4.5%로 예상됨에 따라 시장 규모는 1,464억 달러에 이를 전망이다. 전세계 시장의 약 75%는 미국, 독일, 프랑스 등이 차지하고 있으며 이중 미국은 세계 생산량의 48%를 점유하고 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 제품은 저가형 적외선 CO₂ 분석기와 온.습도 일체형인 환경측정기로 여러 응용분야 중 버섯 및 온실재배용 분석기로 분류된다. 세계시장 진출의 교두보로 국내 시장의 개척을 통해 안정된 수익구조와 브랜드를 확보하면 향후 약 200억원선의 해외시장 진입을 예측할 수 있다.

다. 계측기기 산업으로의 파급효과

본 연구를 통하여 개발된 CO₂ 측정기는 유사한 분야의 계측기술에 적용될 수 있다. 예로써, 수질의 COD 측정기는 원수나 정수된 물에 용해된 휘발성 유기화합물을 측정하는 계측기로서 핵심 검출기 모듈이 CO₂ 측정기이다.

뿐만 아니라 적외선을 이용한 고정밀 계측기기의 개발에 응용되어 향후 고부가가치 계측기기의 국산화에 활용될 수 있다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

가. 추가연구 및 개발

초정리에서의 느타리 버섯 재배 실증시험을 향후 6~10개월 정도 수행하고 내구성이 완벽히 입증되면 상업화를 진행할 예정이다. 기업 측면에서 상업화란 계측기의 주요부품을 국산화할 수 있도록 관련 금형과 제작 도구를 개발하는 것이다. 또 신뢰성 있는 생산이 이루어지도록 관련 생산공정을 확립하는 것이다. (주)이플러스티는 현재 양산 중인 계측기기의 일회 최소 생산대수를 100대로 유지하고 있으며, 버섯 재배사용 탄산가스 측정기의 생산도 동일한 방식을 택할 예정이다. 이를 위하여 실증시험을 지속적으로 수행하여 완료할 예정이다.

나. 광고 및 홍보

양산품 생산 시점부터 제품 홍보물 제작과 함께 전승 및 설명회 개최를 아래와 관련 기관 및 대상자에게 실시할 예정이다.

- 정부기관 : 농촌진흥청 및 각 농업기술원 그리고 각 시군 농업기술센터
- 학교연구기관 : 각 대학 농과대학, 버섯학회, 균학회 등
- 농업인 : 시도 버섯연구회, 버섯재배 연합회 등

다. 판매계획

판매시기는 2004년 상반기부터 시작 예정이며 상기의 광고 및 홍보 효과에 따라 상담 후 개별판매 및 단체판매. 환경제어(공조) 시스템을 제작 판매하는 판매업자와 공동판매 등을 시도할 예정이다. 정부기관과의 협조하에 저가로 국내 농가로의 공급을 기획할 수도 있다.

라. 수출계획

일본과 중국 등 동남아시아권과 미국, 유럽 등지에 수출 가능한 공급업자 등을 선정 한 후 현지에 소규모 시험 모델하우스(재배사)를 설치하여 같은 방법으로 홍보 및 판매할 예정이다.

제 6 장 참고문헌

1. Optical Design Fundamentals for Infrared Systems 2nd Edition, Max J. Riedl, SPIE PRESS, 2001.
2. 최신 버섯재배 기술과 경영, 조성산 편저, 오성출판사, 1996.
3. 버섯 병해충, 이수일, 월간버섯사, 2000.
4. 버섯 병해충 예방요령과 퇴치방법, 이수일, 농민저널, 1998.
5. 김광포 외 5명. 1998. 버섯재배기술 (표준영농교본-92). 농촌진흥청.
6. 김문협. 2000. 양송이.표고.느타리. 내외출판사.
7. 김보연. 1999. 센서를 활용하자 (전자 회로 테크닉 1). 한진.
8. 김영록 : 1990, 시퀀스제어활용자유자재, 성안당
9. 농촌진흥청 : 2002, 느타리(2002농협영농지도요원교육교재) : 39-84
10. 농촌진흥청. 2003. 약용버섯재배 (표준영농교본-61 <개정판>). 농촌진흥청.
11. 박용환, 고승주 : 1976, 벚짚을 이용한 느타리버섯 재배시험, 농업기술연구소 연구 보고서: 113-144
12. 박용환, 고승주, 차동열 : 1978, 사철 느타리버섯 재배법 개발, 농업기술연구소 보고서 : 129-147
13. 박완희. 이호득. 1991. 한국의 버섯 (원색도감. 한국의자연시리즈1). 교학사.
14. 배영신. 류종철. 1998. 버섯만 잘키워도 부자가 될수 있다. 현실 과 미래.
15. 성재모외 : 1993, 수출버섯 품목 다변화 연구, 농촌진흥청
16. 신범수 : 1994, 최신버섯재배기술과 경영, 오성출판사
17. 신철우, 차동열, 전창성 외 : 1992, 환경조절 재배사를 이용한 느타리 버섯재배 농가실증시험, 농업기술연구소 연구보고서 : 831-836
18. 윤만수 외 2명. 2002. 센서제어공학 (회로 이론과 실험/실습). 일진사.
19. 이용하, 이은관 : 1983, 벚짚을 이용한 식용버섯의 속성재배법, 오성출판사
20. 이은관. 2000. 사진으로 보는 버섯 기르기. 오성출판사.
21. 이지열 : 1991, 균학·버섯재배, 대광문화사

22. 일본기계공구상연합회. 1984. 기계공구 표준형록. 세화출판사.
23. 유재복 : 1991, 실용버섯재배, 279. 선진문화사
24. 장현유. 강중석. 생생한 느타리버섯재배 노하우. 전원문화사.
25. 조성산. 1996. 최신 버섯재배 기술과 경영. 오성출판사.
26. 정선모 : 1976, 기계설계문제 및 해설, 정우사
27. 정환채 : 1979, 잠실을 이용한 팽이버섯 및 느타리버섯 병재배, 시험. 농업기술연구
소 연구보고서 : 145-152
28. 차동렬, 류창현, 김광포 : 1991, 최신 버섯재배기술, 농진회
29. 차홍식. 1998. 공장 자동화를 위한 센서 이론과 실험. 일진사.
30. 최광재 외 : 1990, 느타리버섯 재배 기계화실태조사연구, 농업기계화연구소 시험연
구보고서
31. 최광재 외 : 1996, 버섯재배사 환경조절시스템 개발, 농업기계화연구소 시험연구보
고서
32. 최광재 외: 2000, 버섯재배 자동송풍·관수장치 개발, 한국생물환경조절학회학술발
표논문집 제9권 2호 : 120-123
33. 홍범식 외: 1992, 느타리버섯 재배를 위한 기질 및 재배방법의 개발, 한국균학
20(4) : 354-359
34. 최승길. 이영우. 1987-2002. 시퀀스 제어 일반(이론과 실제 연습). 일진사.
35. 古川久彦 : 1992, きのこ學, 共立出版株式會社
36. 機械工學ポケットブック編輯委員會 : 1971, 機械工學ポケットブック, オーム社
37. 農作業試驗法編輯委員會 : 1987, 農作業試驗法, 農業技術協會
38. 農業機械學會 : 1996, 生物生産機械ハンドブック : コロナ社
39. 眞島卵太郎 : 1971, ベルト・コンベヤ, 理工圖書株式會社
40. 衣川堅二郎 外 : 1986, 類種栽培嚮子菌の 子實體形成に 對する 高濃度二酸化炭
素の 影響 , Trans. Mycol. Soc., Japan 27 : 327-340
41. Flegg, P. B. 1960. Mushroom composts and composting: A review of the
literature, Rep. Glasshouse Crops Res. Inst. 4: 313-343.
42. Greenwood : 1959 機械設計データブック, 日刊工業新聞社
43. Hays, W. A., Composting. W. S. 1977. Maney and Sons, Leads, England. 1:

1-5.

44. K. J. Choe : 1996 Development of mushroom spawn bottle cutter-spawn cake shredder, International Conference for agricultural Machinery Engineering Vol III: 1031~1033
45. Kitamoto, Y., Horikoshi, T., and Kasai, Z.. 1974. Growth of fruit bodies in *Favolus arcularius*, Bot. Ma., (Tokyo). 1: 87- 41.
46. Peter Oei : 1991, Manual on mushroom cultivation, Tool Publications
47. P.J.C. Vedder : 1978, Modern Mushroom Growing, Educaboek-Culemborg, Netherlands
48. Smith, J. F. and Hays, W.A., 1972. Use of auto-claved substrates in nutritional investigations on the cultivated mushroom. Mushroom Sci.. 8 : 355- 360.
49. Van Griensven : 1988, The Cultivation of Mushrooms, Mushroom Experimental Station, Netherlands

감사의 글

본 연구 개발을 위하여 많은 도움을 주신 분들께 본 지면을 빌어 깊은 감사를 드립니다.

연구시작부터 지금까지도 현장 실증시험을 위하여 도움을 주시는 충북 청원군 초정리의 이홍용 선생님,

연구시작단계에서 본 연구의 필요성을 인정해 주시고 연구 진행을 함께 하신 농진청 농업기계화연구소의 최광재 박사님,

본 연구의 필요성을 인정해 주시고 연구 시작부터 도움 주신 농림기술관리센터의 서형석 간사와 농림기술관리센터 관계 제위,

과제 계획서의 심사과정 중에 본 연구의 필요성을 인정해주시고 믿어주신 여러 심사위원님들께 일일이 찾아 뵙고 인사드리지 못하고 본 지면을 빌어 감사의 마음을 전합니다.

본 연구 결과를 바탕으로 국내 실정에 적합한 신뢰성 있는 유용한, 버섯 재배 사용 탄산가스 측정기의 보급을 위하여 최선을 다하겠습니다.

불광동 북한산 자락에서
(주)이플러스티 대표이사
박 동 선 올림