

최 중
연구보고서

GOVP1200608893

복합 환경제어형 새송이버섯
시설재배의 기술개발 및 생산성 최적화

Structural Modification and Productivity Optimization in
Pleurotus eryngii cultivation Facilities Equipped with
Complex Environment Control System

주 관 연 구 기 관
경 상 대 학 교

협 동 연 구 기 관
경 남 농 업 기 술 원

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “복합 환경제어형 새송이버섯 시설재배의 기술개발 및 생산성 최적화” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 11월 14일

주관연구기관명 : 경상대학교

총괄연구책임자 : 서 원 명

연 구 원 : 윤 용 철

연 구 원 : 김 용 규

연 구 원 : 박 태 인

협동연구기관명 : 경남농업기술원

협동연구책임자 : 류 재 산

요 약 문

I. 제 목 : 복합 환경제어형 새송이버섯 시설재배의 기술개발 및 생산성 최적화

II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라에 재배되고 있는 버섯은 양송이, 느타리, 표고, 팽이 및 영지 등 19종정도이며, 버섯재배 농가수, 재배면적 및 생산량은 각각 11,267농가, 1,327ha, 156,599톤으로 그 생산량은 6,909억이다. 이 금액은 농업생산액의 약 2.1%으로써 화훼류나 특용작물과 비슷한 수준이다. 전체 생산량 측면에서 보면, 느타리버섯이 약 42%, 팽이 및 표고버섯이 23%정도를 차지한다. 또한 버섯산업은 식문화의 고급화와 건강식품으로 알려지면서 생산량이 1991년부터 연평균 8%씩 증가하여 왔다. 특히 버섯은 재배시 농약이 거의 필요하지 않는 고급농산물이며 건강식품으로 이용되고 있고, 또한 기술, 노동 및 자본 집약적인 산업이기 때문에 온실재배 작물과 같이 고도의 재배기술을 요하는 작물로서 재배사의 환경관리와 경영계획의 유무가 경영성공에 큰 영향을 주기 때문에 관리기술 및 경영기법이 대단히 중요하다. 그리고 버섯소비량은 국민소득과 국민경제에 민감하게 작용하기 때문에 지속적인 경제발전은 버섯소비를 촉진할 것으로 예상되면 향후 발전가능성이 대단히 높은 작물 중에 하나이다.

그리고 1992부터 1999년까지 정부에서는 농가의 소득증대와 버섯의 국가경쟁력을 높이기 위하여 전국 4,309개소를 대상으로 버섯 종균센터·배지시설, 저온저장고 등을 포함한 총 128ha정도의 첨단 버섯재배시설을 정부와 지방자치단체의 보조, 융자, 농가 자부담 형태로 보급하였다.

최근 원산지가 남유럽일대이고 아프리카북부, 중앙아시아, 러시아남부 및 북미 등지의 초원지대 및 아열대성 기후에 자생하고 있는 느타리과의 큰느타리(일명 새송이)버섯의 인공재배법이 개발되었다. 이 버섯의 학명은 *Pleurotus eryngii* (De Candolle ex Fries)이고, 일반명은 King Oyster Mushroom 또는 Boletus of the Steppes 이다.

이 버섯의 인공재배법은 1958년에 최초로 시도되었으며, 국내에서도 1997년 5월경 톱밥을 이용한 병재배에 성공하여 일반 농가에 보급되기 시작하였다. 이 품종이 보급됨으로써 느타리버섯을 재배하던 많은 재배자들이 새송이버섯 재배로 방향전환을 시도하고 있는 실정이다. 현재 새송이버섯 재배사는 기존의 느타리버섯 재배사를 개조한 간이형과 샌드위치패널을 이용한 영구형이 대부분이다. 또한 최근 국내에서 재배되는 버섯 중 생산량 측면에서 느타리버섯 다음으로 우위를 점하고 있는 팽이버섯 재배의 한계가 현실화되면서 새송이버섯 재배로의 작목 전환을 고려중인 곳이 많기 때문에 생산량의 증가에 따른 가격불안 사태가 우려되며, 중장기적으로는 시설형 버섯 재배사의 관리 및 운용과 관련된 경영합리화가 요구될 것으로 판단된다. 그러므로 이러한 문제들을 미연에 방지하고 농가의 고소득 작목으로 육성하기 위하여 고품질 및 다수확 생산을 위한 현대화 및 생력화된 영구재배사와 재배기술을 개발·보급하여 저장성이 우수한 새송이버섯을 송이나 표고와 같이 국내의 주요 수출 버섯의 하나로 육성하여야 할 것이다.

따라서 본 과제는 이러한 점을 감안하여 새송이버섯 재배사의 구조적 안전성이나 시설의 공간효율성을 증대시키고, 환경조절 기술개발 및 환경요인 최적화에 필요한 자료를 제공하기 위하여 수행하였다. 주요 연구목적을 요약하면 다음과 같다.

- ① 시설의 구조설계 자료 제시
- ② 소요에너지 실태파악 및 에너지 절감대책 자료 제시
- ③ 재배사의 환경요인 최적화 자료 제시
- ④ 재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션
- ⑤ 새송이버섯 재배사의 경제성 분석

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 과제에서 주관 및 협동연구기관이 수행한 주요 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
세부과제	1. 새송이버섯 재배사의 구조 설계	1) 기존의 보고된 국·내외 구조설계 자료수집 및 분석 2) 재배사의 효율적 입체 공간 활용대책 분석 3) 단동 대비 연동구조의 장·단점 비교 분석 4) 재배사 주 건축재의 특성 분석 5) 출입구의 단열구조 분석 6) 연동구조의 에너지 절감 및 건축비 절감 효과 분석 7) 작업효율 검토
	2. 소요에너지 실태파악 및 에너지 절감대책 수립	1) 계절별 생육단계별 재배사 내 경시적 미 기상인자 측정과 버섯 생산량 분석 2) 소요에너지 실태 파악을 통한 경영비중 분석 3) 에너지 절감 응용기술 제시 4) 환경제어용 설비의 작동상황 측정 및 분석 5) 환경조절설비의 제어논리개발 6) 제어시스템의 오작동시 대체방안 강구 7) 버섯표면의 유리 수분 처리 방법 제시
	3. 새송이버섯 재배의 경제성 분석	1) 시설 및 설비의 초기투자과 유지관리비용 분석 2) 재배단지의 입지선정에 따른 경영효율분석
	4. 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션	1) 재배사의 수학적 모형 개발 2) 환경 시뮬레이션
협동과제	5. 새송이버섯 재배사의 환경요인 최적화	1) 최적 탄산가스농도 구명 2) 최적 재배온도 구명 3) 최적 상대습도 탐색 4) 생육시기별 최적 환경요인 구성 5) 상업적 규모에서 시험재배 문제점 도출 6) 현장실증 시험

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

새송이버섯은 다른 버섯에 비해 수익성이 높고, 저장기간도 상대적으로 길면서 독특한 맛과 향까지 가졌다는 사실이 알려지면서 2002년 하반기부터 수요가 급증하고 있는 실정이다. 예전에 버섯시장에 일시적으로 등장했다가 소리 없이 사라져간 버섯 중에 대표적인 것은 잎새버섯, 만가닥버섯, 버들 송이버섯 등이 있다. 그러나 새송이버섯은 이들과는 달리 최근 생산량이 18,350t 정도로 폭발적인 증가세를 보이고 있다. 이러한 추세는 생산량의 증가에 따른 가격불안 사태를 유발하며, 중장기적으로는 시설형 버섯재배사의 관리 및 운용과 관련된 경영합리화가 요구될 것이다. 따라서 문제들을 미연에 방지하고 농가의 고소득 작목으로 육성하기 위하여 고품질 및 다수확 생산을 위한 현대화 및 생력화된 영구재배사와 재배기술을 개발·보급하여 저장성이 우수한 새송이버섯을 송이나 표고와 같이 국내의 주요 수출 버섯의 하나로 육성하여야 할 것이다.

따라서 본 과제에서는 새송이버섯 재배사의 구조적 안전성이나 시설의 공간효율성 증대시키고, 환경조절 기술개발 및 환경요인 최적화에 필요한 구체적인 자료를 제공하기 위하여 수행하였으며, 주요 연구목표를 분야별로 나누면 **구조, 환경조절, 재배, 모델링 및 시뮬레이션**, 경영분야로 구분할 수 있고, 각각의 분야별 목표는 **재배사의 구조설계, 소요에너지 실태 파악 및 에너지 절감 대책, 재배사의 환경요인 최적화, 재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션, 경제성 분석**으로서 이들 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 「재배사의 구조설계」와 관련된 연구결과

- 1) **현장조사결과** 재배사의 형태는 **간이재배사(반영구, 보온덮개형)**와 **영구재배사(패널형)**로 대별 할 수 있었고, 반영구재배사는 대부분 단동이었고, 영구재배사의 경우는 단동에 비해 상대적으로 연동이 많았다. 그리고 재배사의 규모는 형

태에 관계없이 다양하였지만, 길이, 폭 및 동고는 각각 20m, 6.6~7.0m 및 4.6~5.0m 정도의 농가가 가장 많았으며, 동당 바닥면적은 132~140㎡(40~42평) 정도의 범위로서 대부분 콘크리트로 처리하여 각종 균에 의한 버섯의 오염을 방지할 수 있도록 되어 있었다.

1-1) 반영구 및 영구재배사의 지붕경사각은 각각 41.5° 및 18.6~28.6°로 나타나 반영구재배사의 지붕경사도가 더 큰 것으로 나타났다. 그리고 재배상의 폭 및 단수는 재배사의 형태에 관계없이 각각 1.2~1.6m 정도와 4단이 주류를 이루고 있었다.

1-2) 버섯을 연중재배 하는 재배사에는 모두 냉·난방시설, 가습장치 및 환기팬이 설치되어 있었다. 난방방식의 경우, 온수보일러, 전기히터, 증기보일러 순으로 나타났다. 냉방장치의 경우는 모두 산업용 에어컨을 설치하여 운용하고 있었다. 그리고 가습은 초음파가습기와 원심분리가습기를 사용하고 있었으며, 보조 장치로 분무노즐을 사용하는 농가도 일부 있었다. 또한 온·습도조절 및 탄산가스 조절을 위한 장치의 제어는 동별 제어시스템을 많이 채택하고 있었다. 그리고 온도 센서 이외는 모두 타이머를 이용하고 있음을 알 수 있었다.

1-3) 배지병의 크기는 850cc 및 1,100cc를 사용하는 농가가 주류를 이루고 있었고, 이 밖에도 800cc와 950cc, 1,200cc 및 13,000cc를 사용하는 농가도 있었다. 출하 형태는 대부분 유통회사와 공판장을 동시에 이용하고 있었다.

2) 문헌조사 결과 재배상의 단수를 4단으로 하는 것과 환경조절 장치 중 가습기나 환기팬은 각 동마다 설치하여 사용하는 방식을 채택하고 있는 것은 국내와 유사한 점이 많다. 그러나 이 외에 재배사 내·외부의 구조형상이나 냉·난방 장치의 중앙집중식을 채택하고 있는 것은 국내 상황과 다른 것을 알 수 있었다.

3) 단열효과 시험 결과, 중공형 박스를 이용한 열 저항효과를 분석한 결과, 코팅에 의한 단열효과가 현저함을 보였다. 단기간에 측정된 결과만을 기준으로 비교해 보면, 단열 코팅으로 피복처리 하는 것만으로도 50mm 두께의 샌드위치패널 구조와 단열효과가 거의 유사함을 알 수 있었다.

3-1) 단열 코팅에 의한 단열효과를 일반 페인트 피복의 단열효과와 비교하고, 단열 효과의 열적 특성을 분석하기 위한 실험결과 단열 코팅의 효과가 약간 높은

것으로 나타났으나 두 처리 간에 현저한 차이가 발견되지는 않았다.

3-2) 중공형 용기 내부에 곡물을 넣었을 경우, 열전달 현상을 검토한 결과 벽체 내외표면에서의 온도변화 및 피복 처리간의 차이는 아연도 철판의 중공형 대형 박스와 유사하였다. 용기 중앙에 위치한 곡물의 최대온도 발생시점과 표면의 최대온도 발생시점 간에는 약 6시간의 시간지연이 있음을 발견할 수 있었다.

4) **구조설계용 자료 분석 결과**, 모형(L4R4-단동형 및 연동형)이 난방 및 냉방 관리, 실내 기상의 안정성, 단위 평면적당 토지 이용효율 등에서 합리적인 확인할 수 있었다. 특히 현재까지 제시된 **느타리버섯 표준재배사**의 경우, 축고 및 둥고 등이 지나치게 높고 지붕의 트러스 골조의 부적합성 등으로 단위 면적당 표면적비(SSA) 및 단위면적당 체적(SV) 등이 본 연구에서 설정한 모형에 비해 불리하다는 것을 발견할 수 있었다.

4-1) 설정한 모형 재배사를 중심으로 기존에 일반적으로 활용되고 있는 골조의 규격들을 적용하여 구조해석을 실시한 결과, 패널형 구조는 전반적으로 과잉 설계되는 양상을 보인 반면에 원형 파이프를 사용하는 보온 덮개형 구조는 과소 설계되어 있음을 알 수 있었다.

5) **열수지 시뮬레이션 결과**, 진주지방 새송이버섯 재배사의 냉방 및 난방 D-H(Degree-Hour) 증감현상은 실내 설정온도의 변화에 따라 거의 직선적인 변화를 보였으며, 변화의 정도는 냉방 D-H가 난방 D-H에 비해 훨씬 예민하다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 설정온도는 물론 실내 유지온도의 제어 양상에 따라 소요 에너지의 변화를 예측할 수 있을 것임은 물론, 추후 개발될 버섯사 환경모형 시뮬레이션의 검정과 에너지소요량 추정에도 산정된 D-H가 유익하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

5-1) 동일한 재배공간 확보를 전제로 할 경우, 다중 피복의 간이형 재배사에 비해 다양한 두께 및 재질로 생산되고 있는 패널을 사용한 영구형 재배사가 단열 성능면에서 현저히 유리하며, 단동 대비 연동구조의 에너지 효율, 그리고 단열 정도에 따른 에너지 소요량의 변화를 쉽게 가늠할 수 있음은 물론, 주어진 지역과 주요 표면의 단열 정도와 표면상태 등에 따라 계절별 또는 재배 주기별 소요 에너지량을 예측함으로써 재배사의 구조 및 환경적 최적화를 꾀

할 수 있을 것으로 판단된다.

- 6) **출입문 단열구조 검토 결과**, 간이형 재배사의 경우, 영세한 재배환경이 더욱 열악해지는 결과를 초래할 것으로 판단되어, 관행의 소규모 간이형 재배사에 대해서는 2중문 구조가 부적합한 것으로 결론지었다. 그러나 영구형 재배사의 경우도 현재 단계로서는 재배사 내부의 공기분포의 균일성 확보와 아울러 세균이나 미생물 감염 예방 및 환경조절 시스템 등과 연계된 연구가 좀 더 필요할 것으로 판단되며, 작업준비실 및 환경조절장치 등을 설치하여 공기조절의 완충 장소로 이용되고 있는 공동복도 형식이 바람직 할 것으로 판단된다.

나. 「소요에너지 실태파악 및 에너지 절감 대책」과 관련된 연구 결과

- 1) **갑 지역(간이 재배사)**의 경우, 실험기간동안 외기온은 평년과 큰 차이가 없었으나, 재배사 내부의 온도가 설정온도보다 다소 낮게 유지되고 있는 것으로 보아 진주지역의 동절기 최저 외기온을 고려하면, 난방기 용량이 부족한 것으로 판단되었다. 난방시 상하 재배상간 온도차가 최대 2~3℃ 정도로 높게 나타나 높이별 온도분포가 일정하지 않을 뿐만 아니라 또 최하단 재배상에서 배지병이 지나치게 건조하게 되어 버섯의 발이가 잘 되지 않는 등의 문제도 종종 발생하였다. 상대습도는 재배기간 동안 변화가 심하고, 평균상대습도도 일반적으로 알려져 있는 것보다 발이구나 생육기에 모두 다소 높거나 낮게 유지되는 등 습도유지가 일정하지 않은 것을 알 수 있었다. 탄산가스 농도도 권장농도보다 높게 유지되는 등의 문제가 있었다. 조도는 권장조도보다 전반적으로 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 버섯의 수확량은 평균적으로 병당 약 67~85g 정도로 나타났고, 총 판매금액은 배지병 구입비의 2배 이상인 것으로 조사되었다.
- 2) **을 지역(간이 재배사)**의 경우, 실험기간동안 외기온은 평년과 큰 차이가 없었다. 재배사 내부의 온도가 설정온도보다 아주 낮게 유지되고 있는 것으로 보아 난방기 용량이 대단히 부족한 것으로 판단되었다. 난방시 상하 재배상간 온도차가 최대 2~6℃ 정도로 높게 나타나 **갑 지역**에 비해 재배기간 동안 온도편차나 층간 온도차가 현저하게 발생하였다. 그러나 난방기 용량은 충분한 것으로 나타났다. 최저상대습도도 지나치게 낮게 나타나는 등 습도유지가 일정하지 않았다.

탄산가스 농도나 조도도 지나치게 낮게 유지되는 경향을 보였다. 배지병 당 평균 수확량은 **갑 지역**의 67~85g 정도와 비슷하였지만, 버섯의 품질측면에서는 두 지역 간에 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 그리고 소비전력량은 재배시기, 냉난방기의 작동 상황에 따라 큰 차이를 보였다.

3) **영구재배사의 경우도** 실험지역의 최대, 최저 및 평균 외기온은 각각 -0.3~36.5℃, -15.0~23.5℃ 및 -8.8~27.9℃ 정도의 범위에 있다. 동기간 동안 진주 기상대에서 측정한 최대, 최저 및 평균 외기온이 각각 -2.1~36.7℃, -13.3~24.9℃ 및 -7.4~29.1℃인 것과 비교하면, 최대기온은 다소 높고 최소 및 평균기온은 약간 낮게 나타났지만, 대체적으로 비슷한 경향을 보였다.

3-1) **시스템 변경 전의 경우**, 동절기에는 전체적으로 설정온도보다 낮게 유지되었고, 또 최상부와 최하부의 최대 온도편차도 약 5.1℃ 정도로 상층이 가장 높게 나타났다. 이것은 전체적으로 난방이 용량이 부족하고, 재배사내부의 공기유동이 원활하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 냉·난방기의 잦은 동작이 별로 없는 시기에는 상·하층간의 온도편차는 크게 나지 않았지만, 동절기의 경우와 다르게 하층부의 온도가 상층부보다 최소 0.4℃에서 최대 1.5℃까지 높게 나타났다. 이것은 환기팬의 작동에도 불구하고 1단 재배상 하부에 정체된 공기층이 존재하였다. 그러나 **시스템 변경 후의 경우**, 난방시 대체로 설정온도 범위에서 조절되는 경향을 보였고, 공기정체나 온도층의 역전 현상이 나타나지 않았다.

3-2) 재배사 내부의 대표온도인 최대 및 최저온도가 평균온도에 비해 **변경 전, 후** 별로 살펴보면, 각각 0.5~3.5℃ 및 0.7~3.9℃ 정도의 범위로서 **변경 전·후** 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 **을 지역**의 1.0~6.0℃에 비하면 안정적인 것을 알 수 있었다. 그리고 시스템 **변경 전**의 경우, 전체 재배기간 동안 상대습도는 약 44~100% 정도의 범위로서 변화의 폭이 아주 큰 것으로 나타났다. 그러나 **변경 후**의 경우, 약 80~100% 대체적으로 권장 상대습도 범위에 있음을 알 수 있다. 그리고 **갑, 을 지역**에 비해서는 상대적으로 안정적인 경향을 보였다.

3-3) 시스템 **변경 전**의 경우, 평균 탄산가스농도는 발이초기 및 생육후기에는 1,000ppm 이하로 거의 일정하게 유지하고, 그 이후는 상대적으로 높게 또는

낮게 유지하면서 일정한 경향을 보였다. 그러나 시스템 **변경 후**의 경우를 보면, 발이기초 및 생육후기에 1,000ppm 이하로 유지하는 것은 시스템 **변경 전**과 대체로 유사하지만, 그 이외의 기간에는 평균 1,200ppm~2,400ppm 정도의 범위로 일정한 경향이 없음을 알 수 있다. 그리고 조도는 위치에 따라 최소 3lx부터 최대 65lx까지 조도분포가 다양하고, 권장조도 100~200lx보다는 상당히 낮게 유지되고 있음을 알 수 있다. 그리고 전년도 두 지역의 20~160lx와 31~69lx 보다도 더 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 그리고 배지의 산도는 5.0~6.0 사이로 재배기간 동안 큰 변화가 없었고, 단지 권장 pH 5.5~6.5 보다는 약간 낮은 경향이 있었다.

3-4) 수확량은 재배기간, 재배동 및 방법에 관계없이 일정하지 않았다. 또 배지용량 1,100cc에 재배할 경우, 등외품이 재배사별로 각각 26~39% 및 23~36% 정도의 범위로서 재배기간별로 많은 차이를 보였다. 그러나 일반적으로 생산량의 등급별 경향을 보면, 특상 및 상과 중 및 등외품이 차지하는 비중을 평균적으로 각각 약 60%, 10% 및 30% 전후인 것을 알 수 있었다. 그리고 배지용량 1,300cc에 재배할 경우, 재배사에 관계없이 등외품이 3%이내였다. 그러나 재배사별로 포기당 500g으로 생산된 비율이 각각 23% 및 58%로 재배사간 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

3-5) 소비전력은 재배시기에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있지만, 년도에 관계없이 적력사용량의 경향은 비슷한 것을 알 수 있었고, 하절기보다 동절기에 전력소비량이 현저히 많은 것을 확인 할 수 있었다.

3-6) 하절기에는 설정온도보다 약간 높게 유지되는 경향이 있었지만, 동절기와 같이 층간 온도편차도 나타나지 않았기 때문에 냉방기 용량에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다.

4) 히트펌프 실험 결과, 난방의 경우, 증발기의 흡열량은 9,000~12,000kcal/h, 응축기의 방열량은 13,000~17,000kcal/h정도의 범위였고, 증발기 및 응축기의 열효율은 각각 79%, 83%정도였다. 냉방의 경우를 보면, 히트펌프의 흡열량은 17,100~17,700kcal/h범위에 있었고, 열효율은 의 약 71~74%정도였다.

4-1) 난방의 경우, 히트펌프 및 시스템의 성적계수는 각각 2.9~3.5, 1.5~2.4의 범위에 있었다. 냉방의 경우는 히트펌프 및 시스템의 성적계수는 각각 2.71~

2.88, 1.99~2.22정도의 범위에 있었다.

5) **태양열 이용 실험 결과**, 자연순환식 태양열 집열시스템에서 열 회수방법에 따라 회수되는 유용열 에너지를 비교해 본 결과 주간동안 열저장탱크에 열을 저장했다가 일몰직후부터 열 교환 시스템을 가동하여 열을 회수하는 경우, 집열량은 1,270~2,580kcal/m²의 범위로서 일출직후부터 회수하는 경우의 집열량 2,460~4,110kcal/m²정도에 비해 다소 작았다.

5-1) 회수방법에 따른 자연순환식 태양열 집열시스템의 집열효율은 일출직후부터 회수한 경우 48.6~59.6%의 범위인데 비하여, 일몰직후부터 회수한 경우는 65.8~78.0% 정도로서 상대적으로 크다는 것을 알 수 있었다. 이것은 순환 매체의 온도가 낮을수록 열 교환 파이프와 열매체 사이의 온도차가 크기 때문인 것으로 판단되었다.

5-2) 강제순환식 태양열 집열시스템의 집열효율을 열매체 유량별로 분석한 결과 열매체유량이 9.7 l/min일 때 64.2%~74.5%, 7.0 l/min일 때 78.4%~94.8%, 4.2 l/min일 때 73.1%~88.6%의 범위로서 7.0 l/min일 때의 집열효율이 가장 높은 것으로 나타났다.

6) **복합 환경제어의 경우**, 현재로서는 취급이 용이하고, 가격이 저렴한 탄산가스 농도 및 습도 센서의 개발이 선결된 후, 버섯재배사와 같이 다습한 환경내에서 온도를 조절과 동시에 환기를 실시하는 등의 복잡한 환경에 대한 복합 환경제어 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

7) **환경제어용 설비의 작동상황 분석 결과**, 컨트롤 회로도 재구성 전에는 설정온도보다 +1.0~-2.0℃ 또는 ± 1.0℃ 정도이내에 있었지만, 재구성 후에는 1.0℃ 정도이내에서 재구성 전보다는 안정적으로 조절되고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 습도 센서로 설정한 상대습도와 재배사 내부의 상대습도와는 큰 차이가 있었다.

7-1) 내부온도는 계절에 관계없이 설정온도 범위 내에서 조절되고 있기 때문에 냉·난방기의 용량에는 문제가 없었다. 그러나 버섯을 재배하지 않을 때는 ±1℃범위에서 작동되던 상황과는 다소 차이가 있음을 알 수 있지만, 버섯재배에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었고, 탄산가스 센서의 작동에도 문제가 없는 것으로 판단되었다.

- 7-2) 환경조절 시스템의 오작동이나 전체적인 시스템은 상시 감시할 필요가 있는 것으로 판단되었다. 이를 위해서 기존 재배사의 경우에는 시중에서 판매되고 있는 간단한 장비를 구입하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료되나, 새로 버섯재배사를 신축할 경우에는 미래에 전개될 유비쿼터스 센서 네트워크 등의 시스템을 적용할 수 있는 방향으로 개발되어야 할 것으로 판단되었다.
- 8) **유리수분**을 제거하기 위해서는 가능한 범위내에서 첫째, 가습기 작동시간 단축, 둘째, 환기팬 작동 단축, 셋째, 냉·난방기만 작동 또는 제상 팬 작동, 넷째, 일정한 온도 유지 것 등 이었다.

다. 「재배사의 환경요인 최적화」와 관련된 연구 결과

- 1) **CO₂농도**를 1,600, 2,400 및 3,200ppm로 설정하였을 때, 발이소요일수는 농도가 높을수록 상대적으로 빠른 경향을 보였지만, 수확소요일수, 수확기간 및 수확률은 방임처리구와 슈음처리구에서 공히 이와 다소 상이하게 나타났다. 그리고 방임 및 슈음처리구에 관계없이 CO₂ 농도가 높을수록 대의 길이와 두께는 길어지거나 두꺼워 졌고, 갓의 직경은 작아졌다. 수확한 버섯의 중량, 품질, 배지병당 경수는 이와 다소 다른 경향을 보였다. 즉 중량 및 품질은 2,400ppm에서 상대적으로 우위를 차지하였고, 경수는 1,600ppm에서 2.5로 가장 많았다. 농도별 총 수확량 및 상품이 차지하는 비율에서도 2,400ppm으로 처리한 구에서 상대적으로 우위를 차지하였고, 이에 비해 상대적으로 고농도인 3,200ppm에서는 전체적으로 열등한 것으로 나타났다.
- 2) 재배실 내부의 **탄산가스 농도**는 재배일수에 따라 다르게 나타났다. 탄산가스 농도는 입상 직후에는 800ppm 정도로 일정하게 유지되지만, 발이가 시작되면 급속히 증가하는 경향을 보였다. 탄산가스 농도가 급격히 증가하기 이전(대의 길이 30mm까지)에는 대의 길이와 자실체의 중량도 완만한 증가세를 보이지만, 탄산가스 농도가 급격히 증가하면 신장속도가 급격하게 신장하는 경향을 보였다. 농가 실증시험에서도 이와 유사한 경향을 보였다. 그러나 온도와 상대습도는 시험재배사와 동일하게 재현하기 어려웠다. 그리고 방임 및 슈음처리구에 관계없이 탄산가스 농도별 생육특성, 품질별 특성 등도 시험재배사에서 도출한 결과와

차이를 보였다.

- 3) 재배기간 동안 **설정온도**를 13, 15 및 17℃로 일정하게 유지할 경우, 숙음 및 방임처리구에 관계없이 수확기간은 동일하고, 발이 및 수확소요일은 온도가 높을수록 빠르게 나타났지만, 수확률은 15℃에서 경우가 가장 많았다. 그리고 대의 길이와 두께도 숙음 및 방임처리구에 관계없이 온도에 비례해서 증가하였지만, 갓의 직경은 일정한 경향을 보이지 않았다. 또한 자실체의 중량, 배지병당 경수 및 총생산량 모두 15℃에서 우위를 차지하였다. 그 다음은 17℃와 13℃ 순이었다.
- 4) 재배사 내부의 **설정온도**를 15℃로 일정하게 유지하는 경우(I 처리구), 17℃에서 15℃까지 3단계로 설정하는 경우(II 처리구), 20℃에서 15℃까지 6단계로 설정하는 경우(III 처리구), 숙음 및 방임처리구에 관계없이 발이 및 수확소요일 간에는 큰 차이가 없었지만, 수확률은 I 처리구에서 가장 적었다. 그리고 숙음 및 방임 처리구에 관계없이 버섯의 품질, 총 확량, 배지병당 자실체의 중량 및 경수는 상대적으로 II 처리구가 우위를 차지하였고, I 처리구가 가장 열등한 것으로 나타났다.
- 5) 재배기간 동안 **상대습도**를 70, 80 및 90%로 일정하게 유지할 경우, 숙음 및 방임처리구에 관계없이 수확기간은 동일하고, 발이 및 수확소요일은 상대습도가 높을수록 빠르게 나타났지만, 수확률은 80~90%로 설정한 처리구가 70%로 처리한 구보다 많았다. 그리고 대의 길이, 두께 및 자실체의 무게도 숙음 및 방임처리구에 관계없이 상대습도에 비례해서 증가하였지만, 갓의 직경은 일정한 경향을 보이지 않았다. 또한 자실체의 중량, 품질, 배지병당 경수 및 총생산량 모두 90%로 처리한 구가 상대적으로 우위를 차지하였다. 그 다음은 80%로 설정한 경우였고, 70%로 설정한 경우가 상대적으로 열등하였다.
- 6) 생육시기별로 **상대습도**의 설정치를 90%이상에서 각각 1, 4 및 7일정도, 85%에서 숙기작업 전까지 각각 11. 8 및 5일정도, 수확시까지 80%에서 재배할 경우를 각각 I, II 및 III 처리구로 하였다. 이때 처리별 수확기간, 발이 및 수확소요일 및 수확률은 숙음 및 방임처리에 관계없이 90%이상에 노출되는 기간인 상대적으로 길수(III 처리구)를 가장 우수한 것으로 나타났다. 그리고 자실체의 생육특

성인 대의 길이 및 두께와 깃의 직경 등에서 처리별 뚜렷한 경향은 없었다. 그러나 버섯의 품질 및 총생산량은 90%이상에 노출되는 기간이 상대적으로 길수록 우수하게 나타났다.

- 7) 재배사내부의 **조도**는 위치에 따라 상당히 다르고, 또한 슈움처리구 최상단, 중 및 하단의 재배상에서는 조도와 자실체의 특성 사이에 어느 정도 상관관계가 있는 것도 확인되었지만, 이외는 유의성을 확인할 수 없었다.

라. 「재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션」과 관련된 연구 결과

버섯 재배사를 대상으로 재배사 내부의 미기상환경을 예측하고, 이러한 예측 기법을 이용하여 다양한 조건의 합리적 대안을 비교 검토할 수 있는 수학적 환경 예측 모형에 대한 개발을 시도하였다. 여기에는 태양복사모형을 비롯하여 열복사모형, 수분전달모형, 바닥면 열전달모형 등의 독립된 모형들이 주어진 환경에서 설정된 온도로 실내온도를 유지하는 환경 제어논리와 함께 포함된다. 결국 각종 에너지 평형방정식과 질량 평형방정식들이 독립적으로 세워져서 각 하위 계열에서 미지수를 산정함으로써 연속적으로 해를 구하게 된다.

개발된 모형을 중심으로 진주 지역 기상자료로서 시뮬레이션을 시도함으로써 시간별 미기상 상황을 비롯하여 일별, 월별, 그리고 연간 미기상 인자와 냉방 및 난방부하에 대한 계산이 가능하다는 것을 확인했으나 미흡한 부분이 보완되지 못함으로써 아직 그 정확성이 담보되지 못하고 있다.

모형에 대한 검증은 필수적이지만 본 연구에서는 버섯 자실체의 열 및 탄산가스 발생 등의 생리적 거동에 대한 모형화가 완성되지 못했고, 특히 탄산가스 농도에 따른 환기, 냉방을 위한 환기, 그리고 동절기 환기와 난방의 관련성 등을 합리적으로 제어할 수 있는 논리가 완성되지 못한 관계로 모형에 의한 예측 결과를 실용화하기가 어려운 상황이다.

본 수학적모형은 보완중인 버섯의 성장모형과 탄산가스 관련 환기량 제어모형을 지속적으로 개량하고, 본 연구를 통해 수집된 다양한 미기상 인자들에 의해 검증함으로써 머지않아 강력한 미기상환경 예측 모형으로 개발될 수 있을 것으로 기대한다.

다. 「경제성 분석」과 관련된 연구 결과

본 연구에서 시도한 경제성 분석방법은 순수 현재가 방식이다. 주어진 버섯재배사를 중심으로 모든 비용과 편익이 초기투자 시점으로 할인되며, 시설물의 운용에 따른 비용과 시설물의 운용을 통한 편익이 연차적으로 대비되는 형식이다.

본 분석방법은 엑셀프로그램으로 구성된 비용-편익 분석표를 개발하여 다목적으로 활용하는 기법으로서, 상이한 조합의 경제조건들을 적용하게 되면 다양한 경우에 대한 분석이 손쉽게 이루어질 수 있으며, 분석된 결과는 버섯 재배사를 비롯하여 다양한 형식의 시설투자에 대해 고민하고 있는 농업 경영인들에게 매우 유익하게 활용될 수 있을 것이다.

표본으로 설정된 규모와 형상의 버섯 재배사를 전제로 각종 파라메타들의 기준 값을 정하고, 기준 값을 전후로 일정 비율의 증감에 따른 비용-편익의 연차적 변화를 살펴보았다. 이는 일종의 sensitivity를 분석하는 방식으로서 투자에 따른 비용-편익의 년차별 누적치가 양의 값으로 변하는 시점에서 손익분기점을 찾을 수 있었다. 본 sensitivity 분석에서는 건축비의 단가를 비롯하여 설치 부담이 비교적 높은 냉방시스템 설치 단가, 재배농가 경영효율을 좌우하는 소요 에너지 비용, 생산의 핵심 자재인 배지병의 단가, 재배사의 공간 활용효율을 반영하는 재배상 각 단별 재배병 박스의 줄 수, 배지 병당 생산 중량, 재배된 버섯의 판매단가, 연간 버섯재배 회수 등이 주된 분석 대상이 되었다.

2. 활용에 대한 건의

본 과제 의 연구결과를 효율적으로 활용하여 기대효과를 극대화시키기 위한 방안은 다음과 같다.

- 국가 지원이 이루어지고 있는 버섯 시설재배용 구조 및 환경설비 표준설계지침으로 활용할 수 있다.
- 다양한 버섯품종의 시설재배를 위한 유사기술 개발에 대한 기초자료로 응용할 수 있다.
- 보조 냉·난방 에너지원으로 태양집열장치와 히터펌프를 설계하는 지침으로 활용할 수 있다.
- 노동집약형 노지 재배 및 간이 재배 버섯 생산에서 자본집약 및 기술집약적 버섯 생산으로 전환함에 있어서 경영 합리화를 도모하는 데 활용할 수 있다.
- 다양한 버섯 종균 육종과 고품질 다수확 생산에 응용할 수 있다.
- 버섯재배사의 미 기상환경 관리지침으로 활용할 수 있다.
- 기타 생물생산 관련시설 환경조성에 대한 응용 기술개발에 활용할 수 있다.
- 버섯의 시설재배와 관련된 재배현장의 제반 기술적 애로사항의 해소와 자문을 위한 지침으로 활용할 수 있다.

SUMMARY

I. TITLE

Structural Modification and Productivity Optimization in *Pleurotus eryngii* Cultivation Facilities Equipped with Complex Environment Control System

II. OBJECTIVES AND NECESSITY

- 가. Suggestion of structural design materials for *Pleurotus eryngii*(or King Oyster mushroom) cultivation facilities.
- 나. Suggestion of data base concerning the research on actual state of required energy and countermeasure of energy saving in *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.
- 다. Suggestion of optimization data base of environment factors in *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.
- 라. Mathematical modelling of a mushroom house and environmental simulation.
- 마. The life cycle economic analysis of facility operation for *Pleurotus eryngii* cultivation

III. SCOPES OF THE STUDY

1. **Structure Field** ; The suggestion of structural design materials for *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

- ① An analysis on actual state of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.
- ② The literature review on *Pleurotus eryngii* .
- ③ An analysis on thermal insulation effect of farm structures coated with surface treatment.
- ④ Data analysis for structural design of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.
- ⑤ Analysis of energy efficiency by heat balance simulation.
- ⑥ Investigation on thermal insulation structure of entrance door of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.
- ⑦ Structural design of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

2. Environment Control Field ; The suggestion of data base concerning the research on actual state of required energy and countermeasure of energy saving in *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

- ① The analysis of environment factors in *King Oyster* mushroom cultivation facilities.
- ② Investigation on the effect of energy saving with heat pump system.
- ③ Study on the effect of energy saving by flat-plate solar collector system for *King Oyster* mushroom cultivation facilities.
- ④ Monitoring and analysis on operating situation of equipments for environmental control in *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.
- ⑤ Method of moisture removal on the surface of *King Oyster* mushroom.

3. Growing Field ; The Suggestion of optimization materials of environment factors in *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

- ① A study on optimum carbon dioxide(CO₂) concentration.

- ② An investigation of optimum growth temperature.
- ③ An investigation of optimum relative humidity.
- ④ Rresearch on appropriate illuminance.
- ⑤ Influence of composite environment factors during growing and developing stage.
- ⑥ Demonstration test in field.

4. Modelling and Simulation Field

- ① Mathematical modelling of a mushroom house and long term environment simulation.
- ② Life cycle economic analysis of mushroom house operation

5. Financial Field ; The life cycle economic analysis of facility operation for *Pleurotus eryngii* cultivation

IV. RESULTS

The results are summarized as follows:

1. Results on 「Structural Design of *Pleurotus eryngii* Cultivation Facility」

1) The structure of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities can be classified into simple and permanent frame type. The simple frame structures were mostly single-span type, and the permanent frame structures were rather multi-span than simple structures. The scale of cultivation facilities was very diverse regardless of structural type. But as a whole, the length, width, and ridge height were distributed approximately 20.0 m, 6.6~7.0 m and 4.6~5.0 m range, respectively. The floor area was about 132~160 m², and floor was built with concrete to protect mushrooms from various harmful infection.

1-1) The roof slope of the simple and permanent type showed about 41.5° and 18.6~28.6°, respectively. The width and layer number of growing bed for mushroom cultivation were around 1.2~1.6 m, 4 layers in common, respectively.

1-2) Most of the year-round cultivation facilities were equipped with cooler, heater, humidifier, and ventilation fan. Hot water boiler was the most commonly used heating system, others were electric heater or steam boiler. The industry-type air conditioner has been widely used for cooling. And humidity was controlled mostly by ultra-wave or centrifugal humidifier. But some farmers has been using nozzle system for auxiliary purpose. More than 90% of the mushroom house was equipped with the individually controlled system rather than the complex system. The inside temperature was usually controlled by sensor, but humidity and CO₂ concentration was controlled by timer for each growing stage.

- 1-3) The capacity of medium bottle was generally 850 cc and 1100cc, some farms used 800 cc, 950 cc, 1,200 cc and 13,00 cc. Most of mushroom produced has been usually shipped to either distributing store or joint market the number of layer for mushroom cultivation was mostly 4 layers, and humidifier and ventilating fan in cultivation facilities were most common equipments. But the inside and outside structural configuration of cultivation facilities and the control system of cooler and heater were quite different from those of Korea.
- 2) According to the results of literature review on *Pleurotus eryngii*, layer the number of growing bed in mushroom cultivation was 4 layers in most of other country as in Korea. The humidifier and ventilating fan in cultivation facilities were under similar situation. But the inside and outside structural configuration and the control system for cooler and heater were quite different among the countries including Korea.
- 3) In case of A, B and C box container(1,500×2,000×2,500mm), it was found that the thermal insulation effect of types coated with thermal insulation coating was improved remarkably more than that of no treatment. And the thermal insulation effects for both steel sheet(steel sheet galvanized of thickness 0.45mm) and sandwich panel type(50mm) were nearly similar.
- 3-1) There was not a significant difference of thermal insulation effect between thermal insulation coating and water paint coating.
- 3-2) In case of drum container filled with rough rice, the difference of heat transfer tendency and temperature variation among different surface treatments was nearly similar with that of box types of galvanized steel sheet. And there was considerable time lag of about 6 hours between the temperature of middle part of rice and that of inside or outside surface.
- 4) The variations of heating and cooling Degree-Hour simulated for Jinju area was clearly seen depending on the setting temperatures. The variations of cooling Degree-Hour depending on setting temperature was much more

sensitive than those of heating Degree-Hour. Therefore, it was expected that the variations of required energy in accordance with setting temperature or actual temperature maintained inside of the cultivation house could be estimated and also the estimated results of heating and cooling Degree-Hour could be effectively used for the verification of environmental simulation as well as for the calculation of required energy amounts.

- 4-1) When the cultivation floor areas are all equal, panel type houses to be constructed by various combinations of materials were found by far more effective than simple type pipe house in the aspect of energy conservation except some additional cost invested initially. And also the energy effectiveness of multi-span house compared to single span together with the prediction of energy requirement depending on the level insulated for the wall and roof area could be estimated. Additionally, structural as well as environmental optimizations are expected to be possible by calculating periodical and/or seasonal energy requirements for those various combinations of insulation level and different climate conditions, etc.
- 5) In the aspect of spatial use of cultivation facilities, suggested models were shown to be mostly reasonable in the aspect of heating and cooling, micro-meteorological stability, and utility effectiveness per unit floor area, etc.. Especially, the standard models to be suggested so far were thought to be not effective in its surface area and spatial volume per unit floor area as well as its ineffective structural design in the area around ceiling.
- 5-1) In the results of structural analysis for the models suggested through this study by using those section frames to be found on farms, the panel type structures of both single span and double span were estimated to be over designed, whereas arch-roofed pipe houses were mostly found to be under designed.

2. Results on 「Actual State Required Energy and Measure to Save Energy of *Pleurotus eryngii* Cultivation Facilities」 .

- 1) In case of simple frame type(**A-area**), ambient temperature during the experiment period was not predominantly different from that of a normal year. The capacity of the hot water boiler and the piping systems were not enough. Maximum air temperature difference between the upper and the lower growth stage during a heating time zone was about 2~3°C. The max. and min. relative humidity were ranged approximately 80~100%, and average relative humidity was ranged approximately 60~100%. And CO₂ concentration increased until to maximum 1,600~1,800ppm in accordance with growing stage. The illuminance in cultivation house was widely distributed from 20lx to 160lx in accordance with location, and it was maintained lower than the recommended illuminance range of 100~200lx. And the average yield per bottle was about 67~85g. But the optimal productivity might be evaluated by considering the quality and quantity of mushroom production, energy requirements, facility construction, and management cost, etc.
- 2) In case of simple frame type(**B-area**), ambient temperature during the experiment period was not predominantly different from that of a normal year. The capacity of the hot water boiler and the piping systems were not very enough. Maximum air temperature difference between the upper and lower growth stage during a heating time zone was about 2.0~6.0°C. But air cooling systems were enough. As the min. and average relative humidity were ranged approximately 42~80% and 67~95%, respectively, the min. relative humidity was very low maintained. And CO₂ concentration maintained very lower than the recommended concentration. The illuminance in cultivation house was widely distributed from 3lx to 60lx in accordance with position. In case of this area, as the average yield per bottle was about

54~102g, the quantity of mushroom production was mostly the same with average yield(67~85g) of A-region. But its quality was relatively lower than those of A-region. Electric energy consumption in each cultivation houses was different according to the cultivation term of mushroom and operating condition of the heater or cooler.

- 3) In case of permanent-frame structure, the maximum, minimum, and average ambient temperatures in the experiment site were ranged about -0.3~36.5°C, -15.0~23.5°C, -8.8~27.9°C, respectively and those of Jinju areas during the experiment period were ranged about -2.1~ 36.7°C, -13.3~24.9°C, -7.4~29.1°C, respectively. Therefore it was concluded that in the aspect of temperatures these two areas were not quite different from that of a normal year.
 - 3-1) Air temperatures in cultivation house before some improvement of system were maintained somewhat lower than setting temperature, and maximum air temperature difference between the upper and lower growing bed during a heating time period was about 5.1°C, because the capacity of electric heater and air circulation were not enough. But the air temperatures after system improvement were maintained within the limits range of setting temperature without stagnation happening of air. Air temperature distribution was generally distributed uniform.
 - 3-2) The difference between max. and min. air temperature of the second layer (in growing bed) before and after system improvement were ranged approximately 0.5~3.5°C and 0.7~3.9°C, respectively in comparison with average temperature. Relative humidity in cultivation house before improvement was widely ranged about 44~100%. But as the relative humidity after improvement was ranged approximately 80~ 100%, it was maintained within the range of relative humidity recommended.
 - 3-3) In case of the early period of germinating and late period of growing, the average CO₂ concentration in cultivation house was maintained under

1,000ppm regardless of the system improvement,. And in case of the late period of germinating, growing, and harvesting, CO₂ level was maintained respectively high(1,500~ 2,100ppm)-low (900~1,400ppm)-high(1,600~ 2,100ppm) before system improvement. However after system was improved, average CO₂ concentration was maintained about 1,200~2,400ppm range. The illuminance in cultivation house was widely distributed from 31lx to 65lx in accordance with position, and it was maintained much lower than the recommended illuminance range of 100~200lx. The acidity level pH of mushroom midium was ranged about 5.0~6.0, which was some lower range than the recommend acidity range of pH 5.5~6.5.

- 3-4) Regardless of cultivation season, house type, or method, yield was relatively ununiform. In case of culture with capacity 1,000cc medium bottle, the average yield per bottle was about 94~168g. The mushroom of the lowest grade % out of total yields in A and B house was ranged 26~39% and 23~36%, respectively. But the mushrooms graded as a super or good, fair, and others out of total yields were about 60%, 10% and 30%, respectively. In case of bottle capacity of 1,300cc, the portion of the lowest grade was less than 3% regardless of the cultivation house type and period. But the average yield weights of 500g per bottle in A- and B-house was 23% and 58%, respectively.
- 3-5) The electric energy consumed was quite different according to the cultivation season. The electric energy consumed during winter heating season was much more than that of summer cooling season.
- 3-6) During summer season, air temperature within cultivation house was maintained somewhat higher above setting temperature. But the capacity of cooling systems was generally enough for cooling the air down to setting temperature.
- 4) In case of heating process, the heat amounts absorbed from evaporator and rejected from condenser were approximately 9,000~12,000kcal/h and 13,000~

17,000kcal/h, respectively. The heat efficiencies of evaporator and condenser used in this experiment were approximately 79% and 83%, respectively. And the coefficients of performance(COP) for the heat pump and the total heat pump system were ranged about 2.9~3.5 and 1.5~2.4, respectively.

- 4-1) In the case of cooling process, the heat amount absorbed from evaporator was 17,100~17,700kcal/h. The heat efficiencies of evaporator used in this experiment was about 71~74%. The coefficients of performance (COP) for heat pump only and the total heat pump system during heating period were approximately 2.9~3.5 and 1.5~2.4, respectively, but th COPs of those during cooling period were about 2.71~2.88 and 1.99~2.22, respectively.
- 5) In the natural circulation system, the total heat amounts retrieved by starting recovery soon after sunrise were ranged from 2,460 to 4,110kcal/m², while the total heat amounts retrieved by starting recovery after sunset were ranged from 1,270 to 2,580kcal/m².
- 5-1) And the collector efficiency in natural circulation system were ranged from 48.6% to 59.6% when the collected heat was retrieved after sunrise and were 65.8~78.0% when the collected heat was retrieved soon after sunset.
- 5-2) When fluid circulation rates were 4.2 ℓ/min, 7.0 ℓ/min, and 9.7 ℓ/min, the collector efficiencies estimated for forced circulation system were 73.1~88.6%, 78.4~94.8%, and 64.2%~74.5%, respectively.
- 6) In case of complex environment control system, first of all, CO₂ sensor and humidity sensor must be developed so that they can be used in wet environment just like in mushroom cultivation house. And also it must be cheap and easy to handle.
- 7) The air temperature before improvement of the circuit diagram in control panel was controlled within +1.0°C ~ -2.0°C or ±1.0°C range. But the air temperature after improvement was stabilized within the limits of setting temperature. The relative humidities controlled with humidity sensor were

quite different with those measured in cultivation house

- 7-1) The air temperature in cultivation house was controlled within setting temperature range regardless of season, the capacities of heating and cooling system were enough, and CO₂ sensor was working well.
- 7-2) In order to stably produce the high quality mushroom, the environment control systems and/or equipment failures need to be observed all the time.
- 8) In order to get rid of the moisture on mushroom surface; ① the reduction of operating time of humidifier, ② the reduction of operation time of ventilation fan, ③ the reduction of RH by heating the air, ④ the reduction of RH by dehumidifying or cooling, ⑤ maintenance of uniform air temperature, etc.

3. Results on 「Optimization of Environment Factors in *Pleurotus eryngii* Cultivation Facilities」 .

- 1) CO₂ promotes development of primordia and depress differentiation of sporophore and gill containing basidia, have an effect on quality. This experiments were conducted to elucidate optimal level of CO₂ for King Oyster mushroom(*Pleurotus eryngii*). The King Oyster mushroom was cultivated under CO₂ concentration of 1,600, 2,400, and 3,200ppm. Harvest ratio in normal treatment plot were 98.6, 99.3 and 93.8% at 1,600, 2,400 and 3,200ppm, respectively, so 2,400ppm was optimal. The yield per bottle was 102.5g at 2,400ppm, better than 99.7g at 1,600ppm. The CO₂ concentration of 2,400ppm was also the best condition for quality. 6.1 at 2,400ppm was 115% of 1,600ppm's. In thinning treatment plot, quality at 2,400ppm was 9.5 better than 1,600ppm whose quality was 9.4. The yields per bottle were 90.7, 98.2 and 77.3g at 1,600, 2,400 and 3,200ppm respectively. These results show that 2,400ppm was optimal CO₂ concentration for quantity of King Oyster mushroom as well as quality.
- 2) The CO₂ concentration in growing house was different according to growth

and development days of mushroom. It was maintained uniformly within 800~1,000ppm range in the first period of germinating, but it was increased rapidly from later period of germinating. According to the rapid increase of CO₂ concentration in cultivation house, the growth of mushroom was also accelerated.

- 3) When the inside temperatures were set at 13, 15, and 17°C during growing period, the experimental plot treated by 15°C showed the best results in the aspect of yield ratio, yield per bottle, number of available stipe per bottle, total yield and quality. And relatively the lowest grade was found at 13°C.
- 4) When the setting temperature in cultivation house was fixed at 15°C (treatment-I plot), was changed by 3-stage from 17°C to 15°C (treatment-II plot), and was changed by 6-stage from 20°C to 15°C (treatment-III plot), yield ratio, yield per bottle, number of available stipe per bottle and total yield were attained superiority at II-treatment plot regardless of the normal and thinning treatment plot. And relatively the lowest grade was found at treatment-I plot.
- 5) When the relative humidity in cultivation houses was fixed at 70, 80, and 90% during growing period, yield ratio together with yield per bottle, number of available stipe per bottle, total yield and quality were attained superiority at the experimental plot of 90% RH regardless of the normal and thinning treatment plot. And there was exposed relatively the lowest grade at 70%.
- 6) When the setting values of the relative humidity by growth and development days were changed by 90, 85 and 80%, yield ratio together with total yield and quality of mushroom were attained superiority at treatment plot long relatively the days maintained by 90% and over.
- 7) The illuminance in cultivation house was widely distributed in accordance with position. In case of thinning treatment plot, the illuminance was correlated somewhat with the characteristics of sporangium regardless of

layer of growing bed. But no significant correlation was found between illuminance and characteristics of sporangium.

4. Results on 「 Mathematical Modelling of a Mushroom House and Environmental Simulation」 .

1) Summary

A simulation model describing the mushroom house thermal environment was developed for the purpose of evaluating numeric energy conservation technique and determining the more feasible alternatives.

The solar radiation model was developed to determine the solar radiation incident on the surface of mushroom house and the solar absorptance and reflectance of each surface.

A thermal radiation model was included to account for radiation heat loss. The radiation network method was used to describe the thermal radiation exchange between the mushroom house surfaces and environment. Gas radiation was included to consider the effect of high humidity and CO₂ concentration in the mushroom house atmosphere.

The moisture transfer model was coupled to the energy balance model by considering the latent heat of vaporization. A mushroom surface evaporation was described by the respiration of mushroom in proportion to body weight. A mushroom growth equation was developed based on the measured data.

Floor heat transfer was expressed by the finite difference technique and the system of equations was solved numerically to describe the randomly varying boundary conditions at the floor surface.

The last section of mathematical model was logic to control the mushroom house environment within specification limits which are selectable depending on the design criteria for mushroom species or operator's selections. Environmental

modification was accomplished with supplemental heating or cooling and forced ventilation. The control of all these processes was based only on the temperature and CO₂ concentration from the equilibrium and transient equations. The energy and mass balance equations were formulated separately in several parts and these parts were solved sequentially by estimating some of the unknown variables in each subroutine. Then the overall solution was determined by an iteration process.

Validation of the simulation model was not achieved so far because of the lack of mushroom behaviour and complexity of control logic between CO₂ concentration and temperature setting points. These problems are expected to be solved before long.

Using this developed model, various mushroom house phenomenon were simulated. For a given location and size of mushroom house, there would be different amount of energy requirements for heating and cooling the mushroom house depending on setting temperatures. But for the present, the relationship between CO₂ concentration and ventilation rate were not to be simulated owing to the limitation of control logic.

The simulated monthly energy requirements of various setting temperature were analyzed and compared with the results of heating-cooling Degree-Hour. Also the monthly overall heat transmission coefficients of the mushroom house were estimated. The simulated results indicate the variation depending on the season from 0.0177 in May to 0.0694 in October.

2) Results

A simulation model describing the mushroom house thermal environment was developed for the purpose of evaluating numeric energy conservation technique and determining the more feasible alternatives.

There are several sub-models such as the solar radiation model, thermal radiation model, moisture transfer model, floor heat transfer model, etc., together with the mathematical logic to control the mushroom house environment within the specified limits.

Temperatures of the mushroom house air, mushroom surface, wall surface, and floor surface can be predicted under various weather condition and setting temperature using the computer model developed in this study.

The predicted short term and/or long term simulation results are expected to be used in determining heating and cooling capacities. Some of the simulated results related with heating and cooling energy requirements were compared with heating and cooling Degree-Day data. But there is application limitation of this simulated results in the aspect of its reality because this model is not completed in controlling CO₂ concentration by ventilation logic.

This modelling process would be continued and completed by modifying CO₂ control logic together with describing mushroom growth model including heat and CO₂ release during respiration process.

5. Results on 「 Life Cycle Economic Analysis」 .

1) Summary

To construct a new mushroom house as a substitute for conventional mushroom house, it is necessary to make a relatively large initial investment. This investment is gradually returned through production income over the lifes of the building together with various facilities equipped in it. Therefore, the most common type of economic analysis of mushroom growth system is a life

cycle analysis of the costs and benefits.

The analysis used in this work is the net present method. All future costs and returns of a given mushroom house are discounted to the time of initial investment (present). Then the cost of ownership is compared to the return from the system.

There are a number of factors that affect both the cost of ownership and the return provided by operating the mushroom house. These factors are the initial cost of mushroom, applicable tax credit, salvage value, discount rate, economic life length of each component, maintenance costs, property tax rate, insurance costs, marginal income tax rate, energy price, inflation rate, etc. Values for these parameters must be specified at the outset of the analysis. These values may be known or they may have to be estimated.

The analysis was carried out assuming the mushroom house unit was purchased with equity capital in a single cash payment rather than with borrowed capital that was repaid in installments. The influence of income tax rate, tax credit, and property tax can cause some variation in the cost of the system, but these influences were not considered in this work. Maintenance requirements were assumed to be uniform over the lives of both mushroom house and facilities equipped in it. But they were assumed to be escalated each year by the general inflation rate. Mushroom production was assumed to accrue in a single lump sum at the end of each year.

This economic analysis may be applicable to nearly any investment in farm facilities to be built for production purposes. This also can be used for economic optimization of any agricultural system, if the variation of system performance with system size and other design parameters can be accurately predicted for the application in question. This analysis method has been developed and coded into a balance sheet for use on an EXCEL program. Using this programmed analysis, a large number of case studies can be performed using different combinations of economic conditions. These results will be very

useful to individuals considering investment in a mushroom house, or any similar production system.

By the way of sensitivity analysis for each important parameter, change of the marginal cost-benefit period could be checked. These parameters included in this analysis are as follows; construction cost of mushroom house, cost of cooling system, required cooling and heating energy amounts, unit price of mushroom media bottle, growing number of media bottles, production weight per unit bottle, sale price of mushroom, and annual number of growing period, etc.

2) Results

The analysis used in this work is the net present method. All future costs and returns of a given mushroom house are discounted to the time of initial investment (present). Then the cost of ownership is compared to the return from the system.

This analysis method has been developed and coded into a balance sheet for use on an EXCEL program. Using this programmed analysis, a large number of case studies can be performed using different combinations of economic conditions. These results will be very useful to individuals considering investment in a mushroom house, or any similar production system.

By the way of sensitivity analysis for each important parameter, change of the marginal cost-benefit period could be checked. These parameters construction cost of mushroom house, cost of cooling system, required cooling and heating energy amounts, unit price of mushroom media bottle, growing number of media bottles, production weight per unit bottle, sale price of mushroom, and annual number of growing period, etc.

CONTENTS

Chapter 1. Overview of the project	38
Section 1. Objectives and necessity	38
Section 2. Scopes of the study	41
Chapter 2. Status of the technology development in Korea and foreign countries	43
Section 1. Status and problem of development of the technique in Korea and other countries	43
Section 2. The stance of study results	
Section 3. The future prospect	44
Section 4. Propriety of technical introduction	44
Chapter 3. Research contents and results	45
Section 1. Structural design of <i>Pleurotus eryngii</i> cultivation facilities	47
Section 2. Research on actual state of required energy and countermeasure of energy curtailment	114
Section 3. Optimization of environment factors of cultivation facilities	253
Section 4. Mathematical modelling of a mushroom house and environmental simulation	286
Section 5. Life cycle economic analysis for <i>Pleurotus eryngii</i> cultivation facilities operation	317
Section 6. Results	349
Chapter 4. Achievement and contribution to related fields	362

Section 1. Achievement	362
Section 2. Contribution to related fields	363
Chapter 5. Application of the results	365
Chapter 6. Overseas technology information collected during the research	366
Chapter 7. References	368
Appendix	374

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	38
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	38
제 2 절 연구개발의 내용 및 범위	41
제 2 장 국내의 기술개발 현황	43
제 1 절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점	43
제 2 절 연구결과의 위치	43
제 3 절 앞으로 전망	44
제 4 절 기술도입의 타당성	44
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	45
제 1 절 재배사의 구조설계	47
제 2 절 소요에너지 실태파악 및 에너지 절감 대책	154
제 3 절 재배사의 환경요인 최적화	253
제 4 절 재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션	286
제 5 절 경제성 분석	317
제 6 절 결론	349
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	362
제 1 절 연구개발 목표달성도	362
제 2 절 관련분야 기술발전의 기여도	363

제 5 장 연구개발결과의 활용계획	365
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	366
제 7 장 참고문헌	368
부록	374

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라에 재배되고 있는 버섯은 양송이, 느타리, 표고, 팽이 및 영지 등 19종정도이며, 버섯재배 농가수, 재배면적 및 생산량은 각각 11,267농가, 1,327ha, 156,599톤으로 그 생산량은 6,909억이다. 이 금액은 농업생산액의 약 2.1%으로써 화훼류나 특용작물과 비슷한 수준이다. 전체 생산량 측면에서 보면, 느타리버섯이 약 42%, 팽이 및 표고버섯이 23%정도를 차지한다. 또한 버섯산업은 식문화의 고급화와 건강식품으로 알려지면서 생산량이 1991년부터 연평균 8%씩 증가하여 왔다. 특히 버섯은 재배시 농약이 거의 필요하지 않는 고급농산물이면서 건강식품으로 이용되고 있고, 또한 기술, 노동 및 자본 집약적인 산업이기 때문에 온실재배 작물과 같이 고도의 재배기술을 요하는 작물로서 재배사의 환경관리와 경영계획의 유무가 경영성공에 큰 영향을 주기 때문에 관리기술 및 경영기법이 대단히 중요하다. 그리고 버섯소비량은 국민소득과 국민경제에 민감하게 작용하기 때문에 지속적인 경제발전은 버섯소비를 촉진할 것으로 예상되면 향후 발전가능성이 대단히 높은 작물 중에 하나이다.

그리고 1992부터 1999년까지 정부에서는 농가의 소득증대와 버섯의 국가경쟁력을 높이기 위하여 전국 4,309개소를 대상으로 버섯 종균센터·배지시설, 저온저장고 등을 포함한 총 128ha정도의 첨단 버섯재배시설을 정부와 지방자치단체의 보조, 융자, 농가 자부담 형태로 보급하였다.

또한 새송이버섯의 인공재배법은 1958년에 최초로 시도되었으며, 국내에서도 1997년 5월경 톱밥을 이용한 병재배에 성공하여 일반 농가에 보급되기 시작하였다. 이 품종이 보급됨으로써 느타리버섯을 재배하던 많은 재배자들이 새송이버섯 재배로 방향 전환을 시도하고 있는 실정이다. 현재 새송이버섯 재배사는 기존의 느타리버섯 재배사를 개조한 간이형과 샌드위치패널을 이용한 영구형이 대부분이다. 또한 최근 국내에서 재배되는 버섯 중 생산량 측면에서 느타리버섯 다음으로 우위를 점하고 있는 팽이버섯 재배의 한계가 현실화되면서 새송이버섯 재배로의 작목 전환을 고려중인 곳이

많기 때문에 생산량의 증가에 따른 가격불안 사태가 우려되며, 중장기적으로는 시설형 버섯재배사의 관리 및 운용과 관련된 경영합리화가 요구될 것으로 판단된다. 그러므로 이러한 문제들을 미연에 방지하고 농가의 고소득 작목으로 육성하기 위하여 고품질 및 다수확 생산을 위한 현대화 및 생력화된 영구재배사와 재배기술을 개발·보급하여 저장성이 우수한 새송이버섯을 송이나 표고와 같이 국내의 주요 수출 버섯의 하나로 육성하여야 할 것이다.

따라서 본 과제는 이러한 점을 감안하여 새송이버섯 재배사의 구조적 안전성이나 시설의 공간효율성 증대시키고, 환경조절 기술개발 및 환경요인 최적화에 필요한 자료를 제공하기 위하여 수행하였으며, 주요 연구목적과 필요성을 요약하면 다음과 같다.

1. 연구의 목적

- 시설의 구조설계 자료제시
- 재배사의 소요에너지 파악 및 에너지 절감대책 자료제시
- 재배사의 환경요인 최적화 자료제시
- 재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션
- 경제성 분석

2. 연구의 필요성

가. 기술적 측면

- 1) 새송이버섯 재배사의 구조 및 환경 설계 기술개발
 - 주요 구조체의 설계
 - 새송이버섯 재배사의 환경인자(온·습도, CO₂, 조도 등) 적정범위 구명
- 2) 새송이버섯 재배사의 환경조절 기술개발
 - 온도, 습도, CO₂ 농도, 조도 등의 측정

- 환경인자별 제어특성 구명
 - 복합환경 제어방법 개발
 - 작업환경 개선
- 3) 새송이버섯의 시설재배 환경요인 최적화 실험연구
- 표준재배법을 기준으로 환경인자들이 버섯생육에 미치는 영향을 실험적으로 구명
 - 구명된 최적 환경조건의 복합적 작용과 생산성 관계 구명
 - 환경 요인별 최적조건을 현장중심으로 전환하기 위한 파라미터 구명

나. 경제·산업적 측면

- 1) 경제적 측면
- 농업분야 소득증대, 수입억제 및 수출증진
 - 농업분야 화석에너지 사용 절감
- 2) 산업적 측면
- 기술집약적·자본집약적 새송이버섯 영농기술 발전
 - 고품질 버섯생산에 의한 수입 대체 및 수출 증대
 - 전천후 고품질 버섯의 주년생산 및 가격 안정화

다. 사회·문화적 측면

- 기능·기호성 식품개발 및 식생활 개선
- 국가 지원사업의 성공적 유도
- 농촌 노동력 감소 및 고령화 대처
- 에너지 절약 및 대체에너지 활용

제 2 절 연구개발의 내용 및 범위

본 과제에서 주관 및 협동연구기관이 수행한 주요 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

1. 주관연구기관 : “시설의 구조설계 자료제시, 재배사의 소요에너지 실태 파악 및 에너지 절감 대책 수립, 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션, 경제성 분석”

가. 시설의 구조설계 자료 제시

- 기존의 보고된 국·내외 구조설계 자료수집 및 분석
- 재배사의 효율적 입체 공간 활용대책 분석
- 단동 대비 연동구조의 장·단점 비교 분석
- 재배사 주 건축재의 특성 분석
- 출입구의 단열구조 분석
- 연동구조의 에너지 절감 및 건축비 절감 효과 분석
- 작업효율 검토

나. 재배사의 소요에너지 실태 파악 및 에너지 절감 대책 수립

- 계절별 생육단계별 재배사 내 경시적 미 기상인자(온도, 습도, CO₂, 조도 등) 측정에 의한 실측자료 구축과 버섯 생산량 분석
- 소요에너지 실태 파악을 통한 경영비중 분석
- 에너지 절감 응용기술 제시
- 환경제어용 설비의 작동상황 측정 및 분석
- 환경조절설비의 제어논리개발
- 제어시스템의 오작동시 대체방안 강구
- 버섯표면의 유리 수분 처리 방법 제시

다. 재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션

- 수학적 모형 개발
- 환경 시뮬레이션

라. 경제성 분석

- 시설 및 설비의 초기투자과 유지관리비용 분석
- 재배단지의 경영효율 분석

2. 협동연구기관 : “재배사의 환경요인 최적화”

● 재배사의 환경요인 최적화

- 최적 탄산가스농도 구명
- 최적 재배온도 구명
- 최적 상대습도 탐색
- 적정 광도 구명
- 현장실증 시험

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

1. 국내

- 버섯재배사의 구조 설계지침 및 환경조절 설계지침 미비
- 날로 증가하는 시설버섯재배 규모에 비해 관련기술 개발이 미진
- 버섯의 생리학적 연구활동에 비해 구조 및 환경 관련 연구의 부족
- 버섯재배 관련 환경조절 연구가 현황 파악적이고 피상적 연구에 불과
- 버섯재배 농민들의 환경조절 관련 애로 사항이 날로 증폭

2. 국외

- 아직 초보 단계로서 구체적인 설계지침이 수립되지 못했으며,
- 노지 재배와 간이시설 재배에서 점차 자동화 대량 생산단계로 진입하고 있으나,
- 새송이버섯의 경우, 한국보다 기술여건이 부족하며, 관련기술에 대한 정보공개가 제한되어 있다.

제 2 절 연구결과의 위치

- 새송이버섯 품질과 수량에 직접적으로 관여하는 중요 요인을 과학적이고 체계적으로 연구하여 수출형 고품질버섯을 안정적이고 지속적으로 생산할 수 있는 정밀 환경조건을 개발하여 확립한 것은 전 세계를 통틀어 독창적이고, 농업인에게 경제적인 효과를 직접적으로 느끼게 하는 기술인 것으로 사료된다.

제 3 절 앞으로 전망

- 고품질의 기능성 버섯식품의 국 내·외적 수요증대
- 버섯 품질 및 가격의 국제 경쟁력 제고를 통한 수입 억제 및 수출 증대
- 버섯재배 환경의 계절적 제약에 따른 공급 불안정이 가격 불안정 초래
- 버섯의 시설재배 확산에 따른 재배사의 구조설계 및 환경설계 지침이 불가피
- 버섯재배 관련 시설의 구조 및 환경개선이 경영의 성과를 좌우
- 첨단기술의 발전에 따른 버섯재배 관련기술의 균형적 발전 필요

제 4 절 기술도입의 타당성

본 과제는 버섯재배와 관련된 다음과 같은 두 가지 측면에서 기술도입의 어려움을 파악할 수 있다:

첫째는 버섯종균의 개발·육종 및 생태적 측면에서의 기술로서, 일본을 비롯한 북미지역 및 중국 등지에서 기존에 축적된 Bio-산업 관련 유사 분야의 기술을 바탕으로 비교적 활발한 기술개발이 이루어지고 있어 그 기술 도입이 가능할 것으로 판단되나, 이 분야는 본 연구 분야와 직접적인 관계가 없다. **둘째**는 버섯 재배 및 생산성 제고 측면에서의 환경조절 기술로서, 다음과 같은 이유로 기술도입이 불가능하다:

- 시설재배산업은 기술 및 자본집약적 산업이라 버섯재배가 활발한 중국의 경우, 주로 노지재배에 의존하는 관계로 시설재배에 필요한 환경제어 기술개발이 부진.
- 버섯의 주요 소비국인 일본을 비롯한 북미지역 등에서도 시설재배 전용의 구조물에 대한 설계지침이 없으며, 특히 환경제어 관련 분야의 단편적 기술개발이 진행되고 있을 뿐, 아직 기술체계가 수립되지 못한 실정이다.
- 특히, 4계절의 구분이 명확하고 버섯재배와 관련된 지정학적 여건이 유리한 한국적 특성에 부합되는 고유의 시설구조 및 환경조절 체계는 비록 선진국에서 연구가 이루어지더라도 기술도입에 별 도움이 되지 못할 것이다.
- 따라서, 한국 고유의 특성에 적합한 연구·개발과 기술을 축적함으로써 그 성과를 보급할 수 있는 선도적 역할을 할 수 있다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

본 과제는 새송이버섯 재배사의 구조적 안전성이나 시설의 공간효율성 증대시키고, 환경조절 기술개발 및 환경요인 최적화에 필요한 자료를 제공하기 위하여 수행하였으며, 주요 연구목표를 분야별로 나누면 구조, 환경조절, 경영 및 재배분야로 나눌 수 있고, 각각의 분야별로 목표는 재배사의 구조설계 자료 제시, 재배사의 소요에너지 실태 파악 및 에너지 절감대책 수립, 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션, 경제성 분석 및 재배사의 환경요인 최적화이다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 본 과제에서는 다음과 같은 연구를 구체적으로 수행한 후, 그 결과를 이미 발표하였거나 발표를 준비 중에 있다. 본 장에서는 다음에 열거한 연구결과를 중심으로 기술한다.

○ 재배사의 구조설계(구조분야)

- 현장 실태조사
- 문헌조사
- 에너지 및 건축비 절감을 위한 구조재의 단열효과 분석
- 재배사 구조설계용 자료 분석
- 열수지 시뮬레이션에 의한 재배사의 에너지 이용효율 분석
- 출입문의 단열구조 검토
- 버섯 재배사의 구조설계도 작성

○ 소요에너지 실태 파악 및 에너지 절감 대책(환경조절분야)

- 새송이버섯 재배사의 환경요인 분석
- 히프펌프에 의한 에너지 절감효과 검토
- 태양열집열기에 의한 에너지 절감효과 검토
- 환경제어용 설비의 작동상황 추적 및 분석
- 버섯표면의 유리수분 처리방법 제시

○ 재배사의 환경요인 최적화(재배분야)

- 적정 탄산가스농도 구명
- 최적 재배온도 구명
- 적정 상대습도 구명
- 적정 광도 구명
- 생육시기별 최적 환경요인 구성
- 현장 실증시험

○ 재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션(모형 및 시뮬레이션 분야)

- 수학적 모형 개발
- 환경 시뮬레이션

○ 경제성 분석(경영분야)

- 시설 및 설비의 초기투자과 유지관리비용 분석
- 재배단지의 경영효율 분석경제성 분석

제 1 절 재배사의 구조설계

1. 현장 실태조사

현재 국내의 경우, 재배사에 관한 표준설계도나 시공지침이 없기 때문에 재배사의 신축이나 환경조절은 대부분 경험적 판단과 관행에 의해서만 이루어지고 있다. 또한 이들 재배사들의 구조는 안전성도 검증되지 않았을 뿐만 아니라 표준재배사에 관한 어떠한 자료도 전무한 상태이므로 각 농가마다 재배사의 구조가 상이한 실정이다. 특히 재배사의 내부 온도, 탄산가스농도, 습도 및 조도 등 환경적 요인을 잘 조절함으로써 얻을 수 있는 고품질 버섯의 생산은 체계화되어 있지 못한 환경조절기술로 인해 농가마다 시행착오 등 많은 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 새송이버섯 재배사 구조의 형상과 단열성, 환경조절 장치 및 방법 등을 조사하여 새송이버섯 재배사의 규격을 표준화하고, 환경조절기술을 체계화하기 위한 기초 자료로 사용할 목적으로 서부경남지역을 대상으로 새송이버섯 재배사의 실태를 조사하고 분석하였다.

가. 재료 및 방법

1) 조사지역 및 조사방법

조사대상 지역은 서부 경남지역을 중심으로 기존의 느타리버섯 재배사를 개조하거나 파이프를 주 골조로 하고 플라스틱피복재, 차광재 및 보온덮개 등을 이용한 재배사(이하 간이형, 보온덮개형 및 반영구형이라 표기 함)와 샌드위치 이용한 재배사(샌드위치 패널형 및 영구형이라 표기 함)를 주 대상으로 하였다. 그리고 냉·난방 시설을 갖추어 연중 재배가 가능한 재배사로 하였다. 조사기간은 2003년 12월부터 2004년 5월에 집중적으로 실시하였으며, 현지를 방문하여 준비된 설문에 의해 직접 문의하였다. 그리고 조사과정에서 재배사의 표준설계도, 시방서 등 규격화할 수 있는 자료가 없었기 때문에 대부분 실측 또는 관측에 의해 조사하였다. 조사된 재배사는

15개 지역, 즉 진주, 사천, 고성, 의령, 함천, 함안, 김해, 마산, 진해, 밀양, 거제, 창녕, 거창, 산청, 양산지역에 있는 90여개 재배사 중에 무작위로 선정된 약 60개소 정도로 하였다.

Photo 1-1은 일반적으로 농가에 보급되어 있는 반영구 및 영구재배사를 나타낸 것이고, **Photo 1-2**는 진해근교에서 인공적으로 조성된 동굴에서 연중 버섯을 재배하는 전경을 나타낸 것이다.



(a) Simple frame type



(b) permanent type

Photo 1-1. View of typical structures for *Pleurotus eryngii* cultivation.

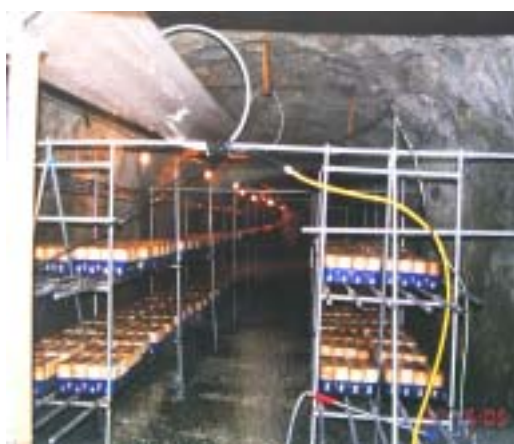


Photo 1-2. View of *Pleurotus eryngii* cultivation in artificial cave.

2) 조사내용

재배사의 보유 및 사용실태를 파악하기 위하여 일반사항, 재배사 및 재배상의 규모, 환경조절시스템, 기타 사항 등에 대해 조사하였으며, 세부조사 내용은 **Table 1-1**과 같다.

Table 1-1. Detailed contents of the questionnaire.

Classification	Detailed contents
General subject	Location, Address, Farmers' experience
Outlook of cultivation house	Type of cultivation house, Sizes of cultivation bed
Environmental control system	Apparatus for environmental control, Control method or process, Water resource
Others	Size of bottle for culture medium, Circulation market, etc.

나. 결과 및 고찰

1) 일반사항

버섯재배 농가의 일반적인 특성을 파악하기 위하여 버섯재배경력을 조사하였으며, 그 결과는 **Table 1-2**와 같다. 재배경력에는 새송이버섯 재배기간 뿐만 아니라 느타리버섯 재배기간도 포함되어 있다.

Table 1-2에서 알 수 있듯이 재배경력이 2~4년 정도가 가장 많은 것으로 조사되었고, 6년 이상인 농가도 다수 있는 것으로 나타났다. 그리고 2년 이하인 농가는 6개 소로서 새송이버섯을 처음 재배하는 농가였다.

Table 1-2. Farmers' experience of mushroom cultivation.

Classification	Farmers' experience(year)				Total
	0~2	2~4	4~6	over 6	
No. of farm	6	29	4	9	48

2) 재배사의 개황

가) 재배사의 형태

Table 1-3은 재배사의 형태별 분포를 나타낸 것이다. 전체 조사대상 농가 60농가 중 48농가가 단동재배사이고, 12농가가 연동재배사를 운영하고 있었다. 단동재배사 중에서 반영구 및 영구재배사의 비율은 각각 56% 및 40%정도를 보였다. 그리고 기타 2곳은 동굴 재배사를 나타낸 것이다. 반면 연동재배사의 경우는 주로 패널을 이용한 영구재배사가 주류를 이루고 있음을 알 수 있었다.

Table 1-3. Type classification of cultivation facilities.

(Unit ; no. of farm)

Structure type	Single-span (span number)							Multi-span (span number)					Sub-total	Total	
	1	2	3	4	5	6	7	2	3	4	6	12			
	Sub-total							Sub-total							
Simple	3	6	10	7	-	-	1	27	-	1	-	-	-	1	28
Permanent	3	8	2	2	2	1	1	19	6	2	1	1	1	11	30
Others	-	1	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2
Total	13	9	2	1	2	1	2	48	6	3	1	1	1	12	60

나) 재배사의 규모

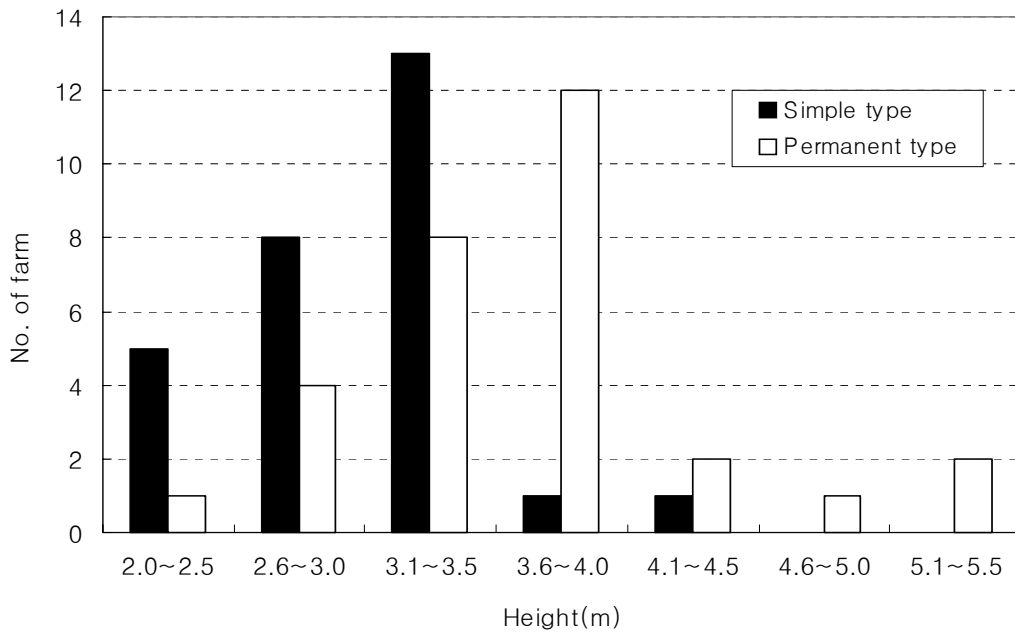
Table 1-4는 조사대상 재배사의 길이를 나타낸 것이다. 재배사 형태에 관계없이 길이가 16~25m 정도의 범위에 있는 농가가 대부분을 차지하고 있었다. 이 외에도 15m 이하나 30m이상인 농가도 다소 있었지만, 이러한 경우를 제외하면 농가에서 경영하는 재배사의 길이는 형태에 관계없이 대부분 20m 전후임을 알 수 있었다.

Table 1-4. Length distributions of cultivation facilities.

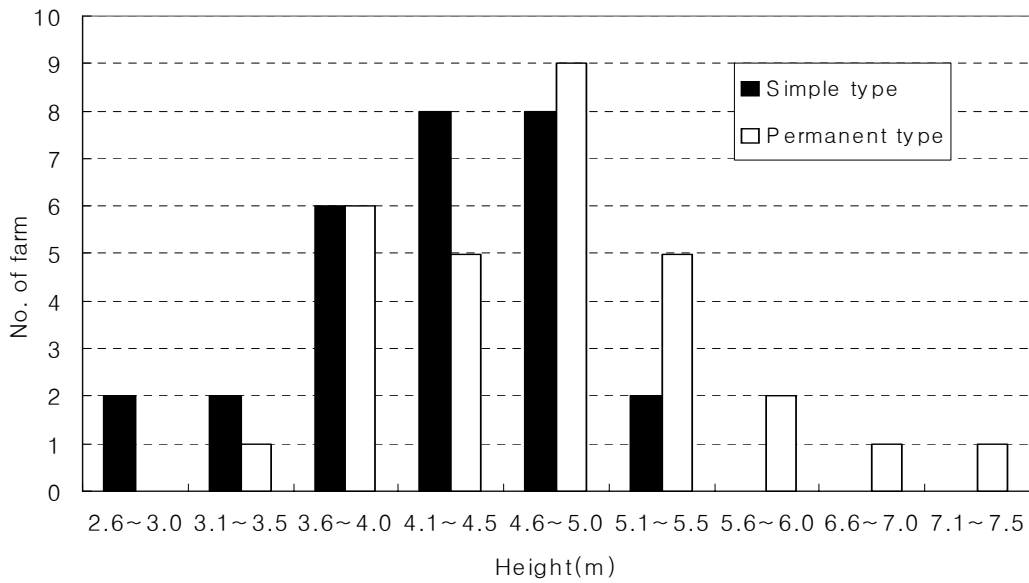
(Unit ; no. of farm)

Structure type	Length(m)						Total
	10~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	
Simple	1	18	7	1	-	1	28
Permanent	8	14	5	-	2	1	30
Total	9	32	12	1	2	2	58

Fig. 1-1의 (a)와 (b)는 재배사의 측고와 동고를 나타낸 것이다. Fig. 1의 (a)와 같이 반영구재배사의 경우 측고는 3.1~3.5m사이의 농가가 가장 많았고, 그 다음이 2.6~3.0m이었다. 영구재배사의 경우, 3.6~4.0m인 재배사가 가장 많았으며 그 다음이 3.1~3.5m정도로서 상대적으로 반영구재배사보다 약간 높은 경향을 보였다. Fig. 1의 (b)에서 지붕면 경사도를 결정짓는 동고(棟高)를 보면, 측고와 마찬가지로 영구재배사가 반영구재배사보다 전체적으로 약간 높은 경향을 보이고 있지만, 전체적으로 볼 때 형태에 관계없이 동고 3.6~5.0m인 재배사가 약 72%(42농가)정도를 차지하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 측고보다 상대적으로 동고의 분포범위가 좀더 다양함을 알 수 있었다.



(a) Eaves height



(b) Ridge height

Fig. 1-1. Height distributions of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

Table 1-5는 재배사의 폭을 나타낸 것으로서, 폭 6.6~7.0m인 농가가 19개소로서 가장 많은 것으로 조사되었지만, 일반적으로 길이, 측고 및 동고에 비해 상대적으로 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 이것은 재배사 내부의 버섯 재배상(베드)의 폭, 차량의 출입여부, 작업 공간 등이 재배농가마다 다르기 때문인 것으로 판단된다.

그리고 **Fig. 1-1**에서 재배사의 길이가 20m전후인 점을 고려하고, 폭 6.6~7.0m를 기준으로 재배사의 바닥면적을 계산하면 약 132~140㎡(40~42평)/동 정도의 범위임을 알 수 있다. 일반적으로 이 정도의 바닥 면적이면, 노동인구 2인 가족을 기준으로 볼 때 한 주기 동안 재배할 수 있는 적정한 배지병수는 15,000병 전후이다.

그러나 재배사의 동별 바닥면적은 작업의 효율성, 가용 노동력, 주기별 재배량, 환경 조절장치의 용량이나 종류 등과 관계가 있으므로 이러한 요인들을 충분히 검토한 후, 결정되어야 할 것으로 판단된다.

Table 1-5. Width distributions of cultivation facility.

(Unit ; no. of farm)

Structure type	Width(m)						Total
	under 5.0	5.6~6.0	6.1~6.5	6.6~7.0	7.1~7.5	7.6~8.0	
Simple	1	5	3	9	4	6	28
Permanent	7	5	-	10	2	6	30
Total	8	10	3	19	6	12	58

Fig. 1-1과 **Table 1-5**에서 상대적으로 주로 많이 조사된 재배사의 측고(반영구 2.0~2.5m, 2.6~3.0m 및 3.1~3.5m, 영구 2.6~3.0m, 3.1~3.5m 및 3.6~4.0m), 동고(반영구 3.6~4.0m, 4.1~4.5m 및 4.6~5.0m, 영구 3.6~4.0m, 4.1~4.5m, 4.6~5.0m 및 5.1~5.5m) 및 폭(6.6~7.0m)에 대한 중간 값을 기준으로 반영구 및 영구재배사의 지붕 경사각을 개략적으로 구해보면, 각각 41.5° 및 18.6°~28.6°로 나타나 반영구재배사의 지붕경사도가 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 농업용 아연도 강관을 주 골조재로 제작된 반영구재배사의 경우는 설하중에 대한 대응방안으로 판단된다. 그러나 재배사의 동고, 측고, 길이, 폭, 주 골조재 간격 및 크기 등은 풍하중 및 설하중에 의한 자연재

해를 최소화하기 위하여 해당지역의 기상여건을 충분히 검토한 후, 결정되어야 할 것으로 판단된다. 또한 재배사 형태에 관계없이 재배사의 규모는 재배농가마다 다양하였다.

다) 재배상의 규모

Photo 1-3은 반영구 및 영구재배사의 내부 전경을 나타낸 것이다. Photo 3 (a)는 뒤집기 후, 버섯 자실체의 생육을 보인 것이며, Photo 3 (b)는 입상 후, 버섯의 발이를 위해 뒤집기 하기 전의 모습이다. 반영구 및 영구재배사의 경우, 입상과 폐상할 때에 중앙통로에 차량진입이 가능할 정도의 폭은 2.4m 이상이지만, Photo 3(a), (b)의 중앙통로는 각각 2.4m 및 2.0m이다. 그러나 차량진입여부는 재배사 형태와 관계없이 시공자재나 재배농가에 따라 다르다.



(a) Simple type



(b) Permanent type

Photo 1-3. Inside view of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

Table 1-6은 재배상(베드)의 폭을 나타낸 것이다. 재배상의 길이는 일반적으로 재배사 길이에서 끝단의 작업통로로 이용하는 2m정도를 제외한 길이로 보면 된다. 그리고 재배상의 폭은 재배사의 형태에 관계없이 주로 1.2~1.6m정도의 범위에 있는 것으로 나타났다. 이 정도의 폭이 병재배를 할 때, 작업의 용이성을 충족시키면서 재배가 용면적을 최대화시킨 것으로 판단된다. 조사대상 농가 중 1.6m이상인 재배상은 느타리버섯을 재배할 때, 균상재배 하던 것을 그 데로 새송이버섯 재배사로 이용하고 있는 농가인 것으로 판단된다.

조사대상 재배사의 재배상 단수는 대부분 4단이고, 그 다음이 3단으로 재배하는 농가 순이었다. 이 외에도 낮게는 2단, 높게는 6단까지 사용하고 있는 곳도 있었지만, 5~6단으로 재배하는 곳은 자가 종균생산, 판매 및 재배까지 동시에 이루어지고 있는 대형 재배사로서 일반재배 농가에서는 볼 수 없는 지게차, 재배상 작업대 등이 잘 구비된 재배사이다. **Table 1-7**은 재배상의 단수를 나타낸 것이다.

Table 1-6. Width distributions of growing bed for *Pleurotus eryngii* cultivation. (Unit ; no. of farm)

Structure type	Width(m)					over 2.1	Total
	under 1.0	1.2~1.4	1.4~1.6	1.6~1.8	1.8~2.0		
Simple	-	10	17	-	-	1	28
Permanent	2	13	9	4	-	2	30
Total	2	23	26	4	-	3	58

Table 1-7. Stair number of growing bed for *Pleurotus eryngii* cultivation.

(Unit ; no. of farm)

Structure type	Stair					Total
	2	3	4	5	6	
Simple	1	8	18	1	-	28
Permanent	1	6	18	2	3	30
Total	2	14	36	3	3	58

재배상의 단간 높이는 0.45~0.70m 범위로서 난방방법, 즉 온수보일러의 파이프 위치(재배사 바닥, 측벽, 재배상 직하부 등)나 온풍난방에 의한 덕트의 위치, 재배사의 측고 및 둥고, 작업의 편의성, 재배경험 등을 고려하여 재배농가의 주관적 판단에 의해 다양한 형태를 보였다.

이와 같이 재배상의 폭, 단수 및 단간 높이 등은 재배사의 중앙 통로의 활용목적, 즉 배지병의 입고 및 출하를 위한 소형차량이나 지게차 및 운반용 기구 등의 출입여부, 재배상의 이동성 여부, 재배사의 측고나 둥고 및 폭 등을 고려하고, 작업의 편의성을 점목시킨 것으로 판단되지만, 재배사의 규모와 마찬가지로 재배농가 마다 다양한 형태를 보였다.

따라서 이상의 문제점들을 해결하고, 고품질의 버섯을 안정적으로 재배하기 위해서는 노동력, 작업의 효율성, 미래의 버섯산업, 자동화, 환경조절설비 등을 고려한 농가 보급형 표준버섯재배사의 도입이 절실한 것으로 판단되었다.

3) 환경조절시스템

새송이버섯의 재배는 기본적으로 버섯의 발이 및 생육에 적합한 환경을 인위적으로 조성해 줌으로써 버섯의 품질과 생산량을 높이는 데 그 목적이 있다. 따라서 최적의 환경을 조성하기 위한 재배사의 형태, 규모 및 각종 환경조절장치는 밀접한 연관성을 갖고 있는데, 본 조사에서 조사한 환경조절장치는 버섯재배사의 환경조절에 필수적인 적정온도를 유지할 수 있는 장치와 습도조절장치, 탄산가스 농도조절을 위한 환기장치 그리고 이들을 제어하기 위한 시스템의 운영방식 등이다. 특히 반영구재배사의 경우는 현재로서는 기존 느타리버섯 재배사를 개조하여 사용하는 농가가 상대적으로 많아 농가별 보온용 피복재의 두께 및 종류가 다양함을 알 수 있었으며, 또한 환경조절 장치 및 시설은 경험치를 반영하여 용량이나 장치의 대수를 결정한 농가가 대부분이었다.

Fig. 1-2는 재배사내 난방형식을 나타낸 것이다. 일반적으로 난방방식의 경우, 반영구재배사는 대부분 온수보일러(93%)를 이용하고 있는 것으로 나타났다. 반면 영구재배사의 경우는 온수보일러(57%)가 가장 많았고, 그 다음으로 전기히터, 증기보일러 순으로 나타났다. 이와 같이 재배사의 형태에 관계없이 온수보일러를 많이 이용하는

것은 전기히터나 증기보일러에 비해 관리 및 취급이 용이하기 때문에 다수의 버섯재배농가에서 활용하고 있는 것으로 판단된다. 냉방장치의 경우는 진해의 터널재배를 제외하곤 모두 산업용 에어컨을 설치하여 운영하고 있었다.

조사결과 냉방장치는 주로 에어컨 용량이 비교적 큰 산업용으로 사용하고 있었기 때문에 냉방용량에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다. 그러나 대부분의 농가가 전기시설 시공 시 누전에 대한 방비책이 전혀 되어있지 않았기 때문에 다습한 재배사내부의 환경을 고려하면, 누전으로 인한 안전사고는 늘 상존하고 있는 실정이었다. 난방장치의 경우는 가정용 보일러를 이용하고 있었기 때문에 용량부족으로 인하여 온도를 설정 값으로 유지할 수 없는 농가가 대부분 이었고, 또 파이프 배관도 경험에 의존하고 있었기 때문에 재배사내부의 높이별 온도편차는 2~5℃ 정도인 것으로 조사되었다.

따라서 전기안전사고를 미연에 방지하고 누전에 의한 전기소비량을 줄이기 위해서는 전기시공에 시공지침이나 상시 정비요령 등이 반드시 마련되어야 할 것으로 판단되며, 또한 균일한 버섯을 동시에 생산하고 인건비나 연료비를 절약하기 위해서는 배관의 위치나 배관의 길이 등에 대한 연구도 반드시 병행되어야 할 것으로 판단된다.

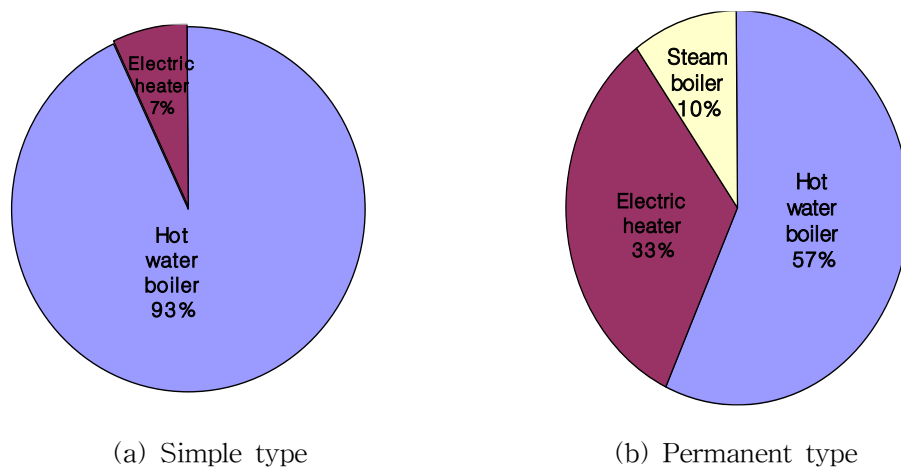


Fig. 1-2. Heating method of *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

그리고 습도조절을 위한 가습장치는 초음파가습기가 59%로 가장 많이 사용하고 있었고, 그 다음으로 원심분리가습기, 분무노즐(일유체) 등의 순으로 설치하여 운영하고

있었다. 일부 농가에서는 이들 중 두 종류이상의 장치를 겸용으로 사용하기도 하였다. 특히 건조한 겨울철에는 대부분 농가에서 분무호스를 이용하여 바닥에 물을 뿌려주고 있었다. 가습에 이용되는 수원은 **Table 1-8**에서 나타나 있듯이 상수도를 이용하고 있는 농가도 일부 있었지만, 거의 대부분 지하수를 이용하고 있었다. 그리고 **Photo 4**는 초음파가습기와 원심분리가습기를 나타낸 것이다.

새송이버섯의 경우, 생육단계별로 적정상대습도는 연구자마다 다소 다르긴 하지만, 일반적으로 계절에 관계없이 85~95% 정도이다. 그러나 현장조사 결과 적정용량의 가습기를 선택할 수 있는 기준이 없고, 타이머에 의해 경험적으로 가습하기 때문에 하절기에는 과습으로 인하여 병해발생의 원인이 되고, 상대적으로 건조한 동절기에는 난방에 의해 실내가 건조하기 때문에 버섯의 발이가 잘 되지 않는 등의 문제점이 있었다. 또한 가습기의 잦은 고장으로 인하여 애로를 겪고 있는 것으로 조사되었다.

Table 1-8. Distribution of water source for humidity control.

(Unit ; no. of farm)

Structure type	Underground water	Waterworks	Others	Total
Simple	26	1	1	28
Permanent	28	2		30
Total	54	3	1	58



(a) Supersonic humidifier.



(b) Centrifugal humidifier.

Photo 1-4. View of humidifying system.

또한 온·습도 조절장치 및 탄산가스농도 조절을 위한 환기팬의 제어방식은 중앙집중식 제어보다는 상대적으로 동별 제어방식을 많이 채택하고 있었다. 그리고 센서 보다는 주로 타이머를 이용하고 있음을 알 수 있다. 센서를 사용하는 모든 농가는 온도 센서를 사용하여 난방기 및 냉방기를 ON/OFF 제어방식으로 조절하는 경우이다. 이외에 가습장치 및 환기팬은 수시확인에 의한 타이머 설정으로 내부 환경을 제어하는 것이 일반적인 형식인 것으로 조사되었다.

따라서 관리의 자동화나 노동력 절감을 위하여 온도센서, 냉난방장치 이외에 버섯재배사에 적합한 저렴한 센서나 장치의 개발 및 보급이 절실한 것으로 판단되었다.

4) 기타

재배사의 바닥은 조사대상 농가 중 1곳을 제외한 모든 농가가 콘크리트로 처리하여 각종 균에 의한 버섯의 오염을 방지할 수 있도록 되어 있었고, 배지병의 크기 850cc 및 1,100cc를 사용하는 농가가 주류를 이루고 있었고, 이 밖에도 800cc, 950cc, 1,200cc 및 13,000cc병을 사용하는 농가도 있었다. 병재배 초기에는 800cc밖에 없었으나 최근에 다양화 되고 있는 것으로 나타났지만, 배지병 선택에 대한 기준이나 장단점 등이 전혀 고려되고 있지 않기 때문에 이에 대한 연구도 병행하여야 할 것으로 판단되었다.

버섯의 출하형태를 보면, 대부분 버섯의 품질을 고려하여 유통회사와 공판장을 동시에 이용하는 것으로 조사되었다. 또한 버섯의 품질을 좌우하는 요소 중의 하나인 조도의 적정범위는 100~200lx 정도로 알려져 있지만, 농가에 따라 약 3~160lx 정도의 범위로 다양하였을 뿐만 아니라 다른 환경요인에 비해 관심이 상대적으로 적은 실정이었다. 따라서 조도관리에 대한 농가의 인식전환이 필요한 것으로 판단되었다.

2. 문헌조사

국내의 경우, 경기도농촌진흥원에서 설계한 느타리버섯 재배사 표준설계도(경량철골조 구조 및 블록 구조 20~50평) 이외는 공인된 자료를 발견할 수 없었다. 이것은 단동으로 설계되어 있으며, 평수에 따라 재배사의 길이만 다를 뿐이다. 이 설계도의 단면은 다음과 같다. 경량철골조는 구조의 폭, 측고 및 동고는 각각 7.0m, 3.8m 및 5.4m 이고, 블록구조는 각각 7.0m, 3.7m 및 5.3m으로서 새송이버섯 재배사의 현장조사 결과와 큰 차이가 없었다.

새송이버섯을 국내보다 조금 빨리 보급한 일본의 경우도 국내와 마찬가지로 시공업체에 따라 재배사의 구조가 조금씩 상이한 것으로 조사되었고, 표준설계도의 유무도 확인하기가 쉽지 않았다. 따라서 문헌의 자료와 일본 기후현 지방의 카가미가하라시 웰비 농원(바닥면적 약 9평인 선박용 컨테이너 11개)을 직접 방문하여 조사한 결과를 참고하였다. 그 결과 일본의 경우도 구조물의 외형은 재배사에 따라서 조금씩 다르지만, 내부 재배상의 폭, 단수, 단간 간격 등은 문헌에서 조사한 것과 유사하였다. 즉, 크기가 (42~45)×(42~45)×10cm인 트레이에 850cc 배지병 16개를 담아 재배상의 길이 방향으로 4개의 트레이를 놓을 수 있는 폭 0.45m, 길이가 1.8m 인 프레임을 제작한 후, 이 하나의 프레임을 0.4m 간격의 높이로 4단을 조립하여 한 세트의 재배상으로 사용하고 있었다. 필요한 수의 배지병을 수용할 수 있도록 재배상 세트가 길이 및 폭 방향으로 배열된다. 단지 웰비농원의 경우, 재배사내에서 배지병 이동은 주로 지게차를 이용하거나 세트로 제작된 재배상에 롤러를 부착하여 밀고 다닐 수 있게 되어 있기 때문에 통로의 폭이 대단히 좁은 편이다. 현장 조사결과에서도 0.6~1.5m 정도였으며, 국내의 경우, 재배상은 고정형이지만, 웰비농원의 경우는 전술한 것과 같이 세트 단위로 되어있기 때문에 이동이 용이하다. **Photo 1-5**는 웰비농원 재배사의 내·외부를 나타낸 것이고, **Fig. 1-3**은 문헌에 제시된 기준 재배상의 평면배치도를 나타낸 것으로서, 재배상의 배치가 실제로 국내의 재배사와 거의 유사함을 알 수 있다. 즉 이 재배상을 폭방향으로 두 개를 붙이고, 길이방향으로 길이를 늘이기만 하면 국내와 동일하다. 이 재배실의 크기는 약 1.5평 정도로서 재배상을 4단으로 설치할 경우, 수용할 수 있는 배지병은 16병×8개(트레이)×4단×2개소(통로 좌·우측)=1,024병이다. 만약 바닥면적이 40평 정도라면, 약 27,000병 정도를 수용할 수 있다는 계산이다. 국내의

경우, 바닥면적 약 40평에 재배상을 4단으로 구성하여 수용할 수 있는 최대 배지병은 15,000병 정도이다. 그리고 재배상 최하단의 높이는 0.2m, 단간 간격은 0.35m로 하면 최상단 높이가 1.25m 정도라고 한다. 국내의 경우, 최하단의 높이가 0.55m 전후이고 최상단 높이가 2.0m 이상인 것과 비교하면 작업에 소요되는 노동력 측면이나 환경조절 측면에서도 국내보다는 유리할 것으로 판단된다.





Photo 1-5. Photo of *Eryngii* cultivation house(wellbe farm).

Fig. 1-4도 문헌에 제시된 자료로서 연간 배지 200,000병 정도를 재배하는 재배사의 평면도로서, 이 정도의 규모면 부부+1인 정도의 노동력으로 감당할 수 있는 규모이다. 또 한 동의 바닥면적은 10.5평 정도로서 수용할 수 있는 배지는 7,100병 정도이고 국내의 12,000~15,000병(40평 기준)에 비하면 47~60%정도에 불과하다. 연동으로서 환경조절 장치 중 냉·난방장치는 중앙집중식이고 가습기나 환기팬은 각 동마다 설치하여 사용하는 방식을 채택하고 있다. 물론 균상을 종균센터에서 구입하여 주로 재배

에만 전념하는 국내와 다르게 종균을 직접 배양하여 재배하는 형태이지만, 국내에서도 앞으로 경쟁력 제고와 품질 향상을 위하여 이와 같은 재배형태로 방향전환이 되어야 할 것으로 판단된다. 국내의 경우, 종균센터마다 종균이나 배지에 첨가하는 첨가물, 살균방법과 시간, 배양일 수 등이 다르기 때문에 종균센터에 따라 미미하긴 하지만 설정온도나 가습, 환기조절 시간 등도 다른 것으로 조사되었다. 이 때문에 재배자와 종균 센터 간에 마찰이 일어나는 경우도 종종 발생되었다. 따라서 균질의 버섯을 안정적으로 재배하고 질 좋은 종균을 자가 개발하는 등 과학영농을 위해서는 종균의 자가 생산이 바람직할 것으로 판단된다.

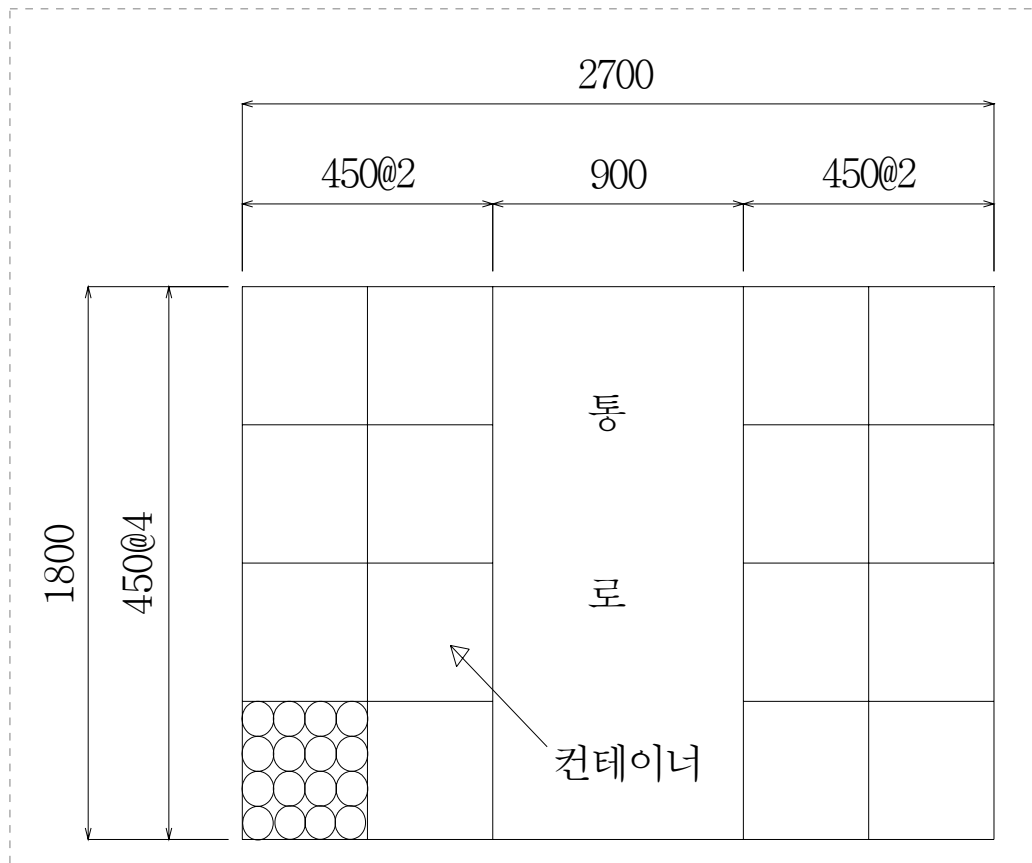


Fig. 1-3. Plan of *Eryngii* cultivation house(unit : mm).



Fig. 1-4. Plan of *Eryngii* cultivation house(wellbe farm, unit : mm).

이상에서 비교·검토한 결과에 의하면, 재배상의 단수를 4단으로 하는 것과 환경조절 장치 중 가습기나 환기팬은 각 동마다 설치하여 사용하는 방식을 채택하고 있는 것은 국내와 유사한 점이 많다. 그러나 이 외에 재배사의 내·외부의 구조형상이 냉·난방 장치의 중앙집중식을 채택하고 있는 것은 국내 상황과 상당히 다른 것을 알 수 있다. 이러한 것을 고려할 때, 국내와 일본의 경우를 절충한 모형개발이 이루어진다면 공간 활용의 극대화는 물론 소요 노동력 및 에너지 비용 절감에도 효과가 있을 것으로 판단된다. 따라서 앞으로 이상의 두 경우의 재배사의 구조를 비교·분석하여 국내에 적합한 합리적인 기본모형을 설정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 본 과제에서는 우선 국내에서 조사된 자료를 근거로 영구 재배사의 기준모형을 설정하고자 한다.

3. 에너지 및 건축비 절감을 위한 구조재의 단열효과 분석

일반적인 시설농업의 경우, 광을 주된 에너지원으로 이용하는 온실을 제외하면, 시설내부의 주요 환경인자인 온도 유지를 위해 단열이 요구된다. 특히 곡물저장시설을 비롯하여 최근 증가 추세를 보이는 새송이버섯 재배사, 양봉사 및 축사 등의 단열은 냉방 및 난방에 소요되는 경비와 직접 관련됨으로서 영농의 경영합리화와 직결된다. 따라서 단열의 정도를 나타내는 저항치(R값)의 적정범위와 단열처리의 시공성 등은 시설의 초기투자와 유지관리에 영향을 미치게 된다.

여름철 고온기 시설내의 온도를 적절하게 유지하기 위하여 유리온실은 주로 차광재를 시설 내·외부에 설치하거나 지붕살수나 한랭사 등의 방법도 이용하고 있다. 버섯재배사는 주로 냉방장치에 의존하지만, 실외에 차광망을 설치하거나 시설내부에 우레탄을 이용하며, 곡물 저장용 사일로는 대부분 아연도 철판시트를 그대로 사용하거나 시트 내·외부에 우레탄을 이용하고 있다.

기존 단열재의 종류는 유리섬유, 석면, 우레탄, 스티로폼 등을 이용한 충전형 단열재와 알루미늄박, 알루미늄판, 도금강판 및 고온에서 사용되는 재료들에 적용되는 단열코팅 시스템과 같은 반사형 단열재로 대별할 수 있고, 충전형 단열재에 대한 연구는 주로 건축물의 단열을 위하여 오래 전부터 연구되어 왔다. 그리고 반사형 단열재에 대한 연구 사례를 살펴보면, Lee et al. (1983)은 건축물의 창호를 통해서 방출되는 열을 차단하기 위한 연구의 일환으로 알루미늄박의 단열성을 실험적으로 검토하였으며, 또 Kim et al. (1999)은 가스터빈, 항공기의 제트엔진 및 자동차의 실린더, 피스톤 밸브 등과 같은 특수 내열성 금속을 대상으로 세라믹 코팅의 단열성을 실험적으로 검토하였다.

이와 같이 반사형 단열재에 대한 연구는 건축물이나 특수 재료를 대상으로 오래 전부터 계속되어 오고 있다. 그러나 농업시설물을 대상으로 한 연구를 살펴보면, Han (1994)이 유리온실용 도료 그라스 코트(DGX-100)를 개발하였다고 보고한 것 이외에는 거의 수행된바 없다.

따라서 본 연구에서는 곡물저장용 사일로와 같은 농업용 건축물의 단열효과를 개선하기 위하여 개발된 백색 표면단열 코팅 재료를 이용하여 새송이버섯

재배사의 열적 저항성을 높이는 동시에 하절기에 큰 열적 부하인자인 태양광의 반사율 높게 하여 재배사의 에너지 절감효과를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 구조재의 표면 코팅에 의한 단열 및 보온효과를 분석하였다.

가. 재료 및 방법

Table 1-9는 실험에 사용된 공시체를 나타낸 것이고, 백색 표면단열 코팅 재료(이하 단열 코팅이라 한다.)는 지방의 중소기업이 개발한 제품(Thermo Coat)으로서 모두 같은 제품의 것을 사용하였다. 그리고 백색 수성페인트는 시중에서 구입하여 사용하였다.

본 실험에 사용된 단열 코팅의 전도열전달계수는 약 $0.121 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 로서, 일반 단열재로 쓰이는 발포폴리스티렌(0.038)이나 유리섬유(0.042)에 비해 단열효과가 1/3 정도임을 알 수 있다. 그러나 외국에서 개발된 표면 단열 피복재인 Thermo Shield의 경우, 전도열전달계수가 $0.055 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 정도로서 기존의 단열재와 비슷할 뿐만 아니라 일사의 반사율이 85% 정도로 높기 때문에 특히 맑은 날 주간동안의 열 부하를 현저히 낮추는 데 이용할 수 있을 것으로 예상된다.

그리고 실험에 사용한 공시체는 현재 국내 대부분의 곡물저장 사일로의 시공자재로 사용되고 있는 표면처리가 되어 있지 않은 두께 0.45mm인 아연도 철판시트를 A, 철판의 한 면 또는 양면에 백색 표면단열 코팅을 0.2mm 두께로 실시한 철판시트를 B 및 C, 시판중인 우레탄(urethane), 유리섬유(glass wool) 및 발포 폴리스티렌(polystyrene form)을 각각 내장한 두께 50mm 샌드위치패널(sandwich panel)을 D, E, F로 하였다. 그리고 직경 및 높이가 각각 약 28cm 및 33cm인 18ℓ 용량의 일반 페인트 용기의 표면에 단열 코팅한 것을 G, 백색 수성페인트로 처리한 것을 H로 하였고, 또 전혀 표면처리가 되지 않은 페인트 용기와 동일한 용기를 I로 하였다.

표면 단열 코팅에 의한 열 저항효과 실험은 다음과 같이 3단계로 구분하여 실시하였다. 각 단계별 외기온은 공시체에 인접한 옥상에서 소형 백엽상을 설치하여 측정하였다. 그리고 **Photo 1-6**은 공시체의 전경을 나타낸 것이다.

Table 1-9. Types of experimental specimen.

Types	Specimens	Sizes
Stage 1	A Galvanized steel sheet(thickness 0.45mm, no treatment)	1,500×2,000×25,00mm Box container
	B Galvanized steel sheet(thickness 0.45mm, one-surface treatment with thermal insulation coating)	
	C Galvanized steel sheet(thickness 0.45mm, two-surface treatment with thermal insulation coating)	
	D Urethane sandwich panel(thickness 50mm)	
	E Glass wool sandwich panel(thickness 50mm)	
	F Polystyrene form sandwich panel(thickness 50mm)	
Stage 2	G Paint pot(thickness 0.45mm, one-surface treatment with thermal insulation coating)	Φ280×330mm Drum container
	H Paint pot(thickness 0.45mm, one-surface treatment with water paint coating)	
Stage 3	I Paint pot(thickness 0.45mm, no treatment)	

1) 1단계 실험

1단계 실험에서는 1,500×2,000×2,500mm 크기를 가진 6개의 사각형 중공 박스에 대하여 박스 벽체 및 천정의 내·외 표면의 온도와 내부기온 등 박스 당 총 5~6점의 온도와 외기온을 Thermocouple(T-type)을 이용하여 1분 간격으로 측정하였으며, 측정값은 Data logger(EKO, SOLAK-V, **Photo 1-7**)에 저장하여 분석하였다. 측정된 자료를 바탕으로 표면처리가 되어 있지 않은 두께 0.45mm 아연도 철판시트, 또 이 철판의 한 면 또는 양면에 0.2mm 두께로 단열 코팅한 철판시트, 시판중인 우레탄, 유

리섬유 및 발포 폴리스티렌을 내장한 두께 50mm 샌드위치패널 등 총 6개(Table 1-9의 A, B, C, D, E, F)의 공시체에 대하여 경시적 온도변화의 특성을 비교 검토하였다.



Photo 1-6. Photo of experimental box containers.



Photo 1-7. Photo of the data logger.

2) 2단계 실험

1단계 실험에서 얻은 결과를 바탕으로 백색표면 단열코팅과 백색 수성페인트와 열 저항효과를 검토하기 위하여, 직경 약 28cm, 높이 약 33cm인 18ℓ 용량의 일반 페인트 용기(Table 1-9의 G, H)의 표면에 단열 코팅과 백색 수성페인트를 칠하여, 표면의 내·외 온도 및 실내 기온의 변화를 1분 간격으로 측정하여 열 저항특성을 비교 분석하였다.

3) 3단계 실험

1단계 및 2단계 실험 결과를 바탕으로 2단계 실험에서 사용한 2개의 페인트 용기를 포함하여 표면에 전혀 피복처리가 되지 않은 페인트 용기와 동일한 용기 1개(Table 1-9의 I)에 각각 건조된 벼를 채워, 2단계 실험 때와 동일한 방법으로 온도변화를 측정함으로써 곡물저장 상태에서 용기 내·외 열적 거동을 비교 분석하였다.

본 연구의 최종 목적은 곡물저장용 사일로의 단열효과를 개선하기 위하여 개발된 단열코팅을 이용하여 새송이버섯 재배사의 단열효과를 개선함으로써 에너지 절감효과를 얻는 것이지만, 시험에 사용한 단열코팅 재료는 곡물저장용 사일로를 대상으로 개발된 것이기 때문에 3단계 실험에서는 2단계 실험에 이용한 것과 동일한 용기에 건조한 벼를 채운상태에서 온도의 경시적 변화를 측정하여 보았다(Photo 1-8 참조).





Photo 1-8. Photo of experimental drum containers.

나. 결과 및 고찰

1) 1단계 실험

내부가 비어있는 6종류의 직육면체형 대형박스에 대한 온도변화를 비교·분석하였다. 분석은 일차적으로 3개의 아연도 철판(**Table 1-9**의 A, B, C)간 비교와 3개의 샌드위치패널(**Table 1-9**의 D, E, F)간 비교를 실시하였다. 이 분석결과를 바탕으로 이들 상호간 온도변화를 비교하였다.

Table 1-10. Inside temperatures of box container.

(unit : °C)

Classifications		No treatment		One-surface coating(B)		Two-surface coating(C)		Urethane (D)		Glass wool (E)		Polystyrene (F)	
		(A)											
		sur.	air	sur.	air	sur.	air	sur.	air	sur.	air	sur.	air
Daytime (sunny)	Min.	-0.70	-0.50	-4.40	-3.60	-4.60	-4.60	-3.10	-3.10	-3.70	-3.70	-3.40	-3.30
	Max.	30.90	22.10	19.80	13.10	17.40	12.30	18.40	17.90	18.20	17.20	18.60	17.60
	Ave.	7.44	4.94	5.73	3.80	5.23	3.86	6.09	5.85	5.87	5.53	5.64	5.32
Nighttime (sunny)	Min.	-3.30	-3.10	-5.90	-5.40	-5.50	-5.40	-4.60	-4.60	-5.20	-5.20	-4.80	-4.80
	Max.	7.70	8.40	2.80	3.40	2.40	2.70	11.20	11.10	9.10	9.20	8.10	8.40
	Ave.	-0.77	-0.58	-3.32	-2.84	-3.18	-3.19	-1.55	-1.51	-2.43	-2.39	-2.23	-2.16
Daytime (cloudy)	Min.	-1.80	-1.90	-3.80	-2.80	-3.90	-3.90	-3.80	-3.70	-4.10	-4.10	-3.60	-3.60
	Max.	31.60	25.10	19.80	14.90	17.60	15.10	19.50	19.10	20.10	19.20	20.70	19.90
	Ave.	14.64	12.95	9.01	7.65	8.13	7.42	9.74	9.67	9.73	9.51	10.08	9.83
Nighttime (cloudy)	Min.	-2.60	-2.30	-4.60	-3.90	-4.40	-4.40	-3.90	-3.90	-4.10	-4.10	-3.70	-3.70
	Max.	6.00	6.20	5.10	5.40	5.00	5.30	7.40	7.30	6.60	6.50	6.50	6.50
	Ave.	1.60	1.71	-0.67	-0.08	-1.03	-1.02	0.19	0.25	-0.48	-0.42	-0.11	-0.03
Daytime (rainy)	Min.	4.10	4.10	4.20	4.20	4.20	4.20	4.10	4.10	3.90	3.80	4.20	4.20
	Max.	5.90	5.60	5.50	5.40	5.40	5.40	5.50	5.50	5.40	5.30	5.80	5.70
	Ave.	4.95	4.94	4.85	4.82	4.86	4.86	4.93	4.95	4.76	4.71	5.11	5.09
Nighttime (rainy)	Min.	-2.60	-2.30	-4.60	-3.90	-4.40	-4.40	-3.90	-3.90	-4.10	-4.10	-3.70	-3.70
	Max.	6.00	6.20	5.10	5.40	5.00	5.30	7.40	7.30	6.60	6.50	6.50	6.50
	Ave.	1.60	1.71	-0.67	-0.08	-1.03	-1.02	0.19	0.25	-0.48	-0.42	-0.11	-0.03

Table 1-10은 6종류의 박스에 대한 실험결과를 주·야간 및 날씨별로 내측 표면의 온도와 내부온도를 분석한 결과이다. **Fig. 1-5**는 **Table 1-10**의 데이터 중 주간동안 날씨가 맑은 날에 대하여 나타낸 것이다.

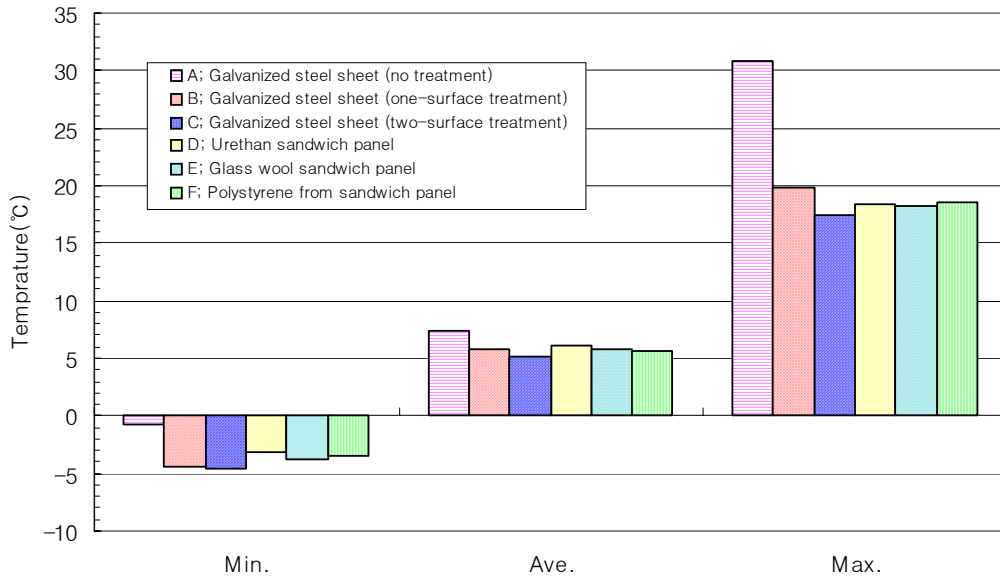


Fig. 1-5. Comparisons of inside surface temperature of box container during sunny day.

Fig. 1-5에서 맑은 날 주간, 내측 표면의 최대 및 평균온도를 아연도 철판 A, B 및 C에 대해서 살펴보면, 최대온도는 각각 30.9°C, 19.8°C 및 17.4°C로서 표면에 단일 코팅된 B 및 C가 무처리 공시체 A에 비해 11.0~13.5°C정도 낮게 유지됨을 알 수 있다. 또 평균온도는 각각 7.4°C, 5.7°C 및 5.2°C로서 대비구로 이용된 표면처리 되어 있지 않은 철판(A)에 비해 한 면(B) 및 양면(C)에 단일 코팅한 철판이 현저한 열저항 특성을 보였다. 한 면 만 코팅한 것에 비해 양면 코팅에 의한 효과는 비록 현저하지는 않더라도 야간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 결국 외부 표면만 코팅한 한 면 피복에 비해 양면 피복의 효과는 피복재의 열 저항치(R값)에 의한 효과로 판단할 수 있다. 한편 두께 50mm 패널형 3처리의 경우, 맑은 날 주간내 내측 표면의 최대 및 평균온도를 살펴보면, 최대온도는 18.2~18.6°C 범위로서 처리간 큰 차이를 보이지 않았으며, 평균온도도 각각 6.1°C, 5.9°C 및 5.6°C로서 최대온도와 마찬가지로 처리간 큰 차이를 보이지는 않았지만, 우레탄(D), 유리섬유(E), 발포폴리스티렌(F)의 순서로 표면온도가 약간씩 높았다. 이는 피복자재의 열전달 특성에 의한 차이에 기인한 것으로

판단된다. 그리고 Table 1-10에서 알 수 있듯이 야간이나 일사량이 적은 흐린 날씨에서는 처리간의 차이가 미미함을 알 수 있다. 따라서 외측 표면에서의 일사량 반사 특성에 의하여 내부 표면온도가 크게 좌우되는 것을 알 수 있다.

Fig. 1-6은 Table 1-10 중에서 주간동안 날씨가 맑은 날에 무처리한 아연도 철판(A), 양면 코팅제로 처리한 아연도 철판(C)과 샌드위치패널 중 내측 표면의 평균온도가 가장 낮게 나타난 발포폴리스티렌 패널(F) 간의 주간 내측 표면 온도를 나타낸 것이다. 코팅 처리한 철판의 평균 및 최고온도가 A나 F에 비해 낮게 유지됨을 알 수 있다. 또한 그림으로 나타내지는 않았지만, 박스 내부의 기온 역시 코팅 처리한 쪽의 온도가 낮게 나타났고, 패널의 두께로 인하여 벽표면 내·외측간 온도변화의 시간지연이 약 1시간 전후임을 알 수 있었다.

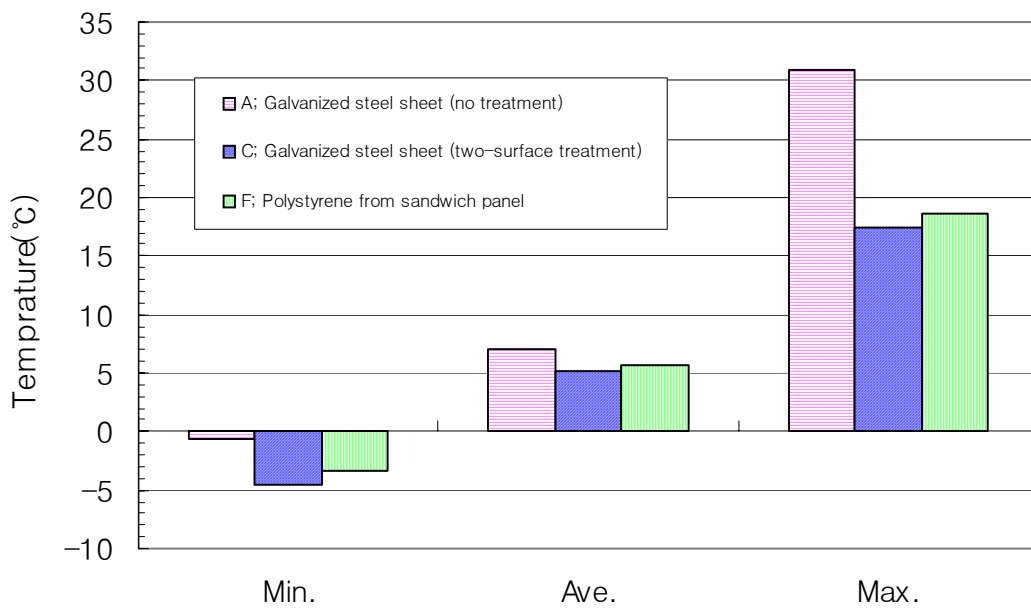


Fig. 1-6. Comparisons of inside surface temperature among 3 different box containers during sunny day.

결국 표면코팅처리와 샌드위치패널 간의 온도변화 경향만을 고려하면, 일면 또는 양면 코팅 처리만으로도 50mm 두께의 샌드위치패널 못지않은 단열효과를 보인다는

것을 추정할 수 있다.

2) 2단계 실험

Table 1-11은 단열 코팅(G)과 수성페인트(H) 효과를 비교한 2단계 실험결과를 정리한 것이다.

Table 1-11. Inside temperatures of drum container. (unit : °C)

Classifications		Thermal insulation coating(G)		Water paint coating(H)	
		surface	air	surface	air
Daytime (sunny)	Min.	-1.60	-1.90	-1.80	-2.20
	Max.	20.30	16.40	19.60	15.40
	Ave.	10.75	9.06	10.14	8.32
Nighttime (sunny)	Min.	-5.90	-6.20	-6.10	-6.50
	Max.	5.50	5.20	5.10	4.90
	Ave.	-1.36	-1.68	-1.57	-1.88
Daytime (cloudy)	Min.	2.60	2.60	2.40	2.40
	Max.	11.00	9.60	11.20	9.30
	Ave.	6.94	6.56	6.83	6.29
Nighttime (cloudy)	Min.	-2.00	-2.30	-2.20	-2.50
	Max.	3.30	2.80	3.20	2.60
	Ave.	0.78	0.42	0.62	0.24
Daytime (rainy)	Min.	0.10	0.30	0.10	0.00
	Max.	2.30	2.00	2.30	1.90
	Ave.	1.38	1.15	1.31	1.00
Nighttime (cloudy)	Min.	0.30	0.30	0.20	0.10
	Max.	3.30	3.20	3.20	3.00
	Ave.	2.58	2.53	2.44	2.34

Table 1-11에서 알 수 있듯이 주야간은 물론 날씨에 관계없이 두 처리 간에는 거의 차이가 없다. 두 처리 간 온도변화의 유사성은 용기 내측 표면이나 내측의 공기

온도가 동일하였다. 두 처리 간 모두 일사가 있는 주간에는 외기온 이상으로 상승하지만, 날씨가 맑은 야간에는 천공복사 현상에 의해 표면부의 온도가 외기온 이하로 떨어짐을 확인할 수 있다.

결론적으로 온도변화 측면에서는 두 처리 간에 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 표면 코팅의 효과는 피복재의 열전달 특성에 의한 것이 아니라 태양 복사에 대해 높은 반사효과에 기인하므로 일사에 대한 반사특성이 유사한 피복재라면 온도의 변화 특성이 유사하다는 결론을 내릴 수 있다.

3) 3단계 실험

Table 1-12. Temperatures in drum container filled with rough rice.

(unit : °C)

Classifications		Thermal insulation coating(G)		Water paint coating(H)		No treatment(I)	
		surface	center	surface	center	surface	center
Daytime (sunny)	Min.	-1.80	2.50	-2.20	2.20	-0.50	3.90
	Max.	20.70	9.50	20.20	9.00	32.80	15.70
	Ave.	12.29	4.82	11.76	4.39	20.08	7.81
Nighttime (sunny)	Min.	-1.70	4.70	-2.20	4.20	-0.50	5.60
	Max.	9.80	10.40	9.50	9.80	14.00	16.90
	Ave.	2.32	8.19	2.02	7.65	4.64	13.13
Daytime (cloudy)	Min.	1.30	2.30	2.40	2.00	4.70	5.20
	Max.	15.00	7.70	14.60	7.40	21.30	12.40
	Ave.	9.53	4.12	9.49	3.79	13.77	7.76
Nighttime (cloudy)	Min.	2.20	3.70	3.70	3.30	5.70	6.50
	Max.	9.30	8.80	9.00	8.40	10.70	12.70
	Ave.	6.26	7.93	6.15	7.56	7.27	10.89
Daytime (rainy)	Min.	6.20	6.60	6.00	6.50	6.40	7.20
	Max.	8.30	7.30	8.40	7.20	10.00	8.00
	Ave.	7.34	6.98	7.25	6.80	8.05	7.52
Nighttime (rainy)	Min.	6.40	6.90	6.20	6.60	6.50	7.20
	Max.	7.20	7.40	7.10	7.30	7.50	8.10
	Ave.	6.76	7.19	6.57	6.99	6.89	7.71

1단계 및 2단계의 온도측정 실험을 통하여 표면 피복재의 태양광 반사특성과 그로

인한 용기의 열적부하 경감을 확인 할 수 있었다. 따라서 본 연구의 최종 목표가 곡물저장용 사일로의 단열효과를 개선하는 것이므로 2단계 실험에 이용한 18ℓ 용량의 페인트 용기에 곡물을 채운 상태에서 온도변화를 경시적으로 관찰하였다.

Table 1-12은 3단계 실험결과를 정리한 것이다. 주간동안 맑은 경우, 외기온이 최저 -1.3°C 에서 최고 17.3°C 사이로 변하는 동안, 용기의 내·외측 표면의 온도가 두 처리 간에 유사한 것은 2단계 실험결과와 일치하였으며, 용기 중심부 곡물의 온도는 표면코팅을 하지 않은 대비구(I)에 비해 두 개의 표면코팅 처리구에서 모두 현저히 낮은 온도를 보였으며, 두 개의 코팅처리구간의 온도차는 매우 미미함을 알 수 있다. 이 결과는 2차 실험에서 확인된 결과와 거의 동일함을 알 수 있다. 흐린 날이나 비가 내리는 동안에는 3가지 처리 간에는 큰 차이가 없다는 것은 2단계 실험에서의 판단을 확인해 주는 셈이다.

Fig. 1-7은 단열 코팅한 처리구와 비처리구에서 경시적 온도변화를 나타낸 것이다. **Fig. 1-7**에서 알 수 있듯이 본 실험의 경우 사용된 용기의 용량이 0.02 m^3 정도에 불과하지만, 용기표면의 최대온도 발생시점과 내부 중심부 곡물의 최대온도 발생시점 간에는 약 6시간 전후의 시간 지연현상이 있음을 확인할 수 있다. 이런 현상은 대형 사이로 등에서는 더욱 클 것으로 판단된다.

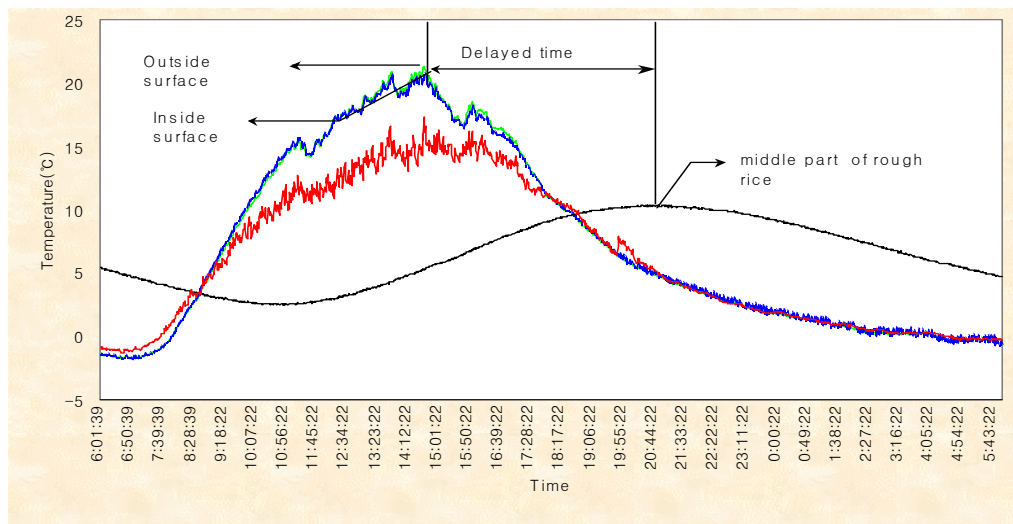


Fig. 1-7. Variations of temperature in drum container filled with rice.

4. 재배사의 구조설계용 자료 분석

현재까지 새송이버섯에 관한 연구는 주로 버섯의 기능성, 균사배양 분야 또는 재배사내의 환경조절분야(본 과제 연구자들)에서 많이 이루어져왔던 것이 사실이다. 그러나 개조 및 신축되는 새송이버섯 재배사의 경우, 표준설계도나 시공지침이 없기 때문에 대부분 경험이나 관행에 의존하거나 재배자의 요구에 따라 재배사의 길이, 폭, 측고, 등고 등이 다양하게 시공되고 있는 실정이다. 이와 같이 각 농가마다 재배사의 구조가 상이하고, 재배사의 내부 온도, 탄산가스 농도, 습도 및 조도 등의 환경적 요인을 잘 조절함으로써 얻을 수 있는 고품질의 버섯생산은 체계화되어 있지 못한 환경조절기술로 인해 농가마다 많은 시행착오를 겪고 있지만, 구조적 안전성이나 시설의 공간구성 및 작업의 효율성과 관련한 연구는 전무한 실정이다.

일반적으로 국내에 보급되어 있는 버섯 재배사는 일반온실과 같이 일반구조용 파이프와 여러 층의 보온재로 만들어진 보온 덮개형(반영구)과 H형강, C형강 및 I형강 등의 경량철골구조에 샌드위치패널을 이용한 패널형(영구)으로 대별된다. 그러나 이들 버섯재배사도 일반 농업시설물과 마찬가지로 태풍, 폭설 및 강풍 등의 이상기후에 대해 안전성이 보장되어야 할 뿐만 아니라 냉·난방 에너지 및 시공비 절감, 작업의 효율성 개선 등을 위해서도 재배사 공간구성의 효율적 설계가 대단히 중요하다. 그리고 새송이버섯 재배사는 연중 냉·난방과 환기를 실시하기 때문에 공간구성을 어떻게 하는가에 따라 생산비 절감, 작업효율 증대 및 미기상환경 관리를 용이하게 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 새송이버섯 재배사의 공간 활용 최적화 및 구조설계에 대한 기초 자료를 얻기 위하여 현장 조사에 의해 설정된 몇 개의 모델을 중심으로 재배공간의 효율성을 검토하였으며, 또한 자연재해에 의한 구조적 피해를 최소화하기 위해 구조해석을 실시하였다.

가. 재료 및 방법

1) 공간 활용 최적화 모형설정

본 연구를 위하여 현장을 답사한 결과를 요약하면 다음과 같다. 새송이버섯 재배사

는 아치형 지붕의 보온 덮개형과 샌드위치 패널형으로 대별 되었고, 재배사의 규모는 매우 다양하였지만, 길이는 20m 전후, 폭은 6.6~7.0m, 동고는 4.6~5.0m정도가 많았으며, 재배상의 폭은 1.2~1.6m정도이고, 재배상의 단은 4단이 주류를 이루고 있었다. **Photo 1-9**의 (a) 및 (b)는 현장답사 결과, 일반적으로 농가에 신축되고 있는 반영구 및 영구형 재배사의 내·외부를 나타낸 것이다.



(a) Simple frame type

(b) Permanent type

Photo 1-9. View of typical structures for *Pleurotus eryngii* cultivation facilities.

재배사의 공간 활용 최적화 모형 설정을 위하여 현장답사 결과를 바탕으로 재배사의 적정재배공간을 합리적으로 설계함으로서 가장 효율적인 재배공간 모형을 도출하고자 하였다. 이를 위한 공간설계의 전제조건은 다음과 같이 하였다.

재배사의 길이 10 m, 재배사의 끝 벽과 재배상(베드) 사이의 거리 1 m, 재배사의 측벽과 재배상 사이의 격리거리 0.7 m, 트레이의 규격 0.4×0.4 m, 실내바닥에서 첫 번

재 배배단까지의 이격거리 및 재배단간 거리 0.6 m, 단위 트레이(재배병 박스)에 수용할 수 있는 배지 4 x 4병 (16병), 재배사의 중앙통로의 폭 2.4 m, 지붕 경사각은 15.5°로 하였다.

이상과 같은 전제조건하에서 재배농가가 원하는 재배단수(재배베드 층수)와 각 단의 폭에 따라 재배사의 측고, 동고 및 폭이 결정된다. 본 연구에서는 다음과 같이 5가지 상이한 재배사의 단면모형에 대해서 공간의 활용효율을 비교 검토하였다. **Table 1-13**은 5가지 모형별 형상치수를 나타낸 것이다. 예시된 모형에서 단과 열은 재배상의 층수와 트레이의 수평방향 개수를 나타낸 것이다.

- ① 4단(L4) x 4열(R4) : L4R4-모형
- ② 4단(L4) x 3열(R3) : L4R3-모형
- ③ 3단(L3) x 4열(R4) : L3R4-모형
- ④ 3단(L3) x 3열(R3) : L3R3-모형
- ⑤ 4단(L4) x 4열(R4) : L4R4-모형(연동)

Table 1-13. Section properties of a standard model and 5 tentative models.

Structure type	Number of layer	Number of line	Width (m)	Side height (m)	Ridge height (m)	Section area (m ²)	Ground area (m ²)	Surface area (m ²)	Volume (m ³)
L4R4	4	4	7.20	3.30	4.30	27.4	72.0	195.4	273.6
L4R3	4	3	6.36	3.30	4.18	23.8	63.6	179.6	238.0
L3R4	3	4	7.20	2.70	3.70	23.0	72.0	174.8	230.4
L3R3	3	3	6.36	2.70	3.58	20.0	63.6	160.0	199.8
L4R4 (two-span)	4	4	7.20	3.30	4.30	54.7	144.0	324.9	547.2
Standard*			7.00	3.50	5.15	30.5	70.0	207.9	302.8

* 느타리버섯 표준 버섯재배사(경기도 농촌진흥원, 1997. 4. 3)

2) 구조해석

현장답사 및 공간이용 효율측면에서 상대적으로 유리하게 나타난 영구형과 간이형을 포함하여 구조해석 대상 모형과 기본형상 치수는 **Table 1-14**와 같다. 대상 모형을

의 구조해석에는 SAP-2000을 이용하였으며, 자중을 비롯한 설하중 및 풍하중에 대해 검토하였다. 재배사의 길이는 일반적으로 농가에서 선호하고 있는 20 m로 하였다.

Table 1-14. Section properties and main frame sizes of selected models for structural analysis.

Factor Type	Width (m)	Side height (m)	Ridge height (m)	Column or Rafter interval (m)	Main member size (mm)	Unit weight (kgf/m)	Section area (cm ²)	Section modulus (cm ³)	Rem.
Permanent (Two-span)	7.20	3.30	4.30	3.00	H 150×75×5×7	13.60	17.30	85.60	H-steel
					H100×75×3.2×4.5	7.60	9.66	34.90	
					□ 75×75×3.2	5.50	8.93	20.10	□-steel 1
					□ 75×75×2.3	4.06	6.55	15.20	
Permanent (Single-span)	7.20	3.30	4.30	3.00	H 150×75×5×7	14.00	17.85	88.80	H-steel
					□ 75×75×3.2	7.01	8.93	20.10	□-steel 1
					□ 75×75×2.3	4.06	6.55	15.20	
Simple (Single-span)	6.00	3.30	4.00	0.65	♣ 33.5×2.1	1.63	2.07	1.53	Pipe
					♣ 34.0×2.3	1.80	2.29	1.70	
					♣ 42.7×2.3	2.29	2.92	2.80	

구조해석 전용 프로그램인 SAP-2000을 위한 입력자료 구축을 위해 풍하중 및 설하중 계산에 이용된 기본 공식은 다음과 같다.

$$\text{설하중} : p_s = \phi c D \dots\dots\dots (1)$$

여기서, ϕ = 감소계수, c = 적설의 단위체적중량(kgf/cm³ · m²), D = 적설심(cm)

$$\text{풍하중} : p_w = C_F (0.0197 V^2 \sqrt{h}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, C_F = 풍력계수, V = 풍속(m/s), h = 구조물의 평균 높이(m)

풍하중 및 설하중에 재배사 모형의 기둥간격을 곱하여 주어진 위치에서의 분포하중을 계산한다. 구조해석 결과 얻어진 단면력들을 조합하고, 사용 구조재의 단면 특성

치를 이용하여 응력(f)을 계산하고, 강재의 휨허용응력($f_a = 1600 \text{ kgf/cm}^2$) 하에서의 한계 적설심 및 한계 풍속을 산정하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 공간활용 최적화 모형설정

버섯재배사의 설계를 위해서는 앞에서 기술한 전제조건과 현장조사를 토대로 하여 재배단수와 각 단의 폭에 따라서 재배사의 측고, 둥고 및 폭이 결정된다. **Table 1-15**는 **Table 1-13**에서 제시한 모형에 대한 공간 특성치를 나타낸 것이다.

Table 1-15. The Spatial characteristics of a standard model and 5 tentative models.

Factor Type	SSA (m^2/m^2)	NBPUFA (bottle/ m^2)	SV (m^3/m^2)	SAPUB ($m^2/100\text{bottle}$)	VOLPUB ($m^3/100\text{bottle}$)	Effective total capacity(bottle)
L4R4	2.715	142.2	3.80	1.91	2.67	10,240
L4R3	2.824	120.8	3.74	2.34	3.10	7,860
L3R4	2.428	106.7	3.20	2.28	3.00	7,680
L3R3	2.515	90.6	3.14	2.78	3.47	5,760
L4R4 (two-span)	2.256	142.2	3.80	1.59	2.67	2×10,240 =20,480
Standard	2.970	-	4.33	-	-	-

SSA : Surface area per unit floor area,

NBPUFA : Number of cultivation bottles per unit floor area,

SV : Space volume per unit floor area,

SAPUB : Covered space area per 100 bottles,

VOLPUB : Space volume per 100 bottles

Table 1-15에서 제시한 모형들을 대상으로 모형의 특성치들을 비교·검토해보면 다음과 같다.

가) 재배사의 바닥면적 $1 m^2$ 당 건물표면적(SSA)

이 값은 작으면 작을수록 건축물의 보온, 즉 냉·난방 측면에서 유리하다. 따라서 제시한 모형 중에서 가장 불리한 L4R3 모형에 비해 L3R4 모형은 14%정도 표면적 비율이 낮다. L4R4의 경우는 4%정도의 효율개선에 불과하나 연동으로 계획할 경우, 한쪽 벽면만큼의 노출표면적 감소로 약 20%까지 표면적비율을 줄일 수 있는 셈이며, 느타리버섯 표준 재배사 모형과 비교하면 약 30%이상의 표면적비율 감소효과를 기대할 수 있다.

나) 재배사의 바닥면적 $1 m^2$ 당 재배병 수(NBPUFA)

이것은 농지의 평면적 이용효율과 관련된다. Table 1-15서 알 수 있듯이 L4R4 모형이 토지이용 효율측면에서 가장 유리하며, 가장 불리한 L3R3 모형 대비 약 57%이상 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다. 이런 현상은 L4R4 연동에서도 동일한 결과를 가져온다.

다) 재배사의 바닥면적 $1 m^2$ 당 건물 내부부피(SV)

이 값은 건축물의 상대적 높이에 따른 특성치로서 다른 조건이 불리하지 않다면, 가급적 큰 것이 실내 미기상환경을 안정적으로 유지할 수 있는 척도로 오해할 수 있지만, 그렇지 않다. 즉, 이 값은 건축물 단위면적당 관리해야할 대상 실내공간의 크기를 의미하므로 커서 유리할 이유가 없다. 이 특성치는 NBPUFT와 함께 재배사의 구조형상 관련 값으로서 층고나 동고의 증가가 실내 환경관리에 어떤 영향을 주는지 가늠하는 지표이다. 느타리버섯 표준재배사의 모형에서 SV 값이 유난히 큰 것은 층고와 동고 때문이며 공간이용효율 측면에서 개선되어야 할 것으로 판단된다.

라) 재배병 개수당 건물 표면적(SAPUB)

여기서는 배지병 100개를 기준으로 제시한 모형들의 건물표면적을 비교하였다. 결국 같은 생산량을 기준으로 건물의 표면적이 작을수록 냉·난방 관련 경영비용이 절감될 뿐만 아니라 건축물에 투입될 자재 및 공정을 줄이는 효과가 있다. **Table 1-15**에서 열의 수가 많은 4열형(R4형)이 3열형(R3형) 보다 유리하며, 특히 연동구조가 되면 개선효과가 현저하게 증폭됨을 알 수 있다.

마) 재배병 개수당 건물 체적의 크기(VOLPUB)

Table 1-15에서 알 수 있듯이 배지병 100개를 기준으로 할 때, 실내 관리 대상공간이 L4R4 모형의 단동 및 연동에서 가장 작게 나타났다. 따라서 이 또한 SAPUB와 함께 재배사의 구조 및 환경 측면에서 안정성과 경제성 검토에 중요한 특성치임을 확인할 수 있다. 버섯재배사의 공간 이용효율 개선을 위해 다양한 조사와 분석이 이루어졌으며, 특히 재배자들의 경험과 애로사항들을 중심으로 몇 가지 기준 모형을 설정하고, 주요 공간 특성치를 중심으로 공간 활용효율 측면에서 비교하였다.

아직 최적 단면형상을 제시할 수 있는 단계는 아니지만, L4R4-모형의 단동형 및 연동형이 냉·난방 측면, 실내 기상의 안정성, 단위 평면적당 토지 이용효율 등 종합적 공간 활용도 측면에서 우수함을 확인할 수 있었다.

여기서 특히 유의할 점은 **느타리버섯 표준재배사의 특성치가 다른 기준 모형에 비해 추고는 물론 동고가 현저히 높다는 것을 알 수 있다.** 추고 부분은 재배단수의 조정이나 단과 단 사이의 공간 활용측면에서 다소 변화를 줄 수는 있으나 재배와 직접적인 관련이 없는 천장부 공간을 크게 잡은 것은 문제가 있는 것으로 판단된다. 특히 지붕에 트러스 골조를 계획함으로써 냉방기기를 비롯한 공기 분산용 덕트, 가습장치 등의 설치가 용이하지 않은 결점이 있으며, 앞에서 언급한 모형의 각종 특성치의 비교에서 SSA 및 SV 등이 현저히 불리하다는 것을 발견할 수 있다. 이러한 결점은 앞으로의 공간계획에서 반드시 고려되고 개선되어야 할 부분이다.

일부 농가에서 단동 재배사의 벽을 붙여서 연동형 재배사 형태로 시공한 경우를 제외하면, 내부 공간이 개방된 연동형 재배사는 발견되지 않았다. 이는 재배규모의 영세성과 재배 과정에서 야기될 질병 등에 대한 관리문제가 연동을 기피하는 이유로서, 보다 신중한 검토가 요구되는 부분이다.

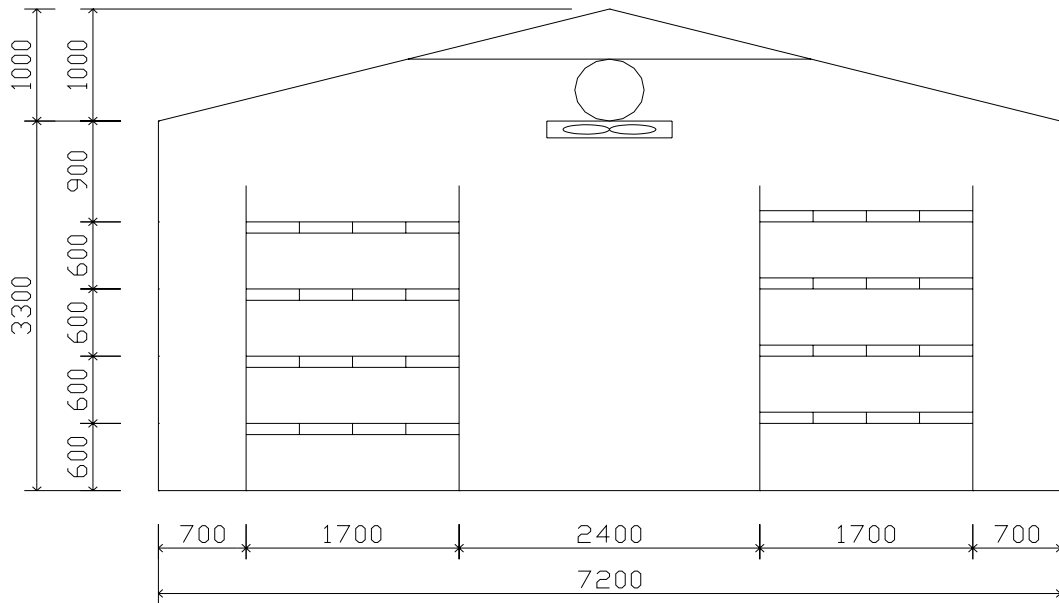


Fig. 1-8. Schematics of a tentative model section (L4R4-type).(unit : mm)

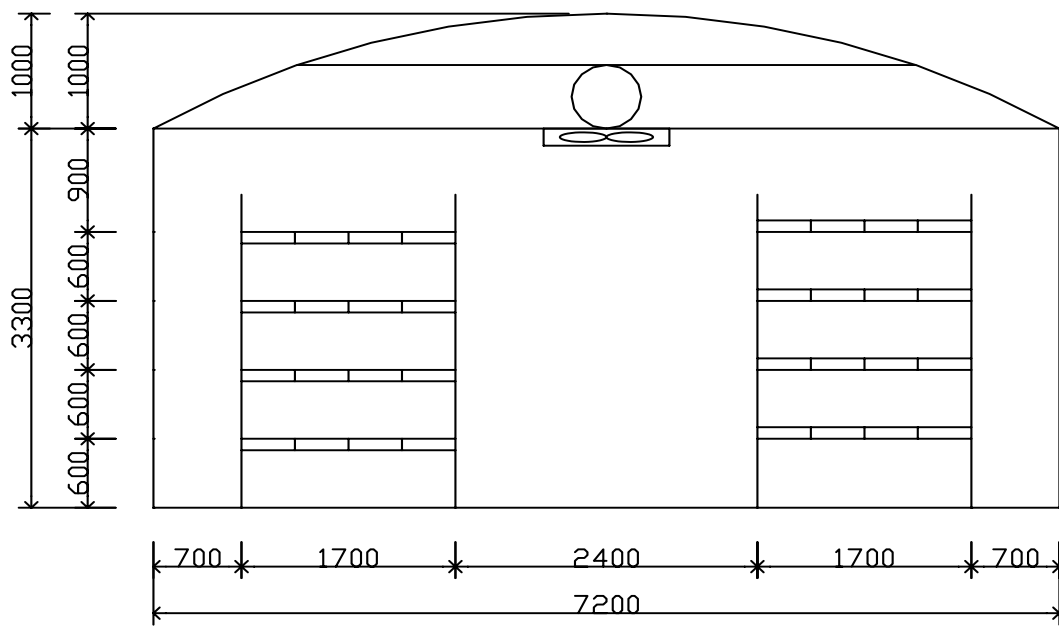


Fig. 1-9. Schematics of a tentative model section (Simple-type).

Fig. 1-8은 L4R4 모형의 단면형상으로서 영구형 새송이버섯 재배사의 공간 활용 최적화를 위한 Bench Mark 단면(BM-단면)을 나타낸 것이고, Fig 1-9는 현재 농가에서 선호하고 있는 반영구형 재배사의 모형을 다소 보완하여 개선한 것으로서 Fig. 1-8의 영구형 단동과 폭, 측고 및 동고 등을 같게 함으로서 재배사내의 공간 활용에 주안점을 둔 것이다. 앞으로 이들 단면을 기준으로 현장의 여건과 기술적인 제반 문제를 고려하여 실용성과 효율성을 겸비한 최적모형을 개발할 것이다.

2) 구조해석 결과

최대 단면력이 발생하는 기둥부재는 휨모멘트와 축방향력을 동시에 받는 경우가 일반적이므로 단주로 가정한 경우와 아울러 장주에 대한 해석을 병행해 본 결과, 기준에 적용한 바와 같이 단주로 계산하는 것이 합리적임을 확인 할 수 있었다. 또한 구조해석 전용 프로그램(SAP-2000)으로 계산된 단면력을 중심으로 주요 골조재의 단면 치수를 결정하는 과정에는 다음과 같은 2가지 계산방법이 모두 적용되었으며, 현재로서는 어느 방법을 적용하더라도 같은 결과를 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었다.

가) 단주로 가정된 경우

$$f_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} \leq f_a \quad \text{혹은} \quad \frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{cf_b}{f_{ba}} \leq 1 \dots\dots\dots(3)$$

여기서, f_{\max} : 최대응력(tf/cm²)

P : 축방향 하중(tf)

A : 단면적(cm²)

M : 모멘트(tf · cm)

Z : 단면계수(cm³)

f_a : 허용응력(tf/cm²)

f_c : 압축응력(tf/cm²)

- f_{ca} : 허용압축응력(tf/cm²)
- f_b : 압축축 휨응력(tf/cm²)
- f_{ba} : 허용휨응력(tf/cm²)

나) 장주로 가정된 경우

$$P \leq P_L = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \dots\dots\dots(4)$$

여기서, P : 최대 축방향력(tf)

P_L : 임계하중(tf)

l : 기둥 길이(m)

E : 탄성계수(tf/cm²)

I : 단면2차모멘트(cm⁴)

Table 1-16은 **Table 1-14**에 나타난 영구형 재배사의 단동 및 2연동과 현재 농가에서 일반적으로 이용하고 있는 보온 덮개형 단동구조를 중심으로 재배사의 적정 단면형상 및 주요 골조재의(경량 용접 H형강, 각관, 원형파이프) 재원을 이용하고, 또한 진주지역을 중심으로 계산된 각 재배사 모형별 최대 휨모멘트(M_{max}) 및 축방향력(P)과 이들을 바탕으로 산정한 한계적설심 및 한계풍속을 산정한 결과이다. **Table 1-16**은 특정지역의 특정 형상치수의 재배사 모형에 대해 예시하였기 때문에 주 골조의 변화에 따라 자중(사하중)이 단면력에 미치는 영향은 미미하다고 판단하여 그 차이를 고려하지 않았다.

재배사의 주요 골조재로 사용되는 강재의 재료비는 그 형상에 관계없이 중량에 비례한다. 따라서 주어진 하중조건 하에서 단면적, 즉 단위 길이당 중량이 작은 것을 선정하는 것이 경제적이다.

Table 1-16에서 알 수 있듯이 영구형 2연동의 경우, 시판되고 있는 경량용접 H형강으로는 지나치게 과잉 설계될 수 있음을 알 수 있었고, 각관의 경우도 적정 규격의

범위가 존재함을 확인할 수 있다. 이와 같은 양상은 영구형 단동과 원형 파이프를 주로 사용하는 반영구형 단동의 경우도 마찬가지로 알 수 있었다.

Table 1-16. Estimation of limit wind velocity and snow depth based on calculated section forces.

Design criticality for Jinju region based on 57 years of recurrence interval
(snow depth : 15.7cm, wind velocity : 28.2m/s)

Factor Type	Main member size	Snow load(D)		Wind load(V ²)		Limit snow depth (cm)	Limit wind velocity (m/s)	Remarks
		Bending moment (kgf • m)	Axial force (kgf)	Bending moment (kgf • m)	Axial force (kgf)			
Permanent (Two-span)	H 150×75×5×7	10.77	7.22	0.26	0.1	123.1	71.9	*
	H 100×75×3.2×4.5					50.6	46.0	*
	□ 75×75×3.2					29.4	35.0	*
	□ 75×75×2.3					22.2	30.4	*
Permanent (Single-span)	H 150×75×5×7	7.96	10.09	0.32	0.12	161.9	64.8	*
	□ 75×75×3.2					39.3	31.6	*
	□ 75×75×2.3					29.7	27.4	*
Simple (Single-span)	∅ 33.5×2.1	1.27	1.83	0.06	0.05	19.1	20.1	
	∅ 34.0×2.3					21.1	21.2	
	∅ 42.7×2.3					34.8	27.2	

*** Over designed**

예시된 바와 같이 진주지역의 57년 설계풍속 및 설계적설심을 기준으로 할 때, 적정 주요 골조재의 형상 및 치수를 산정할 수 있듯이 다른 지역의 설계치를 중심으로 다양한 재배사의 모형의 구조설계가 가능할 것으로 판단되었다.

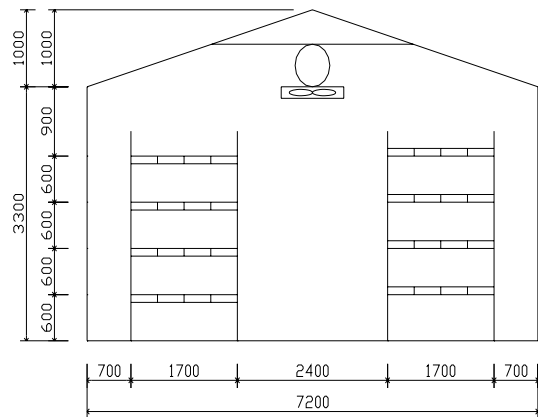
특히, 현장조사 과정에서 발견되는 각종 버섯재배사의 구조적 문제점 중에서 특히 주 골조와 보조골조간의 불균형과 안정성에 결정적인 영향을 주는 주 골조의 과소설계로 인한 문제점, 그리고 과소설계 못지않게 과잉설계로 인한 경제적 낭비에 대한 합리적 대처가 필요함을 알 수 있었다.

5. 열수지 시뮬레이션에 의한 재배사의 에너지 이용효율 분석

본 연구에서는 새송이버섯 재배사의 에너지 이용효율과 소요에너지 산정에 대한 자료를 얻기 위하여 Fig. 1-8와 Fig. 1-9에서 제시한 모형(영구형 단동 및 연동과 반영구형 단동)들을 대상으로 열수지 시뮬레이션을 실시하고 피복재의 열전달 저항치(R-value)를 산정하였다.

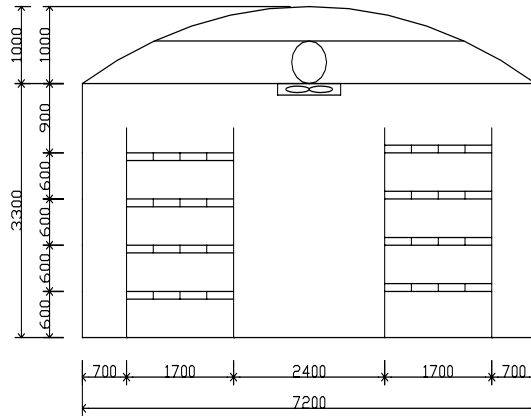
가. 재료 및 방법

Fig. 1-10은 Fig. 1-8과 동일한 공간 활용 최적화를 검토한 결과 샌드위치 패널형(영구형)의 Bench Mark 단면(BM-단면)으로 제시한 것이다. 그리고 Fig. 1-11은 영구형과 마찬가지로 Fig. 1-9와 동일한 현재 농가에서 선호하고 있는 보온 덮개(반영구)형 재배사를 다소 보완하여 나타낸 모형으로서 영구형 단동과 폭, 측고 및 동고 등을 같게 함으로서 재배사내의 공간 활용에 주안점을 두었다. 이 두 모형이 본 연구에서 열수지 시뮬레이션에 의한 에너지 이용효율 검토와 R-value(R-값)를 산정에 사용된 새송이버섯 재배사이다. 재배사의 길이는 일반적으로 농가에서 선호하고 있는 20m로 가정하였다.



(unit : mm)

Fig. 1-10. Schematics of a tentative model section (L4R4-type).



(unit : mm)

Fig. 1-11. Schematics of a tentative model section (Simple-type).

대상 공간에 대한 환경설계는 물론 구조설계를 효율적으로 수행하는 수단으로서 모형 시뮬레이션 기법이 매우 유용하게 이용되고 있다. 특히, 폐쇄된 공간에서 작물을 재배하는 온실이나 버섯재배사의 경우는 적정 환경을 조성하기 위하여 인위적으로 제반 환경인자들을 제어하는 관계로 노지 재배상황과는 달리 기술과 에너지 집약적 재배가 이루어진다. 따라서 환경의 지배인자인 기상상태와 재배시설물의 구조 형상적 변화에 따른 다양하고 장기적인 에너지 소요량의 변화를 조사하고 분석하는 것은 관련 산업의 경영합리화에 필수적 요소다. 따라서 본 연구에서는 조사 및 실측자료를 바탕으로 버섯재배사의 냉·난방부하를 Degree-Hour(D-H) 및 R-value(R-값)를 이용하여 간접적으로 추정하였다. D-H 및 R-값 산정할 때, 대상 모형은 Fig. 1-10의 단동 및 연동과 Fig. 1-11의 단동구조를 중심으로 검토하였으며, Fig. 1-11의 반영구형 모형은 보온피복재를 7층과 8층으로 한 경우를 대상으로 하였다.

1) 설정온도에 따른 월별 냉·난방 D-H 계산

설정온도(T_s)에 따른 월별 냉·난방 D-H계산에 사용된 기상자료는 경남 진주지역의 평년기상(TMY)에 가까운 1987년의 매시간별 평균온도로 하였다. 설정온도는 새송이버섯의 적정재배온도인 16~18℃(평균 17℃)를 기준으로 하고, 최저 14℃에서 최고

20℃까지 변화시키면서 매 시간별 평균온도를 기준으로 월별 및 연중 D-H를 계산하였다.

2) 설정온도 범위에 따른 월별 냉·난방 D-H 계산

실내 설정온도를 단일온도로 설정하는 대신 정적범위의 온도(제어범위)로 설정함으로써 보다 현장성에 가까운 조건하에서 냉·난방 D-H의 변화를 검토하였다. 이 때 사용한 적정재배 온도범위를 연중 16~18℃로 유지한 경우, 난방기간 동안에는 15~17℃로 유지하고 냉방기간 동안에는 17~19℃로 유지한 경우, 연중 15~19℃로 설정 온도 범위를 넓게 잡은 경우로 하였다.

3) R-값 산정

재배사 벽체 및 지붕의 열전달 단면을 가정하고, R-값을 추정하였다. 재배사 재료로 사용되고 있는 자재는 구조형태(영구형, 반영구형)에 따라 크게 두 가지로 대별된다. 영구형은 두께에 차이가 있을 뿐 대부분 폴리스티렌 또는 폴리우레탄으로 압출 성형된 단열재를 채운 양면 시트메탈(sheet metal)로 마감되어 있었다. 반영구형의 피복단면은 여러 층의 피복재로 구성되며, 사용되는 피복재의 종류, 층수 및 재질 등은 사용 농가의 요구에 의해 각각 다르기 선택되고 있기 때문에 체계적으로 접근하기 어려웠다. 특히, 반영구형 재배사의 피복재로 시판되고 있는 각종 자재에 대한 열적 특성치들이 밝혀져 있지 않기 때문에 열전달 특성을 분석하는데 어려움이 많았다.

본 연구에서는 영구형 패널인 경우, 가장 보편적으로 사용되고 있는 100 mm의 폴리스티렌과 폴리우레탄 벽체로 가정하였고, 반영구형은 관행적으로 많이 사용하고 있는 7~8층의 피복을 대상으로 하였으며, 간이형의 각종 자료에 나타나는 R-값의 단위 간 환산에는 다음과 같은 관계를 적용하였다.

$$1.0 (m^2 \cdot K/W) = 5.688 (h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F/Btu) \dots \dots \dots (5)$$

여기서,

- 플라스틱 필름(두께 0.1 mm, PE 기준) :

$$R = 0.14 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(6)$$

0.75 in.(≒19 mm)공기층을 둔 2중 플라스틱 필름

$$R = 0.22 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(7)$$

- carpet(fibrous pad) :

$$R = 0.3657 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(8)$$

carpet(rubber pad) :

$$R = 0.2163 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(9)$$

- 차광막 :

$$R = 0.451 \sim 0.314 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(10)$$

Grey-White spun bonded polyolefin film(light weight) :

$$R = 0.391 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(11)$$

이상과 같은 재료별 열저항 특성치를 기준으로 새송이버섯 재배사에 사용되고 있는 각종 피복재에 대한 R-값은 대략 다음과 같이 추정하였다. R-값에 나타낸 첨자는 단열재의 층수를 나타낸 것으로서 1은 최 내측, 7 또는 8은 최 외측을 의미한다.

- 0.05 mm 플라스틱 필름 : 0.1 mm PE 의 절반으로 가정.

$$\text{따라서, } R_1 = R_4 = R_6 = 0.07 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(12)$$

- 카시미론의 경우 : carpet(fibrous pad)의 80% 정도로 가정.

$$\text{따라서, } R_2 = R_5 = 0.300 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(13)$$

- 보온덮개의 경우 : carpet(rubber pad)의 90~95%정도로 가정.

$$\text{따라서, } R_3 = R_7 = 0.200 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(14)$$

- 차광막의 경우 : Grey-White spun bonded polyolefin film 로 가정.

$$\text{따라서, } R_8 = 0.390 (m^2 \cdot K/W) \dots\dots\dots(15)$$

이상의 R-값을 정리하면 **Table 1-17**과 같다.

Table 1-17. R-values of heat insulating material.

Kinds	R-values ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Remarks
Plastic film(PE)	$R_1=R_4=R_6=0.07$	thickness 0.05 mm
Cashmere	$R_2=R_6=0.300$	about 80% of carpet(fibrous pad) R-value($0.3657 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
Heat conservation cover	$R_3=R_7=0.200$	about 90~95%% of carpet(rubber pad) R-value($0.2163 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
Shading screen	$R_8=0.391$	Grey-White spun bonded polyolefin film(light weight)

4) R-값 및 D-H를 이용한 모형 재배사들의 냉·난방 소요에너지 산정

이상에서 계산된 D-H, 재배사별 열교환 표면적(A), R-값을 중심으로 설정온도 17℃ 일 때, 난방 및 냉방 소요열량을 구하여 에너지 효율을 검토하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 설정온도에 따른 월별 냉·난방 D-H계산

냉방이나 난방에 필요한 소요에너지를 간접적으로 비교하는 수단으로 널리 활용되고 있는 Degree-Hour(D-H) 또는 Degree-Day(D-D) 등은 특정 설정온도가 기준이 된다. 본 연구에서는 새송이버섯의 적정 온도범위를 설정기준으로 삼아, 다음과 같은 방법으로 D-H를 상정하였다.

$$D-H = \sum \{(T_s - T_o) \times (\Delta t)\} \dots\dots\dots(16)$$

여기서, T_o = 외기온(℃), Δt = 계산 시간단위(h)

위 식에서 알 수 있듯이, 외기온(T_o)이 설정온도(T_s)보다 높은 경우(음의 값)에는 냉방부하를 유발하고, 반대로 외기온(T_o)이 설정온도(T_s)보다 낮은 경우(양의 값)에는 난방부하를 유발하는 것으로 간주하여 각각을 따로 합산하였다. **Table 1-18**은 각 설정온도별로 산정된 월별 D-H를 요약한 것이다. 이를 바탕으로 각 설정온도별 연간 냉·난방 D-H를 도식화하면 **Fig. 1-12**와 같다.

Table 1-18. Monthly Degree-Hour depending on setting temperature

Class	$T_s=14^\circ\text{C}$		$T_s=15^\circ\text{C}$		$T_s=16^\circ\text{C}$		$T_s=17^\circ\text{C}$		$T_s=18^\circ\text{C}$		$T_s=19^\circ\text{C}$		$T_s=20^\circ\text{C}$	
	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H	Cooling D-H	Heating D-H
Jan	0	10,221	0	10,966	0	11,711	0	12,456	0	13,201	0	13,946	0	14,691
Feb	25	7,520	10	8,177	4	8,843	1	9,512	0	10,183	0	10,855	0	11,528
Mar	65	5,868	38	6,585	19	7,310	8	8,043	2	8,781	0	9,523	0	10,267
Apr	1,035	2,440	797	2,923	601	3,446	432	3,997	289	4,574	177	5,183	97	5,822
May	3,052	572	2,512	776	2,018	1,025	1,583	1,334	1,210	1,706	906	2,145	665	2,648
Jun	5,177	23	4,486	52	3,817	102	3,189	195	2,619	345	2,114	560	1,680	845
Jul	7,764	0	7,021	1	6,278	2	5,535	3	4,793	5	4,054	10	3,326	26
Aug	8,115	0	7,371	0	6,627	0	5,883	0	5,139	0	4,395	0	3,655	4
Set	4,159	226	3,538	326	2,949	458	2,396	626	1,887	838	1,431	1,104	1,049	1,442
Oct	2,253	1,058	1,830	1,378	1,461	1,753	1,134	2,171	853	2,634	623	3,147	441	3,709
Nov	211	4,391	124	5,024	71	5,690	37	6,377	20	7,080	10	7,790	5	8,504
Dec	32	9,226	20	9,958	11	10,692	4	11,429	0	12,170	0	12,914	0	13,658
Tot.	31,889	41,544	27,748	46,165	23,854	51,033	20,202	56,143	16,813	61,516	13,710	67,175	10,912	73,143

본 연구에서 새송이버섯의 적정재배온도 범위를 기준으로 계산된 D-H역시 기존의 여타 기준으로 산정된 D-H 또는 D-D 자료와 유사하게 월별 냉방 및 난방의 지표로 이용될 수 있음을 알 수 있다.

실내 설정온도를 높게 잡으면 높게 잡을수록 난방 D-H는 증가하는 반면에 냉방 D-H는 감소한다. 이와 같은 현상은 월별은 물론 년 중 D-H 또한 마찬가지였다.

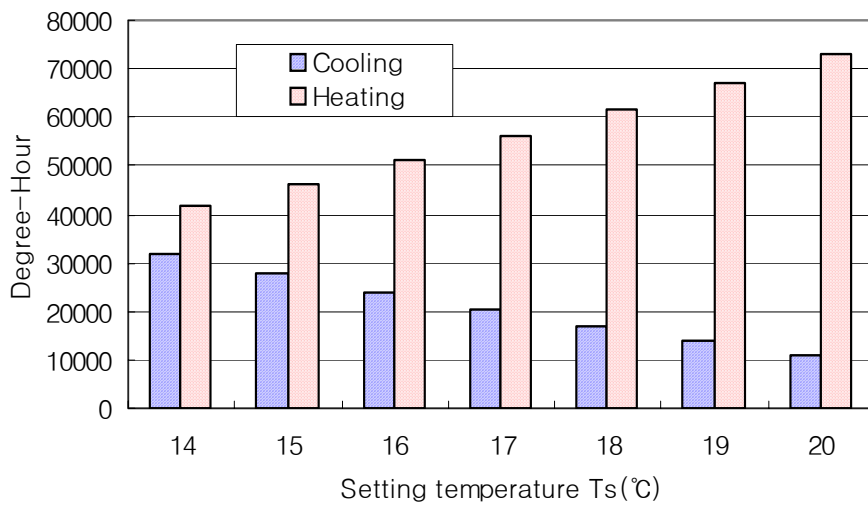


Fig. 1-12. Monthly Degree-Hour depending on setting temperature.

설정온도(T_s)가 14°C 인 경우, 4월부터 10월까지 7개월이 본격적인 냉방기간이 되고 나머지 5개월간은 총 냉방의 1% 미만에 불과하다. 난방의 경우는 냉방과 거의 반대 현상을 나타내고 있다. 그리고 설정온도(T_s)가 17°C 인 경우의 냉방 D-H = 20,202 및 난방 D-H = 56,143을 기준으로 설정온도 1°C 증감에 따라 냉방 D-H는 대체로 평균 17.3%의 증감을 보였으며, 난방 D-H는 대체로 평균 9.4%의 증감을 보였다. 따라서 같은 설정온도 변화 당 D-H의 변화의 정도는 냉방이 난방에 비해 훨씬 예민하다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 1-12을 보면, 냉방 및 난방 D-H 증감현상은 설정온도(T_s)의 변화에 따라 거의 직선적인 변화를 보이고 있음을 알 수 있었다.

2) 설정온도 범위에 따른 월별 냉·난방 D-H계산

실내 설정온도를 단일 온도로 설정하는 대신 적정 범위의 온도(제어 범위)로 설정함으로써 보다 현장성에 가까운 조건 하에서의 냉방 및 난방 D-H의 변화를 살펴보았다.

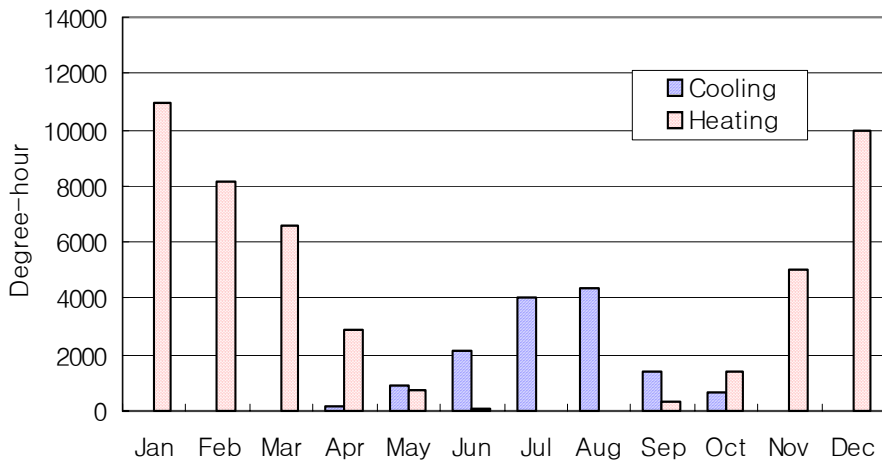
Table 1-19에서 (a)는 재배사 적정온도 범위인 연중 16°C ~18°C로 유지한 경우, (b)는 난방기 동안에는 15°C ~17°C로 유지하고 냉방기 동안에는 17°C ~19°C로 유지한 경우, 그리고 (c)는 연중 15°C ~19°C로 설정온도 범위를 넓게 잡은 경우, 등에 대해 월별 냉방 및 난방 D-H를 비교 검토한 결과이다.

Table 1-19. Monthly D-H depending on control range of setting temperature.

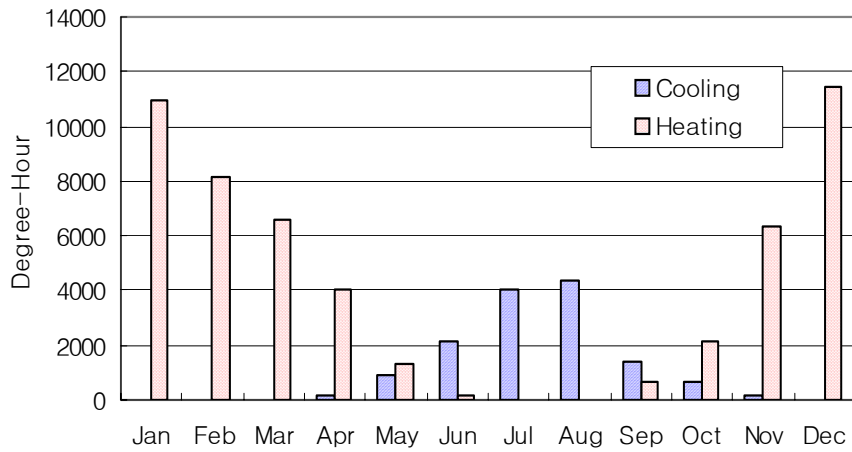
Classification	(a) All season 16~18°C		(b) Heating season 15~17°C Cooling season 17~19°C		(c) All season 15~19°C	
	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating
Jan	0	11,711	0	10,966	0	10,966
Feb	0	8,843	1	8,177	0	8,177
Mar	2	7,310	8	6,585	0	6,585
Apr	289	3,446	177	3,997	177.4	2,923
May	1,210	1,025	906	1,334	905.7	776
Jun	2,619	102	2,114	195	2,114	52
Jul	4,793	2	4,054	3	4,054	1
Aug	5,139	0	4,395	0	4,395	0
Sep	1,887	458	1,431	626	1,431	326
Oct	853	1,753	623	2,171	623	1,378
Nov	20	5,690	124	6,377	10	5,024
Dec	0	10,692	20	11,429	0	9,958
Total	16,813	51,033	13,853	51,860	13,710	46,165

Table 1-19에서 새송이버섯의 재배적정온도 범위인 16~18℃로 설정한 경우, 난방 및 냉방 D-H는 Table 1-18에 나타난 16℃ 설정시의 난방 D-H와 18℃ 설정시의 냉방 D-H와 일치함을 알 수 있다. 따라서 16℃ 또는 18℃로 단일온도로 설정된 경우에 비해 냉방이나 난방 D-H가 현저히 감소됨을 알 수 있다. 이는 그만큼 온도변화의 폭을 허용하면 생육상의 부적합성이나 생산물의 질적 불균일성 등이 수반될 수밖에 없겠지만, 환경제어에 대한 기술적 한계와 에너지 절약 측면에서의 실용성과 경영효율 등이 동시에 고려된 것이라 볼 수 있다.

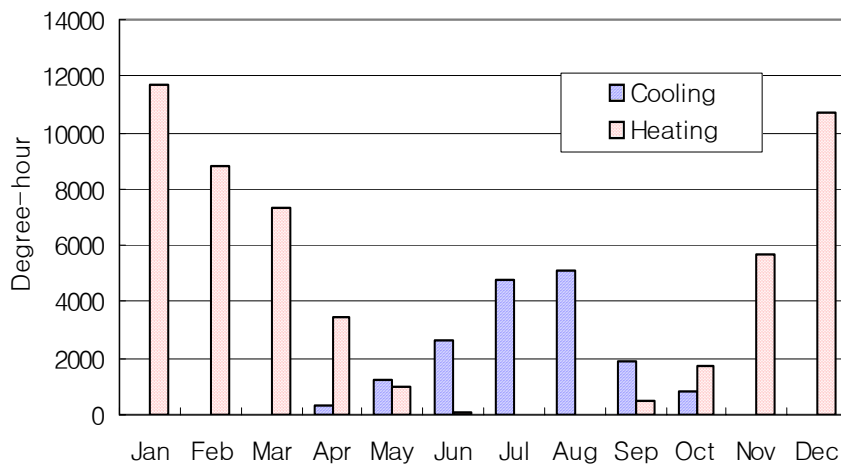
특히, Table 1-19의 (b)와 같이 냉방 및 난방기간에 설정온도의 범위를 각각 따로 설정하여 계절별 설정온도를 차등화 하는 방법을 생각할 수 있으며, (c)와 같이 설정 온도 범위를 보다 넓게 설정함으로써 제어의 범위를 확대하는 대신 냉·난방 에너지를 현저히 절감하는 방법을 생각할 수도 있다. Fig. 1-13은 이상과 같이 3가지 상황을 가정하고 그 결과를 비교한 것으로서, 처리간의 차이가 뚜렷함을 알 수 있었다. 또한 설정온도 및 실내 유지온도를 어떻게 제어하느냐에 따라 에너지 소비량의 변화를 확인할 수 있었으며, 추후 활용될 모형 시뮬레이션의 점검은 물론 현재까지 측정된 기상자료 및 에너지 사용량을 점검해 보는 데도 도움이 될 것으로 판단되었다.



(a) Controlled temperature(16~18℃).



(b) Controlled temperature(Heating 15~17°C, Cooling 17~19°C).



(c) Controlled temperature(15~19°C).

Fig. 1-13. Monthly D-H depending on control range of setting temperature.

3) R-value 산정

열적 수치계산에 채택된 재배사 모형은 크게 영구형과 반영구형으로 구분되며, 각각에 대한 벽체 단면형상, 열저항 회로 및 열전달 저항치는 다음과 같이 계산하였다.

가) 영구형 재배사

영구형 재배사의 벽체 및 지붕 단면형상과 열저항 회로도 **Fig. 1-14**와 같다. 총 저항치 계산에는 사용되는 단열재의 종류에 따라 폴리스티렌 단열형인 **1-A형**과 폴리우레탄 단열형인 **1-B형**으로 구분하였다. 여기서 사용되는 단열재의 두께는 농가에서 일반적으로 채택되는 100mm를 기준으로 택하였다.

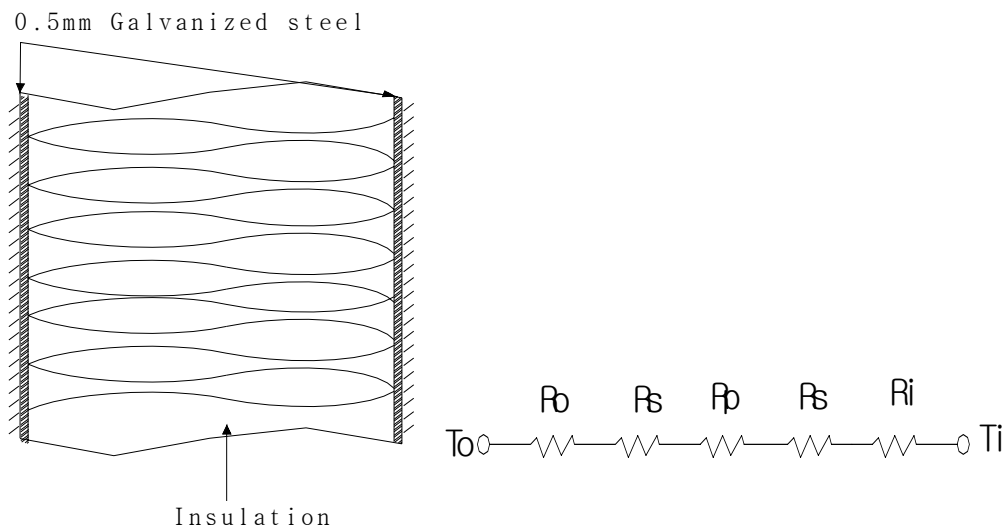


Fig. 1-14. Cross section of penal type wall & Resistance circuit.

영구형의 경우, 총 열전달 저항치는 다음과 같이 계산된다.

$$R_T = R_o + 2R_s + R_{ps} + R_i \dots \dots \dots (17)$$

여기서, R_o ; 재배사 외부 벽체면, R_s ; 0.5mm 스틸,

R_{ps} ; 폴리스티렌, R_i ; 재배사 내부 벽체면

1-A형 : 100 mm 폴리스티렌 단열($R_{ps}=3.465 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)의 경우

$$\begin{aligned} R_T &= R_o + 2R_s + R_{ps} + R_i \\ &= 0.03 + (2 \times 0.14) + 3.465 + 0.11 \\ &= 3.885 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

1-B형 : 100 mm 폴리우레탄 단열($R_{pu}=4.382 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)의 경우

$$\begin{aligned} R_T &= R_o + 2R_s + R_{ps} + R_i \\ &= 0.03 + (2 \times 0.14) + 4.382 + 0.11 \\ &= 4.802 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

1-A형 : 100mm 폴리스티렌 단열($R_{ps}=3.465 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)의 경우

$$\begin{aligned} R_T &= R_o + 2R_s + R_{ps} + R_i \\ &= 0.03 + 2(0.14) + 3.465 + 0.11 \\ &= 3.885 \text{ (m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}\text{)} \end{aligned}$$

1-B형 : 100mm 폴리우레탄 단열($R_{pu}=4.382 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)의 경우

$$\begin{aligned} R_T &= R_o + 2R_s + R_{ps} + R_i \\ &= 0.03 + 2(0.14) + 4.382 + 0.11 \\ &= 4.802 \text{ (m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}\text{)} \end{aligned}$$

나) 간이형 재배사

반영구형 재배사의 벽체 및 지붕 단면형상과 열저항 회로는 **Fig. 1-15**와 같다. 총

저항치 계산에는 관행적으로 많이 사용되는 있는 8층 피복의 경우를 2-A형으로 하였으며, 7층의 경우는 8층의 경우에서 보온덮개 또는 카시미론이 한층 없는 2-B형으로 했다.

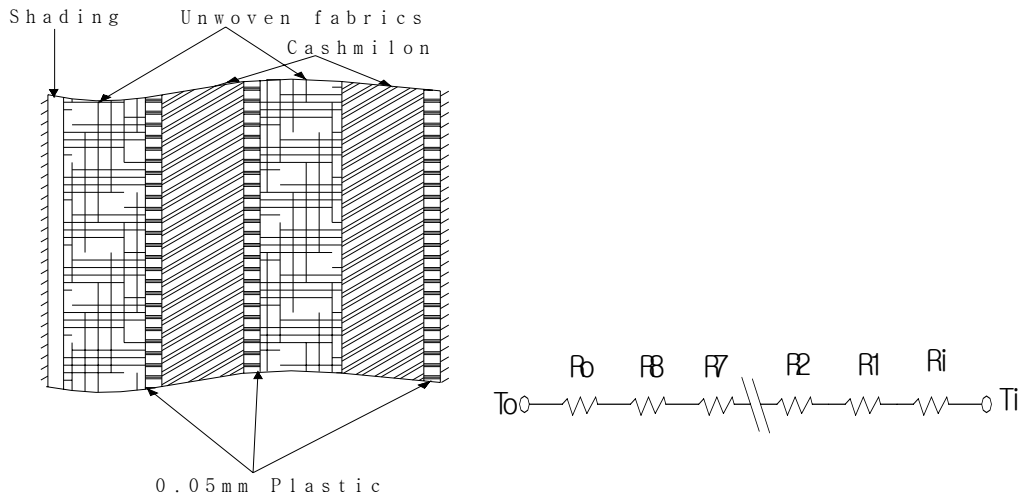


Fig. 1-15. Cross section of 8 layer heat conservation cover wall & Resistance circuit.

간이형에 대한 총 열전달저항치는 다음과 같이 계산된다.

$$R_T = R_o + \sum_{j=1}^n R_j + R_i \dots \dots \dots (18)$$

2-A형 : 8층 피복

(차광막, 보온덮개, 비닐, 카시미론, 비닐, 보온덮개, 카시미론, 비닐)

$$R_1 = R_4 = R_6 = \text{플라스틱 필름}(0.05\text{mm})$$

$$R_2 = R_5 = \text{카시미론}$$

$$R_3 = R_7 = \text{보온덮개}$$

$$R_8 = \text{차광막}$$

$$\begin{aligned}
R_T &= R_o + R_8 + 2R_7 + 3R_6 + 2R_5 + R_i \\
&= 0.03 + (0.39 + 2 \times 0.2 + 3 \times 0.07 + 2 \times 0.3) + 0.11 \\
&= 0.03 + (1.6) + 0.11 \\
&= 1.74 (m^2 \cdot K/W)
\end{aligned}$$

2-B형 : 7층 피복

(8층 피복에서 보온덮개 또는 카시미론이 한층 없는 경우)

$$R_T = 1.74 - (0.2 \text{ or } 0.3) = 1.54 \text{ or } 1.44 (m^2 \cdot K/W)$$

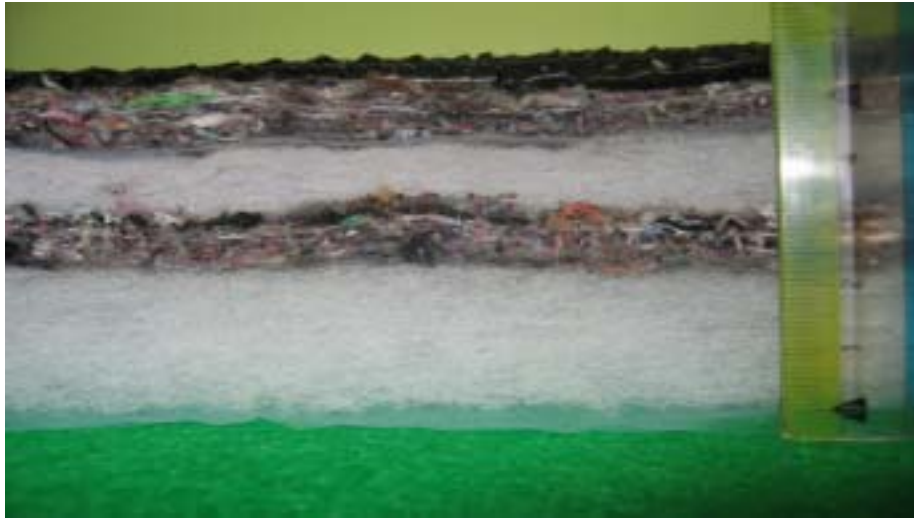
반영구형 재배사는 기존의 터널식 재배시설과 유사한 형태에 보온을 강화한 구조로서 주로 피복재의 층수는 7~8층이지만, 사용하는 피복 재료는 매우 다양하였다. 그리고 어떤 이론적 근거에 기초하거나 특별한 효과가 입증된 것이 아니라 농민들의 경험과 심정적 판단에 의해 관행적으로 이루어지고 있는 실정이었다. 특히, 최근에는 두께 20 mm전후의 스티로폼을 단열증진 목적으로 사용하는 농가도 있었으나, 스티로폼이 갖고 있는 재료의 특성상 균열이 생기거나 조각이 형성됨으로서 구조적 연속성을 상실하는 경우가 일반적이므로 단열효과가 높지 않을 것으로 판단되었다.

최 외측 피복재로 설치되는 검정색 차광막은 투과되는 빛의 양을 줄이기 위하여 사용되는 재료로서 버섯재배사와 같이 원천적으로 광의 투과가 차단된 구조에서는 차광재의 의미보다는 보온재로 이용되는 셈이다. 따라서 동절기 광의 흡수율을 높여 보온 효과가 있는 반면에 하절기에는 오히려 냉방부하를 증가시키는 부작용 또한 적지 않을 것으로 판단되었다.

특히, 층수를 늘림으로서 보온이나 단열성을 높이는 주된 효과는 재료자체의 열 저항성 보다는 여러 겹의 층을 형성함으로써 층과 층간의 공기층 때문인 것으로 판단되지만, 시공의 번잡스러움이나 유지관리 측면에서 효율성이 매우 낮을 것으로 판단된다.

자연 상태로 쌓아 놓은 8층의 피복재 형상인 **Photo 1-10의 (a)**와 이를 압축한 **Photo 1-10의 (b)**에서 구분할 수 있는 바와 같이, 재배사에 설치된 초기에는 상당한

공기층을 유지함으로써 단열성을 발휘할 수 있겠지만, 시간이 경과함에 따라 외부적 압력에 의한 다져짐과 아울러 습기나 수분 등에 의해 노출됨으로서 부식이나 침수로 인하여 단열성이 현저히 떨어질 것으로 판단되었다.



(a) natural condition



(b) pressed condition

Photo 1-10. Section composition of 8 layer heat conservation cover.

4) 재배사들의 냉·난방 소요에너지 산정

모형 재배사를 중심으로 재배사의 설정온도에 따라 난방 및 냉방 소요열량을 산정해 볼 수 있다. 이미 앞에서 계산된 D-H, 재배사별 열교환 표면적(A)과 단열정도에 따른 R-값을 중심으로 몇 가지 설정온도별로 계산된 냉·난방 소요열량을 요약하면 Table 1-20과 같다. 소요열량 산정에는 다음과 같은 식을 이용하였다:

$$Q = A \times \frac{D-H}{R} \times 3600 \dots\dots\dots(19)$$

여기서, Q = 부하열량(J), A = 열전달 표면적(m^2)

$D-H$ = Degree-Hour($^{\circ}C \cdot h$), R = 열전달 저항($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)

Table 1-20. Heating and cooling load depending on different growing structures.
(Setting temperature $T_s = 17^{\circ}C$)

Structure type	Heat insulating material	Surface area (m^2)	Thermal resistance ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Quantity of heat(MJ)	
				Cooling	Heating
Permanent (single-span)	polyurethane panel t=100 mm	336.20	4.802	5,092 (35.36)	14,150 (98.26)
	polystyrene panel t=100 mm	336.20	3.885	6,294 (43.71)	17,490 (121.46)
Permanent (two-span)	polystyrene panel t=100 mm	606.40	3.885	11,352 (39.42)	31,547 (109.54)
Simple (single-span)	heat conservation cover 8-layer	340.32	1.740	14,224 (98.78)	39,531 (274.52)
	heat conservation cover 7-layer	340.32	1.440	17,187 (119.35)	47,766 (331.71)
Permanent (single-span)	polystyrene panel t=50 mm	336.20	2.153	11,357 (78.87)	31,560 (219.17)

() : Heating or cooling loads per unit floor area ($MJ \cdot m^{-2}$), $1MJ \approx 239kcal$

Table 1-20은 영구형과 반영구형 재배사의 폭과 길이를 각각 7.2 m와 20.0 m로 동일하게 적용했으며, 비교 목적상 실내 재배공간의 배치도 동일하다고 가정하였다. 단, 2연동 영구형의 경우는 바닥 면적이 단동형의 2배이므로 이를 바닥 단위면적당(괄호 내)으로 환산하였다.

Table 1-20에서 알 수 있듯이 에너지 효율측면에서 가장 유리한 재배사의 모형은 2연동 영구형 구조임을 알 수 있었다. 소요 에너지 측면에서도 연동 재배사는 단동 재배사에 비해 냉방과 난방 모두 바닥면적 $1m^2$ 당 약 10%의 에너지를 절약할 수 있음을 알 수 있었다. 2연동 구조는 2개의 단동이 측벽에서 결합되는 형식이므로 결국 한 쪽 측벽부에 해당하는 만큼 열전달이 감소되기 때문이다.

영구형 단동구조에서 벽체 및 지붕의 단열재가 다른 경우를 검토하기 위하여 폴리스티렌 100 mm 단열에 대한 폴리우레탄 100 mm 단열의 단열성능비만을 단순 비교한 결과, 냉·난방부하 모두 0.809(35.36/43.71, 98.26/121.46)로서 같은 단열두께라 하더라도 재료만 바꾸더라도 냉방 및 난방 면에서 약 19%의 열부하를 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

영구형 구조에서는 일반적으로 폴리스티렌 100 mm 단열재가 주를 이루지만, 일부 오래된 노후 구조에서 폴리스티렌 50 mm 단열재를 사용하고 있는 경우도 발견되었다. 따라서 이런 경우에 대한 단열성능을 100 mm 단열재의 경우와 비교해 보면, 냉·난방부하 모두 1.804(78.87/43.71, 219.17/121.46)로서, 단열두께가 100 mm 인 경우에 비해 단열두께가 50 mm 로 감소되면 냉·난방 측면에서 약 80%의 열부하가 가중됨을 알 수 있었다.

이러한 경우는 반영구형에서도 비슷한 경향을 발견할 수 있었다. **Table 4**에서 피복이 8층인 경우에 비해 카시미론이 한층 제거된 7층 피복의 경우도 냉·난방부하는 모두 1.21(119.35/98.78, 31.71/274.52)로서, 냉·난방 공히 약 21% 정도의 열적 부하가 증가됨을 알 수 있었다.

다음으로는 반영구형 재배사의 단열성능을 살펴보기 위하여 동일한 공간조건을 가진 영구형에 대비해 보았다. 영구형의 폴리스티렌 100 mm 단열재에 대한 반영구형 8층 피복 단열의 단열성능비만을 단순 비교한 결과, 냉·난방부하 공히 2.260(98.78/43.71, 274.52/121.46)로서, 냉방 및 난방에서 각각 약 2.3배의 열부하가 발

생됨을 알 수 있었다.

결국, 재배사내의 환경인자와 태양복사 등을 고려하지 않고 R-값만을 이용하여 단순 비교한 경우, 동일한 공간구조를 갖춘 재배사는 다중 피복의 반영구형 재배사에 비해 규격화된 두께 및 재질로 생산되고 있는 영구형 재배사가 단열성능 면에서 현저히 유리하였으며, 단동 대비 연동구조의 냉·난방 에너지 효율의 개선정도, 그리고 각종 단열 정도에 따른 에너지 소요량의 차이를 쉽게 가늠할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 이들 자료를 중심으로 재배사내의 환경인자와 태양복사 등을 좀 더 고려하면, 주어진 지역의 기상 상황을 중심으로 재배사의 구조형상, 특히 벽체 및 지붕 등의 주요표면의 단열 정도와 표면상태 등에 따라 계절별 또는 재배 주기별 냉방 및 난방 에너지 소요량을 예측할 수 있으므로 적절한 경제성 분석을 통한 재배사의 구조 형상적 최적화를 꾀할 수 있을 것으로 판단되었다.

6. 재배사 출입문의 단열구조

재배사를 통한 열전달에 의한 에너지 손실을 줄이기 위해서는 열손실의 원인이 제대로 구명되어야 한다. 현실적으로 가장 합리적인 단열구조란 재배사 표면을 통한 열전달을 극소화 시키고, 환기창이나 출입구 및 표면의 균열부 등의 개구부를 통한 불필요한 에너지 유출을 막는 것이다.

현장조사에 의하면, 간이형 재배사의 경우는 출입문이 2중으로 설치된 경우가 없었다. 영구-패널형도 2중문의 구조를 갖춘 경우가 흔치 않았으며, 공동복도에서 각 재배사로 접근하는 형식의 2중구조가 일부 발견되었다.

간이형 재배사는 폭이 6m 전후이고 길이가 20m 내외로 대부분 규모가 매우 영세하여, 내부 출입문과 외부 출입문을 갖추기에 너무 열악한 공간이다. 끝벽부에 설치된 출입문을 2중문으로 설계하기 위해서는 최소 1m의 공간이 필요하므로 양 끝벽부에 설치되는 경우, 재배사 총 바닥면적의 10%정도가 사장되는 결과로서, 영세한 재배환경이 더욱 열악해지는 결과를 초래할 것으로 판단되어, 관행의 소규모 간이형 재배사에 대해서는 2중문 구조가 부적합한 것으로 결론지었다. 그러나 영구형 재배사의 경우도 현재 단계로서는 재배사 내부의 공기분포의 균일성 확보와 아울러 세균이나 미생물 감염 예방 및 환경조절 시스템 등과 연계된 연구가 좀 더 필요할 것으로 판단되며, 작업준비실 및 환경조절장치 등을 설치하여 공기조절의 완충 장소로 이용되고 있는 공동복도 형식이 바람직 할 것으로 판단된다.

그리고 간이형 재배사는 구조적인 안정성 측면에서도 태풍이나 폭설 등으로부터 절대 안전할 수 없는 상태이므로 조속한 조치가 필요하다고 판단된다. 또한 출입문을 통한 외기의 유출입은 재배사 내의 버섯 생육에 적지 않은 환경 스트레스를 유발할 수 있으므로 최소한 외기가 재배작물이나 실내로 직접 유입되는 문제점은 에너지 효율을 높이기 위함은 물론 작물의 질병예방을 위해서도 반드시 해소되어야 할 것이므로 기존의 영세구조의 간이재배사는 가급적 영구-패널형으로 대체되어야 할 것으로 판단된다.

7. 재배사 설계

가. 재배사 구조의 개요

본 연구에서는 제1절 4항의 “구조설계용 자료 분석”에서 선정된 모형을 중심으로 구조해석을 실시하고 그 결과를 Table 1-14 및 Table 1-16 에 나타내었다. 이 때 재배사의 길이를 20m로 가정하였지만, 실제로 시판되는 주요 부재들의 규격이나 시공 여건 등을 고려하면 재배사의 길이는 24m 정도가 적당하다. 따라서 실제 재배사의 길이를 24m로 한 경우, 구조해석을 본 연구에서 검토한 결과와의 차이를 검증하기 위하여 다른 기관에 의뢰하여 검토하여 보았지만, 한계적설심 이외는 큰 차이가 없었다.

구조해석을 실시한 새송이버섯 재배사는 Table 1-21 및 Fig. 1-16과 같으며, 재배사의 폭 7.2m, 기둥 간격 3m×8구간으로 된 재배사로 총 바닥면적은 172.8m² 이다.

Fig. 1-16과 같은 재배사 단면에 대하여 주요 부재를 H형강(150×75×5×7)과 각형강관(75×75×3.2)으로 하였을 때, 한계풍속과 한계적설심을 산정하였으며, 부재별 단면성능은 Table 1-22와 같으며, 강관 및 구조용 강재의 항복강도는 2400kgf/cm² 이상이여야 하고, 이 값을 기준으로 인장 및 휨 허용응력을 1,600kgf/cm²로 계산하였다.

Table. 1-21. Main frame size for structural analysis.

Width (m)	Length (m)	Side height (m)	Ridge height (m)	Column interval (m)	Main member size
7.2	24.0	3.3	4.3	3.0	-H150×75×5×7 -□75×75×3.2

Table. 1-22. Section properties for structural analysis.

Type	Main member size	Section area (cm ²)	Unit weight (kgf/m)	Second moment of area (cm ⁴)	Section modulus (cm ³)
CASE1	□ 75×75×3.2	8.93	7.01	75.5	20.1
CASE2	H 150×75×5×7	17.85	14.0	66.6	88.8

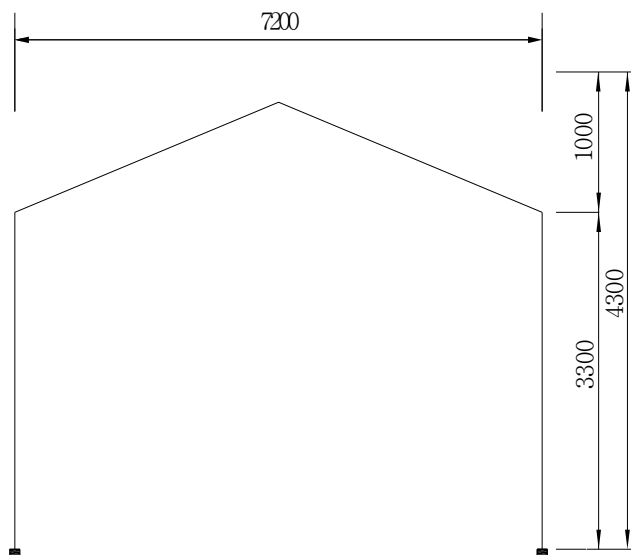
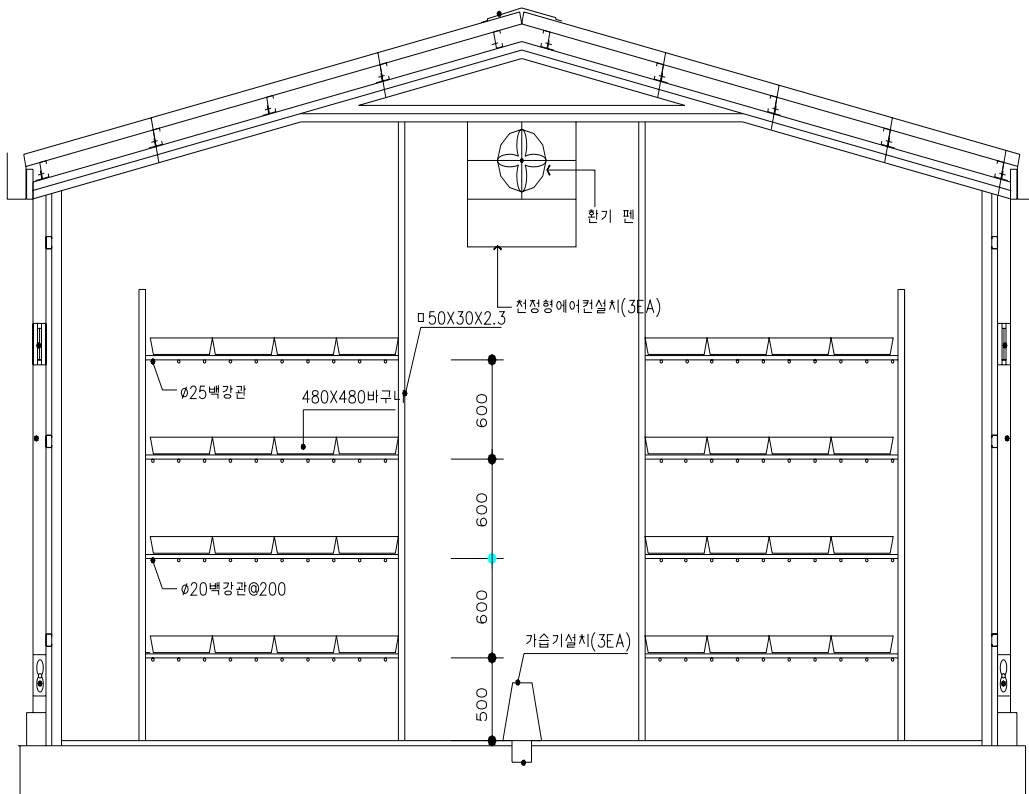


Fig. 1-16. Schematic of model and cross section for structural analysis.

나. 설계하중의 계산

1) 고정하중

- o. 철골, 철근 : 7.8tf/m^3
- o. S/W 패널 : 10.5kgf/m^2

2) 풍하중

- o. 속도압 : $q = 0.0197V^2\sqrt{h} = 0.0197 \times V^2 \times \sqrt{3.8} = 0.0384V^2\text{kgf/m}^2$
 여기서, V는 설계풍속이며 h는 온실의 유효높이 $h = (3.3 + 4.3)/2 = 3.8\text{m}$ 이다.
- o. 구조해석시 적용 풍하중
 - 단위길이(1m)당 적용 하중 $q_0 = 0.0384 \times 1.0 = 0.0384\text{kgf/m}$
 - 구조해석시 온실의 각 부재별로 적용하는 풍하중은 단위길이당 하중 q_0 에 부재별 풍력계수(Fig. 1-17 참조)를 곱하여 적용

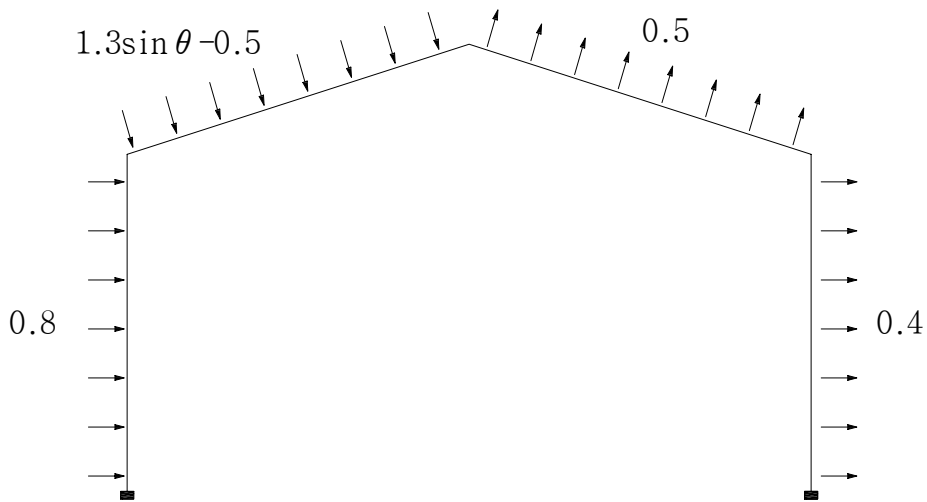


Fig. 1-17. Distribution map of wind force coefficient for structural analysis.

3) 적설하중

o. 적설하중 : $W_s = \rho \times D \times \alpha$ (kg/m²)

여기서, ρ 는 단위적설중량(**Table 1-23** 참조), D는 설계용적설심(cm)이며 α 는 지붕의 기울기에 따른 절감계수(**Table 1-24** 참조)이다.

Table 1-23. Unit weight of snow cover.

Snow depth (cm)	50 and less	100 and less	200 and less	400 and less
Unit weight (kg/cm ³)	1.0	1.5	2.2	3.5

Table 1-24. Reduction coefficient of snow load according to roof slop.

Roof slop	10° ~ 20°	20° ~ 30°	30° ~ 40°	40° ~ 60°	60° and over
Reduction coefficient	0.90	0.75	0.50	0.25	0

o. 구조해석시 적용 풍하중

- 단위길이(1m)당 적용 하중 $W_s = 0.9 \times (1.0 \sim 3.5) \times 1 = 0.9 \sim 3.15 \text{kgf/m}$
- 구조해석시 온실의 각 부재별로 적용하는 적설하중은 단위길이당 하중 W_s 에 지붕 기울기에 대한 절감계수와 적설심 깊이별 단위체적중량을 곱한 하중을 적용하였으며, 적설하중의 분포형태는 **Fig. 1-18**과 같다.

다. 한계풍속 및 적설심

새송이버섯 재배사(**Fig. 1-16**) 구조물에 단위 풍하중과 단위 적설하중에 대하여 구조해석을 수행하여 얻은 단면력을 아래의 식을 이용하여 최대응력을 산정하였다. 최대응력과 부재의 허용응력을 비교하여 구조물이 견딜 수 있는 한계풍속과 한계 적설

심을 구한 결과는 Table 1-25 및 Table 1-26과 같다.

$$\text{최대응력(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\text{최휨모멘트(kg}\cdot\text{cm)}}{\text{단면계수(cm}^3\text{)}} + \frac{\text{축방향력(kgf)}}{\text{단면적(cm}^2\text{)}}$$

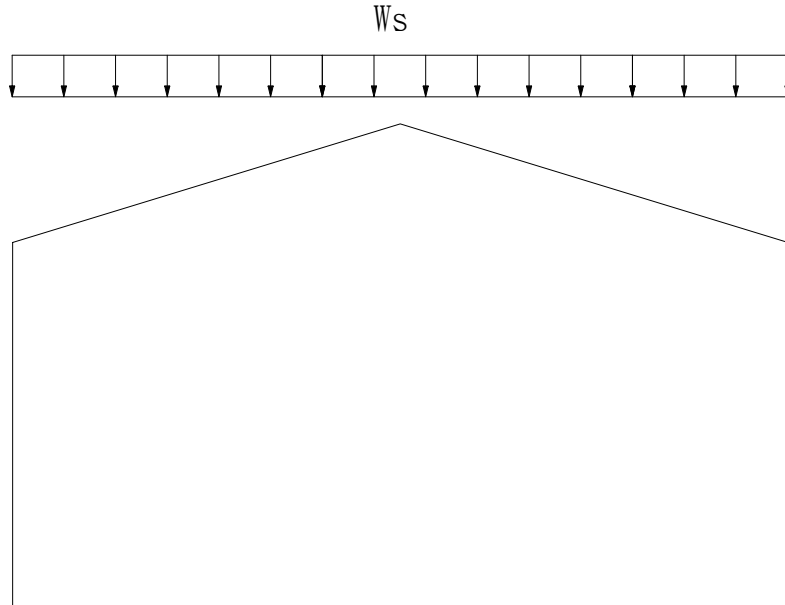


Fig. 1-18. Distribution map of snow load for structural analysis.

라. 재배사의 단면도

본 연구에서 제시한 영구형 새송이버섯 재배사의 구조설계도, 즉 평면도, 측면도, 배면도 등을 설계사무소에 의뢰하여 작성하였다. 물론 각 종 상세도 및 물량산출도 하여야 하지만, 본 연구의 범위 내에서는 다소 무리가 있었다. 그러나 이 구조설계는 버섯재배사 시공업체나 재배농가에서는 유용하게 이용할 수 있을 것으로 판단되며, 앞으로 좀 더 보완된다면, 정책 자료로도 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 이들 구조설계도는 부록에 수록하여 두었다.

Table 1-25. Section forces and limit wind velocity by wind load.

Type	Member size	Load	Axial force (kgf)	Bending moment (kgf·cm)	Strain (cm)	Limit wind velocity (m/s)
CASE1	□ 75×75×3.2	self-load	208.07	1,064.09	1.96×10^{-2}	30.73
		wind load	$0.05V^2$	$10.70V^2$	$9.46 \times 10^{-4}V^2$	
CASE2	H 150×75×5×7	self-load	317.64	2,811.12	1.24×10^{-2}	63.48
		wind load	$0.05V^2$	$10.54V^2$	$1.42 \times 10^{-4}V^2$	

Table 1-26. Section forces and limit wind velocity by snow load.

Type	Member	Load	Axial force (kgf)	Bending moment (kgf·cm)	Strain (cm)	Limit snow depth (cm)
CASE1	□ 75×75×3.2	self-load	208.07	1,064.09	1.96×10^{-2}	58.2
		snow load	3.36D	116.53D	$5.31 \times 10^{-4}D$	
CASE2	H 150×75×5×7	self-load	317.64	2,811.12	1.24×10^{-2}	150.5
		snow load	3.36D	102.68D	$2.05 \times 10^{-4}D$	

제 2 절 소요에너지 실태 파악 및 에너지 절감 대책

1. 새송이버섯 재배사의 환경요인 분석

본 연구에서는 일반재배 농가를 대상으로 새송이버섯의 계절별, 생육단계별 로 재배사 내부의 미기상인자를 측정하여 실측자료를 Data-base화하고 환경조절의 문제점을 도출한 후, 환경조절방식 및 시스템 설계에 대한 기초자료를 얻기 위하여 환경인자를 계측하여 분석하였다.

대상 재배사는 간이재배사와 영구재배사로 하였으며, 간이재배사의 경우는 재배사의 구조 및 규모는 유사하지만, 재배경력이 서로 다른 두 농가로 하였다. 대상 농가의 환경인자 계측결과를 분석하면 다음과 같다.

가. 간이재배사(반영형구, 보온덮개형)를 중심으로

간이재배사의 경우는 진주 인근의 두 개 지역에서 환경인자를 측정하여 비교·분석하였다. 한 지역에서는 '02년 11월 20일부터 동년 12월 30일까지 측정하였으며, 다른 한 지역에서는 '03년 1월 16일부터 9월까지 측정을 하였다. 두 지역(이하 **갑, 을 지역**이라 함) 공히 바닥면적 30~40평 전후의 3~4동의 재배사를 운영하고 있었지만, **갑, 을 지역** 공히 2동(이하 **A, B-동**이라함)의 재배사를 대상으로 환경요인 등을 측정하였다. 단, 두 지역 공히 기존의 느타리버섯 재배사를 새송이버섯 재배사로 전환한 점은 동일 하지만, **갑 지역**의 경우는 새송이버섯을 국내에 처음으로 도입될 당시('97)부터 새송이버섯을 재배하였던 재배사인 반면에 **을 지역**은 새송이버섯 재배경력이 1년 정도인 재배사이다. 두 지역 공히 바닥은 콘크리트로 처리되어 있고, 작업의 효율성을 높이기 위하여 40×40cm 플라스틱 트레이에 용량 850cc 배지병 16개를 담아 재배하고 있었으며, 한 동에 최대 수용할 수 있는 배지는 약 12,000~15,000병이지만, 실제로 재배는 10,000~13,000병이다. 재배사의 온도는 온수보일러 난방시스템과 전기식 냉방시스템으로 조절하였다. 탄산가스농도는 재배사 통로 상단에 위치한 덕트로 외기를 불어넣는 흡기팬과 한 쪽(**갑 지역**) 또는 양쪽(**을 지역**) 측벽에 연하여 설치된

배출용 덕트를 통해 실내공기를 빨아내는 배기팬을 이용하여 조절하였다. 상대습도는 주로 천장부에 설치한 초음파 가습기를 이용하여 조절하였다. 단, **갑 지역**에서는 초음파 가습기 이외에 추가로 바닥에 분무형 노즐을 설치하여 동절기에만 사용하고 있었다. 이 분무형 노즐은 배지병을 입상한 후, 상대적으로 높은 습도가 요구되는 시기인 배지병을 뒤집기 하기 전 약 7~10일 정도(밭이기)에만 사용하였다. 광은 두 지역 공히 배지병을 뒤집기 한 후, 주간동안에만 점등하는 방식을 채택하였다.

그리고 재배주기는 계절, 설정 온도 등에 따라 다소 차이는 있지만, 입상 후 20일 전·후이다. 그러나 수확 후, 폐배지 처리, 재배사 청소, 소독 및 배지의 공급 등을 고려하면, 실제 생산주기는 약 30일 정도이다.

두 지역에서 측정된 환경인자는 외기온(건구 및 습구), 재배사 내부 높이별 6지점의 온도(습구온도 1점 포함), 탄산가스 농도 및 보일러 온수 순환온도로서 1분 간격으로 측정하였으며, 이 이외에도 조도분포, 소비전력 및 버섯의 생산량 등도 조사하여 분석하였다. 외기온은 재배사 인근에 설치한 백엽상에서 건·습구 온도를 측정하였다. 온도는 온도센서(T-type)를 이용하였으며, 측정값은 Data logger(NEC, DE10-109) 및 컴퓨터를 이용하여 저장 및 분석하였으며, 탄산가스 농도는 휴대용 측정기 Testo(Testo 353) 및 센서(SenseAir; aSENSE-D와 VAISALA ; GMW22D)를 이용하여 측정하였다. 재배사 내부의 조도는 HIOKI(3421)로 측정하였다.

또한 현장에서 발생하는 문제점의 원인을 구명 및 보완하고 현장에서 계측하기 어려운 재배사 내부의 수직 및 수평 온도분포를 조사하기 위하여 교내에 설치된 소형 연구 재배사에서도 최근에 재배실험을 실시하고 있다. 다음은 현재까지 진주 인근에 위치한 갑, 을 지역에서 측정 및 수집된 자료를 중심으로 연구내용을 요약한 것이다.

1) 갑 지역

가) 재료 및 방법

실험 재배사는 진주인근(교내에서 약 **4km**)에서 기존의 느타리버섯 재배사를 새송이버섯 재배사로 전환한 간이형 재배사를 운영하고 있는 농가로 하였다. **Photo 2-1**은 2002년 11월 20일부터 동년 12월 30일까지 실험을 실시한 재배사의 내·외부를 나

타낸 것이다. 일반적으로 간이재배사의 경우, 피복층은 재배사마다 약간 차이가 있지만, 실험 재배사는 외부로부터 차광막, 보온덮개, 플라스틱 필름, 스티로폼, 플라스틱 필름으로 되어 있다.

재배사의 규모는 폭 6m, 길이 20m, 동고 4m, 측고 2.5m이며, 전체 4동으로 되어 있다. 재배상은 폭 1.3m, 길이 18m, 높이 0.6m이며, 폭 2.4m인 중앙 통로를 중심으로 좌·우측에 각각 4단으로 되어 있다. 작업의 효율성을 고려하여 크기 40×40×10cm 플라스틱 박스에 850cc의 배지병 16개를 담아 재배하고 있었으며, 한 재배주기에 약 15,000병/동을 재배할 수 있지만, 노동력 등을 고려하여 일반적으로 12,000~13,000병/동을 재배하고 있었다.



Photo 2-1. *Pleurotus eryngii* cultivation houses.

환경조절장치로는 각 동 모두 냉방기(3HP, 3,529kcal/h) 2대, 초음파 가습기(6구) 3대, 흡기팬 및 배기팬(0.4kW) 각각 1대, 형광등(40W ; **작업용**) 5개, 백열등(18W ; **비섯재배용**) 6개 및 온수보일러(71,400kJ · h) 1대를 사용하고 있다. 재배사 내부의 통로 바닥에는 겨울철 가습을 위하여 바닥에서 약 5cm 높이에 1m 간격으로 38개의 분무 노즐이 길이 방향으로 설치되어 있었다. 난방은 재배상 아래 바닥에 설치된 직경 22mm의 액셀파이프(8줄/동)로 약 65℃ 정도의 온수를 순환시켜 실시하였다.

재배사의 내부 온도는 보일러와 냉방기로 조절하며, 온도센서(Pt 100 Ω)를 이용하여 ON/OFF식 **중앙제어 방식**을 채택하고 있었다. 탄산가스 농도는 재배사 통로 상단에 위치한 덕트로 외기를 불러넣는 흡기팬과 한 쪽 측벽에 연하여 설치된 배출용 덕트를 통해 실내공기를 빨아내는 배기팬을 이용하여 조절하였다. 상대습도는 주로 천장부에 설치한 초음파 가습기를 이용하여 조절하였으며, 분무노즐은 배지병을 입상한 후, 상대적으로 높은 습도가 요구되는 시기인 배지병을 뒤집기 전인 발이기(약 7일)에만 사용하였다. 광은 균상을 뒤집기 한 후, 주간동안에만 점등하는 방식을 채택하였으며, 습도나 탄산가스 농도 조절을 위한 환기는 타이머를 이용하여 **각 동별로** 조절하였다.

다음의 사진들은 **갑 지역**의 사진들을 나타낸 것이지만, 이들 사진은 재배사 형태(간이 또는 영구)나 지역에 관계없이 일반적으로 농가에 설치되어 있는 환경조절설비로서 설치 방법 또한 대부분 재배농가도 이와 유사하다.

Photo. 2-2는 재배사 내부에서 건·습구 온도를 측정하는 것이고, **Photo 2-3**은 초음파 가습기, 냉방기의 증발기, 흡기구 덕트를 나타낸 것이다.

습구온도 측정시 사용한 가제에 이끼가 끼는 것을 방지하기 위하여 증류수를 사용하였으며, 증류수는 수시로 보충하였다. 그리고 온도계측을 정확성 확보를 위하여 강제공기유동식 온도측정장치(Aspirated thermometer)로 측정하였다. 이 때 공기유동 플라스틱 파이프 한 쪽에는 소형 팬을 부착하여 약 3m/s 정도로 공기유속을 조성하였다. 이와 같은 온도측정 방법은 이하 모든 재배사에서 동일하게 적용하였다. 앞서서도 기술하였듯이 누전으로 인해 소형 팬에 전원을 공급하여 온도를 측정하는 것도 쉽지 않은 아니었다. 특히 습구온도의 측정이 쉽지 않다. 이러한 경우에는 어떻게 하든 가능한 한 전기 노이즈를 최대한 줄이는 방법을 강구하여야 한다. 즉 모든 센서의 감지부를 온도 감지에 방해가 되지 않은 범위 내에서 반드시 절연체로 실드를 하여야 한다. 그러나 노이즈를 100% 차단하는 것은 불가능 하다.



Photo 2-2. View of typical temperature instrumentation.



Photo 2-3. View of ultrasonic humidifier, evaporator and intake duct.

Photo. 2-4는 농가가 일반적으로 사용하는 재배사 내부의 온도를 확인용 온도계이고, Photo 2-5는 냉방기 실외기를 나타낸 것이다.



Photo 2-4. View of a thermometer for inside temperature instrumentation.



Photo 2-5. View of cooling compressors.

Photo. 2-6은 실내 공기 배출용 덕트와 팬을 나타낸 것이다.



Photo 2-6. View of exhaust fan and duct.

Photo 2-7은 공기흡입용 필터를 나타낸 것이고, Photo 2-8은 온수순환용 파이프를 나타낸 것이다.



Photo 2-7. View of intake air filter.



Photo 2-8. View of pipes to circulate heat water.

Photo 2-9는 온도계측기와 컨트롤 패널을 나타낸 것이다. 계측기와 기타 부속품 들도 가능한 한 절연체로 누전으로부터 격리시킨 후 계측하였다. 예를 들면 현장 계 측기이기 때문에 계측기를 박스형태내에 둔다면 박스 자체도 반드시 그라운드를 시켜 야 한다.



Photo 2-9. View of control panel, data logger and computer.

Fig. 2-1은 재배사의 정면도와 평면도이다. 평면도 내에 표시되어 있는 A, B 및 C는 조도를 측정할 지점이다.

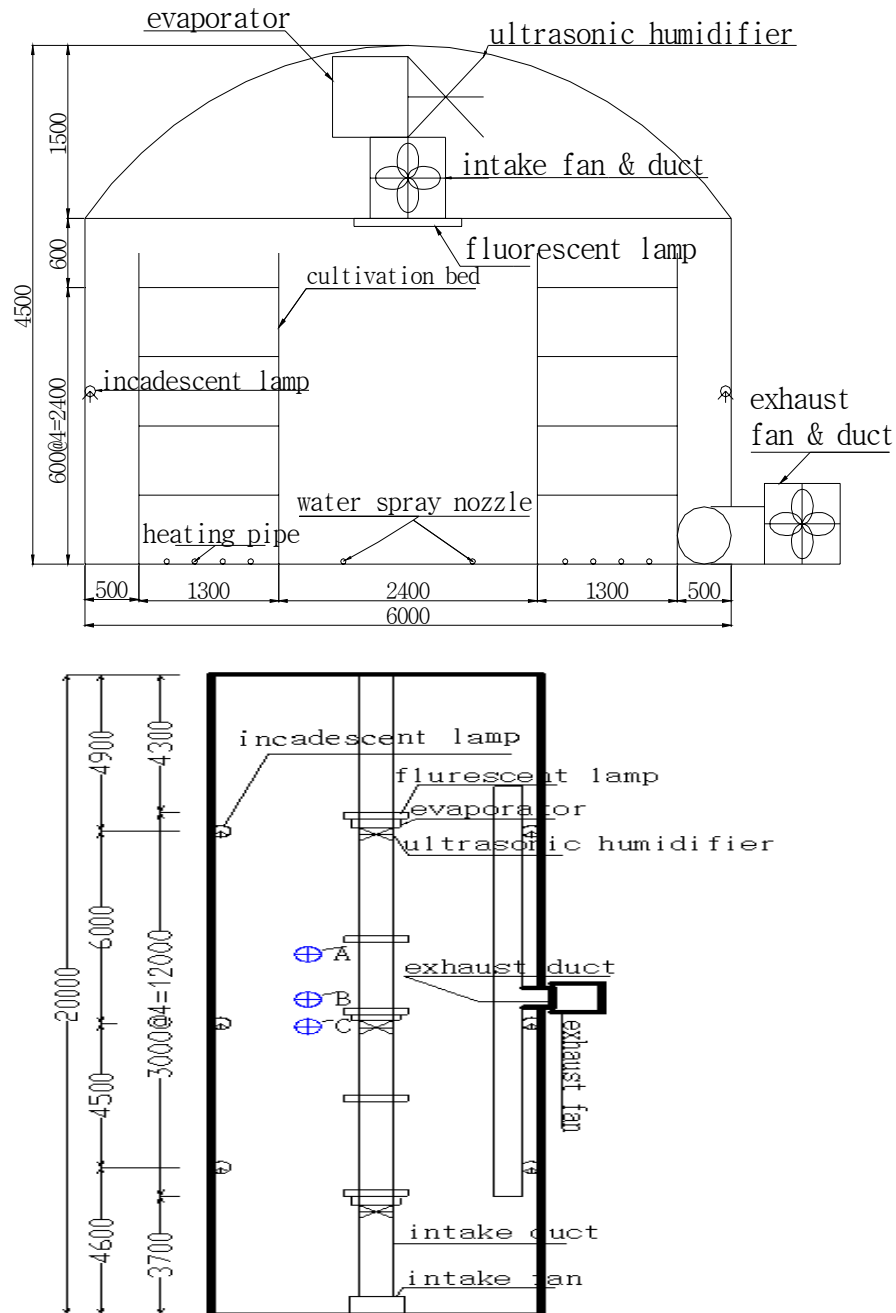


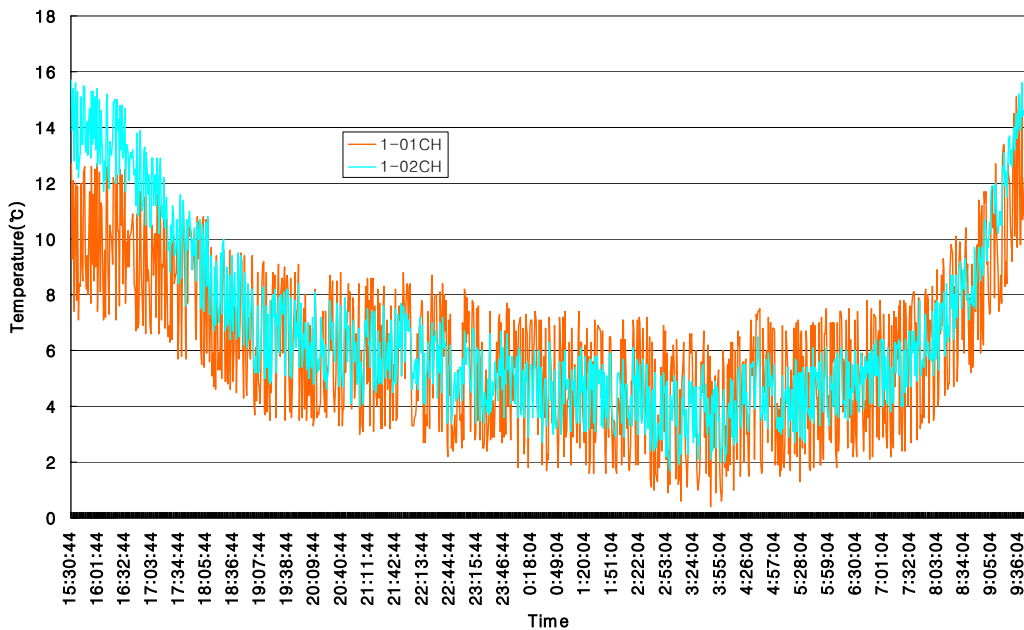
Fig. 2-1. Plan of *Pleurotus eryngii* cultivation house.(unit : mm)

나) 결과 및 고찰

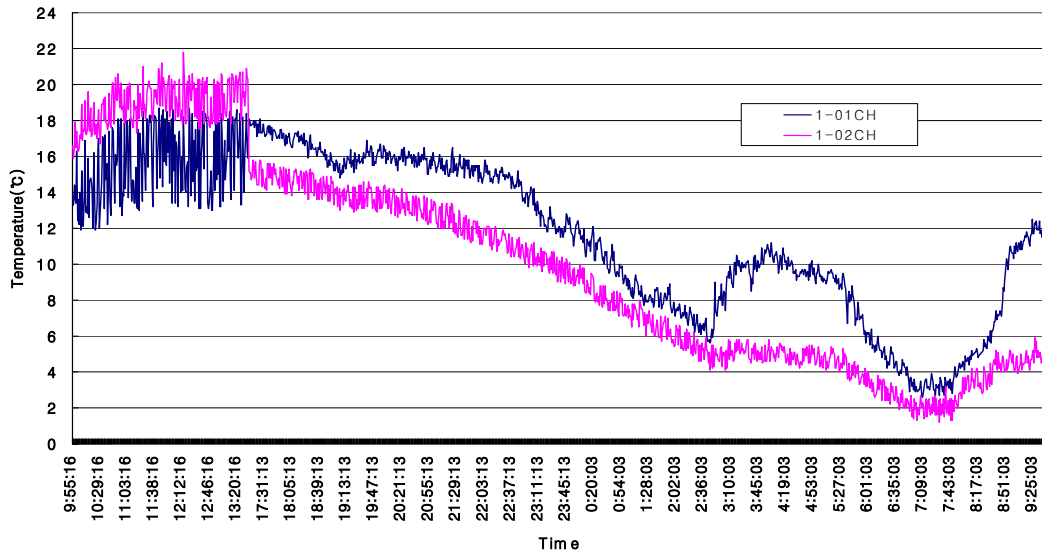
실제 버섯재배 동은 4동이지만 자료의 측정과 조사는 2개 동(이하 A, B-동이라 함)을 대상으로 실시하고 분석하였다. 측정결과를 분석하면 다음과 같다.

(1) 계측기 온도검측

간이, 영구재배사 또는 지역에 관계없이 본 과제에서 계측대상이 되었던 재배사들은 재배사 구조물은 물론 재배사 주변까지 전기누전 현상이 심각할 정도였기 때문에 일반적인 온도계측방법으로는 정확한 계측이 불가능하였다. 따라서 본 연구에서는 계측기 및 컴퓨터를 어스시키는 것은 물론 온도센서 전체를 2중으로 실드하여 가능한 전기누전이나 노이즈 문제를 최대한 차단하였다. 그리고 계측지역이 농촌지역이고 또 과습으로 인하여 갑작스런 정전이 자주 발생하였기 때문에 기계적인 손상과 데이터 계측을 위하여 전기안정기와 AVR를 이용하였다. Fig. 2-2의 (a)는 노이즈를 차단하기 전 온도를 측정한 결과이고, Fig. 2-2의 (b)는 노이즈를 차단 후의 결과이다.



(a) temperature before shield



(b) temperature after shield

Fig. 2-2. Variations of air temperature.

Fig. 2-2에서 알 수 있듯이 실드를 하지 않은 경우에는 온도편차가 약 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이상으로 크게 나타나지만, 실드한 경우에는 그 편차가 현저히 감소함을 알 수 있다. 물론 노이즈를 100% 차단할 수 만 있다면 온도편차는 거의 발생되지 않은 것이 일반적이다. 그러나 재배단지 내의 누전과 재배사 내부의 과습으로 인하여 이 이상의 정확한 계측은 불가능 한 것으로 판단되었다.

이와 같이 누전현상이 심한 것은 전기전문시공업체가 냉·난방기를 시공하지 않았기 때문인 것으로 판단되며, 또한 농가의 인식부족으로 누전 방지책을 강구하지 않고 전기를 임의적으로 분전하여 사용하기 때문인 것으로 판단된다. 여기에 버섯재배 특성상 항상 실내를 과습상태로 유지해야 하는 것도 누전현상을 심화시키는 것으로 판단된다. 이러한 누전현상은 '90년대 초 본 연구자들이 온실에서 경험한 누전과 거의 동일 하였다. 그 당시만 하더라도 계측기의 성능 때문에 측정한다는 불가능 하였다.

이와 같은 누전현상은 환경조절설비의 오작동으로 인하여 설비의 수명을 단축시킬 수 있고, 또 조명등을 자주 교체해야 하는 등의 경제적인 손실도 있지만, 이 보다 더

심각한 문제는 이 정도의 누전현상이라면 조금만 주의하지 않으면 작업자에게 치명적인 손상을 줄 수 있다는 것이다.

따라서 재배사의 표준설계도도 중요하지만, 재배사를 시공하거나 설비를 설치할 때는 반드시 전문시공업체에 의뢰해야 할 것으로 판단된다.

(2) 외기온 및 재배사의 내부 기온

이하에서 검토하는 환경인자들은 전체 계측기간 중 A-동은 2002년 11월 10~29일(20일 동안)까지, B-동은 동년 11월 21~12월 9일(19일 동안)까지 측정한 자료들이다. Fig. 2-3은 재배주기동안 외기온의 최대, 최저 및 평균값의 변화를 A-동을 기준으로 나타낸 것이다. 기간동안 최저 및 최고 외기온은 각각 $-7.5\sim 6.0^{\circ}\text{C}$ 및 $5.6\sim 21.8^{\circ}\text{C}$ 정도의 범위에 있었다. 재배기간 중 A 및 B-동 대한 평균 외기온의 변화 범위는 각각 $-0.4\sim 10.4^{\circ}\text{C}$ 및 $-0.7\sim 10.7^{\circ}\text{C}$ 였고, 평균 외기온은 각각 4.1°C 및 4.3°C 로서 진주 기상대에서 측정한 진주지역의 평년 외기온은 평균 4.9°C 와 4.1°C 와 큰 차이가 없었다.

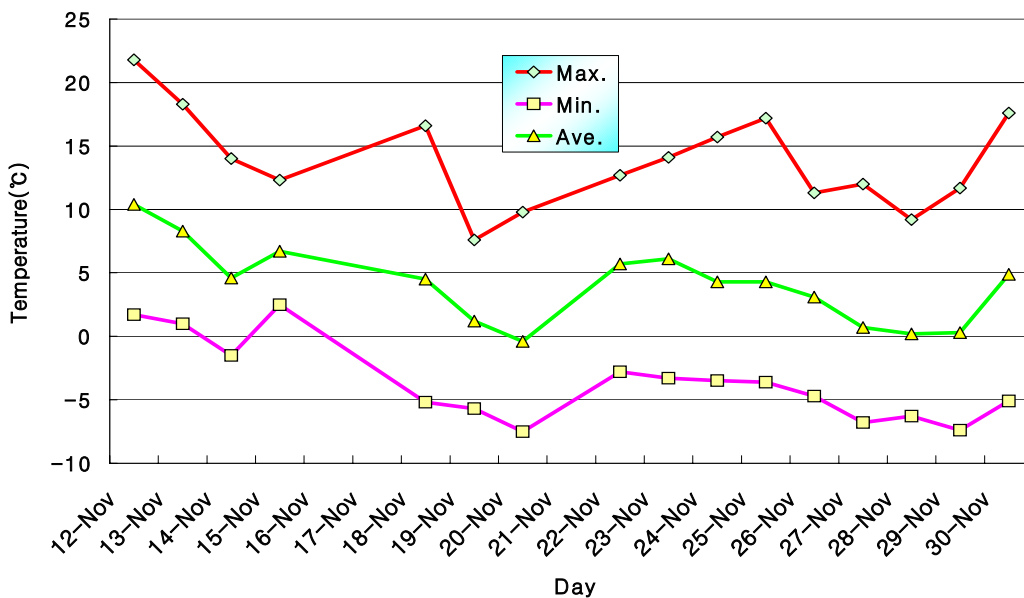
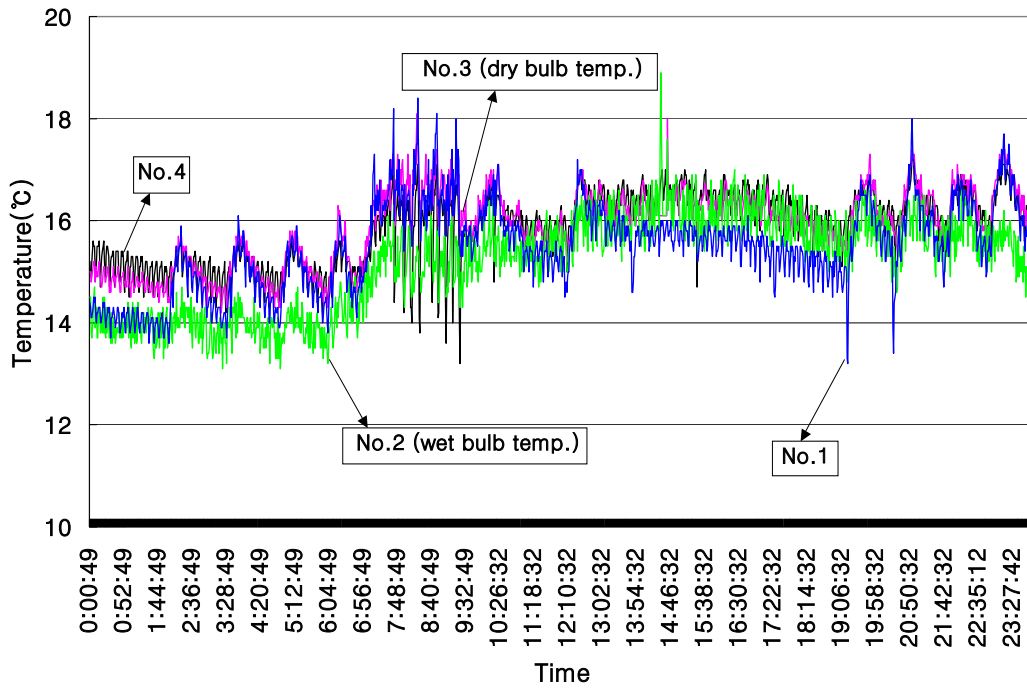
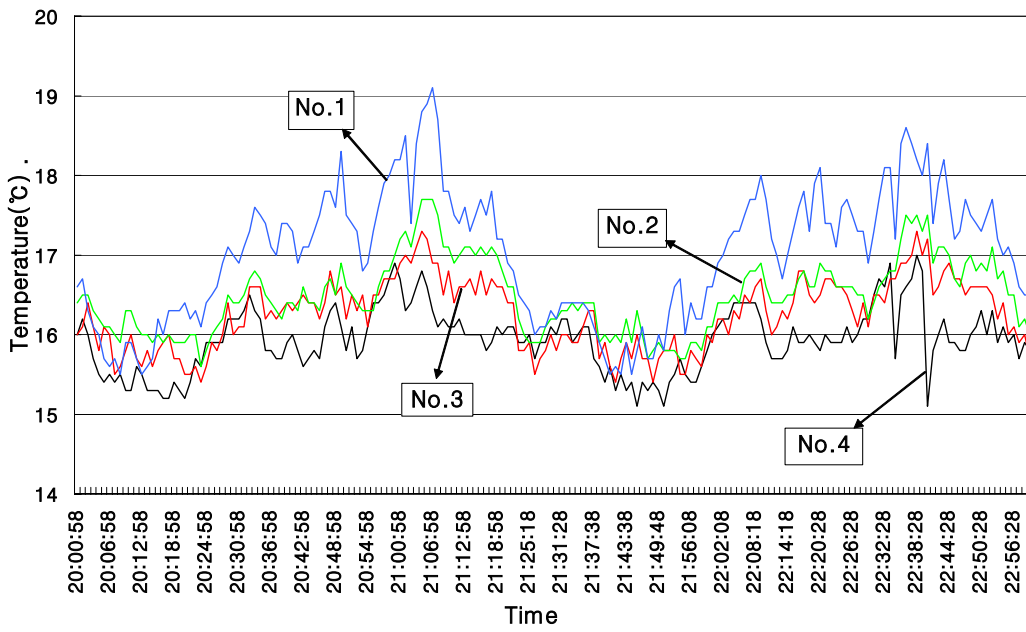
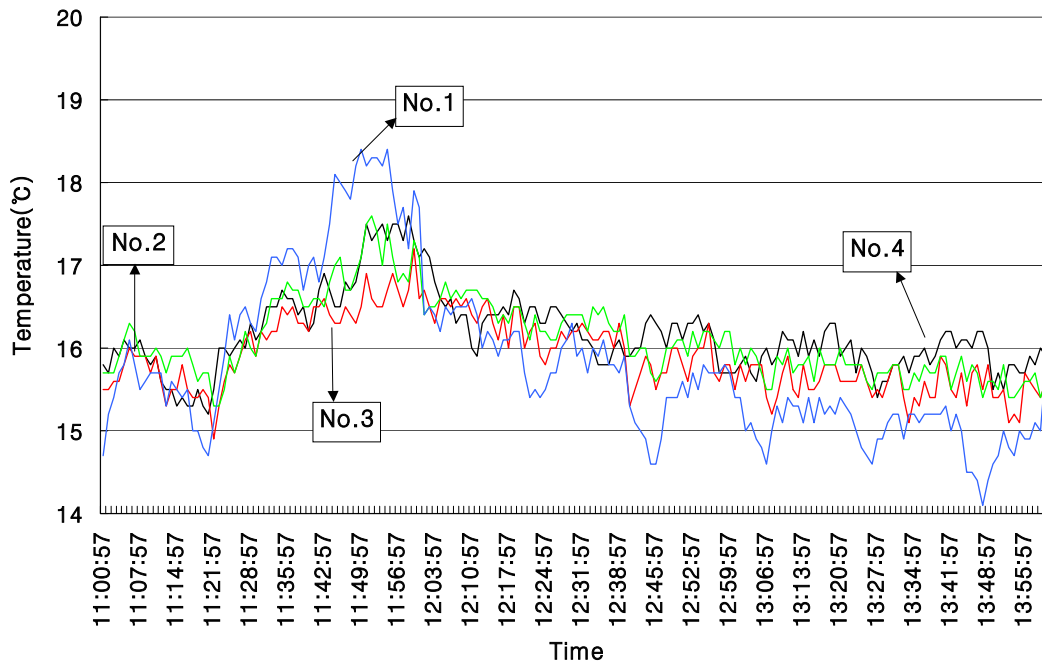


Fig. 2-3. Variations of daily outside air temperature.

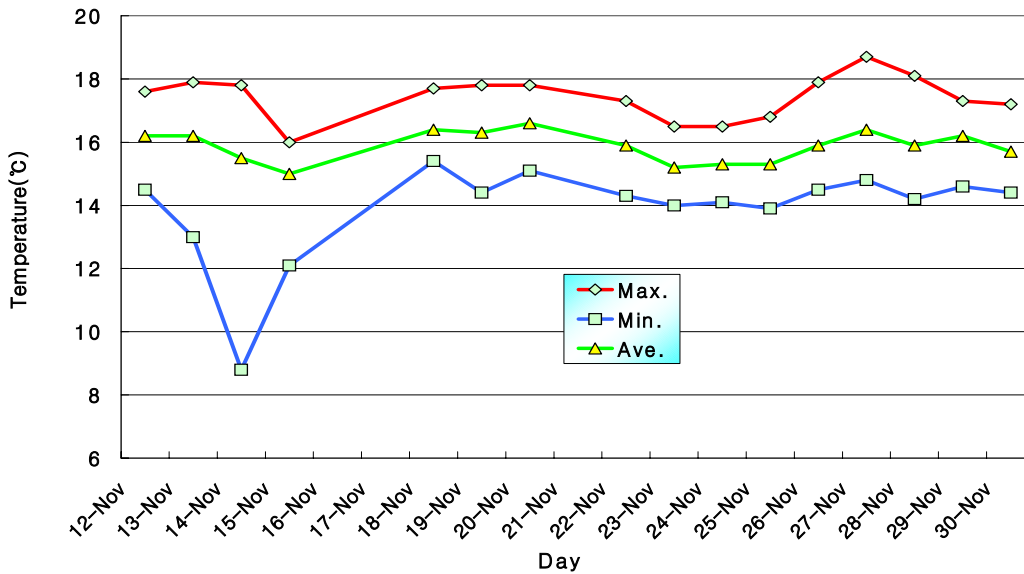
Fig. 2-4는 재배사 A-동의 내부 온도변화를 나타낸 것으로서, 측점은 온도센서의 위치로 No.1은 최하단 재배상의 직하부이고, No.4는 최상단 재배상의 직상부이다. Fig. 2-4(a)은 입상 17일째인 재배사 내부온도의 일변화를 나타낸 것이고, Fig. 2-4(b)은 높이별 온도차를 확인하기 위하여 Fig. 2-4(a)의 일변화 중에서 약 3시간 동안의 자료만 나타낸 것이다. 또 Fig. 2-4(c)은 재배사 내부의 대표온도로 생각할 수 있는 측점(No.3 ; 재배상 제2단)의 최고, 최저 및 평균온도를 나타낸 것이다. 재배사 내부의 설정온도는 16.5℃이다. 그리고 그림으로 나타나 있지 않는 B-동은 입상 8일째에 설정온도 17.0℃이다.



(a) inside air temperature(24-hour)



(b) inside air temperature(3-hour)



(c) max. min. and ave. air temperature

Fig. 2-4. Variations of air temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house-A.

Fig. 2-4(a)에서 온도가 심하게 흔들리는 것은 가습, 환기 및 난방이 반복적으로 이루어지고 있고, 또한 누전으로 인한 전지적 노이즈 때문이다. A, B-동 재배사 모두 설정온도보다 0.5~2.5°C 정도 온도가 낮게 유지되었고, 거의 동일한 외기온 조건하에서 B-동의 온도변화는 거의 일정한 경향을 보였지만, A-동의 최하층의 경우 심야에는 설정온도보다 2.5°C 전후로 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 이것은 보일러의 제작 회사나 용량이 동일하고 난방배관 길이가 동일한 점을 고려하면, A-동 재배사가 상대적으로 탄산가스 발생이 많은 생육시기이므로 환기횟수가 B-동보다 많기 때문인 것으로 판단된다.

버섯 재배일수의 장단에 따라 버섯의 발이온도와 생육적온이 13~18°C로서 다소 온도범위가 넓지만, 최저 외기온 -7.0~6.0°C 정도의 범위에서 재배사 내부의 기온이 설정온도보다 다소 낮게 유지되고 있다. 이것은 진주지역의 동절기 최저 외기온이 -10°C 전후로 매년 내려가는 점을 고려하면, 생육시기 환기 횟수가 많은 동절기에는 난방기의 용량이 다소 부족할 것으로 판단된다. 이 지역의 보일러의 정격용량과 효율이 각각 17,000kcal/h 및 89%인 점을 감안하면 난방용량은 약 15,000kcal/h 정도이

다. 간이형의 경우, 40평을 기준으로 난방용량은 이 보다 조금 늘인다면 별 문제가 없을 것으로 판단된다. 그렇지 않으면 재배사의 틈새환기를 가능한 한 줄여도 온실을 기준으로 볼 때, 약 10% 정도의 열량 소실을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또는 배관파이프를 늘이는 거나 효율적으로 배치하는 방법도 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 약 3시간 자료만 정리한 **Fig. 2-4(b)**를 보면, 재배상의 단 높이별 온도차는 난방의 유무에 따라 다소 차이가 있었다. 즉, 난방용 배관이 바닥에 설치된 관계로 난방 시에는 배관 직상부에 있는 측정점(No.1)에서 가장 높게 나타났고, 최하부와 최상부의 재배상간에는 2~3℃ 정도의 온도차가 발생하였다. 그러나 무난방 및 환기 시에는 위치별 온도차가 반대로 나타났다. 실제로 최하단에 있는 배지병의 경우, 난방 시에 지나치게 건조하여 버섯의 발이장애가 야기되는 경우도 종종 발생하였다. 이러한 이유로 동절기에는 바닥에 분무호수를 이용하여 간헐적으로 물을 뿌리거나 분사노즐을 설치하여 사용한다. 따라서 실내 기온 및 습도를 고르게 분포시키는 것이 품질의 균일성 확보와 직결됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 2-4(c)에서 입상초기(입상 후 7일 전후)의 발이기간 동안 최저온도가 상대적으로 아주 낮게 나타난 것은 아침저녁으로 재배사의 양쪽 출입문을 30분 정도 개방하기 때문이다. 이와 같이 아침저녁으로 출입문을 개방하여 환기를 실시하는 것이 버섯의 발이를 촉진시킬 수 있다고 재배농가는 믿고 있지만, 이농가를 제외하곤 이러한 방법으로 환기를 실시하는 농가는 조사결과 없었다. 이때를 제외하면, 평균온도는 16.0℃ 전후에서 대체로 일정하게 유지되고 있지만, 최고 및 최저온도가 평균온도에 비하여 ± 2.0℃ 정도 차이를 보였다. 재배사간 온도환경의 차이가 탄산가스농도나 습도 등과 함께 버섯의 생육 및 품질, 에너지 소비량, 공조기의 내구성 등에 미치는 영향은 장기적으로 좀 더 면밀히 검토되어야 할 것으로 판단된다.

(3) 상대습도

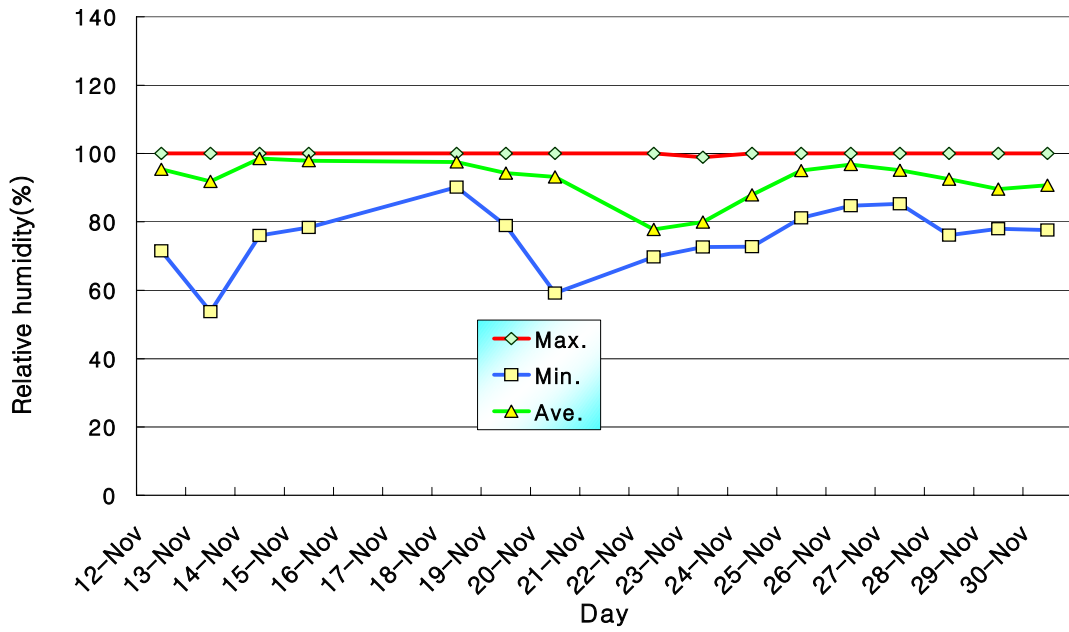
Fig. 2-5는 재배기간 동안 재배상 제2단에서 측정한 재배사 내부의 상대습도 변화를 나타낸 것으로서, 전체 재배기간 동안 약 60~100%범위에 있음을 알 수 있다. 상대습도의 변화 폭이 큰 것은 온도와 달리 직접 조절되는 것이 아니라 재배자가 버섯

의 상태를 감안하여 경험적으로 환기 및 가습장치를 타이머로 조작하기 때문인 것으로 판단된다. 한편 평균상대습도는 약 80~100%범위 내에 있고, 생육기가 발이기보다 상대적으로 약간 낮게 유지됨을 알 수 있다. 일반적으로 재배사내의 권장상대습도는 발이기에 90~95%, 생육기에 80~85% 정도로 생육기가 발이기보다 약간 낮게 관리하는 것으로 알려져 있다. 이와 같이 버섯의 발이기에 높게 유지하는 것은 발이를 촉진시키기 위한 것이고 생육기의 경우는 유통기간과 밀접한 관계가 있다. 이 재배사의 경우 평균상대습도를 기준으로 볼 때, 권장습도보다 발이구나 생육기 모두 약간 높거나 낮게 유지되는 등 습도유지가 일정하지 않은 것을 알 수 있다. 그리고 최저 상대습도가 너무 낮게 유지되는 경향도 있다.

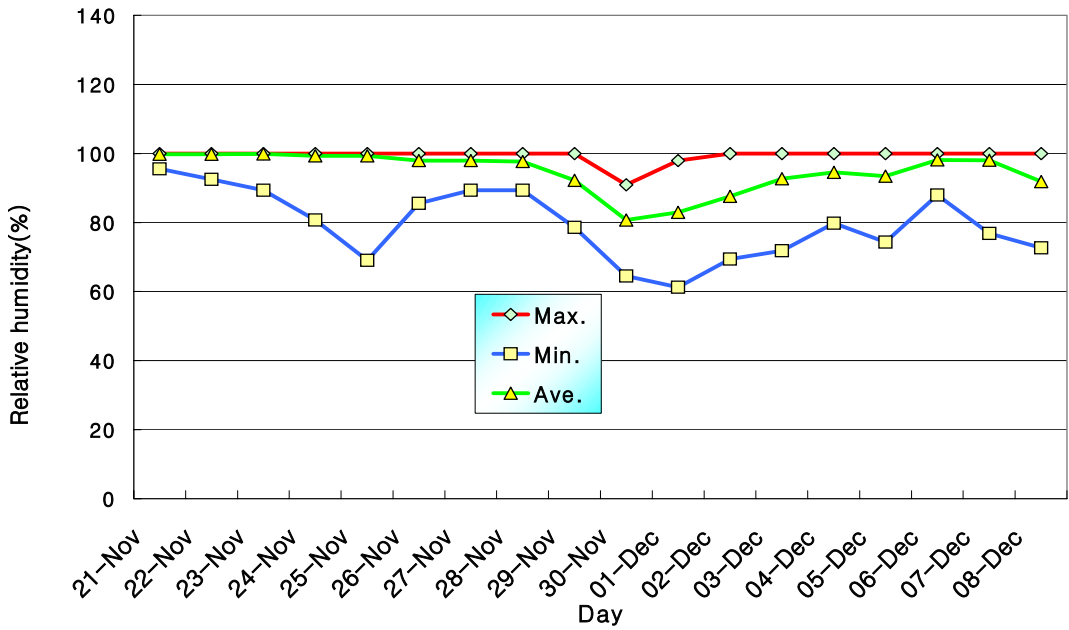
(4) 탄산가스 농도

Fig. 2-6은 재배기간 동안 B-동의 탄산가스 농도변화를 나타낸 것으로, 환기팬이 작동하기 직전의 값을 최대, 환기팬이 작동한 직후의 값을 최소의 값으로 하였다. 환기장치의 고장으로 인하여 환기장치가 일시적으로 멈춘 입상 16일째의 경우를 제외하면, 탄산가스 농도는 입상 후 일수가 증가할수록 증가하였고 1,600~1,800ppm 까지 도달함을 알 수 있다. 이러한 탄산가스 농도변화는 발이기 동안 탄산가스 배출량의 증가속도는 완만하지만, 자실체가 비대해지는 생육기에 급속히 증가하는 버섯의 생리적 현상을 잘 보여주고 있다.

재배사내 탄산가스농도는 연구자에 따라 제시하는 적정 탄산가스 농도의 범위가 상당한 차이를 보이고 있다. 물론 입상 후, 폐상까지 재배단계별로 차이는 있지만 연구자들이 제시하는 범위는 낮게는 500ppm에서 높게는 3,000ppm까지이다. 따라서 실험 결과로부터 단정적인 결론을 내리기는 쉽지 않다. 그러나 일반적인 경우, 재배사의 탄산가스농도는 발이기에 1,000ppm이하, 생육기 800ppm~2,000ppm이하가 적당하며, 2,000ppm이상이 되면 버섯의 갓이 작게 되고, 4,000ppm 이상이 되면 생육장해가 일어나는 것으로 알려져 있다. 이러한 점을 고려한다면, 탄산가스농도 조절에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 그러나 본 연구의 협동과제의 연구결과 생육기에 탄산가스 농도는 1,600~24,000ppm으로 재배하는 것이 버섯의 품질 및 수확량이 증가하는 것으로 나타났다. 이점을 고려하면 이 재배사의 탄산가스농도는 이것과 어느 정도 일치한다.



(a) cultivation house-A



(b) cultivation house-B

Fig. 2-5. Variations of relative humidity in *Pleurotus eryngii* cultivation house.

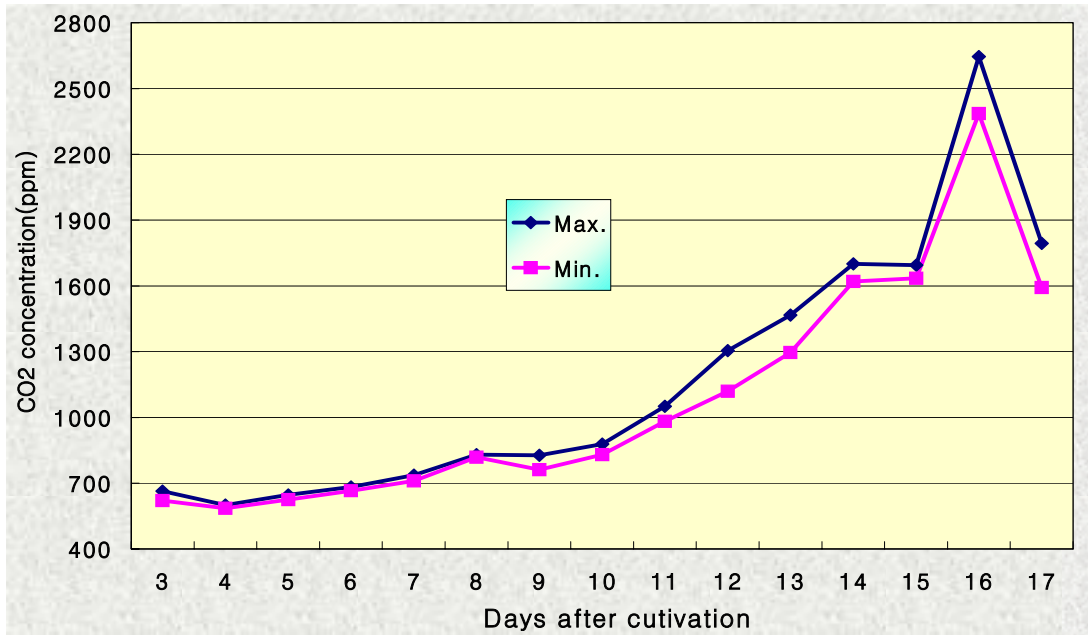


Fig. 2-6. Variations of CO₂ concentration in *Pleurotus eryngii* cultivation house-B.

그러나 환기장치 고장시, 탄산가스 농도가 일시적으로 급격히 높게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 환기장치뿐만 아니라 각종 환경조절장치가 고장상태로 장시간 방치된다면 버섯의 생육이나 품질에 치명적인 피해가 예상됨을 알 수 있다.

(5) 조도

Table 2-1은 재배사 A-동의 조도를 위치별로 나타낸 것으로서, 측정점 A, B 및 C는 Fig. 2-1의 평면도에 표시되어 있는 것처럼 통로 측의 측정위치이고, 단은 재배상의 층별을 나타낸 것이다. 그리고 폭 방향 위치는 동일 높이의 단에서 벽쪽, 중간 및 통로 쪽의 구분이다. 조도 측정은 각각의 위치에서 균상의 직상부에서 실시하였다.

Table 2-1에서 알 수 있듯이 위치에 따라 최소 7lx부터 최대 160lx까지 조도분포가 다양하다. 일반적으로 재배사 내의 권장조도는 100~200lx 정도이며, 조도가 너무 낮으면 갓이 작아지고 대의 길이가 길어지는 것으로 알려져 있다.

이상과 같은 점을 고려하면, 이 재배사의 경우 전반적으로 광은 낮게 유지되는 편이지만, 버섯의 색과 형태에 대한 재배자의 경험적 지식이 반영된 것으로 판단된다.

Table 2-1. Distributions of illuminance in *Pleurotus eryngii* cultivation house A.

(unit : lx)

Bed location	1st			2nd			3rd			4th		
	left	mid.	right	left	mid.	right	left	mid.	right	left	mid.	right
Measuring points												
A	20	7	60	20	15	60	17	20	50	30	30	30
B	120	10	60	140	40	75	20	20	75	30	27	40
C	160	30	60	140	80	65	20	15	65	25	30	50

(6) 재배주기별 수확량

Photo 2-10은 수확 직전의 버섯과 생산한 버섯을 나타낸 것이다.



Photo 2-10. View of *Pleurotus eryngii*.

Fig. 2-7은 재배농가로부터 입수한 전체 다섯 주기의 버섯 수확량을 특상, 상, 중품 이하로 구분하여 나타낸 것이다. 이 때 입상한 균상은 모두 13,000병으로 동일하다.

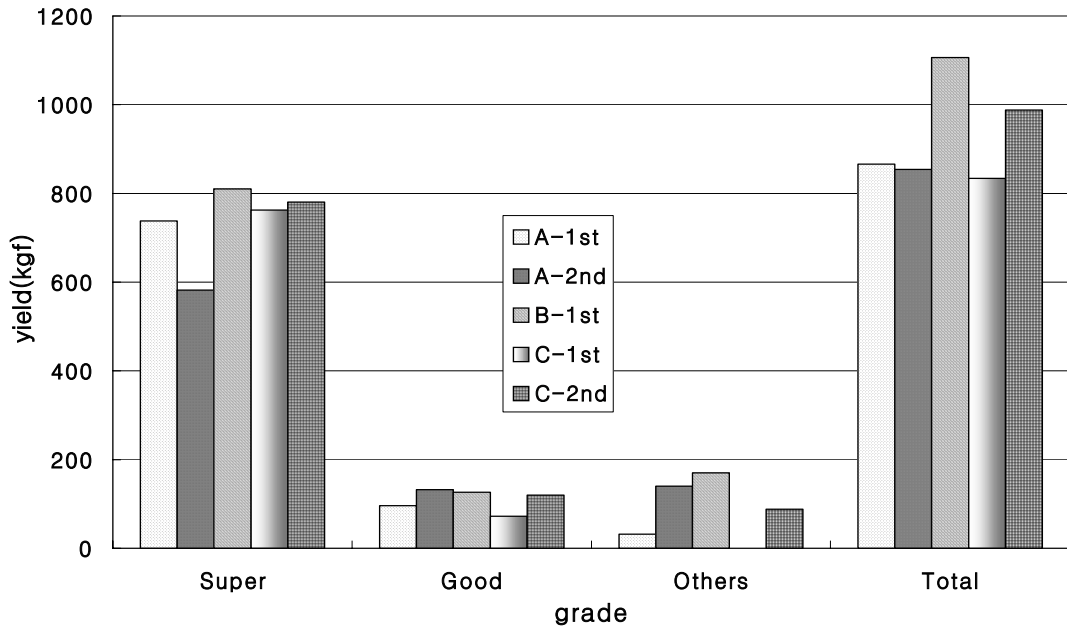


Fig. 2-7. Periodical yields of *Pleurotus eryngii* from 13,000 bottles.

Fig. 2-7에서 알 수 있듯이 수확량의 대부분이 특상 또는 상품이었으며, 중품이하의 전체 수확량의 약 9.0~16.4% 정도였다. 다섯 주기에 대한 평균 수확량은 병당 약 67~85g 정도로 나타났지만, 등외품으로 분류되면서 공식적으로 집계 되지 않은 부분 등을 고려하면 실제 총 수확량은 병당 85g 이상일 것으로 판단된다. 특히 이농가는 새송이버섯을 초기부터 전문적으로 재배하였기 때문에 다른 농가에 비해 상대적으로 버섯의 품질과 생산성이 좋은 것으로 판단된다.

한편 전체 판매액을 살펴보면, 배지 구입비의 2배 이상인 것으로 나타났으며, 가격이나 수확량 측면에서 평년작 수준이었다. 다만, 생산성에 대한 구체적인 검토는 시설 및 설비에 대한 투자비, 감가상각비, 유지관리비용 등에 대한 중장기적인 자료를 바탕으로 신중히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2) 을 지역

가) 재료 및 방법

을 지역은 교내에서 11km 정도 떨어진 곳에 있는 간이 재배사로서 '03년 1월 16일부터 동년 10월까지 측정하였다. 피복 구조는 외부로부터 차광막, 섬피, 플라스틱 필름, 섬피, 플라스틱 필름, 스티로폼, 플라스틱 필름, 카시미론, 비닐로서 총 9층으로 갑 지역의 5층보다 피복층수가 많았다.

재배사 규모는 폭 7.1m, 동고 5.1m, 측고 3.4m으로서, 길이가 19m인 1개 동과 14m인 2개 동으로 총 3개 동이다. 바닥면적은 약 100m²/동(30평) 및 135m²/동(40평) 정도이다. 재배상 규격은 폭 1.7m, 단 높이 0.6m이며, 폭 2.1m의 중앙 통로를 중심으로 좌·우측에 각각 4단으로 되어 있다.

을 지역의 경우, 바닥 면적이 약 30평과 40평 전후인 재배사를 대상으로 측정하였지만, 여기서는 갑 지역과 바닥 면적이 비슷한 40평형을 기준으로 검토하기로 한다(이하 40평형을 A-동이라 하고, 30평형을 B-동이라 한다). 이 농가에서 측정 및 조사한 재배주기는 A 및 B-동 각각 5주기 및 6주기이다.

환경조절장치로는 냉방기(4HP, 4,760kcal/h) 3대, 초음파 가습기(12구) 2대, 흡기팬(0.4kW) 1개, 배기팬(0.13kW) 4개, 백열등(60W) 8개가 설치되어 있었으며, 증기보일러(증발량 200kg/h) 1대로 3개 동을 난방하고 있었다. 물론 소요 노동력 때문에 3개 동을 동시에 재배할 경우는 없고, 일반적으로 2개 동을 재배하기 때문에 2개 동을 동시에 난방하게 된다. 난방은 재배상 아래 바닥에 설치된 직경 44mm의 스틸파이프(4줄)로 약 47℃ 정도의 온수를 순환시켜 실시하고 있었으며, 재배사의 환경조절은 동별로 ON/OFF식 제어방식을 채택하고 있었다. 환경조절방법은 갑 지역과 동일하다. 단 갑 지역의 재배사에서는 상대적으로 용량이 큰 배기팬 하나로 실내공기를 배출시켰지만, 이 지역의 경우는 한 쪽 측벽당 2개씩의 배기팬을 두 측벽에 설치하여 공기를 배출시켰다.

이상과 같이 환경조절 장치의 경우, 갑 지역과 비교하여 용량이나 설치대수 측면에서도 거의 유사하였다. 다만 갑 지역의 경우에는 입상 후 7일정도 동안 아침저녁으로 출입문을 30분 정도 개방하고, 바닥에도 분무노즐을 설치하여 가습을 시키지만, 이 지

역에서는 그와 같은 방법을 사용하지 않았다. 이와 같이 재배자에 따라 환경조절 설비나 조절방법 등에 약간의 차이가 있을 뿐, 지역 간 또는 재배사 간에 큰 차이는 없었다. 누전현상도 **갑 지역과 유사하였다.**

Photo 2-11은 재배사의 내외부 전경을 나타낸 것으로서 갑 지역과 유사함을 알 수 있다. 그리고 **Photo 12**은 백엽상과 계측기 설치작업을 하고 있는 전경으로서 백엽상은 계측기로부터 약 50m 정도 떨어져 있다.



Photo 2-11. *Pleurotus eryngii* cultivation houses.



Photo 2-12. View of setting of measuring instrument and instrument shelter.

나) 결과 및 고찰

(1) 외기온 및 재배사 내부의 온도

Fig. 2-8은 을 지역의 최대, 최저 및 평균 외기온의 변화를 '03년 1월 26~동년 8월 2일까지 나타낸 것으로서, 최대, 최저 및 평균 외기온은 각각 $-2.7\sim 31.8^{\circ}\text{C}$, $-14.0\sim 21.5^{\circ}\text{C}$ 및 $-6.1\sim 26.4^{\circ}\text{C}$ 정도의 범위에 있다. 동기간동안 진주기상대에서 측정된 최대, 최저 및 평균 외기온이 각각 $-2.7\sim 31.7^{\circ}\text{C}$, $-11.8\sim 22.1^{\circ}\text{C}$ 및 $-6.0\sim 27.4^{\circ}\text{C}$ 인 점을 고려하면, 최대 및 평균 외기온은 진주기상대의 측정치와 비슷하지만, 최저 외기온은 다소 낮게 나타났다. 이것은 또 평년에 비해 최고 외기온은 약간 높게, 최저 외기온은 약간 낮게 나타났으나 평균 외기온은 평년과 비슷한 경향을 보였다.

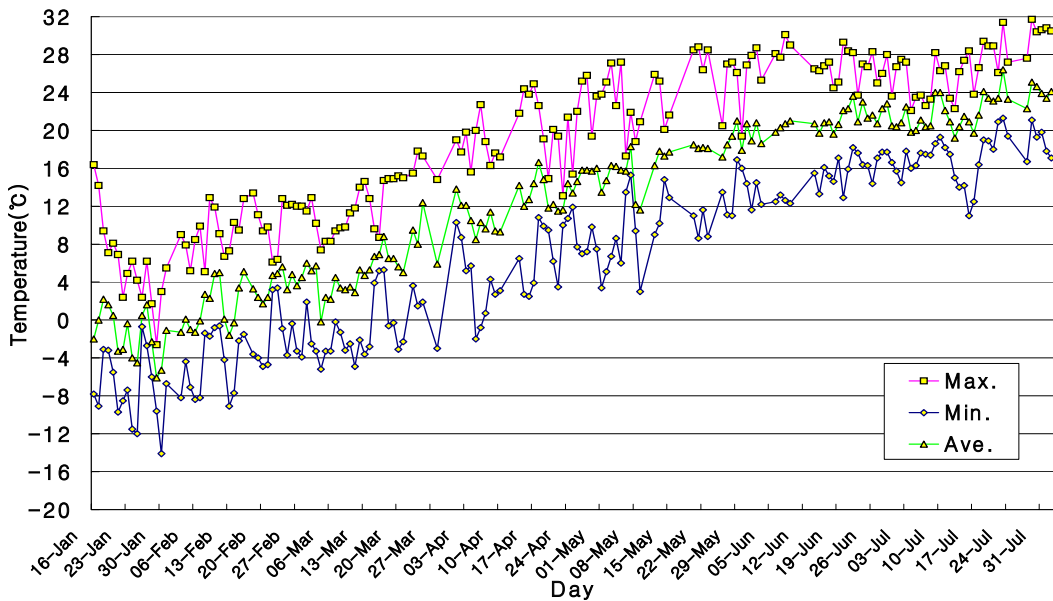


Fig. 2-8. Variations of outside air temperature.

Fig. 2-9는 재배사 내부의 대표온도로 생각할 수 있는 측점(No.3 ;제2단)의 최고, 최저 및 평균 온도를 전체 재배주기(6주기) 동안 나타낸 것으로서, Fig. 2-9에서 7월

17일의 최고 온도가 22.7℃까지 상승한 것은 환경조절 시스템이 일시적으로 작동하지 않았기 때문이다. 이것을 제외하고 전체 재배주기 동안 최대, 최저 및 평균온도는 각각 약 12.0~20.8℃, 5.7~16.2℃ 및 9.4~18.4℃ 정도로서, 온도차가 각각 약 9.0℃, 10.5 및 9.0℃ 정도로 대단히 큰 것을 알 수 있다. **B-동**의 경우도 이와 거의 유사하였다. 물론 설정온도에 관계없이 전체 재배주기 동안을 비교한 것이기 때문에 재배주기별로 비교하는 것과는 다소 차이가 있겠지만, 연중재배기간 동안 균일한 상품을 생산하기는 어려울 것으로 판단된다. **갑 지역**의 경우는 계측한 기간이 짧기 때문에 동일한 재배사에서 연속적으로 측정된 재배주기가 2주기 밖에 되지 않지만, 아침, 저녁으로 출입문을 개방하는 시간대를 제외하면 최대, 최저 및 평균기온의 온도편차가 1.0~2.3℃ 정도였던 것을 감안하면 이 지역과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

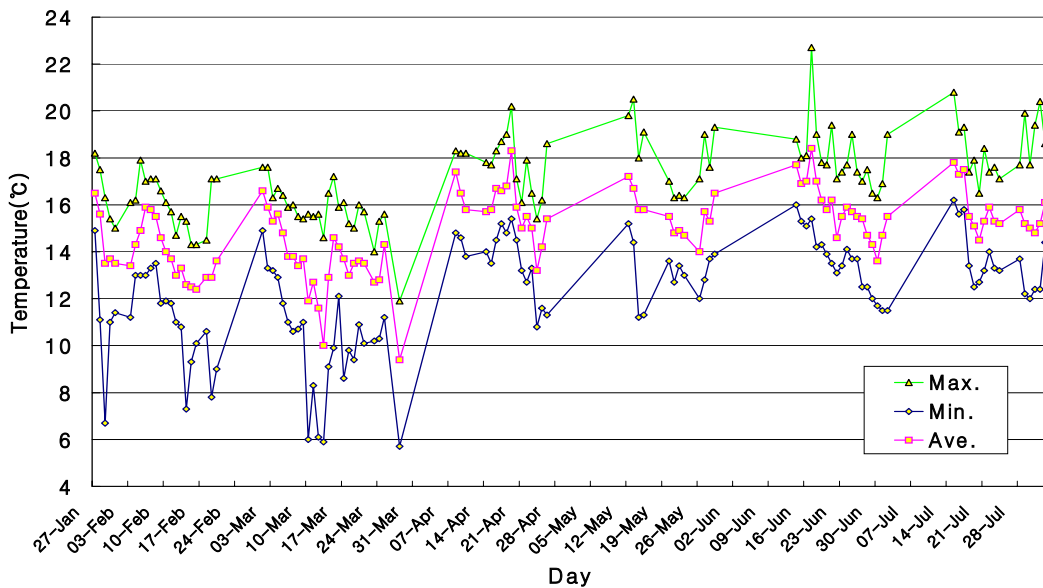


Fig. 2-9. Variations of inside air temperature.

이 결과로 미루어 볼 때, **을 지역**의 경우는 환경조절장치의 용량이나 조절방법에 문제가 있는 것으로 판단된다. 비록 두 지역에서만 측정된 결과이지만, 새송이버섯 재배사가 아직도 꾸준히 증가하고 있고, 환경조절 설비업체들의 영세성, 배지의 조성이 종균센터마다 다른 점, **을 지역**의 경영자도 느타리버섯을 5년 정도 재배한 경력이 있

는 점 등을 감안할 때, 처음으로 새송이버섯을 재배하고자 하는 초보 재배자들이 이러한 전철을 밟지 않도록 철저한 연구가 이루어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 2-10은 증기의 순환온도를 나타낸 것으로서 유입 및 유출온도는 각각 28.0~38.0℃ 및 36.0~29.0℃ 정도의 범위에 있음을 알 수 있다. 난방기의 순환 작동에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

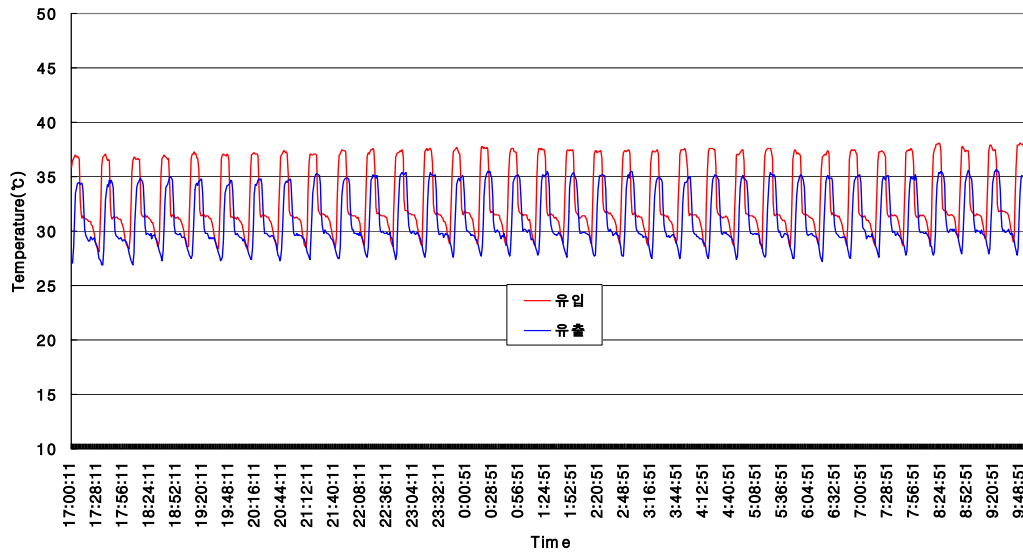
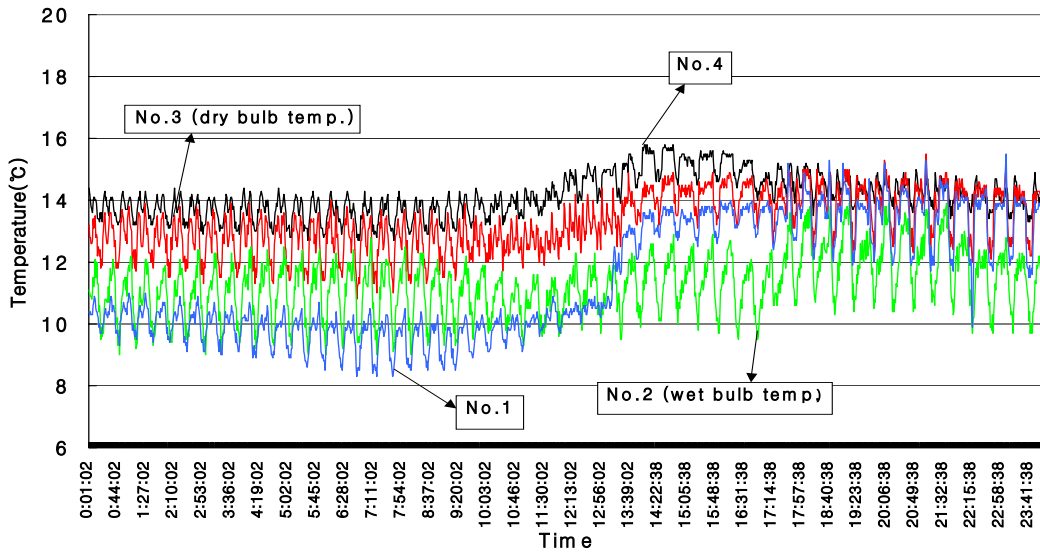
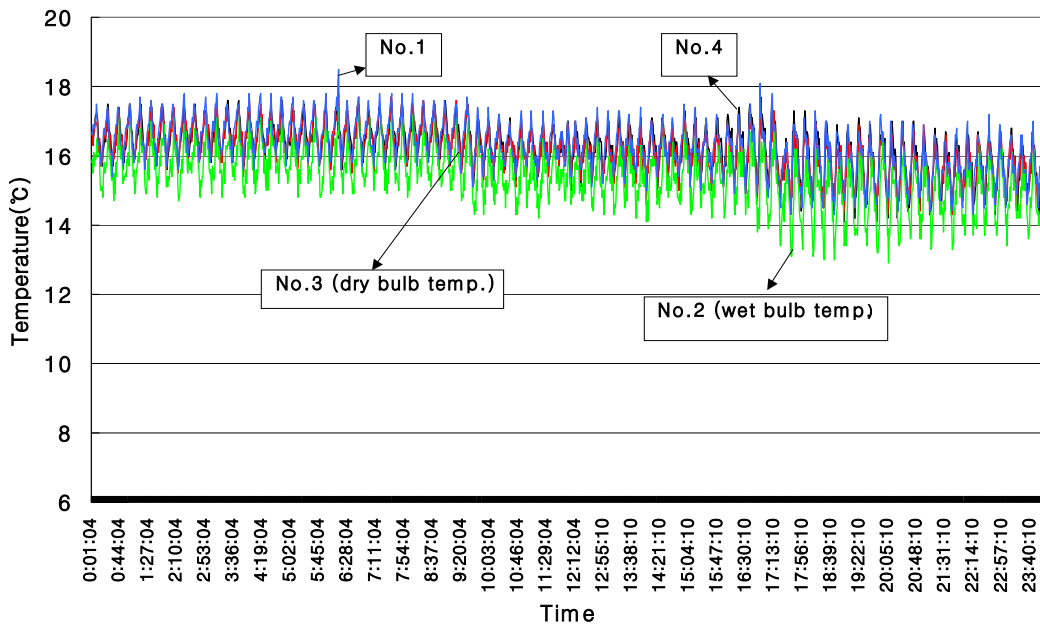


Fig. 2-10. Variations of heat water temperature.

Fig. 2-11은 전체 6재배주기 중 외기온이 가장 낮았던 제1주기('03. 1. 26~2. 20 ; 25일 동안)와 상대적으로 높은 제5주기(6. 14~7. 2; 19일 동안)에 대한 재배사 내부의 일 온도변화를 나타낸 것이지만, 이하에서는 외기온이 중간정도인 제3주(4. 7~4. 26; 19일 동안)에 대한 검토결과도 병기한다. **Fig. 2-11(a)**, **(b)**는 각각 입상 18일 및 4일째의 것으로서 **Fig. 2-11(a)**은 난방, **Fig. 2-11(b)**은 냉방에 의하여 온도가 조절되고 있는 경우이다. 측점은 **갑 지역**과 마찬가지로 센서의 위치를 나타낸 것이고, 설정온도는 각각 15.0℃ 및 16.5℃이다. **Fig. 2-11(a)**의 설정온도가 상대적으로 낮은 것은 난방기 용량이 부족한 것을 감안하여 재배자가 미리 낮게 설정하여 두었기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 한 주기 재배기간은 20일 전후이지만, 이 재배사의 경우, 1~3월의 동절기에는 약 30일정도 되는 재배기간도 있었다.



(a) 1st cycle(1. 26~2. 20)



(b) 5th cycle(6. 14~7. 2)

Fig. 2-11. Variations of air temperature in *Eryngii* cultivation house.

Fig. 2-11에서 온도가 큰 폭으로 흔들리고 있는 것은 **갑 지역**과 같이 가습, 환기, 난방 및 냉방이 반복적으로 이루어지고, 전기적 노이즈 때문이다. **Fig. 2-11(a)**의 경우, 설정온도보다 전체적으로 낮게 유지됨을 알 수 있고, 특히 난방이 되기 전인 12시 이전에는 설정온도보다 약 1.5~5.5℃ 정도 낮게 유지되고 있으며, 또 최상부와 최하부간의 온도차도 최대 약 6.0℃ 정도로서, 최상부가 가장 높게 나타났다. 그러나 난방을 실시하면, 층간 온도차는 감소하지만 여전히 설정온도보다 낮게 유지되었다. 그리고 **갑 지역**과 같이 난방의 유무에 따라 층간 온도차가 뚜렷하게 역전하는 현상은 나타나지 않았지만, 최하층의 온도가 4.0℃ 이상 상승함을 알 수 있다. 갑 지역과 같이 층간 역전 현상이 나타나지 않은 것은 난방용량이 부족하기 때문인 것으로 판단된다.

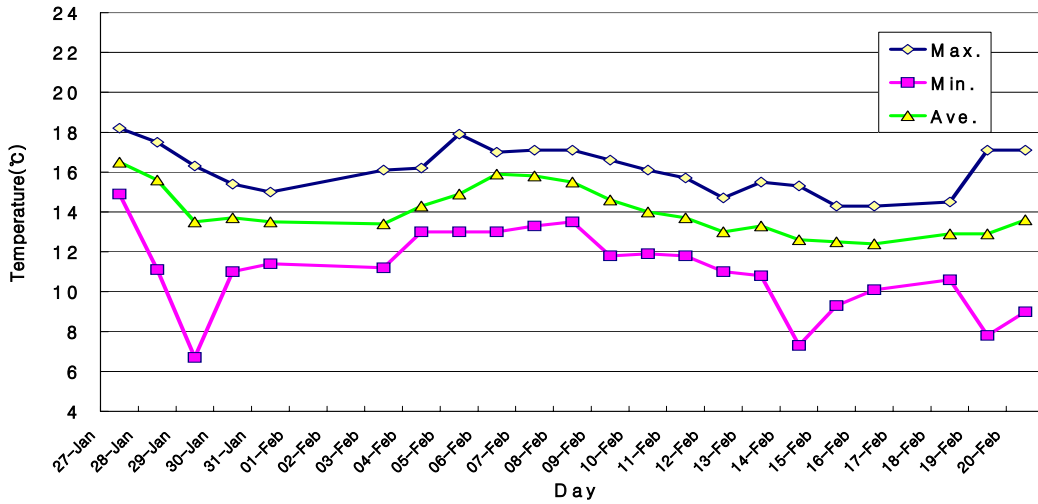
제3주기의 경우, 난방의 유무에 따라 시간대별로 살펴보면, 난방이 실시되는 새벽에는 설정온도 범위에 있었고, 또 무난방시인 주간에는 전반적으로 0.5℃ 정도 낮게 유지되었지만, 야간이 되면 최대 2.5℃ 정도 높게 나타나는 등 일 온도변화에 있어서도 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 그리고 무난방시 층간 온도차가 최대 2.0~3.0℃ 정도이고, 난방시의 경우에는 층간 온도차가 없거나 최하부가 약간 높게 나타나는 경향이 있다.

Fig. 2-11(a) 및 **제3주기** 결과로부터 알 수 있듯이 보일러 용량이 절대적으로 부족하기 때문에 설정온도를 낮게 한 경우에도 목표온도로 유지할 수 없고, 층간 온도차가 최대 2.0~6.0℃ 정도까지 변하면서 환경조건이 고르게 유지되지 못함을 알 수 있다. **Fig. 2-11(b)**은 냉방에 의해 온도가 조절되는 경우로서 설정온도에서 약 ±0.5℃ 정도 범위에 있고, 냉방기가 ON상태일 때 최하부가 최상부보다 약 0.5℃ 정도 높게 나타나지만, 난방 때와 같이 층간 온도차가 뚜렷하게 나타나지 않았기 때문에 냉방기의 용량에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 냉방기의 정격용량이 약 14,000kcl/h 이다. 이 재배사의 경우, 재배사의 규모가 일반 간이재배사의 측고 및 동고 2.5m, 4.0m보다 큰 3.4m 및 7.1m인 점을 감안하면 다른 지역의 재배사에서는 이 정도의 용량이면 충분할 것으로 판단된다.

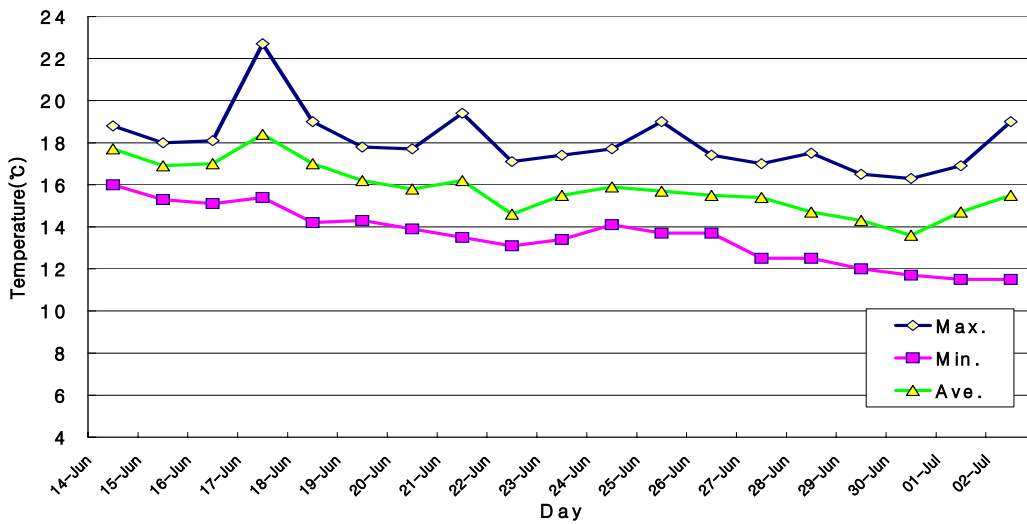
그리고 **Fig. 2-12**는 재배사 내부의 대표온도로 생각할 수 있는 측점(No.3 ;제2단)의 최고, 최저 및 평균 온도를 재배주기 제1 및 제5주기에 대해서 나타낸 것이다.

Fig. 2-12에서 환경조절 시스템에 문제가 있었던 7월 17일의 자료를 제외하더라도

최고 및 최저온도가 평균기온에 비해 최대 6.0℃에서 최소 1.0℃까지 온도변화가 대단히 큰 것을 알 수 있다. Fig. 9의 전체 재배주기에서 나타난 온도차보다는 다소 적지만, 갑 지역의 ±2℃정도인 것과 비교하면 상당한 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 온도편차는 버섯에 스트레스를 유발할 수 있기 때문에 특별한 주의가 요망된다.



(a) 1st cycle('03. 01. 26~02. 20)

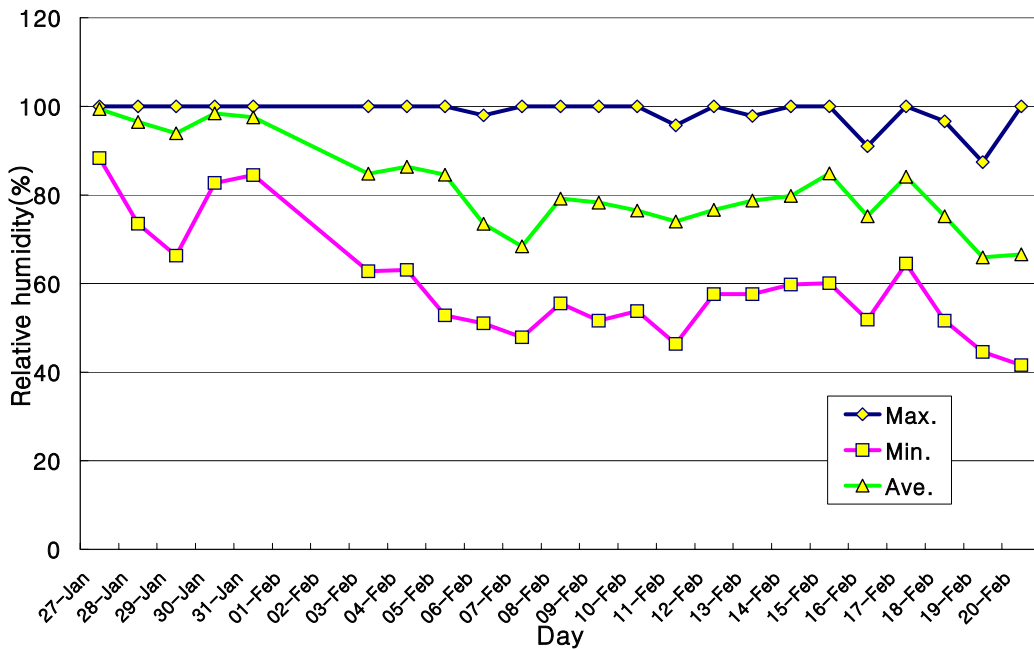


(b) 5th cycle(6. 14~7. 2)

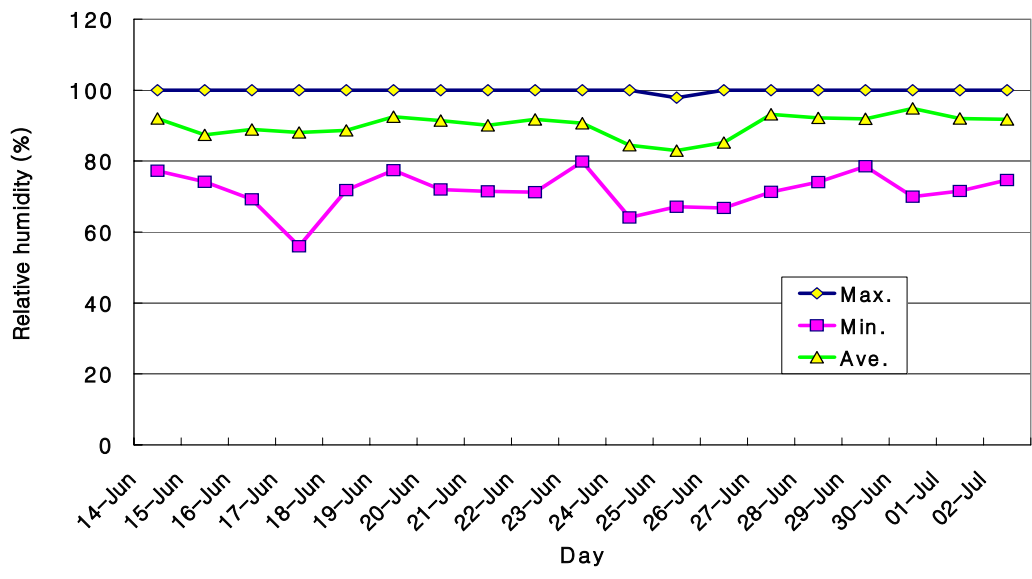
Fig. 2-12. Variations of air temperature in *Eryngii* cultivation house.

(2) 상대습도 및 탄산가스 농도

Fig. 2-13은 예시한 재배주기 동안 재배사 내부의 상대습도의 변화를 나타낸 것이다. 전체 재배기간 동안 약 42~100%정도의 범위로서, 변화의 폭이 아주 큰 것으로 나타났다. 또 주기별 최소 상대습도는 각각 42~88%, 47~90% 및 56~80%, 평균상대습도는 각각 67~88%, 68~90% 및 83~95% 정도의 범위로서, 주기별로 차가 대단히 큰 것을 알 수 있다. 일반적으로 재배사내 상대습도는 발이기에 90~95%, 생육기에 80~85% 정도로 생육기가 발이기보다 약간 낮게 관리하는 것으로 알려져 있다. 이것을 고려하면, 이 재배사의 상대습도는 전체적으로 낮게 유지되는 경향이 있다. 그리고 비록 조금 낮게 유지되긴 하지만, 다른 주기에 비해 상대적으로 안정적으로 유지되는 주기가 제5주기임을 알 수 있다. 이것은 가습으로 습도를 유지하는 것이 아니라 장마철이기 때문에 주로 환기에만 의존하여 습도가 조절되기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 1st cycle(1. 26~2. 20)



(b) 5th cycle(6. 14~7. 2)

Fig. 2-13. Variations of relative humidity in *Eryngii* cultivation house.

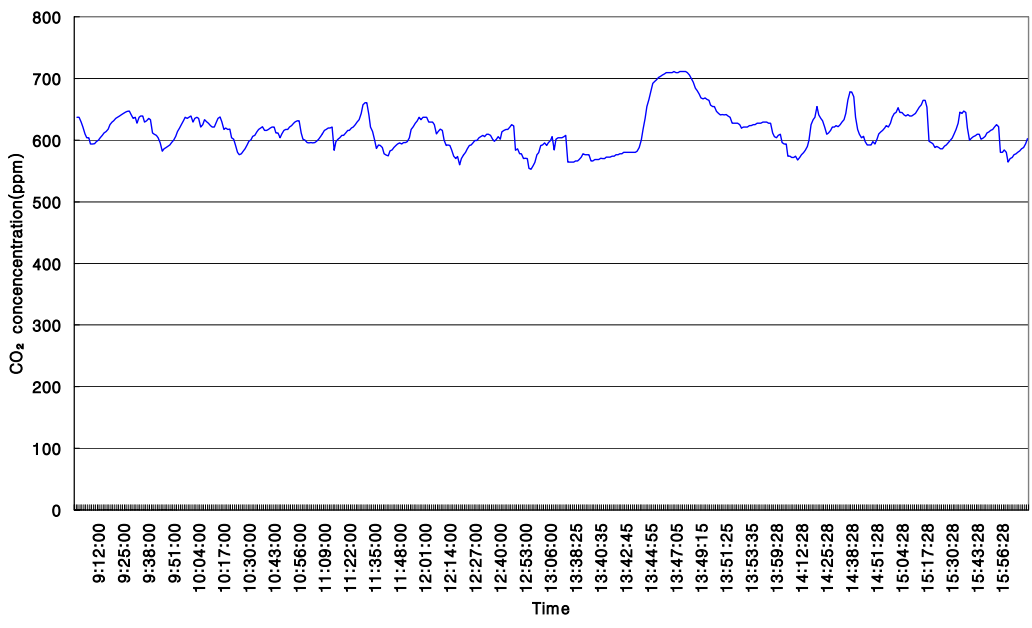
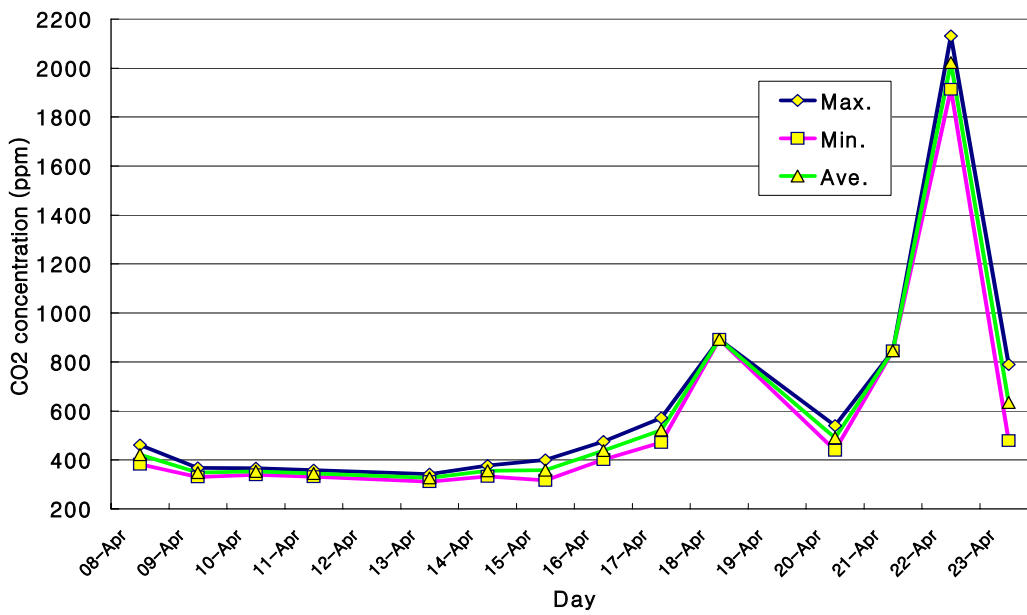


Fig. 2-14. Variations of CO₂ concentration in *eryngii* cultivation house.

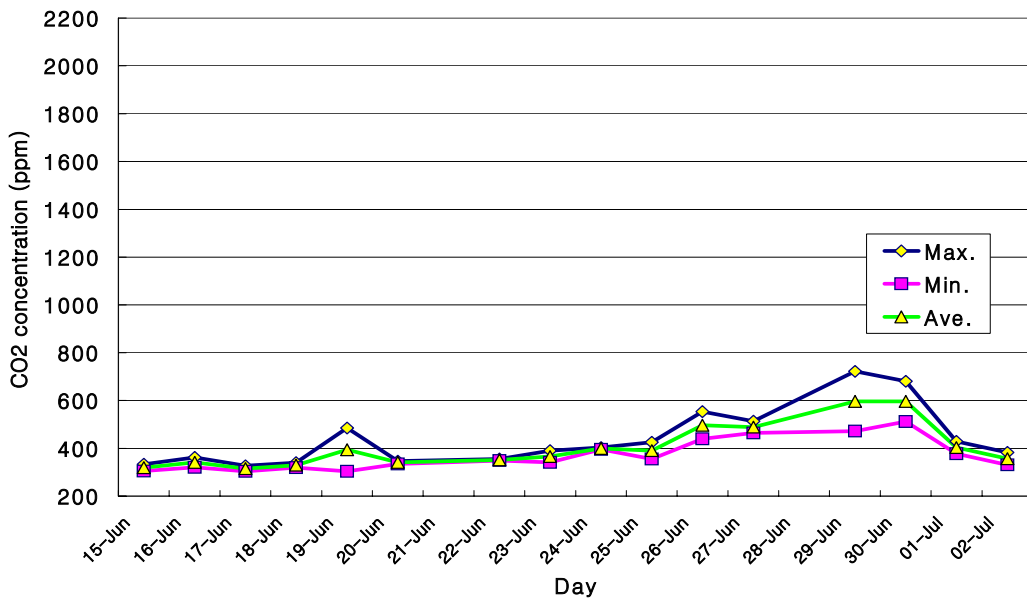
Fig. 2-14는 탄산가스 센서(SenseAir)로 연속적으로 탄산가스를 측정하는 것이다. 이 시기만 하더라도 탄산가스 센서의 Calibration(검증)과 과습으로 인한 센서의 설치가 용이하지 않았기 때문에 재배기간 동안 계속 데이터를 수집하지 못했다. 그러나 **Fig. 2-14**는 일시적으로 측정하였지만, 센서는 정상적으로 작동하고 있는 것을 알 수 있다.

따라서 **Fig. 2-15**는 휴대용인 Testo 로 환기팬이 작동하기 직전과 직후의 값을 각각 최대 및 최소로 하여 매일 한 번 측정된 값을 이용하였다. 탄산가스 농도를 측정하지 못하였던 제1주기를 제외하고 제3주기와 제5주기의 탄산가스 농도변화를 나타낸 것이다. **Fig. 2-15(a)**의 경우, **갑 지역**과 마찬가지로 환기팬 고장으로 인하여 입상 22일째에 탄산가스 농도가 급격히 증가하는 경우를 제외하면, 두 주기 공히 발이기에 거의 일정하게 유지되고 생육기에는 발이기에 비해 약간 높아지는 경향을 나타내고 있지만, 발이기의 경우에는 외기의 농도인 약 300~400ppm와 거의 비슷하게 유지됨을 알 수 있다. 또 생육기에도 평균값이 주기별로 각각 약 400~900ppm 및 400~600ppm 정도의 범위로 유지되고 있다. 그러나 일반적인 경우, 재배사의 탄산가스 농도는 발이기에 1,000ppm이하, 생육기 800ppm~2,000ppm이하가 적당하며, 2,000ppm이상 되면 버섯의 맛이 작게 되고, 4,000ppm 이상이 되면 생육장애가 일어나는 것으로 알려져 있다. 이러한 점을 고려한다면, 탄산가스 농도가 전체적으로 낮게 유지되는 것을 알 수 있다. 그러나 본 연구의 협동과제 연구결과 생육기에 탄산가스 농도를 1,600~24,000ppm으로 조절하는 것이 버섯의 품질이나 수확량이 증가하는 것으로 나타났다. 이점을 고려하면 이 재배사의 경우는 탄산가스농도 조절에 큰 문제가 있는 것으로 판단된다.

이것은 환기가 지나치게 자주 이루어지거나 아니면 팬의 용량이 너무 큰 것으로 판단되고, 이것이 상대습도를 전체적으로 낮게 유지되게 된 하나의 원인으로 볼 수 있다. 이와 같이 환기가 지나치게 자주 이루어지거나 팬의 용량이 크면, 냉·난방비용뿐만 아니라 전체적으로 에너지 비용이 증가하고, 또 환경조절장치의 내구성에도 불리하기 때문에 환기에 대한 적절한 대처가 있어야 할 것으로 판단된다.



(a) 3rd cycle(4. 7~4. 26)



(b) 5th cycle(6. 14~7. 2)

Fig. 2-15. Variations of CO₂ concentration in *Eryngii* cultivation house(with testo).

(3) 조도

Table 2-2는 재배사의 조도를 위치별로 나타낸 것으로 백열등은 양 측벽에 연하여 4개씩 바닥에서 높이 3.9m에 설치되어 있다. Table 2-2에서 측정점 A는 백열등 직하 지점이고, B는 백열등과 백열등 사이의 중간지점이다. 그리고 단은 재배상의 층별을 나타낸 것이고, 폭 방향 위치는 동일 높이의 단에서 벽쪽, 중간 및 통로 쪽으로 구분하여 좌, 중 및 우로 하였다. 조도 측정은 각각의 위치에서 균상의 직상부에서 실시하였다.

Table 2-2에서 알 수 있듯이 위치에 따라 최소 3lx부터 최대 60lx까지 조도분포가 다양하고, 권장조도100~200lx보다는 현저히 낮게 유지되고 있음을 알 수 있다. **값, 을 지역** 모두 다른 환경인자보다 조도에 대해서는 그 다지 큰 관심을 가지지 않았다. 이것은 조도가 갖의 색깔에 직접적인 영향을 주지만, 버섯의 크기에는 크게 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 판단된다(어두우면 갖의 색깔이 상대적으로 희게 된다).

Table 2-2. Distributions of illuminance in eryngii cultivation house.

(unit: lx)

Bed location	1st			2nd			3rd			4th		
	left	mid.	right	left	mid.	right	left	mid.	right	left	mid	right
Measuring points												
A	15	4	7	20	8	9	27	8	12	60	42	31
B	8	3	10	12	4	12	14	15	14	20	21	20

(4) 재배주기별 수확비율

Photo. 2-13은 온도측정용 소형 팬에 의하여 소형 팬 주변의 배지가 건조된다고

하였기 때문에 이를 방지하기 위하여 소형 팬에 덕트를 설치한 것과 그 당시 팬 주변에 있던 배지를 나타낸 것이다. 그리고 **Photo 2-14**는 정상적으로 발이한 배지와 수확한 버섯의 모습을 나타낸 것이다. 건조 현상이 실제로 소형 팬 때문인지는 정확히 알 수 없었지만, 버섯이 정상적으로 발이하지 않은 것을 눈으로 확인할 수 있었다. 그리고 **갑 지역**에서는 볼 수 없었지만, 이 지역의 경우 버섯이 정상적으로 발이 또는 생육하지 않는 것을 종종 볼 수 있었다.

이와 같이 버섯이 제대로 발이 및 생육하지 못하는 것은 설정온도 및 상대습도를 낮게 유지하고, 탄산가스 농도 또한 지극히 낮기 때문인 것으로 판단된다. **Photo 2-15**는 비정상적으로 발이한 버섯의 생육과정을 나타낸 것이다.



Photo 2-11. View of duct and *Eryngii* medium.



Photo 2-12. View of normally developed and yielded *Eryngii*.

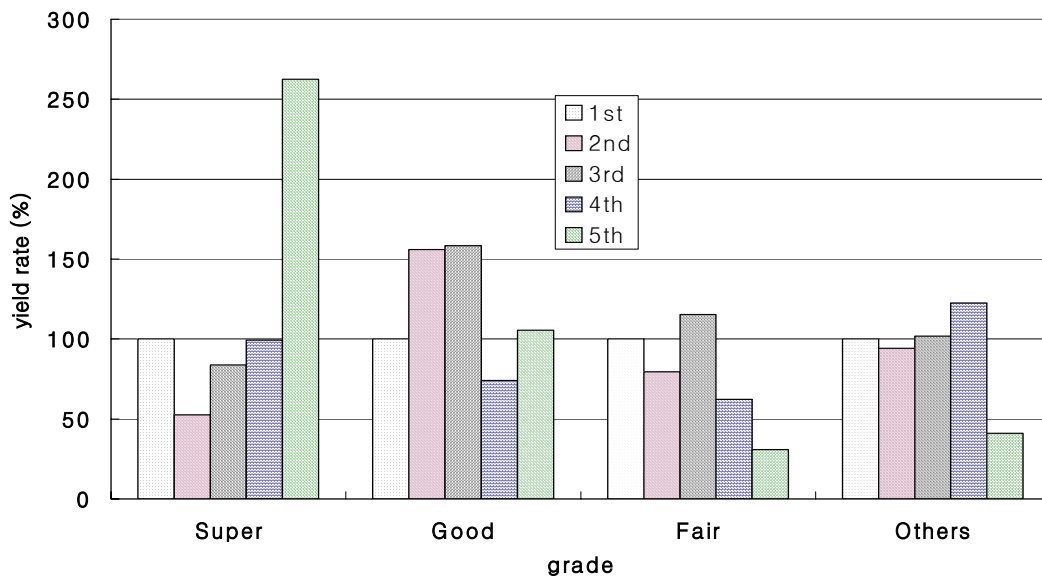


Photo. 2-13. View of abnormally developed *Eryngii*.

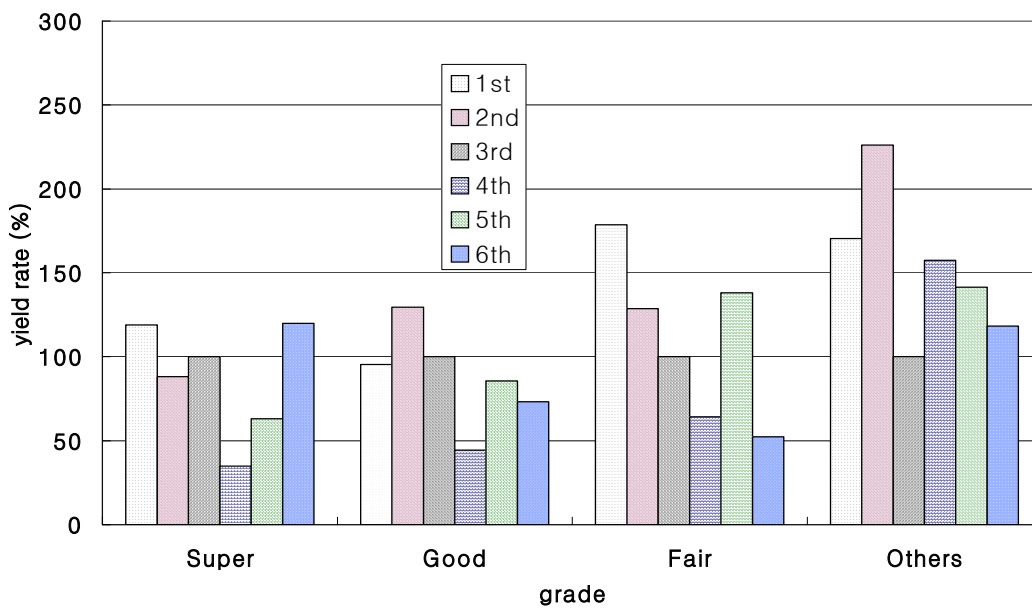
Fig. 2-16은 **A, B-동**을 대상으로 전체 제5 및 6주기 동안 버섯의 수확비율을 특상(S), 상(G), 중(F) 및 등외품(O)으로 구분하여 나타낸 것이다. 주기별 전체 수확량 중에서 평균수확량 정도에 해당하는 재배주기, 즉 **A-동**은 제1주기, **B-동**은 제5주기의 수확량을 기준으로 나타낸 것이다. **A 및 B-동**에 입상한 균상은 각각 12,000병과 10,000병으로 주기에 관계없이 동일하다. 수확량은 재배자가 제공한 자료에 근거한 것이기 때문에 실제 상황과 다소 차이가 있을 수 있다.

Fig. 2-16에서 알 수 있듯이 수확량이 재배주기별이나 재배사별로 일정하지 않음을 알 수 있고, 또 등외품이 재배사별(**A, B-동**)로 각각 26~58% 및 30~62% 정도의 범위로서, **갑 지역**의 경우 중품이하가 약 9.0~16.4% 정도였던 것과는 대조적이다. 또한 전체 수확량을 평균적으로 살펴보면, **A 및 B-동**별로 각각 병당 약 71~91g 및 54~102g 정도로 나타나 극히 수확량이 적었던 54g을 제외하면, **갑 지역**의 67~85g 정도와 비슷하지만, 버섯의 품질측면에서는 두 지역 간에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 앞에서 기술한 재배사 내부의 열악한 환경조절 상태로부터도 예견된 것이다. 그러나 **A-동** 제5주기의 경우, 특품이 약 50%정도로 다른 주기에 비해 비교적 많은 것은 앞에서 보았듯이 비록 재배사내의 주요 3대 환경인자 중 탄산가스 농도는 지극히 낮게 유지되었지만, 이 중 온도 및 상대습도가 상대적으로 양호하게 조절되었기 때문인 것으로 판단된다.

앞으로도 측정될 미기상 자료와 수확량을 바탕으로 이들의 상관관계를 좀 더 정확히 연구되어야 할 것으로 판단된다.



(a) in cultivation house-A



(b) in cultivation house-B

Fig. 2-18. Periodical yields of *Eryngii* from 10,000 or 12,000 bottles.

(5) 소비전력량

Fig. 2-17은 측정 초기단계인 B-동의 제1주기를 제외하고 재배주기별 소비전력량을 나타낸 것으로서, Fig. 2-19의 범례에 나타낸 숫자는 재배주기이다. 그리고 재배동 A, B-동에 관계없이 대략 주기별 재배기간을 살펴보면, 제1~2주기는 1월말~3월말, 제3~4주기는 3월말~5월말, 제5~6주기는 5월말~8월초까지이다. 이 지역의 경우는 각 동별로 적산전력계를 설치하여 소비전력을 측정하였다.

소비전력량은 재배시기에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 일반적으로 봄철에 해당하는 시기인 제3~4주기의 소비전력량이 제1~2주기 및 제5~6주기의 소비량보다 비교적 적은 것은 냉·난방기의 사용이 비교적 적었기 때문이다. 그리고 A 및 B-동에서 동일 주기인 제3주기와 제5주기간의 소비량에 큰 차이를 보이는 주된 이유도 냉·난방의 차이 때문이다.

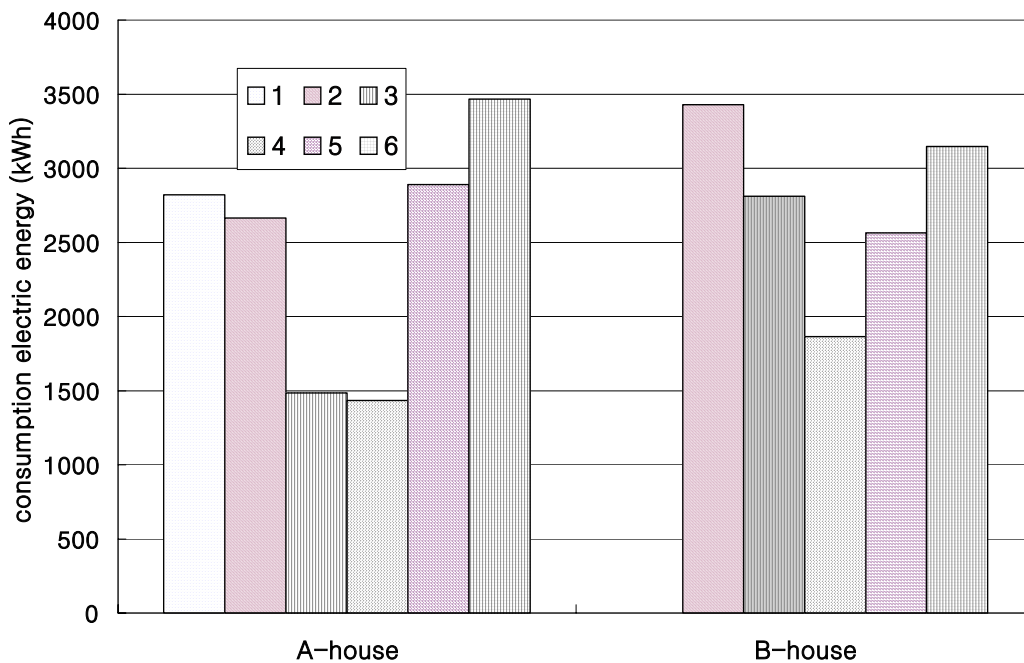


Fig. 2-17. Electric energy consumed in each cultivation houses.

나. 영구재배사(패널형)를 중심으로

이상에서는 간이형(보온덮개형)을 중심으로 검토하였지만, 두 지역 모두 재배농가의 비협조로 많은 애로 사항을 겪었다. 한 지역에 두 동 정도의 계측설비를 완벽하게 설치하려면 많은 시간이 소요됨은 물론 온도 센서의 특성상 한 번 절단하면 연결하여 사용할 수 없는 단점이 있기 때문에 비용측면에서도 상당히 부담이 되고, 또한 간이 재배사에서 측정한 자료가 충분하지는 않았지만, 다시 다른 재배사로 이동하여야 하기 때문에 더 이상의 계측은 할 수 없었다.

따라서 본 연구자들은 현재까지 현장 조사 경험으로 미루어 볼 때, 간이형의 경우는 일반적으로 자연재해에 취약하고 또한 농촌경관과 환경조절에서 에너지 소비량이 패널형에 비해 상대적으로 많을 뿐만 아니라 유지관리 측면에서도 패널형이 유리한 것으로 판단했다. 그리고 최근에 관심이 고조되고 있는 농촌의 어메니티 등을 고려한다면, 간이형보다 패널형 영구재배사의 보급이 바람직할 것으로 판단하였다. 이러한 점을 고려하여 본 연구자들은 간이재배사의 환경조건과의 비교, 대상농가와 학교와의 거리, 농가의 협조관계 등을 고려한 후, 샌드위치패널을 이용한 영구재배사 2동(전체 4동)을 대상으로 '03년 11월 20일부터 '05년 10월말까지 약 2년 동안 환경인자들을 측정하였다.

각각의 재배사 마다 재배 노하우를 가지고 있다. 그러나 현장조사를 하면서 알 수 있었지만, 실제로 그 노하우를 재배농가들이 서로 공유하기란 거의 불가능 한 것으로 판단되었다. 그리고 처음 재배를 시작하거나 경력이 짧은 재배농가에서는 환경조절을 위하여 설비를 교체하거나 환경조절방법 및 조절 시간의 변경, 종균 및 배지 공급처의 변경 등 다양한 시도를 하고 있었다. 이 재배사도 계측을 시작할 당시 버섯재배 경력이 약 2년 정도로 그다지 경력이 많지 않았고, 또한 본 연구자들이 약 1년 정도 계측 및 검토한 결과를 바탕으로 난방 및 가습장치의 교환, 흡기 덕트의 위치 변경 등 환경조절에 변화를 주었다. 배지병의 용량도 1,100cc 에서 1,300cc 로 바꾸면서 재배방법도 습기작업을 하여 배지병당 한 개를 재배하던 것에서 포기재배로 전향하였다. 따라서 본 연구에서는 **변경 전과 후**의 연구결과를 병기하여 검토하였다.

이 재배사도 바닥은 콘크리트로 처리되어 있고, 작업의 효율성을 높이기 위하여

40×40cm(48×48cm ; 1,300cc의 경우)플라스틱 상자에 용량 1,100cc의 배지병 16개를 담아 재배하고 있었다. 재배사의 한 동에 최대로 수용할 수 있는 배지는 약 12,000병 정도이지만, 실제로 재배할 때는 노동력을 감안하여 9,000(1,300cc의 경우)~10,000(1,100cc의 경우)병을 입상하고 있었다. 재배실과 별도로 포장과 저장을 위한 작업실, 저온저장고도 갖춰져 있었다.

환경조절의 경우, **변경 전** 난방은 재배사 내부의 천정부위에 설치되어 있는 전기히터만으로 조절하였고, **변경 후**에는 온수를 사용하였다. **변경 전**에 흡기팬과 흡기용 덕트는 재배사 측벽에 연하여 설치하였지만, **변경 후**에는 재배사 중앙에 설치하였다. 이와 같이 변경한 것은 전기히터만으로 재배할 경우, 최하단의 온도가 설정온도에 비해 아주 낮게 유지되었고, 흡기용 덕트는 재배사 중앙에 설치하는 것이 일반적이고 측벽에 설치할 경우에 비해 재배사내의 공기분포가 좀 더 균일할 것으로 판단했기 때문이다. 배출은 재배사의 측벽에 설치된 배출용 팬을 통해 실내공기를 빨아내는 방법으로 행하고 있었다. 단, 간이형 재배사에 볼 수 있었던(배출용 덕트를 재배사 바닥에 설치) 덕트는 설치되어 있지 않았다. **변경 전**에 상대습도는 주로 천정부에 설치한 초음파가습기를 이용하여 조절하였지만, **변경 후**에는 가습을 하면서 실내공기의 유동을 어느 정도 조성할 수 있는 이동이 가능한 가습기인 원심식 가습기를 중앙 통로 바닥에 설치하여 이용하였다. 이것 또한 습도를 조절하면서 공기를 유동시킬 수 있는 장점이 있다고 판단했기 때문이다. 동절기에 실내가 건조할 경우, **갑 지역**과 같이 문부호스를 이용하여 바닥에 물을 분무하는 방식으로 운영하였다. 광은 다른 지역과 마찬가지로 배지병을 뒤집기 한 후, 수확할 때까지만 조사하였다.

이 지역도 간이재배사의 경우와 마찬가지로 전기전압의 불안정은 물론 환경조절설비업체들의 영세성 때문에 전기누전에 대한 대비책이 전혀 되어 있지 않은 상태였다. 따라서 계측장치들을 사용할 때, 누전에 대한 충분한 대비책이 없으면 측정이 불가능하였다. 본 연구에서는 누전에 대한 대책을 여러 가지 방법으로 강구하였음에도 불구하고 전기적 불안정은 상시 따르는 문제로 남아있다. 이러한 누전은 사람이 평소 감지할 수 있는 정도는 아니지만, 버섯을 재배할 때는 내부가 항상 다습하기 때문에 전구의 교환, 장치의 수리 등을 전문가에 의뢰하지 않고 농가가 직접 다루는 것은 대단히 위험할 것으로 판단된다. 따라서 데이터 결손이 예측했던 것보다 많았다.

1) 재료 및 방법

실험대상 재배사는 교내에서 약 6km 정도 떨어진 곳에 있는 샌드위치패널을 이용한 영구재배사이다. 샌드위치패널의 두께는 100mm이고, 발포폴리스틸렌(일명 스티로폼)이 내장되어 있다.

재배사의 규모는 2연동(총 4개동)되어 있고, 2연동 전체의 폭, 길이, 동고 및 측고는 각각 14m, 40m, 4.5m 및 3m이다. 재배사의 길이방향으로 중앙부에 배지병을 입상 및 폐상할 때 작업공간으로 이용하고, 또한 환경조절의 완충지역으로 이용하기 위하여 폭이 약 4m인 복도가 있다. 이 복도를 중심으로 좌·우측 2개동씩 2연동으로 구성 되어 있다. 각 동별 재배사의 폭 및 길이는 각각 7m 및 18m이다. 바닥면적은 약 126m²(38평)/동 정도이다. 재배상의 크기는 폭 1.5m, 높이 0.6m이며, 폭 2.0m의 중앙 통로를 중심으로 좌·우측에 3단의 재배상이 설치되어 있다. 재배상의 길이는 16m이다.

Photo 2-16은 실험재배사의 내·외부 전경을 나타낸 것이다. 일반적으로 배지병을 입상 또는 폐상할 때는 작업의 효율을 높이기 위하여 재배사 내부의 중앙통로로 차량이 진입하는 경우가 많다. 그러나 이 재배사의 경우는 **Photo 2-16**에서 보듯이 차량이 진입할 때, 발생할 수 있는 오염원을 차단하는 효과가 있는 배지병 운반용으로 제작된 장치를 이용하고 있었다.





Photo 2-16. View of *Pleurotus eryngii* cultivation house.

환경조절 설비는 각동 공히 냉방기(4HP, 4,760kcal/h) 3대, 초음파가습기(6구) 3대 (변경 전), 원심식 가습기 2대(변경 후, 80W), 흡기팬(0.4kW) 1개, 배기팬(0.13kW) 3개, 백열등(60W) 10개가 설치되어 있었다. 변경 전에 난방은 천장에 설치된 unit cooler(냉방기)에 열선(4.2kW)을 3개×3대(냉방기)=9개 설치하여 실시하였고, 변경 후에는 중앙복도에 용량 1톤의 수조를 설치하여 전기히터(5kW×4개)로 가온한 온수를 재배상 최하단의 직하부와 바닥사이에 설치된 엑셀파이프(φ15mm, 8라인/동)로 난방을 하였다. 그리고 동절기와 하절기에만 사용하기 위하여 중앙복도에도 냉방기(4,760kcal/h) 2대와 열선(4.2kW) 2개×2대(냉방기)=4개를 설치하여 두었다. 환경조절설비에 있어서 갑, 을 지역과의 큰 차이점은 백열등의 개수가 2~4개정도 많고, 백열등 위치가 측벽이 아니라 중앙통로 좌우측에 상부에 설치되어 있는 것이다. 그리고 원심

식 가습기를 사용하는 것과 중앙복도를 이용하고 있는 점이다. 냉방기의 정격용량은 **갑 지역**보다는 크고 **을 지역**과는 동일하다.

재배사의 환경조절은 동별로 ON/OFF제어방식을 채택하고 있었으며, 다른 재배사와 마찬가지로 이 재배사도 온도는 온도센서(Pt-100Ω)를 사용하고 있었고, 가습기와 환기팬은 타이머로 조절하였다. **Photo 2-15**는 원심식 가습기를 보인 것이다.



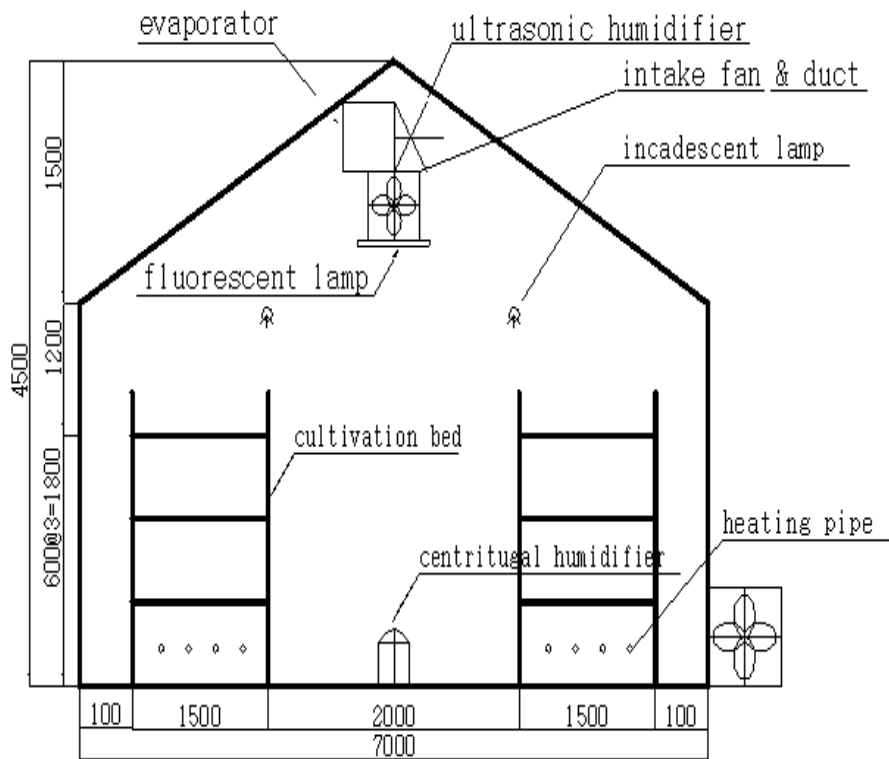
Photo 2-17. View of humidifying system.

측정한 환경인자는 외기온, 재배사의 내부온도, 탄산가스 농도, 조도분포 및 배지의 산도(pH) 등을 조사하여 분석하였다. 환경인자 이 외에도 전력소비량, 버섯의 생산량 등도 조사하였다.

외기온은 재배사 인근에 설치한 백엽상에서 건·습구 온도를 측정하였으며, 재배사의 내부온도는 습구온도 1점을 포함하여 재배사의 높이별로 5지점(습구온도 1측점 포함)의 온도를 측정하였다. 온도 및 탄산가스 농도는 온도센서(thermocouple; T-type)와 탄산가스 센서(VAISALA; SMW20)로 1분 간격으로 측정하였으며, 측정값은 Data logger(NEC, DE10-109) 및 컴퓨터를 이용하여 저장 및 분석하였다. 또 탄산가스 센서는 휴대용 센서(Testo; 353)를 사용하여 필요할 때마다 검증하였다. 탄산가스의 높이별 농도를 알아보기 위하여 3개의 센서를 높이별로 설치하여 측정하기도 하였으며, 배지의 산도도 휴대용 pH 계측기(IQ science; 1504578)를 이용하여 측정하였다. 그리고 재배사의 내부조도는 조도계측기(HIOKI-3421)를 이용하여 측정하였다. 앞서서도

기술하였듯이 전압의 불안정을 다소 해소하고, 정전이 되었을 때 일시적으로 전기를 공급하여 주는 장치, 즉 자동전압조정기(AVR, 제일전기; SC-1022, 1KVA)를 사용하여 데이터를 계측하였다.

실험대상 재배사는 총 4개동 중에 복도를 중심으로 마주보고 있는 2동을 중심으로 실시하였다. Fig. 2-18은 실험재배사의 단면도를 나타낸 것이다. Fig. 2-18에서 A, B로 표시되어 있는 점은 조도 측정지점이다.



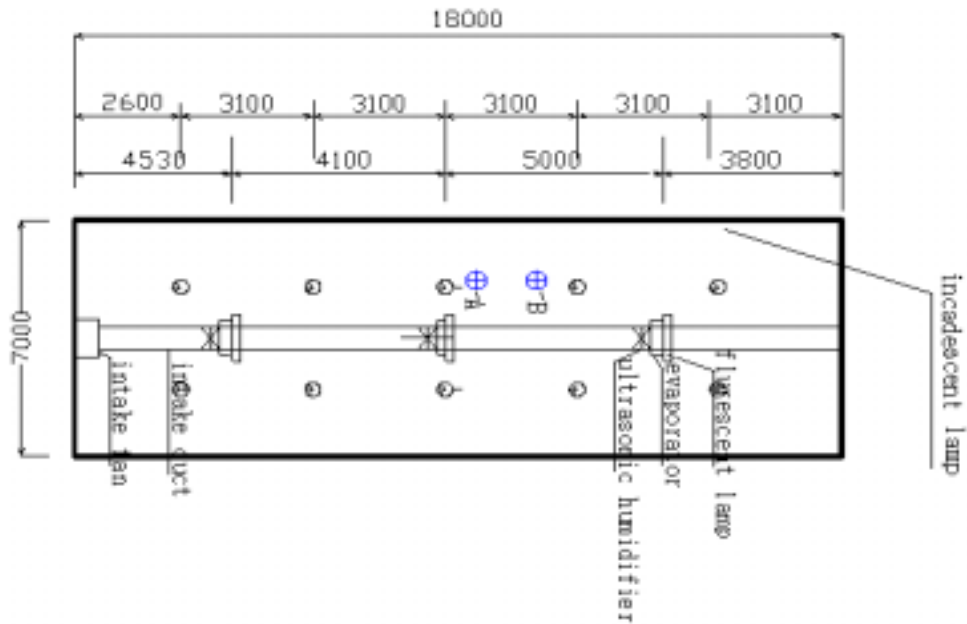
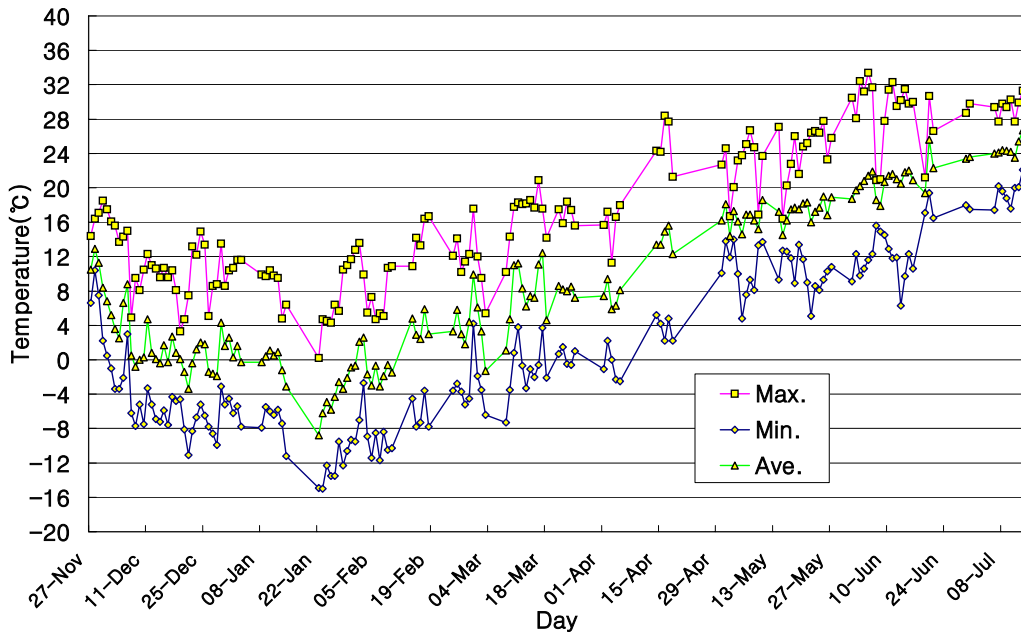


Fig. 2-18. Plan of *Pleurotus eryngii* cultivation house. (unit : mm)

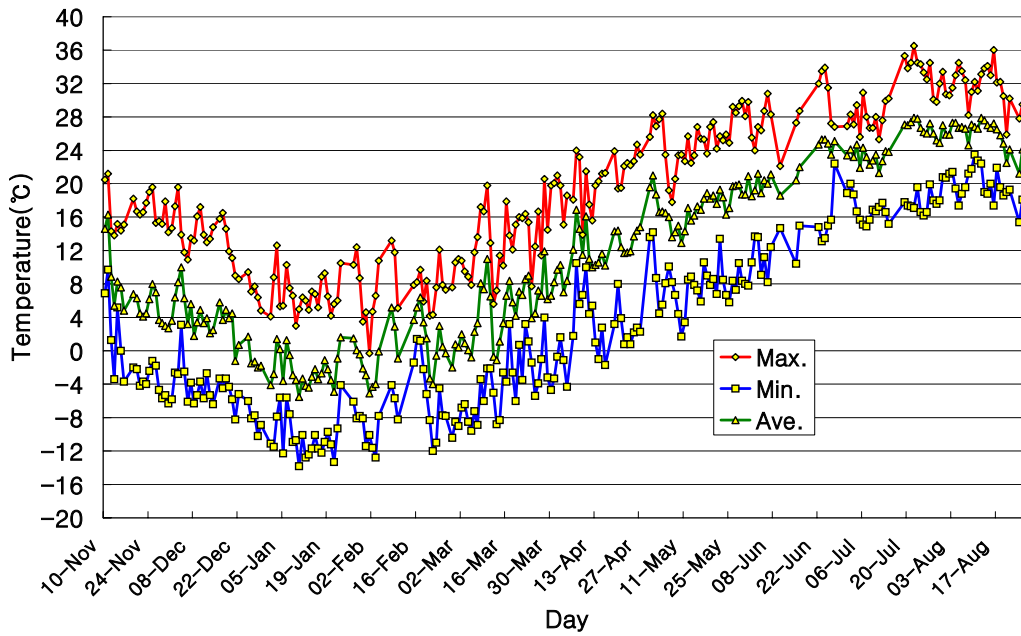
2) 결과 및 고찰

가) 외기온 및 재배사의 내부온도

Fig. 2-19는 실험지역의 최대, 최저 및 평균외기온의 일변화를 '03년 11월 27일~'04년 7월 13일까지(변경 전)와 '04년 11월 10일~'05년 8월 27일(변경 후)까지 나타낸 것이다. 시스템 변경 전·후 최대, 최저 및 평균 외기온은 각각 $-0.3\sim 36.5^{\circ}\text{C}$, $-15.0\sim 23.5^{\circ}\text{C}$ 및 $-8.8\sim 27.9^{\circ}\text{C}$ 정도의 범위에 있다. 그리고 동일 기간동안 실험 재배사에서 약 10km 정도에 떨어져 있는 진주시상대에서 측정된 최대, 최저 및 평균 외기온이 각각 $-2.1\sim 36.7^{\circ}\text{C}$, $-13.3\sim 24.9^{\circ}\text{C}$ 및 $-7.4\sim 29.1^{\circ}\text{C}$ 인 것과 비교하면, 대체적으로 비슷한 경향을 보이고 있다.



(a) before systems improvement('03년 11월 27일 ~ '04년 7월 13)

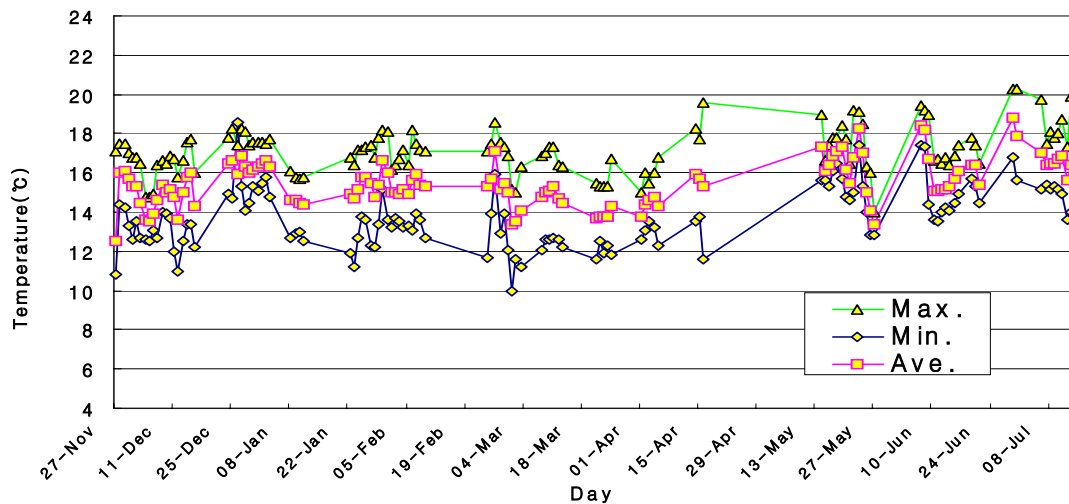


(b) after systems improvement('04년 11월 10일 ~ '05년 8월 27일)

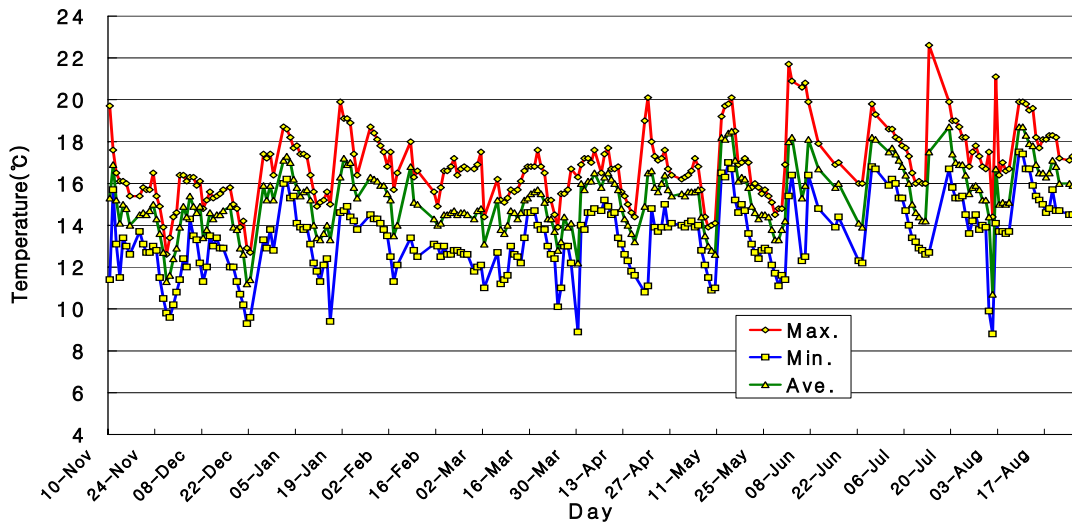
Fig. 2-19. Variations of outside temperature.

실험대상 재배사는 2동이었지만, 2동의 규모, 환경조절방법, 장치들의 용량 등이 동일하기 때문에 이하에서는 한 동을 중심으로 검토하기로 하였다.

Fig. 2-20 (a), (b)는 재배사 내부의 대표온도로 생각할 수 있는 측정점(No.3 ;제2단)의 최고, 최저 및 평균온도를 시스템 변경 전(재배주기 8회)·후(재배주기 12회)에 대하여 나타낸 것이다. 내부 온도는 재배자가 설정한 온도에 따라 다르겠지만, 이 재배사의 경우 동절기 난방비 절감을 위해 권장온도(13~18℃) 범위 내에서 낮게 설정하는 경향이 있기 때문에 전체적으로 보면, 이 기간 동안 설정온도는 13.5~17.5℃ 정도의 범위에 있었다. 물론 권장온도 범위 내에서 낮게 설정할수록 상대적으로 재배기간은 길어진다. 변경 전·후 재배기간 동안 최대, 최저 및 평균온도는 각각 약 14.0~20.3℃, 10.0~18.6℃ 및 12.5~18.8℃와 12.6~22.6℃, 8.8~17.5℃ 및 11.3~18.7℃ 정도로서, 온도편차가 각각 약 6.3℃, 8.6℃ 및 6.3℃와 10.0℃, 8.7℃ 및 7.4℃로서 변경 전·후에 관계없이 비교적 온도변화가 큰 것을 알 수 있고, 변경 후의 편차가 변경 전 보다 조금 큰 경향이 있었다. 물론 설정온도에 관계없이 전체 재배기간 동안을 비교하였고, 또 전·후의 시험기간이 다르기 때문에 재배회수별로 비교하는 것과는 다소 차이가 있겠지만, 연중재배하고 있는 점을 고려하면 연중 균일한 상품을 생산하기는 어려울 것으로 판단된다. 그러나 을 지역의 온도편차가 약 9.0~10.5℃ 정도였던 것과 비교하면, 다소 양호한 것으로 나타났다.



(a) before systems improvement('03년 11월 27일 ~ '04년 7월 13)



(b) after systems improvement('04년 11월 10일 ~ '05년 8월 27일)

Fig. 2-20. Variations of inside temperature.

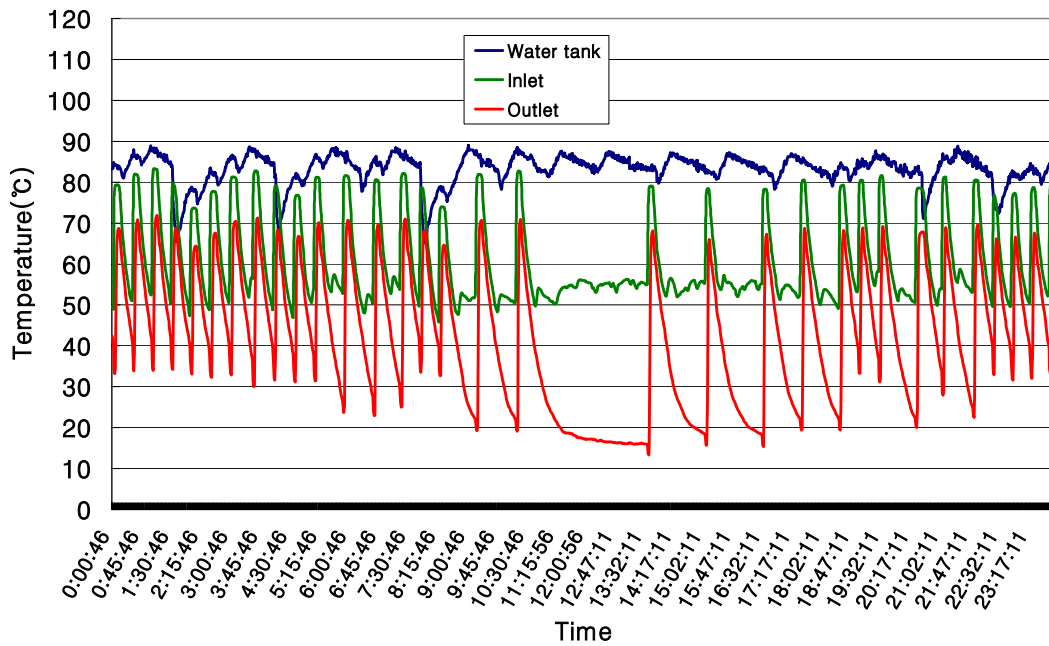


Fig. 2-21. Variations of temperature of circulating heat water('05.02.27).

Fig. 2-21은 주조내의 수온과 온수의 순환 상태를 알아보기 위해서 온수의 순환 온도를 나타낸 것이다. 수조내의 온수는 80℃ 전후로서 제작사에서 제시한 범위 내에 있었고, 순환작동을 중지한 13:00전후를 제외하곤 정상적으로 작동하고 있음을 알 수 있다. **Fig. 2-21**은 2월 27일자의 자료로서 최저 및 최고 외기온이 각각 -9.5℃ 및 10.4℃인 날의 것이다. 이것을 포함하여 상대적으로 최저기온이 낮았던 날, 즉 최저 외기온이 각각 약 -11.0℃ 및 -10.0℃이었던 날의 유입 및 유출 수온차, 유량 및 비열을 이용하여 재배사 내부로 방열한 열량을 구해보면, 열량은 시간에 따라 많은 차이가 있었지만, 최대로 약 20,000kcal/h 전후로 나타났다. 물론 환기횟수에 따라 차이가 있겠지만, **갑 지역**의 보일러 최대용량이 17,000kcal/h 이었던 점, 또 이 재배사의 열량과 진주지역 최저기온으로 미루어 볼 때, 40평 정도의 재배사라면 난방기 용량은 20,000kcal/h 정도인 것으로 판단된다.

Fig. 2-22는 시스템 변경 전 전체 실험기간 중(각 동 총 28회/2년 재배) 전기적인 문제로 데이터 결손이 비교적 적고, 외기온이 상대적으로 낮았던 3회 재배('04. 1. 21~2. 10; 난방), 중간 정도인 6회 재배(5. 11~5. 30; 냉, 난방) 및 상대적으로 높은 7회 재배(6. 6~6. 23; 냉방) 때의 일 온도변화를 나타낸 것이다.

간이재배사와는 재배사의 바닥규모만 거의 동일하고, 지역, 재배사의 구조 및 형태, 환경조절 방법 및 장치의 용량 등이 다소 다르기 때문에 직접비교하는 하는 것은 다소 무리가 있지만, 내부 환경인자들의 변화경향은 상대적으로 비교할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이하의 검토 과정에서는 간이재배사와도 비교 검토한 결과를 병기 하였다.

Fig. 2-22의 (a), (b), (c)는 각각 입상 18일, 4일 및 13일째이고, 설정온도는 각각 17.0℃, 16.5℃ 및 16.0℃이었다. 그리고 **Fig. 2-23**은 **Fig. 2-22**의 온도변화를 좀 더 명확히 알아보기 위하여 3시간 단위의 온도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 각 측정점은 센서의 위치를 나타내는 것으로서 No. 1은 재배상 최하단의 직하부이고, No. 4는 최상단 재배상의 직상부이다. No. 2와 No. 3은 재배상 2단에 설치된 건·습구온도를 나타낸 것이다. **Fig. 2-22 (a), (c)와 2-23 (a), (c)**의 경우는 각각 난방기와 냉방기만에 의해 온도가 조절되고 있는 경우이다.

Fig. 2-22에서 보듯이 전체적으로 온도가 큰 진폭으로 흔들리고 있는 것은 가습, 환기, 난방 및 냉방이 연속적으로 이루어지고 있고, 또 누전에 의한 전기적 노이즈 때

문인 것으로 판단된다. 특히 습구센서는 냉·난방기가 작동할 때, 일시적으로 전압상승과 함께 노이즈에 노출되기 때문에 상대적으로 다른 온도보다 그 진폭이 대단히 크게 된다.

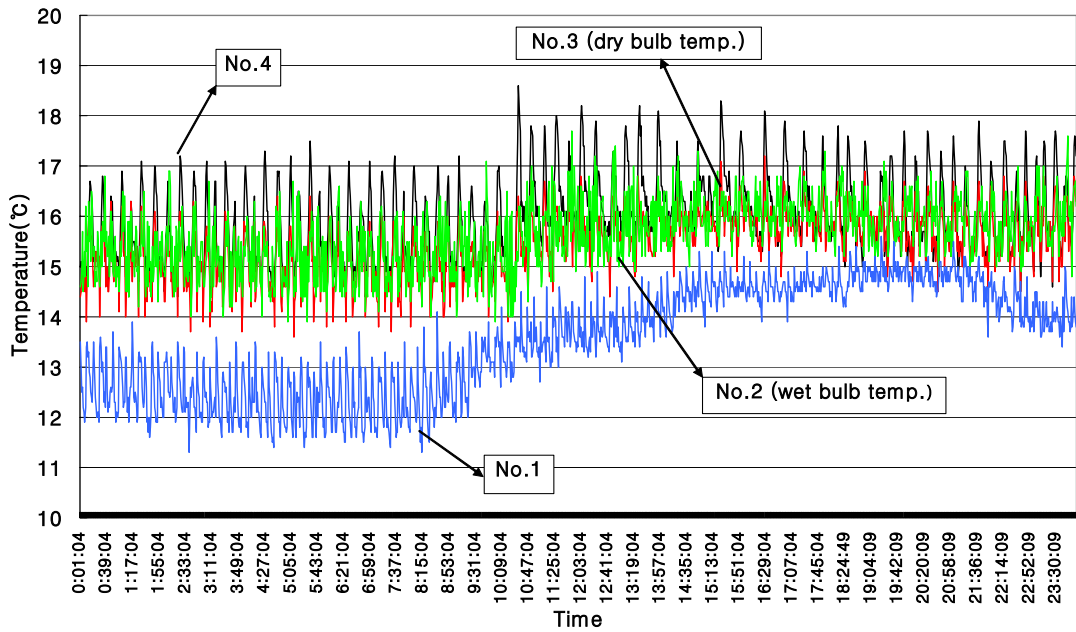
Fig. 2-22 (a)와 2-23 (a)를 보면, 상층(No.4)과 하층(No.1)간의 온도층이 분명히 나타나고 있음을 알 수 있고, 전체적으로 설정온도(17.0℃)보다 낮게 유지됨을 알 수 있다. 또 최상부와 최하부의 최대 온도편차도 약 5.1℃ 정도로 상층이 가장 높게 나타났다. 이것은 전체적으로 난방용량이 부족하고, 재배사내부의 공기유동이 원활하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 본 재배사를 포함하여 **갑, 을 지역**의 재배사를 기준으로 볼 때, 3지역 모두 정도의 차이는 있었지만, 이와 유사한 경향을 보였다. 이로 인하여 재배상간 버섯의 생육이 고르지 못하기 때문에 재배기간 동안 상하층간 배지병을 인위적으로 이동시켜야 하는 불편을 감수하고 있었다.

따라서 이러한 문제점을 해소하기 위해서는 난방기 용량의 개선, 온수순환 파이프의 배관위치 선정, 온풍기의 위치 및 덕트 사용, 공기유동 팬의 설치 등을 적극적으로 검토하여야 할 것으로 판단된다. 단, 재배사내부의 공기정체 현상을 해결하기 위해서는 버섯의 특성인 포자와 수분증발에 의해 배지의 건조 등을 고려하여 지속적으로 검토하여야 할 것으로 사료된다.

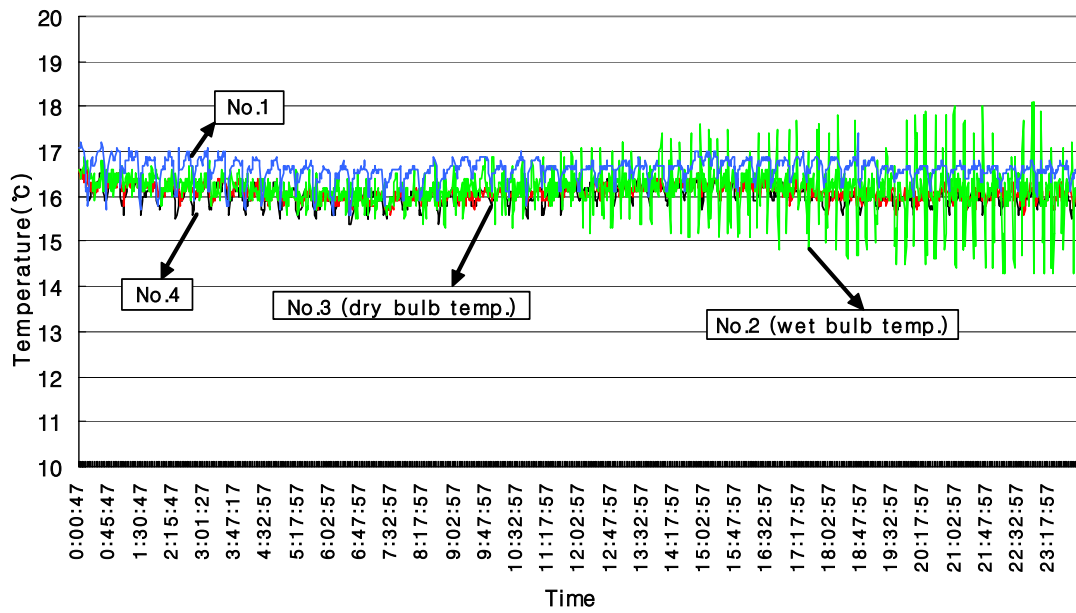
Fig. 2-22 (b)와 2-23 (b) 경우, 냉·난방기의 잦은 동작이 별로 없는 시기이므로 상·하층간의 온도편차는 크게 나지 않지만, (a)의 경우와는 다르게 하층부의 온도가 상층부보다 0.4~1.5℃까지 높게 나타났다. 이것은 환기팬의 작동에도 불구하고 1단 재배상 하부에 정체된 공기층이 존재함을 보여주는 일례이다.

Fig. 2-22 (c)와 2-23 (c)는 냉방에 의해 온도가 조절되는 경우로서 설정온도보다 약간 높게 유지되는 경향은 있지만, 냉방기 용량에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 그리고 동절기와 같이 층간 온도편차도 크지 않았다.

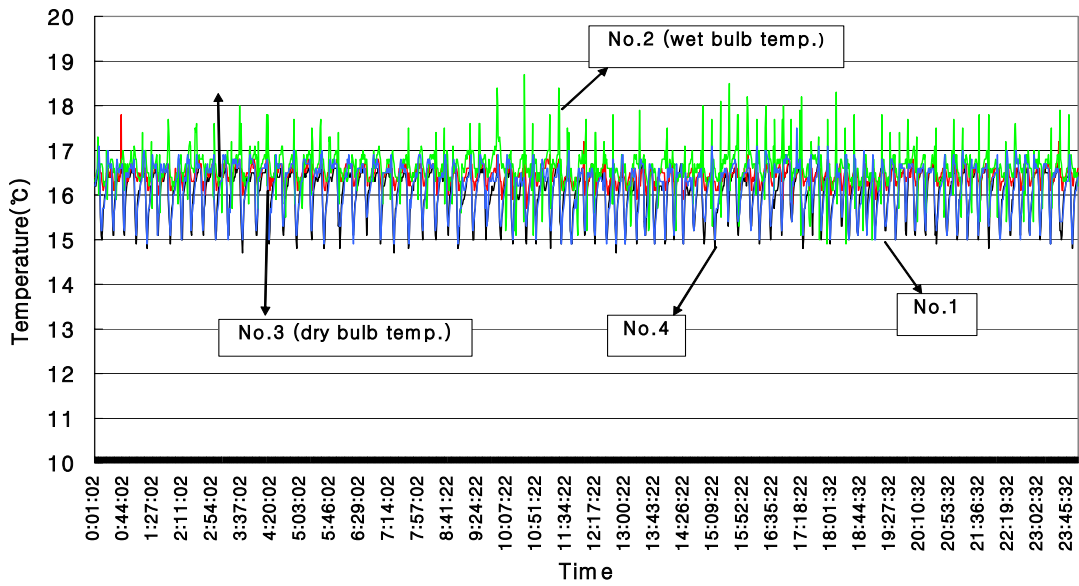
이 재배사의 경우도 냉방기의 정격용량은 **14,200kcal/h**으로서 **을 지역**과 동일하다. 그러나 **을 지역**에 비해 내부체적(규모)이 적고, 틈새환기가 거의 없고, 또한 중앙 복도형식을 취하고 있기 때문에 이것만 단순 비교한다면 냉방기 용량은 조금 과대 설계된 경향이 있는 것으로 사료된다. 물론 이것은 단순비교이고 실제로 냉·난방기의 용량은 실내의 탄산가스 농도 유지 및 환기와 밀접한 관계가 있기 때문에 좀 더 면밀한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.



(a) 3rd cycle('04. 1. 21~2. 10; 난방)

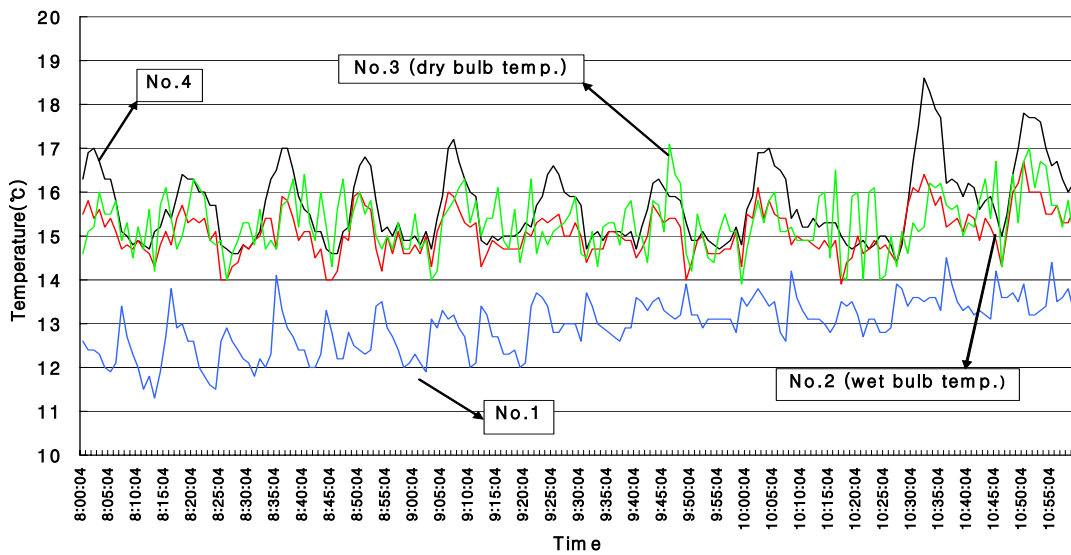


(b) 6th cycle(5. 11~5. 30; 냉, 난방)

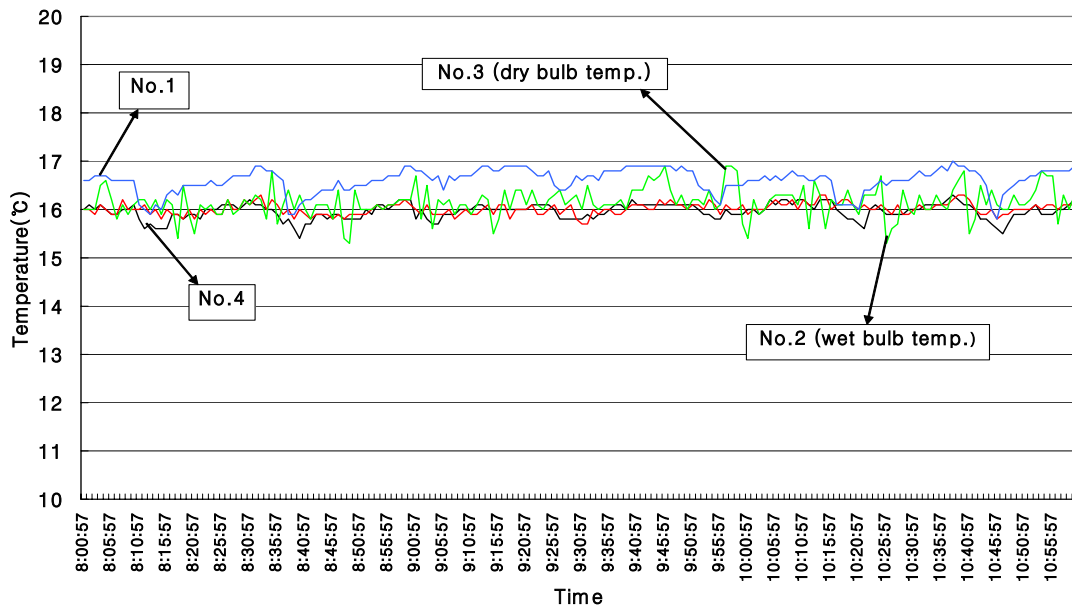


(c) 7th cycle(6. 6~6. 23; 냉방)

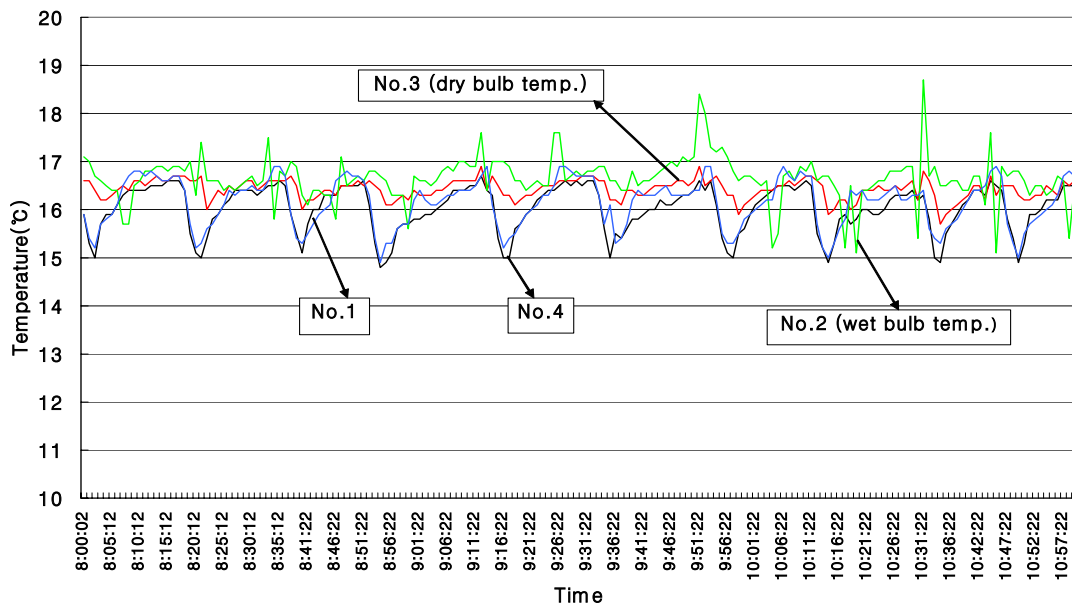
Fig. 2-22. Variations of temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house(24-hour)-before system improvement.



(a) 3rd cycle('04. 1. 21~2. 10; 난방)



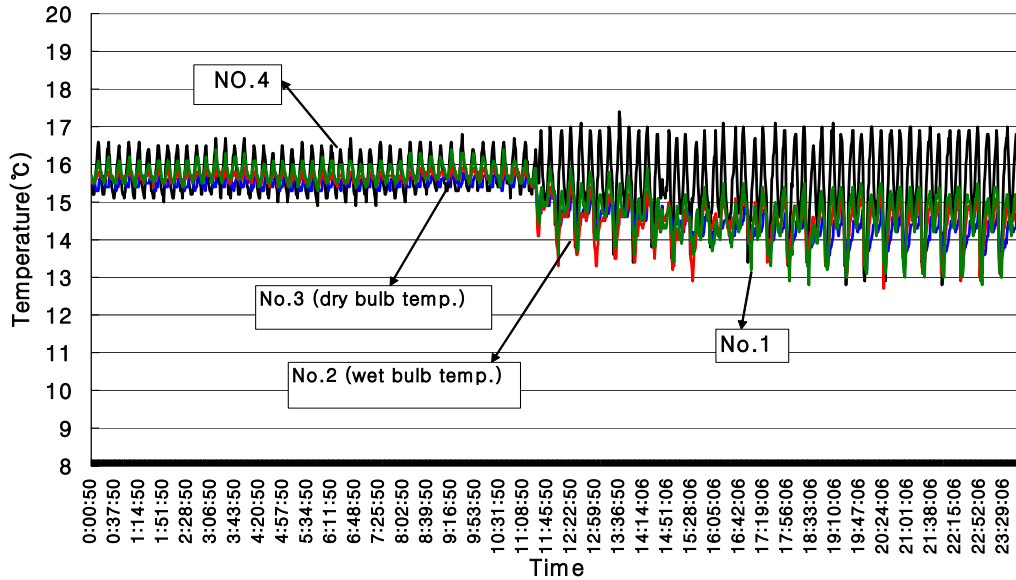
(b) 6th cycle(5. 11~5. 30; 냉, 난방)



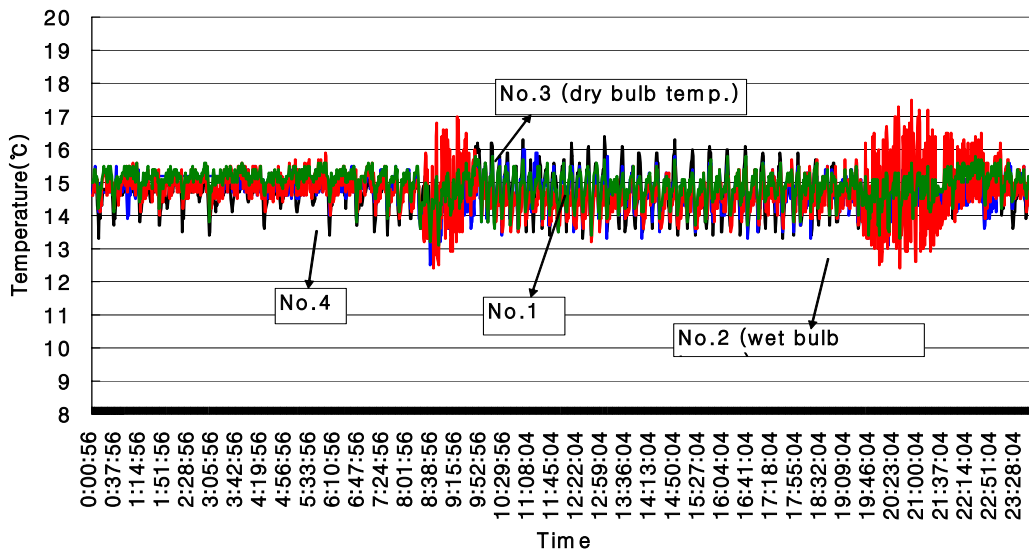
(c) 7th cycle(6. 6~6. 23; 냉방)

Fig. 2-23. Variations of temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house(3-hour)-before system improvement.

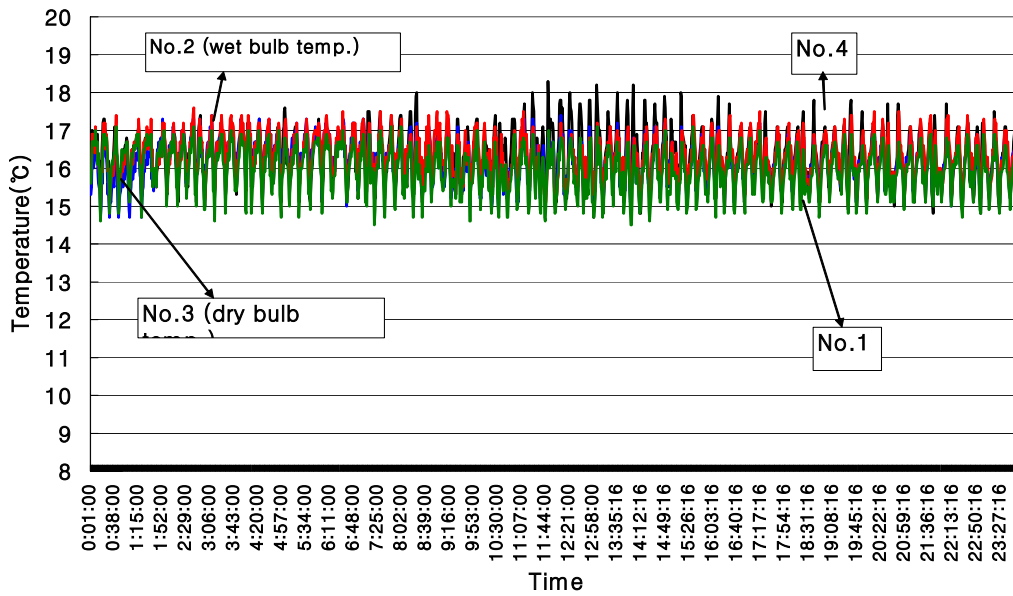
Fig. 2-24와 2-25는 시스템 변경 후의 온도변화를 Fig. 2-22 및 Fig. 2-23과 동일한 방법으로 나타낸 것이다. Fig. 2-24 의 (a), (b), (c)는 각각 입상 4일, 8일 및 12일째이고, 설정온도는 각각 15.0~15.5℃, 14.5℃ 및 16.0℃이었다.



(a) 16th cycle('04. 12. 26 ~ '05. 1. 15; 난방)

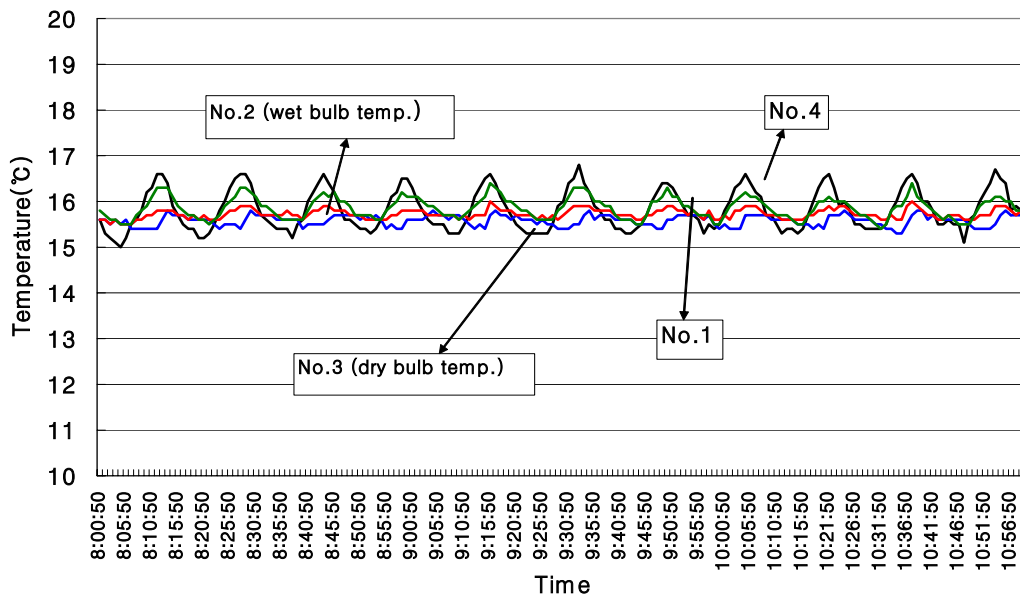


(b) 22nd cycle('05. 5. 14 ~ '05. 5. 31; 냉 · 난방)

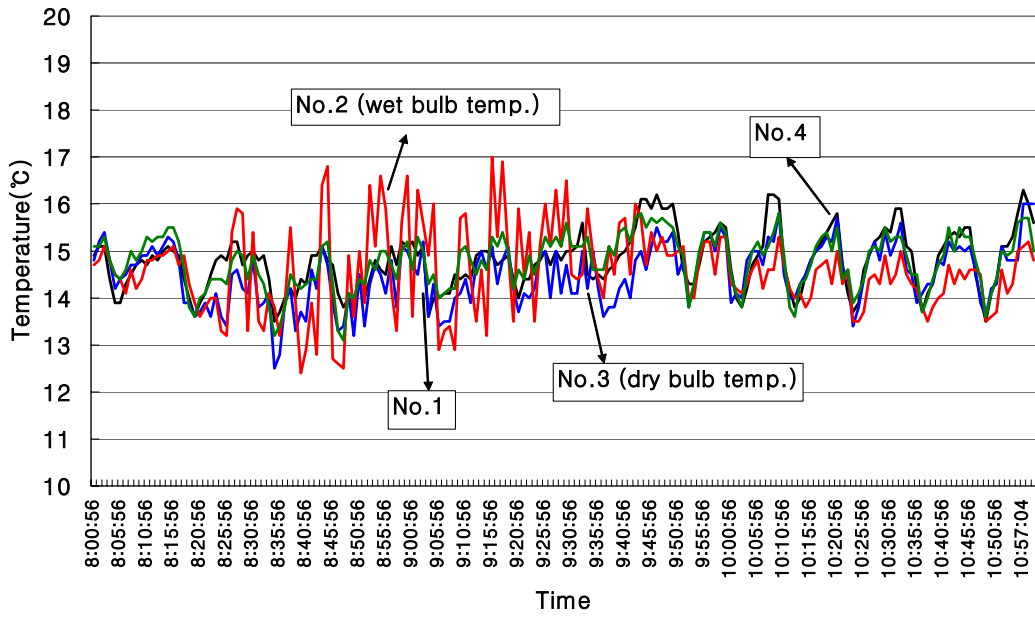


(c) 26th cycle('05. 8. 13~'05. 8. 25; 냉방)

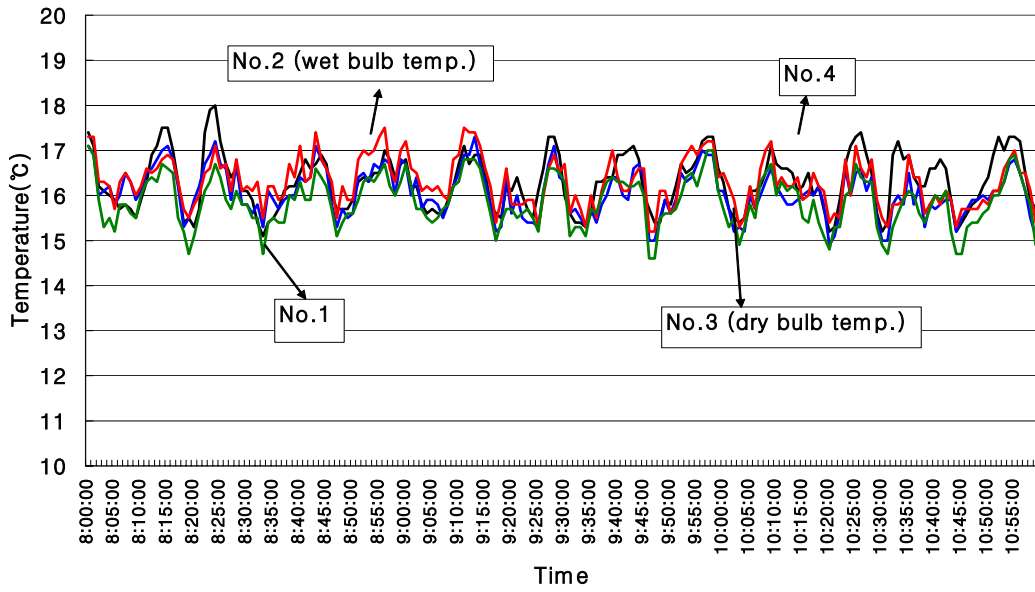
Fig. 2-24. Variations of temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house(24-hour)-after system improvement.



(a) 16th cycle('04. 12. 26~'05. 1. 15; 난방)



(b) 22nd cycle('05. 5. 14~'05. 5. 31; 냉 · 난방)



(c) 26th cycle('05. 8. 13~'05. 8. 25; 냉방)

Fig. 2-25. Variations of temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house(3-hour)-after system improvement.

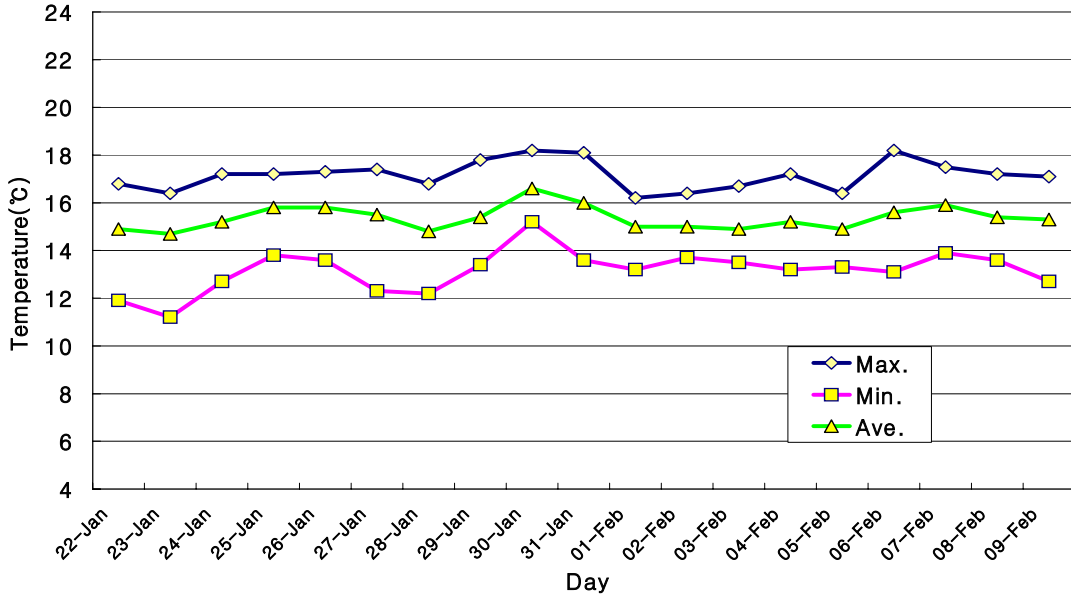
Fig. 2-24 (a)와 Fig. 2-25의 (a)를 보면, 전체적으로 설정온도 범위에서 조절되는 경향을 보이고 있고, **변경 전** 전기히터로 난방할 때 보다 온도층은 현저히 개선된 것으로 나타났다. 그리고 **갑 지역**과 같이 난방에 의해 온도층이 역전되는 현상도 나타나지 않았다. **변경 후**의 경우는 **갑 지역**과 동일한 온수로 난방을 하고 있음에도 온도층의 역전 현상이 일어나지 않은 것은 갑 지역에 비해 난방열량이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 2-24 (b), (c)와 Fig. 2-25의 (b), (c)를 보면, 대체로 설정온도 범위에서 조절되는 경향을 보이고 있고, 또한 **변경 전**과 같이 공기정체 현상도 나타나지 않은 것을 알 수 있다. 따라서 시스템 변경에 의해 어느 정도 온도조절이 개선된 것으로 판단할 수 있다.

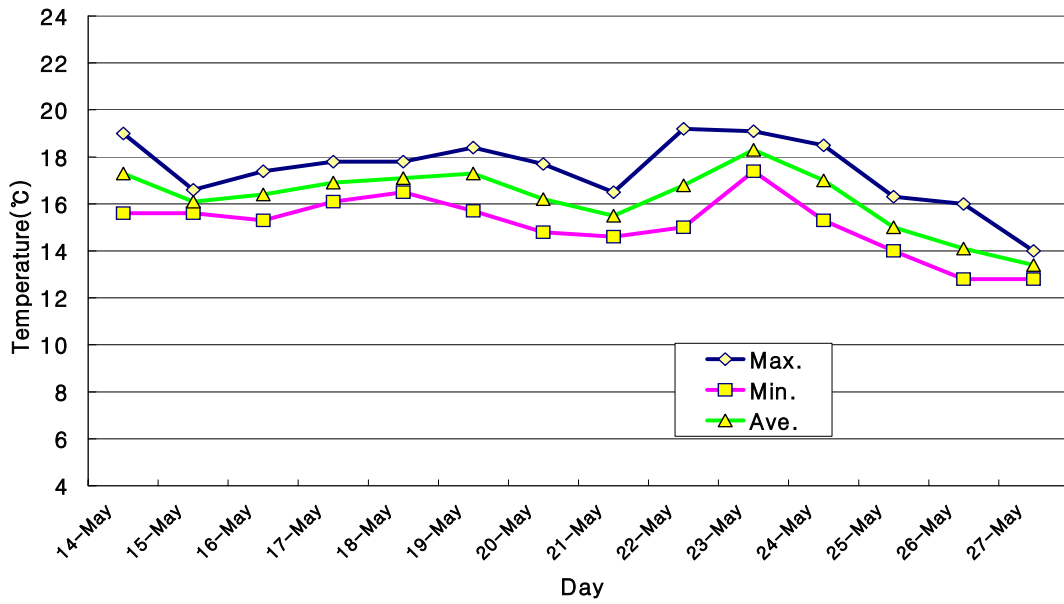
그리고 Fig. 2-26은 앞에서 예시한 기간 동안 재배사 내부의 대표온도로 생각할 수 있는 측점(No.3 ;제2단)의 최고, 최저 및 평균 온도를 시스템 **변경 전·후**에 대해서 나타낸 것이다. **변경 전**은 Fig. 2-16의 (a), (b) (c) 이고 **변경 후**는 Fig 2-26의 (d), (e), (f)이다. 이 때 재배기간별 최대 외기온은 각각 0.2~13.6℃, 16.4~27.8℃, 20.9~32.3℃, 3.0~12.6℃, 23.4~29.8℃ 및 25.9~36.0℃ 정도의 범위에 있었고, 최저 외기온은 각각 -15.0~-2.7℃, 5.1~13.4℃, 6.3~19.4℃, -13.8~5.6℃, 5.9~13.6℃ 및 15.4~21.9℃ 정도의 범위였다. 평균 외기온은 각각 -8.8~2.6℃, 14.5~19.0℃, 17.9~25.6℃ -5.5~1.4℃, 16.2~20.1℃, 및 21.2~27.6℃ 정도의 범위였다. 2년 동안의 기온이기 때문에 계절이 비슷한 기간인 (a), (d)와 (b), (e) 기간의 외기온 사이에 차이가 있음을 알 수 있다.

Fig. 2-26에서 **변경 전, 후**별로 최고 및 최저온도가 평균온도에 비해 각각 0.5~3.5℃ 및 0.7~3.9℃ 정도의 범위로서 **을 지역**의 1.0~6.0℃에 비하면 안정적인 것을 알 수 있다. 그리고 재배기간별로 최고, 최저 및 평균 온도간 차이도 일정하지 않고, 일정한 변화의 경향도 파악하기 어려운 것을 알 수 있다. 이것은 재배자가 일정하게 온도를 관리하는 것이 아니라 수시로 설정온도, 환기 타임을 변경시키고, 또한 공기유동도 잘 되지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 **변경 전·후**에도 분명한 차이를 볼 수 없었다. 그러나 온도를 냉방에만 의존하는 Fig. 2-26 (c), (f)의 경우가 상대적으로 온도의 변화경향 일정함을 알 수 있다. 이것은 냉방기가 실내공기의 유동에 기

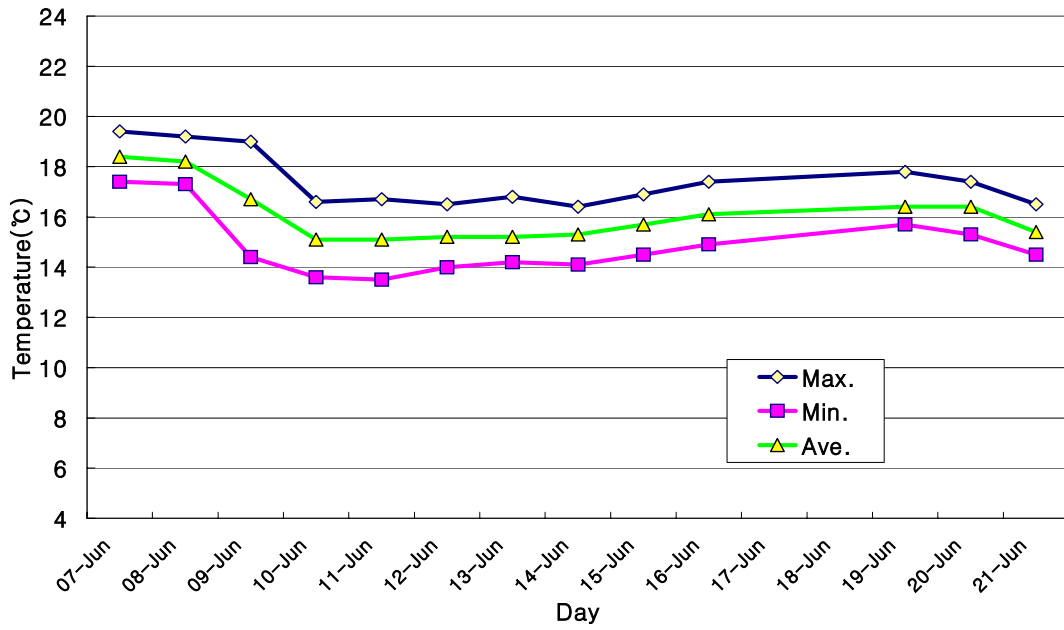
여하고 있는 것으로 판단된다.



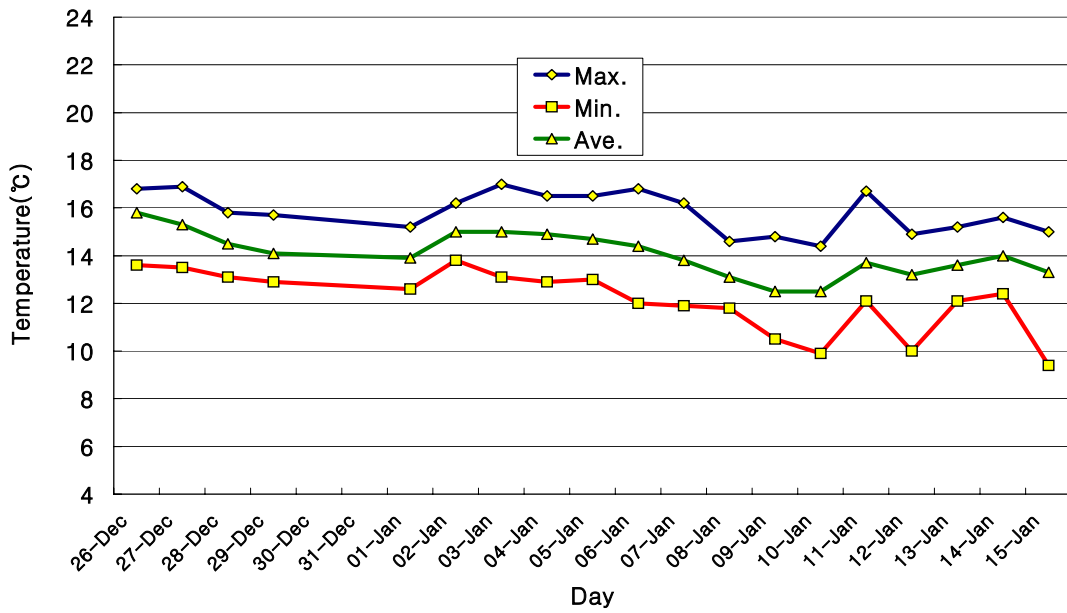
(a) 3rd cycle('04. 1. 21~2. 10; 난방)



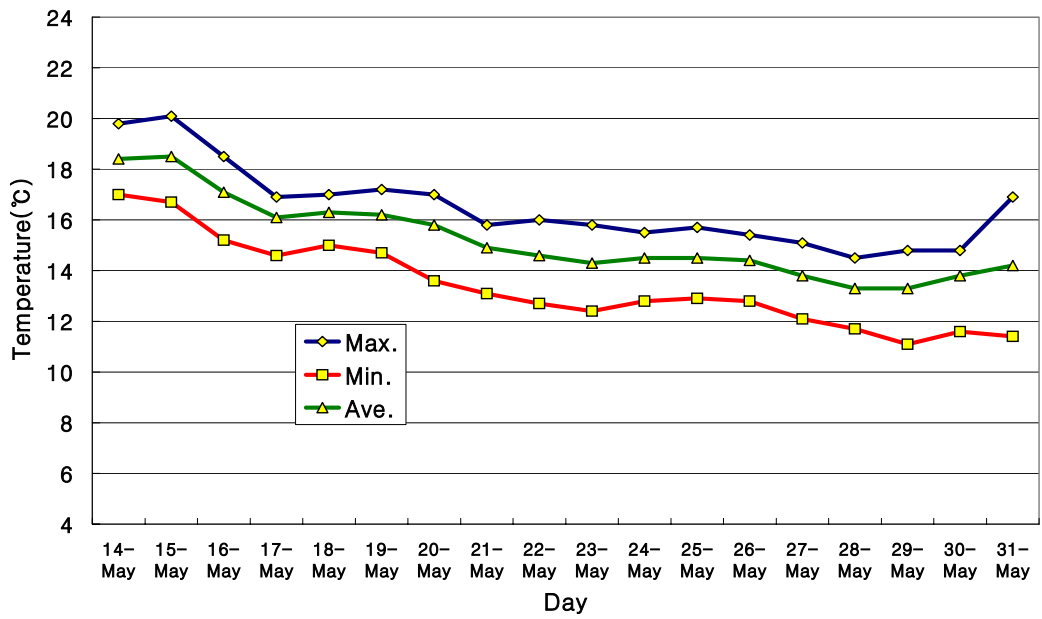
(b) 6th cycle(5. 11~5. 30; 냉, 난방)



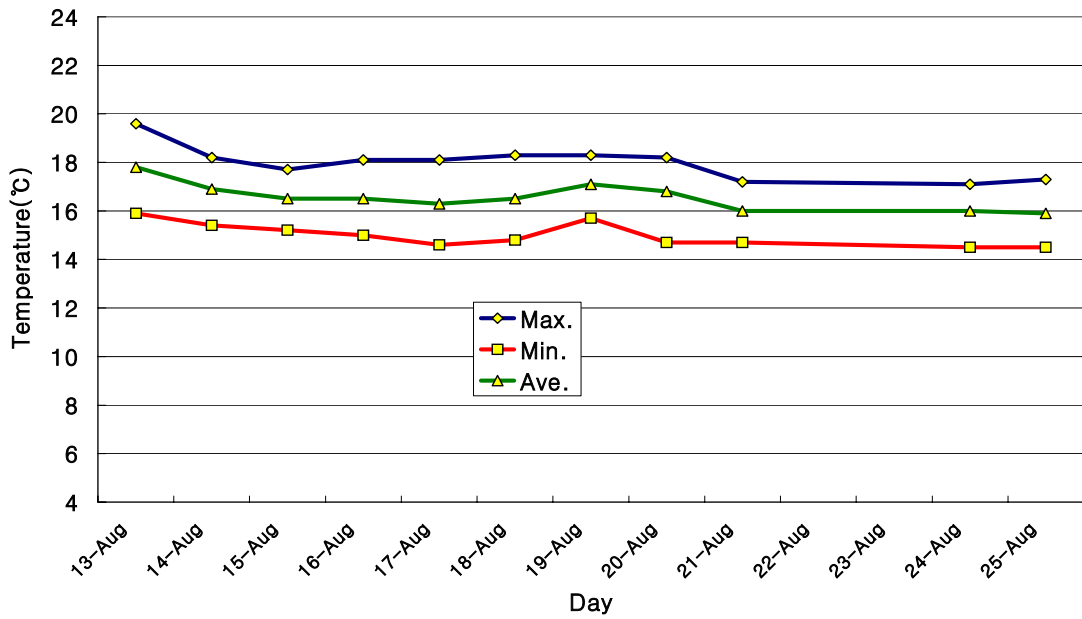
(c) 7th cycle(6. 6~6. 23; 냉방)



(d) 16th cycle('04. 12. 26~'05. 1. 15; 난방)



(e) 22nd cycle('05. 5. 14~5. 31; 냉 · 난방)



(f) 26th cycle('05. 8. 13~8. 25; 냉방)

Fig. 2-26. Variations of temperature in *Pleurotus eryngii* cultivation house.

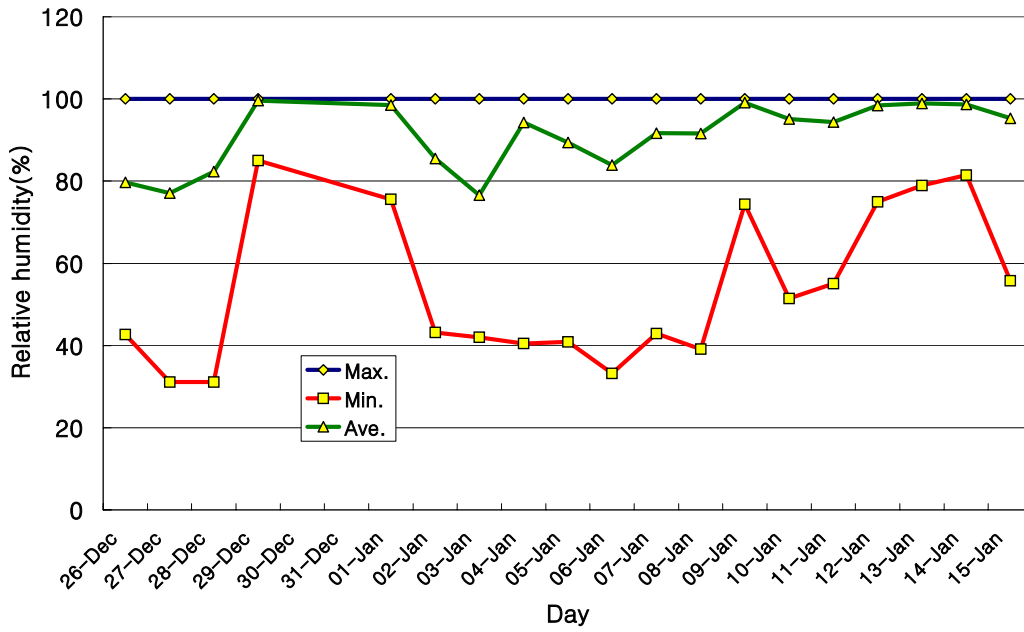
현재로서는 냉·난방기의 작동여부를 정확히 파악할 수 없기 때문에 정확히 판단하는데 무리가 있지만, 온도편차만이라도 다소나마 줄이기 위해서는 갑작스런 외기온의 변화에 적극적으로 대처하는 방법을 강구하여야 할 것 같다. 예를 들면, 동절기에 외기온이 급격히 내려가는 경우에는 환기팬의 작동을 가능한 범위에서 최대한 줄이고, 또한 이와 정반대인 경우에는 냉방기를 작동시키게 되면 어느 정도 해소할 수 있을 것으로 판단된다. 이렇기 위해서는 재배자의 감각이나 경험에 의존하여 냉·난방장치에 전원을 넣은 방법은 개선되어야 할 것으로 판단된다. 특히 계절이 바뀌는 시점에 계절변화에 따른 냉·난방기의 작동여부가 중요하므로 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다. 이 외에도 외기온이 급격히 변할 때, 경보장치가 작동하여 재배자에게 미리 알리는 방법 등을 들 수 있다.

나) 상대습도 및 탄산가스 농도

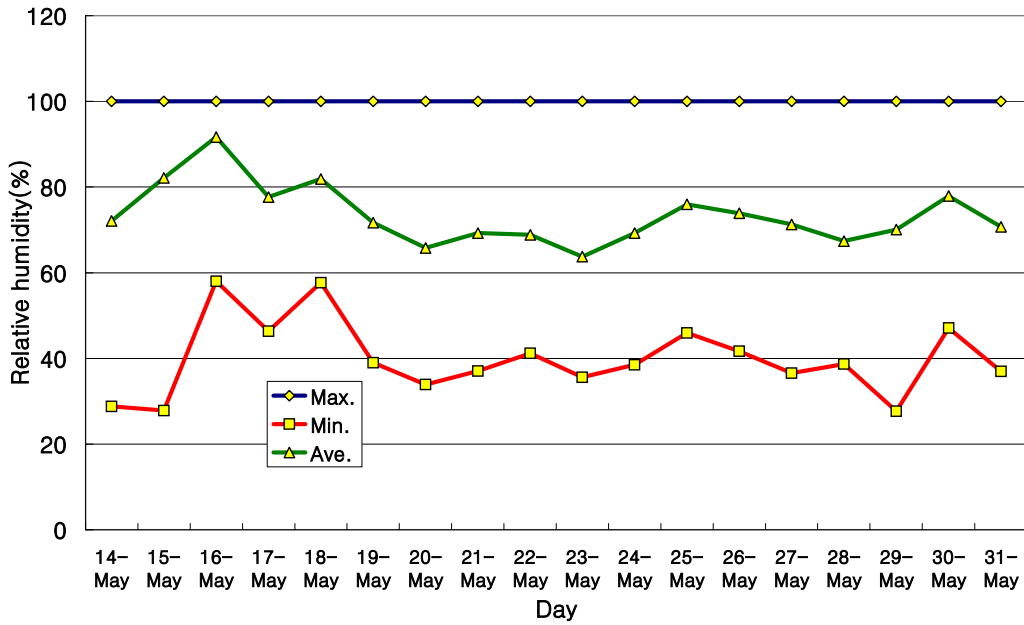
일반적으로 재배사내 상대습도는 연구자에 따라 제시하는 적정 상대습도가 차이를 보이고 있다. 지금까지 조사된 자료를 종합적으로 검토해보면, 발이기(입상 후 10일 전후)에 90~95%, 생육기에 80~85% 정도로서 생육기가 발이기보다 약간 낮게 관리하는 것으로 알려져 있다.

Fig. 2-27은 예시한 재배기간 동안 재배사 외부의 상대습도를 시스템 **변경 후**의 것만 나타낸 것이다. 시스템 **변경 전**의 경우는 습구 온도의 측정에 결측이 많았기 때문에 제외 했다. **Fig. 2-27**에서 알 수 있듯이 재배주기별로 최저상대습도는 각각 31.1~85.0%, 27.8~58.0% 및 46.7~53.4% 정도의 범위에 있고, 평균상대습도는 각각 77.1~99.6%, 63.8~91.7% 및 78.8~88.3% 정도의 범위에 있는 것을 알 수 있다.

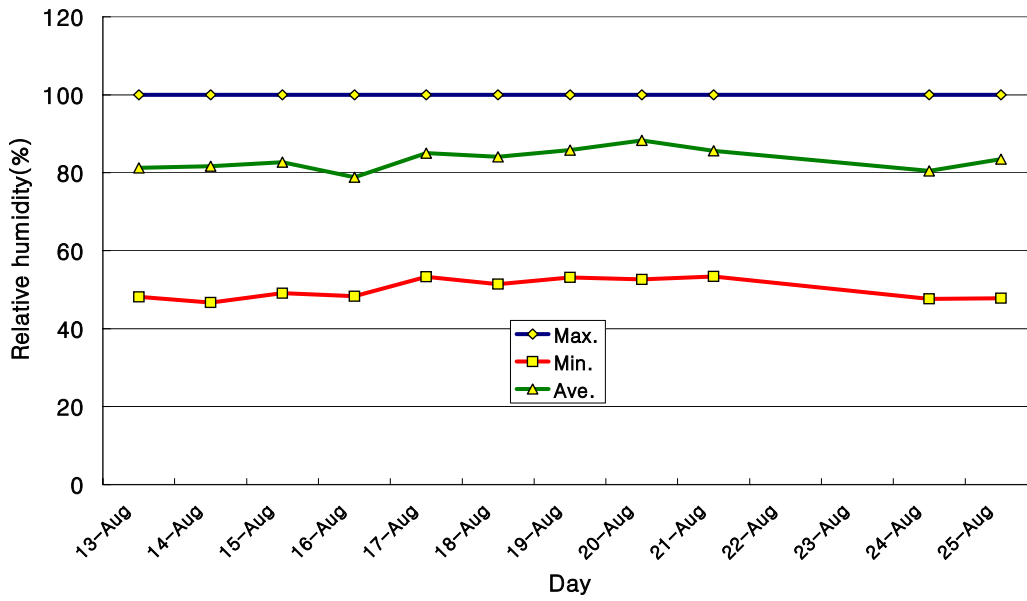
그리고 **Fig. 2-28**은 예시한 재배기간 동안 재배사 내부의 상대습도의 변화를 나타낸 것이다. 시스템 **변경 전**의 경우, 즉 **Fig. 2-28**의 (a), (b), (c)를 보면, 전체 재배기간 동안 상대습도는 약 44~100%정도의 범위로서 변화의 폭이 아주 큰 것으로 나타났다. 최소상대습도는 각각 64~88%, 45~90% 및 62~92%이고 평균상대습도는 각각 93~99%, 92~99% 및 98~100% 정도의 범위에 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 최저 상대습도가 권장 습도보다 낮게 유지되는 경향이 있는 것을 알 수 있다.



(a) 16th cycle('04. 12. 26~'05. 1. 15; 난방)

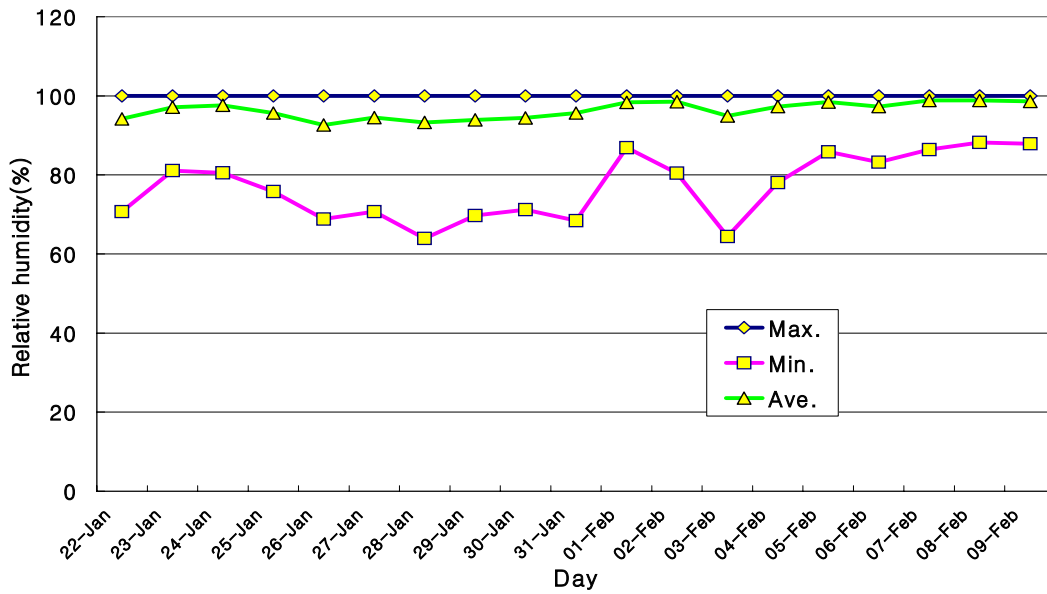


(b) 22nd cycle('05. 5. 14~5. 31; 냉 · 난방)

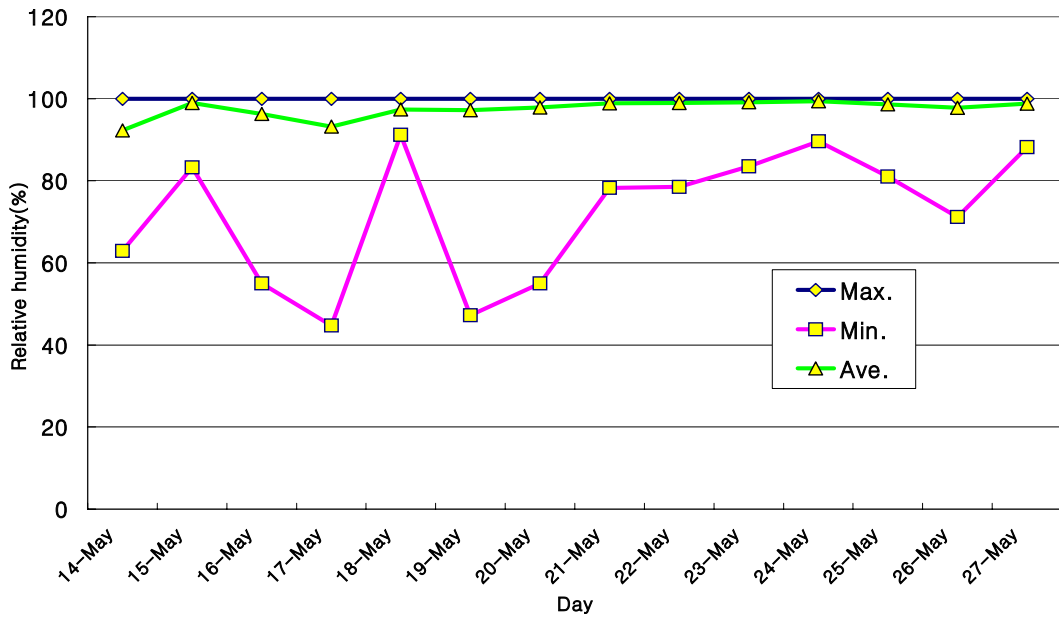


(c) 26th cycle('05. 8. 13~8. 25; 냉방)

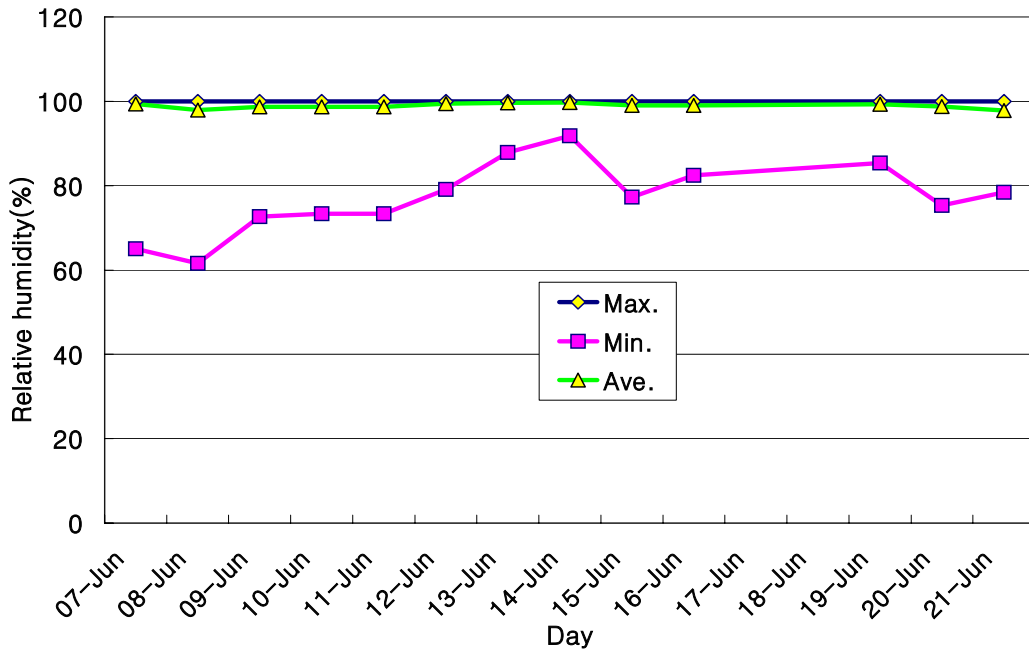
Fig. 2-27. Variations of outside relative humidity-before improvement.



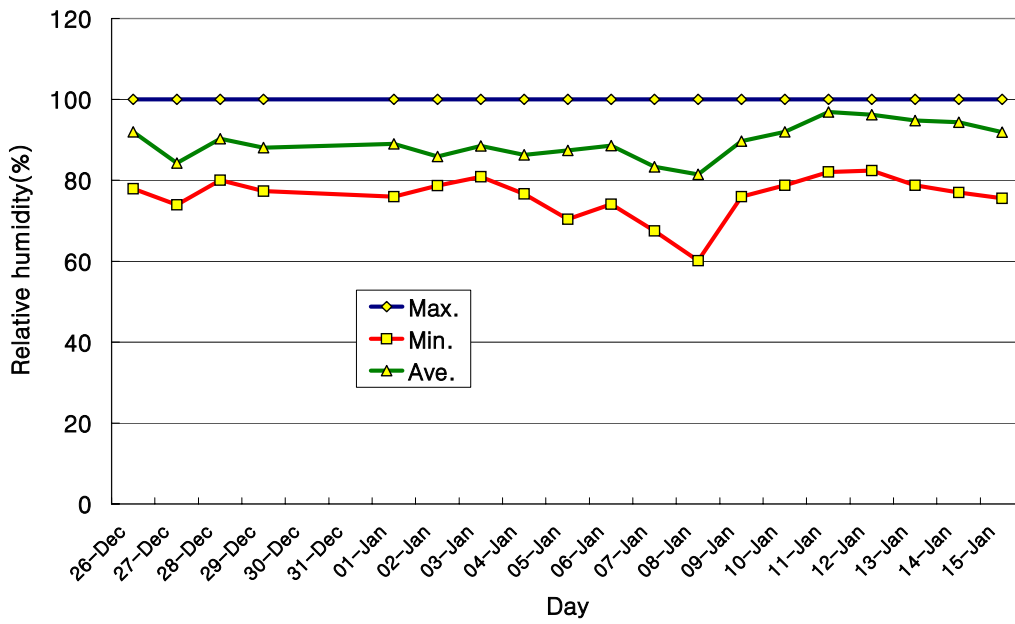
(a) 3rd cycle('03. 1. 21~2. 10; 난방)



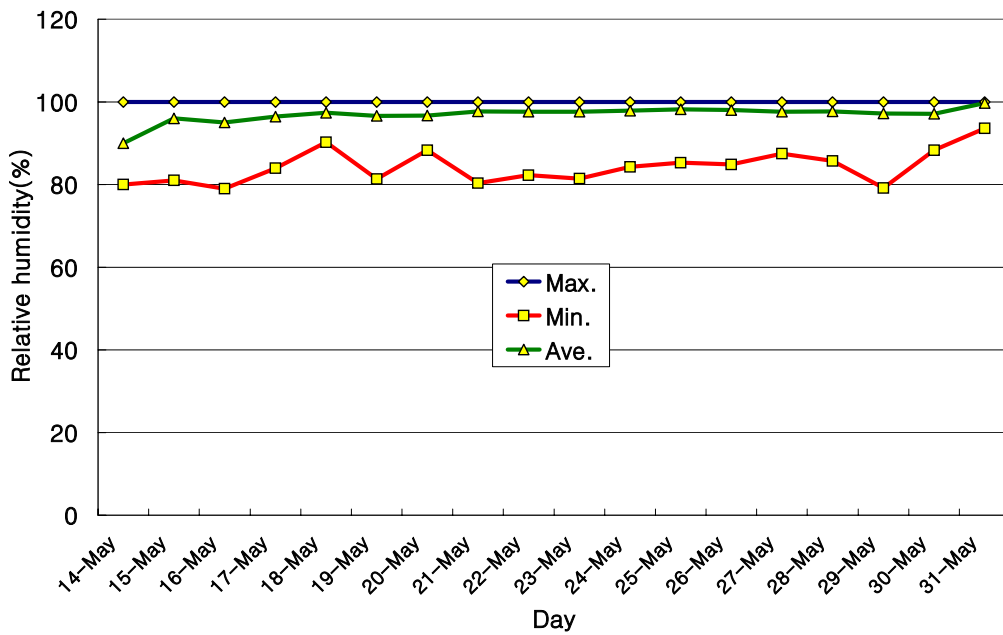
(b) 6th cycle(5. 11~5. 30; 냉, 난방)



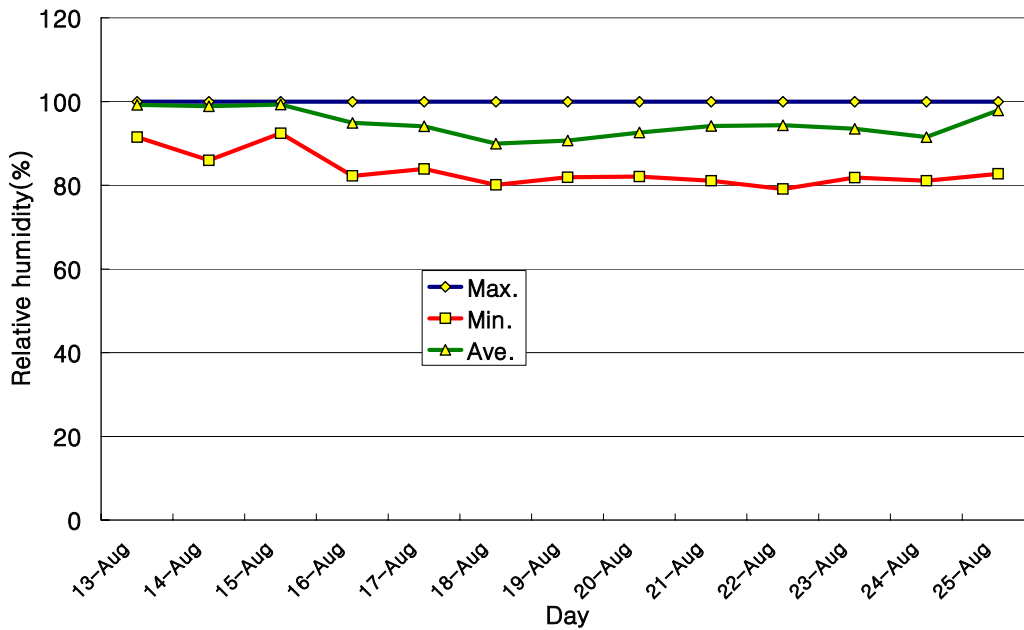
(c) 7th cycle(6. 6~6. 23; 냉방)



(d) 16th cycle('04. 12. 26~'05. 1. 15; 난방)



(e) 22nd cycle('05. 5. 14~5. 31; 냉 · 난방)



(f) 26th cycle('05. 8. 13~8. 25; 냉방)

Fig. 2-28. Variations of relative humidity *Pleurotus eryngii* cultivation house.

그러나 변경 후의 경우, 즉 Fig. 2-28의 (d), (e), (f)를 보면 동절기(Fig. 2-28의 (d))에 최소상대습도가 60~80%전후로 약간 건조한 경향이 있었지만, 이 경우를 제외하면 대체적으로 권장 상대습도 범위에 있음을 알 수 있다. 특히 변경 전·후 전체적으로 볼 때, 최소 상대습도가 큰 폭으로 변화하는 Fig. 2-28의 (b)를 제외하면 갑, 을 지역에 비해서는 상대적으로 안정적인 경향을 보이고 있다. 이와 같은 경향은 영구재배사는 간이재배사에 비해 상대적으로 틈새환기가 작기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 본 연구의 협동과제 연구결과에 의하면, 상대습도를 가능한 높게 유지하는 것이 버섯의 발이 및 생육에 유리한 것으로 나타났다. 특히, 재배기간 동안 입상 초기 7일 정도는 90%이상유지하고, 이후 5일은 85%정도, 그 이후에는 유통을 고려하여 80%정도 유지하는 것이 수확량, 품질 등에서 유리한 것으로 나타났다. 이것과 비교하면 Fig. 2-28의 (e), (f) 경우를 제외하면 전체적으로 상대습도가 낮게 유지되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2-29는 탄산가스의 농도의 시간적 변화와 재배일수에 따른 변화를 보기 위하여 재배기간 '05. 5. 14~'05. 5. 31일 중에 대략 발이초기(5월 15일), 발이후기(5월 25일) 및 생육후기(5월 29일)에 해당하는 것을 나타낸 것이다. Fig. 2-29에서 농도가 일정한 시간간격으로 변하고 있는 것은 환기팬의 작동에 의해 실내·외공기가 치환되기 때문이다. 이 재배사에서는 2년 동안 연속적으로 탄산가스를 측정하였다. 물론 몇 번의 시행착오와 계측기의 고장으로 인하여 몇 번 교환해가면서 측정하였다. Fig. 2-29에서 알 수 있듯이 입상 초기에는 대체로 낮게 유지되고 생육기에 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 본 연구의 협동과제 연구결과 입상초기에 800~1,000ppm 정도로 유지되는 것과 같은 경향을 보여주고 있다. 물론 환기회수나 입상 배지병의 수에 따라 이 값은 다를 수 있다.

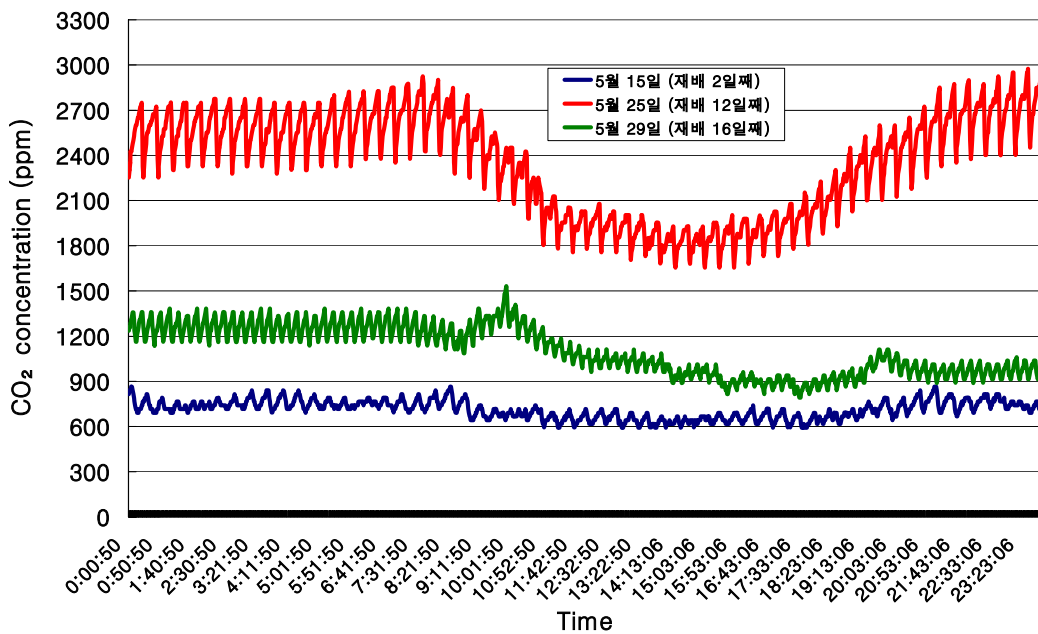


Fig. 2-29. Variations of CO₂ concentration in *Pleurotus eryngii* cultivation house('05. 5. 14~5. 31; 냉·난방).

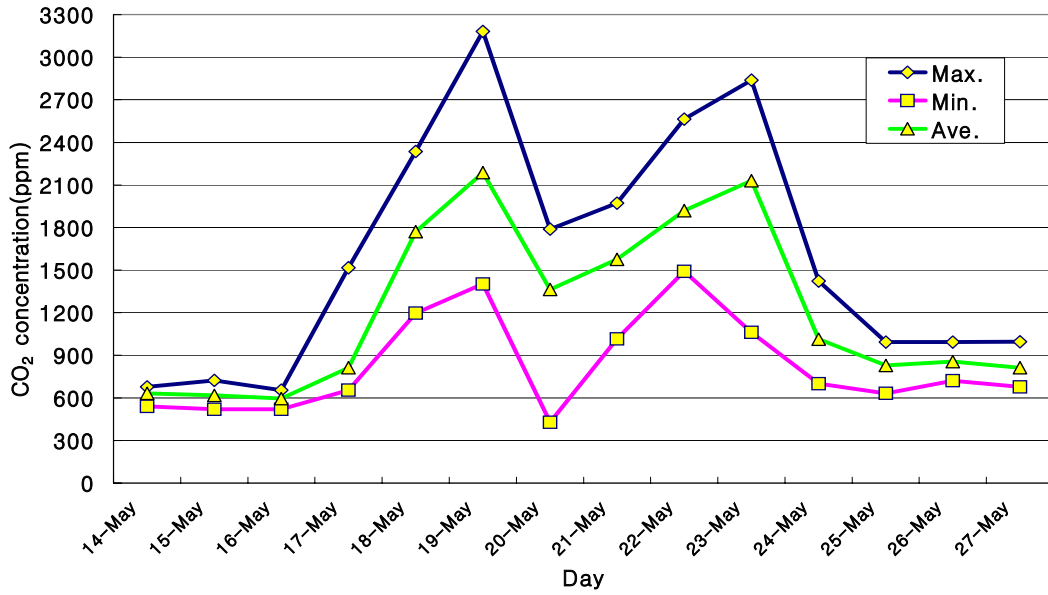
Fig. 2-30은 탄산가스 농도변화를 나타낸 것으로서 Fig. 2-29와 같이 1분 간격으로 측정된 결과를 1일 간격으로 일 최대, 최소 및 평균값으로 표시하였다. Fig. 2-30

에는 데이터 결손으로 인하여 시스템 **변경 전인** 3회째 재배기간의 것은 제외했다. 앞서도 기술하였듯이 일반적으로 탄산가스 농도는 발이기에 1,000ppm이하, 생육기에는 800ppm~2,000ppm이하가 적당하며, 2,000ppm이상이 되면 버섯의 갓이 작게 되고, 4,000ppm 이상이 되면 생육장해가 일어나는 것으로 알려져 있다. 그리고 공동연구 결과에 의하면, 배지병당 자실체를 한 개씩 재배하거나 포기재배에 관계없이 탄산가스 농도를 각각 1,600, 2,400 및 3,200ppm으로 설정한 후의 연구결과를 보면 발이, 수확량 및 품질은 2,400ppm에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 3,200ppm이상에서 가장 열등한 것으로 나타났다. 물론 입상초기에는 800~1,000ppm 정도였다

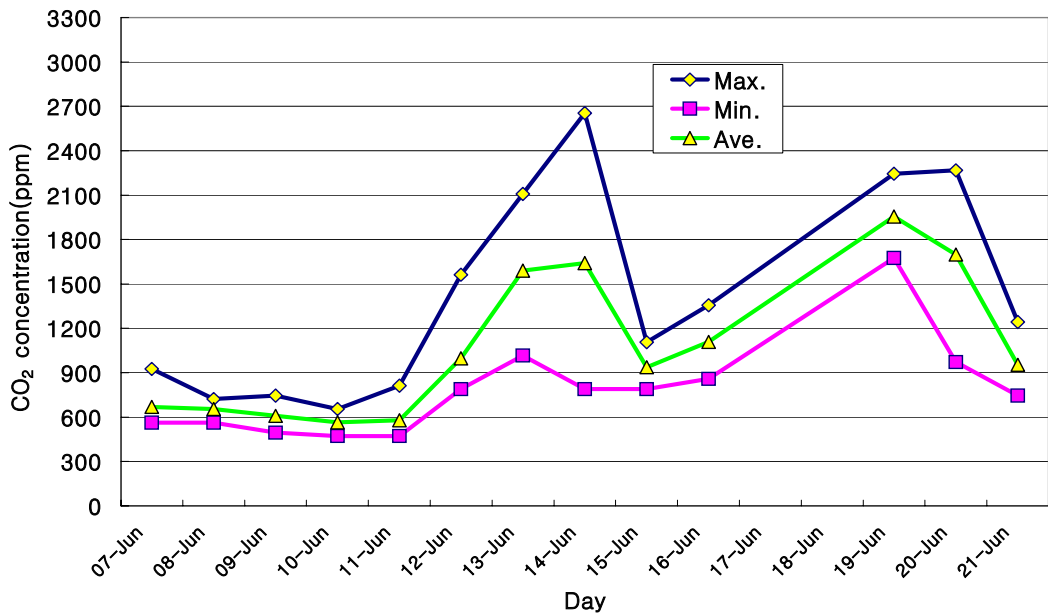
Fig. 2-30을 보면, 시스템을 **변경하기 전**에는 일반적으로 발이초기에는 1,000ppm 이하로 거의 일정하게 유지하고, 그 이후는 상대적으로 높게(발이후기, 1,000~3,200ppm)-낮게(생육초기, 400~1,800ppm)-높게(생육기, 900~2,800ppm)-낮게(생육후기, 600~1,000ppm) 유지하였다. 이 재배사의 경우, 입상 후 8일째 탄산가스 농도를 1,000~3,200ppm으로 높게 유지하는 것은 버섯의 발이과정 중에서 개체수를 조절하기 위해서이고, 그 후 다시 900~2,800ppm으로 높게 유지하는 것은 버섯의 형태를 조절하기 위함이다. 개체수를 조절하기 위해 탄산가스 농도를 높게 유지해야 한다는 자료는 가끔 볼 수 있었지만, 어느 정도의 농도로 유지해야 하는지는 전혀 알려져 있지 않는 실정이다. 또 이 재배사의 경우도 높게 관리하였지만, 버섯의 생육장해가 일어날 수 있다고 보고한 4,000ppm이상으로 관리하지는 않았다. 이러한 의미에서 본다면, 이 자료는 개체수를 조절하기 위한 CO₂ 농도의 개략적인 관리수준의 참고자료로 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 개체수를 조절할 때 CO₂ 뿐만 아니라 습도, 조도도 영향을 미치는 것으로 알려져 있지만, 여기에 대한 자료는 앞으로도 지속적으로 연구하여야 할 대상이다. 특히 개체수 조절에 대한 자료는 재배자들의 경험에 근거한 자료이기 때문에 이에 대한 검증도 앞으로 반드시 병행되어야 할 것으로 판단된다.

그리고 시스템 **변경 후**의 경우를 보면, 발이기초 및 생육후기에 1,000ppm 이하로 유지하는 것은 시스템 **변경 전**과 대체로 유사하지만, 그 이외의 기간에는 1,000ppm~3,300ppm 정도의 범위로 일정한 경향이 없음을 알 수 있다. 이 재배사의 경우, 특히 다른 지역에 비해 생육기에 CO₂ 농도를 높게 유지하는 것은 상품성을 고려하여 갓의 크기를 가능한 작게 만들기 위한 것으로 판단된다. 또한 시스템 **변경 후**에 1,000ppm 이상으로 유지하는 기간이 시스템 **변경 전**보다 상대적으로 긴 것은 배지병당 자실체

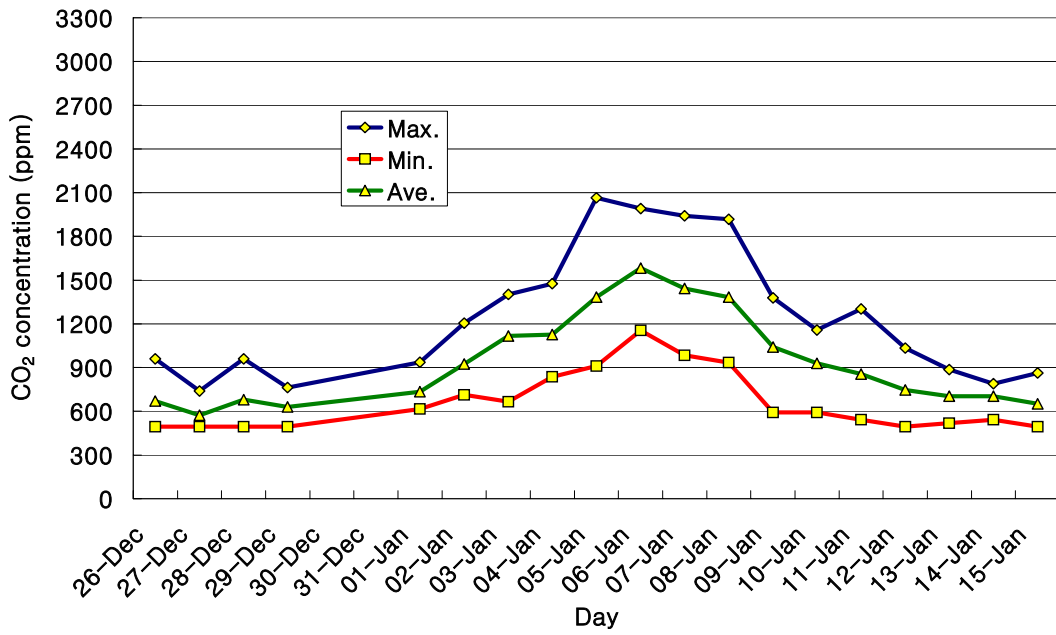
3~5개를 재배하는 포기재배에 유리하다고 판단했기 때문인 것으로 사료된다.



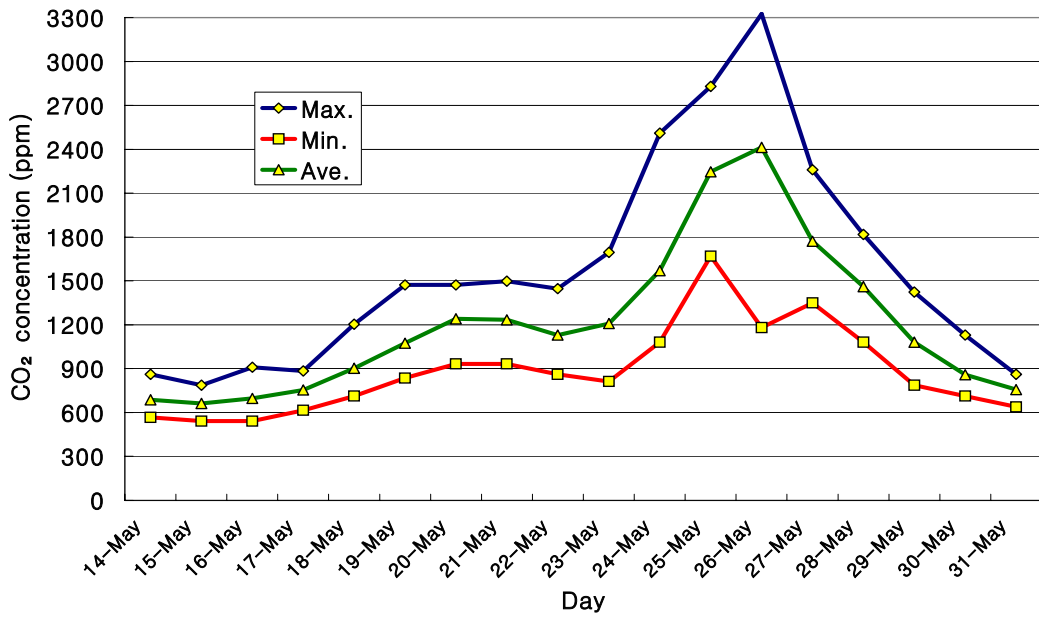
(a) 6th cycle('04. 5. 11~5. 30; 냉, 난방)



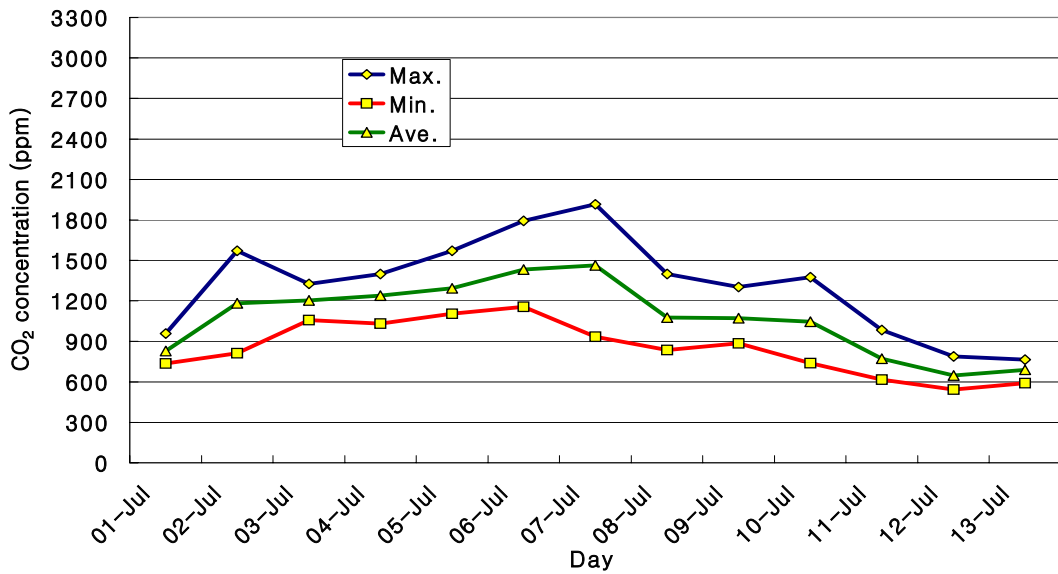
(b) 7th cycle(6. 6~6. 23; 냉방)



(c) 16th cycle('04. 12. 26~'05. 1. 15; 난방)



(d) 22nd cycle('05. 5. 14~5. 31; 냉 · 난방)



(e) 26th cycle('05. 8. 13~8. 25; 냉방)

Fig. 2-30. Variations of CO₂ concentration in *Pleurotus eryngii* cultivation house.

그러나 전체적으로 볼 때, 공동연구 결과 다소 높거나 또는 낮게 유지되는 경우도 있지만, 그러나 공동연구의 결과도 장기간 상업적 재배사에서 현장에 적용할 때, 그 실용성도 검증해야 할 것으로 판단된다. 어찌되었든 이 재배사의 경우는 **값, 을 지역**의 실험 재배사, 즉 600ppm에서 1,800ppm 정도까지 재배기간의 경과와 함께 서서히 증가시키는 농가 또는 밭이기에 는 외기정도인 350ppm 정도로 유지하고 생육기에는 400~900ppm 정도로 관리하는 농가와 는 완전히 다른 것을 볼 수 있다. 이것은 연구자들이 제시한 권장 상대습도 및 탄산가스 농도가 제각기 다르듯이 재배농가도 경험적으로 관리하고 있기 때문에 재배농가마다 다르다는 것을 보여 주는 일례이다.

이상에서 기술한 온도, 상대습도, CO₂ 농도 등 환경인자 관리수준의 경우, 연구자들이 제시한 자료가 각기 다를 뿐만 아니라 재배농가나 재배기간별로도 관리수준이 천차만별이다. 여기에 배지조성의 성분, 살균방법, 종균, 배지의 산도 및 습도, 재배사의 구조 및 형태, 재배지역 등 환경 인자를 지배하는 요인이 너무나 다양하다. 또 계측센서는 가격이 싸야하고 다습환경에 연속적으로 노출시킬 수 있어야 함은 물론 농가가

쉽게 다를 수 있어야 하나 현재로서는 이러한 센서를 구입하는데 한계가 따르는 것은 실정이다.

Fig. 2-31은 재배기간 동안 높이별(재배상 최하단, 중간 및 최상단)로 CO₂을 측정 한 결과로서 평균값으로 나타낸 것이다. 이 기간 동안 높이별 CO₂의 농도의 차이는 거의 나타나지 않았지만, 높이별 온도편차 만큼이나 탄산가스의 농도의 차이도 중요 하기 때문에 이에 대한 연구도 지속되어야 할 것으로 판단된다.

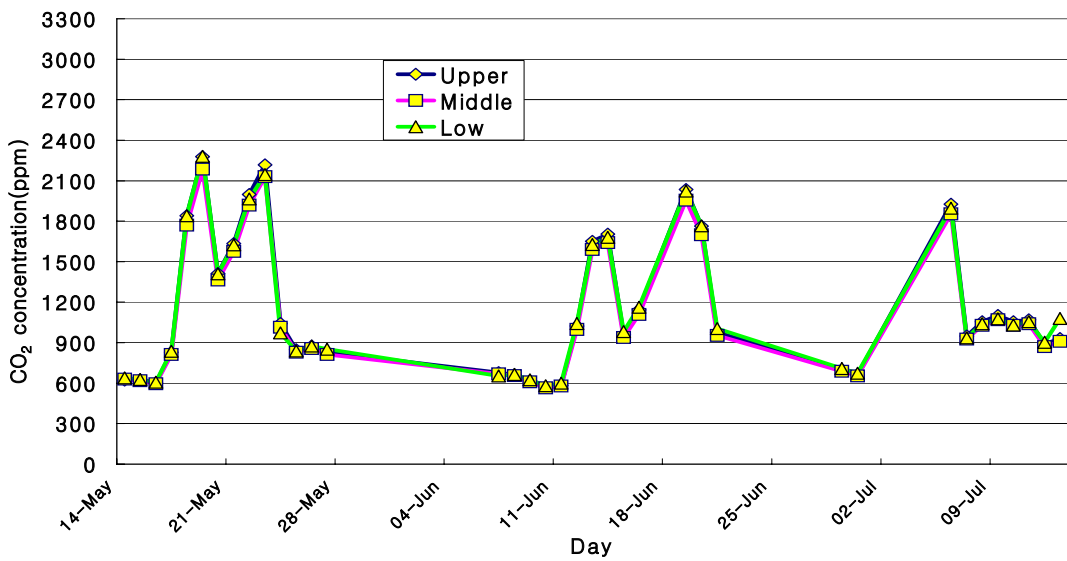


Fig. 2-31. Variations of CO₂ concentration by height in cultivation house.

다) 조도

Table 2-3은 재배사의 조도를 위치별로 나타낸 것이다. 전년도 두 지역 재배사의 경우는 재배사내의 양 측벽에 연하여 3 또는 4개씩의 백열등이 설치되어 있었다. 그러나 이 지역의 경우, 재배상 최상단의 중앙 직상부에 재배상에서 통로방향으로 약 0.4m 떨어지고 바닥에서 3.3m 높이에 5개씩 총 10개의 백열등이 설치되어 있었다. Table 2-3에서 측정점 A는 백열등 직하 지점이고, B는 백열등과 백열등 사이의 중간 지점이다. 그리고 단은 재배상의 층별을 나타낸 것이고, 폭 방향 위치는 동일 높이의

재배상에서 측벽 쪽, 재배상의 중간 및 중앙통로 쪽으로 구분하여 좌, 중 및 우로 하였다. 조도 측정은 각각의 위치에서 배지병의 직상부에서 실시하였다.

조도는 위치에 따라 최소 3lx부터 최대 65lx까지 분포가 다양하고, 권장조도 100~200lx보다는 상당히 낮게 유지되고 있음을 알 수 있다. 그리고 전년도 두 지역보다 백열전등의 개수가 많음에도 불구하고 값, 을 지역의 7~160lx 와 31~69lx 보다도 더 낮게 유지되고 있음을 알 수 있다.

Table 2-3. Distributions of illuminance in cultivation house. (unit : lx)

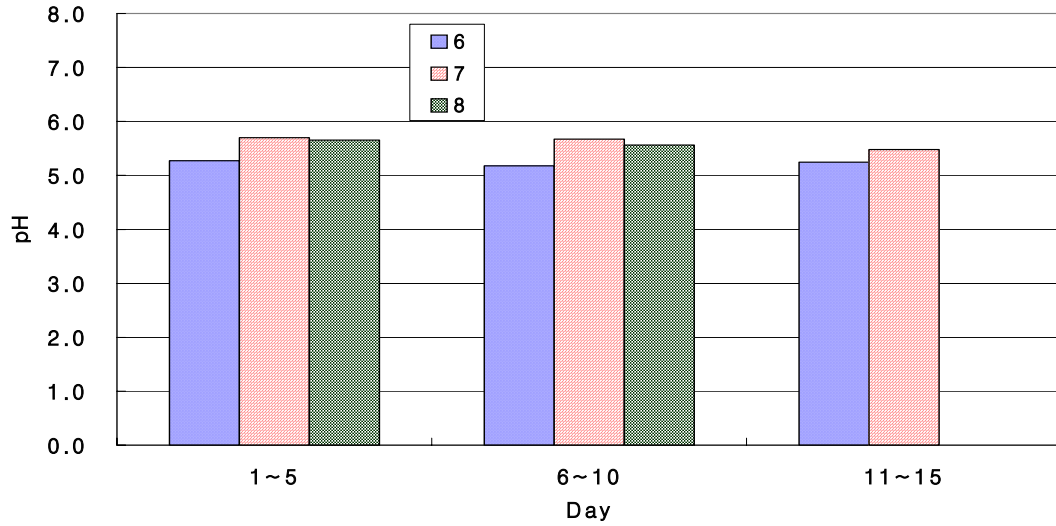
Measuring points	1 st			2 nd			3 rd		
	Bed Rocation Horizontal positions								
	left	mid.	right	left	mid.	right	left	mid.	right
A	9	3	15	10	9	15	42	55	65
B	5	5	17	7	7	19	20	25	29

라) 배지의 산도

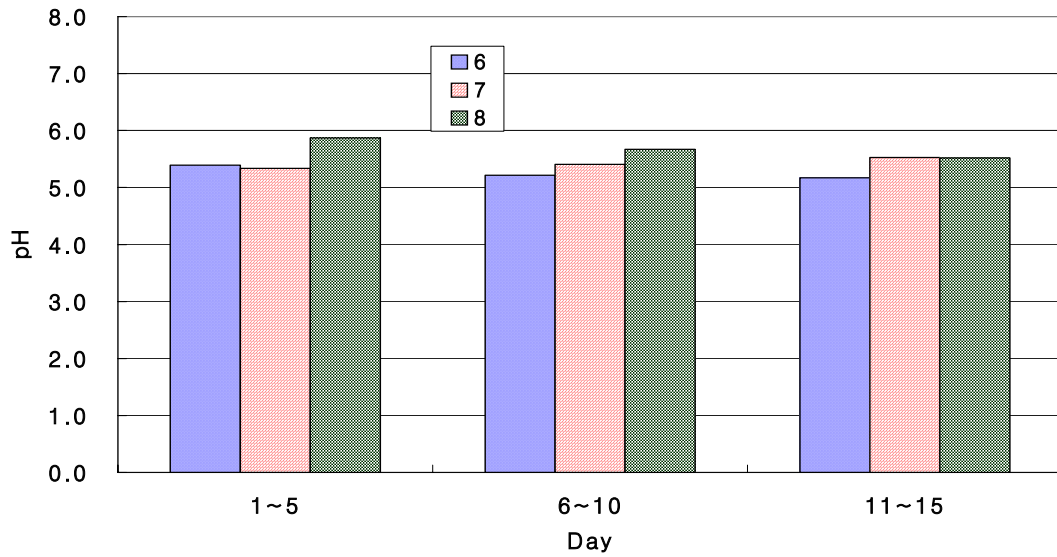
새송이버섯의 경우, 배재의 pH는 6.0~6.5 정도가 적당하고 pH 4.0이하와 8.0이상에서는 자실체의 원기가 형성되기 어려운 것으로 알려져 있다. 어떤 연구자는 톱밥재배의 경우, pH가 5.5~6.0 정도라고 하였다. 그리고 팽이버섯이나 버들송이는 배양이 진행되면서 pH가 증가하고, 표고버섯은 감소하는 경향이 있는 것과는 달리 새송이버섯은 거의 변화가 없는 것으로 알려져 있다. 본 과제에서는 배지 입상 후부터 폐상 할 때까지 pH의 변화를 측정하였다. Fig. 2-32는 그 결과를 나타낸 것이다. 5회 반복으로 측정한 값을 평균한 것으로서 발이전·후기와 생육기로 구별하여 표시한 것이고, 표에 표시된 숫자는 재배주기를 나타낸 것이다.

배지의 산도는 5.0~6.0 사이로 재배기간 동안 큰 변화가 없었고, 단지 권장 pH 5.

5~6.5 보다는 약간 낮은 경향이 있다. 앞으로 측정 결과를 재확인하고 또 배양과정에서 산도가 중요한 것으로 알려져 있기 때문에 이 과정에서의 산도의 변화도 연구되어야 할 것으로 판단된다.



(a) cultivation house-A



(b) cultivation house-B

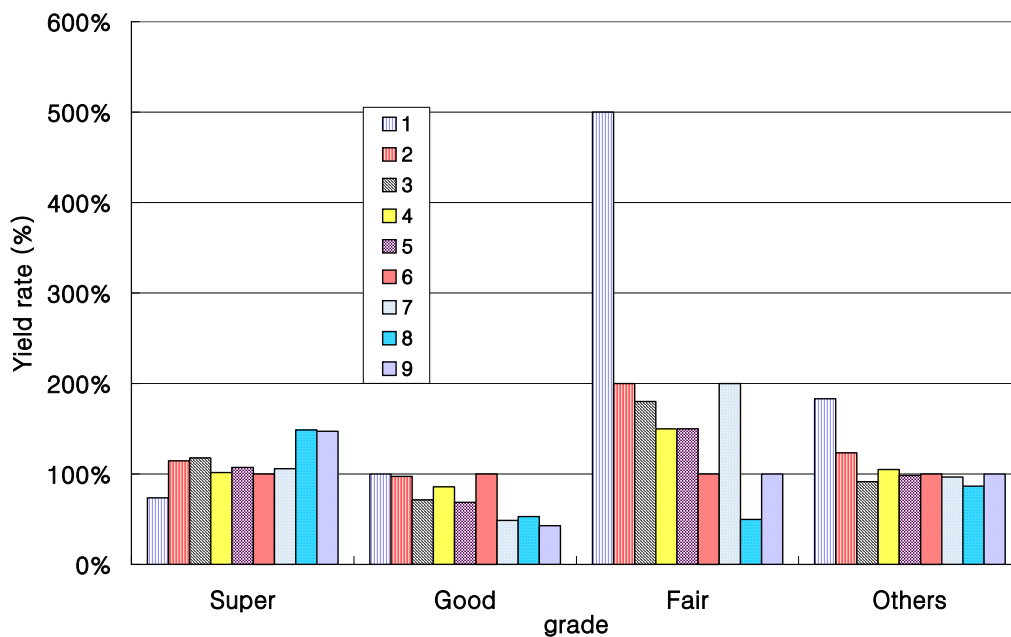
Fig. 2-32. Variations of pH in *Pleurotus eryngii* medium.

마) 재배기간별 수확비율

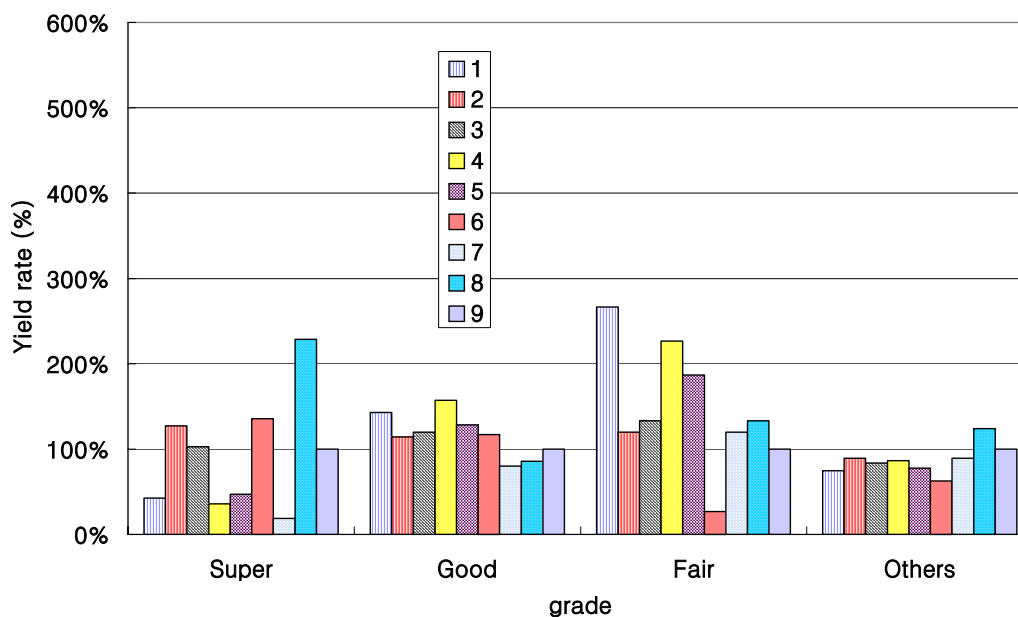
Fig. 2-33, Fig. 2-34 및 Fig. 2-35는 실험대상 재배사 두 동(A, B-동)을 대상으로 전체 28(14회/년·동)회 재배기간 동안 버섯의 수확비율을 특상, 상, 중 및 등의 품으로 구분하여 나타낸 것이다. 이들 그림은 대상 재배기간 동안의 총 수확량 중에서 평균수확량 정도에 해당하는 재배기간의 수확량을 기준으로 나타낸 것이다. Fig. 2-33과 Fig. 2-34는 각각 배지병 당 버섯 1개씩을 재배한 경우(배지병 1,100cc 사용)와 포기재배한 경우(배지병 1,300cc 사용)의 수확량 비율을 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 2-35는 포기재배시 생산된 버섯으로 재배기간 동안 포기로서 상품가치가 떨어질 것으로 판단된 것은 숙기작업을 한 후, 배지병 당 하나씩 재배한 것과 포기재배에서 등의품으로 분류되거나 포장할 때에 발생된 된 수확량 비율을 나타낸 것이다. 그림에서 A, B-동 공히 재배주기 10~13주기의 생산량이 표시되어 있지 않은 것은 재배자가 포기재배로 전환을 시도하는 과정이었기 때문에 재배방법을 명확히 구분할 수 없었을 뿐만 아니라 B-동의 경우 생산량 자체가 다른 주기에 비해 지극히 적었기 때문이다. 또한 이 자료는 재배자가 제공한 자료이기 때문에 실제와는 다소 차이가 있을 수 있다. 포기재배이전에는 배지병을 동당 10,000개를 임상하였지만, 포기재배시는 9,000개로 재배주기에 관계없이 동일하다. 포기재배시 배지를 1,300cc로 한 것은 1,100cc정도의 용량에서 포기재배를 할 경우, 포기당 500g 버섯을 재배하기가 불가능한 것으로 판단했기 때문이다. 참고로 문헌을 보면, 일본의 경우는 배지 850cc에서 포기당 120~130g 정도를 수확할 수 있다고 하였다. 이 재배사의 경우, 포기재배로 전환한 가장 큰 이유는 숙기작업에 소요되는 노동 인력을 구할 수 없었기 때문이다.

그리고 이 재배사에서 생산된 버섯은 포기당 500g과 350g이지만, 핵가족화와 소비자의 다양한 구매 심리를 고려한다면 포기당 중량을 좀 더 다양화할 필요가 있을 것으로 판단되며, 또한 막연히 1,300cc를 사용할 것이 아니라 배지의 크기별 적정 생산량 규모에 대한 연구도 지속되어야 할 것으로 사료된다.

이 재배사의 경우, 28회 재배주기 중 기술하였던 각동 공히 4회 재배주기를 제외(이하의 검토에서도 제외)한 버섯의 총 생산량은 재배방법이나 배지의 크기에 관계없이 A, B-동에서 각각 4,3460kg 및 41,239kg로서 두 재배사간 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

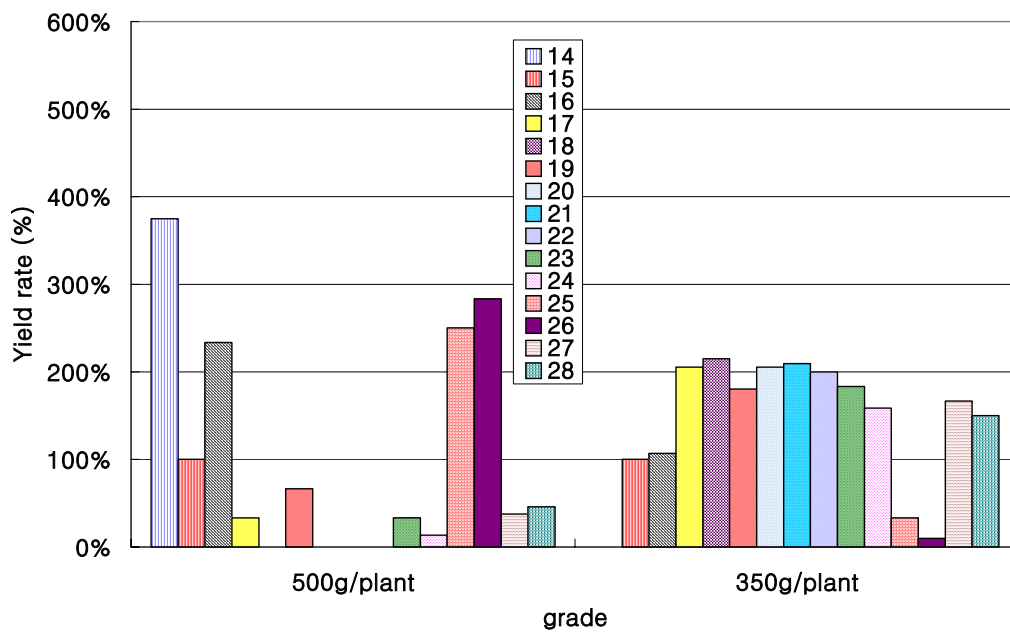


(a) cultivation house-A(1th~9th cycle ; '03. 11. 27~'04. 8. 4)

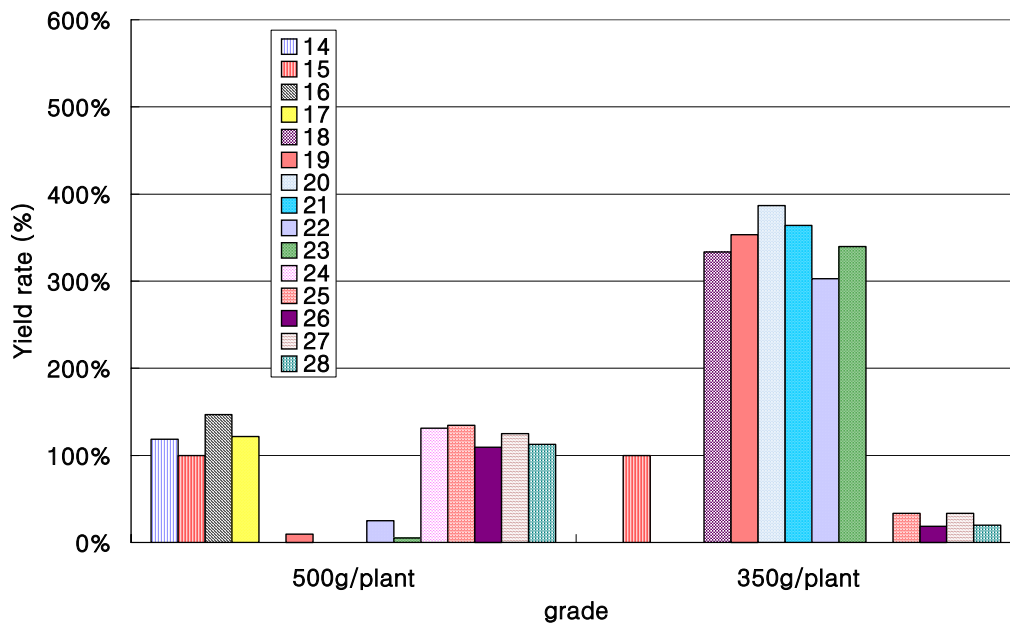


(b) cultivation house-B(1th~9th cycle ; '03. 11. 4~'04. 7. 22)

Fig. 2-33. Periodical yields of *Pleurotus eryngii* from 10,000 bottles.

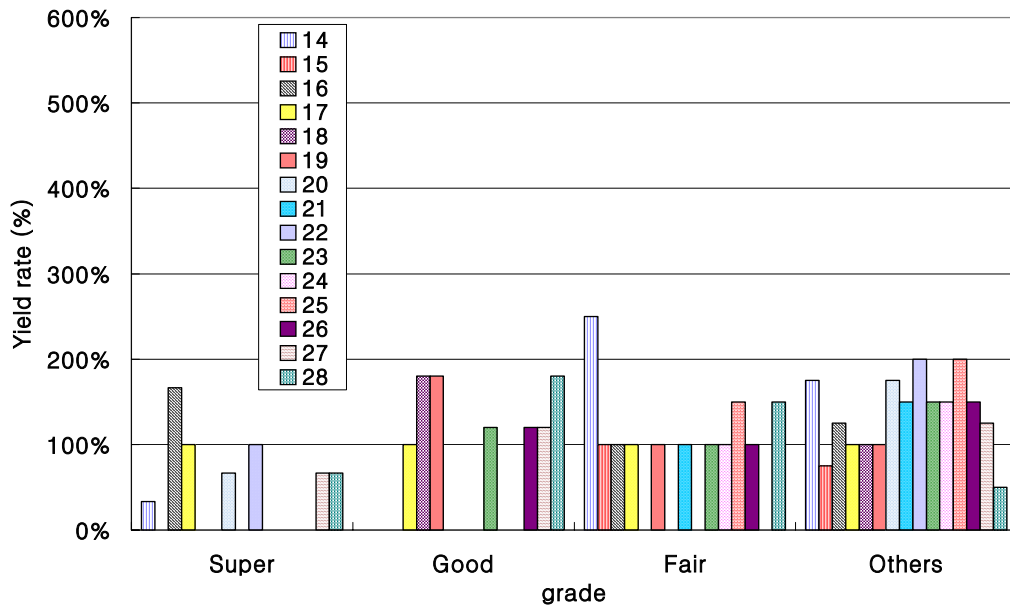


(a) cultivation house-A(14th~28th cycle ; '04. 11. 10~'05. 10. 22)

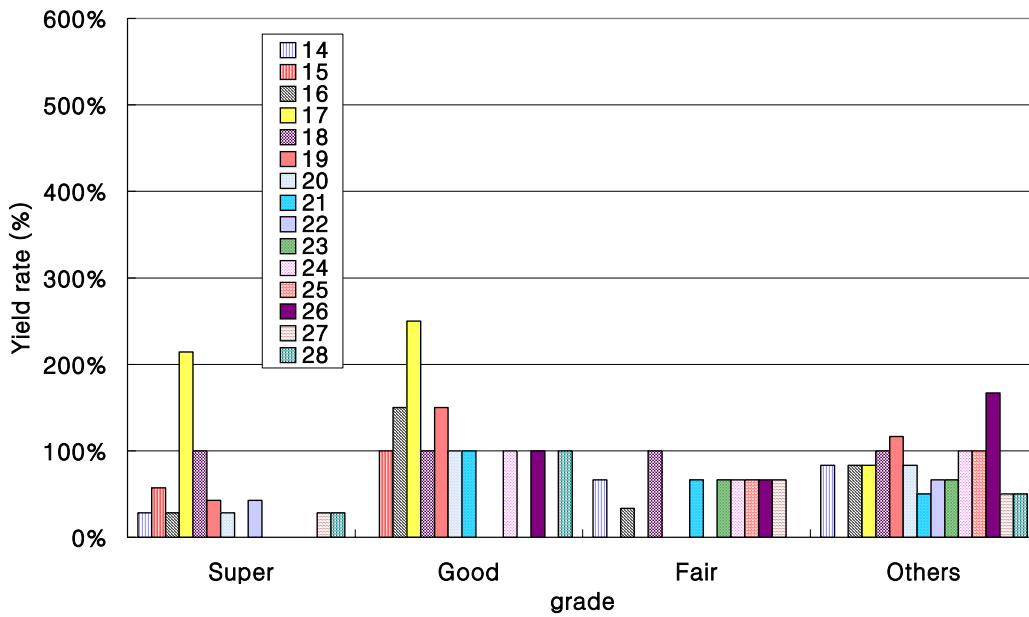


(b) cultivation house-B(14th~28th cycle ; '04. 11. 10~'05. 10. 22)

Fig. 2-34. Periodical yields of *Pleurotus eryngii* from 9,000 bottles.



(a) cultivation house-A(14th~28th cycle ; '04. 11. 10~'05. 10. 22)



(b) cultivation house-B(14th~28th cycle ; '04. 11. 10~'05. 10. 22)

Fig. 2-35. Periodical yields of *Pleurotus eryngii* from 9,000 bottles.

수확량은 재배기간, 재배동 및 재배방법에 관계없이 일정하지 않음을 알 수 있다. 그리고 재배방법에 따른 등외품이 차지하는 비율을 보면, 한 개씩 재배할 때 등외품이 재배사별(A, B-동)로 각각 27~39% 및 23~50%정도이고 평균적으로 30%내외로서 상대적으로 등외품이 차지하는 비율이 높고, B-동에서는 50%정도를 차지하는 경우도 있음을 알 수 있다. 물론 B-동의 경우, 등외품이 50%인 재배주기는 생산량도 재배주기별 평균치의 약 63%정도 밖에 되지 않고, 또 재배주기 동안(19일) 정전으로 인하여 10일정도 실측자료가 없는 점, 외기온이 높은 시기('04. 6. 21~7. 2)인 점을 고려하여 이 재배주기를 제외하면, B-동의 등외품은 23~36% 정도의 범위에 있어 두 재배 동 간에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 갑, 을 지역의 등외품 생산량은 각각 9.0~16.0% 및 26~63%이었던 것과 비교하면, 한 개 지역보다는 다소 적으나 다른 한 개 지역보다는 많은 것으로 나타났다. 그러나 가능한 한 등외품을 줄이는 것이 고품질 버섯생산으로 가는 길이기 때문에 이 부분에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다. 버섯의 품질측면에서 보면, 특상 및 상이 총생산량 가운데 동별로 각각 약 43~71% 및 34~74%정도를 차지하였지만, 다른 한 지역의 경우가 34~74% 정도였던 것과 비교하면 고품질 버섯이 차지하는 생산비율은 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 일반적인 생산량의 등급별 경향을 보면, 특상, 상과 중 및 등외품이 차지하는 비중을 평균적으로 각각 약 60%, 10% 및 30% 전후인 것을 알 수 있었다.

그러나 포기재배의 경우는 재배사에 관계없이 등외품이 3%이내였다. 포기재배의 경우는 숙기작업이 거의 없기 때문에 등외품의 비율이 낮은 것으로 판단된다. 그러나 재배사별로 포기당 500g 으로 생산된 비율이 각각 23% 및 58%로 A, B-동 간에도 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 환경조건이 외에 모든 조건이 유사함 점으로 미루어 볼 때, 환경조건의 차이 때문인 것으로 판단된다.

그리고 재배방법에 의한 생산량의 차이는 배지의 크기가 다르기 때문에 직접비교하는 것은 무리가 있다. 그러나 동일한 재배공간과 주기별 비슷한 재배기간을 갖고 있는 점을 고려해서 비교해 보면, 1,100cc에 재배한 경우 A-동은 재배주기별 평균 1,280kg, B-동은 1,170kg 정도이다. 1,300cc에 재배한 경우 A-동은 재배주기별 평균 1,780kg, B-동은 2,080kg 정도로서 포기배한 경우가 각각 28% 및 44%정도 증수 효과가 있는 것으로 나타났다. 포기 재배한 경우에는 Fig. 2-35에 나타난 생산량도 포함된다.

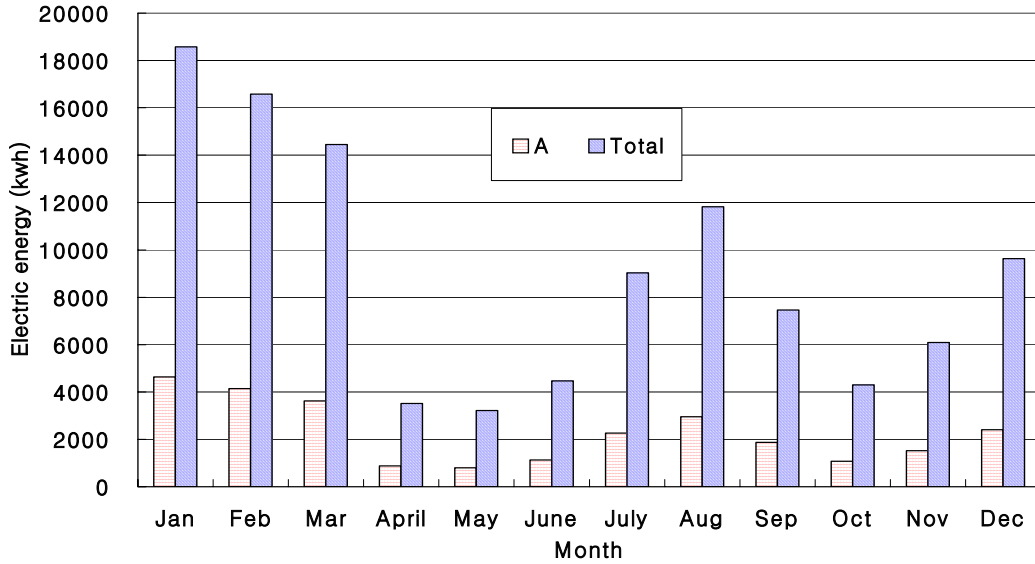
따라서 포기재배를 할 경우, 노동력 절감, 등외품 감소 및 생산량 증가라는 측면에서 보면 유리한 것으로 판단할 수 있다. 물론 배지병의 가격은 3년 전의 경우, 850cc 용이 평균공급자에 따라 300~350원 정도의 범위였으며 현재는 1,300cc용이 이 정도의 가격이면 구입할 수 있는 것으로 조사되었다. 또한 재재사별로 각각 병당 생산량을 보면, 1,100cc에 재배한 경우는 각각 약 117~168g 및 102~175g 정도로 나타났다. 이것은 **갑, 을 지역**의 생산량 67~85g 및 54~102g과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 그리고 1,300cc의 경우는 각각 207~288g 및 215~270g 정도로 재배주기별로 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

생산량을 지배하는 환경인자는 온도, 습도, 탄산가스 농도, 조도, 배지의 조성도, 종균 등 다양하지만 동일한 배지조건이고 적당한 온·습도에서 버섯이 발이 되었다면, 생산량에 직접적인 영향을 미치는 것은 온도조절인 것으로 판단할 수 있다. 협동연구 결과에 의하면, 적정온도는 15℃이고, 변온할 경우는 17~15℃로 3단계 조절이 15℃로 일정하게 유지하는 것 보다 버섯의 품질이나 수확량이 우수한 것으로 나타났다.

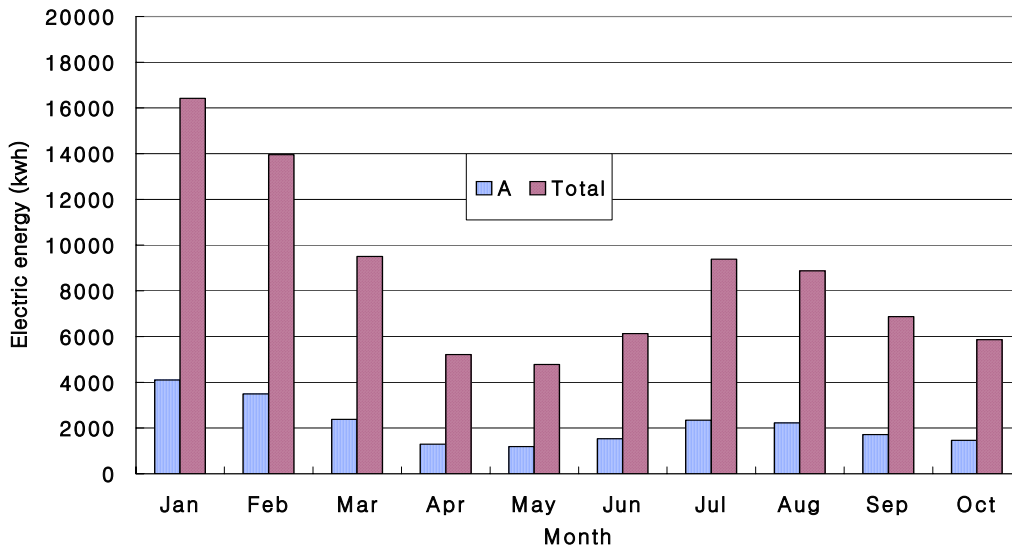
사) 소비전력량

Fig. 2-36은 재배사의 월별 소비전력을 **A-동**에 대해 약 2년 동안에 대해 나타낸 것으로서 **A-동**의 소비전력은 재배사가 4개동인 점을 고려하여 총 소비전력을 4로 나눈 값이다. 전체 소비전력에는 작업장 및 저온저장고 등의 소비전력도 포함되어 있다. 소비전력은 재배시기에 따라 차이가 있음을 알 수 있지만, 년도에 관계없이 적력사용량의 경향은 비슷한 것을 알 수 있다. 일반적으로 4~6 및 10월의 소비전력이 비교적 적은 것은 냉·난방기의 사용이 비교적 적었기 때문이다. 그리고 하절기보다 동절기에 전력소비량이 많은 것을 확인 할 수 있다. 전체 소비전력을 년도별로 각각 약 109,100 kWh 및 87,030kWh 정도이다. 물론 '05년도는 11~12월의 데이터가 포함되지 않았지만, 이때의 소비전력을 '04년도와 동일하다고 보면, '05년도의 총 소비전력량은 102,740kWh 정도로서 '04년도에 비해 약 6,000kWh 정도 감소하는 것이다. **Fig. 2-36**을 보면, 한겨울·여름에 상대적으로 '04년도의 소비전력이 많고, 봄·가을에는 '05년도의 소비전력이 많은 것으로 나타났다. 이점을 감안하면 '05년도의 전력량이 감소할 것으로 판단할 수 있다. 물론 외기온과 재배사 내부의 설정온도에 따라 소비 전력량

은 달라지겠지만, 재배자가 연중 계절별로 설정하는 온도가 유사할 것으로 판단되기 때문에 전력량의 감소의 원인은 난방방법을 변경에 기인한 것으로 판단할 수 있다.



(a) 2004 year



(b) 2005 year

Fig. 2-36. Consumption electric energy of A-house.

2. 히트펌프에 의한 에너지 절감효과 검토

최근 유가 상승으로 인하여 시설농업의 에너지 부담이 크게 증가되고 있다. 버섯 재배사의 경우도 동절기에는 난방비를 줄이기 위해 생육온도를 최대한 낮게 설정하거나 하절기에는 지하수를 이용하는 등 에너지 비용 절감에 대한 관심이 대단히 높다. 따라서 시설버섯농업을 대내·외적으로 경쟁력 있는 산업으로 육성하기 위해서는 무엇보다도 에너지 부담률을 줄여야 한다.

이상과 같은 문제 때문에 최근 다방면에서 태양열, 지열, 폐열 및 지하수 등의 자연 열원을 이용한 대체에너지에 대한 연구도 다수 수행되고 있는 실정이다. 더욱이 선진 외국에서는 공업용 및 산업용으로 주로 사용되고 있는 히트펌프를 농업시설물에 적용한 사례를 종종 볼 수 있다. 그러나 국내에서는 이러한 히트펌프를 이용한 버섯재배 시설에 적용하기 위한 연구결과는 거의 전무한 실정이며, 공업용 및 산업용 히트펌프의 보급도 미미한 실정이다.

따라서 본 과제에서는 지하수(겨울철)와 공기(여름철)를 열원으로 하는 히트펌프를 새송이버섯 재배사에 적용할 경우, 냉·난방 에너지를 절감효과 검토하였다. 단 여기에 인용하는 자료는 온실의 냉·난방을 위하여 본 연구자들이 온실을 대상으로 실험하였던 것이다. 우선 버섯 재배자들의 이해를 돕기 위하여 히트펌프에 대해 간단하게 기술하고 실험의 개요도 기술하였다.

가. 히트펌프 원리

열역학 제2법칙에 의하면 「열은 스스로 저온의 물체로부터 고온의 물체로 이동할 수가 없다」라고 되어 있다. 이것은 바꾸어 말하면 「외부에서 일을 가하면 열을 저온의 물체로부터 고온의 물체로 이동시킬 수 있다」라고 할 수 있다. 이러한 원리를 기초로 움직이는 장치가 히트펌프(열펌프)이다. 열펌프는 **Fig. 2-37**과 같이 저온의 물체로부터 열을 흡수하여 온도가 높은 고온의 열로 이용하는 것이다. 이것은 낮은 수위의 물을 높은 수위까지 이동시키는 것과 같기 때문에 히트펌프라고 하는 것이다. 이러한 히트펌프는 원리적으로 냉동기와 같으나, 냉동기가 냉동사이클 중 증발기에서의 흡열작용만을 이용하는 반면, 히트펌프는 방열작용을 주로 이용하는 것이다.

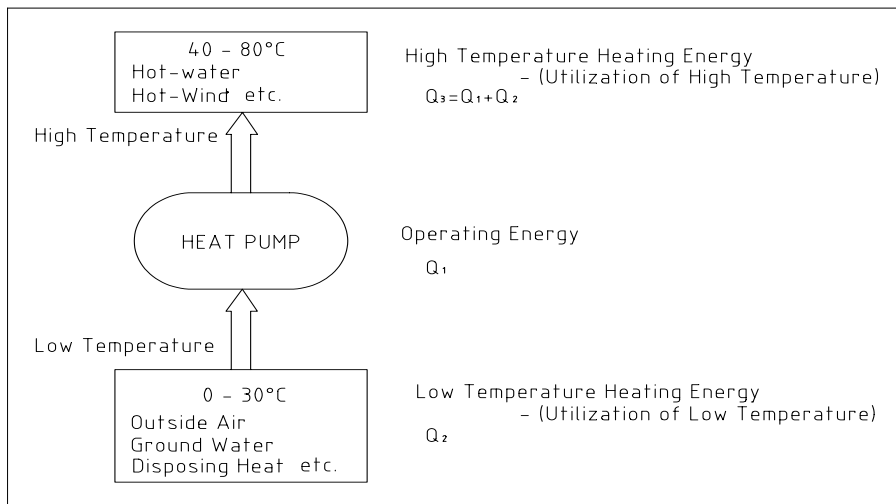
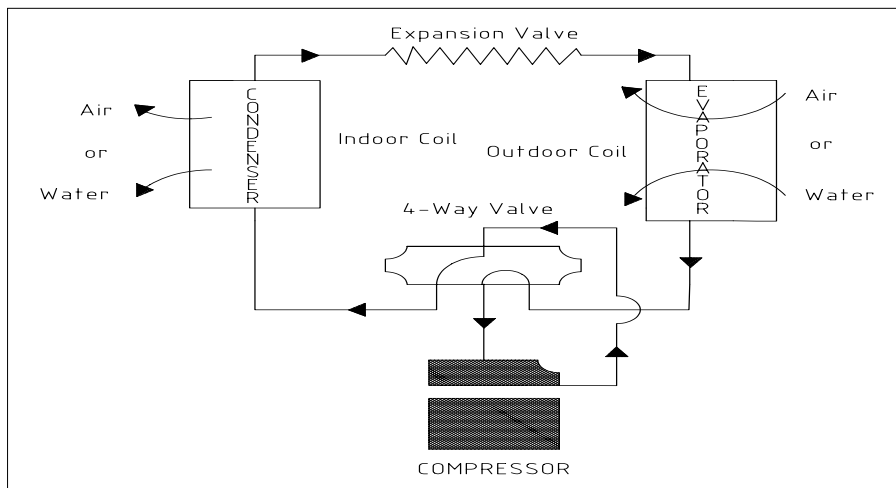
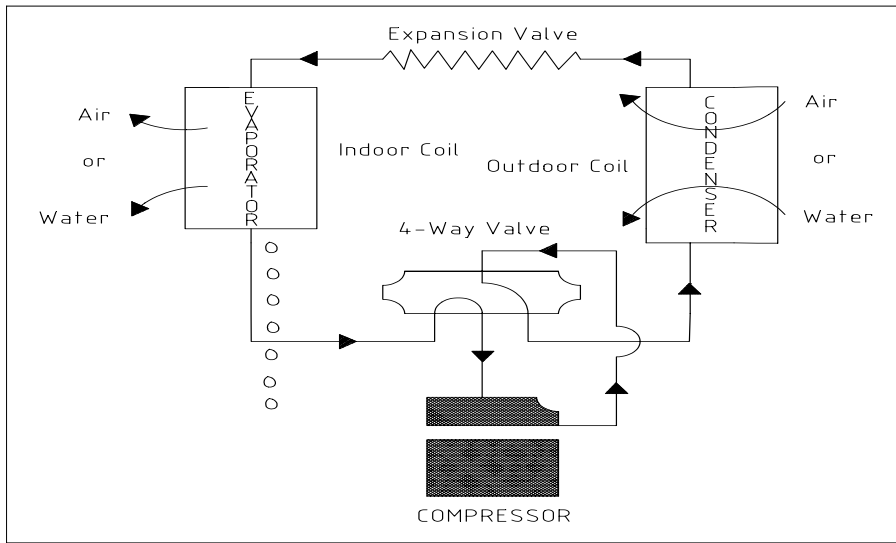


Fig. 2-37. Model of heat pump

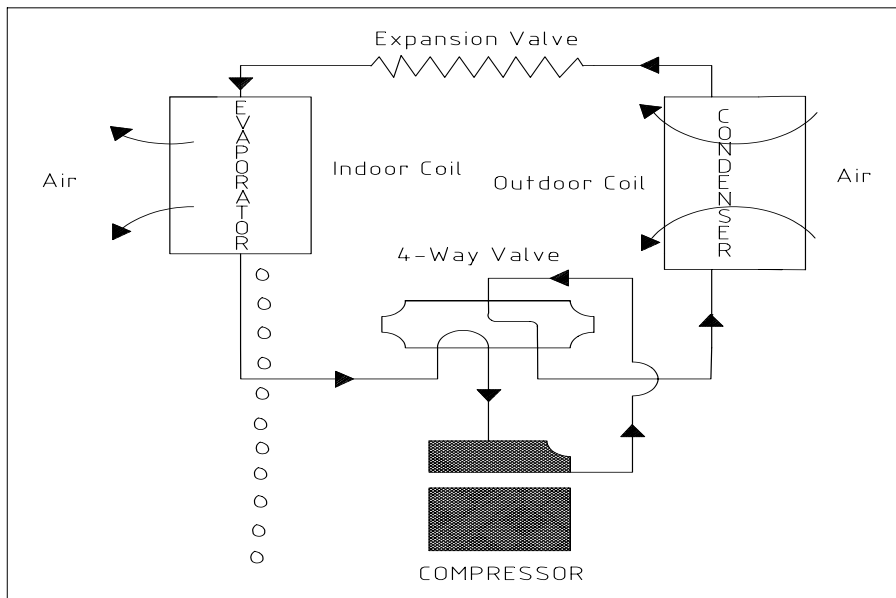
히트펌프의 주요 구성기기는 압축기, 증발기, 응축기 및 팽창밸브이고, 구성도는 Fig. 2-38과 같다.



(a) heating



(b) cooling



(c) dehumidifying

Fig. 2-38. Composition unit of heat pump.

Fig-38에서 증발기는 열을 흡수하고, 압축기는 열을 방열한다. 즉, 증발기 주변에 있는 저온의 열원(외기, 지하수 등)로부터 열을 흡수한 후, 응축기가 열을 방출하게 된다. 일반적으로 증발기에서 응축기로 열을 운반하는 매개체는 냉매로 사용되고 있는 프레온 가스이다. 이 냉매는 상온에서 기체이지만, 높은 압력을 받으면 액체로 변한다. 증발기에서 열을 흡수하면 냉매는 기화해서 기체로 된다. 즉, 냉매가 증발하여 기체로 되는 곳이 증발기이다. 이 가스는 압축기에서 압축되어 고압으로 된 후, 응축기로 보내어 진다. 응축기에서 열을 방출하면 냉매는 액화한다. 즉, 냉매가 응축하여 액체로 되는 곳이 응축기이다. 이 액체상의 냉매가 팽창밸브를 통과할 때 단열 팽창하여 저온저압의 액체로 되어 증발기로 되 돌아온다. 이상에서 기술한 것과 같이 냉매는 압축기 및 팽창밸브의 작동에 의하여 열을 증발기에서 응축기로 이동시킨다.

4-way 밸브는 냉매의 흐름방향을 바꾸어 주는 역할을 하는 것이다. 즉, 이 밸브의 변환에 의해 열 교환 기능만 가지고 있는 증발기를 응축기로 또는 응축기를 증발기로 변환시킬 수 있다.

Fig. 2-38의 (a)와 같이 난방을 할 때는 실내 측의 열교환기를 응축기로 이용하고, 실외 측의 열교환기를 증발기로 이용한다. 그리고 **Fig. 2-38의 (b)**와 같이 냉방을 할 경우는 4-way 밸브를 조작하여 실내 측의 열교환기를 증발기로 이용하고, 실외 측의 열교환기를 응축기로 이용한다.

냉장고나 냉동기의 구성 기기도 **Fig. 2-38**에 표시한 것과 동일하다. 단, 난방전용 혹은 냉방전용의 것은 **Fig. 2-38**에 표시한 4-way 밸브가 없다. 냉장고는 증발기가 냉장고 내에 있고 응축기가 외부에 있다. 즉 증발기의 흡열작용을 주로 이용한 것이 냉장고, 냉동기 및 에어컨 등이고, 역으로 응축기의 방열작용을 주로 이용한 것이 히트펌프 난방기이다. 4-way 밸브로 냉매의 흐름방향을 바꿀 수 있는 것이 냉·난방겸용 히트펌프이다. 참고적으로 냉동기, 냉장기 및 에어컨의 차이는 압축기의 압축용량으로 구별된다.

일반적으로, 히트펌프를 이용하여 냉방할 때는 증발기의 열교환기 표면이 저온(공기의 노점온도 이하)으로 되기 때문에 공기속에 포함되어 있는 수증기가 증발기 표면에서 응결한다. 따라서 냉방은 제습작용을 동반한다. 히트펌프를 이용한 제습원리는 **Fig. 2-38의 (c)**와 같다.

나. 시스템의 구성 예

히트펌프는 열원의 종류, 축열조의 사용 유무, 압축기 가동 방식, 사용목적에 따라 그 시스템을 다양하게 구성할 수 있다. 버섯 재배사에서도 재배자의 요구에 따라 다양하게 그 시스템을 구성할 수 있다.

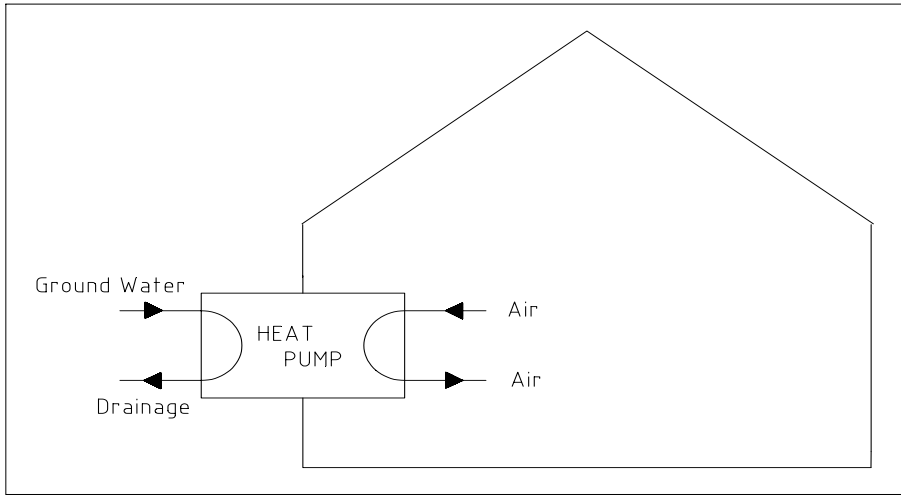
1) 지하수를 열원으로 하는 시스템

Fig. 2-39는 지하수를 열원으로 하는 시스템 구성 예를 나타낸 것이다. **Fig. 2-39**는 지하수를 열원으로 하는 시스템 구성 예를 나타낸 것이다. **Fig. 2-39**의 (a), (b)는 축열조가 없는 경우이고, (c)는 축열조가 있는 경우 이다. (a), (b)의 경우보다 (c)의 경우가 히트펌프의 용량을 작게 할 수 있지만, 히트펌프의 가동시간은 길다. (d)의 경우는 지하수를 풍부하게 이용할 수 있는 지역에서 가능한 냉방시스템이고, 성능은 (a) (b) (c)의 경우보다 높다.

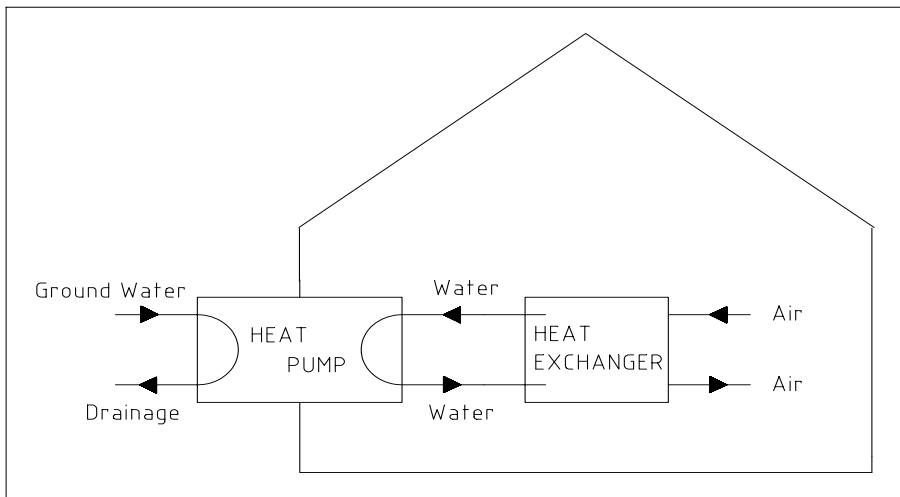
2) 외기를 열원으로 하는 시스템

Fig. 2-40은 외기를 열원으로 하는 시스템의 구성예를 나타낸 것이다. **Fig. 2-40** (a)~(c)는 **Fig. 2-39**의 (a)~(c)에 각각 대응하는 것으로, 열원이 물이나 공기이냐에 따른 차이점 밖에 없다.

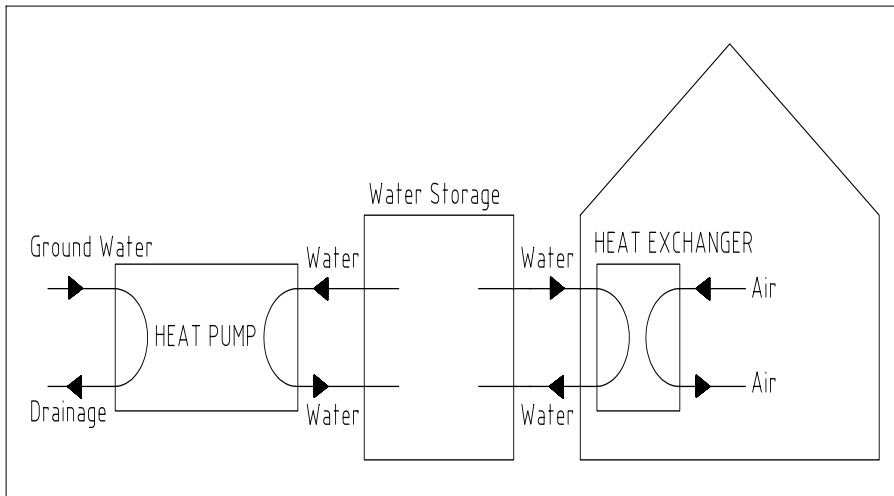
외기를 열원으로 하는 공기-공기방식 히트펌프는 주로 냉방전용 시스템 또는 최저 외기온이 그다지 낮지 않은 지역의 냉·난방 시스템으로 이용된다.



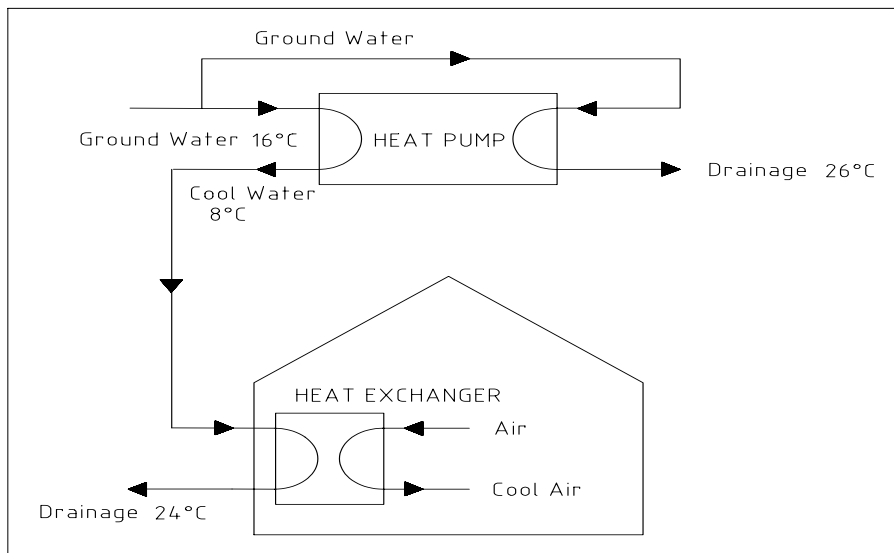
(a) water-air(no water storage)



(b) water-water(no water storage)

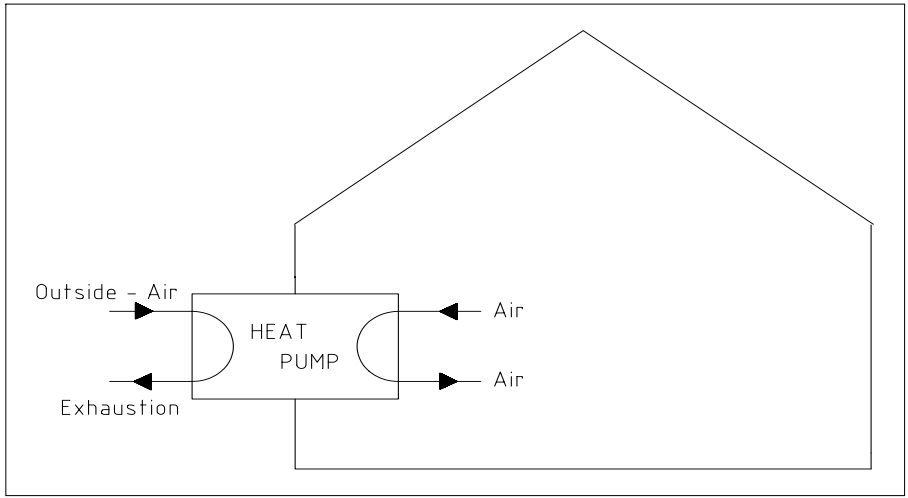


(c) water-water(water storage)

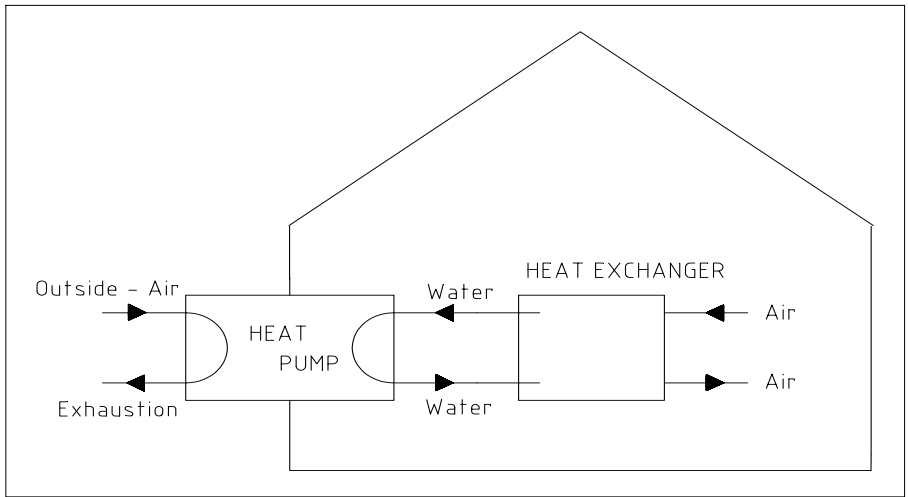


(d) water-water(cooling)

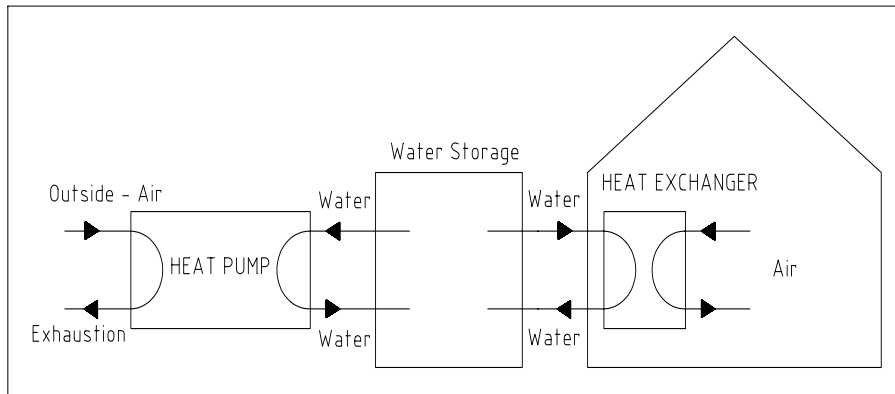
Fig. 2-39. heating-cooling system using ground water.



(a) air-air(no water storage)



(b) air-water(no water storage)



(c) air-water(water storage)

Fig. 2-40. Heating-cooling system using air.

다. 실험장치 방법

1) 실험장치

가) 히트펌프 시스템의 설계

실험에 이용된 히트펌프의 주요 제원은 Table 2-4와 같다.

Table 2-4. Specification of heat pump system components.

Items	Specifications	Remarks
Compressor	- Power : 5.5kW(7.5Hp) - Type : reciprocating	
Evaporator and Condenser	- Capacity : 5RT - Absorbed or rejected heat amount: 16,600kcal/h - Heat exchange area : 2m ² - Design flow rate : 44 ℓ /min	Heating efficiency : 80%(13,280kcal/h)
Working fluid	- R-22	
Radiator	- Capacity of heat exchange : 24,000kcal/h - Heat exchange area : 68m ²	

나) 히트펌프 시스템 구성

난방실험에 이용된 히트펌프 시스템 및 실험온실의 개략도는 Fig. 2-41과 같고 응축기 및 증발기의 단면도는 Fig. 2-42 및 Fig. 2-43와 같다. Photo 2-18은 히트펌프 전경을 나타낸 것이다.

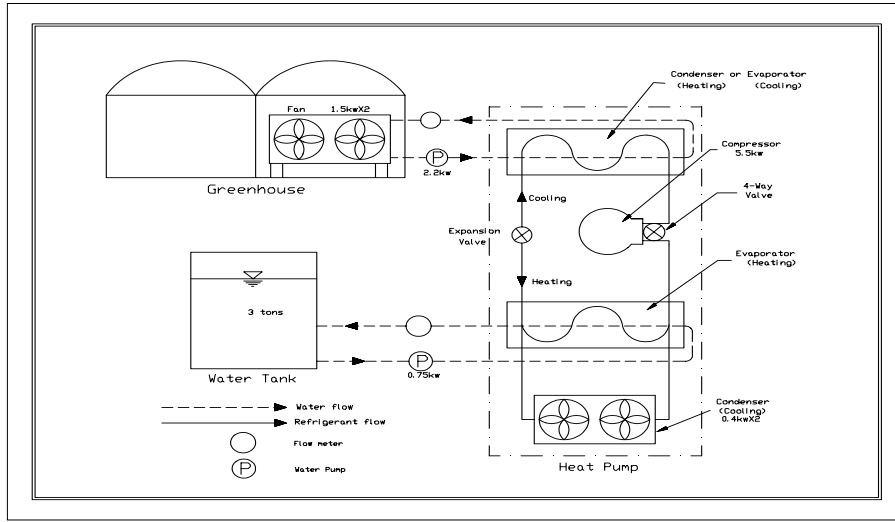


Fig. 2-41. Schematics of heat pump and greenhouse.

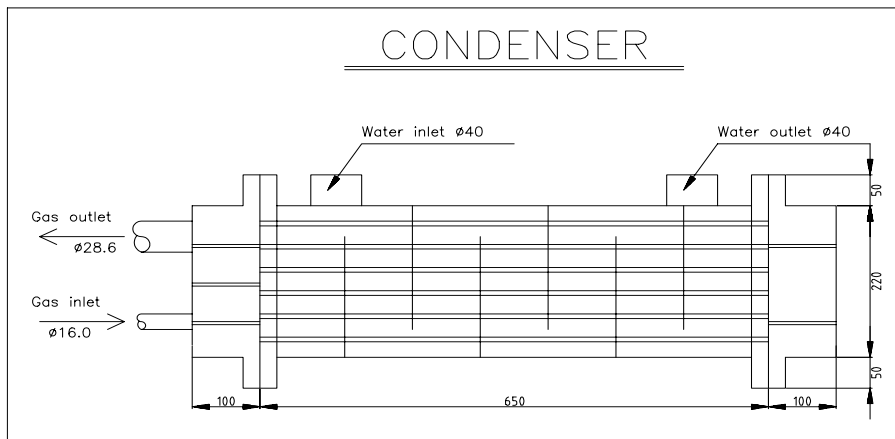


Fig. 2-42. Cross section of condenser.

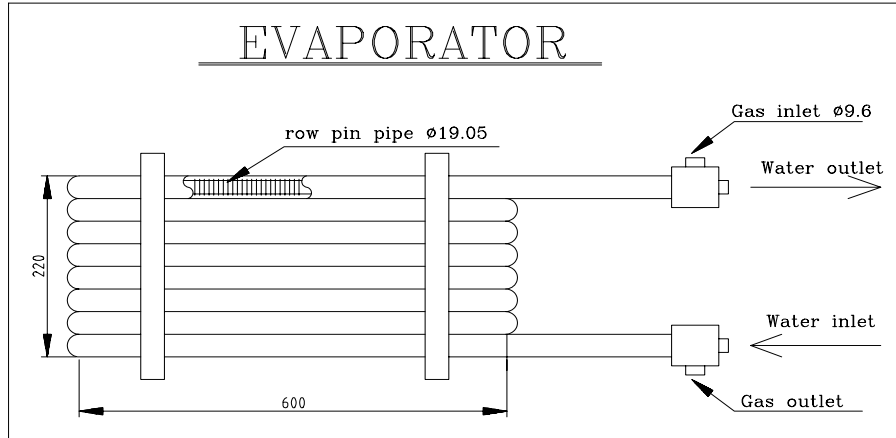


Fig. 2-43. Cross section of evaporator.



Photo 2-18. View of heat pump system.

2) 실험방법

난방실험의 경우, 히트펌프의 증발기로 공급되는 수원은 지하수를 사용할 계획이었으나 수원확보가 어려워 급수탱크를 제작하여 적정수준으로 덩혀진 온수를 공급하였다. 급수탱크 내에는 전기히터(10kW×3)를 설치하여 증발기로 유입되는 수온을 조절

하였다. **냉방실험의 경우**, 이때는 공기를 열원으로 이용하기 때문에 주간의 높은 기온을 열원으로 이용할 수 없다. 따라서 외기온 상대적으로 낮은 일몰 직후부터 익일 아침까지 실험을 하였다. 냉방시 온실로부터의 열교환기에 응집된 물의 무게로 제습량 측정하였다. 증발기 및 응축기로의 순환유량은 유량계로 측정하였으며, 그리고 증발기와 응축기로 유출입하는 수온은 온도센서(Thermocouple : T type)로서 5분 간격으로 측정하였다. 측정된 데이터는 데이터 로그(DATA PAC)와 컴퓨터를 통하여 실험기간동안 연속적으로 기록 및 분석되었다. 그리고 히트펌프시스템의 구성요소별 소비전력은 6개의 독립된 적산전력계를 이용하여 개별적으로 실측하였다.

라. 결과 및 고찰

1) 난방시 증발기 및 응축기의 열량

Fig. 2-44는 실험기간동안 증발기 및 응축기로 유출입하는 순환수의 수온변화를 나타낸 일레이다.

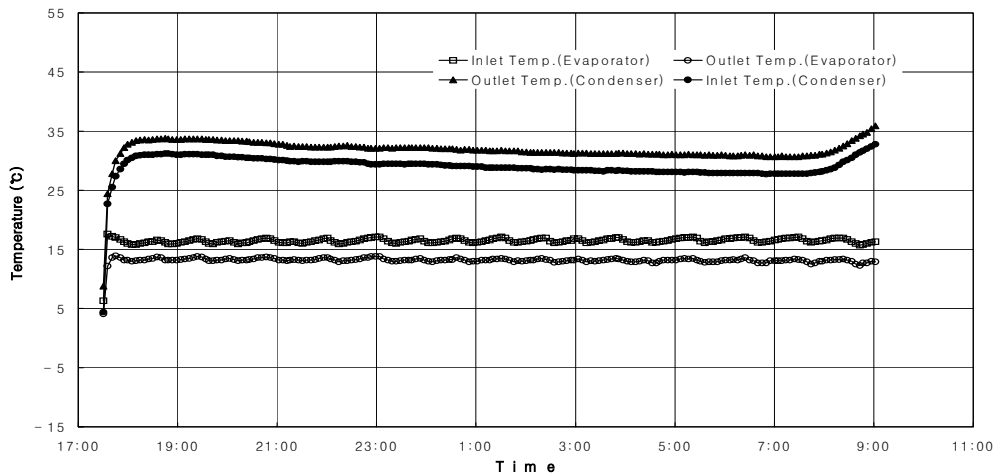


Fig. 2-44. Variations of inlet and outlet water temperature.

Fig. 2-44에서 알 수 있듯이 증발기로 유출입하는 수온이 변화를 보이는 것은 앞

에서도 기술하였듯이 본 실험의 경우, 일정한 온도의 공급수를 확보하기 위하여 전기 히터로 공급 수온을 조절하였기 때문이다. 그러나 공급수온이 인위적으로 설정한 온도에서 일정한 범위 내에 있는 것을 알 수 있다.

이러한 실험결과를 바탕으로 증발기 및 응축기의 유출입구 수온 차와 유량 및 물의 비열을 이용하여 산정된 **증발기의 흡열량**과 **응축기의 발열량**은 전체 실험기간동안 각각 약 **124,000kcal~191,000kcal, 181,000kcal~269,000kcal** 범위에 있었다. 이것을 단위 시간당 열량으로 환산하면 각각 **9,000kcal/h~12,000kcal/h, 13,000kcal/h~17,000kcal/h** 정도의 범위로서 비교적 그 분포범위가 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 히트펌프 작동효율(COP)이 외기온 뿐만 아니라 증발기와 응축기로 순환하는 유량 및 수온 등의 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

여기서, 히트펌프 설계당시 가정한 효율과 증발기 및 응축기 작동결과의 효율을 비교하기 위하여 단위 시간당 열량을 중심으로 살펴보면 다음과 같다. 즉 증발기의 효율은 67~90% 범위에 있고, 그 평균값은 약 79% 정도이다. 그리고 응축기의 효율은 72~94% 범위로 그 평균값은 83% 정도였다. 단, 이들 값은 증발기의 경우 **Table 2-4**에서 가정한 효율 80%의 열량 13,280kcal/h를 이용한 것이고, 응축기의 경우는 이 값에 압축기의 일량을 더한 값(5.5×860 kcal/h)을 이용하여 계산되었다. 이상에서 증발기 및 응축기의 평균효율은 각각 79% 및 83% 정도로 **Table 2-4**에서 가정한 80%와 거의 같음을 알 수 있다.

2) 히트펌프의 성적계수

히트펌프 시스템의 효율을 개선하기 위하여 증발기로 순환하는 유량 및 유입 수온을 변경시키고, 또 응축기용 펌프의 용량을 줄여서 실험을 수행하였다. 이에 대한 히트펌프 작동성능(성적계수)를 정리해 보면 **Table 2-5**와 같다. 히트펌프 전체 시스템의 일일 전력소비량은 시스템 변경전후 각각 **130~160kWh, 100~130kWh**의 범위에 있었다.

Table 2-5. COPs of heat pump and total system.

Flow rates Water temperatures	Heat pump		Total system		Remarks
	53 ℓ /min	89 ℓ /min	53 ℓ /min	89 ℓ /min	
14~16℃	2.9~3.5	2.8~3.5	1.6~1.7	2.2~2.4	Total electric power consumption per day of system
16~18℃	2.9~3.1	3.1~3.5	1.5~1.6	2.2~2.4	
18~21℃	2.8~3.4	2.9~3.5	1.5~1.6	2.1~2.4	
21~24℃	3.0~3.4	3.1~3.4	-	2.2~2.3	
Average	2.9~3.4	3.0~3.5	1.5~1.6	2.2~2.4	- 53 ℓ /min ; 130~160kWh - 89 ℓ /min ; 100~130kWh

3) 냉방시 증발기 및 응축기의 열량

실험결과 히트펌프의 흡열량을 증발기의 유출입구의 온도차, 유량 및 물의 비열로부터 구하면, 실험기간동안 약 **195,000~240,000kcal** 정도이며, 냉방부하량은 약 **17,100~17,700kcal/h** 범위에 있다. 이 값은 **Table 2-5**에 있는 열교환기 냉방능력 **24,000kcal/h**의 약 **71~74%**에 해당하는 것이다. 그러나 난방실험의 결과에서 알 수 있었던듯이 난방시 응축기의 발열량은 **13,000~17,000kcal/h(평균 15,000kcal/h)** 정도로서 냉방능력 보다 **4~24%** 정도 떨어지는 것으로 나타났다. 이것은 난방의 경우, 실험기간이 냉방실험보다 상대적으로 길었던 관계로 난방실험기간동안 히트펌프 성능을 떨어뜨리는 요인이 되는 온실내·외 기온이 높았던 날이 많았기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 실험일의 결과를 제외한다면, 본 실험에 이용된 히트펌프로부터 난방 및 냉방에 이용된 열량은 거의 같다고 볼 수 있다. 냉방시 히트펌프 자체의 성적계수는 **2.71~2.88** 범위에 있었으며, 전체시스템의 성적계수는 **1.99~2.22** 범위에 있었다. 냉방시 히트펌프 자체의 성적계수는 이론부분에서 언급하였듯이 난방시의 성적계수(**2.9~3.5**)보다 1만큼 적어진다는 이론과는 약간의 차이가 있는 것이다.

3. 태양열 집열기에 의한 에너지 절감효과 검토

태양열을 이용한 시설 재배사에 대한 난방 시스템은 아직까지 초보 단계에 있기 때문에 성능에 대한 실측 자료가 거의 없고, 지금까지의 태양열 시스템 이용에 관한 연구가 주로 가정용 온수 급탕 시스템에 국한되어 이루어지고 있어 시설재배사 난방에 대한 연구가 및 기술개발이 지극히 부족한 실태이다.

따라서 본 연구자들은 모델링에 의한 이론적 분석을 시도하기에 앞서 태양열 집열 시스템을 온실 난방에 활용하기 위한 목적의 일환으로 가정용으로 보급되고 있는 평판형 집열시스템을 중심으로 자연대류식과 강제대류식 집열시스템의 열적성능 분석을 위한 기초 단계의 연구로서 진주 지역의 평년 기상을 중심으로 태양 집열시스템의 열적거동을 분석하였던 적이 있다.

본 과제에서는 히트펌프와 마찬가지로 이들 실험결과를 새송이버섯 재배사에 적용할 경우, 난방 에너지를 절감효과 검토하였다. 실험개요 결과를 기술한 후, 새송이버섯 재배사의 에너지 절감에 대해 검토하였다.

가. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

가) 자연순환식 시스템

자연순환식 시스템은 집열기 상부에 열저장탱크가 설치되어 있어 주간동안 집열기 내의 열매체가 자연순환하면서 열저장탱크를 가열하는 방식이다. 열매체는 입·출구의 온도차로 발생하는 밀도 차에 의해 순환하게 되므로 순환동력이나 자동제어장치가 필요 없다. 본 실험에 사용된 실험 장치의 주요 구성도는 Fig. 2-45와 같다.

자연순환식 집열 시스템의 열적성능 실험장치의 주요 구성기기는 집열판, 열 저장 탱크, 급수부, 유량계, 일사량계, Data logger 및 Computer와 그들의 접속관으로 구성되어 있다. 이 집열기는 수도직접연결식 온수 시스템으로서 열교환 방식은 유입되는

물이 열저장탱크내에 설치된 길이 52m의 열교환 튜브를 통과할 때 열 교환이 이루어 지도록 되어 있다. 열저장탱크의 용량 및 집열관의 유효면적은 각각 450 l, 7.89m²(1.135×2.448×3장)이며, 열저장탱크내에는 2.25KW의 보조히터가 설치되어 있다.

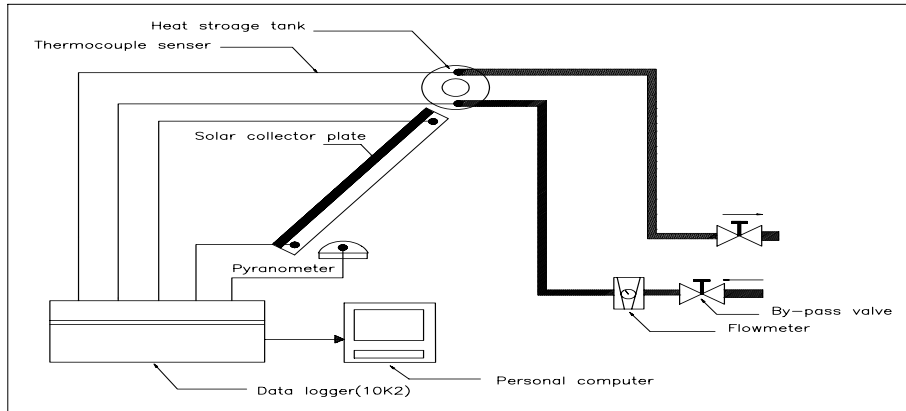


Fig. 2-45. Schematics of experimental equipment for naturally circulated solar collector system.

그리고 집열기의 구성은 Fig. 2-46과 같다. 집열 시스템은 온실에 인접한 약 3m 높이의 건물 옥상에 경사각 35°, 설치고도 47m, S12°W의 방위각으로 설치하였다.

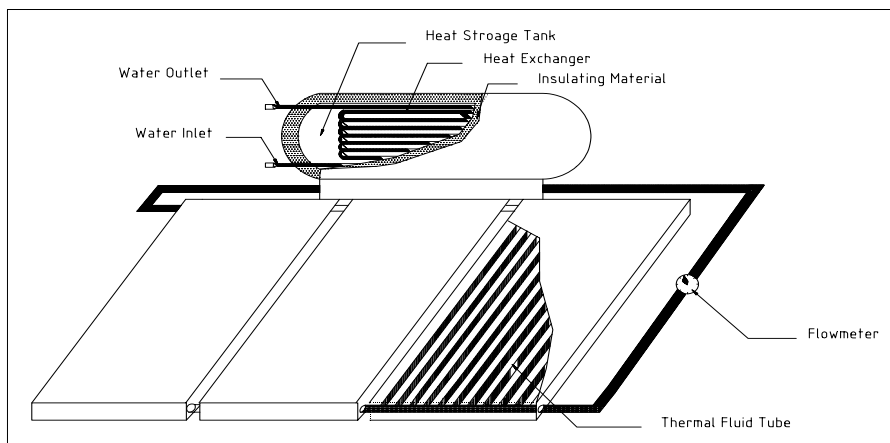


Fig. 2-46. Schematics of solar collector and heat storage tank.

나) 강제순환식 시스템

강제순환식은 자연순환식과 달리 매체 순환 펌프와 자동제어장치가 요구되는 등의 단점이 있지만, 열저장탱크를 임의의 장소에 설치할 수 있고, 배관이 가늘어도 되며, 배관 공사비가 싸고, 열저장탱크를 제외한 제반 장치의 열용량이 작고 무효집열량이 적은 등의 이점이 있다. 본 실험에 사용한 실험 장치의 주요 구성기기는 Fig. 2-47과 같이 집열판 및 열 저장탱크, 유량계, 순환펌프, Data logger 및 Computer 등 이다. 실험에 이용된 집열판의 구조는 자연순환식 시스템과 같지만 열저장탱크의 용량 및 집열판의 유효면적이 각각 1.5m^2 , $25.01\text{m}^2(1.135\text{m}\times 2.448\text{m}\times 9\text{장})$ 으로 자연순환식 시스템의 3배 정도이다. 본 시스템은 주간동안 순환펌프에 의해 일정한 속도로 열매체가 집열판을 순환하여 취득한 열을 1.5m^3 의 열저장탱크에 저장토록 하고, 열저장탱크에 저장된 열은 저장탱크내에 설치된 132m (열교환면적: 66m^2)의 열 교환용 배관 시스템을 통과할 때 회수하여 난방대상 시설을 난방할 수 있도록 설계되어 있다.

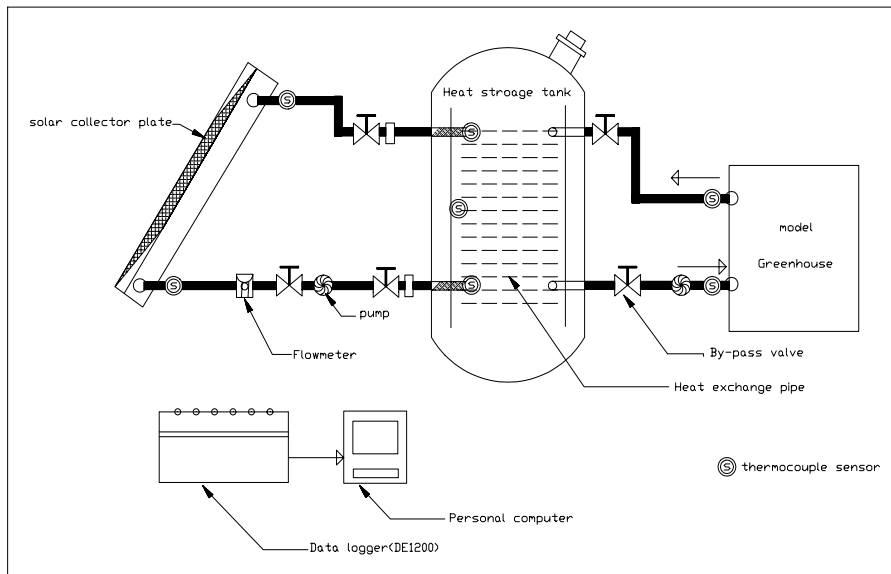


Fig. 2-47. Schematics of experimental equipment for forcedly circulated solar collector system.

Photo 2-19는 실험에 이용되었던 강제순환식 시스템을 나타낸 것이다.



Photo 2-19. View of experimental equipment for forcedly circulated solar collector system.

2) 실험방법

가) 자연순환식 시스템

집열시스템의 열회수 방식은 주간동안 열저장탱크에 집열된 열을 일몰 직후부터 물을 순환하여 회수하는 방법과 일출 직후부터 집열과 동시에 연속적으로 회수하는 두 가지 방법을 사용하였으며, 집열기의 집열량 및 집열효율을 각각의 방식에 대하여 산정하였다. 이 때 유출 및 유입 수온은 열 교환 튜브의 입·출구에 온도센서(T-type)를 설치하여 5분 간격으로 data logger 및 computer를 이용하여 측정하였다. 저장된 열을 회수하는 순환수의 유량은 유량계를 이용하여 실험개시시와 종료 후의 차이로

구했으며, 실험기간동안 유량은 약 9 l/min 정도로 거의 일정하게 유지시켰다. 그리고 보조열 공급을 위해 열저장탱크 내부에 설치한 보조히터(2.25kw)의 전력은 심야 전기용 적산전력계로 측정하였다. 일사량은 집열기 인근에 수평으로 설치한 일사량계를 이용하여 5분 간격으로 순간 수평면 일사량을 측정하였다.

나) 강제순환식 시스템

열저장탱크에 집열되는 열은 일출 직후부터 집열과 동시에 연속적으로 회수하는 방법을 사용하였다. 그리고 집열기를 순환하는 열매체의 유량 변화에 따른 집열성능을 분석하기 위해 펌프와 유량계 사이에 By-pass valve를 설치하여 열매체 유량을 선택적으로 조절하여 실험을 수행하였다. 열매체 입·출구 온도 및 대기온도, 난방대상 시설에 설치된 방열관 파이프의 입·출구온도 등을 data logger 및 computer를 이용하여 측정하였다. 강제순환 시스템은 앞서도 언급하였듯이 자연순환 시스템에 비해 집열면적 및 열저장탱크 용량이 대략 3배 정도이다. 따라서 자연순환 시스템의 열매체 순환유량 분석을 통하여 얻은 최대유량 1.4 l/min 의 3배가 되는 4.2 l/min 을 기준으로 7.0 l/min 및 9.7 l/min 으로 각각 유량을 증가시키면서 순환 유량의 변화에 따른 집열성능 실험을 수행하였다.

3) 결과 및 고찰

가) 자연순환식 시스템의

자연순환 시스템의 경우, 열 회수방법에 따른 유용열 에너지 및 집열효율을 검토하였다. Fig. 2-48은 각각의 경우에 대한 열 회수상황을 경시적으로 도시한 예이다.

Fig. 2-48은 일출직후부터 열 회수용 물을 9 l/min 으로 일정하게 순환시킬 때, 입·출구 수온의 변화를 나타낸 것이다. 입·출구 수온이 같아지는 시점을 저장된 열량 중 유용열 에너지가 전부 회수된 것으로 가정 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 회수초기에 순환수의 입·출구의 수온차가 70°C 정도로 높지만, 시간이 경과할수록 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 한 예로서 30°C 이상의 수온을 난방에 이용할 수 있

다고 보면, 그림에서 540 ℓ 정도의 온수를 난방에 이용 가능함을 알 수 있다.

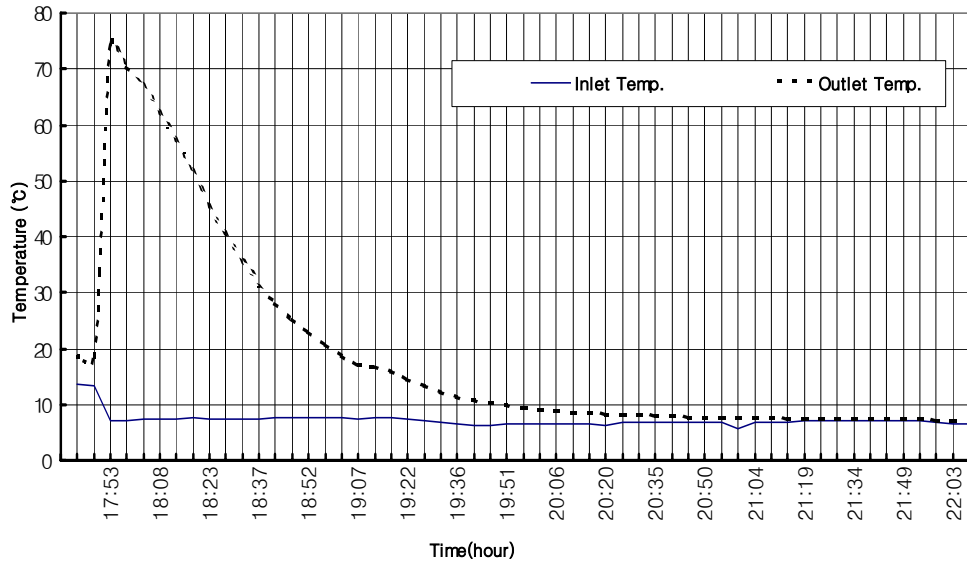


Fig. 2-48. Variation of inlet and outlet water temperature when the heat retrieval started after sunset.

유용열 에너지를 보면, 일몰직후부터 열 교환 시스템을 가동하여 저장된 열을 회수하는 경우, 집열량은 5.31~10.77MJ/m²의 범위였다. 이 때 외기 조건은 일사량 및 최고 외기온이 각각 9.61~20.91MJ/m², 15.3~18.8°C의 범위였다. 그리고 일출직후부터 집열과 동시에 회수하는 경우의 집열량은 10.28~17.20MJ/m²의 범위로 이 때 외기 조건은 일사량 및 최고 외기온이 각각 15.66~23.321MJ/m², 14.0~19.0°C의 범위였다.

Table 2-6은 회수 방법에 따른 자연순환식 태양집열 시스템의 집열효율을 나타낸 것으로 집열기의 효율도 일사량과 외기온에 따라 달라짐을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 집열기의 효율은 주간동안 축열된 열을 일몰직후부터 회수하는 경우, 95.2~97.6%의 범위였으며, 일출직후 집열과 동시에 연속적으로 회수한 경우는 94.6~99.8% 정도로서 일몰직후 회수한 경우의 효율이 일출직후 회수한 경우보다 상대적으로 작음을 알 수 있었다.

Table 2-6. Collector efficiencies depending on heat retrieval method.

Heat retrieval methods	Maximum ambient temperature (°C)	Solar intensity (MJ/m ²)		Collector efficiencies (%)
		Horizontal surface	Collector surface	
Retrieval after sunset	14.7~19.6	10.64~20.91	10.38~19.90	95.2~97.6
Retrieval after sunrise	18.1~19.9	15.66~23.32	15.63~22.06	94.6~99.8

그리고 **Table 2-7**은 실측된 순환수의 입·출구 온도차에 의한 집열량과 실험을 통하여 유도한 열매체 순환유량 관계식에 실측한 열매체 입·출구의 온도차를 대입하여 얻어진 유량에 의해 예측된 집열량을 대비한 것으로서 두 집열량간의 평균 오차가 17.8% 정도로서 다소 높았다. 이것은 상관 관계식에 의한 추정유량의 오차가 집열량 계산에 상당한 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2-7. Comparison of heat amount between predicted(Q_1) and measured(Q_2).

Heat amount (kcal)		$Q_2 - Q_1$ (kcal)	Error (%)	Remarks
Measured (Q_2)	Predicted (Q_1)			
25,467.0	24,566.0	901.0	3.54	
19,983.7	16,721.3	3,262.4	16.3	
22,331.3	21,016.0	1,315.3	5.89	
26,783.5	22,423.0	4,360.5	16.2	
21,280.0	15,644.1	5,635.9	26.5	
18,326.9	12,844.0	5,635.9	29.9	
13,550.7	9,869.1	3,681.6	27.1	
25,030.9	20,730.9	4,291.3	17.1	

나) 강제순환식 시스템의 성능분석

Table 2-8은 열매체 순환유량을 각각 4.2 l/min, 7.0 l/min 및 9.7 l/min로 변화시킬 때 강제순환 시스템의 집열량과 집열기의 효율을 나타낸 것이다. 열매체 유량별로 살펴보면 9.7 l/min일 때 집열효율이 64.2%~74.5%, 7.0 l/min일 때 78.4%~94.8%, 4.2 l/min일 때 73.1%~88.6%의 범위로서 열매체 순환 유량이 7.0 l/min 전후일 때 집열효율이 가장 높은 것을 알 수 있다. 즉 강제순환 시스템은 열매체 유량을 적절히 선택하여 순환시킴으로서 집열효율을 극대화 시킬 수 있다는 사실을 시사하는 셈이다.

Table 2-8. Variations efficiencies in forced circulation solar collector system depending on fluid circulation system.

Date	Daily average temperature (°C)	Daily horizontal solar intensity (MJ/m ²)	Collected heat amount (MJ/m ²)	Collector efficiency (%)	Fluid circulation rate
Aug.22	29.4	22.26	14.44	64.9	9.7 l/min
23	27.9	19.33	14.40	74.5	
24	26.8	19.82	13.85	69.9	
26	27.1	16.41	10.53	64.2	
27	27.6	18.74	12.53	66.8	
Oct.30	7.5	13.84	10.17	73.5	4.2 l/min
31	5.3	14.85	11.32	76.2	
Nov.3	7.8	11.85	10.50	88.6	
4	8.7	9.25	6.76	73.1	
5	8.5	12.70	9.90	77.9	
Nov.6	8.6	13.71	12.14	88.5	7.0 l/min
7	8.5	9.63	7.79	78.4	
8	10.1	11.37	9.72	85.5	
9	10.3	10.16	9.51	93.6	
10	11.2	10.89	10.32	94.8	

Table 2-9는 자연순환 시스템과 강제순환 시스템의 성능을 상대적으로 비교해 보기 위하여 강제순환 시스템의 집열량을 자연순환 시스템과 같은 집열면적으로 환산하여 자연순환 시스템의 일몰직후 회수한 일일 집열량(Q_n)과 강제순환 시스템의 열매체 유량을 각각 4.2 l/min, 7.0 l/min 및 9.7 l/min으로 순환시켰을 때 집열기로부터 얻은 일일 집열량(Q_f^*)을 나타낸 것이다.

여기에서 알 수 있듯이 강제순환 시스템의 열매체 유량이 9.7 l/min일 때, 자연순환 시스템의 집열량에 대한 강제순환 시스템의 집열량비(Q_f^* / Q_n)가 1.03~1.09 범위로 서, 열매체 유량이 7.0 l/min일 때의 집열량비(Q_f^* / Q_n) 0.85~0.98 및 열매체 유량이 4.2 l/min일 때의 집열량비(Q_f^* / Q_n) 0.80~0.99의 범위보다 상대적으로 높았다. 즉 이것은 산정된 집열량이 일사량 및 외기온의 변화에 따라 많은 영향을 받지만 열매체 유량을 9.7 l/min으로 순환시킬 때 강제순환 시스템의 집열성능이 가장 높다는 것을 알 수 있다. 비록 순환 유량의 변화에 대한 제반 부대설비 및 전기용량등에 대한 면밀한 검토는 이루어지지 않았으나, 최적의 집열효율을 위한 적정 유량이 존재할 것으로 판단된다.

Table 2-9. Comparison of available heat amount between natural circulation system and forced circulation system.

Date	Available heat amount (MJ/m ²)		Q_f^* / Q_n	Fluid circulation rate
	Natural circulation system, Q_n	Forced circulation system, Q_f^*		
Aug. 22	13.74	14.44	1.05	9.7 ℓ /min
23	13.83	14.40	1.04	
24	12.94	13.85	1.07	
26	10.17	10.53	1.03	
27	11.45	12.53	1.09	
Oct. 30	12.03	12.14	0.98	4.2 ℓ /min
31	14.04	7.79	0.94	
Nov. 3	13.10	9.72	0.85	
4	8.40	9.51	0.95	
5	10.05	10.32	0.87	
Nov. 6	12.37	10.17	0.85	7.0 ℓ /min
7	8.26	11.32	0.81	
8	11.37	10.50	0.80	
9	10.02	6.76	0.80	
10	11.88	9.90	0.99	

4. 환경제어 설비의 작동상황 추적 및 분석

현장 조사 결과에서 알 수 있듯이 대부분의 재배농가의 경우, 재배사내부의 온도는 온도센서(Pt100)를 이용하여 냉·난방기를 작동시켜 조절하도록 설계되어 있기 때문에 자동제어가 가능하였다. 그러나 상대습도나 탄산가스 농도는 버섯의 상태에 따라 타이머를 이용하여 경험적으로 ON/OFF하는 방식으로 조절하고 있는 실정이었다. 단지 온도를 확인하기 위하여 시중에서 시판되고 있는 온도·습도계를 재배사 내부에 설치하여 두었다. 따라서 재배농가와 긴밀한 협조가 없는 한 복합적으로 작동하는 제어설비의 작동상황을 현장 재배사에서 정확하게 추적하기란 불가능하였다. 또한 재배사내의 환경요인을 측정하는 것 정도는 좀 협조적이지만, 환경조절방법만은 이웃 재배사에도 알려주지 않는 등 극히 소극적이었다. 따라서 단지 하루에 한 번 데이터 관리나 현장점검을 위하여 방문할 당시에만 확인이 가능한 정도였다.

또한 현장 조사결과 새송이버섯 재배사는 영구형인 패널형 재배사 뿐만 아니라 간이 재배사도 연중재배하고 있었다. 이것은 간이 재배사의 경우도 기존의 느타리버섯 재배사에 환경조절설비만 추가하면 버섯을 연중재배 할 수 있고, 또 하절기에도 새송이버섯의 가격이 여타 버섯과 같이 폭락하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 연중 재배하는 재배사의 환경조절 설비는 지역간 또는 재배사간에 큰 차이가 없었다. 난방은 대부분 액셀파이프를 이용하여 온수난방에 의존하였으며, 온수배관은 주로 바닥에 설치하지만, 일부 지역에서는 재배상 바닥, 재배사의 측벽 등에 설치되어 있었다. 냉방은 주로 에어컨으로 하고 있었으며, 탄산가스 농도조절은 환기팬에 의존하였다. 그리고 습도조절은 주로 초음파 가습기로 하고 있었으나, 일부 지역에서는 가격면에서 다소 싼 분무 노즐을 재배사 천장부근에 설치하여 사용하기도 하였다. 조도는 백열등 및 형광등으로 조절하고 있었으나, 버섯의 품질에 미치는 영향이 그다지 크지 않는 것으로 인식되어 환경인자 중에 가장 안의하게 취급되고 있었다.

만약 버섯 재배과정 이전에 행해지는 일련의 과정, 즉 배지조성-->살균-->종균접종-->종균배양까지는 성공적으로 이루어 졌다고 가정한 후, 재배사에서 재배에만 전념할 경우(국내의 대부분 재배농가 형태 임), 버섯의 생산성과 품질에 영향을 미치는 온도, 습도, 탄산가스 농도 및 조도 중 어느 것이 결정적으로 영향을 미치는 인자인지 현재까지 결과만으로 정확히 단언하기 어렵고, 또 복합적으로 환경이 조절되고 있기

때문에 이들 인자 중 어느 인자를 기준으로 표준버섯재배사가 설계되어야 할지 현재로서는 확인하기 어려움 점이 있다. 그리고 재배사의 주요 3대 환경인자, 온도, 습도 및 탄산가스가 버섯의 품질과 생산량에 직접적인 영향을 주는 것은 사실이지만, 탄산가스 농도 조절을 위하여 환기횟수를 조절하면, 재배사내부의 온도, 공기유동 및 습도에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 이러한 점들을 종합적으로 고려하여 구조나 환경조절설비의 용량, 조절방법 등이 설계되고 제어로직이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

이상과 같이 재배사내부의 온도는 온도센서를 사용하여 자동적으로 조절하기 때문에 재배사내부의 위치별 온도차가 발생하는 문제를 해결하고 냉·난방용량 및 배관시스템 등만 적절하게 선택하면 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 그러나 탄산가스 농도 센서나 습도 센서를 갖추고 있는 재배사는 전무하였다. 따라서 갑 지역의 측정 결과에서도 언급하였지만, 버섯이 재배사에 입상하게 되면, 취침시간을 제외하고 상시 상주하여야 하는 불편을 감수하고 있었다. 단지, 진해의 한 재배사의 경우, 재배사 내부의 환경조절을 자동화하기 위하여 컴퓨터 및 탄산가스 센서를 이용하여 시험적으로 운용하고 있었지만, 시중에서 시판되는 있는 탄산가스 센서에 대한 인식부족으로 인하여 센서의 농도를 기준으로 제어할 경우, 오히려 버섯재배를 망쳐버릴 수 있는 가능성도 배제할 수 없었다.

버섯재배의 경우, 3대 환경인자 중 하나만이라도 적절하게 조절되지 않으면, 고품질 버섯의 생산은 요원한 것이기 때문에 어느 하나 소홀하게 취급할 수 없다. 이러한 점을 감안하여 작동이 간단하고, 가격이 저렴한 탄산가스 농도 및 습도 센서의 개발이 시급하게 요구되고 있다. 현재 시판되고 있는 탄산가스 농도 측정용 센서는 개당 일백만원 정도로 고가이고, 특히 상대 습도 90%이상에 노출되어야 하기 때문에 재배사내부에 설치하여 장기간 사용하기란 어려운 점이 많다. 한 번 과습에 노출되면 수리가 불가능하기 때문에 다시 구입하여야 하는 어려움을 본 연구에서도 몇 번 반복하였다. 습도센서 또한 이러한 문제점을 가지고 있었다. 이러한 문제가 선결된 후, 버섯재배사와 같이 다습한 환경내에서 온도를 조절과 동시에 환기를 실시하는 등의 복잡한 환경에 대한 복합 환경제어 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

따라서 본 과제에서는 이상과 같은 문제점을 보완하고자 교내에 현장 재배사와 유사한 수준의 환경조절설비를 갖춘 학내의 실험 재배사에서 재배실험을 실시하였다. 그러나 앞에서 기술한 센서, 제어반 및 에어컨 용량 등의 문제로 시행착오를 여러 번

반복하였지만, 예초에 기대했던 만큼의 연구 성과를 얻을 수 없었던 것이 사실이다. 그러나 시행착오를 겪으면서 얻었던 노하우는 재배농가 교육시에 산교육의 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

지금까지 수행한 연구결과 요약하면 다음과 같다.

가. 환경조절설비의 작동상황

1) 재료 및 방법

시험 재배사의 벽체는 외부로부터 적벽 돌, 두께 50mm 인 단열재(스티로폼), 플라스틱 필름, 시멘트 벽돌로 구성되어 있고, 천장은 외부로부터 두께가 각각 150mm 및 80mm의 슬래브 및 스티로폼, 플라스틱 필름, 두께 3mm의 합판으로 구성되어 있다. 그리고 바닥은 플라스틱 필름과 스티로폼으로 처리한 후, 그 위에 두께 100mm의 콘크리트로 구성된 저온 저장고 형식이다. 본 과제의 연구를 위하여 이 저장고의 내부, 즉 바닥, 벽체 및 천장을 두께 50mm 샌드위치 패널로 다시 마감하였다. 내부의 전체 규모는 3.3×9.5×2.4m이고, 내부를 바닥면적으로 6.82m²(약 2평)과 13.95m²(약 4평)인 두 개의 재배사로 구분되어 있다. 나머지 4.6m²(1.5평)는 계측 및 제어장치 설치 공간이다.

재배상의 크기는 폭 1.0m, 단간 간격 0.6m, 길이 3.0m(4평용) 및 1.2m(2평용)으로 되어 있다. 재배상의 길이가 3.0m인 것은 통로를 중심으로 좌·우 양측에, 그리고 길이가 1.2m인 것은 재배사의 폭 방향으로 한 쪽 벽면에 설치되어 있으며, 2단으로 구성하였다. 두 시험 재배사에 수용할 수 있는 최대 배지수는 1200명이다.

환경조절장치는 각각의 재배사에 냉방기(0.4kW, **1.5kW---**>2.3kW교체) 1대, 난방용 전기히터(3kW) 1대, (0.26kW) 1대, 초음파 가습기(6공) 각각 1대, 환기 및 배기용 덕트 및 백열등(60W) 1~2개로 구성되어 있다. 1차년 연구에서는 두 재배사 사이의 칸막이를 제거하고 실험을 실시하였지만, 2차 년도에는 각각 조절하였다.

외기온은 재배사 인근에 설치한 백엽상에서 건·습구온도를 측정하였고, 재배사의 내부온도는 습구온도 1측점을 포함하여 재배상 각 단별로 총 8지점의 온도를 측정하였다. 온도는 온도센서(T-type)를 설치하여 1분 간격으로 측정하였다. 상대습도는 건

습구온도 센서(HY-CV200, HY-PT230)를 이용하고, 탄산가스 농도는 탄산가스 농도는 현장 재배사에서 사용하는 것과 동일 한 것으로서 휴대용 측정기 Testo(Testo 353) 및 센서(SenseAir; aSENSE-D와 VAISALA ; GMW22D)를 이용하여 측정하였다. 재배사 내부의 조도는 HIOKI(3421)로 측정하였다.일한 센서를 이용하여 측정하였으며, 측정값은 새로 구입한 Data logger(KEO, SOLAK V) 및 컴퓨터를 이용하여 저장 및 분석하였다. **Photo 2-20**은 시험재배사의 내외부를 나타낸 것이다.



Photo 2-20. View of experimental cultivation house.

Photo 2-21은 본 시험에 사용한 계측기와 데이터 로거와 습구센서를 나타낸 것이다.



(a) data logger



(b) sensor of relative humidity

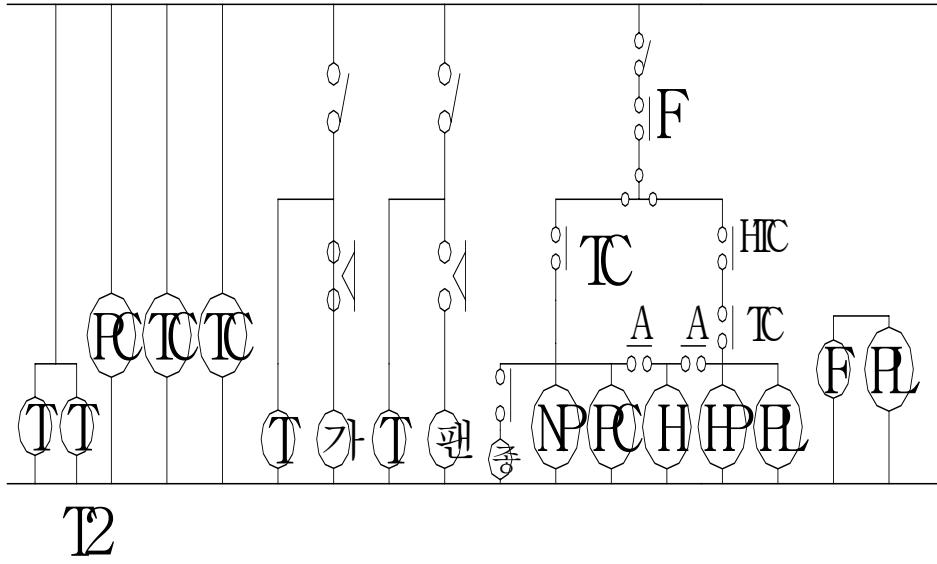
Photo 2-21. View of relative humidity sensor and data logger.

2) 결과 및 고찰

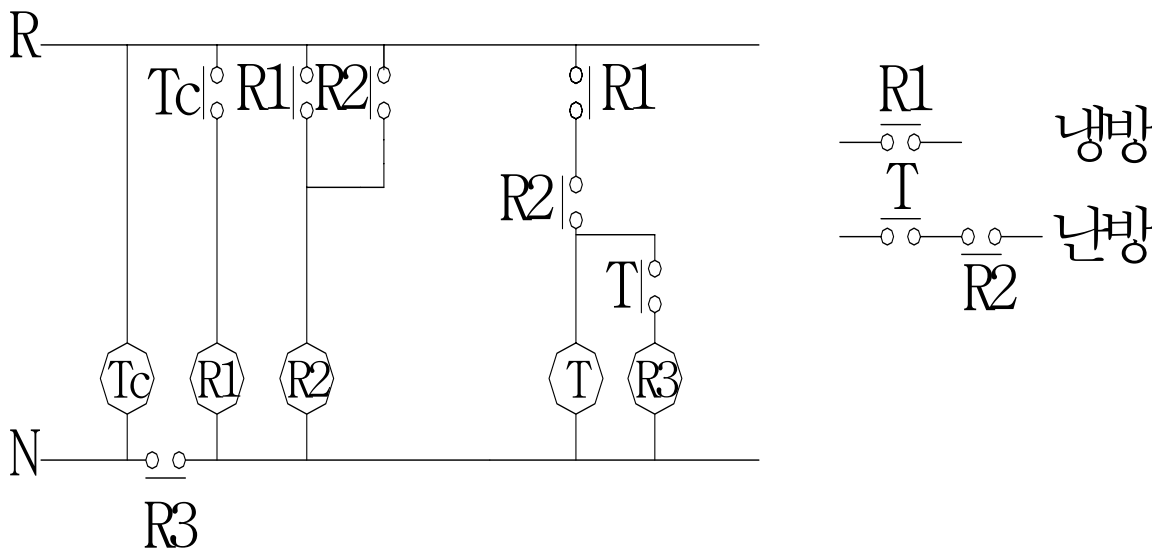
일반 버섯 재배사의 경우, 온도조절은 앞에서 기술한 것과 같이 보일러나 냉방기를 이용하여 하고 있지만, 하절기에는 냉방기만을 작동시키고, 동절기에는 난방기만을 작동시켜 냉·난방을 하도록 설계되어 있다. 이와 같이 작동시킬 경우에는 봄철이나 가을철과 같이 최저 및 최대 외기온간의 차가 큰 경우, 냉방기뿐만 아니라 난방기도 작동시켜야 한다. 그러나 현재 농가에 보급되어 있는 시스템은 대부분 냉·난방기를 분리하여 작동시키고 있기 때문에 봄·가을철이 되면 내부온도를 수시로 점검한 후, 난방기 또는 냉방기를 작동시키는 형태로 온도를 조절하고 있다. 따라서 교내 재배사에서는 이와 같은 문제점을 보완하는 측면에서 접근해 보았다.

Fig. 2-49의 (a), (b), (c)는 재구성하기 전·후의 컨트롤 패널 회로도를 나타낸 것으로서, (a) 및 (b)는 2003년도에 재구성 전·후의 것이고 (c)가 2004년도에 재구성 것이다. (b)를 재구성한 이유는 냉·난방기의 온도센서가 서로 달랐기 때문에 냉·난방기가 각각 따로 작동하도록 되어있어 일반 재배사와 동일한 방법으로 작동할 뿐만 아니라 제어온도의 범위가 큰 문제점이 있었다. 따라서 하나의 온도센서로 냉·난방기를 작동하도록 재구성하여 외기온 차가 큰 계절에도 사용할 수 있도록 하고 제어되는 온도의 범위도 어느 정도 좁아지도록 하였다. 그러나 이 회로도에도 문제점이 발견되었다. 즉, 하나의 센서를 이용하다보니 봄, 가을과 같이 냉·난방이 교차로 실시되는 계절에는 냉·난방기의 잦은 작동으로 인하여 재구성하기 전보다 온도조절이 더욱 어려워졌고, 특히 잦은 냉·난방기의 작동으로 인하여 기계적 손상을 가져올 가능성이 충분히 있었다. 따라서 비용측면에서 상당한 무리가 따랐지만, 컨트롤 박스를 교체할 수 밖에 없었다.

R1



(a) before improvement(2003 year)



(b) after improvement(2003 year)

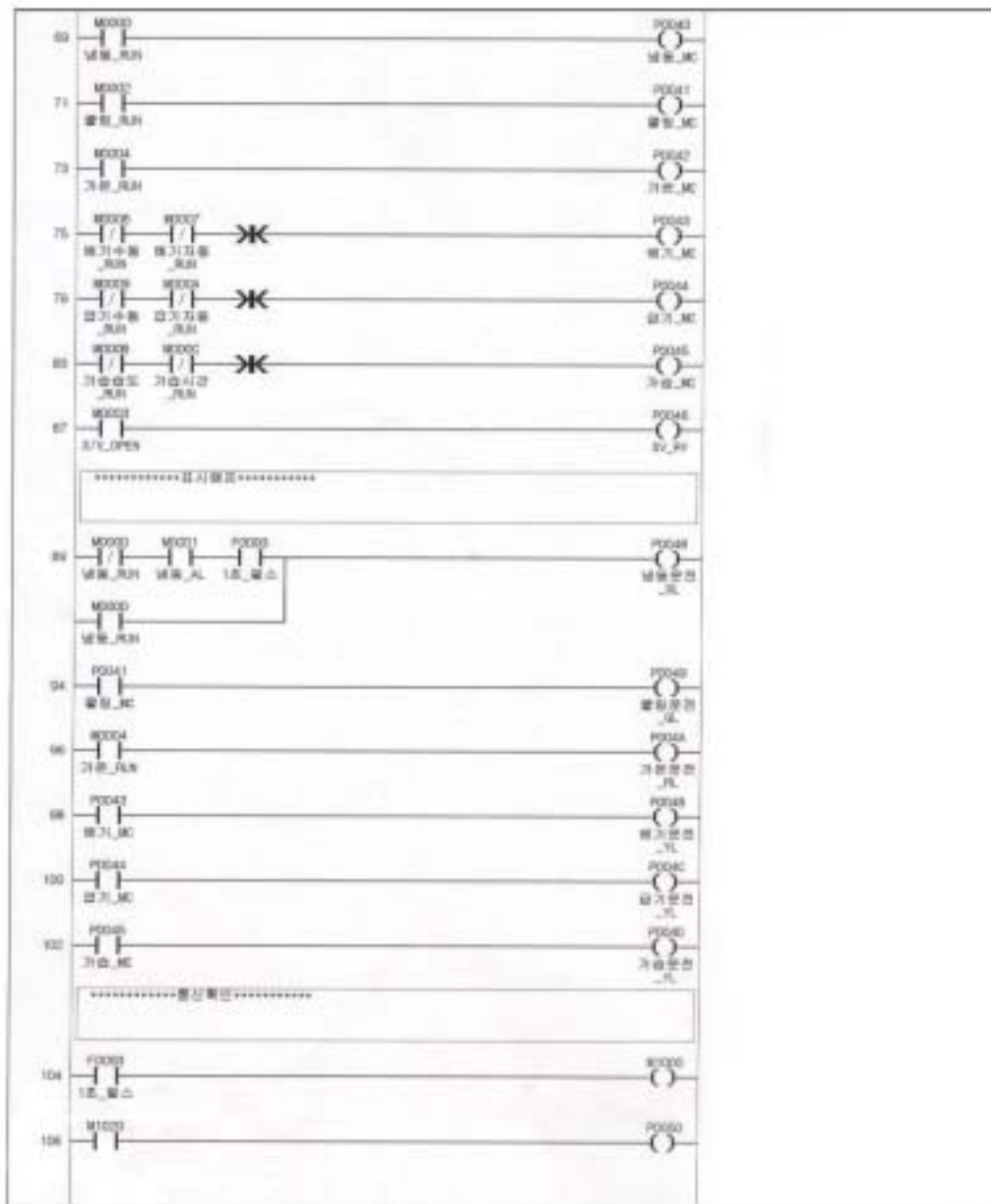


Photo 2-22는 재구성 전·후의 전경을 나타낸 것이다(Fig. 2-49에서 (b)를 (c)로 재구성)



(a) before improvement(2003 year)



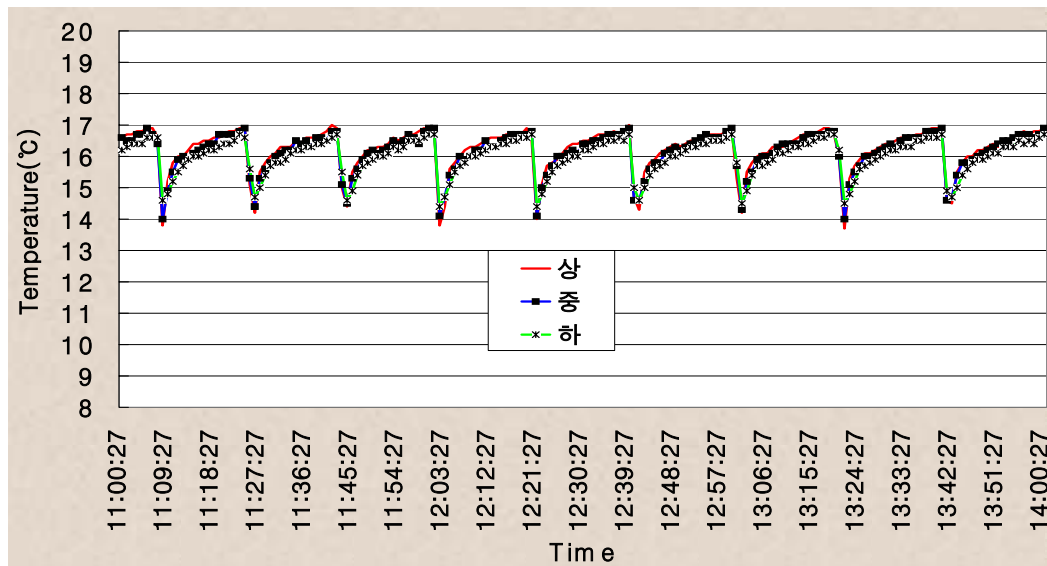
(b) after improvement(2004 year)

Photo 2-22. View of control panel.

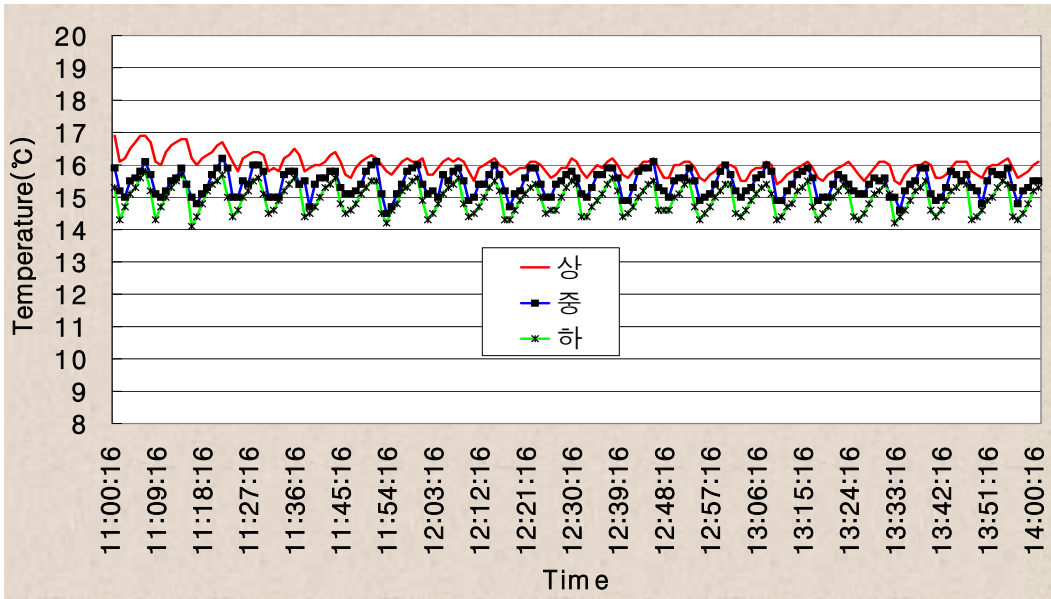
Fig. 2-50의 (a), (b), (c)는 회로도 재구성 전·후의 온도 제어 결과를 나타낸 것으로서, 재구성 전·후의 설정온도는 각각 16.0℃, 15.0℃ 및 13℃이다. Fig. 2-50의 (a)는 설정온도보다 +1.0℃~-2.0℃정도의 범위에서 유지되지만, 설정온도를 기준으로 항상 (-) 방향으로의 편차가 크게 나타나면서 온도편차도 크게 나타났다. 그러나 재구성 후(Fig. 2-50의 (b))에는 ±1.0℃범위 내에서 어느 정도 안정적으로 제어되고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 2-50의 (c)는 약 1.0℃ 정도이내에서 약간 높게 나타났지만, (a)나 (b)보다는 안정적으로 조절되고 있는 것을 알 수 있다. 물론 앞서서도 기술하였듯이 (c)의 경우는 온도제어를 개선하기 위해서만 교체한 것은 아니지만, 냉·난방기 잦은 작동으로 인한 문제는 해결 할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 일반 재배사에서 냉·난방 장치를 인위적으로 동력을 입력하지 않아도 봄, 가을철에는 번갈아 작동하도록 제어회로를 구성하면 갑작스러운 날씨변화에 자동적으로 대응이 가능 할 것으로 판단된다. 그리고 이러한 것들은 재배사 설계시부터 고려 되어야 할 것으로 판단된다.

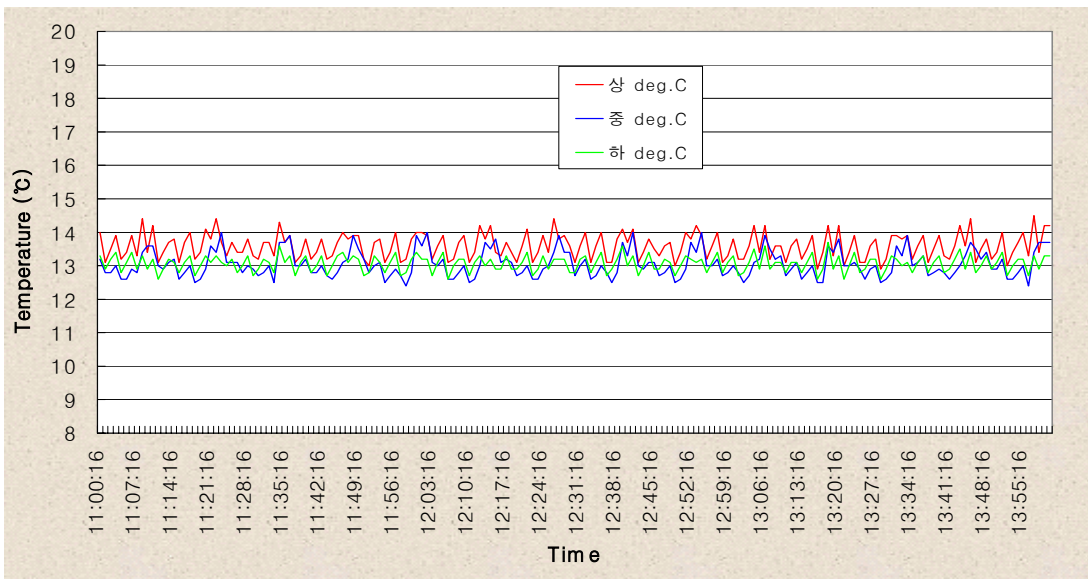
Fig. 2-50에서 알 수 있듯이 재배하기 전에는 이와 같이 잘 조절되고 있지만, 버섯을 재배하게 되면 복합적인 요인에 의해 어느 정도 온도의 흔들림이 발생한다.



(a) before improvement(2003 year)



(b) after improvement(2003 year)



(c) after improvement(2004 year)

Fig. 2-50. Variations of air temperature by before/after improved of circuit.

Fig. 2-51은 습도센서의 검증을 위하여 상대습도를 90%로 설정하였을 경우, 상대습도 변화의 일례를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 배재사의 내부 상대습도는 거의 100%에 가깝게 조절되고 있다. 그리고 설정상대습도를 낮게 설정해도 95% 이상으로 조절되었다. 일반적으로 습구센서를 정확하게 사용하기 위해서는 최소한 센서주변에 3m/s정도의 풍속을 유지해야 하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 소형 팬을 부착한 후, 재검토하였으나 개선되지 않았다. **Photo 2-23**은 소형 팬을 부착한 것을 나타낸 것이고, **Fig. 2-52**는 소형 팬을 부착한 후, 검증한 결과이다. **Fig. 2-52**에서 알 수 있듯이 상대습도가 이전과 비교해서는 약간 교정된 것으로 나타났지만, 여전히 설정 상대습도와는 많은 차이가 있는 것을 알 수 있다. 그리고 이 센서는 건·습구 온도차로부터 상대습도를 구하기 때문에 습구센서에는 항상 수분이 공급되는 상태이고, 또한 초음파가습기에 의한 가습이 간헐적으로 이루어지고 있기 때문에 소형 팬의 동력에 의한 전기적 노이즈 때문에 상대습도 변화의 폭이 상당히 큰 것을 알 수 있다.



Photo 2-23. View of relative humidity sensor and fan.

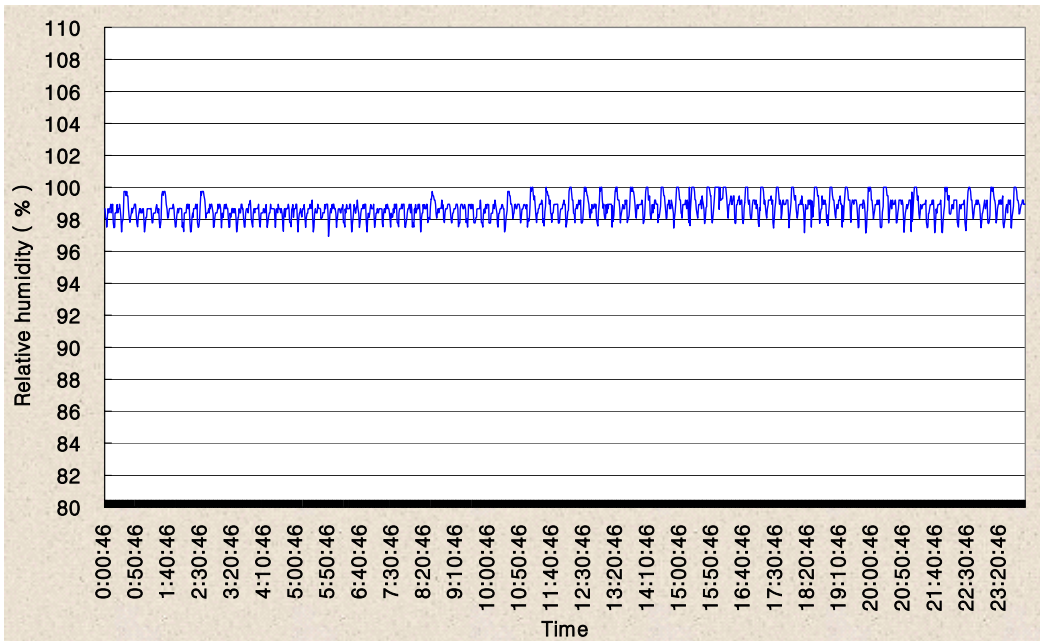


Fig. 2-51. Variations of relative humidity(no fan).

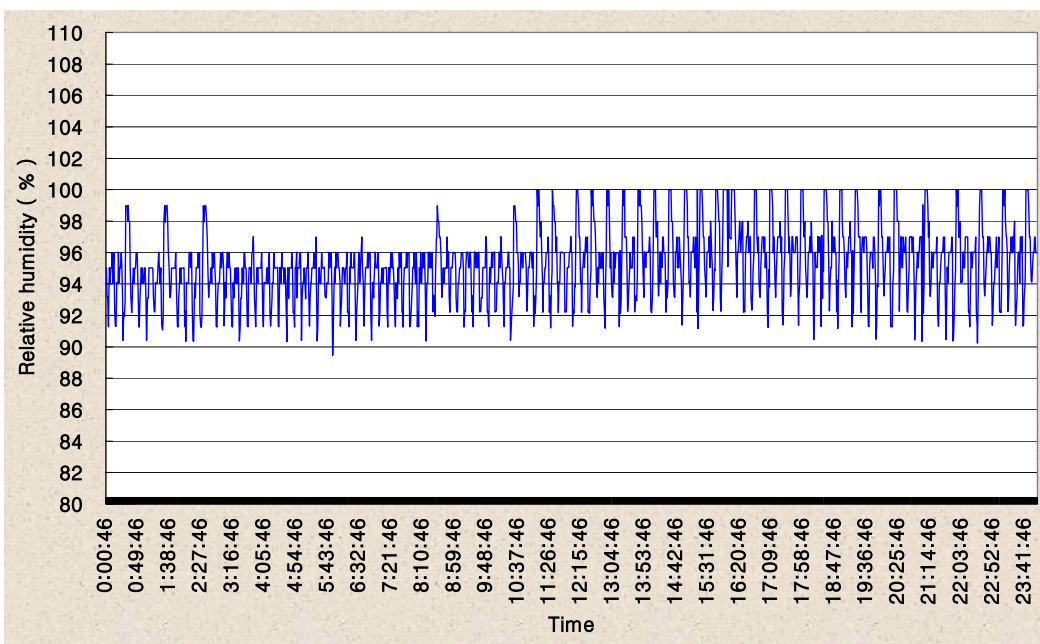


Fig. 2-52. Variations of relative humidity(with fan).

따라서 본 연구자들은 국내가 아닌 외국에서 생산하는 전자식 습구센서(HM 1500)를 구입하여 검증 실험을 하였다. Photo 2-24는 전자식 습구센서를 나타낸 것이다. Fig. 2-53은 전자식 습구센서를 검증하기 위하여 설정습도를 60%로 하고 검증 실험을 한 것으로서 조금씩 개선된 경향은 있지만, 노이즈에 상당히 약한 센서이고 또한 설정 값과는 상당한 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 과습에 노출되는 적절한 센서를 구입하기란 현재로서 어려울 것으로 판단된다. 이러한 문제가 해결되어야만 재배사의 습도조절도 좀 더 용이해 질 것으로 사료되며, 이와 관련한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.



Photo 4-5. View of electromagnetic relative humidity sensor.

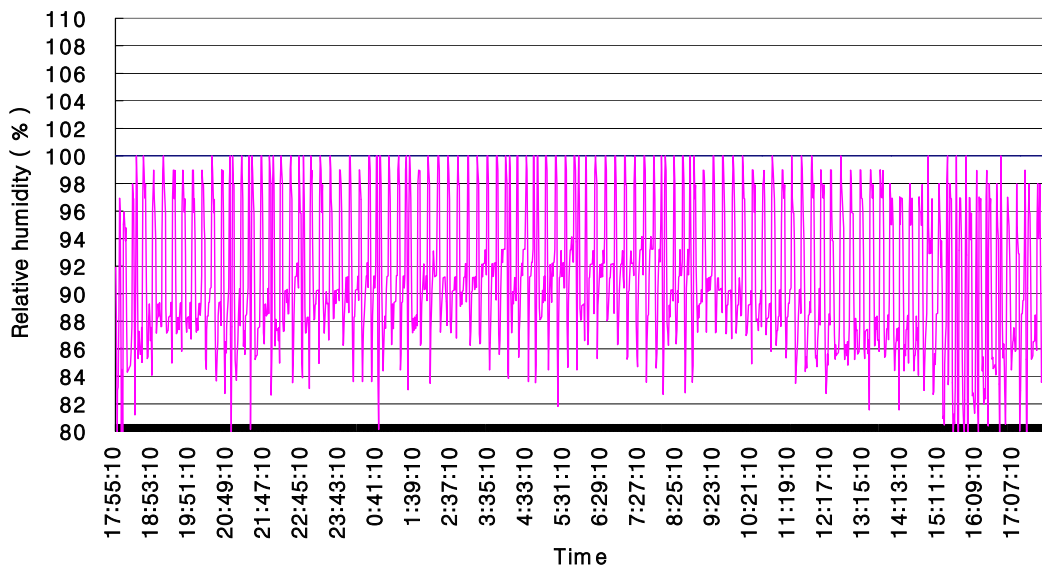


Fig. 2-53. Variations of relative humidity.

Fig. 2-54와 Fig. 2-55는 수정 및 보완된 장치로 버섯을 재배할 경우, 재배사내부의 온도 및 탄산가스 농도변화의 일례를 나타낸 것이다.

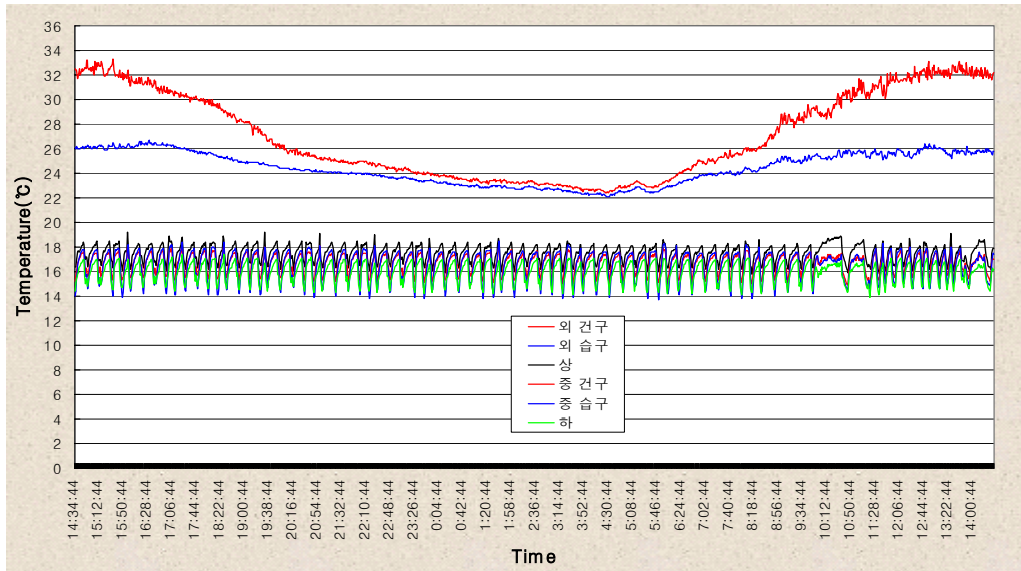


Fig. 2-54. Variations of inside temperature('04. 8. 25).

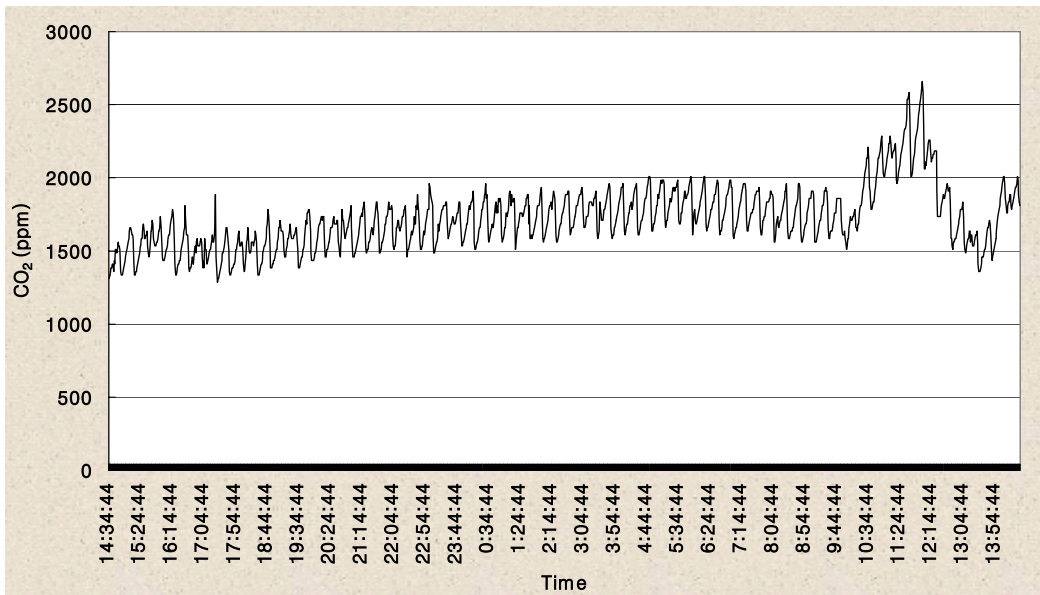
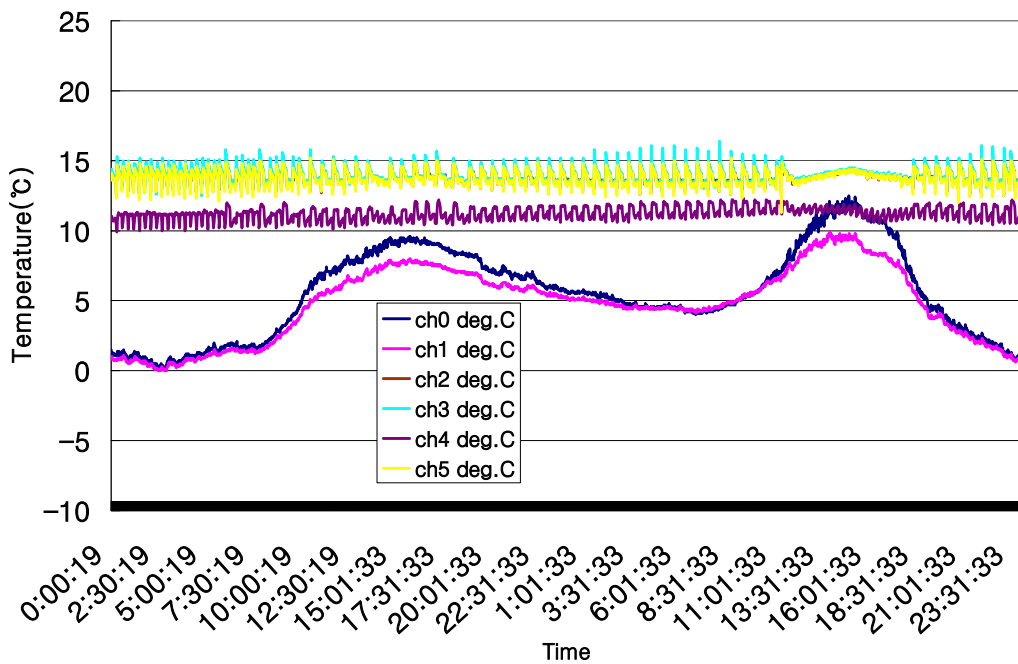


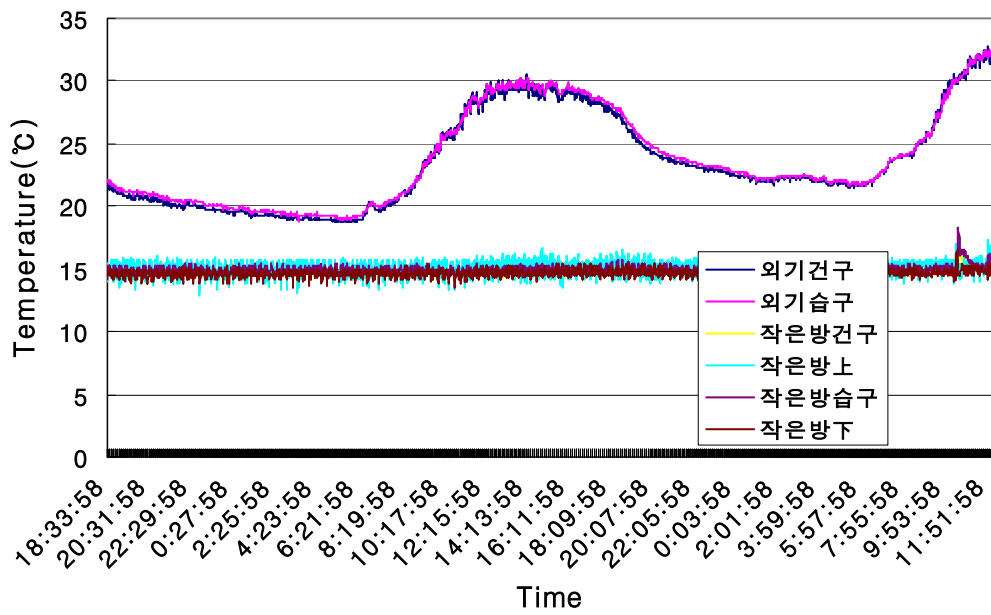
Fig. 2-55. Variations of CO₂ concentration.

Fig. 2-54와 Fig. 2-55의 경우는 설정온도를 16℃로 하고, 환기팬은 20분 OFF, 1.5분 ON 상태로 작동시켰을 때, 입상 후 16일째의 온도변화를 나타낸 것이다. 온도변화를 보면, 설정온도 16℃ 보다 약간 높게 조절되고 있지만, 냉방기 용량에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나 버섯을 재배하지 않을 때의 1℃범위에서 작동되던 상황과는 다소 차이가 있음을 알 수 있지만, 버섯재배에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 그리고 탄산가스 센서의 작동에도 문제가 없는 것으로 판단되었다. 단, 현장 재배사에서 측정된 온도는 큰 폭으로 변화하였던 것과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 이로부터 알 수 있듯이 현장 재배사의 경우는 전기누전에 의한 노이즈 때문에 온도가 큰 폭으로 변한다는 것을 단정할 수 있다.

Fig. 2-56의 (a), (b)은 동절기와 하절기에 냉·난방기의 용량을 점검하기 위하여 재배사이 내부온도를 측정된 것이다. 설정온도는 공히 15℃이다. 동절기에는 약간 낮게 유지되었고 있지만, 비교적 안정적으로 조절되고 있음을 알 수 있다. 그리고, 하절기에는 설정온도 범위 내에서 조절되고 있음을 알 수 있다. 따라서 난방기의 용량은 약간 부족하고, 냉방기는 이때의 외기온을 감안하여도 충분한 것으로 판단된다.



(a) 2005. 2. 13



(b) 2005. 8. 30

Fig. 2-56. Variations of inside temperature.

Photo 2-25는 교내 시험재배사의 버섯재배 전경을 나타낸 것이다(배지병 용량; 1,300cc)





Photo 2-25. View of *Pleurotus eryngii*.

Table 2-6과 Table 2-7은 교내의 시험 재배사에 생산한 버섯의 생산량을 나타낸 것이다. 설정온도는 15~17℃ 범위로 하였다. 그리고 습도조절은 습도센서에 의존하였고, 가능한 범위 내에서 설정온도나 환기타임을 한 재배기간 동안 거의 변화시키지 않고 재배하였다. 따라서 상대습도가 지나치게 높거나, 배지수가 적어 발이 및 생육 초기에 탄산가스 농도가 제대로 형성되지 않은 등의 문제점으로 인하여 병해가 발생하는 등의 문제점이 있었다. Table 2-7은 A, B-동으로 구별하지 않고 두 동사이의 칸막이를 제거하고 재배하였다.

Table 2-6에서 각 재배기간 동안 버섯의 수확량을 보면, A, B-동 각각 평균 약 52g 및 78g 정도였다. 그리고 재배사 내부가 조금 큰 B동에서의 생산량이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 이것은 A동의 경우, 내부공간이 상대적으로 협소하기 때문에 냉방기의 ON/OFF작동이 너무 잦아 버섯의 발이 및 생육이 잘 되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2-7를 보면, 배지병당 수확량은 31~98g 정도로 재배주기별로 큰 차이가 있고, 평균 수확량도 60g 정도로 2004년과도 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 2004년도에 종균 공급업체의 변경으로 인하여 환경조절이 전년도와는 다름에도 불구하고 3회재배시까지 전년도와 동일하게 환경조절을 하였기 때문인 것으로 판단되

다. 이 재배주기에서 실제로 버섯밭이 과정에서부터 문제가 발생하였다. 이로 미루어 볼 때, 종균제조업체에 따라 환경조절에 차이가 있음을 알 수 있었다. 그리고 버섯의 품질은 차제에 고려하더라도 동일한 재배자와 재배사를 관리하였음에도 불구하고 주기별로 생산량에 많은 차이가 있는 것으로 미루어 볼 때, 일반 농가에서도 초보자가 재배를 시도할 경우 앞에서 소개한 을 지역의 재배자와 동일한 전철을 밟을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고 안정적으로 배지를 공급할 수 있는 시스템의 도입이 필요할 것으로 사료된다.

Table 2-6. Periodical yields of *Pleurotus eryngii*.(2004 year)

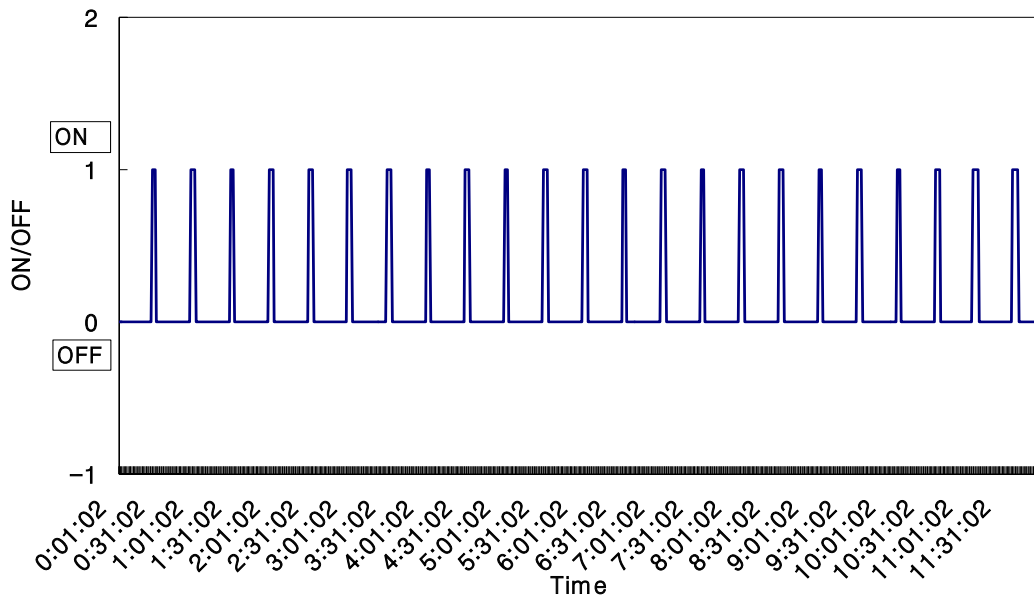
	재배사 동	배지량(병)	총수확량(g)	배지당수확량(g)
1차	A	36	3,018	88.8
	B	164	15,988	97.5
2차	A	192	9,043	47.1
	B	768	49,036	63.8
3차	A	240	10,820	45.1
	B	880	75,702	86.0
4차	A	240	14,060	58.6
	B	880	56,840	64.6
5차	A	240	12,520	52.2
	B	880	76,120	86.5
6차	A	240	12,610	52.5
	B	880	63,160	71.8

Table 2-7. Periodical yields of *Pleurotus eryngii*.(2005 year)

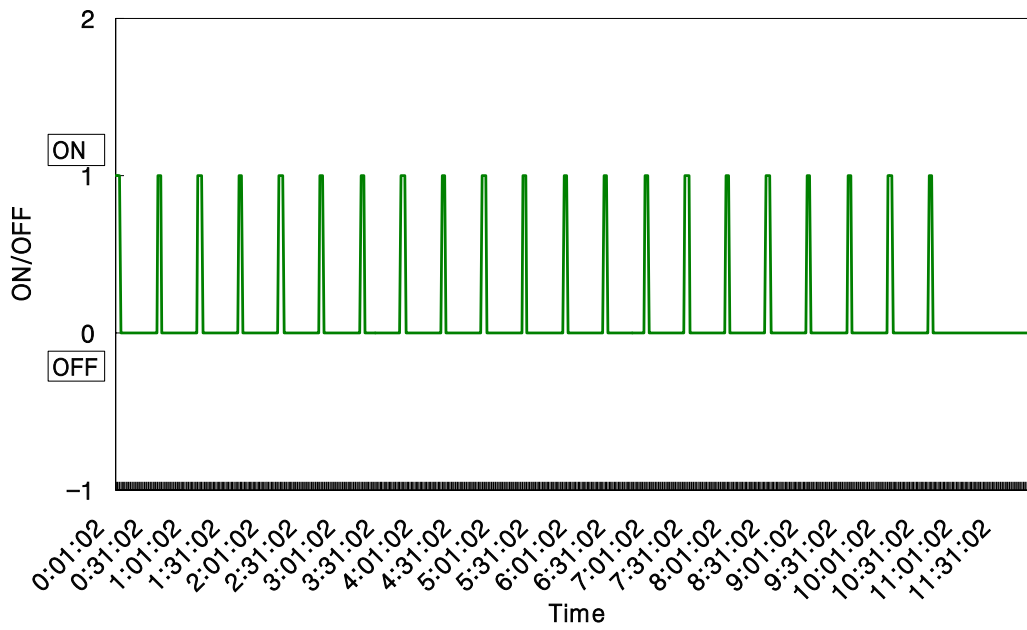
	배지량(병)	총수확량(g)	배지당수확량 (g)
1차	1232	38,380	31.2
2차	1120	28,000	25.0
3차	1,184	67,300	56.8
4차	1,120	108,500	96.9
5차	960	72,480	75.5
6차	960	94,400	98.3

Fig. 2-57은 배지병 입상 3일째의 농가 재배사에서 배기팬, 흡기팬 및 냉방기의 작동상황을 나타낸 것이다. 가습장치의 ON/OFF 상황은 측정기기를 설치한 직후, 농가가 이동식 가습기로 시스템을 변경하였기 때문에 계측이 불가능 하였다. 그리고 지속적으로 측정하고 싶었지만, 협조문제로 장기간 측정할 수 없었다. 그리고 ON/OFF 작동 상황을 계측하는 방법은 의외로 간단하였지만, 연구자들이 이 방법을 구상하는데 많은 시간을 보내었던 것도 사실이다.

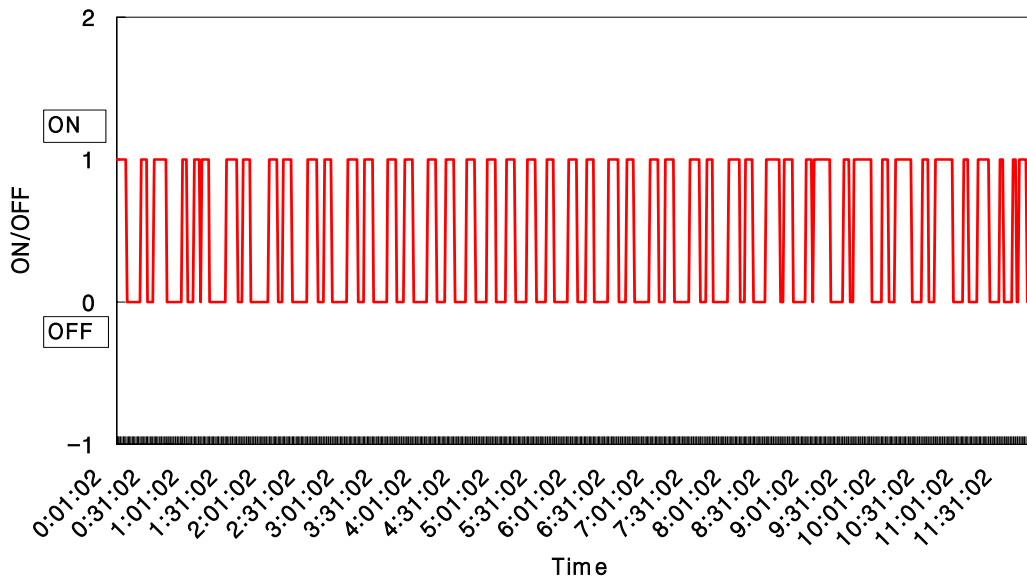
Fig. 2-57에서 알 수 있듯이 각 장치들은 거의 일정한 경향을 가지고 작동하고 있다. 물론 재배자가 버섯의 발이 및 생육 상태, 재배일수 및 계절에 따라 흡기 및 배기팬의 작동시간을 조절하고 있기 때문에 항상 ON/OFF 작동상황이 일정하지 않다. 그러나 연중 이와 같은 자료를 측정하여 데이터베이스화 한다면 버섯재배에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 이들 자료는 버섯의 품질과 수량, 에너지 절감 방법, 기기의 수명 등을 검토할 때 유용하게 이용할 수 있을 것이다. 따라서 앞으로 이와 같은 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.



(a) operating situation of intake fan



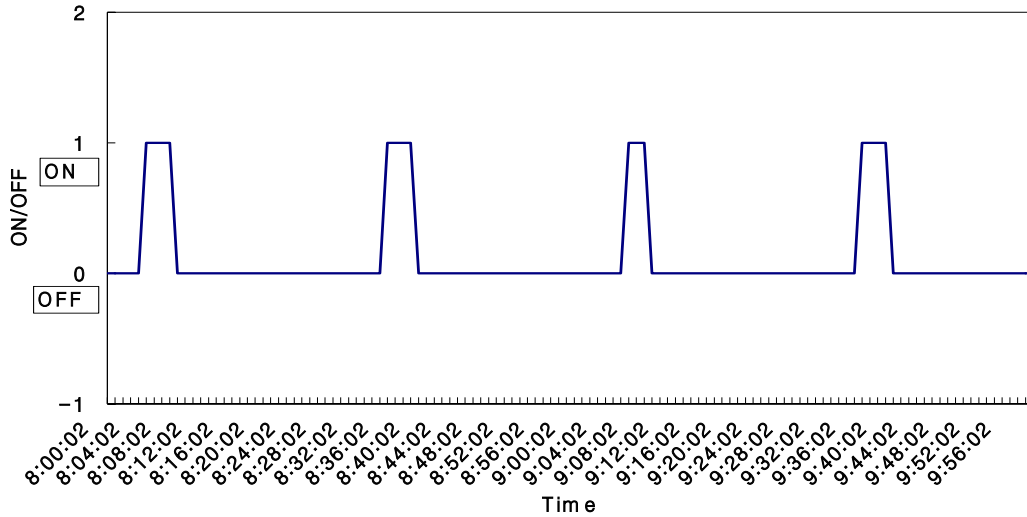
(b) operating situation of exhaust fan



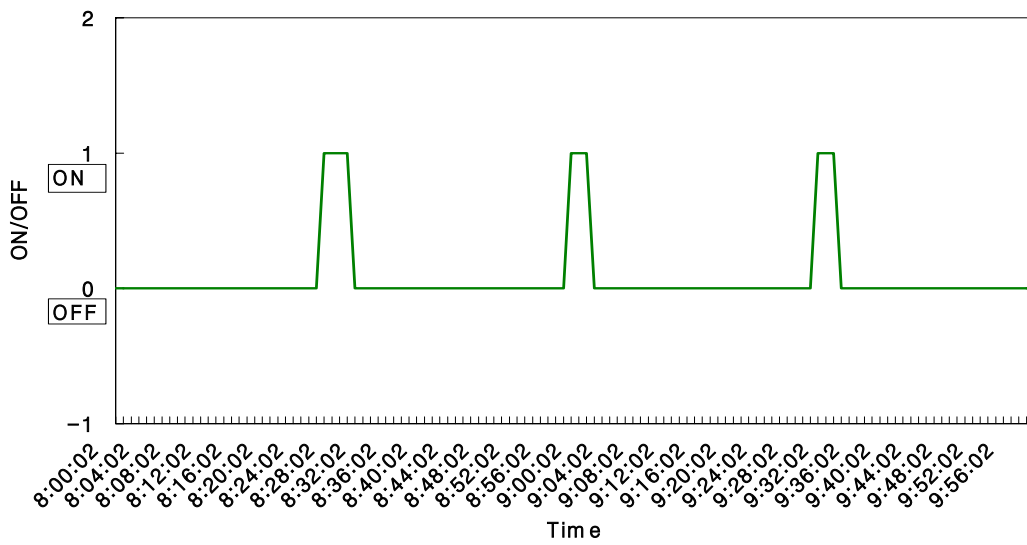
(c) operating situation of air cooler

Fig. 2-57. Operating situation of environment control equipments
(after day 3).

Fig. 2-58, Fig. 2-59 및 Fig. 2-60은 Fig. 2-57과 같은 작동상황을 좀 더 명확히 보기 위하여 2시간 단위로 나타낸 것으로서 재배일자별, 즉 재배초기, 중기 및 후기로 나누어 배기와 흡기 팬에 대하여 나타낸 것이다.

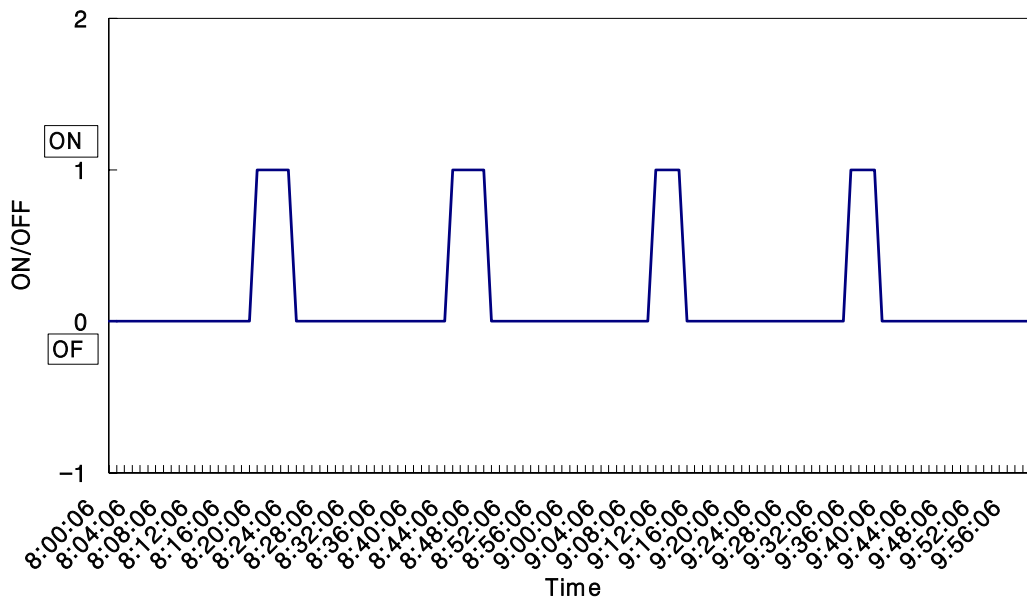


(a) operating situation of intake fan

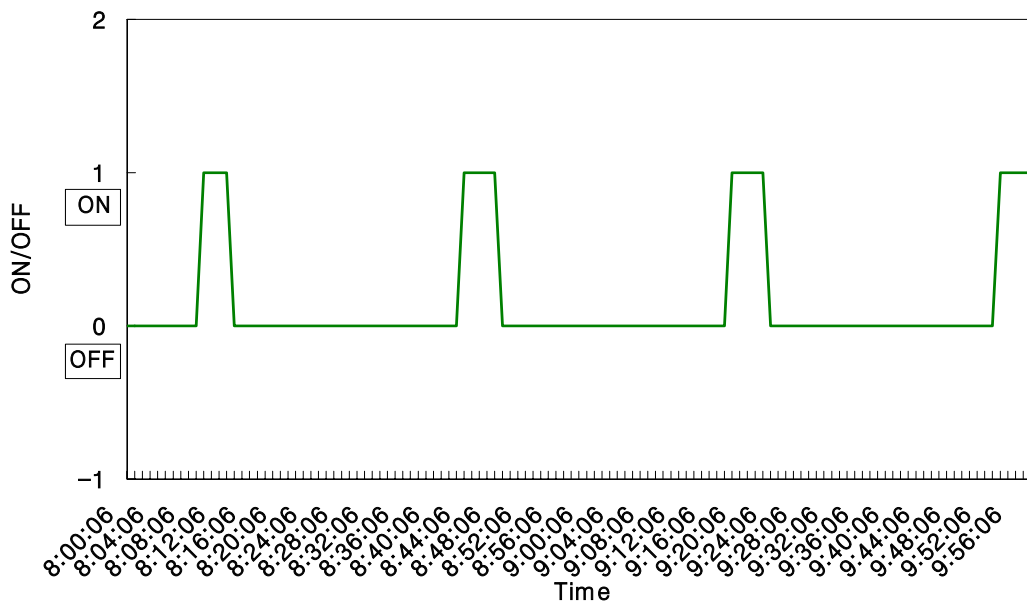


(b) operating situation of exhaust fan

Fig. 2-58. Operating situation of environment control equipments (after day 3).

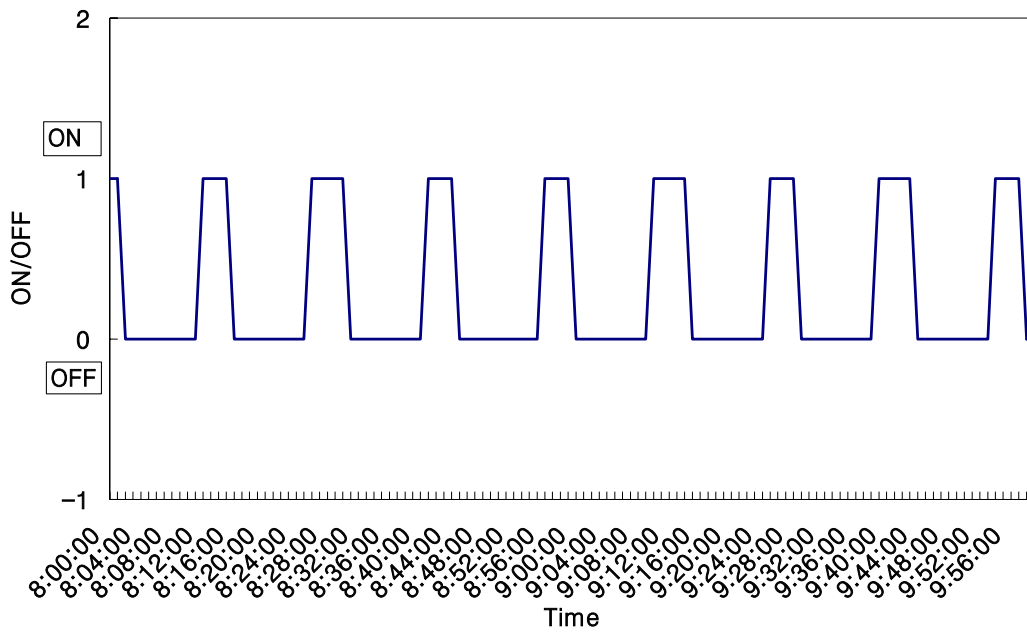


(a) operating situation of intake fan

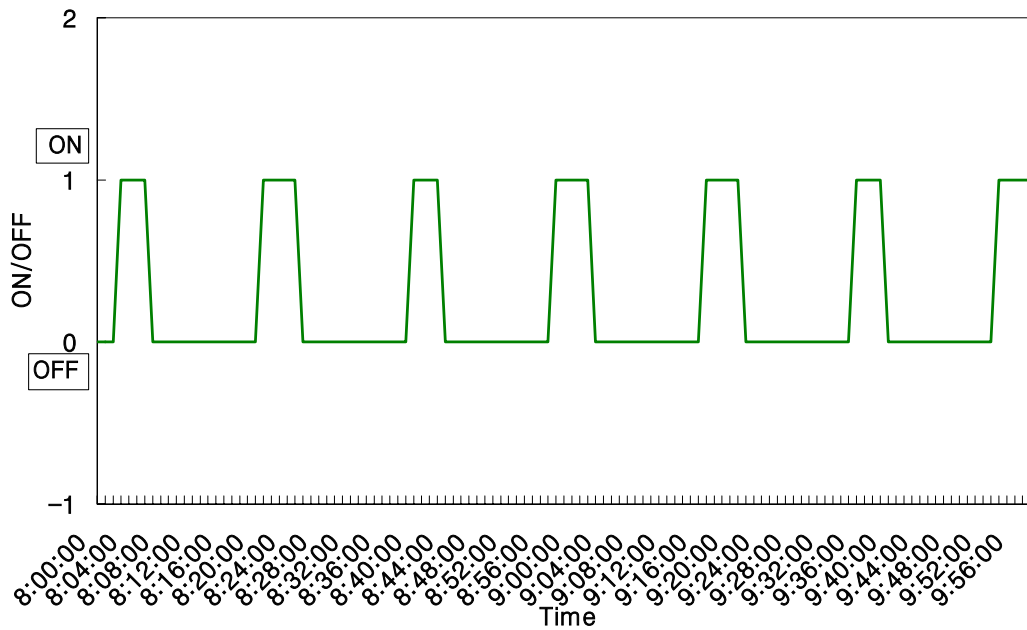


(b) operating situation of exhaust fan

Fig. 2-59. Operating situation of environment control equipments
(after day 9)



(a) operating situation of intake fan



(b) operating situation of exhaust fan

Fig. 2-60. Operating time of environment control equipments(after day 12)

Fig. 5-58, 59 및 60을 보면, 배기 및 흡기의 작동상황이 다소 다른 것을 알 수 있다. 즉, 입상 3일 후의 배기 및 흡기의 작동상황(ON/OFF)은 각각 2~3분/28~29분 및 2~3분/26분으로 나타났다. 9일 후는 각각 3~4분/29분 및 3~4분/19~20분이었고, 12일 후에는 각각 3~4분/13분 및 3~4분/9분 이었다. 2시간 동안 ON/OFF 작동상황이 약간 다르게(예, 2~3분, 3~4분 등) 나타난 것은 실제로 작동타이머를 2~3분 등으로 조절했기 때문이 아니고 모든 데이터의 기록 가격이 1분으로 되어 있기 때문이다. 즉 데이터 기록시간과 장치들의 작동시간과의 차이로 발생한 것이다. 그리고 재배일수에 따라 ON/OFF 작동상황이 다른 것을 알 수 있고, 재배일수 길어질수록 ON되는 시간은 4분으로 동일하지만, OFF 되는 시간은 짧아지는 것을 알 수 있다. 즉, 작동회수가 증가하였다. 이것은 탄산가스 농도가 재배일수에 따라 점점 증가고 또 버섯에서 발생 되는 열량이 많이 지기 때문인 것으로 판단된다.

나. 제어시스템 오작동에 의한 정보체계 수립

경보처리는 외기온의 급격한 변화에 대처하고, 또 정전이나 기기에 이상이 일 때 등 버섯 재배사에서 우발적으로 발생할 수 있는 상황을 재배자에게 알려주는 것으로서 버섯의 안정적인 재배와 품질향상을 위해서는 반드시 필요한 사항이다. 그러나 이러한 경보처리 시스템이 버섯 재배사는 물론 온실, 축사 등에 도입된 사례는 전무한 실정이다. 따라서 이와 관련한 이 분야의 전문가들이 포함된 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 도입 가능성을 현재까지 알려져 있는 자료들을 중심으로 소개하고자 한다.

국내의 경우, 이와 관련하여 과거, 현재, 미래로 나누어서 보면 다음과 같다.

1) 과거(1990년대 말 경)

과거(1995년경)에는 온실의 경보시스템이란, 온실 내부의 설정온도를 기준하여 상한 경보와 하한경보로 발생하는 경우가 대부분 이었다. 특히, 겨울철 작물의 냉해방지를 위하여 보일러의 고장이나 현재 온실 내부온도를 위주로 사용되었고, 관리자가 그 경보내용을 듣고 원격지에 직접 문제점을 해결할 수 있는 방법은 없었다. 그러므로 단순히 현재 온실 내부의 온도가 급격하게 떨어지거나 상승하게 되면 이 시스템을 이용하여 관리자에게 알려 주는 정도의 기능으로 사용되었다.

이러한 경보의 전달 방법으로는 과거에 많이 이용하였던 전화모뎀을 통하여 관리자가 소지하고 있는 무선호출기나 유선전화에 알려주는 것이 전부였다.(전화번호는 사전에 5개까지 등록하여 사용 함.)

이 시스템을 농가에 설치하여 커다란 효과를 보았다면, 겨울철에 보일러용 연료가 부족하여 난방이 되지 않는 경우와 보일러 계통의 고장으로 인하여 난방이 되지 않는 경우에는 아주 훌륭한 경보 전달 장치로서 역할을 수행하였다. 물론 그에 따른 문제점도 없지는 않았지만, 효과는 만족할만한 수준이었다.

본 시스템 도입 시 비용(1995년 기준) - 약 16,000,000원(온실용 복합 환경 제어장치를 포함, 온실 규모와 센서에 따른 차이가 있었다.)

2) 현재(2004년 기준)

현재로서는 국내 온실의 보급률이 현저하게 감소하여 온실관련 산업의 발전은 기대하기 어려운 현실이다. 그러나 다른 산업분야로의 활용도를 찾아 계속하여 개발을 진행하고 있는 업체도 있어 아주 비관적인 상태는 아니다.

이렇게 지속적으로 개발하고 있는 업체들이 개발한 제품을 기준으로 하나의 제품에 대해 살펴보면 다음과 같이 소개할 수 있다.

- 부착 가능한 센서 입력 : 기본적으로 온도센서 1개소. 추가가능.
- 정보전달 매체 : 중고 휴대폰을 이용하여 무선으로 전달.(월 사용료 필요함)
- 추가적인 기능 : 원격지에서 작동기의 동작 유무를 결정할 수 있음.(원격제어 가능. 이 경우에는 제어기에 추가하여 제어신호출력을 위한 부분이 별도로 필요 함.)
- 제품의 가격 : 기본 350,000원 / 1세트.
- 월 사용료 : 9,000원(중고 휴대폰의 정보전달 비용)
- 개발상태 : 아직 설치한 현장은 없으며, 2004년 11월경에 설치 가능.
- 특기사항 : 본 시스템은 온실의 환경조절과는 별도로 주(主)시스템에 부착하여 정보, 내부환경, 제어현황 등을 원격지에 있는 관리자에게 문자정보로 전달하는 장치로 개발되었음.

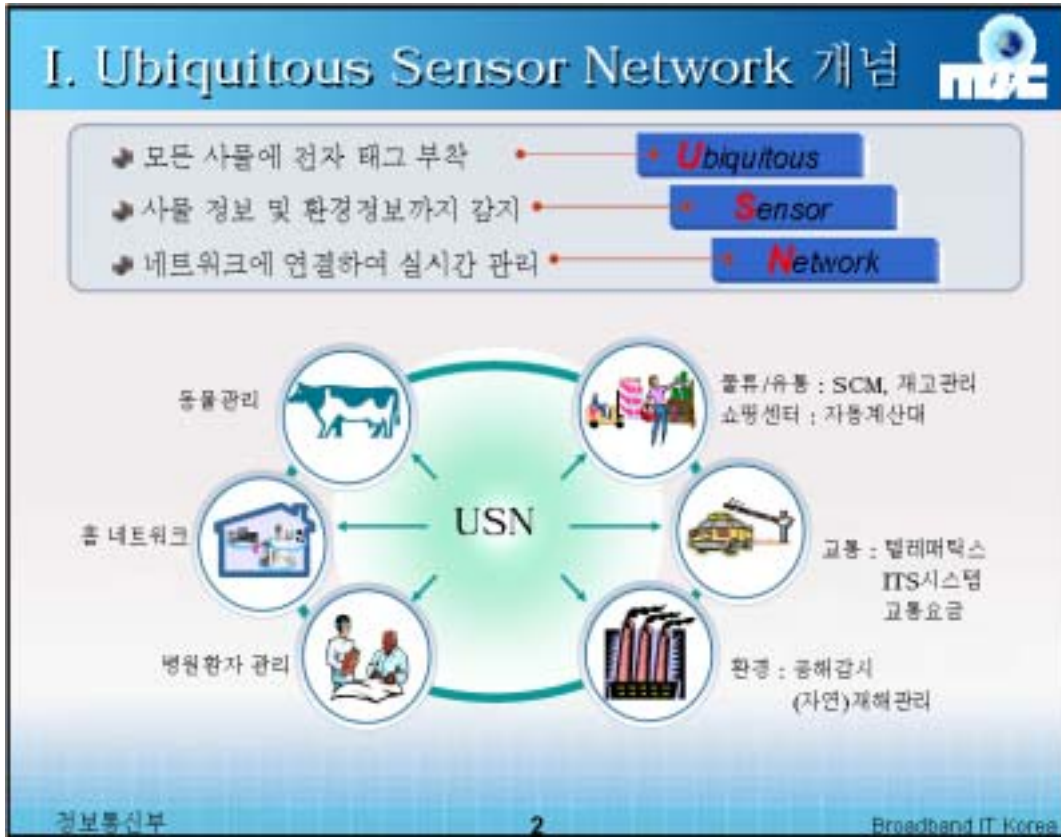
3) 미래(2007년경)

현재(2004년 6월) 정통부에서 대통령에게 보고한 'IT분야 신성장동력 추진전략 보고'의 내용에 따르면 "IT839전략" 중 '3대 인프라'로

- 광대역 통합망
- u-센서 네트워크(USN)
- 차세대 인터넷 주소체계(IPv6) 로 보고한 바 있다.

여기서, u-센서네트워크(USN)은 다음과 같은 개념으로 정리할 수 있다.

그러므로 향후에는 버섯재배사, 온실 및 축사나 공장의 내부 환경이나 모든 기기들을 원격지에서 언제든지 모니터링하고 조작할 수 있는 환경이 구축된다고 할 수 있다.



따라서 이러한 환경에 대비하여 버섯 재배사를 신축할 당시부터 향후 전개될 USN 환경에 적용할 수 있는 형태로 개발 또는 전개하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다음은 정보통신부에서 발표한 RFID관련 기술의 로드맵이다.



이상의 자료들 중심으로 버섯 재배사에 도입가능한 적당한 시스템을 앞으로 검토되어야 할 것으로 판단된다.

5. 버섯표면의 유리수분 처리

버섯표면의 결로수는 새송이버섯 뿐만 아니라 느타리버섯에서도 종종 발견할 수 있다. 새송이버섯의 경우, 일반적으로 버섯의 발이를 유도하기 위하여 발이기에 상대적으로 상대습도를 높게 유지하는 농가가 대부분이다. 따라서 새송이버섯의 경우, 입상 후 5일 전·후에서부터 뒤집기 전·후에 배지표면에 희미하게 형성된 결로수를 종종 볼 수 있고, 또한 생육기에도 가끔 발견할 수 있다. 병재배를 버섯재배에 도입한 초기단계에서는 안정된 발이를 유도하고, 또 생육초기에 환기를 억제하여 원기가 나쁜 버섯(어린버섯)은 사멸시키고 원기가 왕성한 버섯(큰버섯)만 성장하도록 하기 위하여 많은 결로수가 형성되도록 하였다. 그러나 결로수가 많으면 어린버섯이 사멸될 때, 발생되는 오염물질이 다른 버섯에도 악영향을 미칠 뿐만 아니라 큰버섯 또한 비정상적으로 성장하여 생육후기에 정상적인 갓의 형태를 갖추지 못하고 기형버섯이 된다는가 또는 갓 중앙부위가 함몰되어 괴멸하는 경우도 종종발생 하였다. 재배자들의 경험에 의하면, 버섯의 개체수를 조절하기 위하여 적당한 결로수의 개수는 1~2개 정도라고 하였다.

이와 같이 결로수가 발생하는 원인은 다습한 환경에서 잦은 환기나 변온조절로 인하여 배지 또는 버섯표면의 온도가 주변공기의 온도보다 상대적으로 낮기 때문에 결로수가 형성된다. 즉 하절기에 유리컵에 찬물을 넣었을 경우, 유리컵 표면에 물방울이 맺히는 것과 동일한 현상이다.

따라서 결로수가 많이 발생되면, 다음과 같은 방법을 이용하여 결로수의 개수를 1~2개가 될 때까지 조절한다. 특별한 경우를 제외하고는 1~2일정도이면 소기의 목적을 달성할 수 있다.

- 가습기는 가능한 짧은 시간간격으로 작동시켜 재배사 내부가 지나치게 습하지 않도록 한다. 단, 이 때, 배지가 건조할 정도로 가습을 줄이지 말아야 한다.
- 환기팬의 작동도 가급적 줄여서 주변공기온도와 버섯표면의 온도차를 줄여야 한다.
- 냉방기나 온풍기만 작동시키거나, 제상 팬을 작동시켜 실내의 공기를 유동시킨다.

- 내부온도를 가급적 일정하게 유지한다. 즉 잦은 변온조절을 하지 말아야 한다.
(일부 농가에서는 발이를 유도하기 위하여 발이기에 자주 변온조절을 하는 경우
우도 있음)

이상과 같은 방법을 방법으로 재배사를 관리하면 결로수에 의한 피해는 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

제 3 절 새송이버섯 재배사의 환경요인 최적화

1. 재료 및 방법

본 과제에서 사용된 실험 재배사는 샌드위치패널 구조로서, 외형의 크기는 폭, 길이, 최고 및 최저 높이가 각각 16m, 22.5m, 6.6m 및 3.6m인 삼각형 지붕으로 되어 있다. 이 내부에 폭, 길이 및 높이가 각각 3.5m, 7m 및 3.4m인 바닥면적 약 7.3평(7.9㎡) 정도의 재배실로 칸막이가 되어 있는 재배실에서 처리구별 실험을 실시하였다. 재배상의 크기는 길이 5m, 폭 1.3m, 단간 간격 0.31m이며, 폭 1.1m의 중앙 통로를 중심으로 좌·우 측에 각각 4단을 되어 있다. 한번 수용할 수 있는 배지는 약 4,400병 정도이지만, 실제 시험에서는 1,000병을 재배하였다. 단 탄산가스 농도의 처리별 시험에서는 3,000병을 입상하여 재배하였다. 그 중 조사대상 배지는 위치별, 즉 상중하, 출입측, 환기측, 재배상 중간에 시험구를 배치하여 1,000병 또는 3,000병중에 방임처리구와 슈움처리구별로 각각 72병으로 하였다. 그리고 배지의 중량은 약 580~590g 정도이고, 환경조절장치로는 냉·난방기, 가습기, 환기팬 등으로 구성되어 있다. 각 조건별로 시험에 사용한 종균과 배양온도, 배지의 재료, 배지의 혼합비율, 생육온도, 습도 등은 다음과 같다.

각 요인별 실험은 미송톱밥 : 첨가물의 비율이 7:3의 비율로 섞고 첨가제는 미강 : 밀기울 = 1 : 1로 하였다. 수분은 65~70%로 맞추고 121℃에서 90분간 스팀살균 후에 사용하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 탄산가스 농도에 의한 새송이버섯 자실체의 영향

1) 소규모재배실(7.9㎡)조건에서의 탄산가스 농도의 영향

가) 방임처리시 탄산가스 농도에 따른 자실체의 발생 특성

Table 3-1은 방임 및 슈움처리구의 경우, CO₂ 농도에 따른 자실체 발현, 수확기의

변화 및 수확률을 나타낸 것이다. 탄산가스 농도에 따른 새송이버섯의 발생생태를 살펴보면, 발이소요일수에 있어서 1,600ppm일 경우 10.5일, 2,400ppm과 3,200ppm일 경우에는 10일정도 소요되었다. 이것은 탄산가스의 농도가 자실체의 발생을 촉진시킨다는 연구결과와 일치하는 것으로 2,400 및 3,200ppm간의 차이가 없는 것은 두 처리간의 발이초기의 탄산가스 농도가 비슷하다는 것을 의미한다. 균류기일로부터 수확완료일까지의 수확소요일은 방임처리구의 경우, 1,600, 2,400ppm 및 3,200ppm 처리에서 대해 각각 18.5, 18.5 및 19.5일이 소요되었고, 숙기처리구에서는 16.0, 16.0 및 15.5일이 소요되었다. 탄산가스의 농도가 높으면 보통 수확기가 빨라지는데 3,200ppm정도의 고농도에서는 숙기여부에 따라 다른 결과가 도출되었다. 이것은 숙음처리를 하여 하나만 남기고 나머지를 제거하면 탄산가스에 대한 저항성이 커져서 성장촉진효과를 보이고, 방임처리구에서는 발이가 고르지 못하거나 개체 간에 생육시기가 다르면 높은 농도의 탄산가스에 오히려 피해를 받아 수확소요일수가 길어지게 된다. 평균수확률은 버섯재배의 경제성분석에서 있어서 중요한 의미를 가지는데, 숙기처리구가 98.8%로서 방임의 97.2%보다 1.6% 높은 수치를 보였다. 탄산가스의 농도별로 보면, 탄산가스 농도를 1,600ppm 및 2,400ppm로 처리한 숙임처리구에서는 100%, 3,200ppm에서는 96.5%의 수확률을 보였다. 방임처리에서는 더 분명한 차이를 보여 1,600, 2,400 및 3,200ppm에서 각각 98.6, 99.3 및 93.8%의 수확률을 보였다. 3,200ppm정도의 고농도에서는 병의 발생정도가 높게 나타나서 폐기하는 비율이 높아진다.

Table 3-1. CO₂농도에 따른 자실체 발현 및 수확기의 변화

CO ₂ 농도 (ppm)	발이소요일	수확소요일		수확기간		수확율(%)	
		방임	숙기	방임	숙기	방임	숙기
1,600	10.5	18.5	16.0	3.5	3.0	98.6	100
2,400	10.0	18.5	16.0	3.5	3.0	99.3	100
3,200	10.0	19.5	15.5	4.5	4.0	93.8	96.5

그리고 **Table 3-2**는 방임 및 숙음처리구의 경우, 탄산가스 농도변화에 따른

자실체 생육특성을 나타낸 것이다.

Table 3-2에서 알 수 있듯이 방임처리구의 경우, CO₂ 농도를 각각 1,600, 2,400 및 3,200ppm이하로 유지하였을 때, 자실체의 특징은 다음과 같다. 즉, 대의 길이가 각각 95.9, 98.4 및 89.6mm고, 대의 두께는 27.7, 28.9, 및 30.9mm이었다. 이러한 결과는 탄산가스가 대의 길이를 신장시킨다는 기존의 연구결과와도 일치하는 것이다. 본 연구결과 대의 두께가 증가하는데도 영향을 미친 것으로 나타났다. 갓의 직경을 보면, 탄산가스의 농도가 높아질수록 처리구별로 각각 41.3, 39.2 및 37.4mm로서 탄산가스 농도가 높아질수록 작아졌으며, 수확한 자실체의 무게는 각각 98.6, 102.5 및 98.5g정도로 나타났다. 탄산가스 농도를 1,600에서 3,200ppm까지 증가시키면 대의 길이가 길어지고 대의 두께가 두꺼워 지기 때문에 무게도 정의 상관관계를 보일 것 같았지만, 대의 두께를 대의 중간부분에서 측정하기 때문에 3,200ppm에서는 대의 두께가 밑 부분은 두껍고 위쪽은 가늘어 저서 무게가 많이 나가지 않는다. 또한 3,200ppm에서는 폐기처리되는 것이 상대적으로 많아 평균적인 수확량은 적었다. 무게와 함께 가장 중요한 특징 중의 하나인 품질에 있어서는 2,400ppm에서 6.1로써 가장 우수하였고 1,600ppm에서 5.5, 3,200ppm에서는 5.4를 기록하였다. 탄산가스 농도처리별 병당 경수는 3,200ppm로 처리한 구간에서 1.9로 가장 높게 나타났지만, 이 처리구의 경우 지나치게 높은 탄산가스 농도에 의해 갓의 형성이 지연되고 주름(gill)이 대에 수평으로 형성되어 품질이 전반적으로 저하되었다. 탄산가스 농도는 발이를 촉진시키지만, 작은 개체의 생장을 억제하기 때문에 발이기를 지나 신장기 때에는 발이개체가 많아도 유효한 경수가 줄어들게 된다.

Table 3-2. 방임처리구에서 탄산가스농도에 따른 자실체의 생육특성

(총 입상량 기준)

CO ₂ 농도 (ppm)	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게 (g)	품질 (1~9)	경수/병
1,600	95.9	27.7	41.3	99.7	5.5±1.5	2.5
2,400	98.4	28.9	39.2	102.5	6.1±1.7	2.2
3,200	99.6	30.9	37.4	98.5	5.1±2.0	1.9

Table 3-3은 탄산가스 농도에 따른 방임처리구의 품질별 수량을 나타낸 것이다. **Table 3-3**를 보면, 상품으로 분류되는 9~7까지의 품질별 수량이 2,400ppm에서 5,951g정도로서 전체 수확량의 40.6%를 차지하였다. 그 다음으로는 3,200ppm농도에서 4,258g으로서 32%를 차지하였다. 그러나 중품은 1,600ppm으로 처리한 처리구에서 6,441g(45.5%)이 생산되어 가장 많았고, 2,400ppm에서 5,716g(39%), 3,200ppm에서 4,736g(35.6%)가 생산되었다. 하품은 3,200ppm처리한 처리구에서 4,311g(32.4%)를 생산하여 처리구 중에서 가장 많은 양이 생산되었다. 이것을 종합적으로 보면, 2,400ppm으로 처리한 처리구가 가장 우수한 품질을 보였고. 그 다음이 1,600ppm과 3,200ppm 순이었다. 탄산가스 농도는 자실체 모양형성에 가장 많은 영향을 주는데 어느 정도까지의 농도는 품질과 수량에 긍정적인 영향을 미치지만, 지나치게 높으면 오히려 악영향을 끼친다는 것을 알 수 있다. 총 입상량을 기준으로 한 병당무게는 탄산가스농도에 더 민감한 반응을 보였다. 즉 1,600, 2,400 및 3,200ppm에서 각각 98.3, 101.8 및 92.4g으로 최고/최저 비율이 110%이상이었다.

Table 3-3. 탄산가스 농도에 따른 방임처리구의 품질별 수량(총 입상량기준)

CO ₂ 농도 (ppm)	품질별수량(g)/비율(%)			총수확량 (kg)	경수/병	무게/병 (g)
	상(9-7)	중(6-4)	하(3-1)			
1,600	4,247/30.0	6,441/45.5	3,468/24.5	14,156	2.4	98.3
2,400	5,951/40.6	5,716/39.0	2,990/20.4	14,657	2.3	101.8
3.200	4,258/32.0	4,736/35.6	4,311/32.4	13,305	1.9	92.4

나) 슈음처리시 탄산가스 농도에 따른 자실체 발생특성

새송이버섯 초기 재배법은 수량에 초점을 맞추어 유효경수가 많게 환경조건을 맞추었으나, 대량생산 속에 품질의 차별화가 일어나자 안정적으로 발이 되면서 유효경수는 줄이는 방법을 많이 연구하게 되었다. 발이수 자체를 조절한다는 것은 어려운 기술이고, 자칫 잘못하면 발이시기가 불균일하여 환경설정에 어려움이 있을 수 있다. 이

러한 이유로 새송이버섯 재배기술을 농가에 보급할 때, 인위적으로 우량한 1~2대만을 남기고 나머지를 제거해주는 방법으로 하였다. 이것을 슈음처리라고 하는데, 중부 이남 지역에서는 폭넓게 이용되고 있다. 그래서 슈음재배법에 맞는 환경조건 확립실험도 병행하여 수행하였다.

Table 3-4는 슈음처리구의 경우, 탄산가스 농도 변화에 따른 자실체 생육특성을 나타낸 것이다.

Table 3-4. 슈음처리구에서 탄산가스농도에 따른 자실체의 생육특성

CO ₂ 농도 (ppm)	대길이	대두께	갓직경	무게	품질
1,600	120.0	38.6	52.0	90.7	9.4±0.8
2,400	122.2	42.0	47.3	98.2	9.5±0.7
3,200	123.4	40.7	32.2	77.3	8.0±0.5

Table 3-4에서 알 수 있듯이 슈음처리구의 경우도 방임처리구와 마찬가지로 탄산가스 농도가 증가할수록 대의 길이는 길어졌다. 방임처리구와 슈음처리구에서 대의 평균 길이가 각각 98mm와 121.9mm로 슈음처리구가 방임처리구에 비해 24% 정도 길어졌다. 각각의 농도에 따른 대의 길이는 3,200ppm에서 123.4mm로 가장 길었으며, 2,400ppm에서 122.2mm, 1,600ppm에서는 120mm였다. 대의 두께는 2,400ppm에서 42mm로 가장 두꺼웠고, 3,200ppm에서 40.7mm로 그 다음이었다. 갓의 직경은 1,600ppm에서 52mm, 2,400ppm에서 47.3mm, 3,200ppm에서 32.2mm로 나타났다. 탄산가스의 농도가 버섯의 신장을 촉진하고, 갓의 생장을 억제한다는 효과를 본 실험결과로부터 확인할 수 있었다. 갓의 두께는 3,200ppm으로 처리한 구간에서 상대적으로 다소 가늘어졌다. 수확량은 2,400ppm으로 처리한 구에서 98.2g으로 가장 많이 수확되었고, 3,200ppm에서 77.3g으로 가장 적은 양이 수확되었다. 특히 3,200ppm에서는 갓의 직경이 대의 두께보다 작아서 품질상의 문제가 발생하였고, 갓이 기형이 되거나, 주름(gill)이 불균일하게 발달하는 기형증상이 나타나서 품질이 저하되었다. 품질은 2,400ppm에서 가장 우

수하였고, 3,200ppm에서는 8.0으로 가장 낮은 수치를 기록하였다.

Table 3-5는 CO₂ 농도에 따른 자실체 색도를 나타낸 것으로서 **Table 3-5**에서 알 수 있듯이 탄산가스의 농도에 따른 자실체 갖의 색도와 문양은 처리농도별로 유의성 있는 차이는 없었다.

Table 3-5. CO₂ 농도에 따른 자실체의 색도

CO ₂ 농도	색도			패턴
	L	a	b	
1,600ppm	60.3	5.0	13.6	민무늬
2,400ppm	60.0	4.9	14.0	민무늬
3,200ppm	60.1	5.1	14.2	민무늬

Table 3-6은 탄산가스농도변화에 따른 숙기처리구의 자실체의 품질변화를 나타낸 것이다. **Table 3-6**을 보면 알 수 있듯이 특품이라고 할 수 있는 품질 9는 2,400ppm으로 처리한 구에서 6,108g(43.2%)이고, 1,600ppm에서 5,342g(40.9%), 3,200ppm으로 처리한 구에서는 3,480g(32.4%)으로 나타나 3,200ppm으로 처리한 구에서 가장 적은 생산량을 보였다. 상품인 품질 8은 탄산가스 농도 1,600ppm, 2,400ppm 및 3,200ppm으로 처리한 구에서 각각 5,446g(41.7%), 6,172g(43.7%) 및 3,953g(36.8%)정도로 2,400ppm으로 처리한 구에서 가장 많이 생산되었다. 결과적으로 특품과 상품 생산비율을 보면 2,400ppm에서는 86.9%이고, 1,600ppm에서는 82.6%이고, 3,200ppm에서는 69.2%로 가장 낮은 비율을 보였다.

또한 품질뿐만 아니라 전체 생산수량에서도 3,200ppm에서 생산한 것을 100%으로 보면, 1,600ppm 및 2,400ppm으로 처리한 구에서는 각각 121% 및 131%이었다. 이러한 결과는 고농도의 탄산가스가 자실체의 정상적인 발달과정을 억제시키기 때문에 3,200ppm으로 처리한 구가 다른 처리구에 비해 비정상적인 자실체들이 많이 나타났기 때문이다. 탄산가스의 농도가 1,600ppm 일 때, 갖의 형성이 대와 직각으로 형성되어 정상적인 모습에 가깝지만, 2,400ppm 이상이 되면 갖의 아랫부분인 길(gill)이 대로부

터 직각으로 발달하지 않고 대와 평형을 이루는 주름이 형성되기 시작하였다. 3,200ppm에서는 갓과 길(gill)의 형성이 억제되어 대부분의 자실체가 대의 두께가 갓의 직경 보다 크게 된다.

Table 3-6. 슈기처리구에서 탄산가스 농도변화에 따른 자실체의 품질변화

CO ₂ 농도 (ppm)	품질별수량(g)/비율(%)			수량지수
	9≤	9>,8≤	8>,7≤	
1,600	5,342/40.9	5,446/41.7	2,272/17.4	121
2,400	6,108/43.2	6,172/43.7	1,852/13.2	131
3,200	3,480/32.4	3,953/36.8	3,309/30.8	100

Photo 3-1은 탄산가스 농도에 따른 자실체의 변화를 나타낸 것이다. 새송이버섯은 일반적으로 갓의 직경과 대의 두께와의 차이가 작을수록 고품질버섯으로 평가된다. **Photo 3-1**에서 알 수 있듯이 탄산가스 농도를 1,600ppm으로 처리한 구에서 버섯이 가장 전형적인 버섯형태를 갖추고 있다, 그러나 2,400ppm으로 처리한 경우에는 상대적으로 전형적인 버섯 갓의 모양과는 약간의 차이가 있지만, 품질측면에서 우수한 것으로 판명 받을 수 있다. 그리고 탄산가스 농도를 3,200ppm 정도로 처리한 생육실에서 작업할 경우, 작업자들이 고농도의 탄산가스에 의한 것으로 추정되는 경미한 두통과 답답한 느낌을 가지는 경우가 종종 발생하여 작업환경 측면으로는 버섯품질 측면에서 바람직하지 않는 환경조건으로 사료된다.



Photo 3-1. 탄산가스 농도에 따른 자실체 변화

다) 배지병 입상 개수에 따른 생육일수별 탄산가스의 농도변화

갓의 형성에 있어서 가장 영향을 많이 미치는 요소는 탄산가스의 농도이다. 적당한 탄산가스 농도는 버섯의 발이수를 늘이는 방향으로 작용을 하지만, 상대적으로 높으면 갓과 길(gill)의 발달을 억제시키는 작용을 한다. 자연계의 버섯균사들이 지하부나 목재 등의 기질에서 자실체가 형성되지 않고 지상부로 나와서 분화가 되는 것은 아마도 이전단계에서는 탄산가스의 농도가 높아서 분화신호가 억제되었기 때문이 아닌가 생각된다. 자연계에서 채취되는 버섯은 대부분 주름(gill)의 발달이 잘 되어 있고, 또한 갓이 충분히 개산되어있거나 개산되기 전의 상태고, 상대적으로 대의 두께가 가늘고 갓의 크기가 상당히 크다. 그러나 인공재배 되는 버섯들은 갓이 작고 대의 두께가 두껍다. 이것은 자연환경과 인공적으로 재배하는 환경하에서 탄산가스 농도의 차이에서 기인한 것으로 사료된다. 버섯은 타가생물이기 때문에 지속적으로 탄산가스를 배출한다. 적절한 탄산가스 농도를 넘어서게 되면 환풍기로 인위적인 환기를 시켜주어야 한다. 재배사의 체적이 작으면 더 자주 환기를 시켜야 하는데, 환기를 시키게 되면 생육실내부의 온도, 습도조건이 외부공기로 인해 평형상태가 깨어지게 된다. **Fig. 3-1**은 바닥면적이 7.3평이고 체적이 7.9m³인 생육실에 850ml 배지병 1,000개를 입상한 경우,

탄산가스 농도를 각각 800, 1,600 및 2,400ppm으로 설정하였을 때 생육실내의 탄산가스 농도변화를 관측한 것이다. 각 생육실은 무동력 환기창(자연환기)을 통해 신선한 공기가 재배사 내부로 통할 수 있게 되어있다. **Fig. 3-1**에서 알 수 있듯이 생육일수 10일까지 내부 탄산가스 농도는 800ppm 내외로 일정하게 유지되었지만, 발이가 시작된 11일부터 급격하게 농도가 증가하여 지속적으로 상승하였다. 설정치 이하로 탄산가스농도를 유지하기 위하여 동력 시로코 팬을 설치하였는데, 탄산가스 농도를 800ppm으로 설정한 실험구에서는 재배 4일만에 팬이 가동되었고, 1,600ppm은 13일만에 가동되었다. 그리고 2,400ppm으로 설정한 실험구에서는 16일 만에 가동되었다. 균류기한 후, 균사의 재부상과 응집까지는 많은 탄산가스가 배출되지 않지만 발이가 시작되면 배출량이 급격히 증가한다.

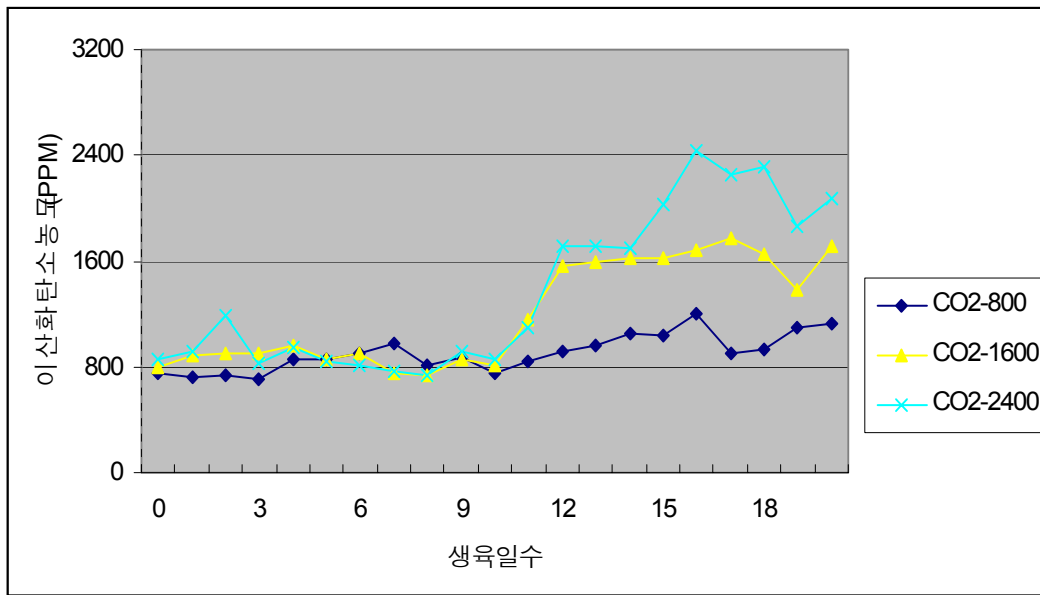


Fig. 3-1. 생육일수에 따른 탄산가스 농도변화 (7.9m³, 1,000명 입상).

Fig. 3-2는 같은 체적(7.9m³)의 생육실에서 850ml 배지병을 각각 3,000병씩 입상하고, 탄산가스 설정치를 한 단계 높여서 1,600ppm, 2,400ppm 및 3,200ppm으로 설정하여 탄산가스농도의 변화치를 측정하였다. 이 실험에서는 탄산가스농도를 설정치까

지 급격하게 끌어올리기 위해 2,400ppm과 3,200ppm 으로 설정한 생육실의 무동력환기창을 모두 밀봉하였다. 1,600ppm의 생육실은 그대로 개방하였다. 균꺾기 후 생육 2 일째부터 지속적으로 탄산가스의 농도가 높아졌다. 발이기를 기점으로 탄산가스의 농도증가속도가 빨라졌다. 실험을 시작한 후, 7일이 경과되는 시점에서 2,400ppm 생육실의 환기창이 가동되기 시작하였고, 15일부터는 3,200ppm의 생육실 환기창도 가동되기 시작하였다. 대의 길이와 무게도 발이기 이후 30mm까지는 완만한 증가세를 보이다가 이후에는 급격한 신장기를 보였다.

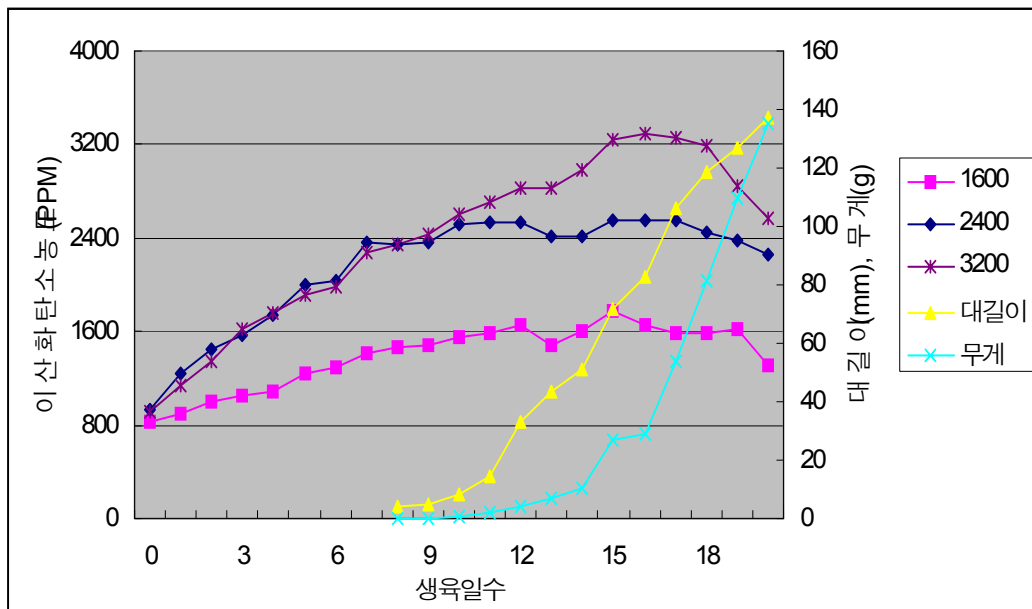


Fig. 3-2. 생육일수에 따른 탄산가스 농도 및 자실체 특성 변화
(7.9m³, 3,000병 입상)

2) 농가실증시험에서 환경의 영향

Fig. 3-3은 도출된 각 요인별 최적 환경조건을 현지농가에서의 효용성을 확인하기 위하여 실증시험을 수행한 결과로서 생육일수에 따른 CO₂ 농도변화와 자실체 대의 길이 및

무게 변화(25.5m³, 10,000병)를 나타낸 것이다. 실증시험 대상 농가의 재배사 바닥면적과 체적은 각각 15평 및 25.5m³이다. 실증시험은 생육실에 탄산가스설정 농도를 주요인으로 하는 1처리(1,600ppm)와 2처리(2,400ppm)로 하고, 1,400ml 배지병을 각각 10,000병 입상하였다. 1처리구 관행적인 재배방법으로 습기 업할 때까지 실내온도를 17℃로 유지하고, 습기 작업 후에는 15℃로 유지하였다. 상대습도는 발이기에 90% 정도로 유지하고 발이 후기에는 80%를 유지하였다(이하 기존환경이라 함). 2처리구는 탄산가스 농도를 2,400ppm 이하로 유지하고, 온도조건은 발이기까지 17℃, 습기 전까지는 16℃, 신장기와 수확기에는 15℃로 설정하였다. 이 처리구에서의 습도조건은 발이직전까지 90%, 습기직전까지 85%, 습기 후에는 80%로 유지하였다(이하 구명된 환경이라 함). 재배사의 환경은 관행대로 복도 쪽에 환기창을 내고 복도에 양압을 유지하여 환기를 서서히 실시 하였다. 실증시험 대상농가의 재배사 바닥면적은 시험재배사보다 2배정도 되는 규모이고, 높이는 4.5m로 시험재배사의 3.5m보다 1.3배 높았다. 균급기 후, 탄산가스의 농도는 시험재배사보다 약간 높은 약 1,000ppm대를 유지되다가 서서히 증가되었다. 발이가 시작된 6~7일부터 탄산가스가 급격히 증가되었고, 갓이 형성되는 시기인 8~9일경부터는 증가폭이 더 커졌다. 대의 길이와 무게의 신장율도 시험재배사의 결과와 유사하게 30mm까지는 증가폭이 둔하고 이후의 신장속도는 급격하게 증가되는 경향을 보였다. 대의 길이가 30mm정도이면, 자실체가 분화되어 배지병 주둥이 위로 갓이 신장되어 나왔을 때의 길이이다. 육안으로 보기에 30mm가 자란 이후에는 성장하는 속도가 엄청나게 빠르다. 습기할 때의 대의 길이가 30mm정도인데 일반적으로 습기 후 4~5일 경과되면 수확기에 접어들 정도로 빠른 성장을 보인다.

그리고 Fig. 3-4는 실증시험 대상 재배사 내부의 온도 및 상대습도의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 3-4에서 알 수 있듯이 온도와 습도는 시험재배사에서 도출한 최적 설정치를 적용하였으나, 실증시험 대상농가 재배사의 체적이 시험재배사의 체적보다 크기 때문에 시험재배사와 동일한 환경조건을 완벽하게 재현하는 데는 어려움이 있었다.

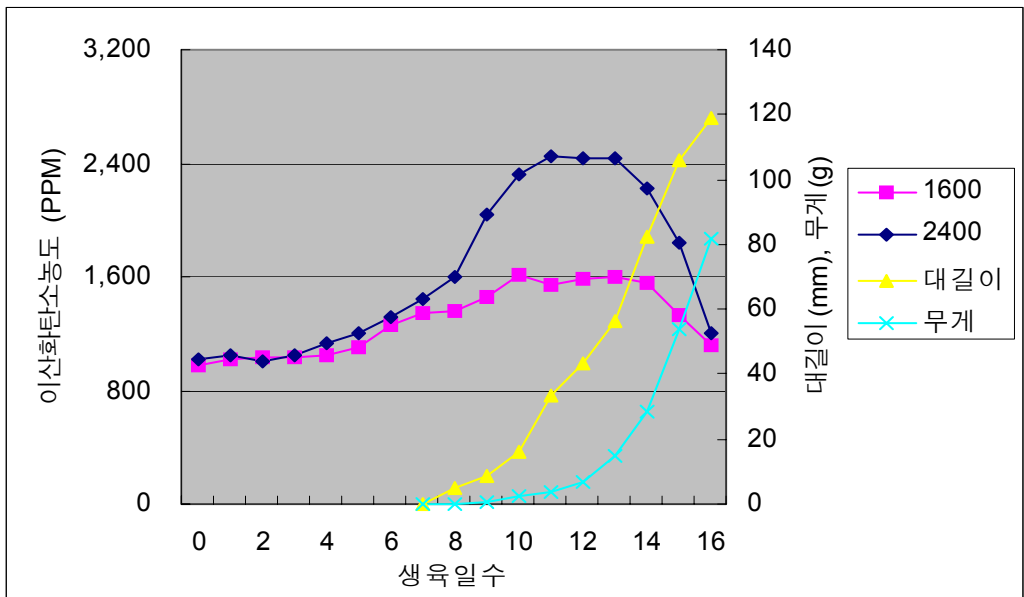


Fig. 3-3. 생육일수에 따른 CO₂ 농도변화와 자실체 대의 길이 및 무게 변화.
(25.5m³, 10,000명)

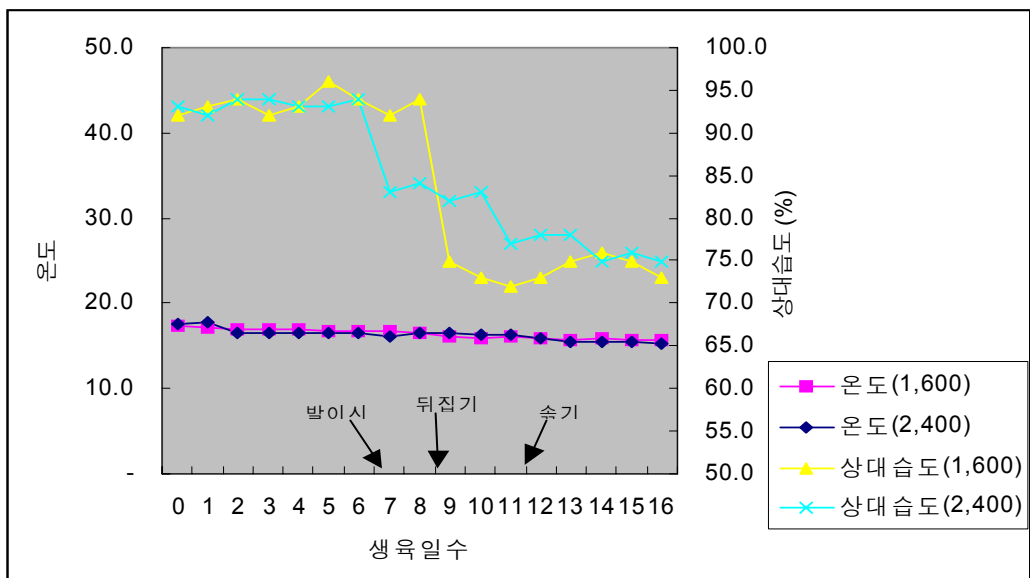


Fig. 3-4. 생육기간중 온도 및 상대습도의 변화.

Table 3-7은 처리별 자실체의 생육특성을 나타낸 것으로서 습기작업으로 하나의 대만을 남긴 경우, 1처리(CO₂ 1,600ppm)구에서 대의 길이는 107.6mm, 2처리구에서는 107.5mm로 처리구에 관계없이 비슷하였고, 자실체의 무게는 1처리구에서 97.8g정도로 96g의 2처리구보다 101.9% 많이 생산되었다. 그러나 품질은 1처리구가 7.5로서 2처리구의 7.6보다 낮았다.

Table 3-7. 실증시험에서의 처리별 자실체 생육특성(버섯의 대 1개)

처리내용	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게 (g)	품질 (1~9)
1처리(1,600)-1대	107.6	46.6	52.2	97.8	7.5
2처리(2,400)-1대	107.5	44.0	42.4	96.0	7.6

Table 3-8은 처리별 자실체의 생육특성을 나타낸 것으로서 습기작업으로 두개의 대를 남긴 경우, 2처리구에서 자실체의 무게가 147.4g 으로서 1처리구의 146.6g보다 약간 많이 생산되었으며, 품질도 2처리구가 6.7로서 1처리구의 6.5보다 약간 우수하였다.

Table 3-8. 실증시험에서의 처리별 자실체 생육특성(버섯의 대 2개)

처리내용	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게 (g)	품질 (1~9)
1처리(1,600)-2대	99.5	37.8	48.1	146.6	6.5
2처리(2,400)-2대	103.5	39.4	41.6	147.4	6.7

Table 3-9는 방임처리 하였을 때의 처리별 자실체의 생육특성을 나타낸 것으로서 대의 길이는 1처리구 87.1mm, 2처리구 86.9mm로서 1처리구가 2처리구보다 약간 길게 나타났다. 대의 두께는 1처리에서 30.0mm, 2처리에서 31.1mm로 관측되었다. 자실체의 무게는 1처리구에서 129g 정도로 2처리구의 128.6g보다 많이 생산되었으며, 품질은 2처리구에서 4.2정도로 높게 나타났다.

Table 3-9. 실증시험에서의 처리별 자실체 생육특성(방임처리구)

처리내용	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게 (g)	품질 (1~9)	경/병	무게/경
1처리(1,600)	87.1	30.3	39.6	129.0	4.1	3.0	43.3
2처리(2,400)	86.9	31.1	35.8	128.6	4.2	3.0	43.4

Table 3-10은 방임처리구에서 처리별 및 품질별 버섯의 수량을 나타낸 것으로서 품질별 수량을 살펴보면, 1처리구의 경우 상품(9~7)이 3,810g 정도 생산되어 상품의 비율이 21.1%정도였다. 2처리구의 경우는 상품비율이 23.9%인 4,303g정도 생산되었다. 중품은 1처리구가 9,319g(51.6%), 2처리구는 8,678g(48.2%)정도 생산되었다.

Table 3-10. 실증시험에서의 처리별 및 품질별 수량(방임처리구).

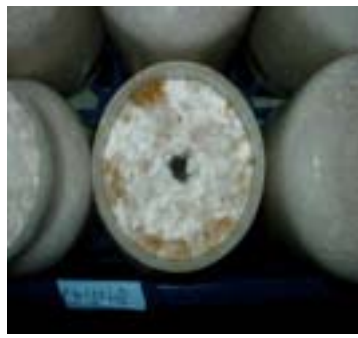
처리내용	품질별 수확량(g)/비율(%)			총수량 (g)
	9-7	6-4	3-1	
1처리(1,600)	3,810/21.1	9,319/51.6	4,930/27.3	18,060
2처리(2,400)	4,303/23.9	8,948/49.7	4,753/26.4	18,004

이상의 결과를 보면, 시험재배사에서 구명된 최적환경조건이 농가실증시험에서 도출된 결과와 차이를 보였다. 이것은 농가재배사의 높이가 높고 체적이 증가되어 상하간의 환기가 불량하여 탄산가스, 온도, 상대습도 조건이 재배사 공간내에 균일하게 유지되지 못한 것으로 사료된다. 실제로 탄산가스의 농도는 군사열과 통로열 사이에 1.5~2배정도 차이가 났고, 이러한 차이로 인해 적정 탄산가스 농도조건이 버섯에 그대로 적용되는 데는 한계가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 소형 환풍기를 천정 혹은 바닥에 설치하여 상하간의 물리적 요소차이를 최소화하여 생육실내의 공기가 균일화 되도록 해야 한다. 균일화와 함께 환기시 기존 조건을 최대한 유지시키기 위하여 복도나 공기조화실을 설치하여 미리 일정부분 만큼 공조를 하여 급기를 하는 것이 안정적으로 최적의 환경을 유지하는 최선의 방법일 것이다.

Photo 3-2는 생육일수에 따른 자실체 변화모습을 나타낸 것이다. 즉 생육 3일째에 흰색 균사가 부상하기 시작하고, 8일째에 발이가 완료된다. 10일째에 자실체가 자라서 병주둥이 밖으로 신장되어 나온다. 15일째 수확기가 된다. 발이기의 온도를 17℃로 설정해서 수확소요일이 15~16일로 대폭 단축되었다.



생육3일째



생육5일째



생육7일째



생육9일째



생육11일째



생육12일째



생육13일째



생육14일째



생육15일째

Photo 3-2. 생육일수에 따른 자실체 변화모습

나. 온도에 의한 새송이버섯 자실체의 영향

1) 일정한 온도조건하에서의 자실체 특성

온도조건을 13, 15 및 17℃를 전체 생육기간 동안 일정하게 유지한 후, 자실체 발생 양상과 무게, 품질 등의 특성을 조사하였다. **Table 3-11**은 온도가 버섯의 수확율과 수확기간에 미치는 영향을 설정온도별로 나타낸 것이다. **Table 3-11**를 보면, 발이소요일은 13℃일 때 10.8일로 가장 늦었고, 17℃일 때 7.2일로 가장 빨랐다. 새송이버섯 재배법이 처음으로 개발되었을 때는 15℃에서 발이시켜 14℃에서 생육시키는 것을 권장하였는데, 지금은 빠른 수확을 원하는 농가가 늘어감으로 인해서 17℃를 발이온도로 많이 이용한다. 수확소요일도 방임과 습기처리구 동일하게 17℃에서 14일정도로 나타나 15℃로 설정한 것 보다 방임 및 습기처리구에 비해 각각 1.5배, 1.2배정도 빨랐다. 그러나 버섯의 수확률은 17℃에서 가장 나쁜 90.3%으로서 약 10%의 손실이 있었다. 손실의 대부분은 병발생으로 인한 폐기였다. 15℃가 가장 안정적으로 버섯을 생산할 수 있는 조건이고 13℃로 설정하면 발이가 잘 되지 않거나 버섯이 고르게 생육하지 않아 다른 버섯의 성장으로 인하여 탄산가스에 의해 생육불능이 많이 발생하였다.

Table 3-11. 온도가 수확율과 수확기간에 미치는 영향

온도 (℃)	발이소요일		수확소요일		수확기간	수확율(%)	
	방임	습기	방임	습기		방임	습기
13	10.8	11	22.4	21.4	3	91.0	91.7
15	8.4	7	17.2	16.4	3	95.8	99.3
17	7.2	6	14.6	14.2	3	90.3	90.3

Table 3-12는 방임처리구에서 온도별 자실체의 생육특성을 나타낸 것으로서 길이와 두께는 온도에 비례해서 증가하였다. 직경은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 무게는 15℃처리구가 117.7g으로 가장 많은 양이 수확되었다. 품질은 15℃처리구가 17℃처리구보다 1.14배 높았다.

Table 3-12 방입처리구에서 온도별 자실체의 생육특성.

온도 (℃)	길이 (mm)	두께 (mm)	직경 (mm)	무게 (g)	품질 (가중치)	경수/병
13	98.3	25.9	44.8	95.5	5.1	2.1
15	107.2	28.3	38.0	117.7	6.5	2.2
17	107.2	32.3	38.9	115.6	5.7	2.0

Table 3-13은 방입처리구의 경우, 온도별 자실체 품질변화를 나타낸 것으로서 온도변화에 따른 자실체 품질별 수확량을 살펴보면, 상품(9~7)의 비율이 15℃에서 35.2%로 가장 높게 나타났고, 그 다음이 17℃에서 35.1%였다. 절대생산량도 15℃에서 16,234g으로 17℃에서의 15,100g보다 107.5% 증수효과가 있었다. 총입상량을 기준으로 하여 수확률을 감안한 병당 무게를 보면, 15℃로 설정한 구에서 112.7g이 수확되어 13℃에서의 87.4g보다 129% 증수되었다.

Table 3-13. 방입처리구에서 온도별 자실체의 품질변화(총입상량기준).

온도 (℃)	품질별수량(g)/비율(%)			생산량 (g)	경수/병 (개)	무게/병 (g)
	상(9-7)	중(6-4)	하(3-1)			
13	3,078/24.5	6,580/52.3	2,925/23.3	12,583	2.01	87.4
15	5,711/35.2	8,499/52.4	2,024/12.5	16,234	2.18	112.7
17	5,305/35.1	7,332/48.6	2,463/16.3	15,100	2.02	104.5

Table 3-14는 Table 3-13과 같이 재배기간 내내 일정하게 온도를 유지한 경우, 슈음처리구에서 온도별 자실체의 생육특성을 나타낸 것이다. 온도별 생육특성조사 결과, 버섯의 무게는 17℃에서 병당 111.1g으로 15℃의 110.4g에 비해 101% 증수 되었

지만, 품질은 15℃에서 8.1로 가장 우수하였다. 15℃와 17℃로 처리한 구에서 품질의 척도인 길이는 각각 135.4mm 및 133.0mm으로 나타났고, 대의 두께에 대한 갖의 직경 비율이 각각 79.4% 및 78.7%로 나타나 15℃로 처리한 구가 17℃로 처리한 구에 비해 우수하였다.

Table 3-14. 슈음처리구에서 온도별 자실체의 생육특성.

온도 (℃)	길이 (mm)	두께 (mm)	직경 (mm)	무게 (g)	품질 (1-9)	품질 (가중치)
13	111.8	35.3	57.1	86.6	7.3±1.4	7.5
15	135.4	38.9	49.0	110.4	8.0±0.8	8.1
17	133.0	40.6	51.6	111.1	7.5±1.3	7.7

Table 3-15는 슈음처리구에서 온도변화에 따른 자실체의 품질별 수량과 비율을 나타낸 것이다. **Table 3-15**에서 알 수 있듯이 15℃로 설정한 구에서 특품(품질9)이 26.4%로 생산되어 특품생산 비율이 가장 높고, 17℃와 13℃로 설정한 구에서는 비슷한 비율을 보였다. 절대 생산량을 보면, 15℃ 및 17℃로 설정한 구에서 각각 4,095g 및 1,697g이었다. 상품(품질8)의 경우에는 17℃가 57.9%로 생산되어 가장 높았지만, 실제생산량은 7,889g의 15℃가 가장 높았다. 병당 무게도 15℃에서 107.6g으로서 가장 높게 나타났다.

Table 3-15. 슈음처리구에서 온도변화에 따른 자실체의 품질변화(총입상량기준).

온도 (℃)	품질별수량(g)/비율(%)			총생산량 (g)	무게/병
	9≤	9>,8≤	8>,7≤		
13	1,188/11.2	5,221/49.3	4,193/39.6	10,602	73.6
15	4,095/26.4	7,889/50.9	3,513/22.7	15,497	107.6
17	1,697/12.8	7,664/57.9	3,887/29.3	13,248	92.0

2) 변온상태하에서 자실체의 특성

어떤 설정온도를 전체 생육기간 동안 일정하게 유지한다는 것은 재배에 매우 편리하다. 그러나 다른 재배환경에 비해서 생육기간을 단축하면서도 품질을 높일 수 있는 방법은 생육시기별로 온도를 달리하여 발이에 소요되는 시간을 단축시키고 품질의 척도인 무게와 갓의 형성기에는 온도를 떨어뜨려서 품질을 관리하게 하는 것이다. 본 연구에서는 세 가지 처리(15, 17 및 20℃)방법으로 실험하여 자실체의 특성을 조사하였다. 수확률은 15℃로 설정한 경우, 슈움처리구에서 97.2%를 나타낸 것을 제외하고는 동일하게 100% 이었다. 변온처리한 경우가 일정하게 유지하는 것보다 생산량이 많은 것을 알 수 있다.

Table 3-16은 방임처리구에서 생육시기별 변온, 15℃로 일정하게 유지하는 경우(I 처리구), 17℃에서 15℃까지 3단계로 설정하는 경우(II 처리구), 20℃에서 15℃까지 6단계로 설정하는 경우(III 처리구)한 경우, 수확율과 수확기간에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 전체적으로 보면, 발이 및 수확소요일은 온도처리와 방임 및 슈움처리구에 관계없이 각각 7~8일 16~17일이 소요되어 큰 차이가 없었다. 15℃로 일정하게 유지한 I 처리구의 경우, 발이 및 수확소요일이 초기 온도를 상대적으로 높게 처리한 II, III 처리구에 비해 많이 소요되는 결과를 보여준다. 이는 초기의 높은 온도가 균사의 재부상을 유도하여 자실체 형성을 촉진한 결과에 기인하는 것으로 사료된다. 생육시기별 온도조건을 다르게 처리하였을 경우, 수확기간은 방임처리구에서는 I, II 및 III 처리구에서 각각 2, 3 및 3일이 소요되었고, 슈움처리구에서는 I, II 및 III 처리구에서 각각 2, 3 및 3일로서 방임처리구가 1.22배 많이 소요되었다.

Table 3-17은 방임처리구에서 온도조건에 따른 자실체 생육특성을 나타낸 것이다. 자실체의 생육특성을 보면, 대의 길이는 초기 설정온도가 높은 순으로 97.0, 101.5 및 100.7mm로 나타났고, 대의 두께나 갓의 직경이 같은 경향을 보였으나 유의성 있는 차이는 발견되지 않았다. 자실체의 무게에 있어서는 II 처리가 108.0g으로 가장 크게 나타났다. 품질은 III 처리구가 4.9로써 가장 우수한 자실체를 생산하였다. 경수에 있어서는 III 처리에서 1.9로 가장 적었다. 이는 고온에 의해 탄산가스의 발생량이 많아져서 발이 후 개체수가 조절된 것으로 사료된다.

Table 3-16. 생육시기별 변온이 수확율과 수확기간에 미치는 영향.

처리구	발이소요일		수확소요일		수확기간		수확율(%)	
	방입	숙음	방입	숙음	방입	숙음	방입	숙음
I-(15℃)	8	8	17	17	3	2	100.0	97.2
II-(17℃)	8	8	16	16	4	3	100.0	100.0
III-(20℃)	7	7	17	16	4	3	100.0	100.0

I: 15℃ 고정

II: 17℃ 발이기(뒤집기전)→16℃ 원기신장기(숙기전)→15℃ 신장기, 수확전

III: 20℃ 1일→19℃ 1일→18℃ 1일→17℃ 2일→16℃ 2일→15℃(숙기이후)

Table 3-17. 방입처리구에서 온도조건에 따른 자실체의 생육특성.

처리구	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게/병 (g)	품질 (1-9)	경수/병
I-(15℃)	97.0	27.8	26.3	88.2	4.2	2.0
II-(17℃)	101.5	28.7	28.5	108.0	4.8	2.1
III-(20℃)	100.7	30.0	28.8	99.6	4.9	1.9

I: 15℃ 고정

II: 17℃ 발이기(뒤집기전)→16℃ 원기신장기(숙기전)→15℃ 신장기, 수확전

III: 20℃ 1일→19℃ 1일→18℃ 1일→17℃ 2일→16℃ 2일→15℃(숙기이후)

Table 3-18은 방입처리구에서 변온처리한 자실체의 품질결과를 나타낸 것이다. 총 무게에 있어서 II처리구가 7,840g으로 가장 많이 생산되었고, 상품에 해당하는 9-7를 나타낸 자실체의 무게도 3,046g으로서 III처리구보다 1.1배 많았다. 상품이 차지하는 비율도 39.2%로서 III처리구의 38.8%보다 우수하였다.

Table 3-18. 방임처리구에서 온도조건에 자실체의 품질변화.

처리구	품질별 수확량(g)			총무게(g)	수량지수
	9-7	6-4	3-1		
I -(15℃)	1,055/16.6	3,371/53.1	1,926/30.4	6,352	100
II -(17℃)	3,046/39.2	3,148/40.5	1,581/20.4	7,775	122
III -(20℃)	2,783/38.8	3,133/43.7	1,255/17.5	7,171	113

I: 15℃ 고정

II: 17℃ 발이기(뒤집기전)→16℃ 원기신장기(숙기전)→15℃ 신장기, 수확전

III: 20℃ 1일→19℃ 1일→18℃ 1일→17℃ 2일→16℃ 2일→15℃(숙기이후)

Table 3-19. 숙임처리구에서 온도 조건에 따른 자실체의 생육특성.

처리구	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게/병 (g)	품질 (1-9)
I -(15℃)	122.1	34.3	39.1	82.2	7.1
II -(17℃)	123.7	37.7	40.8	92.5	8.1
III -(20℃)	110.7	38.0	40.6	89.0	7.9

I: 15℃ 고정

II: 17℃ 발이기(뒤집기전)→16℃ 원기신장기(숙기전)→15℃ 신장기, 수확전

III: 20℃ 1일→19℃ 1일→18℃ 1일→17℃ 2일→16℃ 2일→15℃(숙기이후)

Table 3-19는 변온처리를 하였을 경우, 숙임처리구에서의 자실체 특성을 나타낸 것이다. 대의 길이는 I, II 및 III처리구에서 각각 122.1mm, 123.7mm 및 110.7mm로 나타나 II처리가 가장 길었다. 품질과 수량에 있어서도 II처리구에 각각 8.1, 92.5g으로 다른 처리구에 비해 II처리구가 가장 우수하였다. 이러한 결과를 놓고 볼 때, 무리하게 초기온도를 높게 하면 균사가 스트레스를 받아 활력이 크게 떨어진다는 것을 추

정할 수 있고, 20℃에서 15℃까지 많은 온도변화가 균사의 성장과 자실체의 생육에 그다지 좋은 효과를 가져다주는 것이 아님을 증명하는 결과로 사료된다.

Table 3-20은 생육시기별 온도조건에 따른 슈음처리구에서 품질변화를 나타낸 것으로서 총생산량의 경우, II처리구가 6,657g으로서 III 및 I처리구의 6,411g 및 5,673g보다 많이 생산되었다. 그리고 품질에 있어서도 최고급의 품질지수를 나타내는 9가 II처리구에서 848g를 생산하여 전체의 13%를 차지함으로써 III처리구의 5%, I처리의 2%보다 월등히 많은 고품질의 새송이버섯을 생산하였다. I처리구에서 수확량을 기준으로 배지병당 수량 및 수확률 각각 78.8g 및 97.2%로 다른 처리구의 92.5g, 89.0g 및 100%보다 적게 나타나 **Table 3-18**과 동일한 결과를 보여 주는 것이다.

Table 3-20. 슈음처리구에서 온도조건에 따른 자실체의 품질변화.

(72병, 총입상량기준)

처리구	품 질				총무게 (g)	무게/병 (g)
	9.0	8.0	7.0	<7		
I-(15℃)	110.0	1,738.0	2,110.0	1,715	5,673	78.8
II-(17℃)	848.0	4055	1,664.0	0.0	6,657	92.5
III-(20℃)	305.0	4,144.0	1,680.0	282	6,411	89.0

I: 15℃ 고정

II: 17℃ 발이기(뒤집기전)→16℃ 원기신장기(슈기전)→15℃ 신장기, 수확전

III: 20℃ 1일→19℃ 1일→18℃ 1일→17℃ 2일→16℃ 2일→15℃(슈기이후)

다. 상대습도에 의한 새송이버섯 자실체의 영향

1) 일정한 상대습도 조건하에서 자실체 특성

상대습도는 균굽기 후, 균사의 재부상과 자실체의 원기형성을 유도한다. 상대습도가 높을수록 수확률이 높지만 지나치게 높으면 저장유통기간에 나쁜 영향을 주고, 자실

체의 표면에 균사가 발생할 수도 있다. 상대습도(U)는 $U(\%)=100 \times (e/eW)$ 로 정의될 수 있는데 e는 공기의 수증기압, eW는 공기와 같은 압력과 같은 기온일 때의 포화수증기압이다. 공기수증기압 e는 항상 일정하나, 동압력 일 때의 포화수증기압 eW는 기온에 따라 변한다. 상대습도는 모발온도계나 건·습구 온도계로 기온을 측정하고 수치의 차이를 표에 의해서 산출하여 측정할 수 있다. 상대습도는 절대습도와 다르며 온도에 따라서 변화하는데 온도가 높아지면 공기 중에 더 많은 양의 절대습도를 함유할 수 있으므로 상대습도는 낮아지게 된다. 상대습도는 새벽에는 온도가 낮아서 높고 오후 2-3시경에는 최소가 된다.

Table 3-21은 상대습도가 수확율과 수확기간에 미치는 영향을 보인 것으로서 발이소요일은 각 처리구에서 동일하게 9일이 소요되었다. 그러나 수확소요일수는 70%에서 18일, 80%에서 17일, 그리고 90%에서는 16일이 소요됨으로 해서 상대습도가 발이뿐만 아니라 생육자체에도 많은 영향을 미침을 알 수 있다. 상대습도에 의해 가장 영향을 많이 받은 것은 수확률인데, 80%와 90%의 상대습도조건에서는 수확률이 100%였지만, 상대습도 70%에서는 88.9%로 상대습도 80~90%에 비해 11.1%의 손실이 발생하였다. 이러한 데이터를 종합하여 보면 80%와 90%의 중간수치인 85%가 적당하다고 판단되며, 자실체의 생육단계에 따라 다른 조건의 검토가 추후에 필요하다고 사료된다.

Table 3-21 상대습도가 수확율과 수확기간에 미치는 영향.

상대습도 (%)	발이소요일		수확소요일		수확기간	수확율(%)	
	방임	숙기	방임	숙기		방임	숙기
70	9.6	10	18	19	3	87.2	88.9
80	9.3	9	17	17	3	98.0	97.9
90	9.0	8	16	16	3	99.0	98.6

Table 3-22는 상대습도 조건에 따라 갓의 색깔 변화를 나타낸 것이다. 측정 결과 유의성 있는 경향은 측정되지 않았다. 일반적으로 상대습도가 높으면 갓의 색깔이 진하게 되는 것으로 추정할 수 있는데, 실제로는 상대습도 70%에서 명도(L) 60.7로서 가장 진했고, 80일 때 63.5로 가장 밝았다. 저장기간에 많은 영향을 미치는 것이 자실

체의 수분인데 상대습도의 차이만큼 유의성 있지 않고 표준편차내에 있었다. 자실체의 수분은 공기 중의 상대습도보다는 배지수분 등에 의해서 더 많은 영향을 받는 것으로 사료된다.

Table 3-22. 상대습도 변화에 따른 갓의 색깔과 수분의 변화.

상대습도 (%)	색 도			패턴	자실체수분 (%)
	L	a	b		
70	60.7	5.4	15.4	민무늬	89.5±0.6
80	63.5	6.0	17.1	민무늬	89.5±0.4
90	61.8	5.9	16.4	민무늬	90.2±0.6

Table 3-23은 방임처리구에서 상대습도 조건에 따른 자실체 생육특성을 보인 것이다. 상대습도를 70, 80 및 90%를 처리하였을 때, 대의 길이는 상대습도가 높아질수록 길어졌다. 갓의 직경은 대체적으로 습도가 높을수록 작아졌다. 상대습도가 높을수록 배지병당 발이량이 많아서 경수가 많아질 것으로 예상하였으나 상대습도가 90%일 때 1.7개로 70과 80%로 처리한 구의 1.9보다 적게 수확되었다. 이는 초기의 발생량은 많지만 발생한 개체간의 차이가 커서 비상품과는 도태되는 현상에 의한 것으로 사료된다. 배지병당 자실체의 무게는 70, 80 및 90%에서 각각 102.1, 06.2 및 109.9g 으로서 90%로 처리한 구에서 가장 우수하였다. 공기 중의 상대습도는 병원성 미생물을 매개하는 역할을 하지만 청결한 환경에서는 상대습도가 높아서 나쁠 것은 없다. 저장유통 문제는 수확시기 5일전에 상대습도를 낮추면 대부분 해결된다.

Table 3-24은 방임처리구에서 상대습도변화에 따른 자실체 품질변화를 보인 것이다. 생산비율은 상대습도 90%, 80% 및 70%에서 각각 53.1%, 31.3% 및 29.9% 이었고, 생산량은 각각 8,326g, 4,694g 및 3,827g이 생산되어서 90%구가 70%구보다 2.2배 많이 생산되었다. 수확률을 감안한 배지병당 무게는 상대습도 90%에서 108.8g 으로서 80%의 104.1g이나 70%의 89.0g보다 많은 생산량을 보였다.

Table 3-23. 방입처리구에서 상대습도 변화에 따른 자실체의 생육특성.

상대습도 (%)	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게/병 (g)	품질 (1-9)	경수/병	생산지수
70	108.9	28.0	44.0	102.1	5.5±1.6	1.9	100
80	110.8	27.5	45.9	106.2	5.8±2.3	1.9	104
90	117.0	30.3	41.8	109.9	6.3±1.8	1.7	111

Table 3-24. 방입처리구에서 상대습도 변화에 따른 자실체의 품질변화.

(144병 총입상량기준)

상대습도 (%)	품질별수량(g)/비율(%)			총무게 (g)	경수/병 (개)	무게/병 (g)
	상(9-7)	중(6-4)	하(3-1)			
70	3,827 / 29.9	6,960 / 54.3	2,030 / 15.8	12,817	1.7	89.0
80	4,694 / 31.3	8,281 / 55.3	2,010 / 13.4	14,985	1.9	104.1
90	8,326 / 53.1	5,986 / 38.2	1,358 / 8.7	15,670	1.7	108.8

Table 3-25는 슈음처리구에서의 상대습도 조건에 따른 자실체의 생육특성을 보인 것으로서 상대습도가 90%일 경우, 대의 길이가 139.1mm, 80%일 때 130.7mm, 그리고 70%일 때 122.6mm로서 상대습도가 높을수록 대의 길이가 길어졌다. 그러나 대의 두께에 있어서는 오히려 역상관관계가 형성되었다. 이것은 습도가 낮아 발이량이 조절됨으로써 슈기전에 영양분 손실이 낮아진 영향으로 추정된다. 수확량을 보면, 상대습도가 90%일 때 116.9g 으로서 105.8g과 102.1g이 수확된 80%와 70%보다 많은 생산량을 보였다. 이는 자실체생육에 공기 중의 상대습도가 높지만 생리적인 문제가 발생하지 않고 순조롭다는 것을 의미한다.

Table 3-25. 슈움처리구에서 상대습도 변화에 따른 자실체의 생육특성.

(*CV: 10.4)

상대습도 (%)	대길이	대두께	갓직경	무게	품질*	경수/상자
70	122.6	39.1	52.4	82.9	7.7±1.3	12.4
80	130.7	38.5	57.5	105.7	8.4±0.7	15.9
90	139.1	38.3	50.3	118.1	8.5±0.5	16.0

Table 3-26은 슈움처리구에서 상대습도변화에 따른 자실체 품질변화를 보인 것이다. Table 3-26에서 자실체의 품질별 생산량비율을 보면, 특품(품질9)이 90%로 처리한 구에서 42.7%로서 가장 높고, 그 다음으로 80%에서 40.3%이었다. 그리고 70%로 처리한 구에서 16.3%로 가장 낮았다. 입상한 모든 병을 기준으로 배지병당 수확량은 오염되거나 생육이 극도로 부진한 것을 포함하였기 때문에 배지병당 수량이 이전의 데이터보다 많았다. 수확률을 감안한 배지병당 수량은 90%로 처리한 구에서 116.9g으로서 80%의 103.5g보다 113% 증수하였다. 상대습도가 높으면 안정되게 발이가 유도되고, 공기 중에 충분한 수분이 공급되기 때문에 생리적 장애를 입을 염려가 없고, 온도변화나 이산화탄소를 수분이 약간 흡수하기 때문에 자실체가 성장하기 좋은 조건이 형성된다.

상대습도가 높을수록 품질이 우수하고 수량이 많아질 것이라는 것은 자연 상태에서 나타나는 버섯의 생리생태를 미루어 충분히 예상할 수 있다. 그러나 인공재배에서 이러한 환경을 유지시킨다는 것은 많은 비용과 함께 저장력이 떨어지는 버섯을 생산할 가능성이 높다. 유통기간이 긴 버섯을 생산하는 것은 품질과 수량에 못지않게 중요하다. 따라서 품질과 수량을 희생시키지 않으면서 저장력이 높은 버섯을 생산하는 방법은 생육시기별로 가변적으로 상대습도를 조절하는 것이다. 따라서 군사상태로 있거나 자실체가 약할 때는 상대습도를 높이고 어느 정도 자랐을 때는 상대습도를 낮추어 품질 및 수량을 늘임과 동시에 유통기간도 긴 좋은 버섯을 생산할 수 있을 것이다.

Table 3-26. 슈움처리구에서 상대습도변화에 따른 자실체의 품질변화.

(144병, 총입상량 기준)

상대습도 (%)	품질별수량(g)/비율(%)			총무게	경수 (개)	수량/병 (g)
	9≤	9>,8≤	8>,7≤			
70	1,725/16.3	5,015/47.2	3,876/36.5	10,616	128	73.7
80	6,002/40.3	7,769/52.1	1,139/7.6	14,910	141	103.5
90	7,187/42.7	8,598/51.1	1,053/6.3	16,838	142	116.9

2) 가변상태의 상대습도 조건하에서의 영향

생육시기별로 상대습도의 설정치를 조절하였는데 그 조건은 I 처리구 ; 90%이상 1일 → 85% 균숙기전(11일정도)→ 80%로 하고, II 처리구 ; 90%이상 4일 → 85% 균숙기전(8일정도) → 80%, III 처리구 ; 90%이상 발이직전(7일정도) → 85% 균숙기전(5일 정상대습도가 수확율과 수확기간에 미치는 영향도) → 80%이다.

Table 3-27은 이상과 같이 재배기간 동안 상대습도를 변화시킨 경우, 버섯의 수확기간과 수확률에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 상대습도의 변화에 의한 자실체의 수확특성을 보면, 방임처리할 경우의 수확기간은 I 과 2II 처리구에서 공히 3일, III 처리구에서 2.5일이 걸렸고, 슈움처리할 경우는 3처리구 공히 2일이 소요되었다. 발이소요일은 I 처리구에서 8일, II와 III 처리구에서 공히 7일이 소요되었다. 이것은 90%이상의 상대습도에서 1일이 경과한 후, 바로 85%로 처리하여 발이에 필요한 충분한 상대습도를 공급하지 못한 이유에 기인하는 것으로 추정된다. 수확 소요 일에서는 동일한 경향을 보였다. 수확률에 있어서는 방임처리한 III 처리에서 99.0%의 수확률을 보였고, I 및 II 처리에서는 각각 96.2% 및 97.5%를 보였다. 이상의 결과로 미루어 볼 때, 90%이상의 상대습도가 발이에 중요한 것을 본 실험결과에서도 확인하였다.

Table 3-27. 상대습도가 수확율과 수확기간에 미치는 영향.

처리구	수확기간		발이소요일		수확소요일		수확율(%)	
	방입	숙음	방입	숙음	방입	숙음	방입	숙음
I	3	2	8	8	18	18	96.2	100.0
II	3	2	7	7	17	17	97.5	100.0
III	2.5	2	7	7	17	17	99.0	100.0

I : 90%이상 1일 → 85% 균숙기전(11일정도)→ 80%

II : 90%이상 4일 → 85% 균숙기전(8일정도) → 80%

III : 90%이상 발이직전(7일정도) → 85% 균숙기전(5일정도) → 80%

Table 3-28은 방입처리구에서의 상대습도변화에 따른 자실체의 생육특성을 나타낸 것이다. **Table 3-28**에서 알 수 있듯이 자실체의 생육특성은 뚜렷한 경향이 관찰되지 않았다. 높은 습도에 가장 적게 노출된 I 처리구의 경우 경수가 2.57로 III처리에 비해 80% 적어지는 결과를 보였다. 상대습도의 노출정도에 따라서 경수를 조절할 수 있는 단서가 되는 결과라고 사료된다. 경수의 조절에 의한 품질변화에도 주목하여 보면 I 처리구의 경우가 4.6±1.7로서 III처리구의 4.7±2.0보다 0.1포인트 낮지만 표준편차에 의한 안정되고 고른 상품 생산측면에 있어서는 I 처리구가 우수한 것으로 나타났다. 배지병당 수확량은 I, II 및 III처리구별로 각각 93.3g, 101.8g 및 104.2g 으로서 III처리가 가장 많이 생산되었다.

Table 3-29은 방입처리구에서 상대습도에 따른 품질변화르 나타낸 것으로서 총무계측면에 보면, III처리구에서 7,743g 으로서 I 처리구의 6,125g보다 1.26배 많이 수확되었다. 품질에 있어서도 III처리구에서 상으로 분류할 수 있는 (9-7)에 해당되는 생산량이 1,229g 으로서 3처리구 중 가장 많이 생산되었고, I 처리구에서는 820g이 생산되어 처리구간 차이가 있었다. 입상량을 기준으로 배지병당 자실체의 무게는 III처리구에서 103.2g으로서 I 처리구의 89.8g보다 115% 많이 생산되었다.

Table 3-28. 방임처리구에서 상대습도 조건에 따른 자실체의 생육특성.

상대습도 (%)	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게/병 (g)	품질 (1-9)	경수/병
I	94.6	25.6	30.5	93.3	4.6±1.7	2.57
II	90.7	23.8	32.3	101.8	4.2±1.8	3.14
III	93.8	25.3	33.1	104.2	4.7±2.0	3.20

Table 3-29. 방임처리구에서 상대습도에 따른 자실체의 품질변화.

(72병, 총입상량기준)

상대습도 (%)	9-7	6-4	3-1	총무게(g)	무게/병
I	820.0	2,909	2,736	6,465	89.8
II	462.0	3,442.0	3,242.0	7,146	99.3
III	1,229.0	3,659.0	2,855.0	7,743	103.2

I: 90%이상 1일 → 85% 뒤집기직후(11일정도)→ 80%

II: 90%이상 4일 → 85% 뒤집기직후(8일정도) → 80%

III: 90%이상 7일 → 85% 뒤집기직후(5일정도) → 80%

Table 3-30은 슈음처리구에서 상대습도 조건에 따른 자실체 생육특성을 나타낸 것으로서 상대습도 조건에 따른 자실체 변화는 뚜렷한 경향이 없었다. 다만, 상대습도가 상대적으로 충분하였던 III처리구에서의 배지병당 수량이 87.8g 으로서 가장 많이 생산되었으며, 품질도 III처리구에서 8.0으로 가장 우수하였다.

Table 3-30. 슈음처리구에서 상대습도 조건에 따른 자실체의 생육특성.

(DMRT 5%)

상대습도 (%)	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게/병 (g)	품질* (1-9)	수량지수
I	119.8	35.0	47.1	85.5	7.8 ^a	107
II	119.1	33.8	47.1	79.5	7.3 ^b	100
III	120.1	35.0	50.3	87.8	8.0 ^a	110

I: 90%이상 1일 → 85% 균숙기전(11일정도)→ 80%

II: 90%이상 4일 → 85% 균숙기전(8일정도) → 80%

III: 90%이상 발이직전(7일정도) → 85% 균숙기전(5일정도) → 80%

Table 3-31에서 상대습도에 따른 슈음처리구에서의 자실체의 품질특성을 살펴보면, 90% 조건에서 7일 처리한 III처리구에서 6,321g으로 가장 많이 수확되었으며, 최고의 품질수치인 9에서도 III처리구에서 9.9%로 I 처리구의 3.35%보다 우수하였다. 실제생산량도 III처리구가 625g를 생산하여, 202g를 생산한 I 처리구에 비해 3배정도 차이가 난다. 그러나 최근의 저장유통기간을 중시하는 경향이 심화된다면, I 처리구도 효과적인 대안으로 사용될 것으로 추정된다.

Table 3-29. 슈음처리구에서 상대습도에 따른 자실체의 품질변화.

(72병, 총입상량기준)

상대습도 (%)	9.0	8.0	7.0	<7	총무게 (g)	수량지수
I	202	4,066	1,360	530.0	6,158	108
II	300.0	1,998.0	2,181.0	1,248.0	5,727	100
III	625.0	3,751.0	1,636.0	309.0	6,321	110

I: 90%이상 1일 → 85% 균숙기전(11일정도)→ 80%

II: 90%이상 4일 → 85% 균숙기전(8일정도) → 80%

III: 90%이상 발이직전(7일정도) → 85% 균숙기전(5일정도) → 80%

라. 조도에 의한 새송이버섯 자실체의 특성변화

1) 슈음구처리구에서 조도에 의한 자실체의 특성

조도는 영양생장 상태의 균사를 생식생장으로 전환하게끔 하는 주요한 물리적 요소이다. 버섯은 주광성을 가지고 있기 때문에 빛을 향해 자라면서 구부러지거나 하면 품질이 좋지 않게 된다든지 지나친 광도에 의해 대신장이 억제되기도 한다.

일반적으로 버섯 재배사의 내부는 위치와 높이에 따라서 환경이 상당히 다르다. 따라서 본 연구에서는 가능한 한 비슷한 환경조건을 가지고 있는 같은 재배사의 단에서 조도만 다르게 처리한 처리구를 만들어서 자실체의 특성을 조사하여 분석하였다.

Table 3-32는 방임처리구에서 조도변화에 따른 자실체 특성을 재배상 단수별(높이별)로 자실체의 특성과 조도와의 상관관계를 분석하여 보았다. 상단에서 조사한 결과를 보면, 조도와 자실체의 무게는 0.82라는 높은 상관관계를 보였고, 대의 길이와 품질도 0.73 및 0.68등으로 비교적 높은 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 그리고 중단과 하단의 데이터를 종합하여 볼 때, 자실체의 무게는 상관계수가 0.47~0.75이고, 품질은 0.47~0.61 정도로 조도와 상관관계가 어느 정도 있는 것으로 나타났다. 상단은 자실체특성들과 조도와의 상관계수가 높게 분석되었으나, 중단과 하단은 상단과 같이 명확한 경향을 파악할 수 없었기 때문에 지속적인 실험이 필요한 것으로 사료된다.

실험에 사용된 재배사는 가장 높은 곳의 조도가 82Lux이고 가장 어두운 곳은 거의 0Lux에 가까운 곳도 있었다. 그러나 전체적으로 조도에 의해서 큰 유의적 차이가 존재하는 것은 아닌 것으로 사료된다. 앞서 언급한 것과 같이 주광성에 의한 굴곡이 버섯 밑둥치에 자국을 남겨 품질에 좋지 않는 영향을 미치는 것이 더 중요한 문제여서 약 80~100Lux의 빛이 고르게 분산될 수 있도록 조명의 배치가 필요한 것으로 생각된다.

Table 3-32. 방입처리구에서 조도변화에 따른 자실체 특성.

CO ₂ 농도	단수	조도 (Lux)	대길이 (mm)	대두께 (mm)	갓직경 (mm)	무게 (g)	품질 (1-9)	발소일	수소일
1600	상1	64	91.2	30.2	44.4	136.3	4.4	7.3	14.1
	상2	27	84.7	30.5	36.8	126.7	4.2	8.2	14.4
	상3	50	87.9	29.4	41.6	121.0	3.8	7.7	14.3
2400	상1	82	88.9	31.0	39.4	140.1	4.5	7.6	14.4
	상2	40	83.2	30.3	34.5	129.5	4.1	7.6	14.4
	상3	26	86.1	30.6	35.4	117.4	3.9	7.7	14.7
상단상관계수			0.73	0.13	0.64	0.82	0.68	-0.60	-0.44
1600	중1	26	89.3	30.7	42.8	139.7	4.5	7.5	14.2
	중2	23	86.4	29.7	37.9	126.8	4.0	7.9	14.3
	중3	17	86.4	29.9	39.2	117.1	3.8	8.0	14.6
2400	중1	22	90.6	33.2	38.1	146.4	4.6	7.7	14.4
	중2	18	84.8	28.8	35.6	122.6	3.9	7.7	14.4
	중3	11	88.6	30.4	37.8	118.0	4.0	7.7	14.4
중단상관계수			0.26	0.27	0.54	0.75	0.61	-0.28	-0.61
1600	하1	13	86.0	30.5	39.0	132.3	4.3	7.2	14.0
	하2	14	87.2	32.7	36.6	135.7	4.4	7.7	14.3
	하3	7	85.0	29.4	38.4	123.8	3.9	8.4	15.1
2400	하1	16	90.1	32.3	34.4	125.3	4.1	8.0	14.8
	하2	12	84.7	30.9	34.1	127.9	4.1	7.8	14.6
	하3	6	85.3	32.5	33.2	126.5	4.1	7.9	15.0
하단상관계수			0.73	0.33	0.09	0.47	0.47	-0.43	-0.59
평균			0.57	0.24	0.42	0.68	0.59	-0.43	-0.54

2) 방임처리구에서 조도에 의한 자실체의 특성

Table 3-33은 슈음처리구에서 조도에 따른 자실체 품질변화를 나타낸 것이다. 이 결과 조도가 18.5~58.0lux 정도로 측정된 상단에서 가장 높은 상관계수를 가진 것은 발이소요일로서 상관계수가 0.44였다. 상·중·하단 공히 방임처리구와 달리 슈음구처리구에서는 조도와 자실체 특성과의 상관계수가 높지 않았다. 아마도 1대를 남겨주고 슈아서 전체적인 영양분이 충분하여 조도에 의한 영향이 개체 간 차이보다 더 낮은 것으로 사료된다.

Table 3-33. 슈음처리구에서 조도에 따른 자실체 품질변화.

CO ₂ 농도	단수	조도	길이	두께	직경	무게	품질	발소일	수소일
1600	상1	51.5	117.5	45.8	62.2	114.2	9.0	7.0	14.0
	상2	36.0	108.6	41.4	51.6	93.6	8.1	7.6	14.3
	상3	54.0	100.1	39.7	46.4	78.6	6.8	8.0	14.4
2400	상1	58.0	112.4	43.6	46.0	96.4	7.6	8.0	14.7
	상2	18.5	108.5	43.8	49.3	97.5	8.3	7.3	14.5
	상3	26.5	107.3	44.0	38.0	88.8	7.5	7.5	15.0
상단상관계수			0.15	-0.16	0.30	0.06	-0.20	0.44	-0.34
1600	중1	20.5	105.9	42.1	52.0	90.4	7.6	7.0	14.4
	중2	18.0	103.0	44.6	50.5	98.1	7.6	7.9	14.8
	중3	18.0	103.8	40.8	51.8	98.5	7.0	8.3	16.0
2400	중1	24.5	97.7	42.7	38.7	76.7	7.3	7.0	14.0
	중2	19.0	104.0	46.0	39.5	97.5	7.6	8.3	15.0
	중3	12.5	99.5	43.5	40.3	85.0	7.6	8.0	14.5
중단상관계수			-0.06	-0.14	-0.04	-0.32	-0.26	-0.64	-0.32
1600	하1	12.5	100.0	35.0	43.5	62.5	5.8	7.5	14.5
	하2	13.0	108.0	44.7	48.3	106.0	7.8	7.7	14.0
	하3	10.0	121.8	41.7	63.7	138.0	8.3	8.8	16.0
2400	하1	16.0	110.4	43.2	44.9	99.1	7.5	7.9	14.9
	하2	9.0	115.3	47.7	39.0	118.3	7.7	7.7	15.0
	하3	7.5	112.7	42.0	45.7	105.0	7.2	8.3	15.0
하단상관계수			-0.46	-0.17	-0.08	-0.39	-0.14	-0.41	-0.39
평균			-0.12	-0.16	0.06	-0.22	-0.20	-0.21	-0.35

제 4 절 재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션

1. 재배사의 모형개발

가. 에너지 및 수분 평형방정식

버섯 재배사의 환경을 수학적으로 모형화 한다는 것은 근본적으로 버섯 재배사라는 시스템에 대한 에너지와 질량의 평형에 관한 연립방정식을 구축하는 것이다. 이러한 모형을 개발하기 위해서는 버섯 재배사에 대한 구성요소별 구분이 필요하다. 여기에는 버섯 재배사의 바닥을 비롯하여 **버섯 자체 및 용기, 내부 공기, 버섯 재배사의 내·외부 피복면(벽, 지붕)** 등이 있다. 각 구성 요소별로 에너지 및 수분 평형방정식을 세우고, 주어진 시각과 경계조건에 따라 열 및 수분 교환량을 결정하는 것이다. 버섯 재배사의 에너지평형에 관련되는 열량에 비하여 구성요소들의 현열용량은 그렇게 크지 않으므로 본 연구에서는 **이 4가지 요소**들 각각의 에너지 교환 형식은 모두 평형상태에 있다고 가정하였다. 재배사의 바닥은 현열 및 잠열의 저장용량 측면에서 상대적으로 크며, 벽이나 천정은 수분응집의 형식으로 잠열에 관련된다.

버섯 자실체는 열교환 표면은 물론 수분 증발 및 탄산가스 발생원으로 작용하게 된다. 자실체의 표면온도는 주변조건과 거의 유사한 변화를 보이는 것으로 간주했다. 자실체의 생육단계는 물론 주변 공기의 수분상태 및 탄산가스 농도와 온도 등에 따라 자실체의 수분 발산이나 탄산가스의 배출량이 달라질 것이지만 본 연구에서는 자실체 표면에서의 열 및 수분 교환과 자실체의 성장단계에 따른 개략적인 탄산가스 배출량을 추정하여 산정하였다. 버섯 자실체 표면에서의 수분교환 및 탄산가스 발생에 대한 정밀한 분석이 예측 모델의 정확성을 높이는 데 필수적인 요소이나 아직 이와 관련 연구가 국내외를 막론하고 매우 미미한 실정이다. 이러한 현상은 버섯의 생산기술 개발에만 편중된 결과로서 버섯산업의 발전에 장기적 전망을 어둡게 할 것이다. 본 연구에서 버섯 재배사에 대한 수학적 모형개발을 목표로 삼고, 그 목표 실현의 주요 일환으로 새송이버섯의 성장 및 탄산가스 발생 모형 개발을 시도했으나 관련 기초연구들에 대한 자료를 확보할 수 없어 정상적인 모형을 완성할 수가 없었다. 다만 지금까

지 알려진 기초 이론과 아울러 상당한 추론을 통하여 정리된 부분들을 요약하면 다음과 같다:

- ① 접종 후, 15일 정도에서 배지의 온도가 최고온에 달하고, 이로부터 10일 후인 25일경에 배지의 색깔이 하얗게 변함으로서 균사가 만연함을 알 수 있다. 35-40일 사이에 균굽기를 하여 균굽기 후 7일 경에 자실체가 나타난다.
- ② 자실체의 성장과정에는 공기 중의 산소를 흡수하고 탄산가스를 배출하지만 이러한 작용은 자실체의 어느 특정 기관을 통해서가 아니라 자실체를 이루고 있는 단위 세포들의 호흡과 대사로 발생하는 열이나 탄산가스가 세포막 사이를 경유하여 표면에서 확산작용으로 이루어지는 것으로 추정된다.
- ③ 자실체가 필요로 하는 주 영양원은 배지에서 흡수되지만 어떤 경로를 통하여 배지에서 자실체로 유입되는지는 명확하지 않으나 자실체의 주름부가 형성되는 과정에서 가장 많은 탄산가스를 발생하며 그 이전과 이후는 탄산가스 발생량이 줄어든다.
- ④ 자실체의 대사가 세포들의 분화 및 성장을 통하여 이루어진다면 자실체의 무게 또는 무게와 비중의 관계에서 부피를 추정하고, 자실체의 부피와 외부 형상의 관계에서 표면적을 추정할 수 있을 것이다. 비록 자실체의 90%정도가 수분이라 하더라도 이는 중량비로 계산된 값으로서 버섯 자실체 내부의 공극 등을 고려하여 특정 중량에 대해 해당 부피를 수침 방식(비닐에 싸서)으로 산정하여 비중을 확인 하고, 부피로부터 표면적을 계산한다.
- ⑤ 추정된 표면적의 합리성 검정을 위해서는 어떤 재배과정을 선정하여 균굽기를 하여 도립시킨 후부터 발이와 성장을 거쳐 수확할 때까지를 면밀히 관찰하여 중량 등의 변화와 함께 전형적인 외적 형상의 변화를 수치모형으로 표현한다.
- ⑥ 발열의 계산은 자실체 부분과 배지용기 부분으로 나눈다. 자실체와 배지병은 각각 독립적으로 온도변화를 하며 각각 상이한 열용량을 갖는 것으로 가정한다. 탄산가스의 발생량과 발열량 등은 실험을 통하여 추정토록 한다. 즉, 기밀한 재배사의 경우 환기가 끝난 시점에서 다음 환기 직전까지의 온도 및 탄산가스 변화를 살펴보면 버섯에 의한 탄산가스 발생량과 아울러 발열량 역시 유사한 방법으로 추정할 수 있을 것으로 예상된다. 물론 자실체의 생육단계별 자료가 있으

면 더욱 좋다.

- ⑦ 이렇게 많은 가정과 유추를 통하여 추정된 모형을 활용하여 재배사의 미기상 환경을 예측할 경우, 절대적인 정도는 낮을지라도 상대적인 비교는 가능할 것으로 예상된다.

이상과 같은 가정 하에서 결정된 몇 가지 파라메타는 다음과 같다:

- ① 버섯의 생육 단계별로 물에 침수하는 방법으로 중량과 부피와의 관계를 확인한 결과 자실체의 중량밀도는 대략 $0.58 \sim 0.59 \text{ g/cm}^2$ 범위임을 추정할 수 있었다.
- ② 자실체는 균굽기를 한 후, 약 7일 후에 발이가 되며, 발이 이전 동안에도 활발한 대사활동으로 발열과 함께 배지병의 상부 개구부(직경 8cm)를 통하여 탄산가스가 발생한다는 전제 하에서 7일 동안 매일 균일한 확산 속도로 개구부 면적의 절반인 약 25 cm^2 까지 표면적이 발달되는 것으로 가정했으며, 이어서 자실체의 중량 및 부피변화와 함께 자실체의 호흡량이 체중과 함께 증가하는 것으로 가정하여, 수확시 자실체 중량 약 135g 이 될 때까지 중량의 증가에 비례해서 탄산가스의 발생량이 증가하는 것으로 가정하였다. 이 때 버섯 대의 최종 직경 및 높이는 2차 포물선 형식으로 증가되는 것으로 가정하여, 직경 D 및 높이 H 는 입병 후, 경과 일 수 d 를 기준으로 각각 $D=0.01d^2$ 및 $H=0.0343d^2$ 로 표시하였다.
- ③ 자실체의 형상은 항상 동일한 닭은꼴 형상으로 변화되는 것으로 하였다. 외형은 위로부터 아래로 높이의 1/3의 위치에서 대의 최대 직경을 이루고, 자실체 상단은 최대직경의 1/2, 그리고 자실체 하단은 최대직경의 1/4의 치수를 갖는 것으로 간주했다. 이러한 형상 및 증가 추세로 최종 수확기 중량에 이르기까지의 밀폐식 재배사의 탄산가스 농도변화와 표면적 변화의 관계에서 자실체의 단위면적당 탄산가스 발생량을 산정한 결과 하루 평균 0.1305 g/cm^2 로 나타났다. 이상의 결과는 본 연구에서 주요 분야로 진행된 버섯의 환경인자 시험에서 얻어진 자료를 바탕으로 이루어졌다.

자실체 표면에서의 수분교환이 재배사 내부 공기의 총체적 에너지평형에 미치는 영

향은 결코 무시할 수 없을 정도로 크다. 전형적인 열교환 형태뿐만 아니라 재배시스템은 주변 환경과도 열이나 수분을 교환하게 된다. 재배사는 바깥 공기의 온도 및 습도는 물론 천공과 주변으로부터의 태양복사 및 열복사의 영향을 직접적으로 받는다. 태양광은 재배사의 외부적 열원이다. 따라서 재배사 외부 표면에 유입되어 흡수 및 반사되는 태양에너지의 양을 정확하게 산정할 필요가 있다.

본 연구를 통하여 개발된 수확모형은 다양한 형식의 벽체 및 지붕 구조를 가진 재배사 내부의 미기상적 환경변화를 시뮬레이션 하는데 이용될 것이다. 특히 재배사 내부의 높은 습도와 탄산가스 농도를 감안할 때, 재배사 내부의 각 표면과 자실체 사이의 열복사를 정확하게 산정할 필요가 있으므로 복사망의 형식을 빌어 열복사에너지 교환을 모형화 하였다. 열복사 모형에는 3가지 저항이 존재한다: 우선, 표면의 열복사 교환 특성에 따른 표면저항이 있고, 다음으로는 표면들 상호간의 기하학적 배치에 따른 공간적 저항이 있으며, 마지막으로 재배사의 내부 체적을 채우고 있는 공기의 방사력에 근거한 가스저항이 있다.

일반적으로 수증기는 시설물의 내부에서 가스 복사에 크게 작용하는 인자이며, 탄산가스 농도 역시 반드시 고려되어야 할 요인이다. 모든 복사는 산란되는 것으로 간주했으며, 공간적 저항을 결정하기 위해서 기하학적 형상계수를 산정하는 방식을 택했다. 이러한 복사열 교환 네트워크는 전기회로와 유사하다. 각 표면에서의 순 열복사 교환량은 복사 열전달 네트워크에 근거한 일련의 연립방정식의 해를 구하는 방식으로 결정했다.

비록 재배사 내부의 공기에는 수직 및 수평 방향의 온도 및 습도 편차가 존재하지만 그 정도가 시스템의 구조적 특성으로 인하여 심하지 않다는 판단 하에서 전체적으로 잘 섞여서 균일한 물리적 특성치를 갖는 것으로 가정했다. 재배사의 바닥은 비교적 습한 상태를 유지하고 있으며 공기의 습도가 높은 관계로 자실체 주변의 수분교환 역시 에너지 교환에 중요한 역할을 한다. 수분전달 모형에 관련되는 구성요소에는 자실체, 바닥, 실내 벽체 및 천정 표면 등이며, 각 표면에서는 수분 흡수는 무시했다. 각 표면에서의 수분교환은 증기압 차와 질량 전달계수의 함수로서 계산했다. 질량 전달계수는 상응하는 대류열전달계수를 경계층을 통한 열 및 질량 전달 간의 레이놀드 유사법칙에 의해 추정했다.

자실체 표면에서 발생하는 물리적 현상에 대한 연구결과는 거의 찾아볼 수가 없다.

주변 온도를 비롯하여 습도, 탄산가스 농도, 수분 스트레스 등에 따라 적절한 반응을 보일 것으로 추정할 뿐, 완전한 모형은 아직 밝혀져 있지 않다. 자실체의 표면적은 높이에 비례하는 것으로 가정했다. 벽체 표면과 바닥면 및 자실체 표면에서의 수증기압은 주어진 표면 온도에서의 포화증기압 상태에 있다고 가정하였다.

이상과 같은 제반 가정과 조건을 바탕으로 재배사의 4가지 주요 구성요소별 에너지 평형방정식들을 다음과 같이 개별적으로 수립하였다.

1) 벽체 및 지붕 표면에서의 열적 평형

내부 표면 및 외부 표면에서의 열적 평형은 Fig. 4-1과 같으며, 재배사의 내부 표면에 대한 열적 평형을 식으로 표시하면 다음과 같다:

열복사교환량 $\langle q_{lc} \rangle$ + 표면수분응집열 $\langle q_{cheat} \rangle$

$$- \text{전도열손실} \langle q_{uco} \rangle - \text{대류열손실} \langle q_{vecci} \rangle = 0.0$$

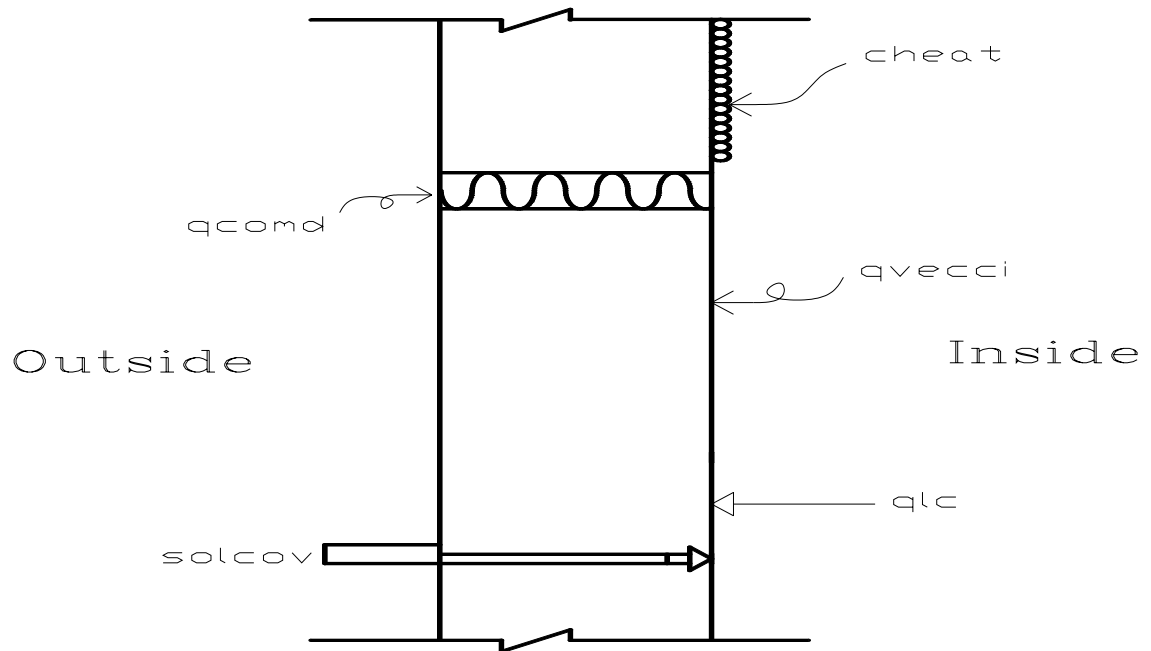


Fig. 4-1. Heat balance at inside surface of wall.

2) 자실체 표면에서의 열적 평형

자실체 표면에서의 열적 평형은 **Fig. 4-2**와 같으며, 이를 식으로 표시하면 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \text{자실체 표면복사열} \langle q_{lp} \rangle + \text{자실체 표면 대류열손실} \langle q_{vecp} \rangle \\ + \text{표면에서의 발산} \langle p_{heat} \rangle = 0.0 \end{aligned}$$

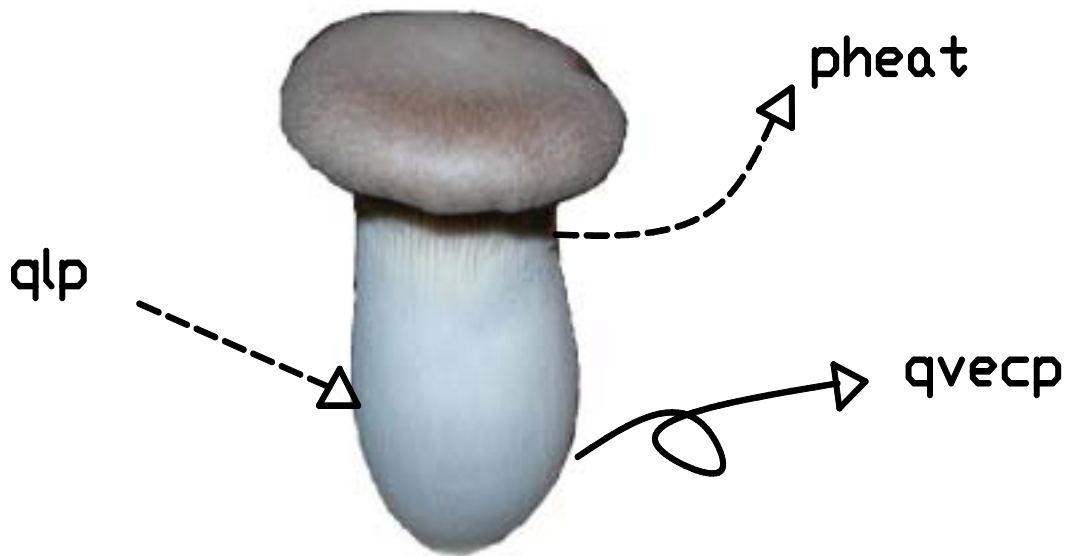


Fig. 4-2. Heat balance at mushroom surface.

3) 재배사 실내공기의 열적 평형

재배사 내부 공기의 열적 평형은 **Fig. 4-3**과 같으며, 이를 식으로 표시하면 다음과 같다:

$$\begin{aligned}
& \text{환기열전달} \langle q_{ven} \rangle + \text{누기열전달} \langle q_{inf} \rangle \\
& + \text{난방기열량} \langle q_{fuel} \rangle + \text{지붕의 대류열전달} \langle q_{vecci} \rangle \\
& + \text{벽체의 대류열전달} \langle q_{vecw} \rangle + \text{바닥면 대류열전달} \langle q_{vecif} \rangle \\
& + \text{자실체표면 대류열전달} \langle q_{vecp} \rangle = 0.0
\end{aligned}$$

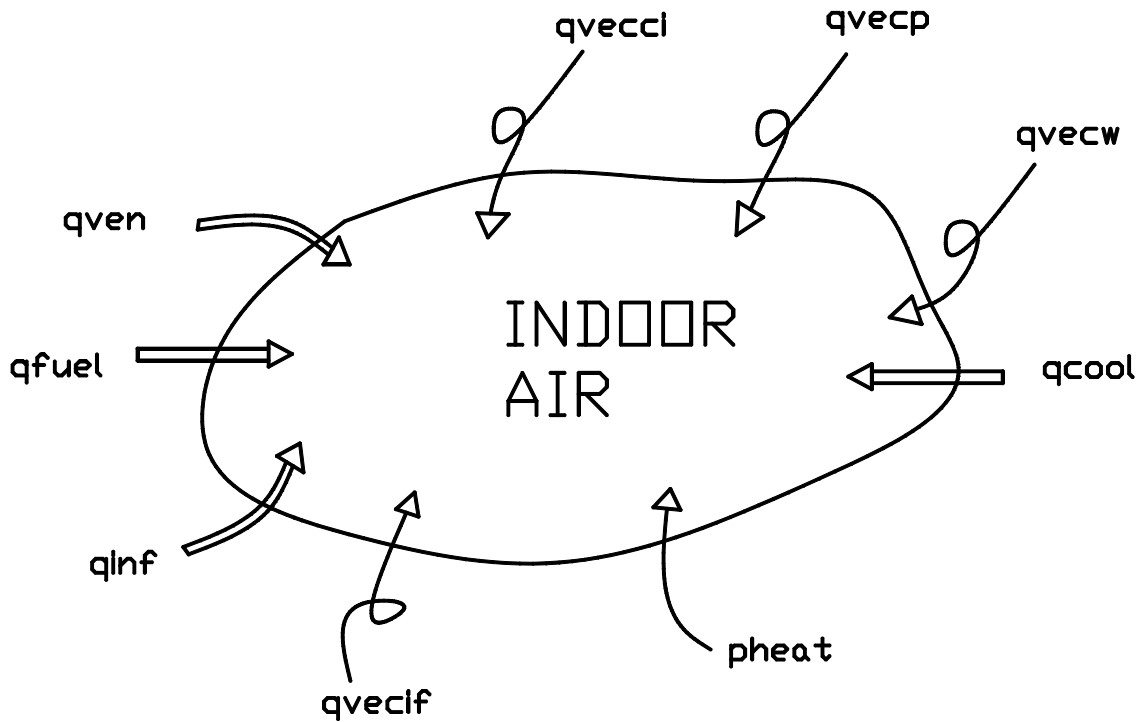


Fig. 4-3. Heat balance of mushroom house air.

각 표면에서의 수분 교환은 재배사 실내공기와의 증기압 차로써 표현된다. 실내공기의 습도는 다음과 같은 수분 평형식으로 계산하였다.

$$\begin{aligned}
& \text{환기 수증기 교환} + \text{누기 수증기 교환} + \text{벽면 증발} \\
& + \text{바닥면 증발} + \text{자실체 증발} = 0.0
\end{aligned}$$

재배사의 바닥면은 시스템의 에너지 저장 용량의 대부분을 차지하며, 이러한 열용량으로 인하여 재배사의 내부 공기가 외부 기상조건의 변화나 보조 난방 및 냉방, 환기, 등의 변화보다 변화되는 시간이 지체되는 것이다. 따라서 수확모형은 과도상태 열전달 상황에 대한 해석을 포함한다.

재배사의 바닥면의 열전달은 Fourier의 과도상태의 전도열전달 방정식을 바탕으로 다음과 같이 표현하였다.

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}$$

여기서, $t =$ 온도, $\theta =$ 시간, $\alpha =$ 열확산계수이다.

바닥면에서 임의적으로 변하는 경계조건으로 인하여 이 방정식의 해석적 해를 구하는 것은 불가능하다. 따라서 바닥면의 열전달 모형은 유한차분법을 이용하여 구획을 나누어 구성함으로서 수치 해석적 방식으로 해를 구했다. 바닥의 열전달 모형은 단순화된 2차원모형으로서, 재배사의 내부 바닥의 수평방향의 온도경사는 무시하고, 단지 재배사의 바닥 경계면을 통한 수평방향의 열흐름은 수평방향의 바닥을 하나의 립프 시스템으로 가정하여 해석하였다. Seginer 와 Levav (1971) 등이 지적했듯이 재배사 등과 같이 비교적 작은 규모의 시설물에서는 바닥 에너지의 수평방향 열흐름은 무시할 수가 없다. 본 연구에서는 **Fig. 4-4**와 같이 재배사 시설이 위치한 경계선 내외에 5개의 온도 마디(실내 표면, 실내 표면 직하, 실내 향온 부위, 실외 표면, 실외 직하표면 등)를 분리된 시스템에 이용하였다. 각 노드의 수직방향 두께와 열 영향권의 수평방향 너비는 선택적이다.

바닥면의 최상부 표면은 매우 얇은 두께의 콘크리트로 형성되어 열용량이 매우 작은 것으로 간주했다. 결국 바닥 깊이의 최상부 얇은 층이 열의 저장면에서 가장 효과적으로 관련된다. 수평방향 영향권의 주변장은 단열벽으로 간주하여 열교환이 일어나지 않는 것으로 가정했다. 바닥 윗면 근처의 실제 재배사 바닥의 수평방향 온도 경사를 설명하기 위해서 보정계수가 사용되었다. 보정계수는 윗면을 넘어 측정된 온도차를 재배사 내부 및 외부 온도 노드 간의 차이에 연계함으로서 산정하였다.

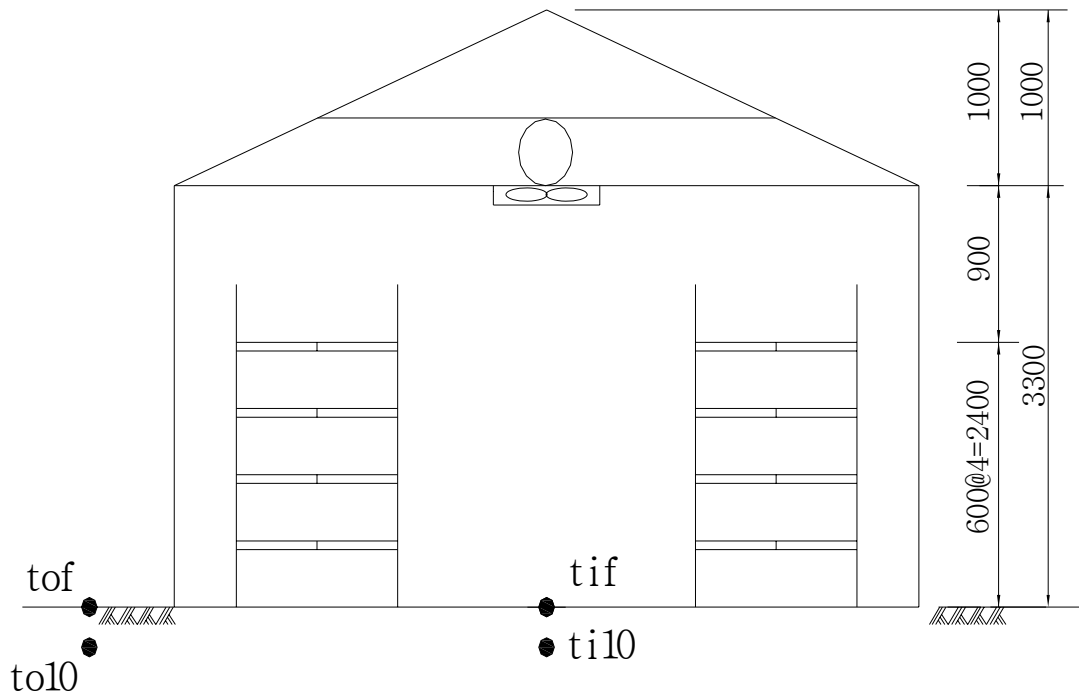


Fig. 4-4. Floor temperature modes for transient equation.

다섯 번째의 온도노드는 재배사 시스템의 하부 경계이다. 어떤 지역의 지반 심부 온도를 결정한다는 것은 어렵다. 왜냐하면 주변조건에 의해서 매우 예민하게 영향을 받기 때문이다. 심부 지온은 무한의 열원 또는 열적 싱크 역할을 하는 것으로 하여 늘 같다고 가정하였다. 열은 위쪽의 유동적 온도와 이러한 고정 온도 노드 사이에서 수직방향으로 전도될 수 있다. 심층부 노드의 토양온도와 그 깊이는 선택적이다. 이러한 제반 가정과 다양한 조건들을 고려하면 바닥에 대한 열평형방정식은 다음과 같이 전개된다:

4) 재배사 내부의 피복면에서 열적 평형

가) 내부 바닥표면에서의 열적 평형

열복사교환 - 내부 바닥에서의 대류열 - 윤�변을 통한 열전도

- 두 번째 층으로의 전도- 바닥면에서의 증발 = 내부 바닥층의 열용량 변화

$$qlif - qvecif - qhhif - qvvif - fheat = dqdti$$

나) 내부 바닥 두 번째 층에서의 열적 평형

상부층으로 부터의 전도열 - 경계면 윤�변을 통한 전도열 - 지중 심부로의 전도열

= 내부 바닥 두 번째 층의 열용량 변화

$$qvvif - qhhi10 - qvvi10 = dqdti10$$

다) 외부 바닥표면에서의 열적 평형

외부 바닥표면의 일사 복사 + 열복사교환 - 외부 바닥에서의 대류열 열전도

+ 두 번째 층으로부터의 수직 전도 + 윤�변을 통한 층으로부터의 수평 전도

= 외부 바닥층의 열용량 변화

$$solout + qlof - qvecof + qhhif + qvvof = dqdto$$

라) 외부 바닥 두 번째 층에서의 열적 평형

경계면 윤�변을 통한 전도열 + 지중 심부로의 전도열 - 상부층으로의 전도열

= 외부 바닥 두 번째 층의 열용량 변화

$$qhhi10 + qvvo10 - qvvof = dqdto10$$

이상과 같은 4개의 과도방정식에서 매 시간 단계마다 명시적으로 해를 구하게 된다. 참고로 관련 프로그램의 바닥부분 각 노드의 온도를 계산하는 Subroutine 을 소개하면 다음과 같다:


```

subroutine trans(atif1,tamb,tairg,jif,tof1,ti101,
&atof1,to101,hif,tif1,solin2,solout,fheat,hcamb,
&tif2,ti102,tof2,to102,qhhif)
real jif,ks,kr,krf,lpw
common/transi/ ape1,ape2,rperi,ks,cps,bds,akrf,aof,tcon,corect,
&dely1,dely2,lpw
common/rocks/ nn,bdr,kr,ak,cpr,esd,hd,depth,pd,fr,rwall,
&dx,savrat,eqmc1,eqrh1,hdroc1,psroc1,hvolum
common/radtra/ a2,eif,f2c,sigma,dt
common/radio/ ep,er,ew,cloud,rlskyc,rlskyf
hof=hcamb*esd*savrat
krf=kr*akrf
qlif=(jif-sigma*atif1**4)*a2*eif/(1.0-eif)
qvecif=a2*hif*(tif1-tairg)
qhhif=ape1*(tif1-tof1)*corect/rperi
qvivf=a2*krf*(tif1-ti101)/dely1
qlof=aof*(rlskyf-sigma*eif*atof1**4)
tif2=tif1+(2.0*dt)/(cpr*bdr*a2*dely1)
&*(qlif-qvecif-qhhif-qvivf+fheat)
ti102=ti101+dt/(cpr*bdr*a2*dely1)*
&(qvivf-ape2*(ti101-to101)*corect/rperi-a2*(dely2*ks+
&dely1*krf)/(dely1+dely2)*(ti101-tcon)/
&((dely1+dely2)*0.5))
qvecof=aof*hof*(tof1-tamb)
tof2=tof1+(2.0*dt)/(cps*bds*aof*dely1)*(aof*ks*(to101-tof1)/
&dely1+qhhif+solout*aof+qlof-qvecof)
to102=to101+dt/(cps*bds*aof*dely1)*((ti101-to101)*ape2*
&corect/rperi+aof*ks*(tcon-to101)/((dely1+dely2)*0.5)
&-aof*ks*(to101-tof1)/dely1)
return
end

```

나. 환경제어 논리

본 연구에서 개발된 수학적 모형의 최종 부분은 명시된 범위 내에서 재배사의 환경을 제어하는 논리체계다. 이와 같은 환경조절은 보조 난방 및 냉방열을 비롯하여 강제환기 및 누기를 통하여 이루어진다. 이러한 과정의 제어는 평형방정식과 과도방정식으로부터 산정된 온도에 따라 결정된다. 재배사의 실내기온은 상한치와 하한치로 설정된 온도 범위 내에서 임의적으로 변화가 허용된다. 이러한 설정온도는 재배 주체의 경험이나 기타 설계기준에 따라 선택적으로 결정된다.

반복되는 매 시간단계별로 보조열, q_{fuel} , 이나 냉방열, q_{cool} , 그리고 환기량, q_{vent} , 등이 전혀 요구되지 않는다는 전제 하에서 재배사의 에너지 평형방정식의 해가 우선 구해진다. 만일 계산된 재배사 기온, t_{airg} ,가 설정된 하한치, t_{fuel} , 아래로 내려가면 재배사의 온도를 설정된 하한치, t_{fuel} , 로 놓고 재배사의 에너지 평형식의 해를 다시 구함으로서 소요되는 보조 난방 및 냉방 부하량을 결정하게 된다. 따라서 보조 난방 및 냉방 시스템은 정확하게 비례하는 출력에 의한 이상적인 제어장치로 조절된다고 가정한다.

계획된 재배사의 모형에는 2단 환기방식을 적용하여 실제에 가까운 작동이 되게 했다. 이러한 2단 환기를 위한 설정온도 및 각 단계별 유량은 선택적이다. 환기율 역시 이상적인 2단 서모스타트에 의해 제어되는 것으로 가정했다. 환기가 필요하지 않다는 전제로 얻어진 재배사의 에너지 평형이 1단계 환기 설정온도, t_{vent1} , 보다 높게 나오면 재배사는 추가적인 환기를 요하게 된다. 초기에는 재배사 기온은 1단계 설정온도에 고정됐다고 가정하고 소요 환기량을 다시 결정하도록 한다. 이때 만일 소요 환기율, q_{vent} , 가 1단계 환기율 용량을 초과하면 일단 환기율이 1단계 환기율, q_{vent1} ,에 있다는 가정 하에서 에너지 평형식의 해를 다시 구하게 된다. 이때 재배사 기온은 1단계 환기율 하에서 변화가 이루어지게 하여 2단계 환기를 위한 설정온도에 이르기까지 허용한다. 만일 소요환기율이 1단계 환기율보다는 높으나 2단계 환기율보다는 낮은 경우에는 1단계와 2단계 환기율을 혼합하여 결과적으로 2가지 설정온도 사이에 재배사 기온이 놓이도록 환기율이 결정되게 한다. 이런 경우가 가장 복잡한 경우로서 많은 계산시간이 요구된다. 만일 소요환기량이 2단계 환기율, q_{venth} , 를 초과하면, 환기율, q_{vent} , 를 q_{venth} 로 두고 기온을 계산하게 된다. 이 단계에서는 재배사 기온,

tairg, 는 2단계 설정온도, tventh, 를 넘어서게 된다.

다만 문제는 환기와 냉방 및 난방 등이 예민하게 교차되는 시점에서의 제어논리의 복잡성이다. 특히 탄산가스를 제거하기 위해 환기량이 결정되어야 하는 시점에 난방과 냉방이 관련되는 경우에 대한 합리적 제어논리를 개발하는 것이 매우 복잡하다. 이러한 문제에 대한 해결책과 버섯의 성장단계별 생리현상을 수식화하는 것은 추후의 과제인 셈이다.

실제 상황의 환경제어 논리에는 예상되는 모든 가능성을 모두 고려해야 하지만, 실제 상황을 완벽하게 재현하는 데는 한계가 있다. 어떤 예기치 못한 오류나 제어장치의 해석상의 오해 등을 피하기 위해서는 무수한 조건문이 요구된다. 이런 결과로 인하여 계산과정에서 영뚱한 국면을 초래할 수 있다.

다. 재배사 모형시뮬레이션을 위한 컴퓨터 프로그래밍

재배사 내부 미기상적 현상을 묘사한 수학적 모형의 해를 구하기 위해서는 컴퓨터 프로그램이 필수적이다. 본 연구에서 이용된 프로그램은 Fortran 코드로 짜여졌으나, Visual Fortran 시스템에 의해 보다 편리하게 운용할 계획으로 변환을 시도하고 있다. 재배사에 대한 에너지 및 질량 평형식은 하나의 대형 연립방정식으로 공식화 될 수 있지만 이러한 식들은 매우 복잡적이며 상당수는 비선형적이다. 따라서 이러한 방정식을 연립으로 해를 구하기는 불가능하다. 따라서 각 모형을 여러 부분으로 나누어 개발하고, 각 서브루틴에서 미지 변수의 일부를 산정하는 형식으로 순차적으로 해를 구하며, 결국 전반적인 해가 반복법으로 얻어진다. 전체 에너지 및 질량 평형식이 각 시간단계 별로 결정되며, 바닥부에 대한 과도방정식이 시계열을 따라 단계적으로 확산된다. 프로그램의 개략적인 계산과정에 대한 골격은 Fig. 4-5와 같다. 우선 물리적인 상수를 비롯하여 재배사의 형식과 크기 등을 나타내는 각종 파라메타의 값, 그리고 바닥면 온도 등의 과도 변수의 초기 값, 그리고 평형 변수의 초기 값 등을 읽어 들인다. 본 프로그램을 시뮬레이션 하기 위해서는 상수 및 초기 파라메타들이 필요하다.

SUBROUTINE CONTROL

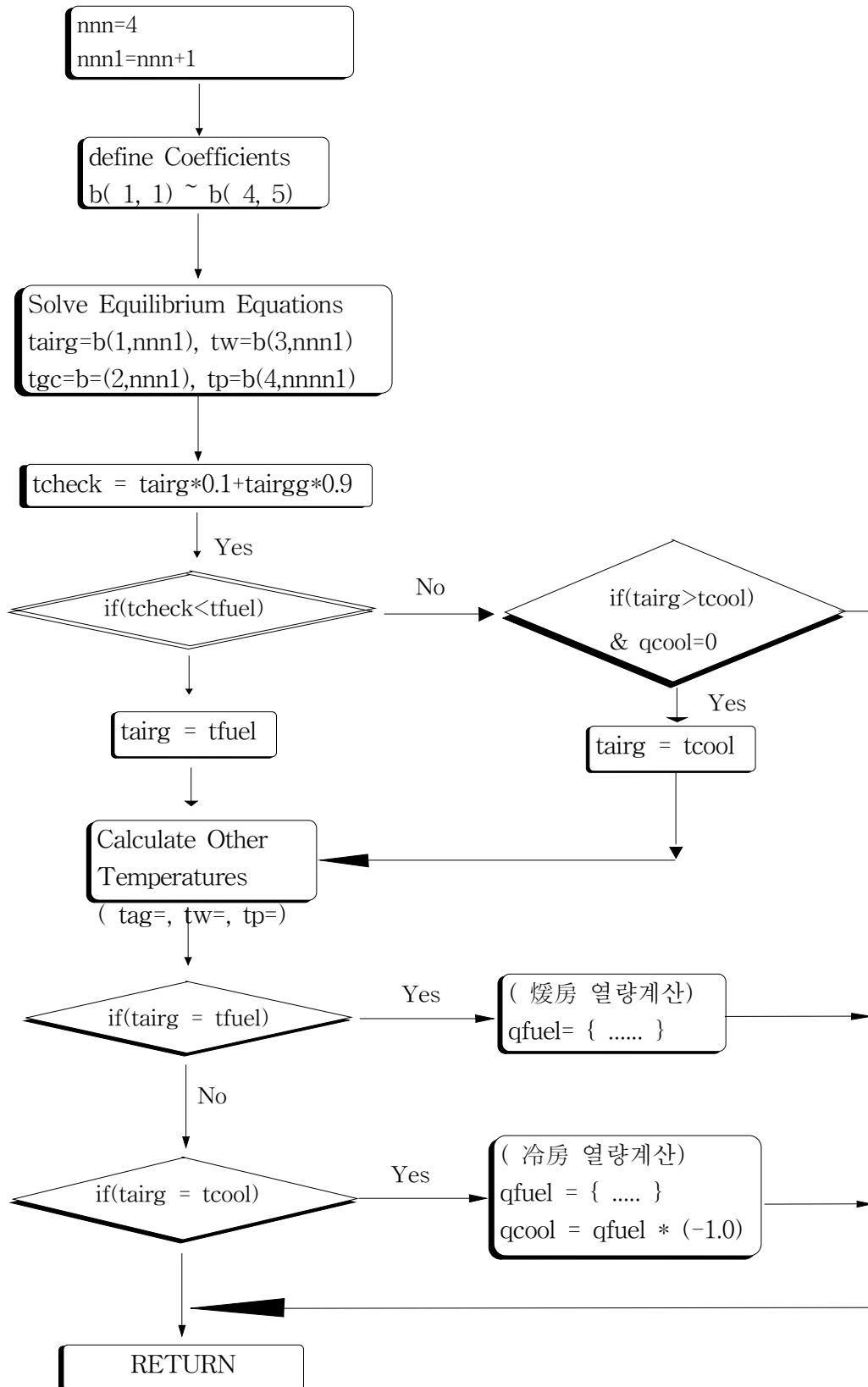


Fig. 4-5. Flow chart of mushroom house environment simulation.

이들 물리적 파라메타들은 재배사의 기하학적 윤곽을 비롯하여 재배되는 버섯, 환경제어장치 및 그들의 작동 범위 등이며, 초기 조건들은 대부분 과도모형의 활성화를 위한 기본조건이다. 이들 파라메타들을 FORTRAN 프로그램에서 읽혀지는 순서대로 나열하면 다음과 같다:

○ 상수 파일로 이용되는 파라메타들

1. time increment size, dt, (second)
2. latitude of mushroom house site, latit, (radian)
3. longitude of mushroom house site, long, (degree)
4. light scattering coefficient for mushroom house covering, sc, (ratio)
5. solar absorptance of mushroom, alphap, (ratio)
6. solar absorptance of heat storage surface, alpha1, (ratio)
7. solar absorptance of floor, alpha2, (ratio)
8. solar absorptance of wall, alpha3, (ratio)
9. solar absorptance of outside cover surface, alpha4, (ratio)
10. transparent cover thickness, thin, (mm)
11. refractive index of transparent covers, refin, (ratio)
12. solar radiation extinction coeff of transparent covers, ecoef, (mm^{-1})
13. thermal radiation extinction coeff of transparent covers, tecof, (mm^{-1})
14. airflow rate from waste heat source, qhog, (m^3/sec)
15. temperature of exhaust air from waste heat source, tairh, ($^{\circ}C$)
16. relative humidity of exhaust air from waste heat source, rhhog, (decimal)
17. mushroom house low ventilation capacity, qventl, (m^3/sec)
18. mushroom house high ventilation capacity, qventh, (m^3/sec)
19. heat storage circulation fan capacity, qvr, (m^3/sec)
20. mushroom house covering surface area, ac, (m^2)
21. mature mushroom age, am, (day)
22. number of mushroom per row, pno, (numbers/row)
23. numbers of rows of plants, rno, (numbers)
24. mature mushroom height, phm, (m)
25. mature mushroom diameter, pdm, (m)
26. height of bottle for mushroom growth, poth, (m)

27. mature mushroom surface area, pleafm, (m^2/plant)
28. evaporation resistance in mushroom surface, rpt, (sec/m)
29. evaporation resistance, bottle neck surface, (sec/m)
30. bottle neck area per mushroom, apot, (m^2/plant)
31. thermal resistance of wall, rwall, ($m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W$)
32. thermal resistance of mushroom house perimeter, rperi, ($m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W$)
33. initial mushroom age, ap, (day)
34. allowable iteration error, e, ($^\circ\text{C}$)
35. thermal emittance of floor, eif, (decimal)
36. thermal emittance of wall, ew, (decimal)
37. thermal emittance of mushroom, ep, (decimal)
38. thermal emittance of heat storage, er, (decimal)
39. specific heat of soil, cps, ($\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$)
40. bulk density of soil, bds, (kg/m^3)
41. floor thermal conductivity factor, akrf, (ratio)
42. specific heat of concrete, cpr, ($\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$)
43. bulk density of concrete, bdr, (kg/m^3)
44. thermal conductivity of concrete, kr, ($W/m \cdot ^\circ\text{C}$)
45. heat storage thermal conductivity factor, ak, (ratio)
46. equivalent spherical diameter of material in heat storage, esd, (m)
47. hydraulic diameter of heat storage plenums, hd, (m)
48. thickness of heat storage in airflow direction, depth, (m)
49. number of modes in heat storage analysis, nn, (number)
50. thickness of heat storage air plenum, pd, (m)
51. rockbed surface shading factor, fr, (decimal)
52. thermal conductivity of soil, ks, ($W/m \cdot ^\circ\text{C}$)
53. width of exterior soil influence zone, lpw, (m)

54. thickness of top floor temperature node, dely1, (m)
55. thickness of second floor temperature node, dely2, (m)
56. deep ground soil temperature, tcon, (°C)
57. horizontal floor temperature gradient factor, corect, (ratio)
58. mushroom house width, gw, (m) 59. mushroom house length, gl, (m)
60. heat storage length, rbl, (m)
61. heat storage height, rbh, (m)
62. height of mushroom house north wall, bh, (m)
63. mushroom house width from north wall to peak, bw, (m)
64. mushroom house peak height, ph, (m)
65. mushroom house south wall height, fh, (m)
66. mushroom house roof shading factor, rfr, (m)
67. south wall shading factor, sfr, (ratio)
68. east wall shading factor, efr, (ratio)
69. west wall shading factor, wfr, (ratio)
70. characteristic height for mushroom house covering, height, (m)
71. spacing between mushroom house coverers, spaced, (m)
72. maximum condensate on the inside cover, condm, (kg/m^2)
73. surface area to volume ratio for heat storage, savrat, (m^{-1})
74. carbon dioxide concentration in exhaust air
from waste heat source, co2hog, (ppm)
75. interception value of vertical axis, yaxis, (decimal)
76. heating set point temperature-one, tfuel1, (°C)
77. heating set point temperature-two, tfuel2, (°C)
78. heat storage setpoint temperature, trofan, (°C)
79. low capacity ventilation setpoint temperature, tventl, (°C)
80. full capacity ventilation setpoint temperature, tventh, (°C)
81. ventilation fan mechanical efficiency, effv, (decimal)

- 82. heat storage fan mechanical efficiency, $effr$, (decimal)
- 83. maximum acceptable mushroom house temperature, $tmax$, ($^{\circ}C$)
- 84. heating set point temperature-three, $tfuel3$, ($^{\circ}C$)
- 85. heating set point temperature-four, $tfuel4$, ($^{\circ}C$)
- 86. cooling set point temperature, $tcool$, ($^{\circ}C$)

○ 초기치로 필요한 파라메타들

- 1. mushroom inside floor surface temperature, $tif1$, ($^{\circ}C$)
- 2. mushroom outside floor surface temperature, $tof1$, ($^{\circ}C$)
- 3. mushroom outside subfloor temperature, $to101$, ($^{\circ}C$)
- 4. mushroom inside subfloor temperature, $ti101$, ($^{\circ}C$)
- 5. moisture condensation amount on inside cover surface. $mc(1)$, (kg/m^2)
- 6. moisture condensation amount on floor rock surface. $mf(1)$, (kg/m^2)
- 7. heat storage node temperature for each node, ($trock(i,1)$, $i=1,nn$), ($^{\circ}C$)
- 8. mushroom house air temperature, $tairgg$, ($^{\circ}C$)
- 9. heat storage airflow rate, $qrock$, (m^3/s)
- 10. mushroom house air-water vapor pressure, $pvgg$, (pascal)
- 11. mushroom house ventilation rate, $qvent$, (m^3/s)

파라메타들은 재배사를 비롯하여 내부 장치들과 내용물(자실체), 그리고 환경제어 장치의 설계 제어 설정치 등을 묘사하는 데 사용된다. 따라서 재배사 형상과 치수를 적절히 변형함으로써 다양한 규모와 형식의 재배사에 대한 환경 시뮬레이션이 가능하게 된다. 이어서 매 시간별로 월, 일, 시각, 일사량, 대기압, 건구 및 노점온도, 풍속, 적설 및 구름 지수 등이 읽혀진다. 추가적인 자료는 기본 자료로부터 산정되며, 어떤 자료의 증분은 각 시간 단계별로 보간하는 형식으로 결정된다. 자실체의 크기와 기하학적 형상계수 등은 24시간에 1번씩만 계산된다. 이와 같은 크기 및 형상계수 등의 계산 빈도는 선택적이다. 매 시간별 관련되는 각 표면에 대한 복사량의 유입, 반사, 흡수 등은 서버루틴에서 따로 계산되도록 했다. 물론 이 서버루틴에서는 소요되는 일사 및 열복사 특성치 등이 계산된다. 에너지 평형식들의 해를 구하기 이전에 각 열교

환 요소들 간의 열 및 질량 전달계수가 주어진 시각에서의 경계조건을 바탕으로 결정되어야 한다. 서버루틴 STEP에서는 모든 과도 및 평형 에너지 방정식의 해가 구해진다. 에너지 평형방정식의 해를 구하는 데 필요한 각 파라메타들은 subroutine STEP에 들어가기 전에 산정되어야 한다. 다음으로는 산정된 각 표면온도들을 이용하여 각 구성 주요 요소의 표면 상호간의 열복사교환의 해를 구함으로써 각 표면의 순 열복사교환량을 얻을 수 있게 된다. 이 열복사 부분은 열복사에 의한 열교환 메카니즘과 연계된 모든 파라메타가 결정되는 부분이므로 또 하나의 중요한 서버루틴이다. 본 열복사 서버루틴에서는 천공 방사력을 비롯한 가스 복사용 유통 경로, 가스의 전달 및 방사, 그리고 총체적 열저항 등 모두가 본 열복사 서버루틴에서 산정된다. 이어서 재배사 공기를 비롯하여 내부 벽체 표면, 자실체 표면, 바닥 표면 등에 대한 수분평형방정식의 해가 서버루틴, MOIST에서 구해진다. 일사 및 열복사 교환율, 잠열 전달율, 각 서버루틴에서 계산된 환경제어 값, 등을 이용하여 연립 평형 온도 방정식이 재배사의 공기를 비롯하여 자실체, 내부 벽체 표면, 등에 대한 온도치를 Gauss-Jordan 소거방식으로 구한다. 얻어진 평형온도는 일찍이 복사교환 방정식과 재배사의 수분평형 등에 사용된 산정치들과 비교된다. 각 표면온도치의 어느 한 온도의 계산치 및 추정치의 차가 설정한 오차 범위인 0.1°C 를 초과하면, 기존의 산정치와 계산치로부터 각 온도에 대한 새로운 추정치가 산정된다. 현재의 각 표면 온도 조건과 무관한 일사 복사량 계산을 제외 한 여타 모든 계산이 다시 반복된다. 이러한 계산과정은 값이 수렴될 때까지 계속된다. 재배사 모형의 비선형적 특성 때문에 산정된 온도의 변화가 충분히 작아져서 매 반복 마다 수렴성이 보장되도록 해야 한다. 평형된 온도가 어떤 해에 수렴되면, 과도적 바닥 온도의 해가 서버루틴 TRANS에서 구해진다. 이들 바닥 온도 방정식들은 선행된 서버루틴으로부터 얻어진 결과에 의해 명시적으로 해를 구할 수 있다. 이상이 하나의 시간 단계에서의 에너지 및 질량 평형방정식의 해를 구하는 하나의 완전한 절차다.

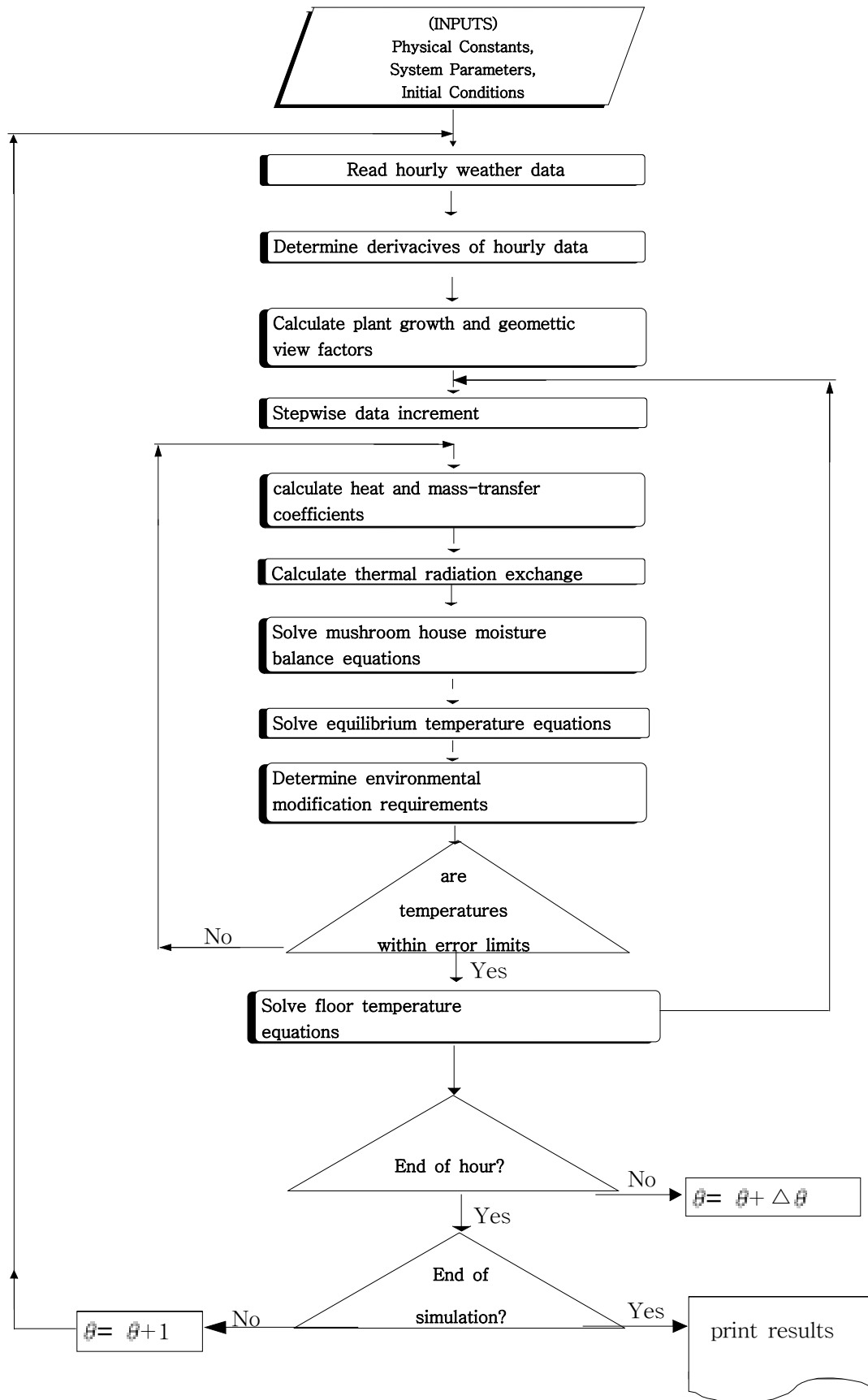


Fig 4-6. Flow chart of mushroom house environment simulation.

이상과 같은 계산 과정은 **Fig. 4-6**에 있는 흐름도에 잘 요약돼 있다. 이어서 수많은 에너지 및 질량 흐름량 들이 계산되고 그 값이 누적된다. 그리고 시간이 다음 단계를 위해 한 단계 증가되고, 새로운 시각에 대해 계산이 다시 이루어진다. 이러한 단계별 진전이 계속되어 한 시간 동안의 계산이 끝나면 새로운 또 한 시간의 기상자료들이 읽혀진다. 이 시뮬레이션 과정은 이렇게 반복되어 원하는 기간 전체가 끝날 때까지 계속된다.

2. 재배사의 환경 시뮬레이션

가. 서론

앞에서 이미 실제 기상상황에 대해 서술한 바와 같이 이 모형은 다양한 형상의 일반 버섯 재배사의 미기상 상황을 시뮬레이션 할 수 있는 조건을 갖추도록 개발되고 있다. 이 모형은 파라메타들을 적절히 변경함으로써 다양한 규모와 형상의 상황에서 재배사의 미기상 환경이 어떻게 반응하는 지를 살펴볼 수 있게 된다. 수많은 대체 시스템들과 방법이 도입됨으로써 재배사의 난방이나 냉방 에너지 소요량을 절감하거나 조성되는 환경을 질적으로 개선하기도 한다. 본 연구에서 채택한 시뮬레이션 대상 재배사는 일반 농가에 널리 보급되고 있는 샌드위치패널 구조로서 본 연구의 2년차 과정에서 최적 공간활용 시스템으로 선정된 구조형상의 재배사이며, 기상조건은 경남 진주지역의 전형적인 기상 데이터로 선정된 JINJU.TMY 이며, 데이터의 구성은 월, 일, 시각, 외기온, 노점온도, 수평면 일사량, 적설심, 구름지수 등이다. 재배사의 설정온도는 2차년에서 냉·난방 DEGREE-HOUR 를 산정할 때 채택한 재배사 적정온도 범위와 유사하게 설정함으로써 시뮬레이션 결과에서 얻어진 냉·난방 소요 에너지량을 기 산정된 냉·난방 DEGREE-HOUR 와 비교할 수 있게 하였다. 결국 시뮬레이션 대상 재배사의 형상은 폭 7.2m, 길이 20m, 측고 3.3m, 동고 4.3m 이며, 실내 재배상 양 벽면에 각각 연하여 폭 1.7m (0.4m X 0.4m 박스 4줄 기준)의 규모로서 850cc 규격의 병재배를 기준으로 최대 25,600 병을 수용할 수 있으나, 실제 재배효율을 감안하여 최대 재배용량의 80% 전후가 재배되는 것으로 가정하였다.

재배사는 20일의 재배주기를 기준으로 연중 지속적으로 가동되는 것으로 가정했으

며, 작업의 효율 등을 고려하여 약 16주기 전후가 합리적일 것으로 판단하였다. 즉, 배지병 공급처로부터 배지를 공급받은 입상 일을 기점으로 하여 20일 후에 재배가 종료되며, 재배 종료 익일부터 다시 재배가 반복되는 것으로 하였다.

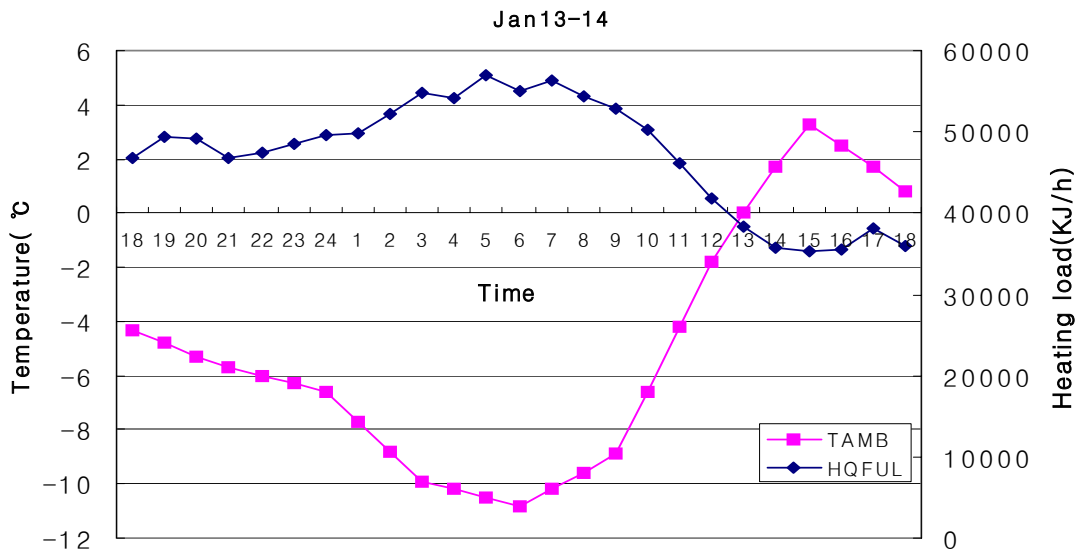
재배사의 온도는 냉방 및 난방을 위해 설정된 온도를 유지하는 것으로 가정하였다. 전형적인 경우의 예로는 실내온도를 15℃에서 17℃ 사이에 유지하기 위해서는 예측된 실내 온도가 15℃도 이하가 되면 실내온도를 15℃로 높이는 데 필요한 난방 열량을 계산하고, 반면에 예측된 설정온도가 17℃ 이상이 되면 17℃로 내리는 데 필요한 냉방 열량을 계산하도록 하였다.

나. 예측된 단기 및 장기 냉·난방 열량 비교

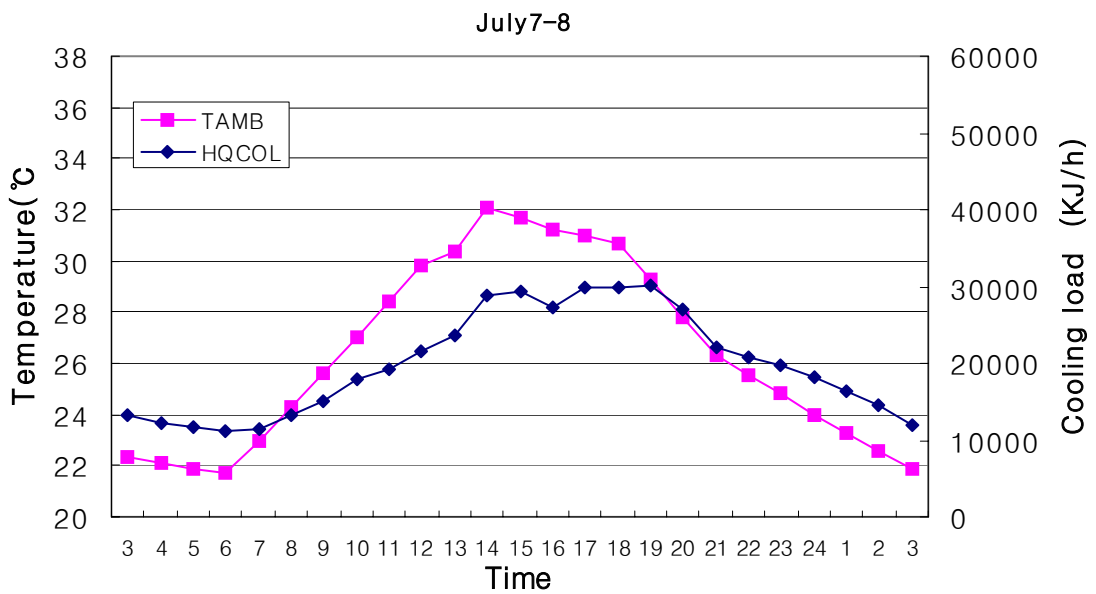
재배사의 미기상환경 시뮬레이션에서 가장 중요한 두 가지 기상 인자는 외기온과 일사량이다. 본 연구에서는 매 시간별 기상관측 자료를 바탕으로 120초(2분) 간격으로 제반 미기상 상황을 시뮬레이션하고, 이를 누적하여 매 시간별, 일별, 월별, 그리고 연간 누적치들을 계산했으며, 여기서는 참고로 시뮬레이션 된 일부 냉난방 에너지부하량과 함께 유입된 일사량이나 재배사에 대한 월별 평균 열전달계수 등을 표로 요약하였다.

Fig. 4-7은 시뮬레이션에 이용된 진주지역의 표준기상자료인 CHINJY.TMY 자료 중에서 가장 냉방부하가 높았던 날과 가장 난방부하가 높았던 날을 선정하여 매 시간별 외기온과 냉난방 부하량의 변화를 도시한 것으로서, 이러한 결과는 난방시스템이나 냉방시스템을 설계할 경우, 혹한 및 혹서기의 시스템 용량을 산정하는 데 도움이 될 것으로 판단되었다.

재배사의 가동에 대한 시뮬레이션 결과에서 가장 중요한 것은 소요 냉·난방 에너지량이다. 설정 온도별로 시뮬레이션 된 연간 냉방 및 난방 총 소요부하량을 요약해보면 **Table 4-1**와 같으며 **Fig. 4-8**은 각 설정온도별로 분리하여 월별 소요 난방 및 냉방 열부하량을 대비한 것으로서 하절기와 동절기의 계절별 월별 부하량의 변화를 알아볼 수 있다.



(a) during minimum ambient temperature



(b) during maximum ambient temperature

Fig. 4-7. Variation of hourly heating and cooling heat loads during minimum and maximum ambient temperature periods.

Table 4-1. Simulated Annual heating and cooling loads depending on setting temperature(T_s).

Monthly	$T_s=14-16^\circ\text{C}$		$T_s=15-17^\circ\text{C}$		$T_s=16-18^\circ\text{C}$		$T_s=17-19^\circ\text{C}$	
	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling
	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ
Jan	25,842.4	13.2	28,035.3	7.4	30,268.3	3.3	32,541.5	0.5
Feb	19,729.5	0	21,711.5	0	23,735.9	0	25,796.6	0
Mar	16,433.9	0	18,617.3	0	20,841.6	0	23,106.4	0
Apr	7,280.2	220.8	8,953.6	70.7	10,805.1	8.7	1,2791	0
May	1724	2263	2,502.3	1,395.5	3,530.8	784.3	4,852.2	415
Jun	46.1	6,304.2	142.7	4,575.7	362.5	3,081.7	775.5	1,910
Jul	0	16,236.8	0	13,723.7	0	11,183.5	0	8,666.9
Aug	0	17,527.6	0	15,031.3	0	12,500.5	0	9,963.4
Sep	803	4,105.4	1,202.1	2,727.7	1,740.9	1,642.2	2,489.3	909.3
Oct	3,534.7	1,209.1	4,714.6	634.8	6,065.1	298.6	7,664.9	106.9
Nov	12,837.3	29.7	14,846.1	26.1	16,919.4	22.5	19,039.9	19.3
Dec	23,687.2	0	25,840.9	0	28,036.3	0	30,270.5	0
Total	111,919	47,909.8	126,566	38,192.9	142,306	29,525.3	159,328	21,991.3

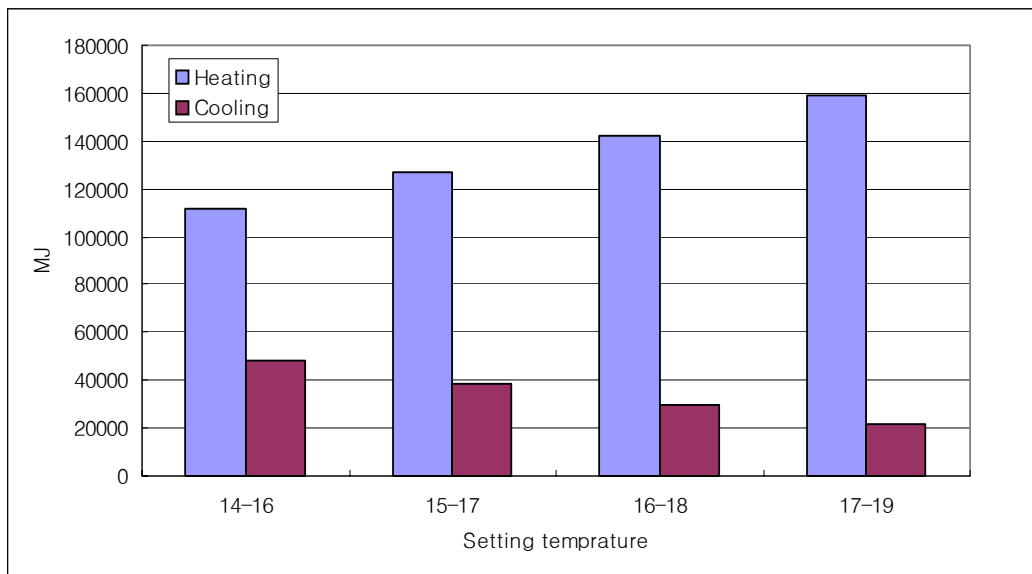
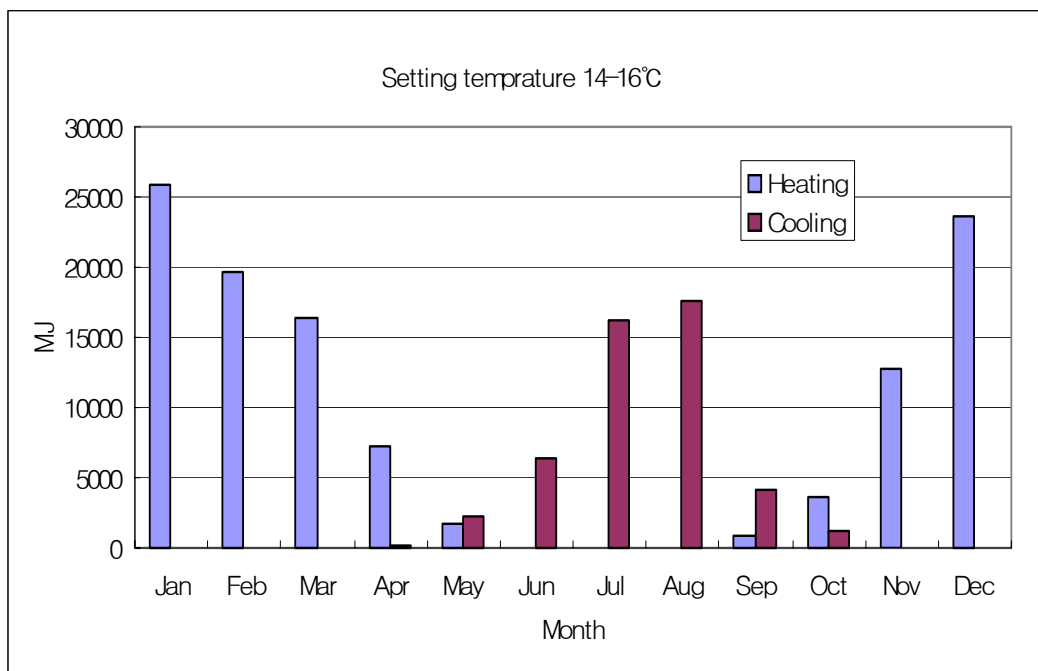


Fig. 4-8. Comparison of Simulated Monthly Energy Requirements depending on different setting temperatures.

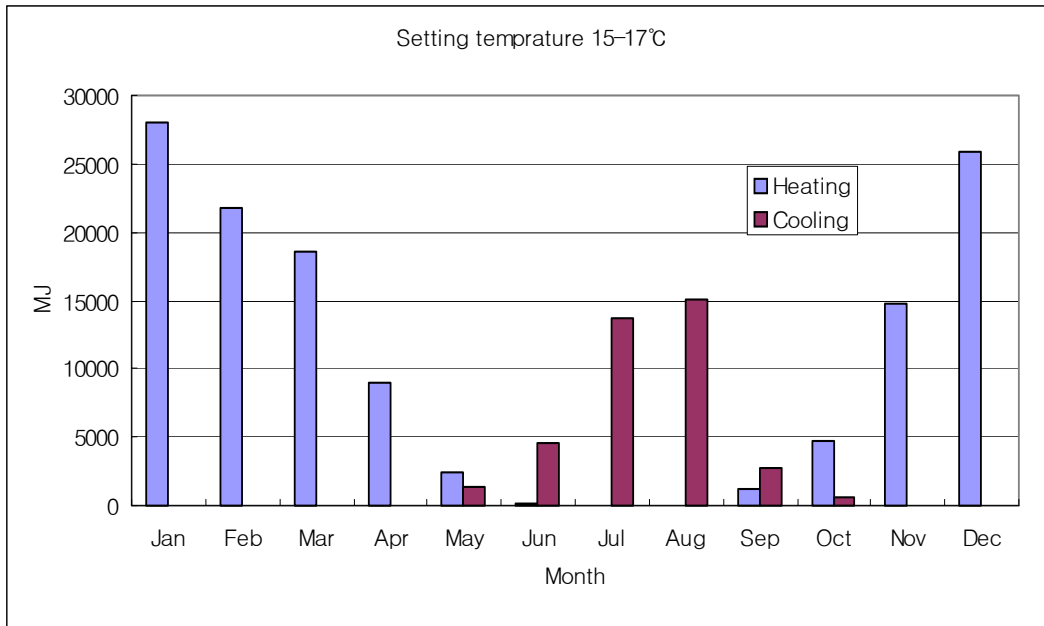
Table 4-1에서 알 수 있듯이 설정온도의 변화에 따라 난방 소요열량과 냉방 소요열량이 예민하게 변하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 권장되고 있는 실내기온인 15~17°C를 설정온도로 할 경우, 난방의 경우 1월에 최고 28.04 GJ을 보이며 6월, 7월 8월 3개월간에는 난방이 거의 요구되지 않는 것으로 나타났다. 냉방의 경우 역시 8월에 최고 15.03 GJ의 냉방 부하를 보였고, 12월에서 익년 3월까지의 거의 냉방부하가 없는 것으로 나타났다.

여기에 제시된 시뮬레이션 결과는 수확모형에 대한 검토가 아직 이루어지기 이전의 결과이므로 절대적인 기준이라기보다는 설정된 온도별 상대적 변화를 추정하는 데 이용될 수 있을 것이며, 앞으로 모형개발의 진전과 아울러 실측된 자료들을 중심으로 검토를 거쳐야 할 과제가 남아 있다.

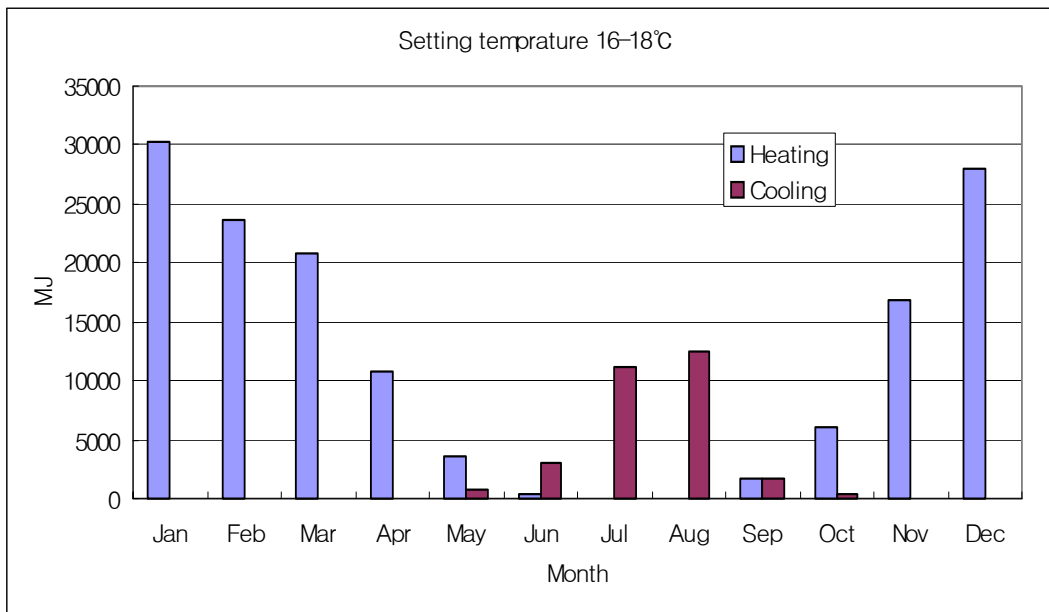
다음으로는 설정온도 15~17°C의 상한치 및 하한치를 각각 1°C씩 변화시키면서 난방 및 냉방 부하량을 시뮬레이션 하였으며, 그 결과를 대비해 보면 Fig. 4-9와 같다.



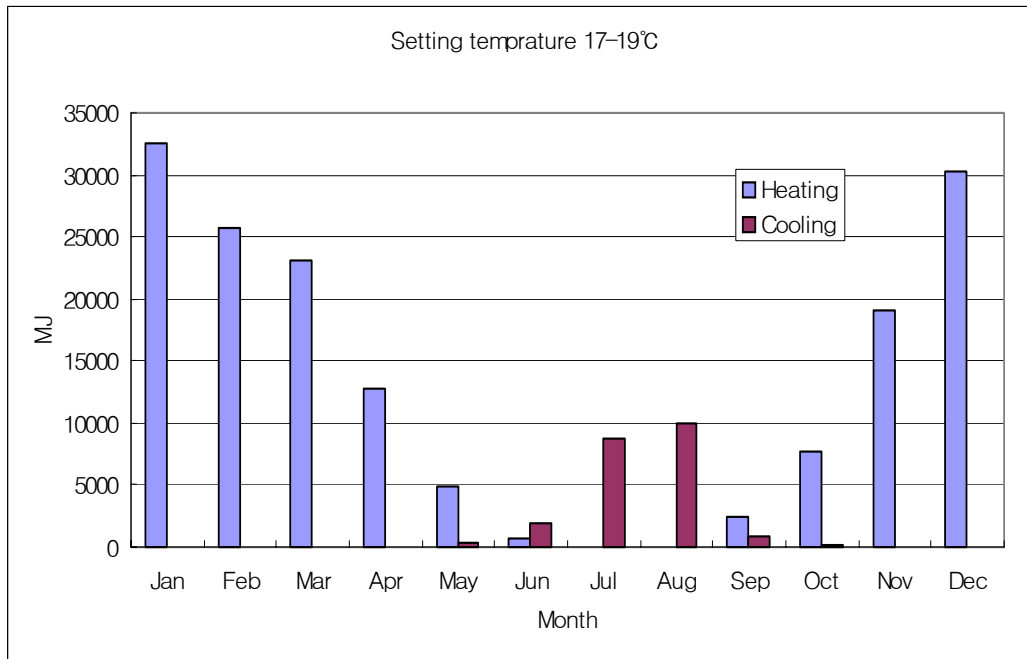
(a) Setting temperature 14~16°C



(b) Setting temperature 15~17°C



(c) Setting temperature 16~18°C



(d) Setting temperature 17~19°C

Fig. 4-9. Comparison of simulated annual heating and cooling loads depending on setting temperatures.

여기서, 실내기온이 15~17°C로 설정된 경우, 연간 총 냉방 및 난방 소요 부하량 중 에서 난방이 차지하는 비율이 76.8%로서 부하열량의 측면에서는 냉방 부하열량이 난 방 부하열량의 1/3정도에 불과함을 알 수 있다. 여기서도 난방 설정온도 15°C 때의 소 요 난방부하량을 기준으로 난방 설정온도 의 변화에 따른 부하량 변화추이를 살펴볼 수 있다. 즉, 난방 설정온도를 기준 온도 15°C에서 1°C 낮추면 약 11.6% 정도의 난방 부하가 줄어들며, 반대로 1°C를 높힌 경우와 2°C를 높힌 경우는 각각 12.4% 및 25.9% 정도 난방 부하가 늘어남을 알 수 있다. 이러한 결과는 설정온도의 상승 비율에 비해 난방부하의 상승 비율이 설정온도가 높아질수록 더욱 촉진됨을 알 수 있다. 따라서 적어도 동절기에 실내온도를 높게 설정하는 것은 에너지 이용측면에서 득이 될 것이 없음을 알 수 있다. 한편 냉방 설정온도 역시 기준온도 17°C에 비해 1°C 낮추면 25.4%의 냉방열 부하가 증가되지만 반대로 1°C 및 2°C를 높인 경우는 각각 22.7% 및 42.4% 정도 냉방 부하가 줄어듦을 알 수 있고, 그 줄어드는 정도는 설정온도가 높아

질수록 둔화됨을 알 수 있다.

본 연구에서 대비한 냉방부하량은 단순히 냉방부하 열량을 기준으로 한 것이지만 실제 냉방 시스템을 가동할 경우에는 냉방기의 단위 소비전력(kJ/h) 대비 냉방능력(kJ/h)을 고려할 필요가 있다. 일반적으로 버섯 재배사 등의 환경조건 하에서 이용되는 냉방시스템의 경우 냉방능력 대비 소비전력의 비가 약 0.37 정도인 것으로 추정되었으므로 시뮬레이션 결과 얻어진 냉방부하량을 소비전력량으로 환산할 수 있을 것이다. 따라서 전기에너지의 비용측면에서 따지자면 냉방기 시스템의 에너지 효율비(EER: Energy Efficiency ratio)를 당연히 고려해야 할 것이나 고정된 EER을 사용하는 것 보다는 새로운 시스템의 적정 EER을 고려하여 제시된 열량을 환산하여 대비해 볼 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 시뮬레이션에 사용된 수학모형이 아직 완성단계가 아니라 개발이 진행되고 있는 관계로 계산치와 실측치를 직접 대비할 수는 없으나 상대적인 경향을 알아보는 데에는 도움이 될 것으로 판단된다.

일반적으로 재배사의 설정온도는 적어도 에너지 측면에서는 하절기에 높게, 그리고 동절기에는 낮게 유지하는 것이 유리함을 재확인할 수 있다. 물론 계절별 설정온도를 달리했을 경우에 대해서도 시뮬레이션을 해 볼 수는 있을 것으로 판단되나 본 연구에서는 거기까지 살펴보지는 못했다. 다만, 지금까지 시뮬레이션 된 결과인 **Table 4-1**를 바탕으로 간접적으로 살펴보기 위해서는 하절기 6~8월 동안에는 16~18℃로 높게 책정하고 동절기인 여타 기간에는 14~16℃로 낮게 책정한 경우를 참고할 수 있다. 이 경우 난방부하량은 112,236 MJ로서 년중 15~17℃로 책정하는 경우의 126,566 MJ에 비해 약 11.3% 정도 경감되며, 냉방부하는 38192.5 MJ에서 6,565 MJ 만큼 경감되어 17.2% 정도 절감된다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 계절별 생육단계별 적정 설정온도의 선택과 아울러 온도 제어시스템의 정확성 확보와 설정온도의 변화에 대한 단계별 증감 역시 재배사의 소요 에너지 부하 경감에 상당한 영향을 미칠 것이라는 사실을 확인할 수 있다. 특히 냉방과 난방 공히 전기를 에너지원으로 할 경우 난방에너지 소요전력 대비 냉방에너지 소요전력 비율은 설정온도 15~17℃ 기준으로 12.5%에 불과함을 알 수 있다. 결국 버섯재배사의 온도관리 측면에서는 하절기 냉방비용에 비해 동절기 난방비가 결정적으로 높은 비중을 차지함을 알 수 있다.

또한 이러한 시뮬레이션 결과를 기존에 검토했던 난방 또는 냉방 DEGREE-HOUR

와 비교해볼 수도 있다. **Table 4-2**는 설정온도 16~18℃ 및 15~19℃의 두 가지 경우에 대한 각각의 계산 결과와 아울러 월별 평균 열전달계수(overall heat conduction coefficients)의 변화를 살펴본 것이다. **Table 4-2**에서 알 수 있듯이 시뮬레이션된 냉난방 열부하량과 냉난방 degree-hour 간에는 유사한 경향이 있음을 알 수 있다. 특히 표에서 발견할 수 있는 월별 평균 열전달계수는 월별로 큰 차이를 보이지는 않으며 어떤 범위를 기준으로 미미한 변화가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 미미한 변화는 재배사라는 시설물로 인한 2차적인 경계조건이 형성됨으로서 나타나는 결과로서 시설물에 대한 장기간의 환경 시뮬레이션의 경우가 단순한 내외 온도차만을 기준으로 산정되는 냉난방 degree-hour의 경우에 비해 실제 상황에 더 가까운 결과임을 의미하는 것이다.

Table 4-2. Comparison between simulated energy load and degree-hour, and variation of monthly overall heat conduction coefficients.

Mon	Ts=16-18℃					Ts=15-19℃				
	Cooling		Heating		Ave. Heat Cond. coeff.	Cooling		Heating		Ave. Heat Cond. coeff.
	D-H	Sim. MJ	D-H	Sim. MJ		D-H	Sim. MJ	D-H	Sim. MJ	
Jan	0	3.3	11711	30268.3	0.0307	0	0.5	10966	28030.2	0.0307
Feb	0	0	8843	23735.9	0.0307	0	0	8177	21711.5	0.0308
Mar	2	0	7310	20841.6	0.0307	0	0	6585	18617.3	0.0308
Apr	289	8.7	3446	10805.1	0.0321	177.4	0	2923	8951.8	0.033
May	1210	784.3	1025	3530.8	0.0124	905.7	381.8	776	2468.5	0.0177
Jun	2619	3081.7	102	362.5	0.0263	2114	1873.1	52	125.9	0.026
Jul	4793	11183.5	2	0	0.0261	4054	8666.9	1	0	0.0262
Aug	5139	12500.5	0	0	0.0258	4395	9963.4	0	0	0.0258
Sep	1887	1642.2	458	1740.9	0.0247	1431	890.6	326	1184	0.0245
Oct	853	298.6	1753	6065.1	0.0416	623	77.9	1378	4678.9	0.0693
Nov	20	22.5	5690	16919.4	0.0311	10	11.3	5024	14837.7	0.0313
Dec	0	0	10692	28036.3	0.0307	0	0	9958	25840.9	0.0308
Tot.	16,813	29,525.3	51,033	142,306		13,710	21,865.5	46,165	126,447	

본 시뮬레이션을 통하여 산출된 난방 및 냉방 부하량과 degree-hour의 관계는 월별로 제시된 평균 열전달계수와 시설물의 열전달 표면적의 관계에서 그 유사성을 확인할 수는 있으나 일관된 관계를 도출하기는 어렵다는 것을 알 수 있다. 냉난방 degree-hour를 이용하며 상대적 비교는 가능하나 실제로 에너지량을 산정하기가 어려우므로 수학적 모형개발을 통하여 실제 상황을 추정하고자 하는 것이다.

3. 수학적 모형 개발 및 시뮬레이션에 대한 추후 과제

① 자실체의 생리적 메카니즘의 수치적 해석 : 재배사의 미기상환경을 예측하기 위한 수학적 모형을 합리적으로 개발하기 위해서는 자실체의 성장 메카니즘의 규명을 통한 보다 합리적인 생육모형의 개발과 그에 따른 탄산가스의 발생 메카니즘을 합리적으로 정립할 필요가 있다. 본 연구를 통해 부분적인 노력은 이루어졌으나 일반 균사에 대한 현상을 연장해서 추론할 뿐 국내외를 막론하고 자실체의 대사활동 등과 관련된 연구가 체계적으로 이루어진 것이 전무한 상황이라 아직 이론적으로 검증할 수 있는 단계가 아니다. 다만, 자실체의 체중증가와 체적 및 표면적 관계를 단순화된 형상을 바탕으로 유추함으로써 비록 정확하지는 못하더라도 모형에 반영함으로써 여타 미기상적 환경 여건을 상대적으로 시뮬레이션하는 데는 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로 이러한 기초적인 연구가 활발히 이루어지게 되면 본 연구에서 목표로 하는 모형시뮬레이션의 개발 및 응용 역시 큰 진전을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.

② 재배사의 온도, 습도, 환기량 관계 : 재배사 내부에 형성되는 주요 환경 요인은 온도를 비롯하여 습도와 탄산가스 농도 등이며, 이들을 적절히 조절하여 자실체의 생육에 적합한 수준을 유지하는 것은 결코 간단하지 않다. 특히 이러한 환경인자들을 조절하기 위하여 작동되는 냉방시스템, 난방시스템, 가습장치, 환기장치 등은 상호 독립적으로 작동되면서도 환경 인자들의 변화에 복합적인 영향을 끼치게 된다. 특히 휴한기나 휴서기 때에는 탄산가스 농도 조절을 위한 소요 환기량과 환기에 따른 냉방이나 난방 부하의 관계가 매우 긴밀하게 관련됨은 물론 에너지 절감문제와 직결된다. 따라서 다양한 온도조건과 탄산가스 농도에 따라 환풍기의 작동 유무와 작동의 정도

를 결정하고 그 결과를 최적화한다는 것은 매우 중요한 만큼 그러한 논리를 체계화하는 데는 많은 시간이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 자실체의 성장단계별로 달라지는 탄산가스 및 열량 발생과 더불어 실내에 조성되는 환경인자들의 관계에서 적절한 논리들을 추론하고 개발하는 단계로서, 본 보고서에는 아직 흡족한 환기량 결정 수준에는 이르지 못하고 기본 환기량을 중심으로 시뮬레이션을 시도하였다.

제 5 절 경제성 분석

1. 서론

새송이버섯 생산을 위하여 새롭게 시설 투자를 하는 경우는 물론 기존의 간이형 버섯 재배사로서 버섯을 생산하던 농가에서 재배사의 구조를 비롯하여 제반 환경조절시스템이 제대로 갖춰진 반영구형 재배사를 구상하는 경우, 비교적 대규모의 초기 투자에 대한 부담을 안을 수밖에 없다. 이 투자액은 새로운 시설을 운용함으로써 질적 및 양적으로 개선된 생산성 향상을 통하여 시스템이 가동되는 경제적 내구연한(economic life cycle)에 걸쳐 연차적으로 회수하게 된다. 따라서 새로 투자될 농업 생산시스템에 대해 경제적 타당성을 검토해 보는 것은 당연한 조치로서, 이에 가장 보편적인 방법으로는 시설 및 장치들의 수명기간 동안을 통한 비용과 수익에 대한 경시적 분석방법이 있다. 이러한 분석에는 투자된 돈에 대한 기회비용뿐만 아니라 투자로부터의 예상 수익과 함께 모든 관련 비용이 반드시 포함되어야 한다.

경제성 검토는 다양한 분석방법과 형식으로 접근할 수 있으며 여기에는 수많은 변수들이 관련된다. 따라서 모든 경우에 대해 적용 가능한 방법을 찾는다는 것은 불가능하므로 특정 파라미터의 변화가 투자 대상 시스템의 경제적 타당성에 미치는 영향의 정도를 알아보는 예민성(sensitivity) 분석 등의 경우에는 대상 파라미터의 값을 제외한 여타 파라미터의 값들은 고정되었다고 가정할 수밖에 없는 것이다.

본 연구에 이용된 분석방법은 순수 현재가 방법을 이용한 세후 분석 방법이다. 주어진 시스템에 대한 모든 장래의 비용 및 회수액들이 투자 초기(현재) 시점으로 환산되는 방법이다. 그래서 버섯 재배사의 설치비용을 버섯 생산을 통한 회수액에 비교하는 것이다. 그래서 그 시스템을 중심으로 비용과 편익의 관계에서 년차별 편익-비용 차액이 산정되고 그들의 누계가 양(+)의 값으로 전환되는 시점에서 한계비용과 한계 편익 발생시점을 찾게 된다.

물론 요구되는 생산량과 판매금액을 예상되는 시스템의 최적 운영 결과와 함께 적용함으로써 경제적으로 최적의 규모와 형식의 시스템을 설계할 수도 있을 것이며, 또한 재배사의 규모와 소요인력 간의 관계를 비롯하여 주어진 여건 하에서 전업인력과

분업인력 그리고 확보할 수 있는 노동력 등의 상황에 따른 적정 재배규모를 목표로 하여 분석할 수도 있을 것이다.

소요비용은 물론 시스템을 활용함으로써 얻어지는 이익에는 수많은 인자들이 영향을 준다. 이들 인자들 중에는 시스템의 초기비용(initial cost)을 비롯하여 적용할 세액 공제(tax credit), 잔존가치(salvage value), 할인율(discount rate), 경제적 수명(economic life length), 유지관리비(maintenance costs), 재산세율(property tax rate), 보험료(insurance costs), 임계 수입세율(marginal income tax rate), 초기 연료가격(initial fuel cost), 연료가격 인상률(fuel cost inflation rate) 및 일반 가격 인상률(general inflation rate) 등이 있다. 이러한 변수들의 값들은 분석 초기에 구체적으로 명시되어야 한다. 이 값들은 이미 알려져 있는 경우도 있지만 때로는 관련 식에 의해 산정하거나 임의로 가정이 필요한 경우도 있다.

이 분석방법은 시스템 설치시에 상환되는 차용자금(borrowed capital)이 아니라 일시 현금 지불 형식의 납입자금(equity capital)으로 구입된 것으로 가정하고 이루어진다.

일반적으로 시스템에 대한 할인 현금가는 어느 것으로 하나 거의 같은 것이다. 할인율을 비롯하여 대출 이자, 투자자의 수입 세율, 그리고 대출금의 상환 계획 등 여러 인자들 간의 관계에 따라 시스템의 비용에 다소의 변화가 있지만 그런 분석에 의해 도입되는 복잡성은 본 연구에 고려되지 않았다.

수입 세액 공제는 그 세액이 반영되는 경우에 한하여 투자된 1년 후에 일시금으로 들어오는 것으로 가정한다. 그러나 농업부문의 경우는 소득에 대한 영세사업자 수준의 정액세율마저도 적용할 수 없는 관계로 분석에 반영하기에는 아직 이르다.

유지관리비는 시스템의 수명 동안 균일한 것으로 보았으나 일반 가격 인상률에 따라 매년 상승되는 것으로 가정하였다.

재산세와 보험료는 감가상각된 가치의 일정비율로 가정하고, 직선형 감가상각법을 이용하는 것이 일반적이거나 이 또한 시설농업이 영세 농업부문으로 분류되고 자산가치가 상당함에도 불구하고 보험의 범주에서 벗어나 있는 관행이 되풀이 되고 있다.

수입 세금공제율(income tax deduction rate)이 반영되어야 할 경우, 해당되는 모든 공제형 비용에 포함시키도록 하였다.

생산물의 판매수입은 매년 연말에 일괄하여(lump sum) 생기는 것으로 가정하였다.

이상과 같은 제반 조건들을 반영하여 분석에 이용된 현금의 흐름도를 도시하면 Fig. 5-1과 같다.

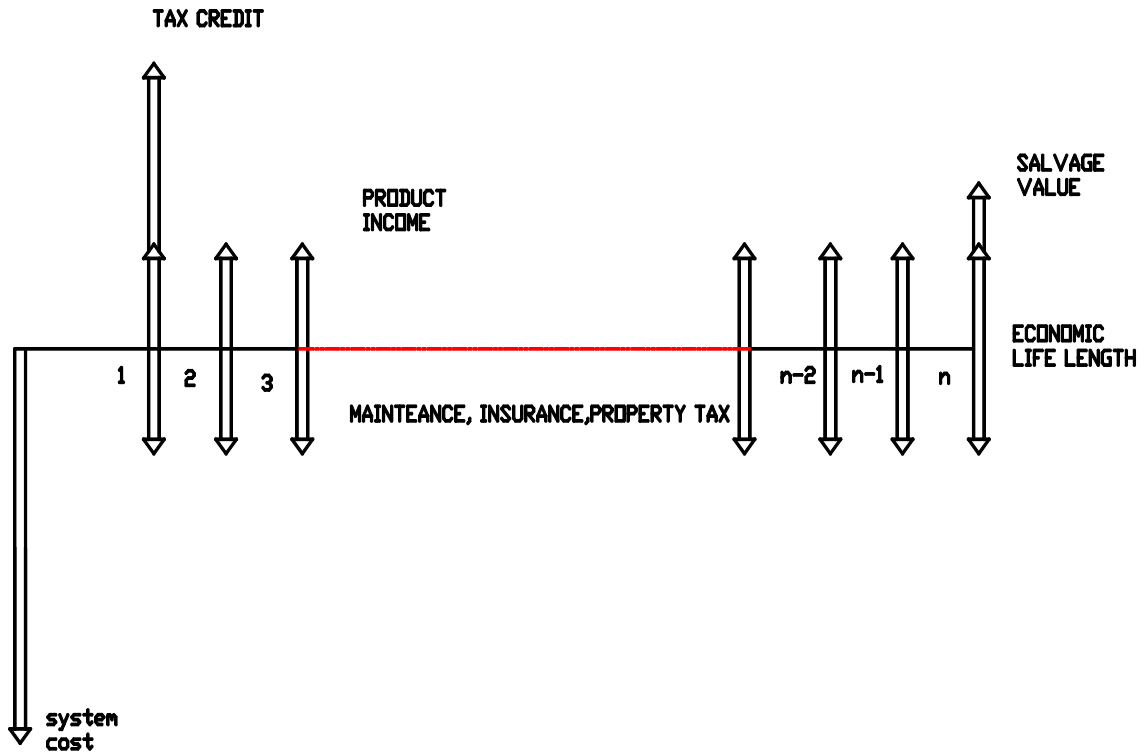


Fig. 5-1. Cash flow diagram used in life-cycle economic analysis.

2. 단위 가격 산정 및 계산 모형 설정

경제성 분석을 위하여 선정된 재배사의 규모를 중심으로 재배사의 건축 공사 및 부대시설과 환경 조절장치 등의 비용에 대한 구체적인 내용은 전문업체로부터 제시된 견적서를 참조하였다.

분석을 위해 엑셀 프로그램으로 개발된 비용-편익 분석표(Balance Sheet)에 나타나는 각종 변수들 및 그 입력 값과 그들의 단위 등은 아래와 같이 요약할 수 있다:

가. 가격 산정

1) 재배사의 평면 치수, 단위면적당 시공단가 및 시공비

① 재배사 바닥 규모: 폭 Width = 7.2 m, 길이 Length = 24 m

$$\text{바닥면적} = 7.2\text{m} \times 24\text{m} = 172.8\text{m}^2$$

② 자재 및 시공비 : $262,000\text{원}/\text{m}^2 \times 172.8\text{m}^2 = 4,527$ 만원

2) 임대료, 부대장치비 및 설치비

① 냉방용 에어컨시스템 : $730.2\text{만원}/\text{식} \times 2\text{식} = 1,460.4$ 만원

② 전기식 온수보일러시스템 : $265.6\text{만원}/\text{식} \times 1\text{식} = 265.6\text{만원}$

③ 가습기 : $150\text{만원}/\text{식} \times 1\text{식} = 150\text{만원}$

④ 환풍기 : $14\text{만원}/\text{식} \times 4\text{식} = 56\text{만원}$

⑤ 콘트롤박스 : $300\text{만원}/\text{식} \times 1\text{식} = 300\text{만원}$

⑥ 저온저장고 : $738\text{만원}/\text{실} \times 1\text{실} = 738\text{만원}$

⑦ 부지 임대료 : $5\text{만원}/\text{m}^2 \times 172.8\text{m}^2 = 864\text{만원}$

3) 재배사의 유지관리비

① 전기료 : $2240 \text{ kW-hr}/\text{월} \times 12\text{월}/\text{년} \times 49\text{원}/\text{kW-hr} = 131.7\text{만원}/\text{년}$

② 수도료 : $60.14\text{리터}/\text{일} \times 17\text{원}/\text{리터} \times 365\text{일}/\text{년} = 37\text{만원}/\text{년}$

③ 배지병 구입비 : $350\text{원}/\text{병} \times 17,280\text{병}/\text{주기} \times 16\text{주기}/\text{년} = 9,676.8\text{만원}/\text{년}$

④ 온수보일러 발열기 교체 : $50\text{만원}/\text{개} \times 2\text{개}/3\text{년} = 33.3\text{만원}/\text{년}$

⑤ 냉방 에어컨 관리 : $50\text{만원}/\text{회} \times 2\text{회}/3\text{년} = 33.3\text{만원}/\text{년}$

⑥ 건물관리(외부 도색 등) : $200\text{만원}/5\text{년} = 40\text{만원}/\text{년}$

⑦ 일용직 인건비 : $6\text{만원}/\text{인}/\text{일} \times 2\text{인} \times (4\text{일}/\text{재배주기}) \times 16\text{주기}/\text{년} = 768\text{만원}/\text{년}$

4) 직접경비

인건비(부부 2인, 인건비 상승률 1.5% 기준) :

$$5\text{만원/일/인} \times 2\text{인} \times 30\text{일/월} \times 12\text{월/년} \times (1+0.015) = 3,654\text{만원/년}$$

5) 감가상각비

① 재배사(내구년 10년 기준) :

$$4527\text{만원/채} \times 1\text{채} \div 10\text{년} = 452.7\text{만원/년}$$

② 냉방용 에어컨시스템(내구년 5년 기준) :

$$730.2\text{만원/식} \times 2\text{식} \div 5\text{년} = 292.1\text{만원/년}$$

③ 전기식 온수보일러시스템(내구년 5년 기준) :

$$265.6\text{만원/식} \times 1\text{식} \div 5\text{년} = 53.1\text{만원/년}$$

④ 가습기(내구년 5년 기준) : 150만원/식 x 1식 ÷ 5년 = 30만원/년

⑤ 환풍기(내구년 5년 기준) : 14만원/식 x 4식 ÷ 5년 = 11.2만원/년

⑥ 콘트롤박스(내구년 5년 기준) : 300만원/식 x 1식 ÷ 5년 = 60만원/년

⑦ 저온저장고(내구년 10년 기준) : 738만원/실 x 1실 ÷ 10년 = 73.8만원/년

이상과 같이 요약된 각종 파라메타에서 빠져 있는 간접경비 등은 농업부문의 특수한 상황을 반영하는 것이 합리적이나, 여기서는 배지병과 같은 자재수급 및 생산물 수거 과정 등에서의 버섯재배 특유의 관행을 고려하여 간접경비를 따로 반영치 않더라도 인건비 등의 형태로 충분히 감안되는 것으로 판단하였다.

나. 계산 모형 설정 및 자료수집

시스템의 일반적 경제성 검토를 위해 기본적으로 사용될 필요한 변수들의 기호 및 단위 등은 다음과 같다:

- ① 시스템 설치비용, CC, (원/m²)
- ② 세액공제율, TCR, (소수점)
- ③ 시스템 폐기 가격, CSV, (원/m²)
- ④ 할인율, DIS, (소수점)
- ⑤ 경제적 수명, EL, (년)
- ⑥ 초기 유지관리비, MC, (원/m²/년)
- ⑦ 재산 및 보험요율, PTIR, (소수점)
- ⑧ 임계 수입세율, TR, (소수점)
- ⑨ 일반 물가상승율, GIR, (소수점)
- ⑩ 연료 형식 표시 값, IFT, (정수)
- ⑪ 초기 에너지 가격, FC, (원/MJ)
- ⑫ 에너지 가격 인상율, FCI, (소수점)

본 연구에서는 경제성분석에 현재가치율을 적용했다. 이 방법은 현재가 산정방식으로서 시스템의 경제적 내구년에 걸쳐 매년 발생된 편익(Benefit)과 현재가의 소유비용(Cost)을 등치시켜 보는 형식이다.

각 파라메타에 대한 현재가는 다음과 같은 공식으로 산정된다.

- ① 세금공제의 현재가

$$TC = CC * TCR / (1 + DIS)$$

- ② 폐기가격의 현재가

$$SV = CSV * (1 + DIS)^{-EL}$$

- ③ 유지관리비의 현재가

$$PWMC = MC * (1 - TR) * \sum_{n=1}^{EL} (1 + GIR)^{-n}$$

④ 보험료 및 재산세의 현재가

$$PTI = \sum_{n=1}^{EL} (PTIR * (1 - TR) * (CC - ((CC - SV) / EL * (n - 1))) * (1 + DIS)^{-n})$$

⑤ 감가상각세 공제액의 현재가

$$DTB = (CC - SV) / EL * TR * (((1 + DIS)^{EL} - 1) / (DIS * (1 + DIS)^{EL}))$$

시스템의 소유 비용에 대한 최종 계산은 다음 공식과 같다:

투자비용의 현재 가:

$$PVC = CC - TC - SV + PWMC + PTI - DTB$$

이러한 경제성 분석은 거의 모든 생산 시스템의 투자에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 만일 시스템의 규모 및 여타 다른 설계 파라메타와 함께 시스템의 성능 변화로 생산성이 떨어지는 부분에 대해 정확하게 예측할 수 있다면 모든 투자 시스템의 경제적 최적화에 이용될 수 있을 것이다. 이런 분석 방법이 디지털 컴퓨터나 엑셀의 양식으로 표준화 되어 활용되면 수많은 경우에 대해서도 상이한 조합의 경제적 조건들을 이용하여 간편하게 분석할 수 있을 것이다. 이러한 결과들은 어떤 생산시스템은 물론 유사한 방식으로 성능이 어느 정도 밝혀진 대체에너지 시스템의 활용을 고려하고 있는 경우에도 매우 유익한 판단기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 대상 시스템의 경제성 검토를 합리적으로 수행하기 위한 자료 확보 차원에서 전형적인 새송이버섯 재배 농가를 중심으로 현장조사를 실시했으며, 조사결과를 통하여 냉방 및 난방 에너지 비용을 비롯한 재배사의 유지관리 관련 자료, 시설비 현황, 생산현황 등에 대한 정보를 비교적 정확하게 파악하였으며, 새송이버섯 재배 농가를 대상으로 제반 경비들을 추정하고, 경제적 타당성 여부를 검토해 보았다.

재배사의 운용과 관련된 기본적인 유지관리비의 산정은 물론 각종 장치들의 내구년 한을 고려함에 있어서도 통상적인 내구년에 비해 상당히 보수적으로 평가함으로써 환경조절용 장치들에 대한 세세한 관리비용 등을 따로 감안하지 않도록 하였다.

분석 모형의 형식상으로는 건물과 설비 등에 대한 잔존가치를 고려하는 것으로 가정하였으나 실제 분석에 있어서는 잔존가치를 전혀 인정하지 않은 경우가 많았다.

본 연구에서는 이러한 검토 결과와 기존의 현장조사 결과 등을 참작하여 구조해석과 공간설계를 통하여 도출한 구조형상의 가상적 재배사를 모형으로 하여 기본설계를 완성하고, 기본 설계서를 바탕으로 버섯 재배사의 전문 건설 및 설비 회사에 의뢰하여 건축물과 환경조절용 제반 장비 등에 대한 설치비용의 정보는 **Table 5-1**의 견적서를 참조하였으며, 이러한 제반 실용 자료를 중심으로 경제성 분석을 시도하였다.

Table 5-1. Estimated detail costs for mushroom construction and related facilities to be equipped.

No.	품 명	규 격	수량/단위 (식)	단 가	금 액
1	건축공사		2	38,339,200	76,678,400
2	군상 설치공사		2	6,912,000	13,824,000
3	냉동기 설비공사		2	12,380,000	24,760,000
4	냉매배관 설치공사		2	2,223,000	4,446,000
5	온도 자동콘트롤공사		2	3,000,000	6,000,000
6	가습기		2	1,500,000	3,000,000
7	급기,배기공사		2	560,000	1,120,000
8	가온(난방)공사		2	2,656,000	5,312,000
9	저온창고		1	7,380,000	7,380,000
소계					142,520,400
공과잡비 및 이윤					9,976,428
합 계					152,496,828

3. 비용 - 편익 분석

새로운 시설에 대한 투자의 타당성을 검토하기 위해서는 비용과 편익 부분에 대한 년차별 투자와 환수의 관계를 살펴보아야 한다.

이러한 목적으로 이루어지는 비용-편익 분석을 위해서는 객관적이고 대표성이 있는 기본 자료의 반영이 필수적이다. **Table 5-2**는 자재 및 시공 견적서와 재배사의 현장 조사를 통하여 수집된 경제성 분석용 각종 파라메타들에 대한 비용-편익 분석표 (Balance Sheet)로서, 다양한 계산과 오류 수정을 통하여 농업 생산시설과 관련된 다양한 목적의 경제성분석에 활용될 수 있도록 개발하였다.

Table 5-2. Balance sheet of analyzing economic feasibility for typical mushroom growing house.

비용산출(만원)						총비용
						19,875.0
1. 신축할 재배사의 규모 및 시설비						
						4,527.0
1) 건축비	재배사규모(폭x길이), m ²	7.2	24			173
	자재 및 시공인건비 (자재시공비, 재배사 개수), 만원/m ²	26.2	1			26
						3,834.0
2) 부대 및 설치비	냉방용 에어컨 시스템(단가x수량)	730.2	2			1,460.4
	전기식 온수보일러시스템(단가x수량)	265.6	1			265.6
	가습기(단가x수량)	150	1			150.0
	환풍기(단가x수량)	14	4			56.0
	콘트롤박스(단가x수량)	300	1			300.0
	저온저장고(단가x수량)	738	1			738.0
	부지임대료(단가x총면적), 만원/m ²	5	173			864.0
2. 재배사의 유지관리비, 만원/년						10,720.1
1) 전기료	전기료(월평균사용량x용량당가격x12월)	2240	0.0049	12		131.7
2) 수도료	수도료(일일사용량x톤당가격x1년)	2.37	0.0431	365		37.0
3) 배지병	버섯배지 (병당가격x구매병수x년간구매회수)	0.035	17280	16		9,676.8
4) 보일러	발열기교체(단가x수량x수명주기(년))	50	2	1/3		33.3
5) 에어컨	냉매충진(단가x수량x수명주기(년))	50	2	1/3		33.3
6) 인건비	일용직인건비 (인건비x인원x근로일수x년간횟수)	6	2	4	16	768.0
7) 도색비	외벽 및 지붕 페인트 도색 (1회비용x주기(년))	200	1/5			40.0

Table 5-2 (continue)

3. 직접경비(만원/년)							3,654		
1) 인건비	부부 2인 영농 (일당x인원x일수x개월수) *인건비상승률	5	2	30	12	1.5%	3,654		
						재배사 포함 제외	재배사 제외		
4. 감가상각비 (내구연 기준 정액법)							972.9	520.2	
1) 재배사	건축비용x재배사개수x내구연한	4,527	1	10		452.7	만원/년		
2) 부대 장치	냉방용 에어컨 시스템(단가x수량x내구연한)	730.2	2	5		292.1	만원/년		
	전기식 온수시스템(단가x수량x내구연한)	265.6	1	5		53.1	만원/년		
	가습기(단가x수량x내구연한)	150	1	5		30.0	만원/년		
	환풍기(단가x수량x내구연한)	14	4	5		11.2	만원/년		
	콘트롤박스(단가x수량x내구연한)	300	1	5		60.0	만원/년		
	저온저장고(단가x수량x내구연한)	738	1	10		73.8	만원/년		
Revenue							16,589		
1. 재배규모		병 수	박 스 수	단 수	박 스 줄	줄 수	단 줄 수	가 동 율	총 병 수
(병x박스x단x박스줄x줄x단줄x가동율)		4	4	4	45	4	2	0.75	17,280
2. 생산량 및 판매가 산정		용 량	재배 규모	Kg당 단가	출하 횟수				
(용량x재배규모xKg당 단가x출하횟수)		0.1	17,280	0.6	16				

이러한 계산용 도구를 중심으로 다각적인 분석을 시도할 수 있겠지만, 본 연구에서는 다음과 같은 몇 가지 주요 파라메타들을 중심으로 개별 파라메타들이 경제성분석에 미치는 sensitivity 검토와 아울러 비용(Cost) 대비 편익(Benefit)의 관계를 살펴보았다.

우선 파라메타들에 대한 대표적 기준치를 중심으로 년차별 비용 대비 편익 관계를 계산한 결과는 Table 5-3과 같다. Table 5-3에서 알 수 있듯이 본 분석에는 년 3.5%의 이자율을 적용했으며, 시설비를 비롯한 유지관리비, 인건비, 감가상각비 등을 합한 총비용과 판매수익으로 얻어지는 편익을 경과연수별로 계산하고, 경과 연수별 편익과 비용간의 차액인 이익 계산치와 계산된 년차별 이익의 누적치를 산정함으로써 한계비용과 한계편익의 발생시점을 확인할 수 있다.

Table 5-3. Estimated annual cost-benefit relationship based on given parameters (unit:10,000 won)

경과 년수	비용					편익		이자율 (%)	편익- 비용	편익- 비용 누계
	시설비	유지관 리비	인건비	감가 상각비	총비용	판매수익	총편익			
1	4,527	10,720	3,654	973	19,875	16,589	16,589	0.0%	-3,286	-3,286
2		11,096	3,782	1,007	15,885	17,169	17,169	3.5%	1,285	-2,001
3		11,484	3,914	1,042	16,441	17,770	17,770	3.5%	1,330	-672
4		11,886	4,051	1,079	17,016	18,392	18,392	3.5%	1,376	705
5		12,302	4,193	1,117	17,612	19,036	19,036	3.5%	1,424	2,129
6		12,733	4,340	1,156	18,228	19,702	19,702	3.5%	1,474	3,603
7		13,178	4,492	1,196	18,866	20,392	20,392	3.5%	1,526	5,129
8		13,639	4,649	1,238	19,526	21,106	21,106	3.5%	1,579	6,709
9		14,117	4,812	1,281	20,210	21,844	21,844	3.5%	1,635	8,343
10		14,611	4,980	1,326	20,917	22,609	22,609	3.5%	1,692	10,035
11		15,122	5,154	1,373	21,649	23,400	23,400	3.5%	1,751	11,786
12		15,652	5,335	1,421	22,407	24,219	24,219	3.5%	1,812	13,598
13		16,199	5,521	1,470	23,191	25,067	25,067	3.5%	1,876	15,474
14		16,766	5,715	1,522	24,003	25,944	25,944	3.5%	1,941	17,415
15		17,353	5,915	1,575	24,843	26,852	26,852	3.5%	2,009	19,424
16		17,961	6,122	1,630	25,712	27,792	27,792	3.5%	2,080	21,504
17		18,589	6,336	1,687	26,612	28,765	28,765	3.5%	2,152	23,656
18		19,240	6,558	1,746	27,544	29,772	29,772	3.5%	2,228	25,884
19		19,913	6,787	1,807	28,508	30,814	30,814	3.5%	2,306	28,190
20		20,610	7,025	1,871	29,506	31,892	31,892	3.5%	2,386	30,576

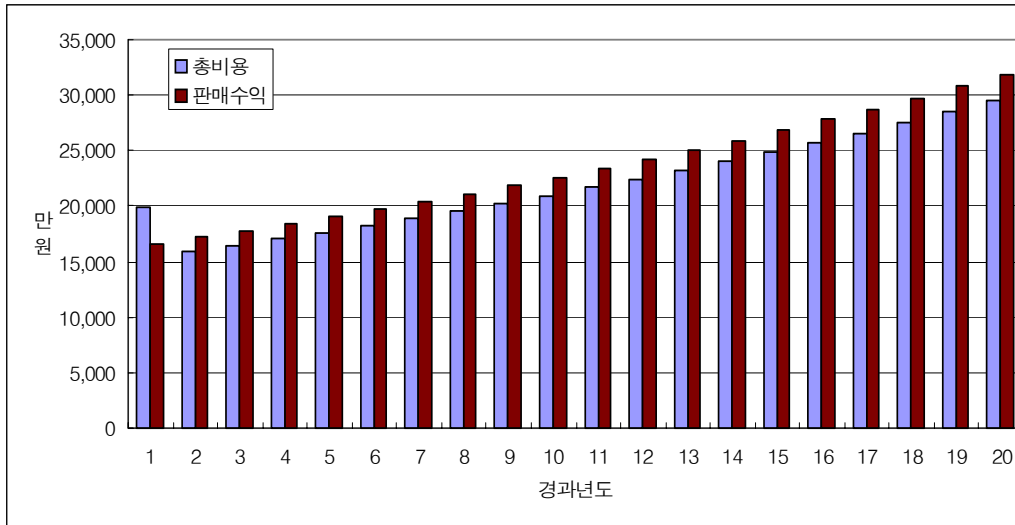


Fig. 5-2. Comparison between annual total cost and benefit.

Table 5-3에서 경과연수별로 비용과 편익의 규모를 대비하여 도식화한 것이 Fig. 5-2이다. Fig. 5-2에서 알 수 있듯이 시설투자의 첫해에만 비용이 편익을 3,286만원 초과할 뿐 2년차에서 편익 비용을 1,285만원 초과하면서 매년 그 초과의 정도가 점차 확대됨을 확인할 수 있다. 따라서 첫 해의 비용 초과분이 수년 내의 편익초과분으로 상쇄되고 이 후 손익분기점을 넘어 지속적으로 이익이 누적됨을 알 수 있다.

비용과 편익에 대한 이러한 현상은 편익에서 비용을 제한 경과 연수별 이익에 대한 경시적 변화를 나타낸 Fig. 5-3을 통하여 보다 명확히 확인할 수 있으며, 편익과 비용의 차이에 대한 누적치를 경과 연수에 따라 도시한 Fig. 5-4를 통하여 손익분기점의 발생 시점을 확인할 수 있을 뿐만 아니라 그 이후의 누적된 이익의 규모를 추적해 볼 수 있다. 본 예시에서는 손익분기점이 발생되는 지점이 초기투자 후 3년차 말경에 나타남을 알 수 있다.

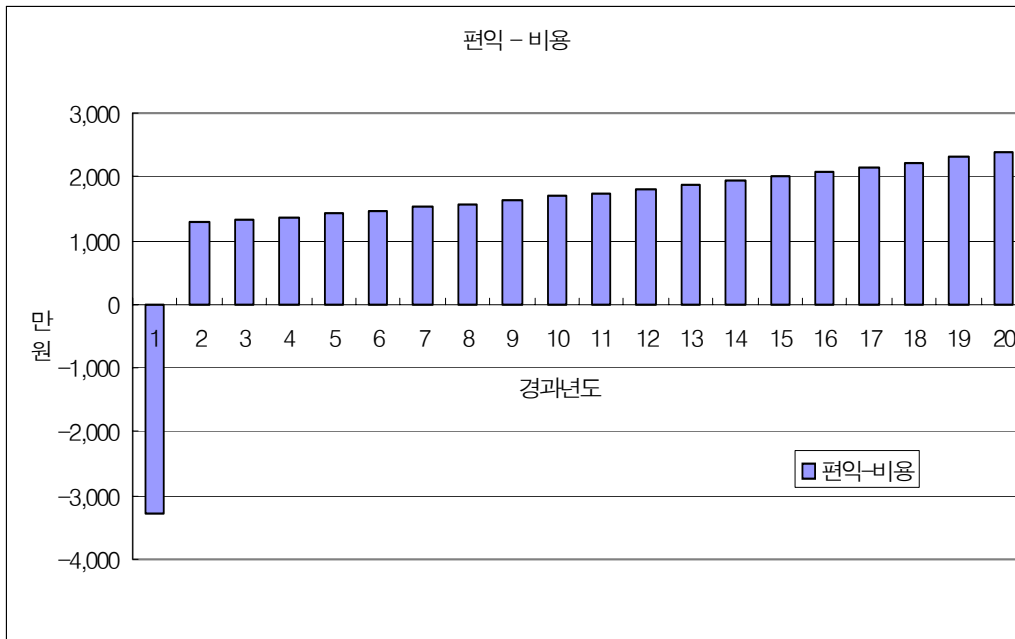


Fig. 5-3. Annual profit trend based on Benefit-Cost difference.

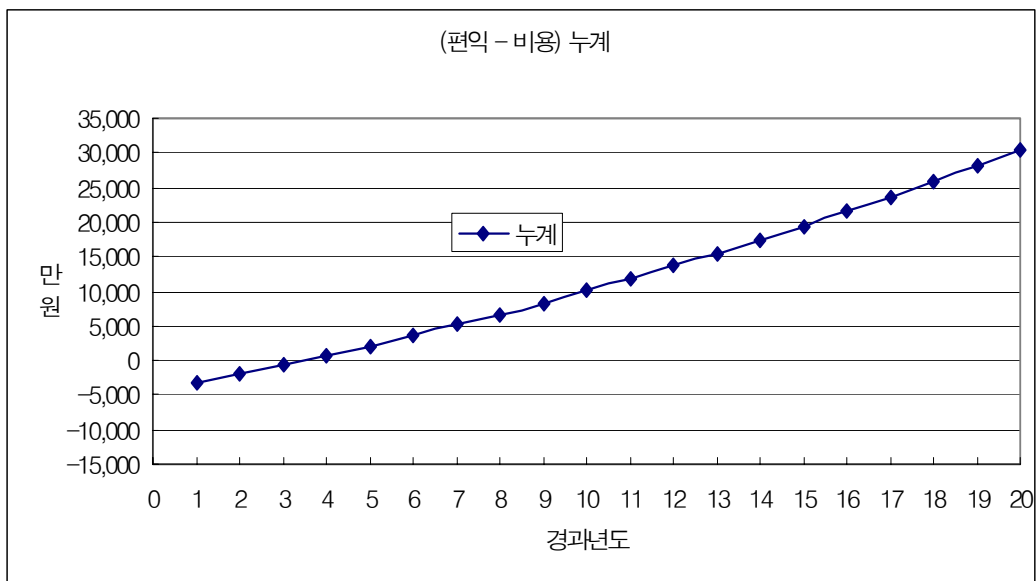


Fig. 5-4. Trend of annually accumulated profit and prediction of marginal benefit-cost.

4. 파라메타별 sensitivity 와 한계 비용-편익

앞에서 예시를 통하여 제시된 바와 같이 재배사 시스템의 경제성 분석에는 수많은 파라메타들이 관련되며 각 파라메타들은 고정된 상수로 작용하는 것이 아니라 대부분 매우 유동적인 관계로 각각의 변화에 따라 분석 결과에 크고 작은 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 이들 주요 파라메타들을 중심으로 파라메타의 변화 정도가 비용-편익의 분석 결과에 미치는 정도를 살펴보기 위하여 시설비의 주된 구성요소인 건축비의 단가 변화를 비롯하여 설치 부담이 비교적 높은 냉방시스템 설치 단가, 재배농가 경영효율을 좌우하는 소요 에너지 비용, 생산의 핵심 자재인 배지병의 단가, 재배사의 공간 활용효율을 반영하는 재배상 각 단별 재배 줄수, 배지 병당 생산 중량, 재배된 버섯의 판매단가, 연간 버섯재배 횟수, 그리고 이자율을 비롯한 제반 파라메타들을 대상으로 다양하게 분석을 시도하였다. 물론 시설의 공간에 대한 계획 및 설계나 재배사의 운용과정에서의 공간 이용은 합리적으로 이루어졌다는 가정을 전제로 하였다.

여기서는 분석된 제반 파라메타들 중에서 비용과 편익에 미치는 영향이 비교적 크다고 판단되는 몇 가지 주요 인자들을 중심으로 분석하고, 그 분석 결과를 요약하였다.

가. 재배사의 건축비 단가변화

우선 시설 투자에서 가장 핵심적으로 대두되는 재배사의 건설비에 대한 예민도를 살펴보았다. 재배사 시설 전반에 대한 견적을 통해 알 수 있듯이 건축물의 자재 및 시공비의 평균단가는 262,000원/ m^2 로 산정되었다. 이 평균단가를 중심으로 상하 약 20% 범위로 단가를 변화시킴에 따른 Benefit-Cost 관계를 살펴본 결과 **Table 5-4**와 같았으며, 이를 그림으로 도시한 것이 **Fig. 5-5**이다. 그림에서 알 수 있듯이 건축비 단가의 변화에 따른 이익누계의 변화는 일반적으로 생각하던 것만큼 크지 않으며, 비록 시중단가로부터 20% 정도 높은 단가라 하더라도 투자회수 기간에 미치는 영향은 그렇게 크지 않음을 알 수 있다. 특히 건축물의 경우는 내구연한을 10년으로 비교적 짧게 고려했을 뿐만 아니라 내구연한이 끝나는 시점에서의 잔존가치를 전혀 고려하지

않았으므로 건축비에 대해서는 매우 보수적인 산정이 이루어진 셈임을 감안하면 건축비가 분석결과에 미치는 예민도는 비교적 낮다는 판단이다.

Table 5-4. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of unit construction cost.
(unit ; 10,000 won)

경과년수(년)	건축비 단가				
	20.96/m ²	23.58/m ²	26.20/m ²	28.82/m ²	31.44/m ²
1	-2289.6	-2788.3	-3286.1	-3783.8	-4281.5
2	-910.6	-1457.0	-2001.3	-2545.6	-3089.9
3	516.5	-79.1	-671.6	-1264.1	-1856.6
4	1993.7	1347.1	704.7	62.3	-580.1
5	3522.5	2823.1	2129.1	1435.0	741.0
6	5104.9	4350.9	3603.4	2855.9	2108.4
7	6742.7	5932.1	5129.3	4326.4	3523.6
8	8437.7	7568.6	6708.5	5848.5	4988.4
9	10192.1	9262.4	8343.1	7423.8	6504.5
10	12007.9	11015.5	10034.9	9054.2	8073.6
11	13887.2	12830.0	11785.9	10741.7	9697.6
12	15832.4	14707.9	13598.1	12488.3	11378.5
13	17845.6	16651.6	15473.8	14296.0	13118.2
14	19929.2	18663.4	17415.2	16167.0	14918.8
15	22085.8	20745.5	19424.5	18103.4	16782.4
16	24317.9	22900.5	21504.1	20107.6	18711.2
17	26628.1	25130.9	23656.5	22182.0	20707.6
18	29019.2	27439.4	25884.2	24329.0	22773.8
19	31493.9	29828.7	28189.9	26551.1	24912.3
20	34055.3	32301.7	30576.3	28851.0	27125.7

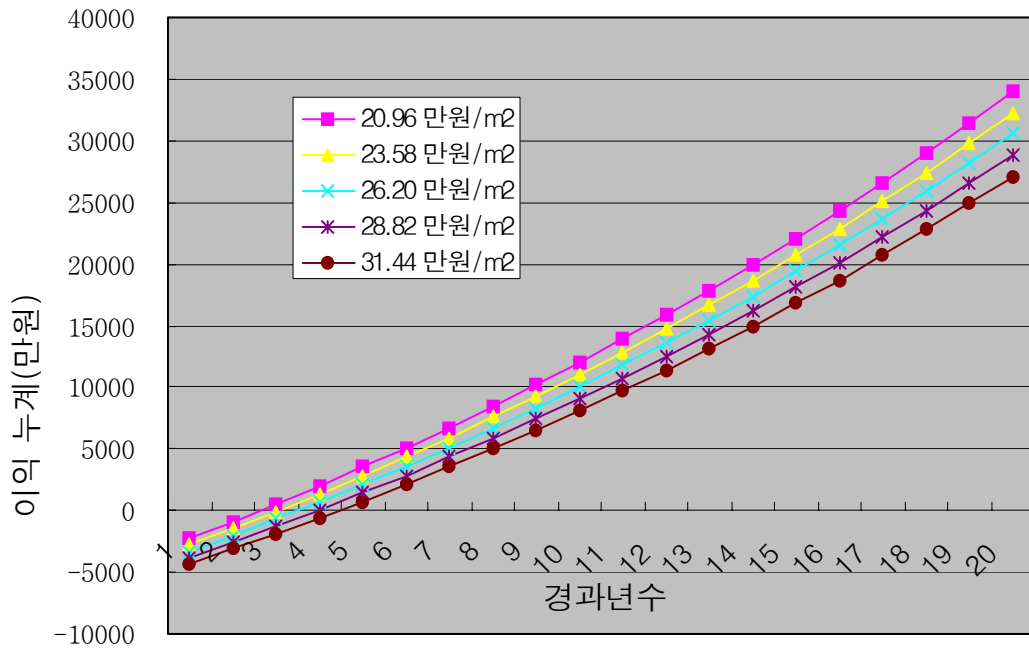


Fig. 5-5. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of unit construction cost.

나. 재배사 냉방시스템의 설치단가 변화

개선된 재배사를 구상하면서 부담을 느끼는 부분 중의 하나가 하절기 재배를 위한 냉방시스템을 설치하는 데 소요되는 투자 규모다. 견적에서 명시한 바와 같이 분석에 고려된 시스템은 7.5 마력의 냉동기 유닛 2대와 각 냉동기 유닛별 유닛 쿨러 각 2대씩을 합쳐서 총 12,380,000원의 설치비가 산정되었다. 이러한 비용 또한 유동적인 관계로 이 평균단가를 중심으로 상하 약 20% 범위로 단가를 변화시킴에 따른 Benefit-Cost 관계를 살펴본 결과는 Table 5-5와 같으며, 이를 그림으로 도시한 것이 Fig. 5-6이다. 그림에서 알 수 있듯이 냉방시스템 설치비의 변화에 따른 이익누계의 변화는 매우 미미하며, 한계 비용-편익 분기점 역시 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 재배사의 투자에 있어서 하절기 미기상 환경을 좌우하는 냉방시스템은 비록 장치를 설치하는 초기 비용이 다소 부담스럽다 하더라도 장기적 안목을 갖고 생산 규

모에 적합한 용량의 시스템을 제대로 설치하는 것이 경제적으로 타당하다는 결론을 내릴 수 있다고 판단된다. 특히 냉방장치의 경우는 설치 후의 A/S 보장기관이 최소 2-3년 정도일 뿐만 아니라 기본적인 관리만 하더라도 성능상 특별히 문제가 될 것이 없음에도 불구하고 내구연한을 5년으로 비교적 짧게 고려했으며 내구연한이 끝나는 시점마다 완전히 새로운 장치로 대체함은 물론 잔존가치 또한 전혀 고려하지 않은 관 계로 매우 보수적인 산정이 이루어졌음을 확인 할 수 있다.

Table 5-5. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of cooling system cost.

(unit ; 10,000 won)

경과년도(년)	냉방시스템 설치비				
	584.16 만원	657.18 만원	730.20 만원	803.22 만원	876.24 만원
1	-3,228.1	-3,257.1	-3,286.1	-3,315.1	-3,344.1
2	-1,883.3	-1,942.3	-2,001.3	-2,060.3	-2,119.3
3	-491.4	-581.5	-671.6	-761.7	-851.8
4	949.1	826.9	704.7	582.4	460.2
5	2,440.1	2,284.6	2,129.1	1,973.6	1,818.1
6	3,983.3	3,793.3	3,603.4	3,413.4	3,223.5
7	5,580.5	5,354.9	5,129.3	4,903.7	4,678.0
8	7,233.5	6,971.0	6,708.5	6,446.0	6,183.5
9	8,944.5	8,643.8	8,343.1	8,042.4	7,741.7
10	10,715.3	10,375.1	10,034.9	9,694.7	9,354.4
11	12,548.1	12,167.0	11,785.9	11,404.7	11,023.6
12	14,445.0	14,021.6	13,598.1	13,174.7	12,751.2
13	16,408.4	15,941.1	15,473.8	15,006.5	14,539.3
14	18,440.4	17,927.8	17,415.2	16,902.5	16,389.9
15	20,543.6	19,984.0	19,424.5	18,864.9	18,305.3
16	22,720.4	22,112.2	21,504.1	20,895.9	20,287.8
17	24,973.4	24,314.9	23,656.5	22,998.0	22,339.6
18	27,305.2	26,594.7	25,884.2	25,173.7	24,463.2
19	29,718.6	28,954.3	28,189.9	27,425.6	26,661.2
20	32,216.6	31,396.4	30,576.3	29,756.2	28,936.1

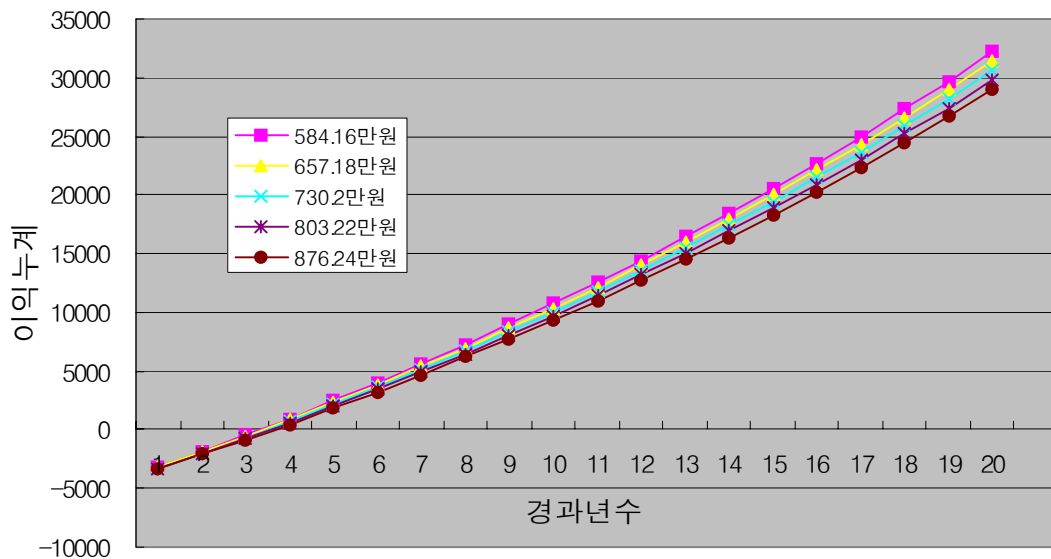


Fig. 5-6. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of cooling system cost.

다. 재배사 소요 냉·난방 에너지량의 변화

노지 중심의 재래식 농업에 대한 기술 및 자본 집약형 시설 농업의 주된 특징은 기상적 환경을 인위적으로 조절하는 데서 찾을 수 있다. 특히 여타 동식물의 시설과는 달리 버섯 재배사의 환경인자들은 변화의 폭이 매우 제한적이어서 설정 범위가 좁은 물론 제어에 수반되는 허용 폭 또한 협소한 관계로 여타 농업시설물 보다도 조절 조건이 까다롭다. 특히 온도의 경우는 적정온도 16℃를 전후하여 조정되는 관계로 하절기의 경우에는 가급적 17℃ 이상으로 올라가지 않도록 하며 동절기에도 15℃ 이하로 내려가지 않도록 조절하는 경향이다. 따라서 년 중 냉방과 난방에 소요되는 에너지의 비용은 재배사를 운영하는 농가의 입장에서는 결코 등한시킬 수 없는 부분이다. 본 연구에서는 경제성 분석을 위하여 기준으로 삼은 재배사 규모와 유사한 규모의 재배사를 운영하는 농가를 중심으로 추정된 월 평균 소요 냉·난방 에너지량(년간 소요 에너지를 월별 평균으로 환산)인 2,240 kW-h를 중심으로 상하 약 20% 범위로 소요량을 변화시킴에 따른 Benefit-Cost 관계에 미치는 영향을 살펴본 결과 **Table 5-6**과

같은 결과를 얻었으며, 이를 그림으로 도시한 것이 Fig. 5-7이다. 그림에서 알 수 있듯이 냉방시스템 설치비의 변화에 따른 이익누계의 변화는 매우 미미하다. 특히 난방의 경우는 시스템의 설치 및 운영 방법이나 사용되는 에너지원 역시 다양하여 버섯재배 농가들의 경영효율 및 생산성에 직접적인 영향을 끼치는 부분이다. 여기서는 전기히터에 의한 온수보일러시스템을 전제로 분석된 관계로 사용되는 에너지원의 비용 측면에서 가장 보수적인 접근방식이라 할 수 있으나 앞서 언급한 냉방시스템의 설치비의 경우보다도 한계비용에 미치는 영향은 더욱 미미함을 알 수 있다. 비록 경제성을 분석하는 측면에서나 파라메타의 sensitivity 면에서는 영향력이 크지 않지만 에너지가 절감되는 만큼의 시스템 유지관리비용이 그대로 수익으로 전환될 수 있다는 측면에서 에너지 절감은 경영수지를 개선하는 데 크게 기여할 수 있는 부분이라고 판단된다.

Table 5-6. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of required energy cost. (unit ; 10,000 won)

경과년도 (년)	월 평균 소요 전력 ($kW-hr/month$)				
	1792	2016	2240	2464	2688
1	-3,259.7	-3,272.9	-3,286.1	-3,299.2	-3,312.4
2	-1,947.7	-1,974.5	-2,001.3	-2,028.1	-2,054.9
3	-589.8	-630.7	-671.6	-712.5	-753.4
4	815.7	760.2	704.7	649.2	593.6
5	2,270.4	2,199.7	2,129.1	2,058.5	1,987.8
6	3,775.9	3,689.6	3,603.4	3,517.1	3,430.8
7	5,334.2	5,231.7	5,129.3	5,026.8	4,924.3
8	6,947.0	6,827.8	6,708.5	6,589.3	6,470.1
9	8,616.2	8,479.7	8,343.1	8,206.5	8,070.0
10	10,343.9	10,189.4	10,034.9	9,880.4	9,725.8
11	12,132.0	11,958.9	11,785.9	11,612.8	11,439.7
12	13,982.8	13,790.4	13,598.1	13,405.8	13,213.5
13	15,898.3	15,686.0	15,473.8	15,261.6	15,049.4
14	17,880.8	17,648.0	17,415.2	17,182.3	16,949.5
15	19,932.7	19,678.6	19,424.5	19,170.3	18,916.2
16	22,056.5	21,780.3	21,504.1	21,227.9	20,951.6
17	24,254.6	23,955.5	23,656.5	23,357.4	23,058.4
18	26,529.6	26,206.9	25,884.2	25,561.5	25,238.8
19	28,884.2	28,537.1	28,189.9	27,842.8	27,495.6
20	31,321.3	30,948.8	30,576.3	30,203.9	29,831.4

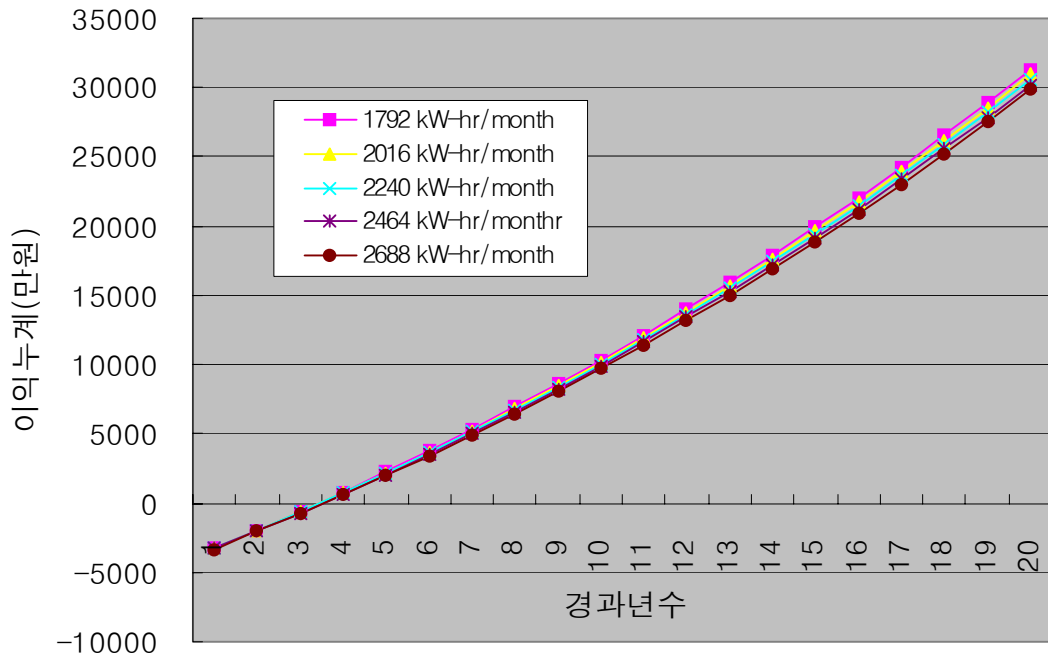


Fig. 5-7. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of required energy cost.

본 연구에서 편의상 사용하는 에너지를 전기로 국한시켰지만 실제 재배농가에서 처럼 다양한 에너지를 대상으로 분석이 이루어져야 할 것이다. 이는 사용할 에너지원에 따라 동일한 난방열량을 내면서도 가격이나 비용 측면에서 무시할 수 없을 정도의 차이가 나타날 수도 있기 때문이다. 즉, 사용되는 에너지원의 양과 그 비용 측면에서 현저하게 유리하거나 불리한 경우가 있을 수 있기 때문이다.

아울러 인위적인 환경조절이 따르는 시설영농에서는 국제적인 에너지 파동에 직접적으로 노출되고 있는 관계로 중장기적인 시설영농 분야는 화석 에너지 사용에 따른 환경규제 측면에서 뿐만 아니라 대체 에너지 활용이라는 장기적인 에너지 이용 측면에서 지속가능하고 환경 친화적인 에너지 이용시스템의 활용 문제와 연계하여 기술개발이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

라. 버섯 배지병의 단가변화

다음으로는 버섯의 생산과 관련되는 파라메타들 중의 하나인 배지병의 구입 단가의 변화가 한계비용에 미치는 예민도를 살펴보았다. 배지병은 기존의 850cc 규모를 중심으로 1,100cc나 그 이상의 규모로 농가의 요구에 따라 공급되고 있으나 일반적으로 생산된 버섯을 수매해 가는 버섯 주 수요자 측의 요청에 따라 결정되는 것이 일반적이다. 배지병의 규모가 달라지면 배지병을 담은 박스의 규격이 달라지고 재배사의 운상에 수용할 수 있는 개체 수가 달라지게 된다. 여기서는 배지병당 단가를 일반적으로 유통되고 있는 350원으로 가정하고, 이 단가를 기준으로 상하 약 20% 범위로 단가를 변화시키면서 Benefit-Cost 관계를 살펴본 결과 **Table 5-7**과 같은 결과를 얻었으며, 이를 그림으로 도시한 것이 **Fig. 5-8**이다.

Table 5-7. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of unit media bottle price. (unit ; 10,000 won)

경과년도(년)	종자단가				
	280원/병	315원/병	350원/병	385원/병	420원/병
1	-1,350.7	-2,318.4	-3,286.1	-4,253.7	-5,221.4
2	1,937.2	-32.1	-2,001.3	-3,970.5	-5,939.8
3	5,340.1	2,334.2	-671.6	-3,677.4	-6,683.3
4	8,862.1	4,783.4	704.7	-3,374.0	-7,452.8
5	12,507.4	7,318.2	2,129.1	-3,060.1	-8,249.2
6	16,280.3	9,941.8	3,603.4	-2,735.1	-9,073.5
7	20,185.2	12,657.2	5,129.3	-2,398.7	-9,926.7
8	24,226.8	15,467.7	6,708.5	-2,050.6	-10,809.7
9	28,409.9	18,376.5	8,343.1	-1,690.3	-11,723.7
10	32,739.3	21,387.1	10,034.9	-1,317.4	-12,669.6
11	37,220.3	24,503.1	11,785.9	-931.4	-13,648.6
12	41,858.2	27,728.1	13,598.1	-531.9	-14,661.9
13	46,658.3	31,066.1	15,473.8	-118.4	-15,710.7
14	51,626.5	34,520.8	17,415.2	309.5	-16,796.2
15	56,768.5	38,096.5	19,424.5	752.4	-17,919.6
16	62,090.6	41,797.3	21,504.1	1,210.8	-19,082.4
17	67,598.9	45,627.7	23,656.5	1,685.3	-20,285.9
18	73,299.9	49,592.1	25,884.2	2,176.4	-21,531.5
19	79,200.6	53,695.2	28,189.9	2,684.6	-22,820.7
20	85,307.7	57,942.0	30,576.3	3,210.7	-24,155.0

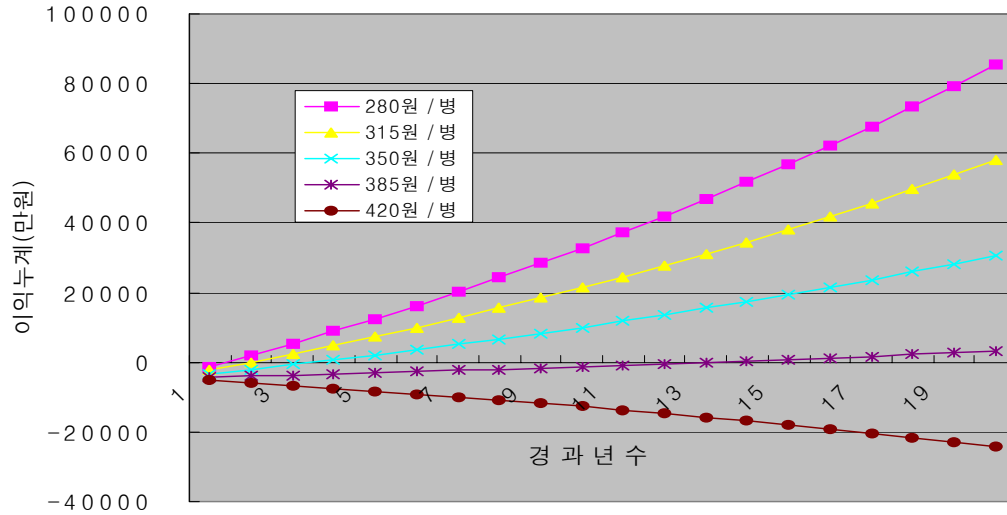


Fig. 5-8. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of unit media bottle price.

Fig. 5-8에서 알 수 있듯이 배지병 단가의 변화에 따른 이익누계의 변화는 매우 예민하게 변한다는 것을 알 수 있다. 기준 단가인 병당 350원의 경우에는 초기투자 후 3년 만에 한계비용 시점에 달하지만, 이 보다 10% 및 20%가 싼 병당 280원 및 315원의 경우는 초기투자 후 1년 및 2년 만에 투자비용을 회복할 수 있으나, 이와 달리 기준 단가보다 10%가 높은 병당 385원의 경우는 투자비용 회수에 12년이나 소요됨을 알 수 있다. 결국 배지병의 가격 변화가 버섯재배 농가의 경영에 미치는 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 안정적인 배지 수급이 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

마. 재배상 각 단별 재배줄 수 변화

재배상의 단수는 일반적으로 3단 혹은 4단이며 재배사의 양측 벽면을 따라 조성된다. 여기서는 재배사 공간의 이용효율을 고려하여 설계된 측고 3.3m 를 기준으로 4단을 기준으로 하였으므로 단의 숫자를 변화시킬 수는 없는 관계로 각 단별 배치되는

줄 수를 기준 줄 수 4를 중심으로 5%, 10% 및 20% 낮게 책정한 경우에 대한 Benefit-Cost 관계를 살펴본 결과 **Table 5-8**과 같은 결과를 얻었으며, 이를 그림으로 도시한 것이 **Fig. 5-9**이다. 그림에서 알 수 있듯이 각 단별 재배줄 수의 변화에 따른 이익누계의 변화는 매우 예민하게 변한다는 것을 알 수 있다. 기준 줄 수인 4줄/단인 경우에는 초기투자 후 4년 만에 손익분기점에 달하지만, 재배줄 수가 이 보다 10% 및 5%가 낮은 단별 3.8줄 및 3.6줄의 경우는 초기투자 후 각각 5년 후 및 8년 후에 투자비용을 회복할 수 있게 된다. 그러나 기준보다 20%가 낮은 3.2줄의 경우는 투자비용을 회수할 수 없는 상황이 된다는 것을 알 수 있다. 결국 배지병의 가격 변화에서와 유사하게 각 단별 줄 수의 경우도 재배사의 공간 활용과 관련되는 생산성과 직결되는 관계로 버섯재배 농가의 경영에 미치는 영향은 결정적이라 할 수 있다. 따라서 거의 고정적으로 투입되는 투자비용의 효율을 극대화하기 위해서는 반드시 시설의 활용효율 또한 극대화하는 노력이 무엇보다 우선되어야 할 것으로 판단된다.

Table 5-8. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of growth low number per bench. (unit ; 10,000 won)

경과년수	단별 재배줄수			
	3.2줄/단	3.6줄/단	3.8줄/단	4.0줄/단
1	-4,668	-3,977	-3,632	-3,286
2	-4,814	-3,408	-2,705	-2,001
3	-4,966	-2,819	-1,745	-672
4	-5,122	-2,209	-752	705
5	-5,284	-1,577	276	2,129
6	-5,452	-924	1,340	3,603
7	-5,625	-248	2,441	5,129
8	-5,805	452	3,580	6,709
9	-5,990	1,176	4,760	8,343
10	-6,183	1,926	5,981	10,035
11	-6,382	2,702	7,244	11,786
12	-6,588	3,505	8,552	13,598
13	-6,801	4,336	9,905	15,474
14	-7,022	5,197	11,306	17,415
15	-7,250	6,087	12,756	19,424
16	-7,486	7,009	14,256	21,504
17	-7,731	7,963	15,810	23,656
18	-7,984	8,950	17,417	25,884
19	-8,246	9,972	19,081	28,190
20	-8,517	11,029	20,803	30,576

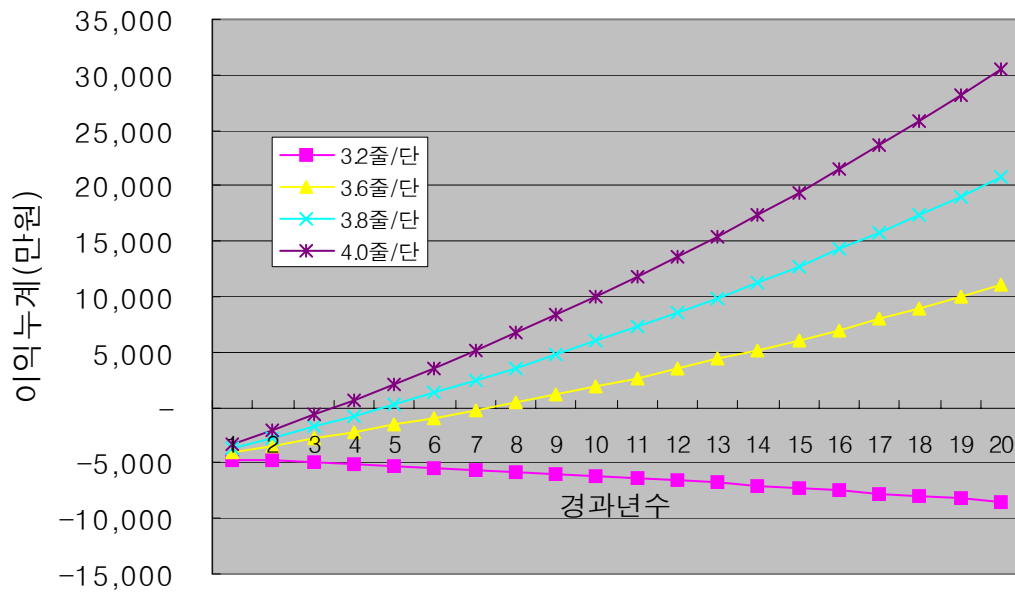


Fig. 5-9. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of growth low number per bench.

바. 버섯 배지 병당 생산 중량 변화

재배사를 통하여 생산되는 버섯의 질적 및 양적 개선을 통한 소득증대는 버섯농가 최고의 목표이다. 여기서는 배지별로 매 주기당 생산되는 버섯의 생산량이 비용-편익의 분석결과에 미치는 영향을 살펴보았다. 물론 버섯의 질 또한 중요한 변수로 작용하게 되지만 여기서는 질적인 계량화의 어려움을 고려하여 평균적 판매가격 부분에 반영되는 것으로 간주하여 여기서는 기준 중량을 100g 으로 추정하고 오직 생산된 중량의 변화가 한계비용에 미치는 예민도를 살펴보았다. 기준 중량 100g에서 상하 약 10% 범위로 생산중량을 변화시키면서 Benefit-Cost 관계를 살펴본 결과 **Table 5-9**와 같은 결과를 얻었으며, 이를 그림으로 도시한 것이 **Fig. 5-10**이다. 그림에서 알 수 있듯이 생산중량의 변화에 따른 이익누계의 변화는 예상했던 바와 같이 매우 예민하게 변한다는 것을 알 수 있다. 기준 중량인 병당 100g의 경우에는 초기투자 후 4년 만에 손익분기점에 달하지만, 생산중량이 이 보다 5% 높은 105g 의 경우는 3년만에,

그리고 10% 높은 110g 의 경우는 초기투자 후 2년이면 투자비용을 회복할 수 있다는 결론이다. 그러나 기준 생산중량보다 10%가 낮은 병당 90g의 경우는 투자비용 회수가 불가능하며, 5%가 낮은 95g 의 경우에는 투자회수에 10년이나 소요됨을 알 수 있다. 결국 배지병당 생산중량의 변화가 버섯재배 농가의 경영에 미치는 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있다. 특히 새로운 기술을 통하여 어떤 기준치 이상의 생산성을 확보하게 되면 개선된 생산성만큼이 그대로 농가의 수익에 반영되게 된다. 따라서 질과 양적으로 안정적이고 높은 생산량을 확보할 수 있는 기술을 확보하는 것이 버섯재배의 성패를 좌우하는 관건이라고 판단된다.

Table 5-9. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of mushroom weight produced per unit media bottle.

(unit ; 10,000won)

경과년도(년)	병당 생산중량				
	90 g/병	95 g/병	100 g/병	105 g/병	110 g/병
1	-4,944.9	-4,115.5	-3,286.1	-2,456.6	-1,627.2
2	-5,377.1	-3,689.2	-2,001.3	-313.4	1,374.5
3	-5,824.4	-3,248.0	-671.6	1,904.8	4,481.3
4	-6,287.4	-2,791.4	704.7	4,200.7	7,696.8
5	-6,766.6	-2,318.8	2,129.1	6,576.9	11,024.8
6	-7,262.5	-1,829.6	3,603.4	9,036.3	14,469.3
7	-7,775.9	-1,323.3	5,129.3	11,581.8	18,034.4
8	-8,307.1	-799.3	6,708.5	14,216.4	21,724.2
9	-8,857.0	-256.9	8,343.1	16,943.1	25,543.2
10	-9,426.1	304.4	10,034.9	19,765.4	29,495.8
11	-10,015.1	885.4	11,785.9	22,686.3	33,586.8
12	-10,624.8	1,486.7	13,598.1	25,709.6	37,821.0
13	-11,255.8	2,109.0	15,473.8	28,838.6	42,203.4
14	-11,908.8	2,753.2	17,415.2	32,077.2	46,739.2
15	-12,584.8	3,419.8	19,424.5	35,429.1	51,433.7
16	-13,284.3	4,109.9	21,504.1	38,898.3	56,292.5
17	-14,008.4	4,824.0	23,656.5	42,488.9	61,321.4
18	-14,757.8	5,563.2	25,884.2	46,205.2	66,526.3
19	-15,533.5	6,328.2	28,189.9	50,051.6	71,913.3
20	-16,336.3	7,120.0	30,576.3	54,032.6	77,488.9

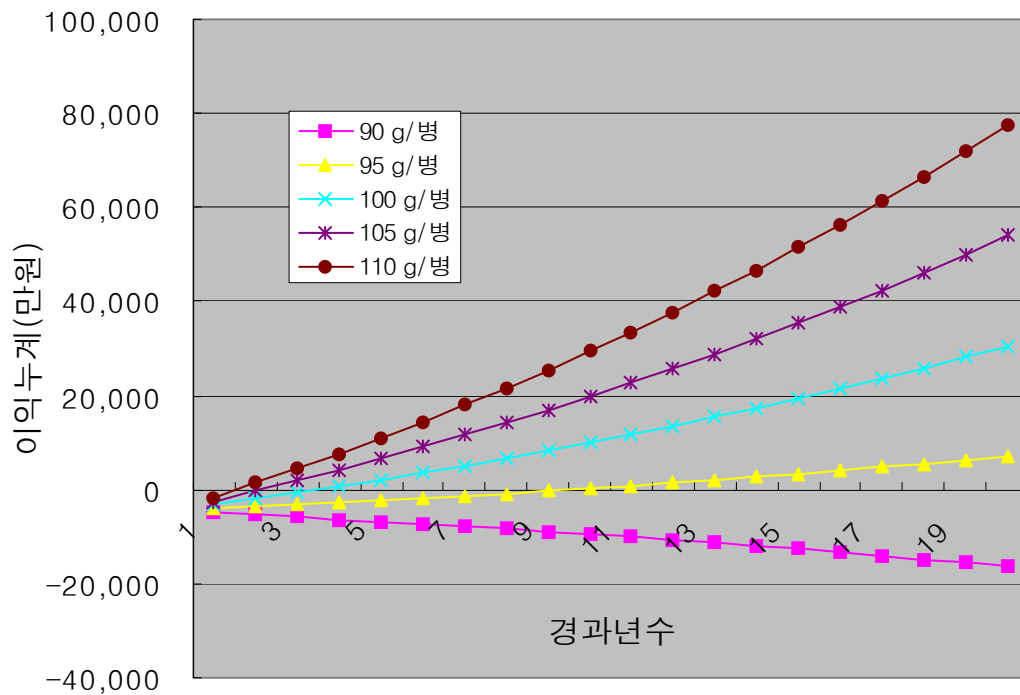


Fig. 5-10. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of mushroom weight produced per unit media bottle.

사. 버섯의 판매가격 변화

다음으로는 버섯 농가의 수익과 직결되는 파라메타들 중의 하나인 생산된 버섯의 판매 단가의 변화가 한계비용에 미치는 예민도를 살펴보았다. 비록 새송이 버섯의 시중가격이 예전과 같지 않게 최근 들어 상당히 떨어진 것이 사실이다. 특히 재배농가의 증가를 통한 생산량의 증가에 따른 가격 하락은 불가피한 현상일 것이나 과잉생산으로 인한 버섯시장의 붕괴나 버섯재배 농가들의 어려움은 또 다른 사회문제가 될 수 있을 것이므로 적절한 사전 대책이 마련되어야 할 것이다. 여기서는 버섯 판매 단가를 일반적으로 유통되고 있는 1kg당 6000원으로 가정하고, 이 단가를 기준으로 상하 10% 범위로 단가를 변화시키면서 Benefit-Cost 관계를 살펴본 결과 Table 5-10과 같은 결과를 얻었으며, 이를 그림으로 도시한 것이 Fig. 5-11이다. 그림에서 알 수

있듯이 버섯 판매단가의 변화에 따른 이익누계의 변화 역시 매우 예민하게 변한다는 것을 알 수 있다. 기준 판매단가인 1kg 당 6,000원의 경우에는 초기투자 후 4년 만에 한계비용 시점에 달하지만, 이 보다 5% 및 10%가 높은 1kg당 6,300원 및 6,600원의 경우는 초기투자 후 2년 및 1년 만에 투자비용을 회복할 수 있으나, 이와 달리 기준 판매단가보다 5%가 낮은 1kg당 5,700원의 경우는 투자비용 회수에 10년이나 소요됨을 알 수 있고 기준 판매단가보다 10%가 낮은 1kg당 5,400원의 경우에는 투자회수가 어렵다는 것을 알 수 있다. 예상했던 바와 같이 버섯의 가격이 재배 농가의 경영에 미치는 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있다.

Table 5-10. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of mushroom sale price. (unit ; 10,000won)

경과년도(년)	버섯 판매단가				
	5,400원/kg	5,700원/kg	6,000원/kg	6,300원/kg	6,600원/kg
1	-4,944.9	-4,115.5	-3,286.1	-2,456.6	-1,627.2
2	-5,377.1	-3,689.2	-2,001.3	-313.4	1,374.5
3	-5,824.4	-3,248.0	-671.6	1,904.8	4,481.3
4	-6,287.4	-2,791.4	704.7	4,200.7	7,696.8
5	-6,766.6	-2,318.8	2,129.1	6,576.9	11,024.8
6	-7,262.5	-1,829.6	3,603.4	9,036.3	14,469.3
7	-7,775.9	-1,323.3	5,129.3	11,581.8	18,034.4
8	-8,307.1	-799.3	6,708.5	14,216.4	21,724.2
9	-8,857.0	-256.9	8,343.1	16,943.1	25,543.2
10	-9,426.1	304.4	10,034.9	19,765.4	29,495.8
11	-10,015.1	885.4	11,785.9	22,686.3	33,586.8
12	-10,624.8	1,486.7	13,598.1	25,709.6	37,821.0
13	-11,255.8	2,109.0	15,473.8	28,838.6	42,203.4
14	-11,908.8	2,753.2	17,415.2	32,077.2	46,739.2
15	-12,584.8	3,419.8	19,424.5	35,429.1	51,433.7
16	-13,284.3	4,109.9	21,504.1	38,898.3	56,292.5
17	-14,008.4	4,824.0	23,656.5	42,488.9	61,321.4
18	-14,757.8	5,563.2	25,884.2	46,205.2	66,526.3
19	-15,533.5	6,328.2	28,189.9	50,051.6	71,913.3
20	-16,336.3	7,120.0	30,576.3	54,032.6	77,488.9

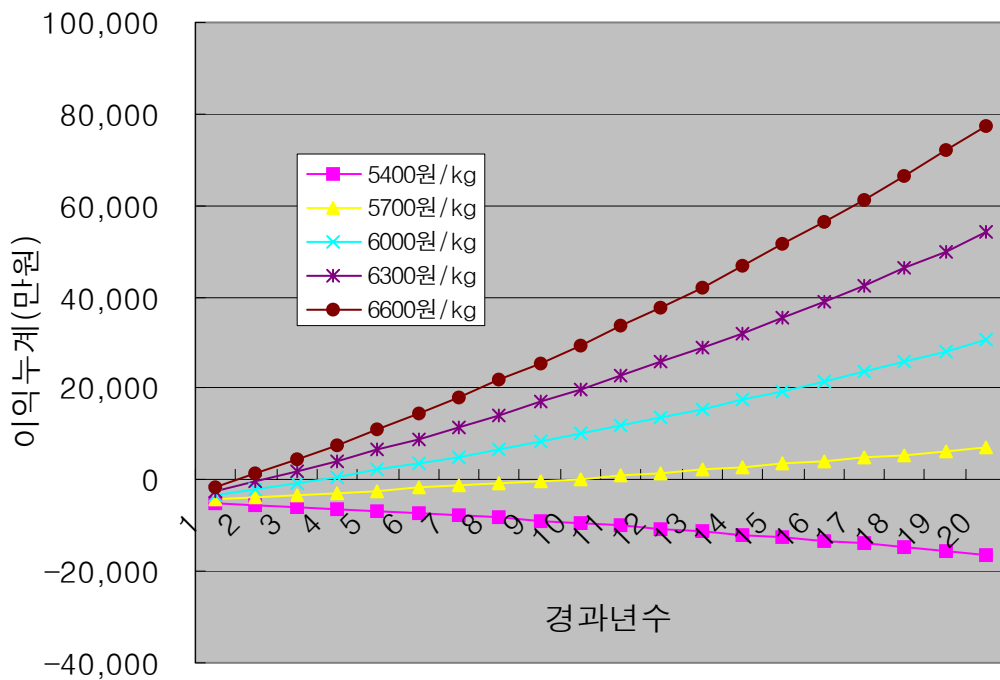


Fig. 5-11. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on change of mushroom sale price.

아. 연간 버섯재배 횟수의 변화

마지막으로 본 연구에서 가정한 평균 재배주기를 기준으로 1년 동안 총 재배횟수의 변화에 따른 비용-편익 관계를 살펴보았다. 평균 단위 주기를 20일로 가정했을 경우 일반 농가에서의 연간 재배 횟수는 보통 16회 전후로 알려져 있다. 따라서 여기서는 연간 16회 주기를 기준으로 상하 1-2회 정도 재배 횟수를 가감하면서 Benefit-Cost 관계를 살펴본 결과 Table 5-11과 같은 결과를 얻었으며, 이를 그림으로 도시한 것이 Fig. 5-12이다. 그림에서 알 수 있듯이 재배 횟수의 변화에 따른 이익누계의 변화는 매우 예민하면서도 손익분기점의 발생시점이 크게 흔들리지 않는다는 것을 알 수 있다. 기준 재배 횟수인 16회의 경우에는 초기투자 후 4년 만에 한계비용 시점에 달하고, 재배 횟수가 17회가 되면 초기투자 후 2년 만에 투자비용을 회수할 수 있게되

지만, 반대로 재배 횟수가 15회로 줄어들면 투자비용 회수가 초기투자 후 5년 후로 늦춰지며, 기준 횟수보다 2회가 낮은 14회의 경우에는 투자비 회수에 9년이나 소요된다는 것을 확인할 수 있다.

재배횟수의 변화는 계획적이든 우연적이든 동일한 결과를 가져온다. 따라서 이러한 분석방법을 통하여 면밀한 계획을 세웠다 하더라도 다양한 이유로 계획했던 만큼의 재배 횟수를 채우지 못할 경우가 발생할 수 있으므로 이런 상황에 따라 예상되는 결과를 예측할 수 있다는 것은 시설농업의 경영합리화 측면에서 바람직하다 할 수 있다.

Table 5-11. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on annual number of growing periods.

(unit ; 10,000won)

경과년도(년)	년간 생산횟수				
	14회/년	15회/년	16회/년	17회/년	18회/년
1	-4,054.1	-3,670.1	-3,286.1	-2,902.1	-2,518.1
2	-3,564.2	-2,782.7	-2,001.3	-1,219.9	-438.4
3	-3,057.2	-1,864.4	-671.6	521.2	1,714.0
4	-2,532.4	-913.9	704.7	2,323.2	3,941.7
5	-1,989.3	69.9	2,129.1	4,188.3	6,247.5
6	-1,427.1	1,088.1	3,603.4	6,118.6	8,633.9
7	-845.3	2,142.0	5,129.3	8,116.5	11,103.8
8	-243.2	3,232.7	6,708.5	10,184.4	13,660.2
9	380.1	4,361.6	8,343.1	12,324.6	16,306.1
10	1,025.2	5,530.0	10,034.9	14,539.7	19,044.6
11	1,692.8	6,739.3	11,785.9	16,832.4	21,878.9
12	2,383.8	7,991.0	13,598.1	19,205.3	24,812.4
13	3,099.0	9,286.4	15,473.8	21,661.2	27,848.6
14	3,839.2	10,627.2	17,415.2	24,203.1	30,991.1
15	4,605.4	12,014.9	19,424.5	26,834.0	34,243.5
16	5,398.3	13,451.2	21,504.1	29,556.9	37,609.8
17	6,219.0	14,937.8	23,656.5	32,375.2	41,093.9
18	7,068.5	16,476.3	25,884.2	35,292.1	44,700.0
19	7,947.6	18,068.8	28,189.9	38,311.1	48,432.2
20	8,857.5	19,716.9	30,576.3	41,435.7	52,295.1

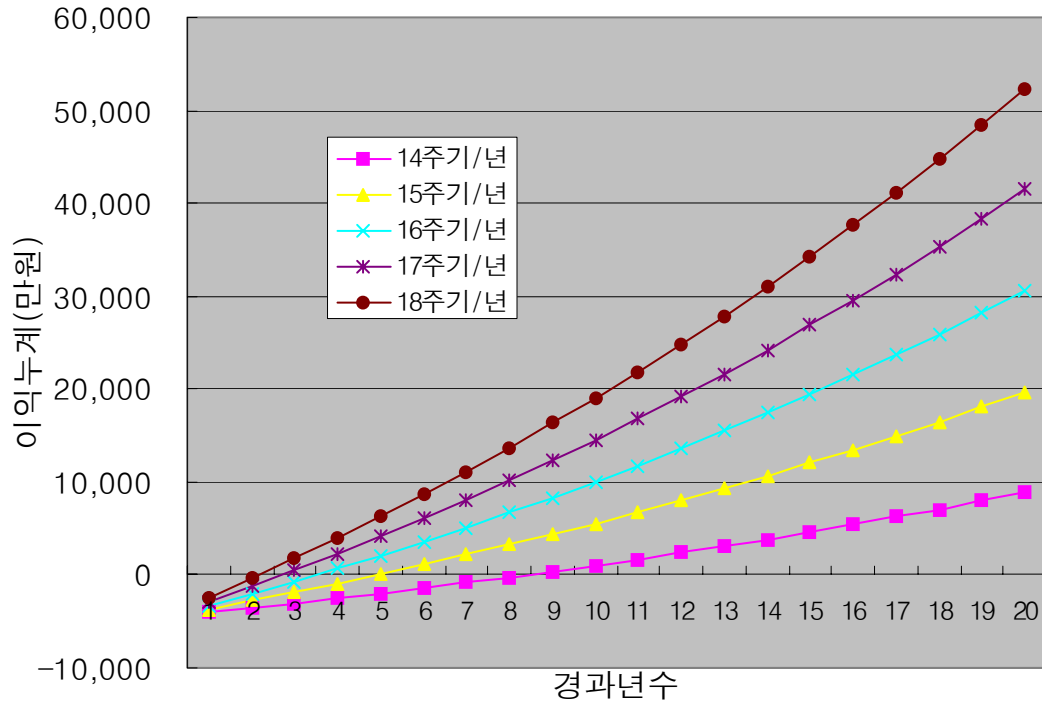


Fig. 5-12. Trend of accumulated annual Benefit-Cost difference depending on annual number of growing periods.

자. 파라메타 변화에 대한 종합 고찰

전반적으로 8가지의 주요 파라메타들에 대한 예민도를 검토해 보았지만, 이 외에도 재배사의 규모변화를 비롯하여 지역별 기상여건에 따른 연료비 부담률 등에 따른 비용-편익 관계를 알아 볼 수 있을 것이다. 모든 재배농가는 투자된 비용을 빠른 기간 내에 회수하기를 원하지만 일반적으로 투자비용의 회수는 투자 후 10년 전후가 되는 것이 보통이다. 그러나 단기간에 큰 수익을 기대하는 사회 전반적 경향 때문인지 농업분야 역시 성급한 기대를 하는 경향이 있어 정상적인 비용이나 편익의 분석이나 중장기적인 계획과 전망이 등한시 되고 있는 것이 문제점으로 노출되고 있다.

이러한 분석 방법은 버섯사의 경우 재래식 간이버섯사와 영구재배사의 연료비 등의

유지 관리비와 상이한 내구년 등으로부터 어느 시스템이 어떤 정도로 유리하거나 불리한지를 비교할 수 있다. 단, 시스템 간의 위생성이나 환경성 면에서 뚜렷한 차이가 있더라도 질이나 양적으로 계량화하기가 어려우므로 분석에 반영할 수 없게 된다.

대체적으로 재배사의 경제적 타당성은 배지병의 단가를 비롯하여 재배용량, 단위 배지당 생산중량, 버섯의 단가 등과 같이 생산량이나 가격과 관련된 파라메타들은 매우 예민하게 결과에 영향을 미친다. 따라서 이런 파라메타들의 안정성이 유지되지 못하게 되면 때에 따라 시설 재배농가들이 심각한 위기상황을 맞을 가능성이 높으므로 계획단계에서부터 각별한 주의가 필요한 것이다.

반면에 시설의 구조건축이나 환경조절 장치들의 가격 차이는 결과에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 특히 예상과는 달리 비교적 환경조절시스템 설치비가 총비용에 미치는 영향이 초기에는 상당히 큰 부담이 되지만 전체적인 경제규모 면에서 비용-편익의 분석 결과에 미치는 영향은 크지 않다. 따라서 건축물의 내구성이나 단열성, 기밀성 등은 물론 실내 환경이 고르게 유지될 수 있도록 실내 공기 순환시스템 등, 제반 환경공학적 요인들에 대해서는 철저한 설계를 통하여 투자를 과감히 할 필요가 있다.

아울러 본 연구에서는 난방 및 냉방 공히 전기 에너지를 이용했지만, 농가의 상황에 따라 난방시스템의 종류와 사용 에너지원의 종류는 물론 기술적인 개발을 통하여 경제성을 갖춘 대체에너지원이 채택될 경우 등에 대해서도 검토해 볼 수 있을 것이다.

더욱이 최근에는 점차적으로 축소 또는 폐지되는 경향이 있으나 버섯재배사의 신축이나 개축에 대해서나 냉방 또는 난방과 관련된 대체에너지 이용시스템의 구축에 대한 정부 보조금이나 낮은 이율의 국고 또는 지방 자치단체별 보조가 추가로 지원될 경우라도 시설투자의 측면에서는 비용부담을 덜어주는 효과가 있을 것이다.

아울러 새송이버섯에 대한 선호도와 생산규모, 그리고 배지의 단가와 생산량 및 판매단가 등의 관계에서 버섯시장의 중장기적 전망이 가능할 것으로 판단된다.

분석을 통하여 알 수 있듯이 재배사의 경제적 타당성은 재배사가 설치될 지역의 주요 인자인 기상조건을 비롯하여 사용할 에너지원의 종류와 에너지 가격변화, 재배식 화석연료를 대체할 수 있는 신에너지원 또는 폐기열원의 유용성, 그리고 설비 품목별 할인율, 내구년한, 세액공제 등과 같은 경제적인 변수들의 복합적인 작용에 따라 영향

을 받게 된다.

특히 본 연구를 통하여 농업 시설의 냉방 및 난방 에너지의 대체 가능성을 검토한 태양열 이용시스템이나 히트펌프시스템을 이용하는 경우에 대해서는 비록 냉방이나 난방에 소요되는 에너지를 전량 대체할 수는 없더라도 부분적인 열의 공급이나 냉방 성능을 보충하는 의미에서 지속적인 연구 개발이 이루어져야 할 것이므로, 에너지 파동으로 여론이 들끓는 동안의 일시적인 대책이 아니라 이미 구조적이고 근본적인 국제적 에너지 수급에서 야기되는 중장기적인 과제를 염두에 두고 중앙정부차원에서는 물론 지방 자치단체에서도 적극 권장하는 조치가 취해져야 할 것이다.

본 연구에서 제안한 경제성분석 방법은 대부분의 관련 파라메타를 임의로 가정한 것이며, 비록 전반적으로 보수적인 평가를 한다고는 했지만 턱없이 높거나 낮은 기준치가 드러남으로서 야기될 수 있는 문제점 또한 없다고 확신할 수 없다. 다만, 본 연구의 경험을 바탕으로 버섯재배농가는 물론 농업에 종사하는 전문 농업인들이 사업의 타당성에 대한 사전 계획과 검토를 보다 용이하게 할 수 있도록 꾸준히 분석방법을 개선할 계획이다.

제 6 절 결 론

버섯재배사의 구조설계를 위하여 이상에서 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다. 새송이버섯은 다른 버섯에 비해 수익성이 높고, 저장기간도 상대적으로 길면서 독특한 맛과 향까지 가졌다는 사실이 알려지면서 2002년 후반기부터 수요가 급증하고 있는 실정이다. 예전에 버섯시장에 일시적으로 등장했다가 소리 없이 사라져간 버섯 중에 대표적인 것은 잎새버섯, 만가닥버섯, 버들 송이버섯 등이 있다. 그러나 새송이버섯은 이들과는 달리 최근 생산량이 18,350tf 정도로 폭발적인 증가세를 보이고 있다. 이러한 추세는 생산량의 증가에 따른 가격불안 사태를 유발하며, 중장기적으로는 시설형 버섯재배사의 관리 및 운용과 관련된 경영합리화가 요구될 것이다. 따라서 문제들을 미연에 방지하고 농가의 고소득 작목으로 육성하기 위하여 고품질 및 다수확 생산을 위한 현대화 및 생력화된 영구재배사와 재배기술을 개발·보급하여 저장성이 우수한 새송이버섯을 송이나 표고와 같이 국내의 주요 수출 버섯의 하나로 육성하여야 할 것이다.

따라서 본 과제에서는 새송이버섯 재배사의 구조적 안전성이나 시설의 공간효율성 증대시키고, 환경조절 기술개발 및 환경요인 최적화에 필요한 구체적인 자료를 제공하기 위하여 수행하였으며, 주요 연구목표를 분야별로 나누면 **구조, 환경조절, 재배 및 경영분야**로 구분할 수 있고, 각각의 분야별로 목표인 **재배사의 구조설계, 소요에너지 실태 파악 및 에너지 절감 대책, 재배사의 환경요인 최적화, 재배사의 수확적 모형개발 및 환경 시뮬레이션, 경제성 분석**의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 「재배사의 구조설계」와 관련된 연구결과

- 1) **현장조사결과** 재배사의 형태는 **간이재배사(반영구, 보온덮개형)**와 **영구재배사(폐닐형)**로 대별 할 수 있었고, 반영구재배사는 대부분 단동이었고, 영구재배사의 경우는 단동에 비해 상대적으로 연동이 많았다. 그리고 재배사의 규모는 형태에 관계없이 다양하였지만, 길이, 폭 및 동고는 각각 20m, 6.6~7.0m 및 4.6~5.0m 정도의 농가가 가장 많았으며, 동당 바닥면적은 132~140m²(40~42평)정도

의 범위로써 대부분 콘크리트로 처리하여 각종 균에 의한 버섯의 오염을 방지할 수 있도록 되어 있었다.

1-1) 반영구 및 영구재배사의 지붕경사각은 각각 41.5° 및 18.6~28.6°로 나타나 반영구재배사의 지붕경사도가 더 큰 것으로 나타났다. 그리고 재배상의 폭 및 단수는 재배사의 형태에 관계없이 각각 1.2~1.6m 정도와 4단이 주류를 이루고 있었다.

1-2) 버섯을 연중재배 하는 재배사에는 모두 냉·난방시설, 가습장치 및 환기팬이 설치되어 있었다. 난방방식의 경우, 온수보일러, 전기히터, 증기보일러 순으로 나타났다. 냉방장치의 경우는 모두 산업용 에어컨을 설치하여 운용하고 있었다. 그리고 가습은 초음파가습기와 원심분리가습기를 사용하고 있었으며, 보조 장치로 분무노즐을 사용하는 농가도 일부 있었다. 또한 온·습도조절 및 탄산가스 조절을 위한 장치의 제어는 동별 제어시스템을 많이 채택하고 있었다. 그리고 온도 센서 이외는 모두 타이머를 이용하고 있음을 알 수 있었다.

1-3) 배지병의 크기는 850cc 및 1,100cc를 사용하는 농가가 주류를 이루고 있었고, 이 밖에도 800cc와 950cc, 1,200cc 및 13,00cc를 사용하는 농가도 있었다. 출하 형태는 대부분 유통회사와 공판장을 동시에 이용하고 있었다.

2) 문헌조사 결과 재배상의 단수를 4단으로 하는 것과 환경조절 장치 중 가습기나 환기팬은 각 동마다 설치하여 사용하는 방식을 채택하고 있는 것은 국내와 유사한 점이 많다. 그러나 이 외에 재배사 내·외부의 구조형상이나 냉·난방 장치의 중앙집중식을 채택하고 있는 것은 국내 상황과 다른 것을 알 수 있었다.

3) 단열효과 시험 결과, 중공형 박스를 이용한 열 저항효과를 분석한 결과, 코팅에 의한 단열효과가 현저함을 보였다. 단기간에 측정된 결과만을 기준으로 비교해보면, 단열 코팅으로 피복처리 하는 것만으로도 50mm 두께의 샌드위치패널 구조와 단열효과가 거의 유사함을 알 수 있었다.

3-1) 단열 코팅에 의한 단열효과를 일반 페인트 피복의 단열효과와 비교하고, 단열 효과의 열적 특성을 분석하기 위한 실험결과 단열 코팅의 효과가 약간 높은 것으로 나타났으나 두 처리 간에 현저한 차이가 발견되지는 않았다.

3-2) 중공형 용기 내부에 곡물을 넣었을 경우, 열전달 현상을 검토한 결과 벽체 내 외표면에서의 온도변화 및 피복 처리간의 차이는 아연도 철판의 중공형 대형

박스와 유사하였다. 용기 중앙에 위치한 곡물의 최대온도 발생시점과 표면의 최대온도 발생시점 간에는 약 6시간의 시간지연이 있음을 발견할 수 있었다.

- 4) **구조설계용 자료 분석 결과**, 모형(L4R4-단동형 및 연동형)이 난방 및 냉방 관리, 실내 기상의 안정성, 단위 평면적당 토지 이용효율 등에서 합리적임을 확인할 수 있었다. 특히 현재까지 제시된 **느타리버섯 표준재배사**의 경우, 측고 및 동고 등이 지나치게 높고 지붕의 트러스 골조의 부적합성 등으로 단위 면적당 표면적비(SSA) 및 단위면적당 체적(SV) 등이 본 연구에서 설정한 모형에 비해 불리하다는 것을 발견할 수 있었다.

- 4-1) 설정한 모형 재배사를 중심으로 기존에 일반적으로 활용되고 있는 골조의 규격들을 적용하여 구조해석을 실시한 결과, 패널형 구조는 전반적으로 과잉 설계되는 양상을 보인 반면에 원형 파이프를 사용하는 보온 덮개형 구조는 과소 설계되어 있음을 알 수 있었다.

- 5) **열수지 시뮬레이션 결과**, 진주지방 새송이버섯 재배사의 냉방 및 난방 D-H(Degree-Hour) 증감현상은 실내 설정온도의 변화에 따라 거의 직선적인 변화를 보였으며, 변화의 정도는 냉방 D-H가 난방 D-H에 비해 훨씬 예민하다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 설정온도는 물론 실내 유지온도의 제어 양상에 따라 소요 에너지의 변화를 예측할 수 있을 것임은 물론, 추후 개발될 버섯사 환경모형 시뮬레이션의 검정과 에너지소요량 추정에도 산정된 D-H가 유익하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

- 5-1) 동일한 재배공간 확보를 전제로 할 경우, 다중 피복의 간이형 재배사에 비해 다양한 두께 및 재질로 생산되고 있는 패널을 사용한 영구형 재배사가 단열 성능면에서 현저히 유리하며, 단동 대비 연동구조의 에너지 효율, 그리고 단열 정도에 따른 에너지 소요량의 변화를 쉽게 가늠할 수 있음은 물론, 주어진 지역과 주요 표면의 단열 정도와 표면상태 등에 따라 계절별 또는 재배 주기별 소요 에너지량을 예측함으로써 재배사의 구조 및 환경적 최적화를 꾀할 수 있을 것으로 판단된다.

- 6) **출입문 단열구조 검토 결과**, 간이형 재배사의 경우, 영세한 재배환경이 더욱 열악해지는 결과를 초래할 것으로 판단되어, 관행의 소규모 간이형 재배사에 대해

서는 2중문 구조가 부적합한 것으로 결론지었다. 그러나 영구형 재배사의 경우도 현재 단계로서는 재배사 내부의 공기분포의 균일성 확보와 아울러 세균이나 미생물 감염 예방 및 환경조절 시스템 등과 연계된 연구가 좀 더 필요할 것으로 판단되며, 작업준비실 및 환경조절장치 등을 설치하여 공기조절의 완충 장소로 이용되고 있는 공동복도 형식이 바람직 할 것으로 판단된다.

2. 「소요에너지 실태파악 및 에너지 절감 대책」과 관련된 연구 결과

- 1) **갑 지역(간이 재배사)**의 경우, 실험기간동안 외기온은 평년과 큰 차이가 없었으나, 재배사 내부의 온도가 설정온도보다 다소 낮게 유지되고 있는 것으로 보아 진주지역의 동절기 최저 외기온을 고려하면, 난방기 용량이 부족한 것으로 판단되었다. 난방시 상하 재배상간 온도차가 최대 2~3℃ 정도로 높게 나타나 높이별 온도분포가 일정하지 않을 뿐만 아니라 또 최하단 재배상에서 배지병이 지나치게 건조하게 되어 버섯의 발이가 잘 되지 않는 등의 문제도 종종 발생하였다. 상대습도는 재배기간 동안 변화가 심하고, 평균상대습도도 일반적으로 알려져 있는 것보다 발이구나 생육기에 모두 다소 높거나 낮게 유지되는 등 습도유지가 일정하지 않은 것을 알 수 있었다. 탄산가스 농도도 권장농도보다 높게 유지되는 등의 문제가 있었다. 조도는 권장조도보다 전반적으로 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 버섯의 수확량은 평균적으로 병당 약 67~85g 정도로 나타났고, 총 판매금액은 배지병 구입비의 2배 이상인 것으로 조사되었다.
- 2) **을 지역(간이 재배사)**의 경우, 실험기간동안 외기온은 평년과 큰 차이가 없었다. 재배사 내부의 온도가 설정온도보다 아주 낮게 유지되고 있는 것으로 보아 난방기 용량이 대단히 부족한 것으로 판단되었다. 난방시 상하 재배상간 온도차가 최대 2~6℃ 정도로 높게 나타나 **갑 지역**에 비해 재배기간 동안 온도편차나 층간 온도차가 현저하게 발생하였다. 그러나 냉방기 용량은 충분한 것으로 나타났다. 최저상대습도도 지나치게 낮게 나타나는 등 습도유지가 일정하지 않았다. 탄산가스 농도나 조도도 지나치게 낮게 유지되는 경향을 보였다. 배지병당 평균 수확량은 **갑 지역**의 67~85g 정도와 비슷하였지만, 버섯의 품질측면에서는 두 지역 간에 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 그리고 소비전력량은 재

배시기, 냉난방기의 작동 상황에 따라 큰 차이를 보였다.

3) **영구재배사의 경우도** 실험지역의 최대, 최저 및 평균 외기온은 각각 $-0.3\sim 36.5^{\circ}\text{C}$, $-15.0\sim 23.5^{\circ}\text{C}$ 및 $-8.8\sim 27.9^{\circ}\text{C}$ 정도의 범위에 있다. 동기간 동안 진주 기상대에서 측정된 최대, 최저 및 평균 외기온이 각각 $-2.1\sim 36.7^{\circ}\text{C}$, $-13.3\sim 24.9^{\circ}\text{C}$ 및 $-7.4\sim 29.1^{\circ}\text{C}$ 인 것과 비교하면, 최대기온은 다소 높고 최소 및 평균기온은 약간 낮게 나타났지만, 대체적으로 비슷한 경향을 보였다.

3-1) **시스템 변경 전의 경우**, 동절기에는 전체적으로 설정온도보다 낮게 유지되었고, 또 최상부와 최하부의 최대 온도편차도 약 5.1°C 정도로 상층이 가장 높게 나타났다. 이것은 전체적으로 난방이 용량이 부족하고, 재배사내부의 공기유동이 원활하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 냉·난방기의 잦은 동작이 별로 없는 시기에는 상·하층간의 온도편차는 크게 나지 않았지만, 동절기의 경우와 다르게 하층부의 온도가 상층부보다 최소 0.4°C 에서 최대 1.5°C 까지 높게 나타났다. 이것은 환기팬의 작동에도 불구하고 1단 재배상 하부에 정체된 공기층이 존재하였다. 그러나 **시스템 변경 후의 경우**, 난방시 대체로 설정온도 범위에서 조절되는 경향을 보였고, 공기정체나 온도층의 역전 현상이 나타나지 않았다.

3-2) 재배사 내부의 대표온도인 최대 및 최저온도가 평균온도에 비해 **변경 전, 후** 별로 살펴보면, 각각 $0.5\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 및 $0.7\sim 3.9^{\circ}\text{C}$ 정도의 범위로서 **변경 전·후** 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 **울 지역**의 $1.0\sim 6.0^{\circ}\text{C}$ 에 비하면 안정적인 것을 알 수 있었다. 그리고 시스템 **변경 전**의 경우, 전체 재배기간 동안 상대습도는 약 44~100%정도의 범위로서 변화의 폭이 아주 큰 것으로 나타났다. 그러나 **변경 후**의 경우, 약 80~100%대체적으로 권장 상대습도 범위에 있음을 알 수 있다. 그리고 **갑, 울 지역**에 비해서는 상대적으로 안정적인 경향을 보였다.

3-3) 시스템 **변경 전**의 경우, 평균 탄산가스농도는 발이초기 및 생육후기에는 1,000ppm이하로 거의 일정하게 유지하고, 그 이후는 상대적으로 높게 또는 낮게 유지하면서 일정한 경향을 보였다. 그러나 시스템 **변경 후**의 경우를 보면, 발이기초 및 생육후기에 1,000ppm 이하로 유지하는 것은 시스템 **변경 전**과 대체로 유사하지만, 그 이외의 기간에는 평균 1,200ppm~2,400ppm 정도의

범위로 일정한 경향이 없음을 알 수 있다. 그리고 조도는 위치에 따라 최소 3lx부터 최대 65lx까지 조도분포가 다양하고, 권장조도 100~200lx보다는 상당히 낮게 유지되고 있음을 알 수 있다. 그리고 전년도 두 지역의 20~160lx와 31~69lx 보다는 더 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 그리고 배지의 산도는 5.0~6.0 사이로 재배기간 동안 큰 변화가 없었고, 단지 권장 pH 5.5~6.5 보다는 약간 낮은 경향이 있었다.

3-4) 수확량은 재배기간, 재배동 및 방법에 관계없이 일정하지 않았다. 또 배지용량 1,100cc에 재배할 경우, 등외품이 재배사별로 각각 26~39% 및 23~36% 정도의 범위로서 재배기간별로 많은 차이를 보였다. 그러나 일반적으로 생산량의 등급별 경향을 보면, 특상 및 상과 중 및 등외품이 차지하는 비중을 평균적으로 각각 약 60%, 10% 및 30% 전후인 것을 알 수 있었다. 그리고 배지용량 1,300cc에 재배할 경우, 재배사에 관계없이 등외품이 3%이내였다. 그러나 재배사별로 포기당 500g으로 생산된 비율이 각각 23% 및 58%로 재배사간 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

3-5) 소비전력은 재배시기에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있지만, 년도에 관계없이 적력사용량의 경향은 비슷한 것을 알 수 있었고, 하절기보다 동절기에 전력소비량이 현저히 많은 것을 확인 할 수 있었다.

3-6) 하절기에는 설정온도보다 약간 높게 유지되는 경향이 있었지만, 동절기와 같이 층간 온도편차도 나타나지 않았기 때문에 냉방기 용량에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다.

4) 히트펌프 실험 결과, 난방의 경우, 증발기의 흡열량은 9,000~12,000kcal/h, 응축기의 방열량은 13,000~17,000kcal/h정도의 범위였고, 증발기 및 응축기의 열효율은 각각 79%, 83%정도였다. 냉방의 경우를 보면, 히트펌프의 흡열량은 17,100~17,700kcal/h범위에 있었고, 열효율은 의 약 71~74%정도였다.

4-1) 난방의 경우, 히트펌프 및 시스템의 성적계수는 각각 2.9~3.5, 1.5~2.4의 범위에 있었다. 냉방의 경우는 히트펌프 및 시스템의 성적계수는 각각 2.71~2.88, 1.99~2.22정도의 범위에 있었다.

5) 태양열 이용 실험 결과, 자연순환식 태양열 집열시스템에서 열 회수방법에 따라 회수되는 유용열 에너지를 비교해 본 결과 주간동안 열저장탱크에 열을 저장

했다가 일몰직후부터 열 교환 시스템을 가동하여 열을 회수하는 경우, 집열량은 1,270~2,580kcal/m²의 범위로서 일출직후부터 회수하는 경우의 집열량 2,460~4,110kcal/m²정도에 비해 다소 작았다.

5-1) 회수방법에 따른 자연순환식 태양열 집열시스템의 집열효율은 일출직후부터 회수한 경우 48.6~59.6%의 범위인데 비하여, 일몰직후부터 회수한 경우는 65.8~78.0% 정도로서 상대적으로 크다는 것을 알 수 있었다. 이것은 순환 매체의 온도가 낮을수록 열 교환 파이프와 열매체 사이의 온도차가 크기 때문인 것으로 판단되었다.

5-2) 강제순환식 태양열 집열시스템의 집열효율을 열매체 유량별로 분석한 결과 열매체유량이 9.7ℓ/min일 때 64.2%~74.5%, 7.0ℓ/min일 때 78.4%~94.8%, 4.2ℓ/min일 때 73.1%~88.6%의 범위로서 7.0ℓ/min일 때의 집열효율이 가장 높은 것으로 나타났다.

6) **복합 환경제어의 경우**, 현재로서는 취급이 용이하고, 가격이 저렴한 탄산가스 농도 및 습도 센서의 개발이 선결된 후, 버섯재배사와 같이 다습한 환경내에서 온도를 조절과 동시에 환기를 실시하는 등의 복잡한 환경에 대한 복합 환경제어 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

7) **환경제어용 설비의 작동상황 분석 결과**, 컨트롤 회로도 재구성 전에는 설정온도보다 +1.0~-2.0℃ 또는 ± 1.0℃ 정도이내에 있었지만, 재구성 후에는 1.0℃ 정도이내에서 재구성 전보다는 안정적으로 조절되고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 습도 센서로 설정한 상대습도와 재배사 내부의 상대습도와는 큰 차이가 있었다.

7-1) 내부온도는 계절에 관계없이 설정온도 범위 내에서 조절되고 있기 때문에 냉·난방기의 용량에는 문제가 없었다. 그러나 버섯을 재배하지 않을 때는 ±1℃범위에서 작동되던 상황과는 다소 차이가 있음을 알 수 있지만, 버섯재배에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었고, 탄산가스 센서의 작동에도 문제가 없는 것으로 판단되었다.

7-2) 환경조절 시스템의 오작동이나 전체적인 시스템은 상시 감시할 필요가 있는 것으로 판단되었다. 이를 위해서 기존 재배사의 경우에는 시중에서 판매되고 있는 간단한 장비를 구입하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료되나, 새

로 버섯재배사를 신축할 경우에는 미래에 전개될 유비쿼터스 센서 네트워크 등의 시스템을 적용할 수 있는 방향으로 개발되어야 할 것으로 판단되었다.

- 8) **유리수분**을 제거하기 위해서는 가능한 범위내에서 첫째, 가습기 작동시간 단축, 둘째, 환기팬 작동 단축, 셋째, 냉·난방기만 작동 또는 제상 팬 작동, 넷째, 일정한 온도 유지 것 등 이었다.

3.. 「재배사의 환경요인 최적화」와 관련된 연구 결과

- 1) **CO₂농도**를 1,600, 2,400 및 3,200ppm로 설정하였을 때, 발이소요일수는 농도가 높을수록 상대적으로 빠른 경향을 보였지만, 수확소요일수, 수확기간 및 수확률은 방임처리구와 슈음처리구에서 공히 이와 다소 상이하게 나타났다. 그리고 방임 및 슈음처리구에 관계없이 CO₂ 농도가 높을수록 대의 길이와 두께는 길어지거나 두꺼워 졌고, 갓의 직경은 작아졌다. 수확한 버섯의 중량, 품질, 배지병당 경수는 이와 다소 다른 경향을 보였다. 즉 중량 및 품질은 2,400ppm에서 상대적으로 우위를 차지하였고, 경수는 1,600ppm에서 2.5로 가장 많았다. 농도별 총 수확량 및 상품이 차지하는 비율에서도 2,400ppm으로 처리한 구에서 상대적으로 우위를 차지하였고, 이에 비해 상대적으로 고농도인 3,200ppm에서는 전체적으로 열등한 것으로 나타났다.
- 2) 재배실 내부의 **탄산가스 농도**는 재배일수에 따라 다르게 나타났다. 탄산가스 농도는 입상 직후에는 800ppm 정도로 일정하게 유지되지만, 발이가 시작되면 급속히 증가하는 경향을 보였다. 탄산가스 농도가 급격히 증가하기 이전(대의 길이 30mm까지)에는 대의 길이와 자실체의 중량도 완만한 증가세를 보이지만, 탄산가스 농도가 급격히 증가하면 신장속도가 급격하게 신장하는 경향을 보였다. 농가 실증시험에서도 이와 유사한 경향을 보였다. 그러나 온도와 상대습도는 시험재배사와 동일하게 재현하기 어려웠다. 그리고 방임 및 슈음처리구에 관계없이 탄산가스 농도별 생육특성, 품질별 특성 등도 시험재배사에서 도출한 결과와 차이를 보였다.
- 3) 재배기간 동안 **설정온도**를 13, 15 및 17℃로 일정하게 유지할 경우, 슈음 및 방임처리구에 관계없이 수확기간은 동일하고, 발이 및 수확소요일은 온도가 높을

수확 빠르게 나타났지만, 수확률은 15℃에서 경우가 가장 많았다. 그리고 대의 길이와 두께도 숙음 및 방임처리구에 관계없이 온도에 비례해서 증가하였지만, 갓의 직경은 일정한 경향을 보이지 않았다. 또한 자실체의 중량, 배지병당 경수 및 총생산량 모두 15℃에서 우위를 차지하였다. 그 다음은 17℃와 13℃ 순이었다.

- 4) 재배사 내부의 **설정온도**를 15℃로 일정하게 유지하는 경우(I 처리구), 17℃에서 15℃까지 3단계로 설정하는 경우(II 처리구), 20℃에서 15℃까지 6단계로 설정하는 경우(III 처리구), 숙음 및 방임처리구에 관계없이 발이 및 수확소요일 간에는 큰 차이가 없었지만, 수확률은 I 처리구에서 가장 적었다. 그리고 숙음 및 방임 처리구에 관계없이 버섯의 품질, 총 수확량, 배지병당 자실체의 중량 및 경수는 상대적으로 II 처리구가 우위를 차지하였고, I 처리구가 가장 열등한 것으로 나타났다.
- 5) 재배기간 동안 **상대습도**를 70, 80 및 90%로 일정하게 유지할 경우, 숙음 및 방임처리구에 관계없이 수확기간은 동일하고, 발이 및 수확소요일은 상대습도가 높을수록 빠르게 나타났지만, 수확률은 80~90%로 설정한 처리구가 70%로 처리한 구보다 많았다. 그리고 대의 길이, 두께 및 자실체의 무게도 숙음 및 방임처리구에 관계없이 상대습도에 비례해서 증가하였지만, 갓의 직경은 일정한 경향을 보이지 않았다. 또한 자실체의 중량, 품질, 배지병당 경수 및 총생산량 모두 90%로 처리한 구가 상대적으로 우위를 차지하였다. 그 다음은 80%로 설정한 경우였고, 70%로 설정한 경우가 상대적으로 열등하였다.
- 6) 생육시기별로 **상대습도**의 설정치를 90%이상에서 각각 1, 4 및 7일정도, 85%에서 숙기작업 전까지 각각 11. 8 및 5일정도, 수확시까지 80%에서 재배할 경우를 각각 I, II 및 III 처리구로 하였다. 이때 처리별 수확기간, 발이 및 수확소요일 및 수확률은 숙음 및 방임처리에 관계없이 90%이상에 노출되는 기간인 상대적으로 길수(III 처리구)를 가장 우수한 것으로 나타났다. 그리고 자실체의 생육특성인 대의 길이 및 두께와 갓의 직경 등에서 처리별 뚜렷한 경향은 없었다. 그러나 버섯의 품질 및 총생산량은 90%이상에 노출되는 기간이 상대적으로 길수록 우수하게 나타났다.

- 7) 재배사내부의 **조도**는 위치에 따라 상당히 다르고, 또한 슈움처리구 최상단, 중 및 하단의 재배상에서는 조도와 자실체의 특성 사이에 어느 정도 상관관계가 있는 것도 확인되었지만, 이외는 유의성을 확인할 수 없었다.

4. 「재배사의 수학적 모형개발 및 환경 시뮬레이션」과 관련된 연구 결과

1) 요약

버섯 재배사를 대상으로 재배사 내부의 미기상환경을 예측하고, 이러한 예측 기법을 이용하여 다양한 조건의 합리적 환경 대안을 비교 검토할 수 있는 수학적 모형에 대한 개발을 시도하였다.

여기에는 다양한 형식의 독립된 수학 모형들이 관련되므로 각각의 모형을 개발하고 상호 결합하는 복잡한 과정이 수반된다. 이런 독립된 모형들로는 열복사 모형을 비롯하여 수분 전달모형, 바닥 열 전달모형 등이 있고, 이들 각각은 필요에 따라 정상상태 또는 과도상태의 방정식으로 표현된다. 즉, 바닥면과 같이 열의 저장용량이 비교적 큰 부분에 대해서는 유한차분법 형식의 과도상태 방정식을 적용하고, 기타 재배 작물을 비롯하여 벽체나 실내공기 등에 대해서는 정상상태의 평형방정식을 적용했다.

본 수학적모형의 마지막 부분은 버섯재배사의 환경을 설계기준이나 재배자의 선택에 따라 설정되는 범위로 조절하는 논리개발에 관한 것이다. 환경의 조절은 보조적인 난방과 냉방 그리고 강제환기의 형식으로 이루어진다. 이러한 모든 과정에 대한 조절은 평형방정식과 과도방정식으로 결정되는 온도와 탄산가스 농도를 바탕으로 이루어진다. 각종 에너지와 질량 평형방정식들이 독립적으로 세워져서 각 하위 계열에서 미지수들을 산정함으로써 연속적으로 해를 구하게 된다. 이러한 해는 주어진 조건 하에서 모든 조건을 만족할 때까지 반복적인 계산을 통해 합리적인 값으로 수렴하게 된다.

개발된 모형에 대한 검정은 필수적이지만 본 연구에서는 버섯 자실체의 호흡과 성장을 통한 발열 및 탄산가스 발생 등의 생리적 거동에 대한 모형화가 완성되지 못했고, 특히 탄산가스 농도에 따른 환기, 냉방을 위한 환기, 그리고 동절기 환기

와 난방의 관련성 등을 합리적으로 제어할 수 있는 논리가 완성되지 못한 관계로 모형에 의한 예측 결과를 실용화하기가 어려운 상황이다.

그러나 재배사에 대한 최소 환기량을 중심으로 시뮬레이션을 시도함으로써 다양한 재배사의 온도상황과 소요 냉방 및 난방 에너지 부하를 최소 2분 간격으로 알아볼 수 있고, 아울러 이들을 누적함으로써 시간별, 일별, 월별 누적치를 산정할 수 있다. 따라서 절대적인 비교는 어렵더라도 재배사 내부의 설정온도에 따른 상대적 소요 에너지 비교가 가능하므로 기존의 난방 및 냉방 Degree-Hour 등과 함께 비교 검토가 가능하다.

본 수확모형은 보완중인 버섯의 성장모형과 탄산가스 관련 환기량 제어모형을 지속적으로 개량하고, 본 연구를 통해 장기간 동안 수집된 다양한 미기상 인자들로서 검정함으로써 머지않아 강력한 미기상환경 예측 모형으로 실용화될 수 있을 것으로 기대한다.

2) 결론

버섯 재배사를 대상으로 재배사 내부의 미기상환경을 예측하고, 이러한 예측 기법을 이용하여 다양한 조건의 합리적 대안을 비교 검토할 수 있는 수학적 환경 예측 모형에 대한 개발을 시도하였다. 여기에는 태양복사모형을 비롯하여 열복사모형, 수분전달모형, 바닥면 열전달모형 등의 독립된 모형들이 주어진 환경에서 설정된 온도로 실내온도를 유지하는 환경 제어논리와 함께 포함된다. 결국 각종 에너지 평형방정식과 질량 평형방정식들이 독립적으로 세워져서 각 하위 계열에서 미지수를 산정함으로써 연속적으로 해를 구하게 된다.

개발된 모형을 중심으로 진주 지역 기상자료로서 시뮬레이션을 시도함으로써 시간별 미기상 상황을 비롯하여 일별, 월별, 그리고 연간 미기상 인자와 냉방 및 난방부하에 대한 계산이 가능하다는 것을 확인했으나 미흡한 부분이 보완되지 못함으로써 아직 그 정확성이 담보되지 못하고 있다.

모형에 대한 검정은 필수적이지만 본 연구에서는 버섯 자실체의 열 및 탄산가스 발생 등의 생리적 거동에 대한 모형화가 완성되지 못했고, 특히 탄산가스 농도에 따른 환기, 냉방을 위한 환기, 그리고 동절기 환기와 난방의 관련성 등을 합리적으로

로 제어할 수 있는 논리가 완성되지 못한 관계로 모형에 의한 예측 결과를 실용화하기가 어려운 상황이다.

본 수확모형은 보완중인 버섯의 성장모형과 탄산가스 관련 환기량 제어모형을 지속적으로 개량하고, 본 연구를 통해 수집된 다양한 미기상 인자들에 의해 검증함으로써 머지않아 강력한 미기상환경 예측 모형으로 개발될 수 있을 것으로 기대한다.

5. 「경제성 분석」과 관련된 연구 결과

1) 요약

기존의 재래식 버섯 재배사를 대체하기 위하여 새로운 영구 재배사를 신축하는 경우에는 상대적으로 고액의 초기투자가 불가피하다. 이렇게 투자된 돈은 생산을 통하여 건물과 부대시설들의 내구년한 동안 년차적으로 회수하게 된다. 따라서 버섯 재배사에 대한 경제성분석 으로서 가장 보편적이 방법은 비용-편익분석 방법일 것이다.

본 연구에서 적용한 방법은 순현재가 방식이다. 즉, 대상 재배사를 통한 미래의 모든 비용과 수익을 모두 초기 투자시점으로 할인되는 방식이다. 그래서 소유 비용을 시스템을 통한 수익에 비교하는 것이다.

비용과 편익에 관련되는 주요 인자들로는 재배사의 초기비용을 비롯하여 세액공제, 잔존기치, 할인율, 해당 장치의 내구년, 유지관리비, 재산세율, 보험료, 한계 수입세율, 에너지 가격, 물가 상승률 등이 있다.

수입세율을 비롯하여 세액공제, 재산세 등은 투자 시스템의 비용에 영향을 주는 것은 당연하지만 소규모 영농 부문에서는 아직 명확한 적용 사례가 없어 본 연구에서는 고려 대상에서 제외했다.

이러한 경제성 분석 방법은 생산성 향상을 목적으로 투자되는 모든 농업 시설물에 대하여 적용이 가능할 것이다.

본 분석방법은 엑셀 프로그램으로 짜여진 비용-편익 분석표로서 상이한 조합의 경제조건들을 적용하게 되면 다양한 경우에 대한 분석이 손쉽게 이루어질 수 있을

것이며, 분석된 결과는 버섯 재배사를 비롯하여 다양한 형식의 시설투자에 대해 고민하고 있는 농업 경영인들에게 매우 유익하게 활용될 수 있을 것이다.

위에서 언급한 몇 가지 주요 파라메타들을 중심으로 sensitivity 분석을 시도하면서 주어진 파라메타의 변화에 따른 비용-편익의 손익분기점이 이동되는 양상을 살펴보았다. 여기에 고려된 주요 파라메타로는 건축비의 단가를 비롯하여 설치 부담이 비교적 높은 냉방시스템 설치 단가, 재배농가 경영효율을 좌우하는 소요 에너지 비용, 생산의 핵심 자재인 배지병의 단가, 재배사의 공간 활용효율을 반영하는 재배상 각 단별 재배 줄수, 배지 병당 생산 중량, 재배된 버섯의 판매단가, 연간 버섯재배 횟수 등이 포함된다.

2) 결론

본 연구에서 시도한 경제성 분석방법은 순수 현재가 방식이다. 주어진 버섯재배사를 중심으로 모든 비용과 편익이 초기투자 시점으로 할인되며, 시설물의 운용에 따른 비용과 시설물의 운용을 통한 편익이 연차적으로 대비되는 형식이다.

본 분석방법은 엑셀프로그램으로 짜여진 비용-편익 분석표로서 상이한 조합의 경제조건들을 적용하게 되면 다양한 경우에 대한 분석이 손쉽게 이루어질 수 있을 것이며, 분석된 결과는 버섯재배사를 비롯하여 다양한 형식의 시설투자에 대해 고민하고 있는 농업 경영인들에게 매우 유익하게 활용될 수 있을 것이다.

표본으로 설정된 규모와 형상의 버섯 재배사를 전제로 각종 파라메타들의 기준 값을 정하고, 기준 값을 전후로 일정 비율의 증감에 따른 비용-편익의 연차적 변화를 살펴보았다. 이는 일종의 sensitivity를 분석하는 방식으로서 투자에 따른 비용-편익의 년차별 누적치가 양의 값으로 변하는 시점에서 손익분기점을 찾을 수 있었다. 본 sensitivity 분석에서는 건축비의 단가를 비롯하여 설치 부담이 비교적 높은 냉방시스템 설치 단가, 재배농가 경영효율을 좌우하는 소요 에너지 비용, 생산의 핵심 자재인 배지병의 단가, 재배사의 공간 활용효율을 반영하는 재배상 각 단별 재배 줄수, 배지 병당 생산 중량, 재배된 버섯의 판매단가, 연간 버섯재배 횟수 등이 주된 분석 대상이 되었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표달성도

연구 목표	주요개발 내용	목표의 달성도
1. 버섯재배사의 구조설계	1) 재배사의 효율적 입체 공간의 활용대책 분석 2) 단동 대비 연동 구조의 장·단점 비교분석 3) 현장실태조사 및 재배사 주 건축재의 특성 분석 4) 출입구의 단열구조 분석 5) 연동구조의 건축비 및 에너지 비용 절감효과 분석 6) 작업효율 검토	- 재배사 설계도 작성
2. 소요에너지 파악 및 에너지 절감대책 수립	1) 계절별 생육단계별 재배사 내 경시적 미 기상인자 측정과 버섯생산량 분석 2) 설비의 작동상황 측정 및 분석 3) 환경제어논리 개발 4) 제어시스템 오작동시 대체방안 강구 5) 유리수분의 제거 방법 제시 6) 난방용 배관 및 공기분산 덕트의 설치방법 7) 소요에너지 실태파악을 통한 경영비중 분석 8) 에너지 절감기술 제시	- 재배사의 환경조절 실태 파악 및 데이터 축적 - 에너지 절감 기술 제시
3. 재배사의 경제성 분석	1) 시설 및 설비의 초기투자과 유지관리비용 분석 2) 재배단지의 입지선정에 따른 경영효율분석	- 경영수지 제시
4. 재배사 수학적 모델개발 및 환경 시뮬레이션	1) 수학적 모형개발 2) 환경시뮬레이션	- 모형개발 및 시뮬레이션 기초자료
5. 새송이버섯의 최적 환경요인 확립	1) 최적온도조건 선정 2) 최적습도조건 탐색 3) 최적CO ₂ 조건의 탐색 4) 생육시기별 최적 환경요인 구성 5) 상업적 규모에서 시험재배 문제점 도출	- 최적의 환경요인 확립

제 2 절 관련분야 기술발전예의 기여도

본 과제의 연구결과는 다음과 같은 기여할 것으로 기대할 수 있다.

1. 기술적 측면

- 버섯재배사의 표준 구조설계 및 환경조절 기술 정립
 - 단동형 뿐만 아니라 연동형 재배사의 재배공간 활용이 극대화
 - 재배사의 건축기술 및 환경조절기술이 확립
- 표준 시설을 갖춘 버섯재배에 소요되는 에너지 절감기술 개발
 - 태양집열장치 및 히터펌프에 의한 화석연료 대체기술이 확보
 - 에너지 절감형 버섯재배 기술이 개발
- 버섯의 재배기술에 직결되는 환경인자별 설정한계가 구명
 - 버섯의 생리와 환경인자간의 개별 및 복합적 메카니즘 구명
 - 버섯재배 설비개발 및 그 제어와 관련된 기술개발이 촉진
 - 여타 생물생산 관련시설 환경조성에 대한 응용 기술이 촉진

2. 경제 · 산업적 측면

- 버섯재배사의 표준 구조설계 및 환경기술이 수립
 - 건축비 및 환경조절 설비비용 부담을 극소화
 - 시설산업 및 생물환경 제어기술산업이 활성화됨으로서 버섯재배 기술의 국제적 우위를 선점
- 표준 시설을 갖춘 버섯재배에 소요되는 에너지 절감기술 개발
 - 태양열 및 히터펌프열 활용으로 연료절감효과가 제고
 - 버섯 시설재배 농가의 에너지 사용경비를 절감함으로써 경영효율이 개선됨은 물론 관련산업의 국제 경쟁력 향상

○ 버섯의 재배기술에 직결되는 환경인자별 설정한계가 구명

- 버섯재배 관련 설비 기술개발 산업이 활성화되고 생물생산 관련 첨단시설의 인위적 환경조절과 관련된 전문인력 육성으로 국내 인력 수요 충족은 물론 국제적 고급 기술 및 인력 수출이 촉진

- 새송이버섯의 생육에 영향을 미치는 4대요소인 탄산가스, 온도, 상대습도, 그리고 조도를 전생육기간에 걸쳐 고정적으로 유지하여 최적농도의 대강의 범위를 설정한 후, 생육시기를 발이전단계, 발이후단계(균긋기기), 신장기, 수확기 등 3~4단계로 나누어 환경조건을 따로 설정하여 생육시기별로 최적의 환경조건을 확립한 후 재배농가에서 직접 구명된 환경조건을 적용하여 문제점을 파악하고 해결책을 제시하였다. 조도에 관한 결과는 미미하지만 농가에서 충분히 활용할 수준이라고 생각되고, 새송이버섯 외에 경험적인 농법이 만연해 있는 느타리버섯이나 팽이 등 병버섯분야에 충분히 활용가능성이 있을 것으로 사료된다. 기존의 환경설정시험이 요소별로 단편적으로 이루어 졌다면, 본 실험은 여러 가지 요소를 복합적으로 다룸으로써 농업인이 바로 활용할 수 있는 완성도가 높은 결과를 도출하였다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

국내의 경우, 재배사에 관한 표준설계도나 시공지침이 없기 때문에 재배사의 신축이나 환경조절은 대부분 경험적 판단과 관행에 의해서만 이루어지고 있다. 또한 이들 재배사들의 구조는 안전성도 검증되지 않았을 뿐만 아니라 표준재배사에 관한 어떠한 자료도 전무한 상태이므로 각 농가마다 재배사의 구조가 상이한 실정이다. 또한 재배사의 내부 온도, 탄산가스농도, 습도 및 조도 등 환경적 요인을 잘 조절함으로써 얻을 수 있는 고품질 버섯의 생산은 체계화되어 있지 못한 환경조절기술로 인해 농가마다 시행착오 등 많은 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 과제는 재배사의 구조설계, 환경조절 및 표준재배법을 개발하기 위하여 수행하였으며, 개발된 연구결과는 다음과 같이 활용할 계획이다.

- 국가 지원이 이루어지고 있는 버섯 시설재배용 구조 및 환경설비 표준설계지침으로 활용할 수 있다.
- 다양한 버섯품종의 시설재배를 위한 유사기술 개발에 대한 기초자료로 응용할 수 있다.
- 보조 냉·난방 에너지원으로 태양집열장치와 히터펌프를 설계하는 지침으로 활용할 수 있다.
- 노동집약형 노지 재배 및 간이 재배 버섯 생산에서 자본집약 및 기술집약적 버섯생산으로 전환함에 있어서 경영 합리화를 도모하는 데 활용할 수 있다.
- 다양한 버섯 종균 육종과 고품질 다수확 생산에 응용할 수 있다.
- 버섯재배사의 미 기상환경 관리지침으로 활용할 수 있다.
- 기타 생물생산 관련시설 환경조성에 대한 응용 기술개발에 활용할 수 있다.
- 버섯의 시설재배와 관련된 재배현장의 제반 기술적 애로사항을 해소와 자문을 위한 지침으로 활용할 수 있다.
- 본 연구결과를 토대로 농업의 육감에 의존하는 타버섯의 정밀환경설정 시험을 수행하면 포화된 국내시장을 벗어나 국제시장에 나갈 수 있는 고품질의 버섯을 생산할 수 있는 기초를 마련할 수 있을 것으로 시료된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

새송이버섯 재배사 구조용 설계지침 마련을 위하여 국내(경기도농촌진흥원)에서 설계한 느타리버섯 재배사의 표준설계도(경량철골조 구조 및 블록 구조 20~50평)는 입수할 수 있었으나, 국내의 경우, 새송이버섯과 관련한 설계도는 현재까지는 찾아 볼 수 없었고, 재배와 관련된 자료도 일부 보도 자료나 연구회에서 발표된 세미나자료 등에서 겨우 확인할 수 있는 정도에 불과한 실정이었다. 따라서 기존의 느타리버섯 재배사를 이용하여 새송이버섯을 재배하는 농가를 제외하고 새송이버섯 재배사를 새로 시공하는 경우, 재배사 시공업체나 재배자의 요구에 따라 시공되고 있기 때문에 재배사의 구조가 다양하다.

그리고 새송이버섯을 국내보다 조금 빨리 보급한 일본의 경우에도 국내와 마찬가지로 재배사 시공업체에 따라 재배사의 구조가 조금씩 상이한 것으로 조사되었다. 따라서 본 과제에서는 일본에서 출판한 “새송이버섯 안정재배의 실제와 판매 및 이용”, “기초부터 새송이버섯 재배”, “2002년도 버섯연감” 등의 서적을 구입하여 구조와 관련된 내용을 분석하였다. 또 기후현 지방의 카가미가하라시 웰비 농원을 직접 방문하여 현장조사를 실시하였다.

미국의 경우, 펜실베니아 대학을 중심으로 버섯재배관련 생리적 연구는 활발하며, 특히 버섯의 기능성 식품화에 전념하고 있을 뿐, 재배실에 대한 구조역학적 내지는 미기상환경 조절부분에 대한 연구는 미미하다.

따라서 본 장에서는 일본에서 발간한 서적과 현지 방문한 자료를 중심으로 기술하였다.

앞에서 기술하였듯이 일본의 경우도 국내와 마찬가지로 시공업체에 따라 재배사의 구조가 조금씩 상이한 것으로 조사되었고, 표준설계도의 유무도 확인하기가 쉽지 않았다. 따라서 문헌의 자료와 일본 기후현 지방의 카가미가하라시 웰비 농원(바닥면적 약 9평인 선박용 컨테이너 11개)을 직접 방문하여 조사한 결과를 참고하였다. 그 결과 일본의 경우도 구조물의 외형은 재배사에 따라서 조금씩 다르지만, 내부 재배상의 폭, 단수, 단간 간격 등은 문헌에서 조사한 것과 유사하였다. 즉, 크기가 (42~45)×(42~45)×10cm인 트레이에 850cc 배지병 16개를 담아 재배상의 길이 방향으로 4개의 트레이를 놓을 수 있는 폭 0.45m, 길이가 1.8m 인 프레임을 제작한 후, 이 하나의 프레임

을 0.4m 간격의 높이로 4단을 조립하여 한 세트의 재배상으로 사용하고 있었다. 필요한 수의 배지병을 수용할 수 있도록 재배상 세트가 길이 및 폭 방향으로 배열된다. 단지 웰비농원의 경우, 재배사내에서 배지병 이동은 주로 지게차를 이용하거나 세트로 제작된 재배상에 롤러를 부착하여 밀고 다닐 수 있게 되어 있기 때문에 통로의 폭이 대단히 좁은 편이다. 현장 조사결과에서도 0.6~1.5m 정도였으며, 국내의 경우, 재배상은 고정형이지만, 웰비농원의 경우는 전술한 것과 같이 세트 단위로 되어있기 때문에 이동이 용이하다(Photo 1-5 참조).

문헌에 제시된 기준 재배상의 평면배치도(Fig. 1-3 참조)를 보면, 재배상의 배치가 실제로 현장 재배사와 거의 유사함을 알 수 있다. 이 재배실의 크기는 약 1.5평 정도로서 재배상을 4단으로 설치할 경우, 수용할 수 있는 배지병은 16병×8개(트레이)×4단×2개소(통로 좌·우측)=1,024병이다. 만약 바닥면적이 40평 정도라면, 약 27,000병 정도를 수용할 수 있다는 계산이다. 국내의 경우, 바닥면적 약 40평에 재배상을 4단으로 구성하여 수용할 수 있는 최대 배지병이 15,000병 정도이다.

그리고 재배상 최하단의 높이는 0.2m, 단간 간격은 0.35m로 하면 최상단 높이가 1.25m 정도라고 한다. 국내의 경우, 최하단의 높이가 0.55m 전후이고 최상단 높이가 2.0m 이상인 것과 비교하면 작업에 소요되는 노동력 측면이나 환경조절 측면에서도 국내보다는 유리할 것으로 판단된다.

문헌에 제시된 평면도(Fig. 1-4 참조)는 년 간 200,000병 정도를 재배하는 재배사로서, 이 정도의 규모면 부부+1인 정도의 노동력으로 감당할 수 있는 규모이다. 또한 동의 바닥면적은 10.5평 정도로서 수용할 수 있는 배지는 7,100병 정도로서 국내의 12,000~15,000병(40평 기준)에 비하면 47~60%정도에 불과하다. 연동으로서 환경조절 장치 중 냉·난방장치는 중앙집중식이고 가습기나 환기팬은 각 동마다 설치하여 사용하는 방식을 채택하고 있다. 물론 균상을 종균센터에서 구입하여 주로 재배에만 전념하는 국내와 다르게 종균을 직접 배양하여 재배하는 형태이지만, 국내에서도 앞으로 경쟁력 제고와 품질 향상을 위하여 이와 같은 재배형태로 방향전환이 되어야 할 것으로 판단된다. 국내의 경우, 종균센터마다 종균이나 배지에 첨가하는 첨가물, 살균방법과 시간, 배양일 수 등이 다르기 때문에 종균센터에 따라 미미하긴 하지만 설정온도나 가습, 환기조절 시간 등도 다른 것으로 조사되었다. 이 때문에 재배자와 종균센터 간에 마찰이 일어나는 경우도 종종 발생되었다. 따라서 균질의 버섯을 안정적으로 재배하고 질 좋은 종균을 자가 개발하는 등 과학영농을 위해서는 종균의 자가 생산이 바람직할 것으로 판단된다.

제 7 장 참고문헌

1. 우영희, 남윤일, 송천호, 김형준, 김동익(1994), 夏節期 效率的인 하우스 溫度 濕度 管理에 관한 研究, 생물생산시설환경학회지, 3(1), pp. 58~65.
2. 조일환, 우영희, 仁科弘重, 橋本 康(1994), 夏期주간의 국소냉방과 토마토폴색음병 발생에 관한 연구, 생물생산시설환경학회지, 3(1) , pp. 36~41.
3. 김영중, 유영선, 윤진하, 오권영, 김승희(1997), 포그노즐을 이용한 온실냉방시스템 분석, 한국농업기계학회 1997년 동계 학술대회 논문집 Vol. 2 (1), pp. 233~242.
4. 민영봉(1997), 시설자동화 장치와 관리 생력화 시스템, 경상대학교 농과대학부속 시설원예연구소, 교육자료집 8호, pp. 98 ~ 116.
5. 서원명, 윤용철, 박중춘, 손영걸(1994), 우리 나라 온실의 냉방시스템 도입검증, 경상대학교 시설원예연구, Vol. 2, pp. 123~145.
6. 고관달(1990), 시설원예의 기계화 및 생력재배, 최신농업기술Ⅱ 원예작물편, 경상대학교 농업자원이용연구소, pp. 7-27~7-34.
7. 서원명·민영봉·박중춘, 온실의 냉방관리를 위한 기화냉각 시스템개발, 경상대학교 시설원예연구, Vol.1, pp. 173~178.
8. 경상남도 경상대학교(1995), 시설원예 기술·경영 지원교육, pp. 106~107.
9. 김문기(1989), 마이크로컴퓨터를 이용한 온실의 환경제어, 시설원예연구 2(2), pp. 24~33.
10. 농림수산부(1996), '95 화훼재배현황과 '96채소생산실적.
11. 민영봉, 정태상, 김성태(1993), 그린하우스 온도제어 시뮬레이션, 경상대학교 논문집 32(2), pp. 39-145.
12. 박중춘·박상근·김광용·이병일·서원명·민영봉 외 4인(1993), 시설원예 현대화 모델 하우스 설정 및 재배효과에 관한 연구, 1992 농촌진흥청 3차년도 연구보고서.
13. 서원명, 민영봉, 윤용철(1990), Microcomputer 를 利用한 Greenhouse의 溫度制御 System에 관한 연구, 농업기계학회지 15(2), pp. 134~142.
14. 서원명(1994), 온실의 환경인자 및 환경조절에 관한 기본지침, 경상대농대 시설원예연구, Vol.1, pp. 55-130.

15. 큰느타리(*Pleurotus eryngii*)의 인공재배에 관한 연구 이대진 김공포 이병의 31(3) 192~199, 2003
16. 김한경, 정종천, 석순자, 김광포, 차동열, 문병주. 1997a. *Pleurotus eryngii*균의 인공재배(1). 한국균학회지 25(4): 305-310.
17. 김한경, 정종천, 석순자, 김광포, 차동열, 문병주. 1997b. *Pleurotus eryngii*균의 인공재배(2). 한국균학회지 25(4): 311-319.
18. 강미선, 강태수, 강안석, 손형락, 성재모. 2000. 새송이버섯(*Pleurotus eryngii*)의 균사배양 및 인공재배에 관한 연구. 한국균학회지 28; 73-80.
19. 소출박지. 2001. 버섯재배전과. 농문협. 171-177.
20. 택장삼. 2001. 신타산에린기. 농문협. 74-106
21. 김광포, 차동열, 유창현, 박정식, 조세연, 버섯재배기술(1998), 농촌진흥청
22. 차동열, 박정식, 유창현, 김광포, 전창성, 이두원, 느타리버섯(1997, 농민신문사
23. 버섯정보신문, 버섯정보센터, 2001년도 버섯자재 살펴보기(2001), 버섯정보센터
24. 김증식, 공기조화 & 냉동기계실기(1997), 일진사
25. 조덕현, 버섯(2001), 지성사
26. 金文基, 南相運, 徐元明, 尹龍喆, 李錫健, 李賢雨, 生物環境調節工學(2002), 청솔
27. 空氣調和・冷凍・衛生 標準用語集(1993), 空氣調和 冷凍工學會
28. 吉見昭一, 日本のきのこ(2002), 成美堂出版
29. 澤 章三, エリンギ(2001), 農文協
30. 木村榮一, 基礎からの エリンギ 栽培(1999), 農村文化社
- 31 2002年版きのこ年鑑(2002), プランツワールド
32. 三原義秋, 古牧弘(1973), 溫室の 細務冷房法の 實施例について, 農業氣象, 第28(4), pp. 19~24.
33. 三原義秋(1983), 溫室設計の基礎と實際, 養賢堂.
34. 日本農業氣象學會(1977), 農業氣象 特別号, 日本農業氣象學會.
35. 農林水産技術會議事務局(1980), 高能率園藝施設計劃設計基準に關する 研究成果, 農林水産技術會議事務局, pp. 525.
36. 羽倉弘人(1977), ハウスの設計と安全基準の考え方, 農業および園藝, 52(1), pp. 165~171.
37. 古在豊樹・武内英雄・林眞紀夫(1983), 内部集熱型水蓄熱方式による 太陽熱利用溫

- 室の集熱性能. 農業氣象, 38(4), pp. 361~369.
38. 大原源二・内藤文男(1981), 温室用太陽熱暖房ツステムの設置と問題点[1], 農業および園藝 56(6), pp. 741~746.
 39. 大原源二・内藤文男(1981), 温室用太陽熱暖房ツステムの設置と問題点[2], 農業および園藝 56(8), pp. 997~1002.
 40. 小國研作(1982), 温室用ヒートポンプに関する研究、農業氣象, 37(4), pp. 317~322.
 41. 吉在豊樹・林眞紀夫外3人(1985), 温室におけるヒートポンプ利用, 農業氣象, 41(3), pp. 231~239.
 42. 日本農業氣象學會(1977), 農業氣象, 33(特別号), pp. 33~41.
 43. H. J. Barre(1987), Environmental and Functional Engineering of Agricultural Buildings, AVI.
 44. Cook, N. J.(1985), The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures, Part 1, Butterworths, pp. 6~45, 138~201.
 45. Mathews, E. H. and J. P. Meyer(1988), Computation of Wind Loads on a Semicircular Greenhouse, Advances in Wind Engineering, Part 2, pp. 225~233.
 46. Berghmans. J.(1983), Heat Pump Fundamentals, pp. 156~191. 30. Morris, L.G.,E.S. Trickett, F.H. Vanstone, and D.A. Vells(1958), The limitation of maximum temperature in a glasshouse by the use of a water film on the roof, J. Agr. Eng. Res., 3, pp. 121~130.
 47. Walker, P.N(1978), Surface heating greenhouses with power plant cooling water, TRANSACTIONS of the ASAE 21(2), pp. 322~328.
 48. Walker, P.N(1979), Greenhouse surface heating greenhouses with power plant cooling water : Heat transfer characteristics, TRANSACTIONS of the ASAE 25(2), pp. 1370~1380.
 49. G.L. Nelson. (1988), Light Agricultural and Industrial Structures, AVI.
 50. H.J.Barre. (1987), Environmental and Functional Engineering of Agricultural Buildings, AVI.
 51. H.Anan. (1983), Greenhouse Management, Springe-Verlag.
 52. MWPS1. (1983), Structures and Environment Handbook.

53. Suh, W.M.(1986), Modeling of a greenhouse equipped with a solar rocked system and with carbon dioxide enrichment, Doctoral thesis, KANSAS STATE UNIV.
54. Kang, M.S., T.S. Kang, A.S. Kang, H.R. Shon, and J.M. Sung. 2000. Studies on mycelial growth and artificial of *Pleurotus eryngii*. Korean Journal of Mycology. 28(2) : 73-80(in Korean).
55. Kim, H.K., J.C. Cheong, H.Y. Chang, G.P. Kim, D.Y. Cha, and B.J. Moon. 1997. The artificial cultivation of *Pleurotus eryngii* (I) - Investigation of mycelial growth conditions-. Korean Journal of Mycology. 25(4) : 305-310(in Korean).
56. Ministry of Agriculture and Forestry. 2003. The production rate of cash crops.
57. Suh, W.M., Y.C. Yoon, and Y.W. Kim. 2002. Status of oyster mushroom houses in Jinju province. J. Bio-Env. Con.. 11(1) : 7-12(in Korean).
58. Suh, W.M., Y.C. Yoon, and Y.W. Kim. 2002. Technical development of environment control complex of micro-climatic factors for oyster mushroom cultivated in protected environment. Proceedings of the 2002 Annual Con. the Korean Society of Agricultural Engineering. : 121-124(in Korean).
59. Suh, W.M., Y.C. Yoon, S.W. Park, and J.K. Kwo. 2003. Instrumentation and control of environment factors in *eryngii* growing house. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment. Con, 2003 Spring Conference. 12(1) : 161-165(in Korean).
60. Suh, W.M. and Y.C. Yoon. 2004. An analysis on thermal insulation effect of farm structures coated with surface treatment. J. of KSAE. 46(4) : 39-46(in Korean).
61. Yoo, Y.B. 2003. Cultivation technology and functionality of *Pleurotus eryngii*(seminar). Mushroom Institute of Jinju National University and Mushroom Association of Gyeongnam. : 1-42(in Korean).
62. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and H.W. Lee. 2003. Analysis of environment factors in *Pleurotus eryngii* cultivation house. J. Bio-Env. Con.. 12(4) : 200-206(in

- Korean).
63. Kang T.S., M.S. Kang, J.M. Sung, A.S. Kang, H.R. Shon and S.Y. Lee. 2001. Effect of *Pleurotus eryngii* on the blood glucose and cholesterol in diabetic rats, Korean Journal of Mycology. 29(2). pp.86-90(in Korean).
 64. Gal, S. W., 2003, Cultivation Technology and Functionality of *Pleurotus eryngii* (seminar), Mushroom Institute of Jinju National University and Mushroom Association of Gyeongnam, pp. 63-80(in Korean).
 65. Kang, T. S., M. S. Kang, J. M. Sung, A. S. Kang, H. R. Shon & S. Y. Lee, 2001, Effect of *Pleurotus eryngii* on the Blood Glucose and Cholesterol in Diabetic Rats, Korean Journal of Mycology, 29(2), pp. 86-90(in Korean).
 66. Suh, W. M., Y. C. Yoon & Y. W. Kim, 2002, Technical Development of Environment Control Complex of Micro-climatic Factors for Oyster Mushroom Cultivated in Protected Environment, Proceedings of the 2002 Annual Con. the Korean Society of Agricultural Engineering, pp. 121-124(in Korean).
 67. Suh, W. M. & Y. C. Yoon, 2004, An Analysis on Thermal Insulation Effect of Farm Structures Coated with Surface Treatment, J. of KSAE, 46(4), pp. 39-46(in Korean).
 68. Yoon, Y. C., W. M. Suh, & H. W. Lee, 2003, Analysis of Environment Factors in *Pleurotus eryngii* Cultivation House, J. Bio-Env. Con., 12(4), pp. 200-206(in Korean).
 69. Yoon, Y. C., W. M. Suh, & C. Yu, 2004, Analysis of Actual State of Facilities for *Pleurotus eryngii* Cultivation, J. Bio-Env. Con., 13(4), pp. 217-225(in Korean).
 70. Lee, H. W., 2003, Cultivation Technology and Functionality of *Pleurotus eryngii* (seminar), Mushroom Institute of Jinju National University and Mushroom Association of Gyeongnam, pp. 43-63(in Korean).
 71. Han, Y. J., 1994, Development of Coating Material in Glasshouse, The Korean Research Society for Protected Horticulture, Protected Horticulture, 7(1), pp. 110~113. (in Korean)

72. Kim, H. K., H. S. Choi & C. H. Lee, 1999, The Relationship between the Life-time & the Structure Properties of CeO₂ Stabilized Zirconia TBCs, J. Kor. Inst. Mat. & Mater., 37(1), pp. 91~100. (in Korean)
73. Lee, J. H., K. H. Yoon, S. C. Yil & J. M. Auh, 1983, A Study on the Thermal Properties of Felt Insulator with Reflective Foil Inserted, Solar Energy, 3(1), pp. 51~59. (in Korean)
74. Park, S. W., Y. C. Yoon, W. M. Suh & H. H. Lee, 2003, Analysis of Environment Factors in *eryngii* Cultivation House, Proceedings of the 2003 Annual Conference the Korean Society of Agricultural Engineers 31 Oct.-1 Nov. 2003, Jeju, Korea, pp. 347~350. (in Korean)
75. Suh, W. M. and Y. C. Yoon. 2005. Analysis of structural design data for growing *Pleurotus eryngii*, J. of KSAE. the paper under contribution(in Korean).
76. Kang, M. S., T. S. Kang, A. S. Kang, H. R. Shon, and J. M. Sung. 2000. Studies on mycelial growth and artificial cultivation of *Pleurotus eryngii*, Korean Journal of Mycology. 28(2):73-80(in Korean).

부 록 -1(단동)



시 영
건축사사무소
2004년 12월 24일
2004.12.24
2004.12.24
TEL. 752 - 3482
FAX. 752 - 3485

PROJECT NO.
사 영 영 소

ARCHITECTURE DESIGNED BY
시 영

STRUCTURE DESIGNED BY
김 조 영

Mechanical DESIGNED BY
시 영

ELECTRICAL DESIGNED BY
김 조 영

DATE
2004.12.24

DRAWN BY
김 조 영

CHECKED BY
시 영

APPROVED BY
시 영

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

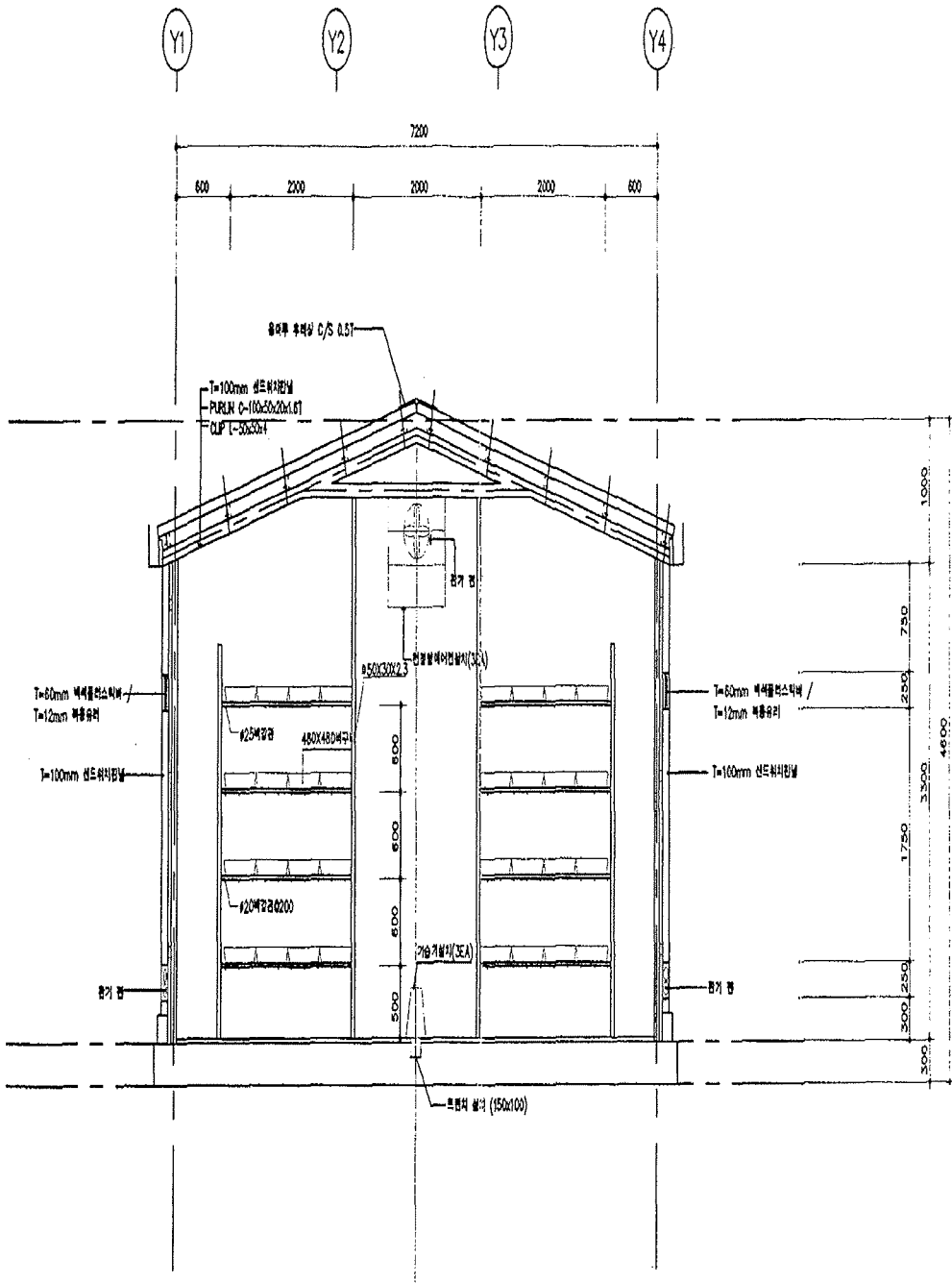
NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1

NO.
1



단 면 도
A-A



시 영
건축사사무소
S&E 시 영
S&E YEUNG
ARCHITECTS & ENGINEERS
ASSOCIATION LTD
TEL. 752 - 3482
FAX. 752 - 3485

PROJECT NO.
시 영 건축

ARCHITECTURE DESIGNED BY
시 영 건축

STRUCTURE DESIGNED BY
구조 설계

MECHANICAL DESIGNED BY
기계 설계

ELECTRICAL DESIGNED BY
전기 설계

DATE
시 영

DRAWN BY
시 영

CHECKED BY
시 영

APPROVED BY
시 영

NOTE
시 영

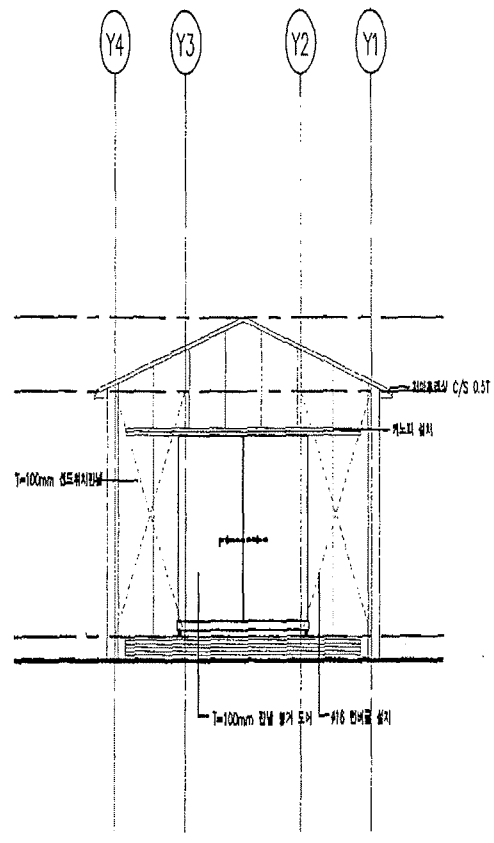
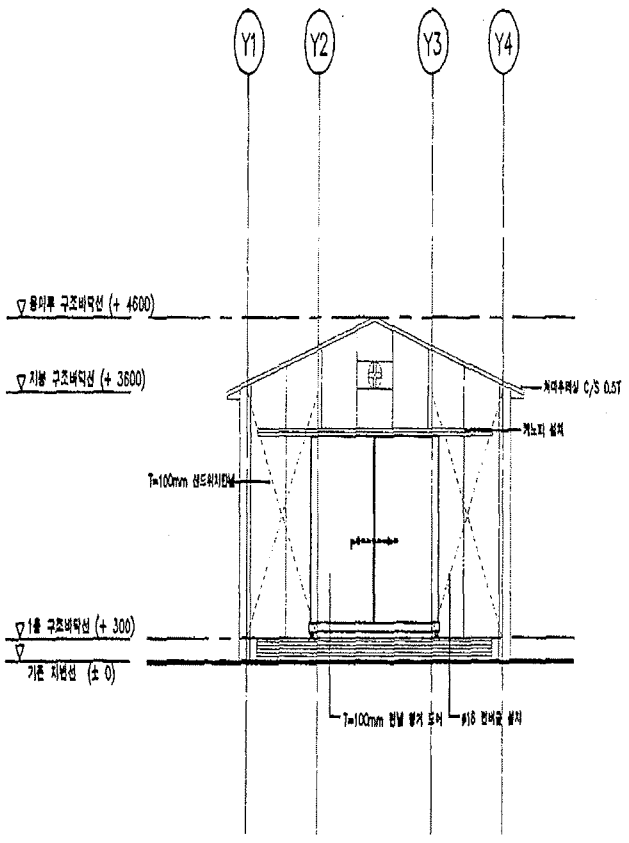
PROJECT TITLE
시 영 건축

NAME OF DRAWING
도면명

시 영

SCALE
시 영 1 / 100

SHEET NO.
시 영



우측면 단
44. 5/20

좌측면 단
44. 1/20



서영
건축사사무소
244 새지방
300 YOUNG ARCHITECTS & ENGINEERS
ASSOCIATION CO. LTD.
TEL. 752 - 3482
FAX. 752 - 3485

PROJECT NO.
새지방 10

MECHANICAL DESIGNED BY
건축사
STRUCTURE DESIGNED BY
건축사
MECHANICAL DESIGNED BY
건축사
ELECTRICAL DESIGNED BY
건축사

DATE
설계
DRAWN BY
김도

CHECKED BY
김도

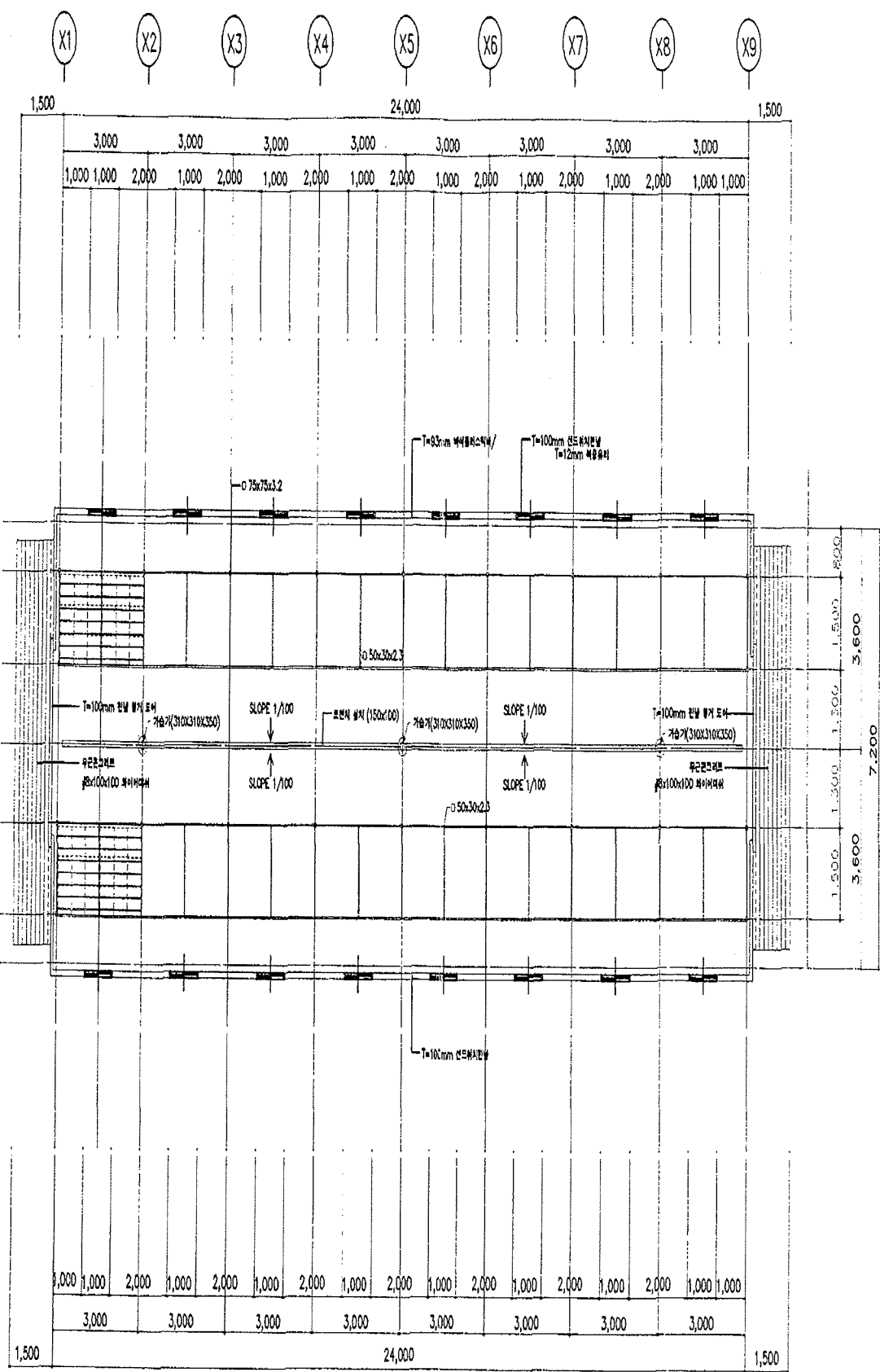
APPROVED BY
김도

SCALE
1/100

PROJECT TITLE
새지방 10

NAME OF DRAWING
1층 평면도

SHEET NO.
1000-000



1층 평면도
1/100



서영
건축사사무소
2004 세 지 방
SEO YOUNG
ARCHITECTS & ENGINEERS
ASSOCIATION CO. LTD
TEL. 752-3482
FAX. 752-3485

PROJECT NO.
세영 001

ARCHITECTURE DESIGNED BY
안국영

STRUCTURE DESIGNED BY
유근영

MECHANICAL DESIGNED BY
정성영

ELECTRICAL DESIGNED BY
정성영

DATE

DRAWN BY

정성영

CHECKED BY

정성영

APPROVED BY

정성영

NOTE

정성영

PROJECT TITLE

세영 001

NAME OF DRAWING

정성영

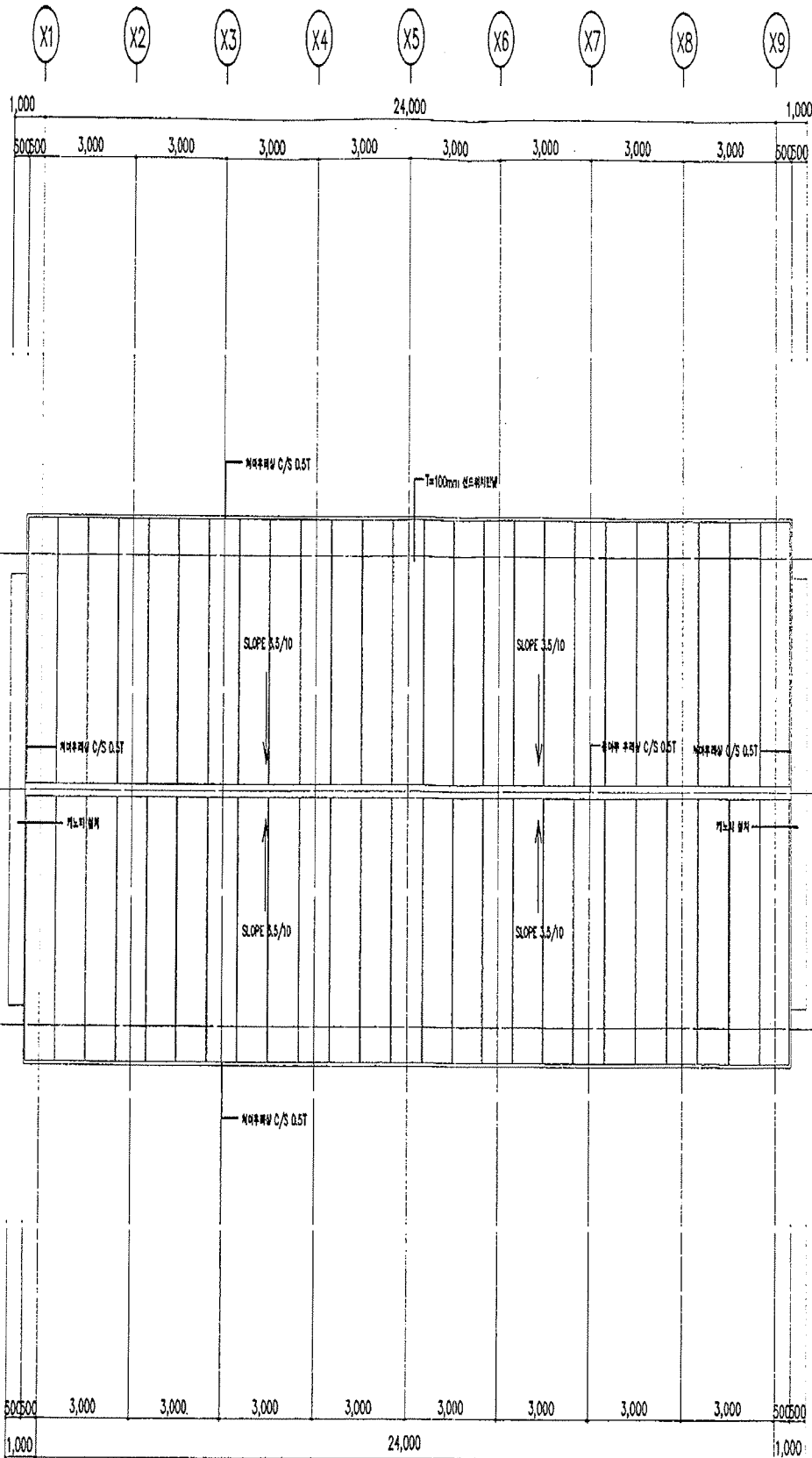
정성영

SCALE

1/100

SHEET NO.

0-000-000





서영
건축사사무소
대한제지방
80 YOUNG
ARCHITECTS & DESIGNERS
ASSOCIATION CO. LTD
TEL. 752-3482
FAX. 752-3483

PROJECT NO.
제철 1호

ARCHITECTURE DESIGNED BY
서영 건축사
STRUCTURE DESIGNED BY
구조 설계
MECHANICAL DESIGNED BY
기계 설계
ELECTRICAL DESIGNED BY
전기 설계

DATE
월 / 일 / 일
DRAWN BY
서영

CHECKED BY
서영

APPROVED BY
서영

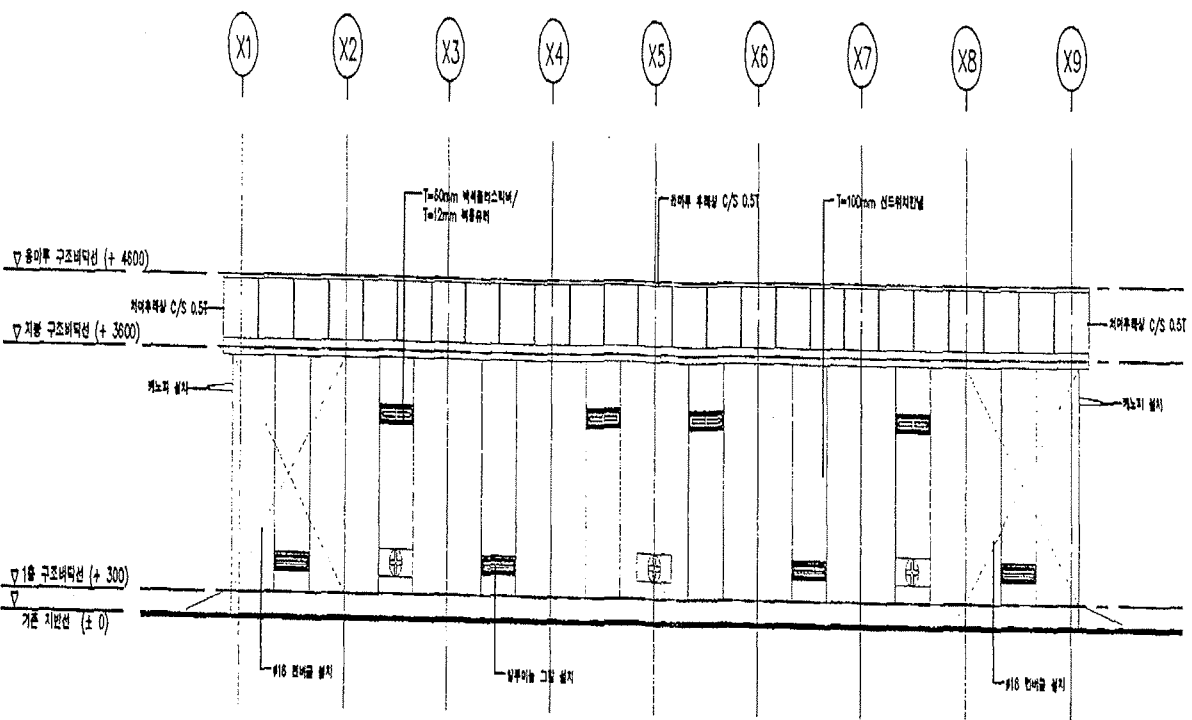
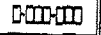
NOTE
참조

PROJECT TITLE
제철 1호

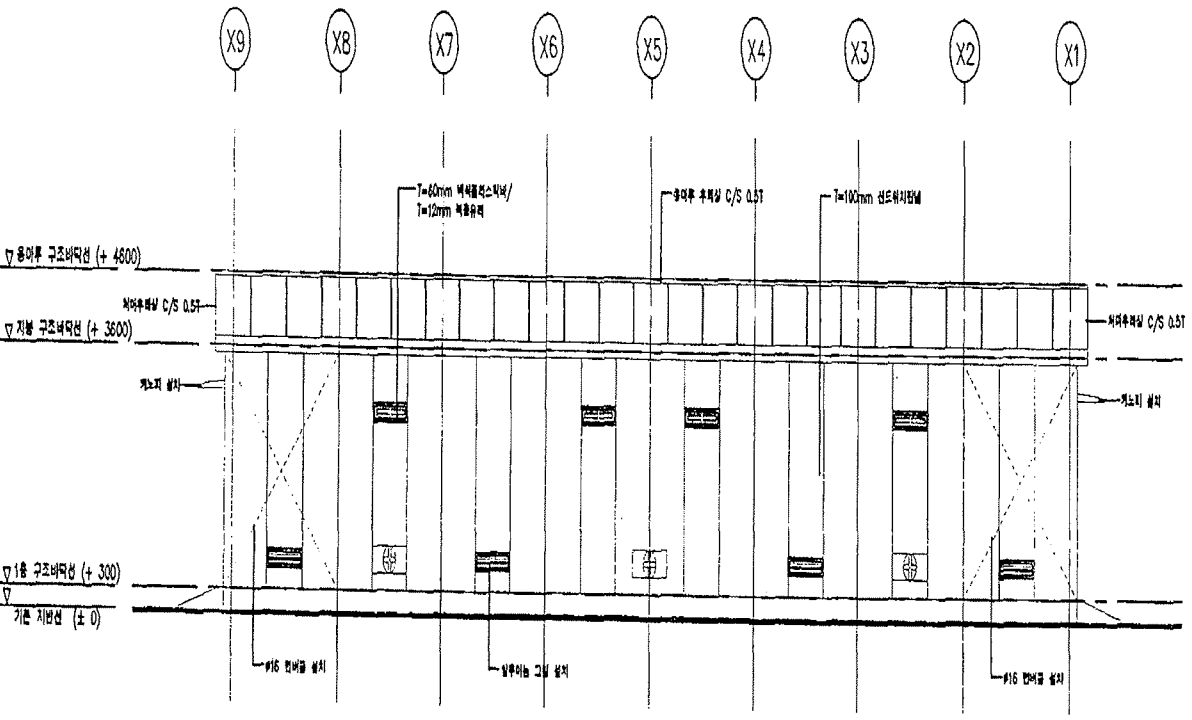
NAME OF DRAWING
평면도

SCALE
1/100

SHEET NO.
제철 1호



제 1 층
제 1 호
1/100



제 2 층
제 1 호
1/100



서영
건축사사무소
사무소 지명
330 YONG
ARCHITECTS & DESIGNERS
ASSOC. CO. LTD
TEL. 752 - 3482
FAX. 752 - 3485

PROJECT NO.
사무명
ARCHITECTURE DESIGNED BY
건축설계
STRUCTURE DESIGNED BY
구조설계
MECHANICAL DESIGNED BY
기계설계
ELECTRICAL DESIGNED BY
전기설계
DATE
설계
DRAWN BY
개표
CHECKED BY
검표

APPROVED BY
승인

NOTE
기타

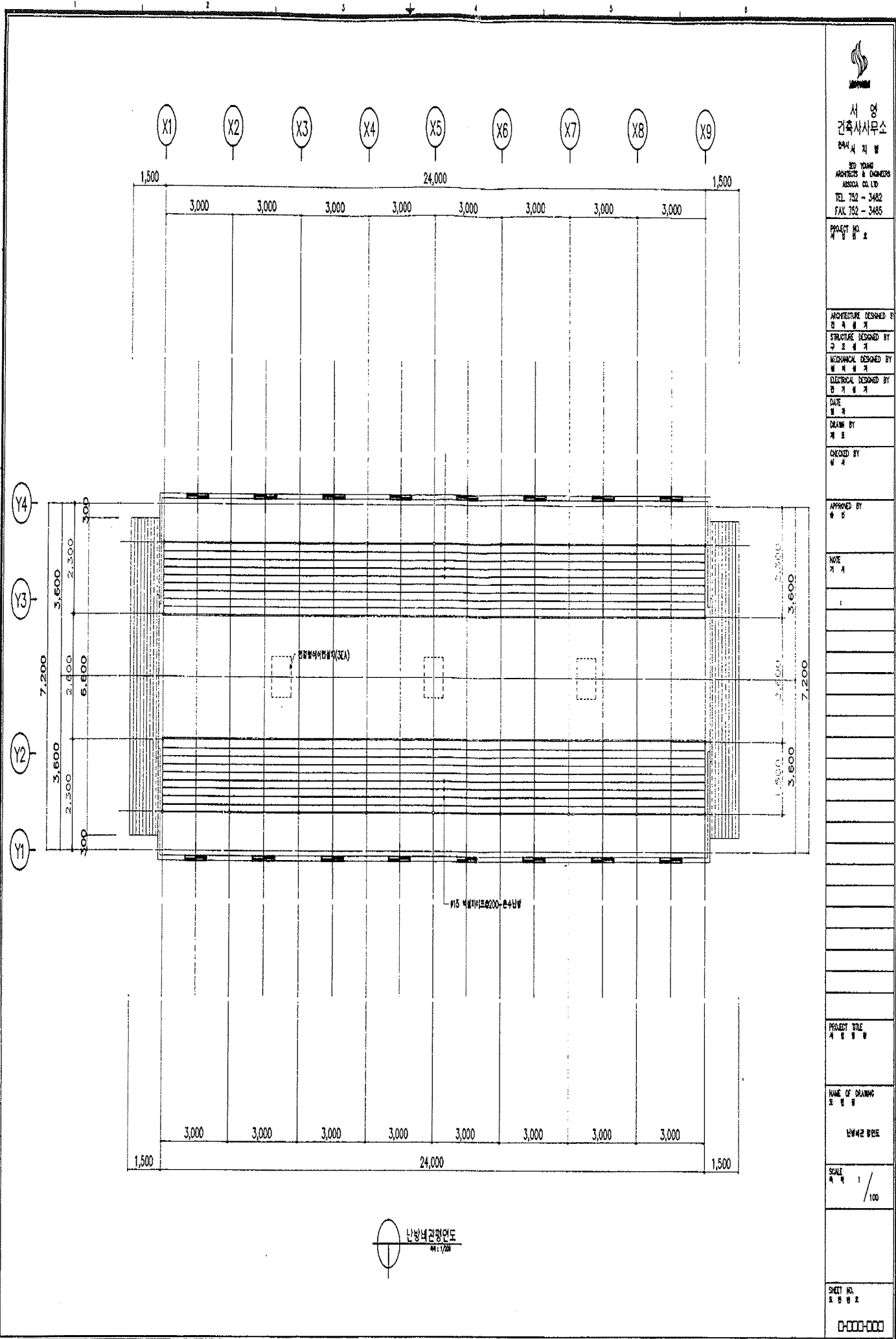
PROJECT TITLE
사무명

NAME OF DRAWING
도명명

NUMBER OF SHEET

SCALE
축척 1/100

SHEET NO.
도명명
0-000-000



부 록 -2(연동)



서 영
건축사사무소

박 세 지 열
S.E.O YOUNG
ARCHITECTS & ENGINEERS
ASSOCIA CO. LTD
TEL. 752 - 3482
FAX 752 - 3485

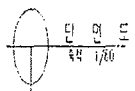
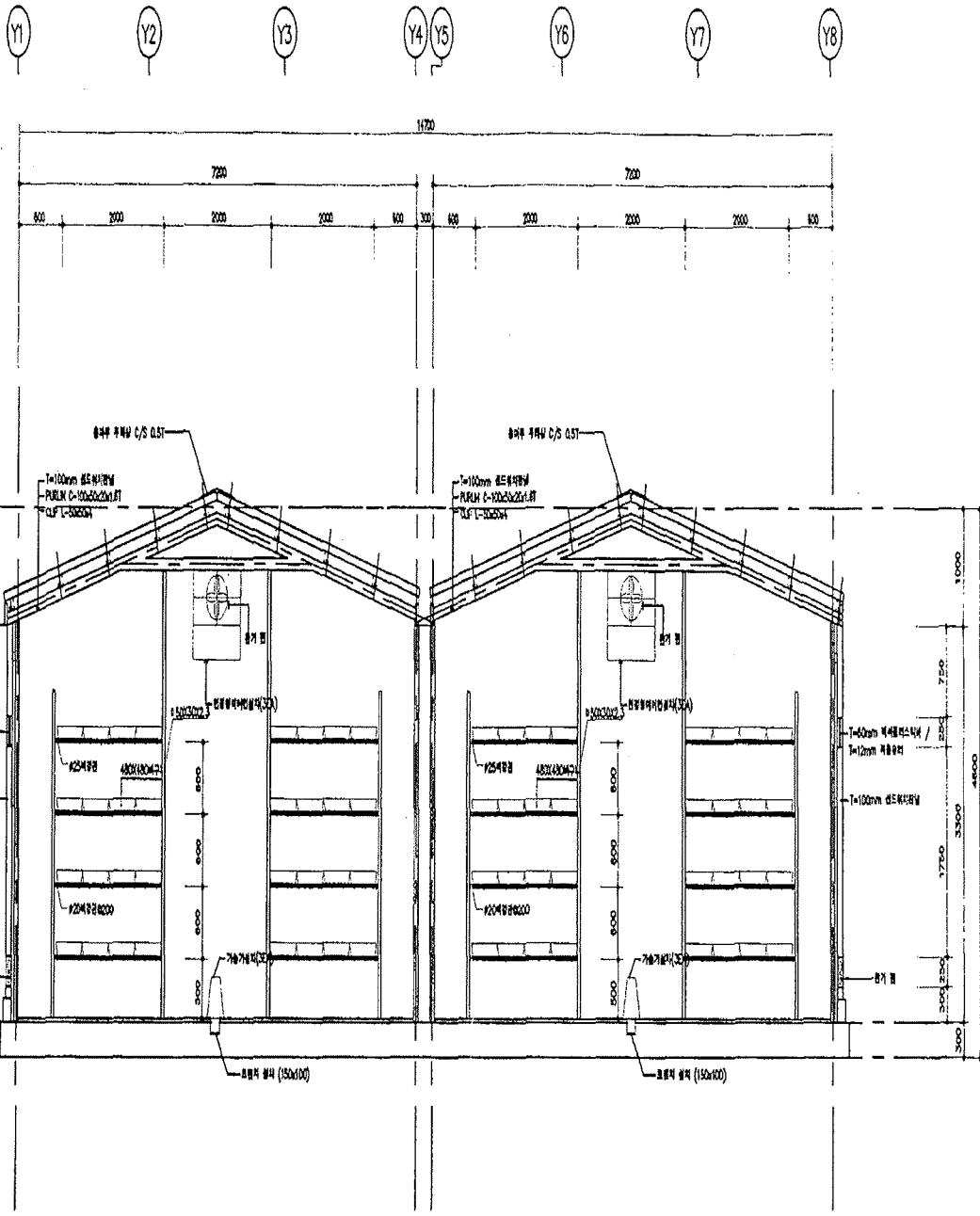
PROJECT NO.
기 름 영 호

ARCHITECTURE DESIGNED BY
박 세 지 열
STRUCTURE DESIGNED BY
김 호 영
MECHANICAL DESIGNED BY
박 세 지 열
ELECTRICAL DESIGNED BY
박 세 지 열

DATE
설 계
DRAWN BY
기 호
CHECKED BY
박 세 지 열

APPROVED BY
기 호

NO. 1
기 호



PROJECT TITLE
기 름 영 호

NAME OF DRAWING
단 면 도

SCALE
1/60

SHEET NO.
도 름 영 호





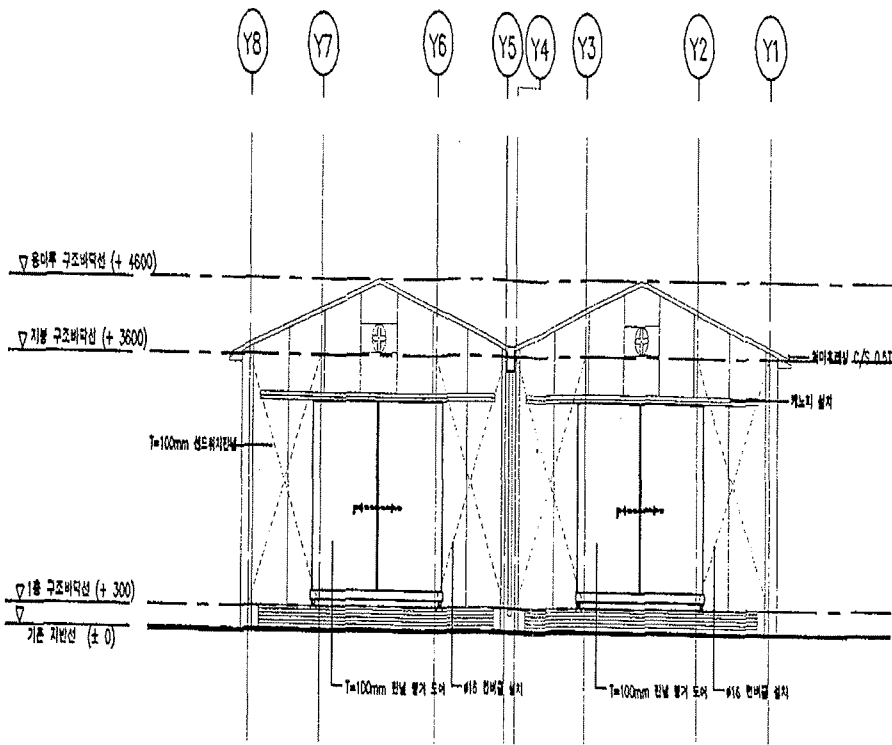
서영
건축사무소
건축사 지업
SIO YOUNG
ARCHITECT & DESIGNERS
ASSOCIATES
TEL. 752-3482
FAX. 752-3485

PROJECT NO.
자업명 1

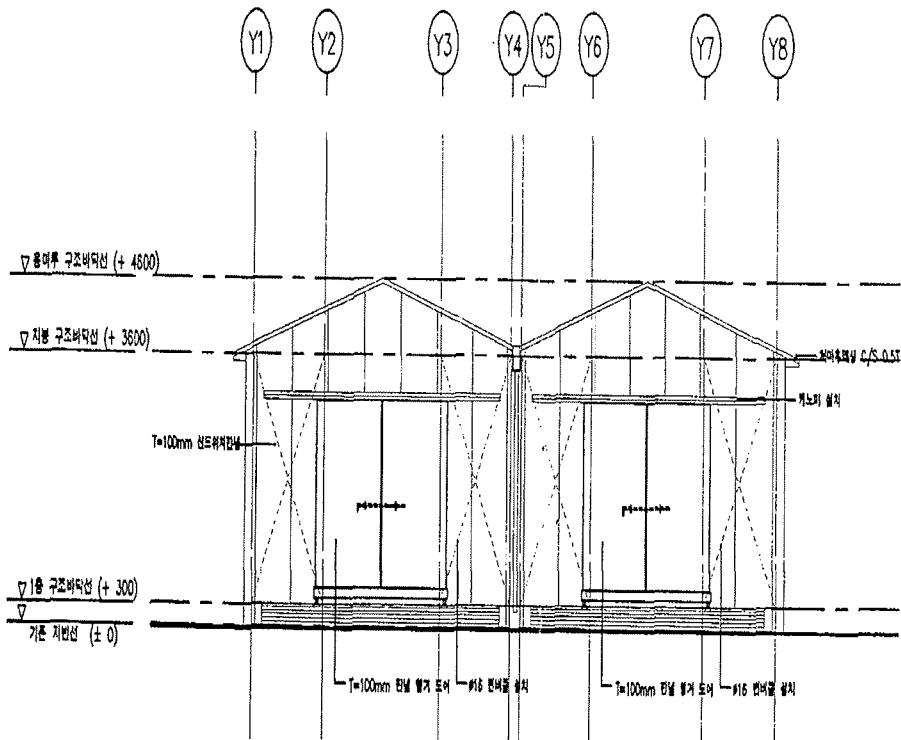
ARCHITECTURE DESIGNED BY
건축사 지업
STRUCTURE DESIGNED BY
구조 설계
MECHANICAL DESIGNED BY
기계 설계
ELECTRICAL DESIGNED BY
전기 설계
DATE
설계
DRAWN BY
지업
CHECKED BY
설계

APPROVED BY
지업

NOTE
기타



우측면도
M: 1/200



좌측면도
M: 1/200

PROJECT TITLE
자업명 1

NAME OF DRAWING
도면명

일련도

SCALE
수직 1/100

SHEET NO.
도면번호

0-000-000



서영
건축사사무소

1994년 제 10호
100 YOUNG
ARCHITECTS & ENGINEERS
ASSOCIATION LTD.
TEL. 752-3482
FAX. 752-3485

PROJECT NO.

사명빌딩

ARCHITECTURE DESIGNED BY

서영건축사

STRUCTURE DESIGNED BY

김오준건축사

Mechanical DESIGNED BY

서영건축사

ELECTRICAL DESIGNED BY

서영건축사

DATE

94.11.15

DRAWN BY

김오준

CHECKED BY

서영

APPROVED BY

서영

NOTE

1. 사명빌딩

2. 1층 평면도

3. 1:100

4. 1/100

5. 1/100

6. 1/100

7. 1/100

8. 1/100

9. 1/100

10. 1/100

11. 1/100

12. 1/100

13. 1/100

14. 1/100

15. 1/100

16. 1/100

17. 1/100

18. 1/100

19. 1/100

20. 1/100

21. 1/100

22. 1/100

23. 1/100

24. 1/100

25. 1/100

26. 1/100

27. 1/100

28. 1/100

29. 1/100

30. 1/100

31. 1/100

32. 1/100

33. 1/100

34. 1/100

35. 1/100

36. 1/100

37. 1/100

38. 1/100

39. 1/100

40. 1/100

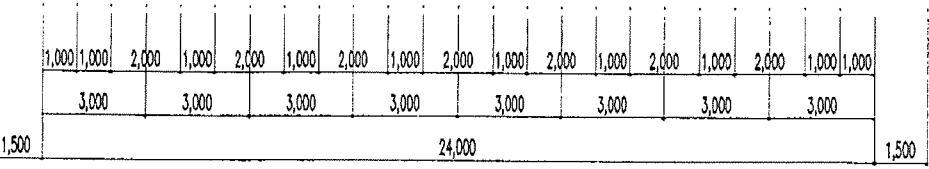
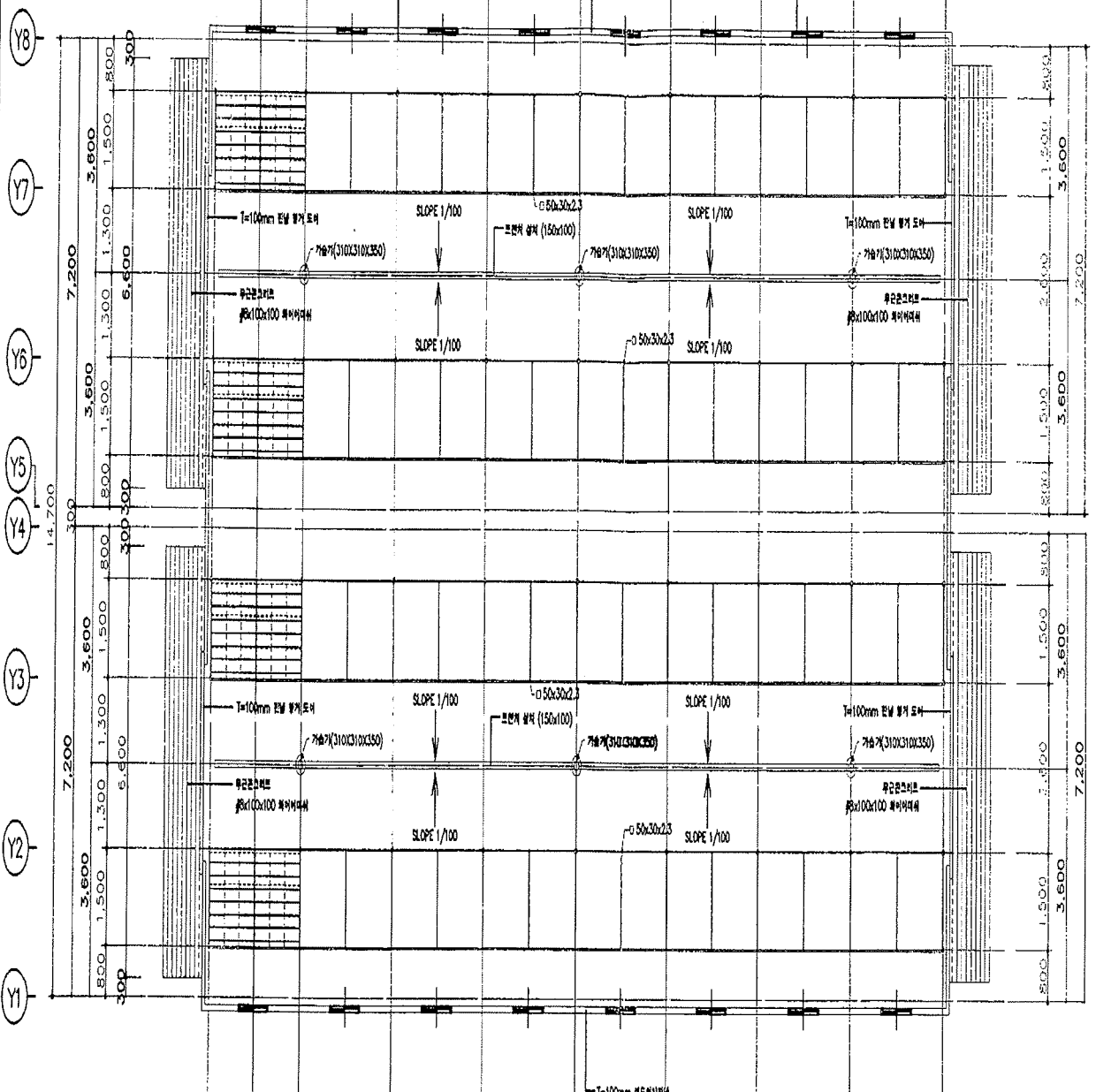
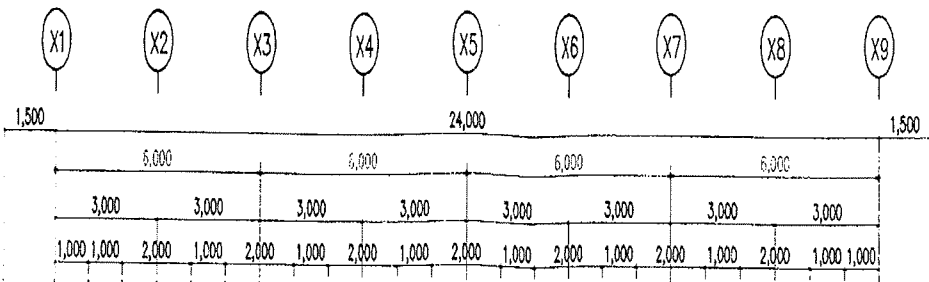
41. 1/100

42. 1/100

43. 1/100

44. 1/100

45. 1/100



1층 평면도
94.11.22

PROJECT TITLE

사명빌딩

NAME OF DRAWING

1층 평면도

1층 평면도

SCALE

1/100

SHEET NO.

4 / 22

0-0000-0000



서영
건축사무소
1944 세외법
SEO YOUNG
ARCHITECTS & ENGINEERS
ASSOCIATION LTD
TEL. 752-3482
FAX. 752-3485
PROJECT NO.
세외법 02

ARCHITECTURE DESIGNED BY
서영 건축사
STRUCTURE DESIGNED BY
구조연구소
MECHANICAL DESIGNED BY
기계연구소
ELECTRICAL DESIGNED BY
전기연구소
DATE
설계
DRAWN BY
김소영
CHECKED BY
김소영
APPROVED BY
김소영

NOTE
기타

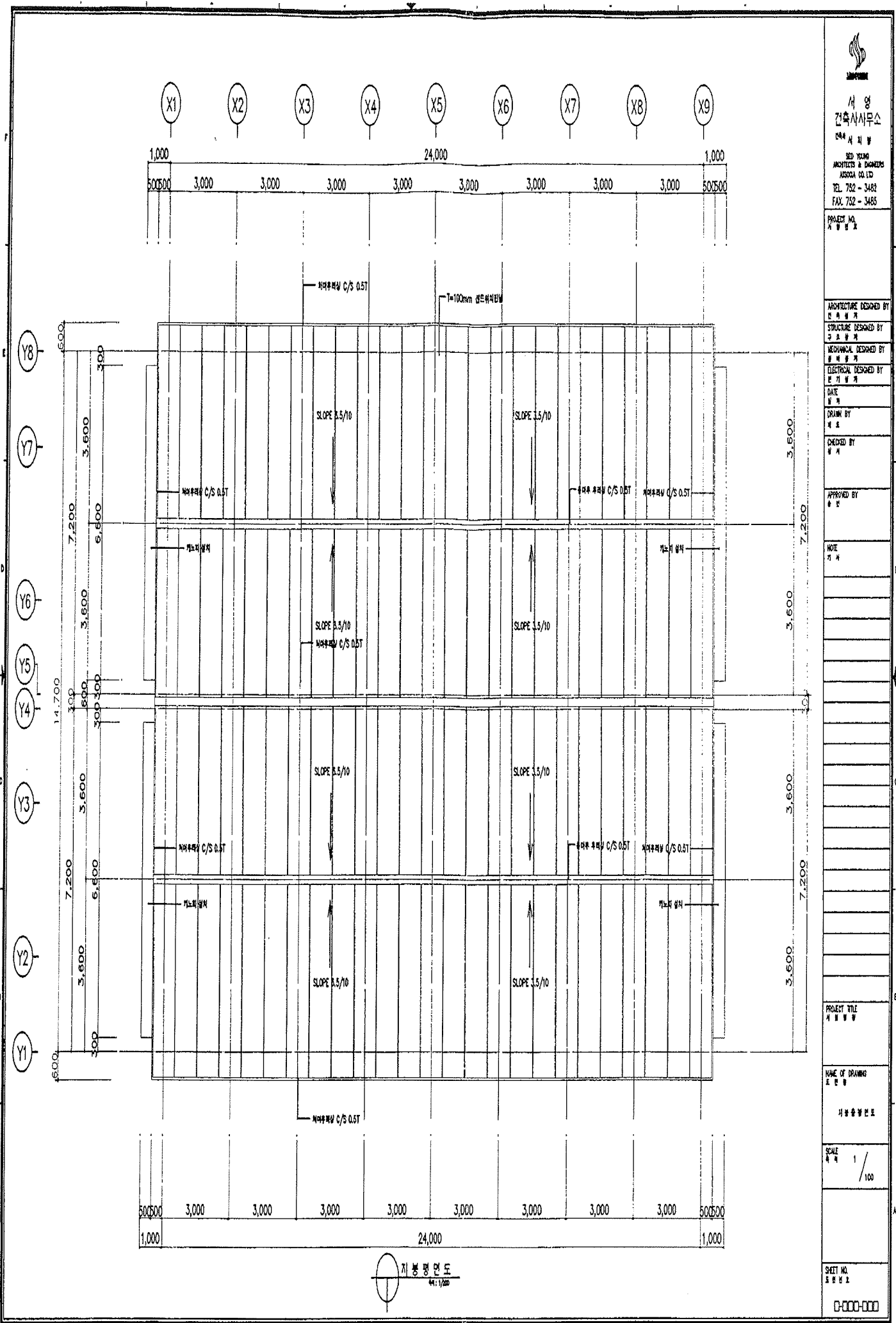
PROJECT TITLE
세외법 02

NAME OF DRAWING
지붕평면도

SCALE
1/100

SHEET NO.
02/02

0-000-000





서영
건축사사무소
사무소 지명
SEO YOUNG
ARCHITECTS & ENGINEERS
ASSOCIATION
TEL. 752-3482
FAX. 752-3483

PROJECT NO.
사무소 명

ARCHITECTURE DESIGNED BY
건축 설계

STRUCTURE DESIGNED BY
구조 설계

Mechanical DESIGNED BY
기계 설계

ELECTRICAL DESIGNED BY
전기 설계

DATE

DRAWN BY
제오

CHECKED BY
박사

APPROVED BY
윤성민

NOTE

기타

PROJECT TITLE
사무소 명

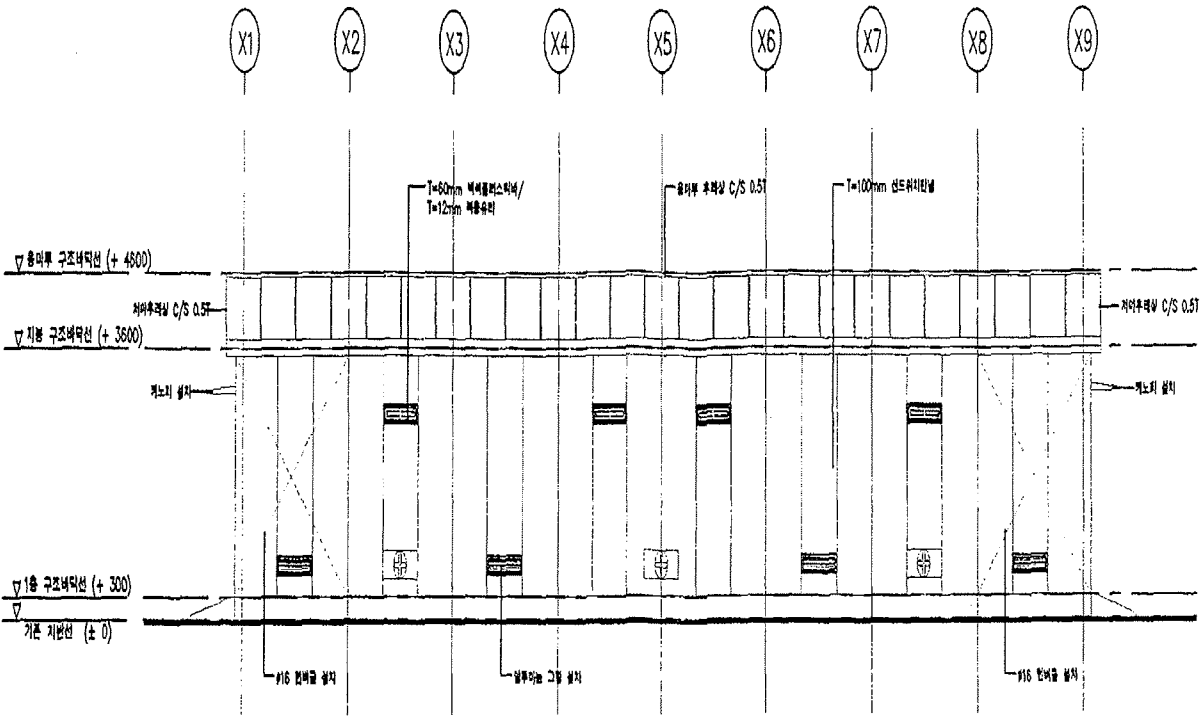
NAME OF DRAWING
정면도

입면도

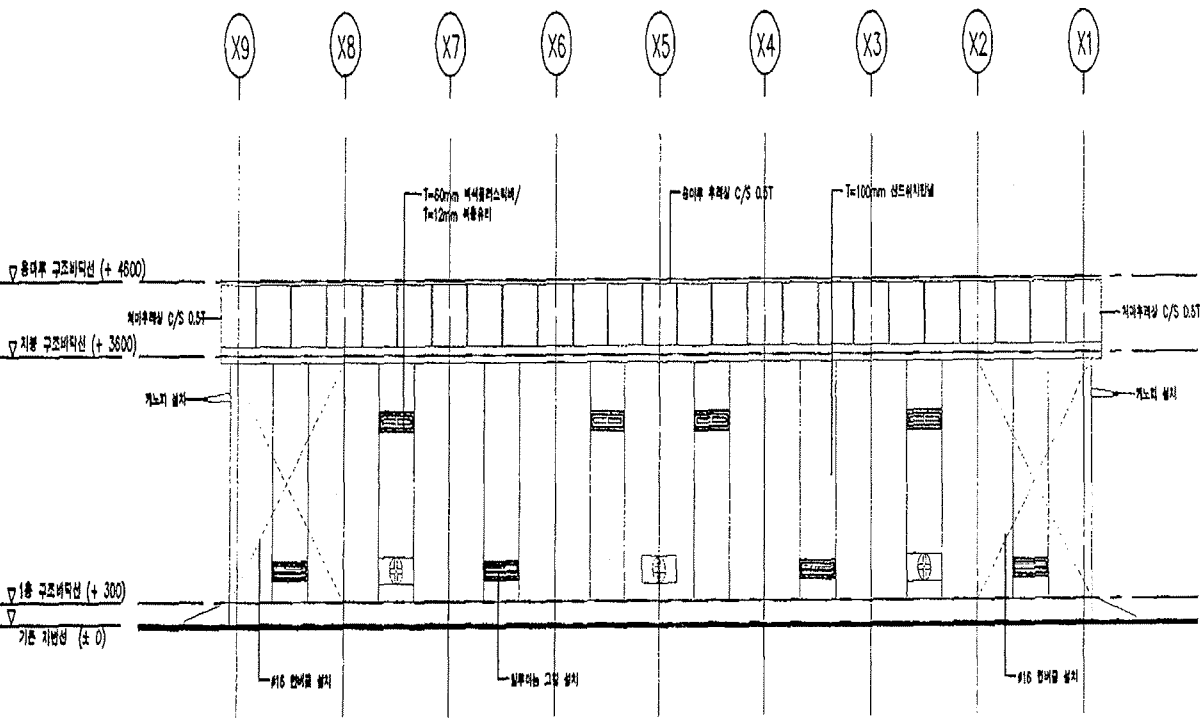
SCALE
1/100

SHEET NO.
표명번호

□-□□□-□□□



정면도
44.1/100



배면도
44.1/100



서영
건축사사무소
1944 자 별
300 YONG
ANHYEONG & PARTNERS
ARCHITECTS
TEL. 732 - 3482
FAX. 732 - 3485

PROJECT NO.
자 별 1

ARCHITECTURE DESIGNED BY
건축사 서영
STRUCTURE DESIGNED BY
구조사 서영
MECHANICAL DESIGNED BY
기계사 서영
ELECTRICAL DESIGNED BY
전기사 서영

DATE
일월년

DRAWN BY
작성

CHECKED BY
검토

APPROVED BY
승인

NOTE
기타

PROJECT TITLE
자 별 1

NAME OF DRAWING
자 별 1

REVISION

SCALE
1/100

SHEET NO.
자 별 1

0-000-000

