최 종
연구보고서

GOVP 12001310

자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 장치개발

Development of Nutrient Solution Recycling System in Greenhouse with Disinfection Equipment by Ultraviolet light and photocatalyst

조선대학교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배 용수 재순환 장치개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999. 11. 1.

주관연구기관명 : 조선대학교
총괄연구책임자 : 이 인 화
연 구 원 : 김 시 욱
연 구 원 : 이 영 상
연 구 원 : 차 규 석
연 구 원 : 차 진 명
연 구 원 : 기 민 희
연 구 원 : 박 종 순
연 구 원 : 김 형 욱
연 구 원 : 황 도 원
연 구 원 : 김 건 호
연 구 원 : 전 준 용
연 구 원 : 김 종 문
협동연구기관명 : 구례오이연구소
협동연구책임자 : 최 경 주
협동기관연구원 : 서 종 분
협동기관연구원 : 정 종 모

요 약 문

Ⅰ. 제 목

자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템 개발

Ⅱ. 연구개발 목적 및 중요성

수경재배에 사용되는 양액은 질소 성분 및 인 성분을 고농도로 함유하고 있어 폐양액이 하천 및 호소 생태계로 방류될 경우 심각한 부영양화를 초래한다. 따라서 폐양액을 방류하지 않고 재사용하는 것은 생태계의 보호차원에서 매우 시급하고 중요한 과제이다. 또한 날로 심화되는 재배용수의 부족현상을 해결하고 용수중의 비료성분의 이용을 극대화하기 위해서는 한 번 사용한 재배용수를 순환시켜 사용하는 유리하우스를 이용한 재배법이 바람직하다. 재배용수를 재 순환하여 사용하기 위해서는 용수중의 미생물의 과다 번식을 억제하는 것이 우선 되어야 한다. 용수의 살균은 염소와 같은 화학물질의 사용은 불가능하고 오존처리와 같은 고가의 장비도 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 과제에서는 재배용수의 재순환에 필수적인 무공해 살균장치를 개발하고자 한다. 미생물의 살균에는 자외선이 효과적이며 이미 자외선 살균장치는 여러 분야에서 사용되고 있다. 그러나 재배용수와 같은 여러 물질을 함유한 물의 경우에는 자외선의 침투도가 급격히 감수하여 자외선만으로는 효과적인 살균능을 기대하기

어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 자외선에 의한 이차 살균효과를 가질 수 있는 광촉매효과가 요구된다. 이러한 광촉매효과를 가지고 있는 TiO2 반도체를 응용하고자 한다. 자외선과 TiO2 광촉매의 결합은 재배용수와 같은 탁수에서도 우수한 살균능을 가능하게 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

살균에 우수한 광촉매를 선택하기 위하여 광촉매의 분말을 코팅한 촉매, 화학증착시킨 촉매를 이용하여 각각 살균실험을 수행한 결과 화학증착에 의하여 박막을 형성시킨 광촉매가 살균력면에서나 기계적 강도 유체의 마찰에 의한 손실등이 작게 나타나 가장 우수한 광촉매로 선정하고 이를 이용하여 살균실험을 수행하였다. 먼저 실험실에서 자외선-광촉매의 살균작용을 coliform bacteria 및 곰팡이균 등을 이용하여 정량화하여 램프 한개가 단위시간당 처리할 수 있는 양액의 양을 산출하고 이를 기초로 하여 1000평 규모의 유리하우스용 양액살균장치를 제작하였다. 제작한 살균장치를 이용하여 오이를 수경재배한 결과 살균하지 않은 배지와 오존-자외선 살균한 배지에서 재배한 경우보다 10%의 출수율 증가를 보였으며 병충해 발생도 없었다. 또한 양액의 이온을 종류별로 분석한 결과 자외선-광촉매 작용에 의하여 분해되는 이온이 없었으며 Fe-EDTA와 같은 유기금속화합물의 분해도 관찰되진 않았다. 자외선-광촉매 살균장치에 의한 양액의 재순환 재배시 병충해가 예방될 수 있다는 점에 착안하

여 대조군으로 무살균 배지를 비교재배하여 수인성 병충해의 발병유무를 실험하였다. *Ralstonia solanacearum*균 접종 후 신초부위의 육안 병징 발현은 균 접종 후 무살균 처리구에서는 18.9%였으나 균접종후 광촉매살균구는 2.7%로 떨어졌고 2차 균접종후 지저부 줄기도관부 갈변도의 육안 조사에서는 균접종후 무살균 처리구에서 40%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 20%로 낮게 나타났다. 지저부 줄기 침출액의 *Ralstonia solanacearum*균 분리 조사에서는 2차 균접종후 무살균 처리구에서는 발병도가 24%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 발병도가 20%로 낮게 나타났다. 지상부 침출액에서는 균접종후 무살균 처리구에서 28%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 4%로 낮게 나타났다. 토마토 *Ralstonia solanacearum*균의 양액내 접종 후 식물체내 균밀도는 균접종 후 무살균 처리구에서는 전체평균이 148×10-5/g였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 22×10-5/g으로 낮게 나타났다. 양액내 균밀도는 균접종후 무살균 처리구에서 전체평균이 190×10-3/㎖였으나 균접종후 광촉매살균구에서 18×10-3/㎖로 낮아 양액살균 효과에 의한 병충해 예방효과가 있음을 검증하였다.

Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

최근 전 지구적 차원의 기후변화로 인하여 국내에서도 강수량이 감소하고 있어 식수는 물론 농업용수의 부족이 심각한 문제로 부상되고 있다. 또한 장차의 여러 가지 식물의 재배는 비닐하우스나 유

리하우스내에서 이루어질 것으로 예상되기 때문에 새로운 재배 방법을 통한 폐재배용수를 재이용하여 용수부족 현상을 해결할 수 있으리라 판단된다. 지금까지 행해져 왔던 재배용수의 무단방류 또는 토양침투는 자체내의 각종 유기질 및 비료성분, 농약 등으로 인하여 주변의 토양을 오염시키고 하천이나 강에 부영양화를 발생시키고 있다.

재배용수내에는 식물에 의해 이용되지 않은 비료성분이나 유기질, 무기질 등이 잔류하고 있다. 만일 재배용수를 재이용할 수 있다면 새로이 첨가하는 각종 성분의 양을 현저히 줄일 수 있기 때문에 경제적으로 많은 이익을 얻을 수 있다.

본 연구를 통하여 얻은 가장 큰 수확은 자외선-광촉매 살균에 의하여 양액을 재순환 시켜 재배하면 수인성 병충해가 예방된다는 점이다. 따라서 원예농가의 가장 큰 피해원인 병충해를 예방하는 효과는 원예농가로 하여금 본 장치에 대한 구매력과 효용성을 크게 증가시킬 수 있을 것으로 본다. 폐쇄된 비닐하우스나 유리하우스에 공급하는 재배용수를 각종 질병을 유발시키는 미생물을 살균하여 처리한다면 농약 사용을 현저히 감소시켜 수출용 채소의 경쟁력확보 측면에서 우위를 점할 수 있으며 국내 소비자에게도 위생적측면에서 우수한 저공해채소를 소비자에게 제공할 수 있다.

세계적으로 점차 수질오염 및 토양오염의 방지를 위한 규제가 계속될 전망이며 특히 우리나라와 같은 경우에는 재배농가나 축산농가로 부터 다량의 유기물질이 포함된 폐수가 발생할 것이기 때문에 폐수를 재이용 할 수 있는 시스템의 개발은 매우 시급한 실정이다.

특히 매년 봄과 같은 갈수기에는 농업용수의 부족으로 전국적인 문제가 되고 있는 시점에서 본 과제의 연구결과는 농업용수의 부족현상을 해결할 수 있는 좋은 대안이 될 것이다. 또한 계속적인 유리하우스의 건설을 촉진할 수 있으며 고품질의 무공해 작물을 재배하여 수출하게됨으로써 우루과이라운드와 그린라운드시대에도 국가경쟁력을 지닌 농업을 육성할 수 있을 것이다. 미래의 재배방법은 단위토지의 생산량이 많아야 하고 오염되지 않은 재배용수의 안정적인 공급이 요구된다. 특히 국내의 경우 경작 면적이 매년 축소되고 용수확보의 어려움이 더욱 심해질 것으로 전망되기 때문에 개방형 농업보다 밀폐형 농업의 비중이 커질 것으로 예측된다. 본 연구과제의 결과로 제공될 수 있는 재배용수의 재순환 시스템은 이러한 재배형태에서 필수적인 장치로 쓰여질 것으로 기대된다. TiO_2 반도체 박막은 일종의 촉매제로써 자외선과 마찬가지로 수중에 어떠한 물질도 첨가하지 않기 때문에 부산물을 발생시키지 않으며 수중의 고분자 유기물질을 태양광선을 이용한 전자의 발생효과로 무독성물질로 분해할 수 있기 때문에 식물이 이 물질을 흡수하는 데 훨씬 효과적이다. 향후 태양광을 광원으로 이용하여 살균시스템을 제작하면 매우 경제적인 이익을 줄 것으로 판단된다. 자외선 살균 방법 또는 TiO_2 반도체 전극계에 대한 연구는 전세계적으로 많이 시도되고 있으나 본 연구과제와 같이 폐재배용수에 광촉매-자외선을 적용하고 양액을 이온의 종류별로 최적화하는 연구는 세계적으로 처음이기 때문에 장치의 상업화에 따른 수출가능성 또한 매우 크다.

SUMMARY

The nutrient solution using in soilless culture system having a high concentration of nitrogen and phosphorus compounds, dischaging of waste nutrient solution bring about eutrophic rivers and lakes. Consequently it is very important and urgent issue, recycling a nutrient solution to prevent discharing the waste nutrient solution. Besides, it is one of the solution to the problem of deficient of irrigation water. For the recycling the nutrient water, disinfection is needed without give any harmful effect to plant. Disinfection of nutrient solution could prvent growth of bacteria, virus, algae.

Though there is many kinds of disinfection methods, the UV disinfection is most effective to nutrient solution. But UV is absorbed rapidly through the nutrient solution, disinfection effect is decrease along the axial direction away from the UV sources. To overcome the shortage of UV disinfection we introduce photocatalyst which increase the killing effect to microorganism by forming the radical groups.

The experiments conducted with following categories and results.

First, choice of lamp type and photocatalyst. we compare the high pressure mercury lamp and low pressure mercury lamp, the low pressure UV lamp is more effective to disinfection and having a longer life time and small energy consumption.

In case of photocatalyst, we prepare to kinds of catalyst, one is titania powder(Degusa P-25) solution and titania film made by Chemical Vapor Deposition(CVD). The latter is very effective and convince to disinfection by UV light. So we use a quartz tube having a 7,000 Å film thickness of titania film.

From the experiment of disinfection rate in batch system which equipped with UV lamp (39 watt) and titania coated quartz tube, we obtained following results.

With the diminish of transmitance from 70 %, 50 %, 30 %, the cell number (103 cells/mL) is decrease to within 3 min, 5 min, 10 min, repectively, when the initial cell number is changed 3.0×103 to 1.15×104, the complete disinfection is accomplished within 4 min.

Based on the rate of disinfection in the UV-photocatalyst system, we calculate a rate constant as a function of UV intensity and light bombardment time. Eventually we get the design equation and we design the equipment for 300 m2 green house nutrient solution supply.

For the real plant culture with UV-photocatalyst disinfected recycling system, we prepare perlite granule media bed. The beds separated by feeding system, first bed is with UV-photocatalytic disinfection recycling second is with no disinfection system, third is with UV-O3 disinfected system. In case of no disinfection recycling system one bed is used perlite another bed is prepared by new perlite.

Cucumber and tomato was cultured in the various bed system in the green house. In case of cucumber, 10 % increase of harvesting of cucumber in UV-TiO2 disinfected recycling system comparing to no disinfected system. But there is no any blight occurred in the various bed.

To find controlled reference, tomato was cultured in same kinds of bed. *Ralstonia solanacearum* is cultured in the fermentor and put into nutrient reservoir. From the counting of change of color in branch of tomato plant, 40 % of color change is observed in no disinfected recycling bed and 20 % of change is occurred in UV-titania disinfected recycling system. In case of blight by bacteria, 18.9 % of blight was revealed in no disinfected system and 2.7 % was revealed in UV-TiO2 disinfected system.

CONTENTS

I. Introduction

I-1. Purpose and scope of research and development

I-2. Objectives

I-3. Expectation and application for research results

II. Theoretical background

III. Preparation of photocatalysts and efficiency of disinfection

III-1. Choice of UV-lamp

III-2. Preparation of photocatlysts by material and methods

III-3. Disinfection effects on titania powder and titania film and UV and bubbles.

IV. Evaluation of design equation for CVD film photocatalyst

IV-1. Used strains.

IV-2. Development of disinfection equipment

V. Culture of cucumber by recycling of disinfected nutrient solution by UV-TiO2 system.

V-1. Purpose of research

V-2. Scope of research

V-3. Experimentals

V-4. Culture of cucumber

V-5. Results of culture

VI. Culture of tomato

VI-1. Purpose of research

VI-2. Experimental

VI-3. Results of culture

VII. Propagation of developed equipment and discussion

VII-1. Strategy of propagation

VII-2. Obstacles and Problem to be solved

목 차

제 출 문 1

요 약 문 2

Ⅰ. 제 목 2

Ⅱ. 연구개발 목적 및 중요성 2

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위 3

Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의 4

SUMMARY 7

CONTENTS 10

목 차 12

제 1 장 서 론 20

제 1 절 연구개발 목적과 범위 20

1.1.1. 연구개발의 목적 20

1.1.2. 연구배경 21

1.1.3. 연구의 필요성 23

제 2 절 연구개발 목표 및 내용 29

1.2.1. 연구개발 목표 29

1.2.2. 연구내용 31

제 3 절 기대효과 및 활용 33

1.3.1. 기대효과 33

1.3.2. 연구결과의 발표 36

제 2 장 이론적 고찰 37

제 1 절 자외선과 살균 37

2.1.1 자외선의 발견 37

2.1.2. 자외선의 살균작용 38

2.1.3. 자외선 살균램프 41

2.1.4. 자외선살균램프의 응용 43

제 3 장 광촉매의 제조 및 살균 효과 46

제 1 절 자외선 램프의 선택 46

제 2 절 티타니아 시약종류에 따른 광촉매 제조 48

3.2.1. 콜로이드 분산법 48

3.2.2 재배용액에 분산 시킨 TiO2 49

3.2.3. 콜로이드 도포법 50

3.2.4. 화학증착법 51

제 3 절 자외선과 티타니아 입자, 티타니아 필름,
공기기포에 의한 살균효과 53

3.3.1. 실험방법 53

3.3.2. 자외선 조사시 TiO2(Degusa P-25)의 첨가와 기포주입에
의한 세균의 살균효과 55

3.3.3. TiO2가 박막증착된 석영관과 기포를 넣어 주었을 때의
Coliform 박테리아 및 곰팡이에 대한 살균효과 56

3.3.4. 결 론 57

제 4 장 화학증착광촉매를 이용한 살균효과 및 설계방정식 도출 60

제 1 절 화학증착 광촉매에 의한 살균효과 60

4.1.1 사용균주 69

4.1.2. 실험장치 제작 61

4.1.3. 살균실험 65

4.1.4. 1000평 규모의 시설원예용 자외선 광촉매 살균장치의 설계 방정식 74

4.1.5. 광촉매- 자외선 살균장치 제작 76

제 5 장 오이재배실험 86

제 1 절 연구목적과 결과 요약 86

제 2 절 연구범위 87

제 3 절 연구방법 89

5.3.1. 오이 양액재배 병충해 유발균 및 배양 89

5.3.2. 유입수와 유출수내의 성분변화 93

제 4 절 양액재순환 시스템에 의한 오이재배 94

5.4.1. 재배품종 및 방법 94

제 5 절 오이재배결과 98

5.4.1. 양액살균법에 따른 양액성분의 변화 98

5.4.2. 생육기간중의 양액의 분석결과 100

5.4.3. 양액의 이온별 분석 102

5.4.4. 재배결과 105

5.5.5. 결과요약 108

제 6 절 연구성과 및 활용계획 107

제 6 장 토마토 재배 실험 110
제 1 절 연구목적 110
제 2 절 재배방법 110
6.2.1 재료 및 방법 110
제 3 절 재배결과 112
6.3.1. 생육상황 112
6.3.2. pH 및 EC 변화 119
6.3.3. 양액내 이온변화 119
6.3.4. *Ralstonia solanacearum*균 접종후 변화 120
6.3.5 *Ralstonia solanacearum*균의 분리 밀도조사 128
6.3.6 토마토 *Ralstonia solanacearum*균 멸균효과 129
제 4 절 결과 요약 130

제 7 장 기술 보급화 방안 및 제언 131
제 1 절 기술 보급화 방안 131
제 2 절 애로사항 및 선결과제 132

참고문헌 135

< 표 차 례 >

표 1. 파장에 따른 자외선 특징 및 활용 38
표 2. 살균 방법에 따른 살균특성 41
표 3. Components of LB Medium 60
표 4. Components of King's B Medium 61
표 5. 투과율에 따른 E.coli의 살균효과 68
표 6. 개체수에 따른 E.Coli의 살균효과 69
표 7. 오이와 토마토에서 주로 발병하는 수인성 병충해
원인균의 살균효과 71
표 8. 유리하우스내 세균접종 후 살균효과 72
표 9. 오이역병이 발병한 농가하우스에서 채취한 양액의 살균효과 73
표 10. 오이양액 농도에 따른 전기전도도 측정치 93
표 11. 오이재배에 사용된 재배조건 94
표 12. 오이재배시 사용배지의 처리내용 95
표 13. 오이재배에 사용된 재배시험구의 면적 95
표 14. 오이재배의 베드별 perlite 처리내용 98
표 15. 폐양액의 처리조건에 따른 오이의 재배방법 99
표 16. 주요 생육기간의 기상환경 100
표 17. 양액보충 및 교환 100
표 18. 생육기간중의 양액의 분석결과 101
표 19. 양액의 전기전도도(EC) 변화 101
표 20. 1차분석 (6.13 16 매일 오전 채수 분석) 103

표 21. 2차 분석결과 101
표 22. 오이재배의 처리구별 생육상황 104
표 23. 오이재배시 처리구별 오이 수확 수량 104
표 24. 순별 상품과 수량 105
표 25. 토마토 재배시 각 베드내 배지의 처리내용과 배양액 111
표 26. 풋마름병균 접종 111
표 27. 토마토 재배방법 111
표 28. 정식시 묘소질 조사 112
표 29. 토마토 줄기의 생육현황 112
표 30. 토마토 처리구별생육 특성과 초기수량 113
표 31. 토마토 재배시 양액의 pH 및 EC 변화 119
표 32. 토마토 재배시 전기전도도의 변화 119
표 33. 토마토 양액 재배시 TiO2 광촉매 살균에 따른 이온별 변화 119
표 34. 신초부위 병징 육안조사 120
표 35. 지저부 줄기 도관 갈변도 육안조사 124
표 36. 지상부 줄기 도관 갈변도 육안 조사 124
표 37. 지저부줄기 침출액의 병원균 분리 육안조사 128
표 38. 지상부줄기 침출액 병원균 분리 육안조사 128
표 39. 발병주율조사 128
표 40. Ralstonia solanacearum균의 분리 밀도조사 129
표 41. 토마토 Ralstonia solanacearum균 멸균효과 129

< 그림차례 >

그림 1. 살균용 39watt 출력의 저압수은 램프의 제원도 47
그림 2. 티타니아 박막의 X-선 회절분석 결과 52
그림 3. 자외선과 티타니아분말(Degusa P-25) 수용액중에서
공기기포에 의한 살균효과의 증감 58
그림 4. 자외선-화학증착 티타니아 박막을 촉매상에서
자외선 조사 시간에 따른 coliform bacteria와
곰팡이균종에 대한 살균효과 59
그림 5. UV-TiO2 photoreactor의 시스템 구성 및 유료계 62
그림 6. 티타니아 박막이 코팅된 석영관(상),
저압램프(중) 고압램프(하) 63
그림 7. 자외선 살균 실험장치 설치 및 실험 장면 64
그림 8. UV에 의해 살균후 미생물을 배지에 배양한 후
image analyzer를 이용하여 관찰한 결과 사진 67
그림 9. 자외선 살균장치 현장설치 사진 77
그림 10. 자외선-광촉매 살균장치 및 양액농도 측정 흐름도 79
그림 11. 아나로그-디지탈 변환기의 회로도 82
그림 12. 제어장치에서 모니터 표시되는 화면 83
그림 13. 폐양액농도조절장치 콘트로판낼 화면 84
그림 14. 양액성분재조절 장치의 자료입력 및
조절시스템 프로그램 흐름도 85
그림 15. 유리하우스에서 자외선 광촉매 살균장치를 이용한
오이재배 92
그림 16. 오이배지의 시험구 배치도 96
그림 17. 오이재배 배지의 양액 공급 유로계 97
그림 18. 양액살균에 의한 오이재배의 생육상태 101
그림 19. 토마토 시험장에 설치된 살균장치와 성분분석장치 114

그림 20. 토마토 오이시험 유리하우스 115
그림 21. 자외선-광촉매에 의한 양액살균재배와 대조군 재배의
토마토 생육 현황 116
그림 22. 자외선-광촉매에 의한 양액살균재배와 대조군 재배의
토마토 생육 현황 117
그림 23. 오존살균에 의한 양액살균재배와 대조군 토마토 생육 118
그림 24. 병충해 유발균 접종후 살균재배에 의한
토마토의 지저부 줄기의 갈변상태 121
그림 25. 병충해 유발균 접종후 무살균재배에 의한
토마토의 지저부 줄기의 갈변상태 121
그림 26. 병충해 유발균 무접종후 무살균재배에
의한 토마토의 지저부 줄기의 갈변상태 122
그림 27. 병충해 유발균 접종후 살균재배에 의한
토마토의 중간부 줄기의 갈변상태 122
그림 28. 병충해 유발균 접종후 무살균재배에 의한
토마토의 중간부 줄기의 갈변상태 123
그림 29. 병충해 유발균 무접종후 무살균재배에 의한
토마토의 중간부 줄기의 갈변상태 123
그림 30. Ralstonia solanacearum균 접종후 광촉매-자외선에
의한 양액살균 재배된 토마토 줄기의 중간부 줄기(상)
지저부 줄기(하)의 침출액 균 분리 육안조사 125
그림 31. Ralstonia solanacearum 균 접종후 무살균 재배된
토마토 줄기의 중간부 줄기(상) 지저부 줄기(하)의
침출액 균 분리 육안조사 126
그림 32. Ralstonia solanacearum 균 무접종후 무살균재배된
토마토 줄기의 중간부 줄기(상) 지저부 줄기(하)의
침출액 균 분리 육안조사 127
그림 33. 광촉매 석영관에 사용 1년 경과 후의 스케일 형성 사진 134

제 1 장. 서 론

제 1 절. 연구개발 목적과 범위

1.1.1. 연구개발의 목적

최근 국내에는 비닐하우스나 유리하우스내에서 각종 고품질의 야채, 과일 그리고 화훼를 재배하고 있으며 국가의 주도하에 그 수는 급격히 증가하고 있는 추세이다. 국내의 유리하우스에서는 주로 토마토나 오이 등을 재배하며 주로 일본으로 수출하는데 노지재배와 비교하여 수확량이 약 8-20배 정도 증가하고 값은 2배 이상 비싼 것으로 알려져 있다. 그러나 국내 유리하우스의 면적은 275 ha(1996)로 전체 시설면적의 0.06% 정도 밖에 안되며 네덜란드의 10,000ha (99% 이상), 일본의 2,000 ha에는 크게 뒤지고 있다. 유리하우스 재배는 모두 컴퓨터로 자동 제어되기 때문에 현재와 같은 고온 현상에서도 재배가 가능하며 인공토양에서 관개시설을 이용하여 재배하기 때문에 재배용수를 재순환 할 수 있고 천적을 이용한 방제효과의 장점이 있다. 이와 같은 장점 때문에 국내에서도 최근에는 비닐하우스 대신에 유리하우스를 건설을 권장하는 추세이다.

날로 심화되는 재배용수의 부족현상을 해결하고 용수중의 비료성분의 이용을 극대화하기 위해서는 한 번 사용한 재배용수를 순환시켜 사용하는 유리하우스를 이용한 재배법이 바람직하다. 재배용수를 재 순환하여 사용하기 위해서는 용수중의 미생물의 과다 번식을 억제하는 것이 우선 되어야 한다. 용수의 살균은 염소와 같은 화학물

질의 사용은 불가능하고 오존처리와 같은 고가의 장비도 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 과제에서는 재배용수의 재순환에 필수적인 무공해 살균장치를 개발하고자 한다. 미생물의 살균에는 자외선이 효과적이며 이미 자외선 살균장치는 여러 분야에서 사용되고 있다. 그러나 재배용수와 같은 여러 물질을 함유한 물의 경우에는 자외선의 침투도가 급격히 감수하여 자외선만으로는 효과적인 살균능을 기대하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 자외선에 의한 이차 살균효과를 가질 수 있는 광촉매효과가 요구된다. 이러한 광촉매효과를 가지고 있는 TiO2 반도체를 응용하고자 한다. 자외선과 TiO2 광촉매의 결합은 재배용수와 같은 탁수에서도 우수한 살균능을 가능하게 한다.

본 과제의 핵심 내용은 자외선과 TiO2 광촉매를 이용하여 각종 온실에서 수경재배후 발생하는 폐수내의 미생물을 살균 또는 소독한 후 재이용하는 시스템을 개발하고 개발된 장치를 이용하여 실제 수경재배를 실행하여 오이와 토마토의 생육상태를 확인하고 살균에 의한 병원균의 살균효과를 검증하며 병충해의 예방효과를 대조군을 통하여 확인한 것이다.

1.1.2. 연구배경

세계적으로 점차 수질오염 및 토양오염의 방지를 위한 규제가 계속될 전망이며 특히 우리나라와 같은 경우에는 재배농가나 축산농가로 부터 다량의 유기물질이 포함된 폐수가 발생할 것이기 때문에 폐수를 재이용 할 수 있는 시스템의 개발은 매우 시급한 실정이다.

특히 매년 봄과 같은 갈수기에는 농업용수의 부족으로 전국적인 문제가 되고 있는 시점에서 본 과제의 연구결과는 농업용수의 부족현상을 해결할 수 있는 좋은 대안이 될 것이다. 또한 계속적인 유리하우스의 건설을 촉진할 수 있으며 고품질의 무공해 작물을 재배하여 수출하게됨으로써 우루과이라운드와 그린라운드시대에도 국가경쟁력을 지닌 농업을 육성할 수 있을 것이다.

미래의 재배방법은 단위 토지의 생산량이 많아야 하고 오염되지 않은 재배용수의 안정적인 공급이 요구된다. 특히 국내의 경우 경작 면적이 매년 축소되고 용수 확보의 어려움이 더욱 심해질 것으로 전망되기 때문에 개방형 농업보다 밀폐형 농업의 비중이 커질 것으로 예측된다. 본 연구과제의 결과로 제공될 수 있는 재배용수의 재순환 시스템은 이러한 재배형태에서 필수적인 장치로 쓰여질 것으로 기대된다. 현재 국내에서는 대부분의 유리하우스가 네덜란드형을 그대로 모방하고 있다. 그러나 네덜란드는 우리의 기후와 비교하여 볼 때 일년 내내 온도가 낮고 여름에도 우리나라와 같은 고온현상이 없으며 바람이 강하게 불기 때문에 유리하우스내에 창이 거의 없는 구조로 되어 있다. 따라서 그 나라의 기술과 설계를 그대로 수입한 국내의 유리하우스는 식물재배의 실패율이 매우 높은 실정이다. 이 문제는 장차 우리가 반드시 개선하여야 할 과제라고 할 수 있다. 또한 이들의 유리하우스는 바닥이 시멘트화 되어 있어 재배용수가 토양으로 침투되지 못하고 반드시 배수구를 통해 저장탱크로 흘러가게 되어 있다. 각종 식물의 하우스 재배 기술은 전세계에서 네덜란드가 가장 앞서 있으며 이 나라의 경우 하우스 주변의

토양오염을 방지하기 위해 많은 노력을 기울이고 있고 그 일환으로 이미 사용한 재배용수를 무단방류하지 못하고 반드시 저장탱크내에 일정시간 저장한 다음 폐수처리를 한 후 방류하고 있다. 현재 네덜란드에서도 폐재배용수를 재이용하기 위하여 많은 연구를 하고 있으며 그 가운데 자외선을 이용한 살균방법에 대해서 연구가 시도되고 있다. 그러나 자외선의 경우 재배용수내에 유기물질이 많이 포함되어 있으며 살균 효과가 감소하기 때문에 본 연구과제에서는 이 문제의 보완으로 TiO2 반도체 촉매를 도입하여 완벽한 살균 장치를 개발하여 양액을 재이용하여 생태계의 오염을 방지하는 동시에 병충해를 방지하여 농약의 사용량을 줄여 궁극적으로 무농약 재배시스템을 구현하고자 한다.

1.1.3. 연구의 필요성

1.1.3.1. 기술적 측면

자외선을 이용하여 미생물을 살균하는 방법은 이미 널리 알려져 있다. 자외선 스펙트럼은 파장에 따라 *UV-A* (315-400 nm), *UV-B* (280-315 nm), *UV-C* (200-280 nm), *far UV* (120-200 nm), 그리고 *extreme UV* (10-120 nm) 등으로 나뉘어진다. 그러나 전체 자외선 영역은 미생물을 치사시키는데 효과적이지 못하고 오직 *UV-C* 또는 단파장의 *UV-B* 즉, 200-300 nm 파장의 자외선만이 미생물을 치사시키는데 효과적이라고 할 수 있다. 자외선은 자외선 램프 전극사이의 수은 증기에 전류가 흐르면서 발생한다. 자외선은 일반 유리는

통과하지 못하기 때문에 반드시 quartz나 fused silica를 사용하여야 하며 이 경우 96%정도의 자외선을 물속으로 전달시킬 수 있다. 질병을 야기하는 미생물은 바이러스, 세균, 곰팡이, 조류, 원생동물들이다. 자외선 살균의 주안점은 이러한 미생물들의 유전물질이나 핵산을 변형시키거나 파괴하는 것이다. 자외선은 미생물체의 세포벽을 통과하여 핵산에 흡수됨으로써 생체내 유전정보를 혼란시키게 되고 이들은 증식을 못하고 사멸하게 된다. 자외선 가운데 260 nm 파장의 빛이 핵산에 의해 가장 흡수가 잘되기 때문에 가장 효과적이라고 할 수 있다. 대부분의 세균이나 바이러스는 1 평방센티미터당 10,000 microwatt의 비교적 적은 양의 빛에도 사멸되기 때문에 30,000-40,000 microwatt의 강도를 내는 자외선 램프를 사용한다면 수중의 각종 미생물을 살균하는데 효과적일 것으로 생각된다. 자외선을 이용한 물의 소독은 안전하고 효과적인 것으로 이미 증명된 기술이고 소규모 또는 대규모적으로도 응용이 가능하다. 결국 자외선 조사의 장점은 염소와 같은 화학제를 쓰지 않아도 되고 물속에 아무것도 처리하지 않기 때문에 차후에 또 다른 부산물을 제거할 필요가 없으며 더구나 물의 물리적, 화학적 성질을 변화시키지 않으므로 pH나 색깔, 냄새, 온도, 맛등이 원래대로 유지될 수 있다는 데 있다.

본 연구에서 사용하고 있는 자외선이 배양액에 미치는 영향을 검토한 결과 배양액의 변형이나 파괴는 없었다. 가장 널리 이용되고 있는 배양액의 조성은 주 성분으로 KNO_3, NH_4NO_3, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, KH_2PO_4 등이 포함되어 있고 미량 성분으로는 $MnSO_4 \cdot H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, H_3BO_3, $NaMoO_4 \cdot 2H_2O$, $CoCl_2$,

CuSO4·5H2O등이 포함되어 있으며, 이외에 vitamin류나 FeSO4·7H2O, Na2EDTA·2H2O등이 미량 들어가기도 한다. 앞에서도 언급한 바와 같이 생체내 핵산의 구조를 변형시킴으로써 살균에 효과적인 자외선 영역은 260 nm의 단파장에 속하는 UV-C band 이다. 일반적으로 자외선은 단파장으로 갈수록 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 단파장을 내는 자외선 램프는 고가이기 때문에 경제적으로 효율성이 없다. 따라서 본 연구에서는 저가의 장파장을 내는 자외선 램프를 사용하면서 살균효과를 극대화하기 위해서 TiO2광촉매에서 발생하는 hydroxyl radical(OH·)로 각종 미생물을 살균하고자 한다. 장파장의 자외선은 배양액내 주요 성분들의 분해나 결합 또는 침전 등을 일으키는데 효과적이지 못하기 때문에 본 연구의 최종 결과로서 제작된 살균 시스템은 배양액 성분 변화에 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

이러한 자외선의 장점 때문에 외국에서는 식수나 폐수내 미생물의 살균 또는 소독용으로 이미 제품을 생산하고 있으며 대표적으로 Trojan Technologies Inc.(USA)사의 Trojan System UV Series (3000, 4000, 8000 Series)와 Aqua UV, PURA System 등이 있고, clean tech INDUSTRY INC.사(Canada)에서도 Jac-Pac Sterilization system을 시판하고 있다. 그러나 이 제품들은 주로 소규모의 식수 살균 시스템을 대상으로 한 것들이기 때문에 본 연구과제에서 처럼 대규모의 폐수내 미생물의 살균에는 부적합하다.

최근에는 오염된 지하수나 농작물 재배용수의 오염물질을 제거하기 위해서 반도체 성질을 갖는 금속산화물을 이용하는 연구가 선진국을

중심으로 매우 활발하게 진행되고 있다[1-3]. 즉 빛을 반도체성의 물질에 비추어 생성된 hole을 이용하여 유해한 물질을 산화시키는 불균일 촉매반응으로 이루어지는데, 여러 가지의 방법을 사용한 시도가 이루어 지고 있다. 불균일 광촉매반응은 적당한 파장의 빛을 반도체 촉매 표면에 비추어 광촉매 표면을 이용하여 반응물을 원하는 산화, 환원의 생성물로 만드는 과정을 말한다[4]. 특정한 파장의 빛을 반도체성 성질을 갖는 표면에 쪼이면 촉매 내부의 최외각 전자띠와 전도대 띠에서 hole(h+)과 전자(e-)가 분리된다. 이런 과정에서 생성된 전자는 반응물을 환원시키는데 이용할 수 있고 hole은 산화과정에 이용할 수가 있다. Hole과 전자를 이용하는 광촉매전극을 자외선살균장치와 결합시키면 박테리아나 바이러스의 파괴와 같이 미생물의 제거뿐만 아니라, 자외선에 의한 살균효과를 증진시킬 수가 있을 것이다[5-7].

그러나 지금까지의 대부분의 실험과 연구결과는 batch 방법을 사용하여 한정된 양을 가지고 행하여 졌다. 실제 나타나는 오염물질을 제거하기 위해서는 많은 양을 한 번에 처리하여야 하고, 흐르는 계에서 오염물질이나 미생물의 제거가 요청된다. Powder를 slurry형태로 흐르는 오염수의 광촉매반응에 그대로 이용하면 촉매들이 오염물과 함께 움직여 기벽에 뭉치는 현상이 나타날 것이며[8], 또한 이들이 오염물질로부터 함께 오염되어 반도체성 촉매작용을 더 이상 할 수가 없을 것이다. 따라서 촉매에 붙거나 흡착된 오염물질을 제거하여 광촉매를 원래 성질로 되돌리는 노력이 요구될 것이다. 그러나 제거후 다시 사용하기 위해서는 다시 사람의 손을 거쳐야하는 문제

가 있으며 흐르는 계에서의 재생방법에는 한계가 있다.

앞에서 적용되었던 방법중에서 유리코일이나 전도성의 유리막에 TiO2 를 입혀 이들을 전극으로 이용하는 방법은[9-10] 흐르는 계에서 오염물질의 제거에 좀 더 편리한 방법을 제공할 수가 있다[10-15]. 고체 지지체를 이용하여 촉매를 입힌다면 재생하는 방법이 좀더 쉬워질 것이며, batch방법의 문제점이 해결될 수가 있을 것이다[16]. 자외선를 이용하여 미생물을 죽이거나 변형하고 다시 광촉매를 이용한 미생물 및 오염물질의 제거는 날로 심각해지는 수질 오염문제에 획기적인 근본적 대책을 제시할 수가 있다.

1.1.3.2. 경제·산업적 측면

본 연구과제는 다음과 같은 경제산업적 측면에서 그 필요성이 제기되고 있다.

① 재배용수의 부족 현상 해결

최근 전 지구적 차원의 기후변화로 인하여 국내에서도 강수량이 감소하고 있어 식수는 물론 농업용수의 부족이 심각한 문제로 부상되고 있다. 매년 새로운 관정의 개발 및 지하수의 탐사로 막대한 자금이 소요되고 있으나 용수부족은 쉽게 해결되지 못하고 있다. 또한 장차의 여러 가지 식물의 재배는 비닐하우스나 유리하우스내에서 이루어질 것으로 예상되기 때문에 새로운 재배 방법을 통한 폐재배용수를 재 이용한다면 용수부족 현상을 해결할 수 있으리라 판단된다.

② 주변 토양오염 방지

지금까지 행해져 왔던 재배용수의 무단방류 또는 토양침투는 자체내의 각종 유기질 및 비료성분, 농약 등으로 인하여 주변의 토양을 오염시키고 하천이나 강에 부영양화를 발생시키고 있다. 이는 1996년부터 시행되고 있는 토양환경오염방지법에 저촉된다. 따라서 용수내에 포함되어 있는, 식물에 각종 질병을 일으키는 세균, 곰팡이, 바이러스, 원생동물 등을 살균하고 용수를 재이용한다면 각종 유기물질 및 비료성분의 유출을 방지할 수 있을 것이다.

③ 잔류 비료 성분의 재이용

재배용수내에는 식물에 의해 이용되지 않은 비료성분이나 유기질, 무기질 등이 잔류하고 있다. 만일 재배용수를 재이용할 수 있다면 새로이 첨가하는 각종 성분의 양을 현저히 줄일 수 있기 때문에 경제적으로 많은 이익을 얻을 수 있다.

④ 농약 사용의 방지

폐쇄된 비닐하우스나 유리하우스에 공급하는 재배용수를 각종 질병을 유발시키는 미생물을 살균하여 처리한다면 농약 사용을 현저히 감소시키고 위생적으로도 아주 좋은 채소나 야채를 소비자에게 제공할 수 있다.

1.1.3.3 **사회 · 문화적 측면**

① **양액의 재사용으로 인한 하천호소의 부영양화 방지**

② **재배용수 부족현상의 해소**

③ **무농약 재배에 의한 무공해 농산물의 섭취를 통한 국민건강의 향상**

④ **병충해 예방과 양액비용 절감에 의한 농민소득증대에 기여**

제 2 절 연구개발 목표 및 내용

1.2.1. 연구개발 목표

국내의 작물재배농법은 점차 개방형에서 밀폐형 유리하우스로 전환되고 있는 시점이나 기술상의 문제로 인하여 실패율이 높은 실정이다. 그러나 유리하우스는 그 자체의 장점으로 인하여 계속 건설될 전망이기 때문에 더욱 효과적인 재배법이 절실하다. 본 연구진에서는 그 일환으로 재배용수 재순환 시스템을 개발하여 자동제어장치로 이를 조절하고자 한다. 본 연구진은 이 시스템 개발에 전문적인 기술을 가지고 있는 조선대학교 교수진과 실제 원예작물을 재배하는 전라남도 농촌진흥청 소속 구례오이시험장의 장장 및 양액재배에 경험이 있는 농촌진흥청 연구사로 구성되어 있다. 본 연구에서는 자외선 램프를 이용하여 미생물을 살균하고 자외선 효율의 극대화를 위하여 TiO2 광촉매를 장착한 새로운 살균장치를 개발하고자 하여 다음과 같은 연구목표를 설정하였다.

1.2.1.1. 자외선 램프 및 광촉매 장치의 설계 및 제작

- 티타니아 고체 지지체 필름의 제조
- 광촉매 장치의 설계 및 개발
- 광촉매 장치의 조건에 따른 미생물의 살균효과
- 자외선 램프와 광촉매 장치의 조건에 따른 미생물의 살균효과
- 자외선 장치 및 광촉매 장치를 조합시 살균효과
- 자외선 램프와 광촉매 장치의 조합 설계

1.2.1.2. 자외선 및 광촉매 장치에 따른 살균력 실험

- 자외선 파장 및 세기와 재배용수의 유속 따른 살균효과 측정
- 박테리아, 곰팡이류 등 미생물의 종류에 따른 살균장의 효과 측정
- 자외선 조사시간과 재배용수의 유속에 따른 살균효과 측정
- 용수내 투과율에 따른 살균력 효과 측정
- 폐용수내 미생물 개체수에 따른 살균력 효과 측정

1.2.1.3. 자외선 광촉매 연속흐름형 살균장치를 이용한 유리하우스 재배실험

- 자외선- 광촉매 살균된 양액에 의한 오이재배
- 오존살균 배지 및 이병무살균배지 무병무살균 배지에서의 오이 비교재배실험
- 비교재배에 의한 병충해 예방효과 검증
- 토마토 재배시 병충해 유발균의 접종에 의한 병충해 발생빈도 및 살균장치의 병충해 예방효과 검증

1.2.2. 연구내용

1.2.2.1. 자외선 램프 및 광촉매 재료의 선택

- 고압 및 저압램프를 이용한 살균장치 제작 및 운전 후 성능 및 수명을 고려한 램프선택
- 광촉매 재료에 따른 촉매의 제조 및 살균력 실험
- 촉매의 최적화 및 광촉매- 자외선 살균장치 제작

1.2.2.2. 자외선 및 광촉매 장치에 따른 살균력 실험

- 자외선 파장 및 세기와 용수의 유속에 따른 살균효과 측정
- 바이러스, 박테리아, 병충해 유발균에 대한 살균 효과
- 자외선 조사시간과 재배용수의 유속에 따른 살균효과 측정
- 용수내 투과율에 따른 살균력 효과 측정
- 미생물 개체수에 따른 따른 살균력 효과 측정
- 광촉매 장치의 조건에 따른 미생물의 살균효과

1.2.2.3. 1000평 규모의 연속흐름형 자외선- 광촉매 살균장치 설계 및 제작

- 자외선 램프와 광촉매 장치의 구성 및 배열
- 자외선의 세기 및 照射時間에 따른 살균속도식이 산출
- 설계방정식의 도출
- 유입·출 유체내의 미생물 농도측정
- 물리화학적 인자에 의한 살균속도식 산출
- 연속흐름형 살균장치의 모델링

1.2.2.4. 제작된 살균장치를 이용한 오이 및 토마토 재배실험

- 살균시스템을 이용하여 오이를 실제 재배하고 살균기의 효과를 검증
- 구례오이시험소의 유리하우스 1개동을 난괴법에 의한 양액주입 베드를 조성하고 자외선-광촉매살균, 오존살균, 이병무살균, 무병부살균에 의한 비교 재배실험
- 토마토 재배실험을 통한 병충해 예방검증을 위한 병충해 유발균의 접종 및 병충해 발생빈도 조사

1.2.2.5. 자외선-광촉매 살균장치를 이용한 병충해 예방효과 검증

양액중에 존재하는 병충해 유발균의 살균실험을 위하여 다음과 같은 연구를 진행하고자 한다. 오이과 식물에 발생하는 병해중 가장 피해가 큰 병해인 덩굴쪼김병은 *Fusarium oxysporum*, *F. cucumerium*, *F. melonis* 등에 의해 발생하고 있다. 이 곰팡이들은 토양에 서식하며 초생달 모양의 분생포자와 후막포자를 만든다. 또한 외류 돌림병을 일으키는 원인균으로는 *Phytophthora capsici*, *P. melonis*등이 있다. 이외에도 잿빛곰팡이병, 버짐병, 덩굴마름병, 탄저병 등 주로 오이류에 병을 일으키는 원인균들은 거의 대부분 곰팡이류에 해당한다. 현재 비병원성 곰파이인 *Aspergilus orizae*를 대상으로 본 연구에서 제작한 광촉매 살균장치를 이용하여 살균정도를 조사한다.

제 3 절 기대효과 및 활용

1.3.1. 기대효과

재배용수의 부족 현상 해결 측면에서 양액의 재사용으로 인한 절수 효과가 기되된다. 최근 전 지구적 차원의 기후변화로 인하여 국내에서도 강수량이 감소하고 있어 식수는 물론 농업용수의 부족이 심각한 문제로 부상되고 있다. 매년 새로운 관정의 개발 및 지하수의 탐사로 막대한 자금이 소요되고 있으나 용수부족은 쉽게 해결되지 못하고 있다. 또한 장차의 여러 가지 식물의 재배는 비닐하우스나 유리하우스내에서 이루어질 것으로 예상되기 때문에 새로운 재배방법을 통한 폐재배용수를 재이용하여 용수부족 현상을 해결할 수 있으리라 판단된다.

지금까지 행해져 왔던 재배용수의 무단방류 또는 토양침투는 자체내의 각종 유기질 및 비료성분, 농약 등으로 인하여 주변의 토양을 오염시키고 하천이나 강에 부영양화를 발생시키고 있다. 것은 1996년부터 시행되고 있는 토양환경오염방지법에 저촉될 것이다. 따라서 용수내에 포함되어 있는, 식물에 각종 질병을 일으키는 세균, 곰팡이, 바이러스, 원생동물 등을 살균하고 용수를 재이용한다면 각종 유기물질 및 비료성분의 유출을 방지할 수 있을 것이다.

재배용수내에는 식물에 의해 이용되지 않은 비료성분이나 유기질, 무기질 등이 잔류하고 있다. 만일 재배용수를 재이용할 수 있다면 새로이 첨가하는 각종 성분의 양을 현저히 줄일 수 있기 때문에 경제적으로 많은 이익을 얻을 수 있다.

본 연구를 통하여 얻은 가장 큰 수확은 자외선-광촉매 살균에 의하여 양액을 재순환 시켜 재배하면 수인성 병충해가 예방된다는 점이다. 따라서 원예농가의 가장 큰 피해원인 병충해를 예방하는 효과는 원예농가로 하여금 본 장치에 대한 구매력과 효용성을 크게 증가 시킬 수 있을 것으로 본다. 폐쇄된 비닐하우스나 유리하우스에 공급하는 재배용수를 각종 질병을 유발시키는 미생물을 살균하여 처리한다면 농약 사용을 현저히 감소시켜 수출용 채소의 경쟁력확보측면에서 우위를 점할 수 있으며 국매 소비자에게도 위생적측면에서 우수한 저공해채소를 소비자에게 제공할 수 있다.

세계적으로 점차 수질오염 및 토양오염의 방지를 위한 규제가 계속될 전망이며 특히 우리나라와 같은 경우에는 재배농가나 축산농가로 부터 다량의 유기물질이 포함된 폐수가 발생할 것이기 때문에 폐수를 재이용 할 수 있는 시스템의 개발은 매우 시급한 실정이다. 특히 매년 봄과 같은 갈수기에는 농업용수의 부족으로 전국적인 문제가 되고 있는 시점에서 본 과제의 연구결과는 농업용수의 부족현상을 해결할 수 있는 좋은 대안이 될 것이다. 또한 계속적인 유리하우스의 건설을 촉진할 수 있으며 고품질의 무공해 작물을 재배하여 수출하게됨으로써 우루과이라운드와 그린라운드시대에도 국가경쟁력을 지닌 농업을 육성할 수 있을 것이다. 미래의 재배방법은 단위토지의 생산량이 많아야 하고 오염되지 않은 재배용수의 안정적인 공급이 요구된다. 특히 국내의 경우 경작 면적이 매년 축소되고 용수확보의 어려움이 더욱 심해질 것으로 전망되기 때문에 개방형 농업보다 밀폐형 농업의 비중이 커질 것으로 예측된다. 본 연구과제의

결과로 제공될 수 있는 재배용수의 재순환 시스템은 이러한 재배형태에서 필수적인 장치로 쓰여질 것으로 기대된다. 현재 국내에서는 대부분의 유리하우스가 네덜란드형을 그대로 모방하고 있다. 그러나 네덜란드는 우리의 기후와 비교하여 볼 때 일년 내내 온도가 낮고 여름에도 우리나라와 같은 고온현상이 없으며 바람이 강하게 불기 때문에 유리하우스내에 창이 거의 없는 구조로 되어 있다. 따라서 그 나라의 기술과 설계를 그대로 수입한 국내의 유리하우스는 식물재배의 실패율이 매우 높은 실정이다. 이 문제는 장차 우리가 반드시 개선하여야 할 과제라고 할 수 있다. 또한 이들의 유리하우스는 바닥이 시멘트화 되어 있어 재배용수가 토양으로 침투되지 못하고 반드시 배수구를 통해 저장탱크로 흘러가게 되어 있다. 각종 식물의 하우스 재배 기술은 전세계에서 네덜란드가 가장 앞서 있으며 이 나라의 경우 하우스 주변의 토양오염을 방지하기 위해 많은 노력을 기울이고 있고 그 일환으로 이미 사용한 재배용수를 무단방류하지 못하고 반드시 저장탱크내에 일정시간 저장한 다음 폐수처리를 한 후 방류하고 있다. 현재 네덜란드에서도 폐재배용수를 재이용하기 위하여 많은 연구를 하고 있으며 그 가운데 자외선을 이용한 살균방법에 대해서 연구가 시도되고 있다. 그러나 자외선의 경우 재배용수내에 유기물질이 많이 포함되어 있으며 살균 효과가 감소하기 때문에 본 연구과제에서는 이 문제의 보완으로 TiO2 반도체 촉매효과를 동시에 구형하여 완벽한 살균 장치를 개발하였다. TiO2 반도체 박막은 일종의 촉매제로써 자외선과 마찬가지로 수중에 어떠한 물질도 첨가하지 않기 때문에 부산물을 발생시키지 않으며 수중의 고분자 유기

물질을 광선을 이용한 전자의 발생효과로 무독성물질로 분해할 수 있기 때문에 식물이 이 물질을 흡수하는 데 훨씬 효과적이다. 향후 태양광을 광원으로 이용하여 살균시스템을 제작하면 매우 경제적인 이익을 줄 것으로 판단된다. 자외선 살균 방법 또는 TiO2 반도체 전극계에 대한 연구는 전세계적으로 많이 시도되고 있으나 본 연구 과제와 같이 폐재배용수에 광촉매-자외선을 적용하고 양액을 이온의 종류별로 최적화하는 연구는 세계적으로 처음이기 때문에 장치의 상업화에 따른 수출가능성 또한 매우 크다.

1.3.2. 연구결과의 발표

- 1999년 한국산업미생물학회
  - 제 목 : Effects of organic matter on the growth of Thiobacillus sp. hydrogen sulfide oxidizing bacterium
  - 발표자 : 차진명
- 1999년 추계 환경공학회 발표
  - 제 목 : 자외선 살균 및 성분재조절장치를 이용한 양액재순환 시스템 연구
  - 발표자 : 박종순
- 2nd Asia Symposium pf Environmental Geochemistry
  November 2-4, 1999, Seoul National University
  "Geochemistry of AMD and Iron-hydroxide in the Kwangju area", Cheon-Young Park, In-Hwa Lee

제 2 장 이론적 고찰

제 1 절 자외선과 살균

2.1.1. 자외선의 발견

1801년에 독일인 J. R. Luitter가 태양광의 스펙트럼을 연구하고 있을 때 단파장을 지나서 강력한 사진작용을 일으키는 것을 알게 되었다. 이것이 자외선발견의 시초이다. 이어서 영국출신인 Thomas Young이 1804년에 이것이 전자파의 일종임을 파악하게 되었다. 광생물학분야에서는 1899년에 덴마크인 N. R. Finsen이 자연태양광의 일부분인 자외선이 인간의 피부를 태운다는 것을 발견하여 이의 공로로 1903년에 노벨상을 수상하게 되었다. 자외선을 살균목적에 이용하기 시작한 것은 1877년경 부터이며 오늘에 와서는 응용범위가 매우 광범하고 응용형태 역시 매우 다양하게 되었다.

우주선, X-선, 자외선, 가시광선, 적외선마이크로파 등은 모두 전자파이다. 이 전자파는 빛과 같이 진공중에서 매초 30만km의 속도로 전파되며, 그 파장에 따라 그 작용과 특징이 달라진다. 좁은 의미에서 빛이라고 불리고 있는 것은 사람의 눈에 밝다는 것을 느끼는 파장 380 nm 780 nm범위의 방사에너지 즉 가시광선이라 부르며 이보다 파장이 짧은 즉 보라색부분 짧고 X-선 부분사이의 방사에너지를 자외선이라 부르고 있다. 이 자외선에 대해서 C.I.E. (국제조명위원회)에서는 다음과 같이 분류하고 있다.

UV-A：315 nm　400 nm **근자외선**

UV-B：280 nm　315 nm **중자외선**

UV-C：100 nm　280 nm **원자외선**

자외선은 특정한 파장을 중심으로 하여 고유의 특수한 작용을 하는 것이 뚜렷하게 나타내고 있다. 이 특정파장에 대한 특유의 작용은 표 1과 같다.

표 1. 파장에 따른 자외선 특징 및 활용

파장의 범위 (nm)	가장 작용이 강한 파장	작 용	명 칭	응 용 예
150 200	184.9 nm	음이온, 오존의 생성	오존 발생원	탈취, 살균, 물처리
200 280	253.7 nm	살균작용	살균선	살균램프, 형광램프
280 320	296.7 nm	홍반작용	건강선	광중합, 홍반효과
392 380	365.0 nm	화학반응	화학선	광중합, 형광램프

2.1.2. 자외선의 살균작용

살균이라는 문제는 과거부터 어려운 문제로 대두되고 있지만 오늘날에도 새로운 과제를 내포하고 있는 문제임에는 틀림없다. 소독이라는 기술은 병원이나 진료소 등의 수술실에서나 대학 등의 연구실내에서만의 문제가 아니고, 누구나 일상생활중에 주변에서 광범위하게 필요로 하고 있다. 이 소독은 대개의 경우 열, 여과, 약물 등에 의해서 이루어지고 있지만 이런 살균방법으로는 그 물건에 따라서 변질되어 소기의 목적을 이룰 수 없는 경우도 발생하게 된다. 소독

이라는 말은 결국 미생물인 세균을 사멸시키는 것을 뜻한다. 미생물이란 생명의 원시형태로서 그의 모습은 동물과 식물을 구별할 수 없을 정도로 근본을 이루고 있을 뿐만 아니라 신진대사를 위한 활동성과 유연성을 가진 형태와 생태학적 분포에 의해서 생활하고 있다. 미생물로는 원충류(Protozoa), 진균류(Fungi), 바이러스(Virus) 등이 이에 속해 있다. Bacteria의 크기는 대개 0.2㎛부터 1.5㎛사이에 있으며 어떤 것은 30㎛나 되는 것도 있다. 효모균과 원충균의 크기는 10㎛ 보다 훨씬 적고 곰팡이는 그의 크기가 다양하여 많은 차를 가지고 있다. Virus는 자신단독으로는 증식할 수 없기 때문에 다른 생물이 살아있는 세포내에서 기생하여, 그 단백질합성, 핵산합성의 기구를 이용하여야만 증식할 수 있으며 그의 크기는 Bacteria보다 작다. 살균이란 미생물의 종류에 따라 다소 다르지만 파장 260 nm 부근 즉, 핵산이 흡착하는 peak파장에서 작용효과가 극대로 된다. 살균의 메카니즘에 대해서는 자외선을 조사함으로써 핵산의 성분이 화학변화를 일으키어 대사장해를 가져와 증가능력을 잃고, 다시 말해서 불활성상태에 이르게 되고 더욱이 작용스펙트럼량이 많아지면 파양되어 죽어간다는 설이 가장 유력하다. 이러한 세균을 죽이는 자외선의 파장과 살균능력과의 관계는 파장이 260 nm부근에서 가장 강하고 이를 중심으로 하여 원자외선영역 (UV-C)에서 각종의 세균에게 강한 살균작용을 가지고 있다. 이는 가시광선(380 780 nm) 부분의 10,000 60,000배에 이른다. 태양광선은 원래 강한 자외선을 함유하고 있지만 지구 상층부의 오존층과 지상까지 도달하는 상이에 공기중의 먼지 등에 의해서 390 nm보다 짧은 자외선은 모두 산

란 또는 흡수되어 함유하지 않고 있다. 그러나 태양광선이 살균효과가 있다는 것은 살균작용의 효과가 적은 자외선이지만 상상을 초월할 정도로 많은 양을 함유하고 있으며 또한 가시광선과 적외선부분의 열작용과 건조작용이 있으므로 일광소독도 좋은 살균효과를 가지고 있다. 그러나 미생물에 대한 살균효과면에서 보면 자외선살균램프 15 Watt로부터 50cm 떨어진 곳에서의 살균효과는 일광소독의 64배에 이른다. 자외선에 의한 살균효과는 모든 세균에 유효하지만 균의 종류에 따라서는 세균에 대한 저항력에 따라 크게 달라지며 더욱이 주위환경과 조사량에 따라 크게 영향을 받는다. 예로 물속에서 대장균의 경우에는 투과율 때문에 조사량을 3 30배로 높여야 한다.

살균소독을 위해서는 자외선 (254 nm를 기준으로 함)의 조사량 D (J/m2)와 방사조도 E (W/m2)와의 사이에 t1초 조사후에 죽은 세균의 수를 Nt1라 하면

$$t_1 = \frac{D}{E}$$

소독조건에 따른 효과와의 사이에서 소독후의 세균저항에 대한 상수 K는

$$Kt_1 = \log \frac{No}{Nt_1} \quad Kt_2 = \log \frac{No}{Nt_2} \quad t_2 = t_1 \frac{\frac{No}{Nt_2}}{\frac{No}{Nt_2}}$$

여기서 No는 조사전의 세균수.

표 2에서는 자외선살균법과 다른 각종 살균법과 비교한 것이다.

표 2. 살균 방법에 따른 살균특성

분 류	자외선살균 등에 의한 살균	열에 의한 살균	약품에 의한 살균	오존 등에 의한 살균	방사선에 의한 살균
균종의 살균 유효도	● 모든 균종에 대해서 유효	○ 모든 균등에 대해서 유효	○ 특정된 균에만 유효	● 모든 균에 대해서 유효	● 모든 균에 대해서 유효
살균후의 변화상태	● 거의 변화하지 않는다	● 변화하는 경우도 있다	○ 변화하는 경우도 있다	○ 변화하는 경우도 있다	● 거의 변화하지 않는다
투과성	× 공기, 물 등을 제외하고는 물체에 대한 투과성이 없다	● 물체내부에 대해서도 유효	● 물체내부에서도 유효	× 공기이외의 물체는 표면에만 유효	● 물체의 내에도 유효
살균 소요시간	● 짧다	○ 시간이 걸린다	● 시간이 걸린다	× 길다	● 짧다
살균작용의 특적성	× 조사할 때문 유효하다	× 가열하고 있을 때만 유효	● 일반적으로 매우 길다	○ 오존이 남아 있는 동안만 유효	× 조사할 때만 유효
사용방법	● 간편하다	○ 곤란한 경우도 있다	○ 용이하다	● 용이하다	× 곤란하다
적 용 대상물	○ 공기, 물, 물체의 표면살균	○ 물, 식품, 기구	○ 물, 식품, 기구	○ 공기	○ 물, 식품, 기구
설치비	● 저렴하다	○ 고가인 경우가 많다	● 일반적으로 적다	● 일반적으로 적다	× 고가이다
유지비	● 적게든다	○ 약간 적게 든다	○ 일반적으로 고가이다	● 적게 든다	○ 일반적으로 고가이다

● : 가장좋다 ○ : 보통 × : 적합하지 않다

2.1.3. 자외선 살균램프

자외선살균램프란 원자외선 (UV-C)을 방사하는 저압수은방전관의 일종으로서 저압수은증기에 의한 방전관이다. 저압수은방전관은 그의 방사에너에의 90 %이상을 수은의 공진선인 254 nm선이 차지하고

있으므로 현시점으로 볼 때 가장 강한 효과를 가진 살균 방사원이라 볼 수 있다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 살균램프는 구조나 점등 회로방식이 형광램프와 같지만 이들 사이의 차이는 형광램프에 사용되는 유리관이 300 nm보다 짧은 자외선은 완전히 차단되는 보통 유리를 사용한다는 것과 그 유리관내부에 형광물질을 도포한다는 점이 다른다. 살균램프에 사용되는 유리관은 살균 자외선인 254 nm를 잘 투과하지만 오존을 발생시키는 185 nm (수은의 다른 하나의 공진선)을 거의 통과시키지 못하여 석영(185 nm를 잘 투과시킴) 유리와 같이 사용중에 오존에 의한 이취 때문에 두통을 일으킬 우려가 없으며, 수명이 길고 값이 저렴한 것이 개발되어 사용되고 있다. 다만 점등중 오존이 극히 적게 발생하고 있으나 이는 램프 근처에서 약간 느낄 정도이므로 이 정도로는 위해는 없으며 오히려 방취효과를 가져올 정도이다. 살균램프는 일반적으로 주위온도가 20 23℃, 램프의 관벽온도 40℃전후일 때 자외선방사강도가 최고에 이른다. 이것은 램프전류 등에 의해서 변화하기 때문이다. 따라서 이 조건에 적합하지 않으면 최고출력에 이르지 못하므로 사용환경조건에 알맞도록 설치되어야 한다. 또한 주위의 공기의 움직임도 영향을 주기 때문에 풍속이 클 경우에는 램프의 관벽이 냉각되어 출력이 저하한다. 닥트 살균, 물살균 등에 사용되는 램프는 일반적으로 일반용 램프보다 전류밀도(mA/cm2)가 높은 램프를 사용한다. 살균램프를 사용할 경우에는 어떤 거리에서 사용할 것인가에 따라 실측과 계산에 의해서 그 점의 강도를 구해야한다.

2.1.4. 자외선살균램프의 응용

자외선 소독은 1900년대 초 미국 캔사스주의 Henderson 시에서 수처리용 소독제로 처음 사용되었으나, 염소처리가 일반화되면서 그 사용이 중지되었다. 그러나 기술의 발달로 인하여 유럽을 중심으로 다시 사용사례가 증가하고 있다.

미생물의 살균은 의학이나 산업미생물 분야에서 매우 중요하다. 따라서 항생제나 살균제 등으로 화학적 살균을 하기도 하고, 자외선 조사나 고압습윤멸균기 등을 이용한 물리적 살균을 하기도 한다. 그러나 살균제 처리는 독성이나 살균제에 대한 저항성 돌연변이체 등이 만들어지는 부작용이 나타나기도 한다. 근래에 와서 새로운 살균법으로 TiO2 광분해를 이용한 미생물 살균에 대한 연구가 활발해지고 있고, Human baldder cell에 존재하는 암세포를 제거하는데 TiO2를 이용하기도 했다.

TiO2 결정은 rutile, anatase, brookite 등 세가지 형태로 존재하는데 특히 anatase 형태가 광촉매 반응에 가장 효과적인 것으로 알려져 있다. TiO2 반도체 표면에 빛 에너지의 조사가 이루어지면 TiO2 valence band에 있는 전자가 conduction band로 전이되고 valence band에는 전자가 비어있는 h^+이 남게 된다. 이때 전자가 전이되는데 필요한 광에너지로 band gab에 해당하는 약 3.2 eV정도의 에너지가 필요하며 390nm보다 짧은 파장이 이에 해당한다. 이렇게 생긴 e-CB (conduction band에 전이된 전자)와, h^+VB(valence band에 남은 positive hole)은 TiO2 표면에 확산되어 다음과 같은 연속적 과정을 거치게 된다. 이러한 몇 단계 과정을 거쳐서 생성된 OH · 은 물에 존

재하는 여러 종류의 유기물과 반응하여 유기물을 파괴시킨다. 또한 H2O2나 iron을 촉매로 사용하여 TiO2 광반응의 효과를 높이기도 하였다.

1. Absorption of Light by TiO2 Semiconductor

TiO2 + *hv* -----> e-CB + *h*+VB

2. e-CB + *h*+VB diffusion

3. Positive Hole Reaction

h+VB + OH- -----> OH·

h+VB + H2O -----> OH· + H+

OH· + Organic -----> Organic+

h+VB + Organic -----> Organic+

Electron Reaction

e-CB + O2 -----> O2-·

1) 2O2-· + 2H2O -----> 2OH· + 2OH- + O2

2) O2-· + H+ -----> HO2·

O2-· + HO2· -----> H2O- + O2

HO2·+ HO2· -----> H2O2·+ O2

HO2- + H+ -----> H2O2

H2O2+ e-CB -----> OH·+ OH-

H2O2 + O2 -----> OH·+ OH- + O2

$$H_2O_2 \xrightarrow{h\nu} 2OH\cdot$$

$$OH\cdot + OH\cdot \longrightarrow H_2O_2$$

$$OH\cdot + Organic \longrightarrow Organic^+$$

$$e^-_{CB} + Organic \longrightarrow Organic^-$$

그러나 TiO_2 광분해를 이용한 많은 연구 활동에도 불구하고 농작물에 많은 피해를 주는 여러 미생물들을 살균하기 위한 TiO_2 광분해 응용에 대한 연구 활동은 아직 이루어지지 않고 있고 TiO_2 광반응의 효과를 높이기 위한 부수적인 촉매들은 살균에 큰 효과를 나타내지만 농작물에 또 다른 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 농작물에 질병을 유발시키는 세균과 곰팡이에 대해 농작물에 영향을 주지 않고 살균 효과만을 증진시킬 수 있는 TiO_2 광촉매를 이용한 살균효과를 조사하고자 하며 그에 따른 조건도 살펴보고자 하였다.

제 3 장 광촉매의 제조 및 살균 효과

제 1 절 자외선 램프의 선택

자외선 램프는 40watt, 100watt 출력의 저압 머큐리램프와 600 watt 고압 머큐리램프를 저압형의 경우 수입하여 사용하였으며 고압형은 한국자외선(주)에 제작의뢰하여 제작 후 사용하였다. 저압 머큐리램프는 출력은 최대 100watt의 출력으로 제한되지만 자외선의 파장이 250nm 에서 최대출력이 생성되며 램프수명이 10000시간 이상으로 실제 사용할 때 2-3년동안 램프의 교환이 필요 없다는 장점이 있었다. 고압 머큐리 램프는 비교적 저가이고 고출력을 내며 자외선 파장이 300nm에서 최대출력을 가진다. 이러한 두가지 형태의 자외선 램프를 사용하여 광촉매 살균장치를 제작하였다.

자외선과 광촉매의 미생물 살균효과를 실험하는 소형 pyrex 유리관과 1개의 저압형 혹은 고압 자외선램프를 장착할 수 있는 컬럼형태의 반응기와 stainlless steel재질의 4개의 저압 자외선 램프를 장착한 100리터 용량의 연속적으로 운전되는 재배용액(양액)의 살균장치를 각각 제작하였다. 이와같은 반응기에서 고압램프와 저압램프에 대하여 각각 살균실험을 시행한 결과 고압램프의 경우 다량의 열이 발생되고 전기소모율이 400 watt/hr로 크고 수명이 짧기 때문에 저압램프를 사용하는 것이 필수적이다. 본 과제에서는 최종적으로 램프수명이 10,000시간인 저압 germicidal lamp(최대출력파장 : 253.7nm)로 시판되는 39watt(한성자외선) 램프를 기준으로 연구를 진행한다. 자세한 제원은 아래 그림 1에 도시하였다.

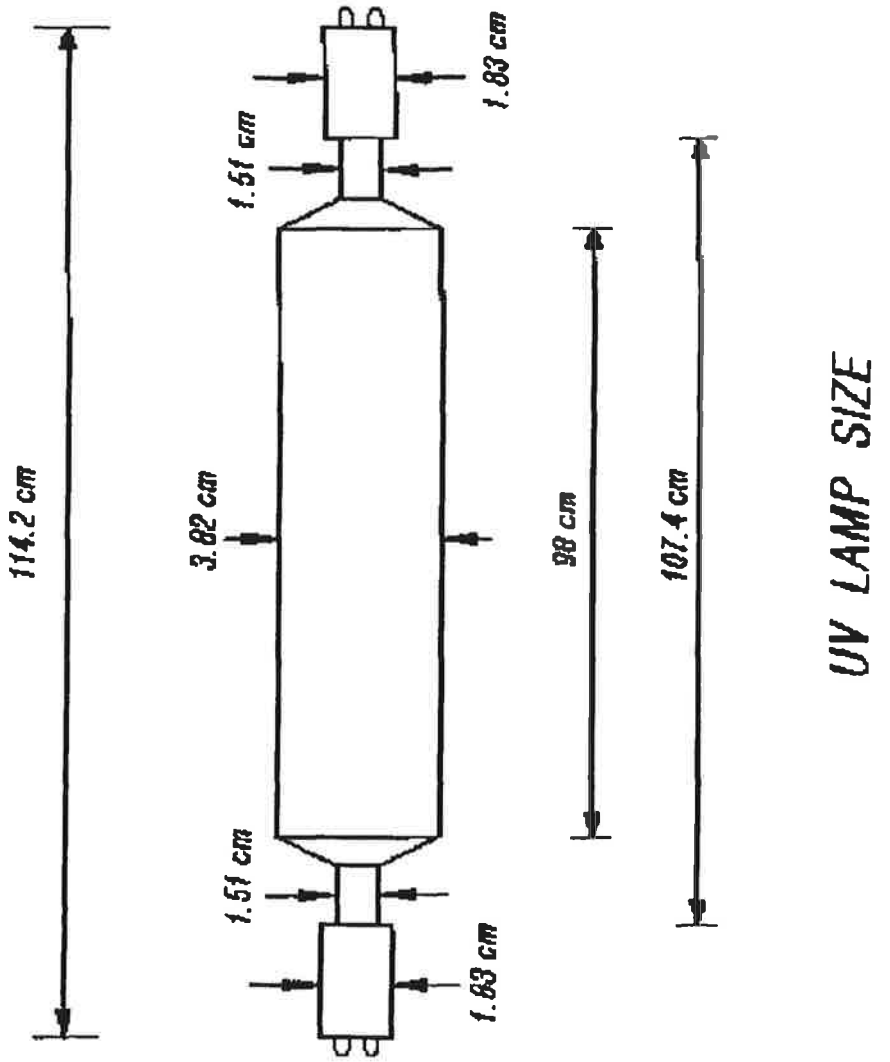


그림 1. 살균용 39watt 출력의 저압수은램프의 제원도.

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

제 2 절 티타니아 시약종류에 따른 광촉매 제조

티타니아 시약으로서 anatase 결정구조의 TiO2 (Fluka), TiO2 (Aldrich) 및 미세분말 형태인 TiO2 P25(Degusa)를 사용하여 아래의 제조방법으로 광촉매를 제조하였다.

3.2.1. 콜로이드 분산법

TiO2 가루를 증류수에 분산시켜 TiO2의 농도 변화에 따른 효율성을 검출하였다. 그러나 콜로이드 입자의 뭉침현상과 침강현상으로 인하여 상대적으로 콜로이드의 표면적이 작아져서 미생물을 죽일 수 있는 효과가 감소되는 것을 관찰하였다. 따라서 콜로이드 입자의 뭉침현상을 줄이기 위하여 acetyl acetone를 첨가하여 분산시키거나 계면활성제를 사용한 분산방법을 시도하였다. 모르타르에서 분산제를 첨가하여 콜로이드의 반죽을 만든후, 계면활성제로 물과 혼합시키는 방법의 결과가 콜로이드 상호간의 뭉침을 줄어들게 하고 물 속에서의 서로 엉김이 줄었다. 그러나 정지계에서는 콜로이드의 가라앉는 현상과 흐르는 계에서는 한쪽방향의 쏠림현상이 나타나, 미생물과의 접촉면적이 줄어들어 살균효과에 감소효과를 주었으므로 TiO2 콜로이드 표면을 널리분포시키고 쏠림 등의 현상을 줄이기 위하여는 석영관이나 판의 지지체위에 TiO2 콜로이드를 입히는 것이 효율적이다.

3.2.2. 재배양액에 분산시킨 TiO_2

재배양액을 거른후, 묽힌 재배양액에 분산시켜 TiO_2의 농도 변화에 따른 효율성을 검출하였다. 이 경우에도 증류수의 경우와 비슷한 영향을 주었으나, UV빛의 일부 파장이 흡수되었고 콜로이드 입자의 뭉침현상과 침강현상으로 인하여 증류수에 분산시킨 TiO_2의 경우와 유사한 문제점이 나타났다. 따라서 TiO_2를 증류수와 acetyl acetone 속에서 분산시킨후 Triton X-100같은 계면활성제와 혼합하여 사용하였을 때 개선되는 현상을 관찰하였으나, 정지계에서는 콜로이드의 가라앉는 현상과 흐르는 계에서는 한쪽방향의 쏠림현상이 역시 문제점으로 되어 석영관이나 석영판의 지지체위에 TiO_2 콜로이드를 입히는 방법을 고려하였다.

제조 방법을 정리하면 아래와 같다.

TiO_2 (Degusa P25)
↓
TiO_2 Aggregate를 H_2O와 Acetyl acetone과 혼합
↓
TiO_2 반죽
↓
TiO_2 반죽을 H_2O와 Triton X-100과 혼합
↓
Spin Coating on Quartz plate
↓
Sintering at 500℃
↓
TiO_2 Film

3.2.3. 콜로이드 도포법

TiO2 가루를 직접 물에 풀어서 사용하는 것은 앞에서 지적한 것과 같은 문제점으로 인하여 석영관이나 석영판의 지지체위에 TiO2 콜로이드를 입히는 방법이 요구된다. TiO2 콜로이드를 부착시킨 석영관이나 석영판이 가져야할 몇가지 조건을 들면, 첫째로 입힌 TiO2가 지지체위에서 떨어지지 않도록 하고, 둘째로 TiO2가 넓은 표면적을 갖도록 하여 미생물과의 접촉면적을 넓혀야 하며, 셋째로 UV 빛을 효과적으로 투과시키거나 흡수시켜 h+와 e-가 미생물과 반응하도록 해야한다. 이의 방법을 정리하면 다음과 같다.

Ti(OCH(CH3)2)4
↓
Hydrolysis in HNO3
↓
80℃에서 농축
↓
200-250℃,34atm에서 Autoclaving
↓
30℃에서 진공농축
↓
30-50% Carbowax와 혼합
↓
TiO2 반죽
↓
Spin Coating on Quartz plate
↓
Sintering at 450℃
↓
TiO2 Film

3.2.4. 화학증착법

석영관 (40ψ × 300m/m Phillips Co.)을 지지대로 하여 TiO2 Tablet (Merckd-6100 Darm Stadt Co.; Density : 4,260, Z-Ratio : 0.4)를 이용하였으며, TiO2 Tablet에 Electro beam(5kv) 발생기(Leybold Inffcon Inc.)를 이용하여 1800 2200℃의 증발 온도이상으로 높여 TiO_2를 증발 시키고 로내 온도는 310℃, 증착율은 2.5 4.0Å/sec를 유지하고 내부압력을 2.0 × 10-5 torr의 진공하에서 증착용 석영관을 1000rpm으로 회전시키면서 7000 Å의 두께로 증착시켰다. 증착장치의 증착스케듈은 조절기에 의하여 진행되는데 필름상태와 투입 에너지의 상관관계식에 의하여 진행된다.

석영관에 증착되는 박막의 증착속도는 Miller & Bolef의 이론에 근거하여 1972년 Lu와 Lewis에 의해 개발된 Z-MATCH방정식을 이용 Resonating Quartz 특성과의 관계를 시스템에서 활용하였다.

$$Tf = \left(\frac{Natdq}{IIdfFcZ}\right)\arctan\left(Ztan\left[\frac{\Pi(Fq-Fc)}{Fq}\right]\right)$$

Tf: Film Thickeness

Nat: : The frequency constant of at quartz (= 166100 Hz (m)

dq: : The density of single crystal quartz (= 0.2649gm/cm3)

df: : The density of the film

Fc: : Coated frequency

Fq: : Uncoated frequencies

여기서 $Z = \left(\frac{dqua}{afuf}\right)2$ 은 Acoustic Impedance Ratio이며, uq와 uf는 film과 quartz의 share moduli이다. 결과적으로 frequency를 film 두께로 변환하는 관계식을 이용한다.

증착된 티타니아 박막에 대하여 X-선회절분석(XRD)을 시행한 결과 그림 2와 같은 특정 평면이 선택적으로 성장된 것으로 나타났다. 이는 결정면이 성장되면서 일반 티타니아 입자와는 다르게 prfered orientation이 진행됨을 알 수 있다. 그림 2의 분석결과는 생성된 티나니아 박막은 anatase 형태로 판명되었다.

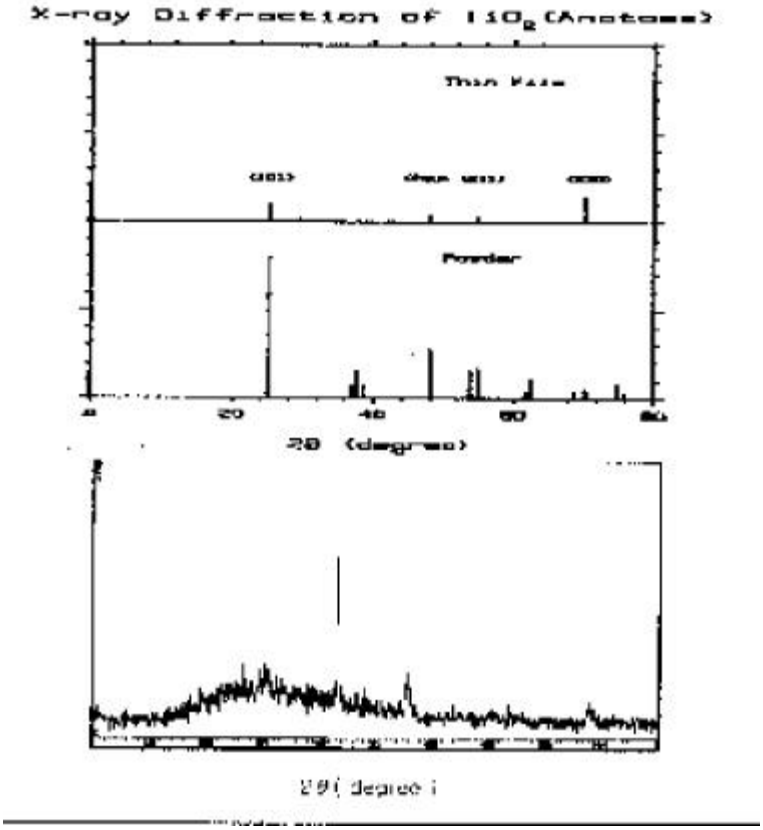


그림 2. 티타니아 박막의 X-선회절 분석 데이타

제 3 절 자외선과 티타니아 입자, 티타니아 필름, 공기기포에 의한 살균효과

3.3.1. 실험방법

본 실험에서 사용된 균주는 세균으로 *Escherichia coli* DH5-α이고, 곰팡이로 *Aspergillus oryzae var. oryzae* (KCTC 6095)이었다. 세균의 배양은 영양액체배지 (Difco, pH 7.0)에서 24시간 동안 30℃로 진탕 배양하였다. 세포농도는 50 mM의 potassiun phosphate buffer (pH 7.0)를 사용하여 연속희석방법으로 결정하였다. 자외선-광촉매 반응 후 살아남은 균체는 적당히 희석하여 영양한천배지에 100 ㎕씩 도말하고 24시간 배양한 후 계수하였다.

*A. oryzae*는 potato dextrose (Difco)에 한천 (1.5 %, Junsei)을 넣은 사면배지에 접종한 후 4일간 30 ℃에서 배양하였고, 균주로부터 conidia가 생성되었을 때 Tween 80 (0.02 %, Junsei)을 3 ㎖넣고 vortex하여 conidia를 떼어내었으며, conidia의 농도는 hemacytometer를 이용하여 107 conidia/㎖임을 확인하고 실험에 적용하였다. 자외선-광촉매 반응으로 얻은 분획들은 연속희석하여 곰팡이의 성장을 조절할 수 있는 0.1 % oxgall을 넣은 PDA 고체배지에 100 ㎕씩 각각 도말하여 반응중에 살아남은 균체수를 확인하였다.

본 실험에서 사용된 자외선원으로는 254 nm에서 최대 14 watt의 자외선 방출량을 내는 램프 (길이: 860 mm, Atlantic Ultraviolet Co.)를 사용하였다. TiO_2는 광촉매로서 활성이 높은 anstase 결정 (Degussa P25)을 사용하였고 슬러리 형태와 석영관에 박막증착시

킨 형태로 나누어 실험하였다. 슬러리 형태는 TiO_2를 100 ㎖에 0.1 g을 넣어 고농도 저장액으로 만든 후, 실제 실험에 적용할 때의 TiO_2의 양은 1 ㎖당 10 ㎍으로 하였다. 그리고 석영관에 박막증착시킨 TiO_2는 두께를 7000 Å으로 표면을 일정하게 피막하였다.

수용액의 흐름은 순환 펌프 (Goldstar, PM-015ND) 를 이용하여 3000 ㎖/min의 유속으로 일정하게 유지하였고, 아래쪽에서 위쪽 방향으로 순환하는 형식을 취하였다. 기포주입을 이용한 실험에서는 유리관 안쪽의 바닥에 기포 발생기를 설치하여 공기를 주입하였다. 모든 실험은 전체 용량을 2000 ㎖로 하여 수행하였다. 자외선 램프에 의한 살균효과와 동일한 조건하에서 반응기 내에 TiO2 (10 ㎍/㎖)를 첨가하였을 때의 살균효과를 알아보았다. 희석수는 50 mM의 potassium phosphate buffer (pH 7.0)을 사용하였다.

1998 ㎖의 희석수에 분광 광도기 (Pharmacia Biotech, Ultraspec 2000)로 600 nm에서 흡광도 0.8의 *E. coli*를 2 ㎖넣고 자외선 반응기안에서 10분간 순환시킨 후 램프를 작동시켜 시간별로 분획을 얻었고 여기서 얻은 분획을 다시 희석하여 영양한천배지에 100 ㎕씩 도말 후 24시간 배양하였다. 자외선을 작동시킨 상태에서 슬러리 형태의 TiO_2를 첨가한 경우, 1978 ㎖의 potassium phosphate buffer에 저장액으로 보관된 TiO_2를 20 ㎖ 넣었고 균주를 2 ㎖ 넣어 전체 용량을 2000 ㎖로 하여 자외선에 의한 살균실험과 동일하게 수행하였다. 기포를 반응기에 주입하였을때의 살균효과를 알아 보았다. TiO_2가 슬러리 형태일 경우 10 ㎍/㎖이 되도록 TiO_2를 인산완충용액에 첨가하고 2 ㎖의 균체를 현탁하여 105 cells/㎖로 적정한 후

자외선-광촉매 반응기에 넣고 10분간 순환시킨 후 시간별로 분획을 얻어서 적절히 희석하여 영양한천배지에 100 ㎕씩 도말하였고 24시간 배양하여 계수하였다. 자외선을 조사하면서 반응기 내에 기포를 발생시켰을 경우에는 자외선의 살균효과를 측정하는 실험과 동일하게 수행하였다.

3.3.2. 자외선 조사시 TiO_2(Degusa P-25)의 첨가와 기포주입에 의한 세균의 살균효과

1998 ㎖의 potassium phosphate buffer에 2 ㎖의 균주를 자외선-살균장치에 넣고 10분간 순환시킨후, 램프를 켜서 시간에 따라 분획을 받아서 적당히 희석한 후 영양한천배지에 100 ㎕씩 도말하여 24시간 후 계수하였다. 기포가 살균에 미치는 효과를 알아보기 위하여 반응기 아래에서 기포 발생기를 이용하여 정제된 공기를 불어넣은 다음 위와 동일하게 실험을 진행하였다. 자외선 램프만을 작동시킨 상태에서 기포를 주입했을 때 그림 3에서 처럼 1분동안 1.7 × 105 cells/㎖에서 7.6 × 103 cells/㎖로 95.5 %의 살균효과를 나타냈고 자외선 조사시 기포와 슬러리 형태의 TiO_2를 첨가했을 때 같은 시간동안 1.7 × 105 cells/㎖에서 7.4 × 103 cells/㎖의 살균효과를 나타냈다. 그리고 3분이 경과되었을 때 자외선 조사와 함께 기포를 첨가한 실험에서 살균효과는 2.8 × 102 cells/㎖로 98.4 %를 나타냈고 같은 조건에서 슬러리 형태의 TiO_2를 첨가한 경우에는 1.5 × 102 cells/㎖로 99.1 %의 살균효과를 나타내었다.

3.3.3. 자외선 조사 또는 자외선 조사와 함께 TiO2가 박막증착된 석영관과 기포를 넣어 주었을 때의 Coliform 박테리아 및 곰팡이에 대한 살균효과

자외선에 대한 *A. oryzae*의 살균효과를 알아보기 위하여 적정된 107 conidia/㎖을 증류수 1998 ㎖에 2 ㎖을 현탁시키고 반응기에 넣은후 10분간 순환시킨다음 램프를 작동시켰다. 시간대별로 얻은 분획은 적절히 희석하여 PDA plate에 100 ㎕씩 각각 도말하여 96시간 배양한 다음 계수하였다. 자외선-광촉매에 의한 살균효과는 TiO2로 박막증착된 석영관을 이용하였다. 살균효과에 대한 확인은 위와 동일하게 수행하였다. 자외선만을 사용한 실험에서는 그림 4에서 처럼 1분동안에 1.7×105 cells/㎖에서 1.4×104 cells/㎖로 87.9 %의 살균효과를 나타냈고, 5분후에는 200 cells/㎖개의 개체만이 생존하였다. 석영관에 TiO2를 박막증착시킨 광촉매 반응기에 *A. oryzae*를 살균시켰을때 5분 동안에 1.7×105 conidia/㎖에서 2.50 × 104 conidia/㎖로 85.3 %이상의 살균효과가 관찰되었고 30분 후에는 *A. oryzae*의 생존율이 1.8 × 102 conidia/㎖로 0.1 %를 나타내었다. E. coli의 경우 TiO2를 석영관에 박막증착하여 실험하였을 경우 1분 동안에 1.7 × 105 cells/㎖에서 5.8 × 104 cells/㎖로 66.3 %의 살균효과를 나타내었고 11분동안에 1.7 × 105 cells/㎖에서 1.2 × 103 cells/㎖로 99.3 %의 살균효과를 나타내었다

3.3.4. 결론

1. 티타니아 분말 (Degusa P25)과 자외선에 의한 살균효과는 자외선조사 1분동안에 1.7×105 cells/㎖에서 1.4×104 cells/㎖로 87.9 %의 살균효과를 나타냈고, 5분후에는 200 cells/㎖개의 개체만이 생존하였다.

2. 석영관에 TiO_2를 박막증착시킨 광촉매 반응기에 E. coli의 경우 TiO_2를 석영관에 박막증착하여 실험하였을 경우 1분 동안에 1.7 × 105 cells/㎖에서 5.8 × 104 cells/㎖로 66.3 %의 살균효과를 나타내었고 11분동안에 1.7 × 105 cells/㎖에서 1.2 × 103 cells/㎖로 99.3 %의 살균효과를 나타내었다. 곰팡이류인 *A. oryzae*를 살균시켰을때 5분 동안에 1.7×105 conidia/㎖에서 2.50 × 104 conidia/㎖로 85.3 %이상의 살균효과가 관찰되었고 30분 후에는 *A. oryzae*의 생존율이 1.8 × 102 conidia/㎖로 0.1 %를 나타내었다.

3. 광촉매를 균일상(티타니아 분말)과 불균일상(티타니아 박막)을 사용하여 자외선조사 시간에 따라 살균효과를 실험한 결과 대장균의 살균속도는 큰 차이가 없었으나 곰팡이류에 대한 살균효과는 티타니아박막이 우수하였다. 본 연구에서는 티타니아박막을 고아촉매로 사용하여 연구를 수행하였다.

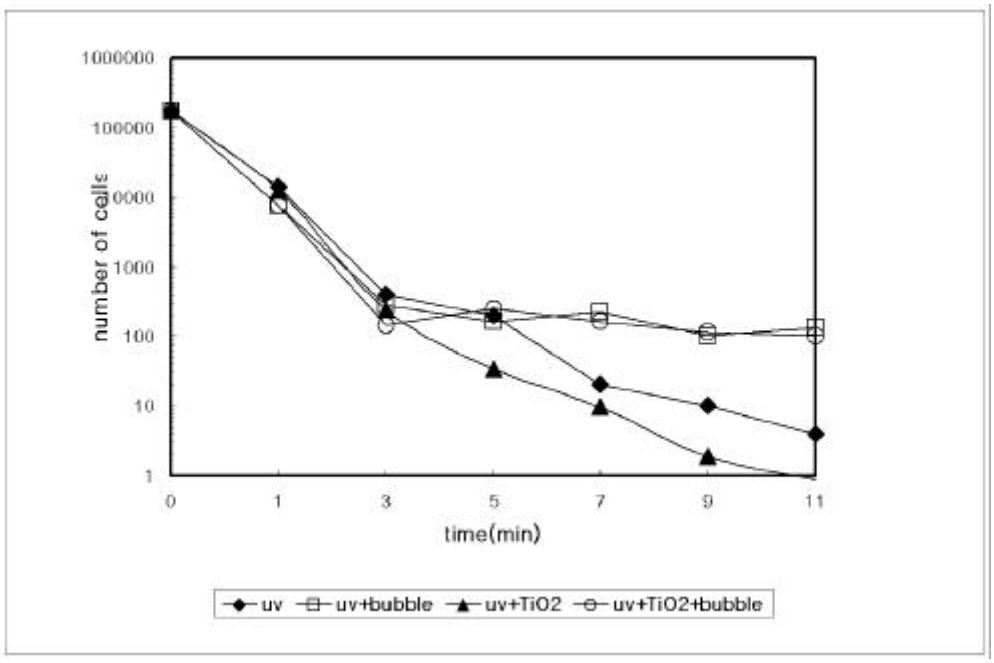


그림 3. 자외선과 티타니아분말(Degusa P-25) 수용액중에서 공기기포에 의한 살균효과의 증감

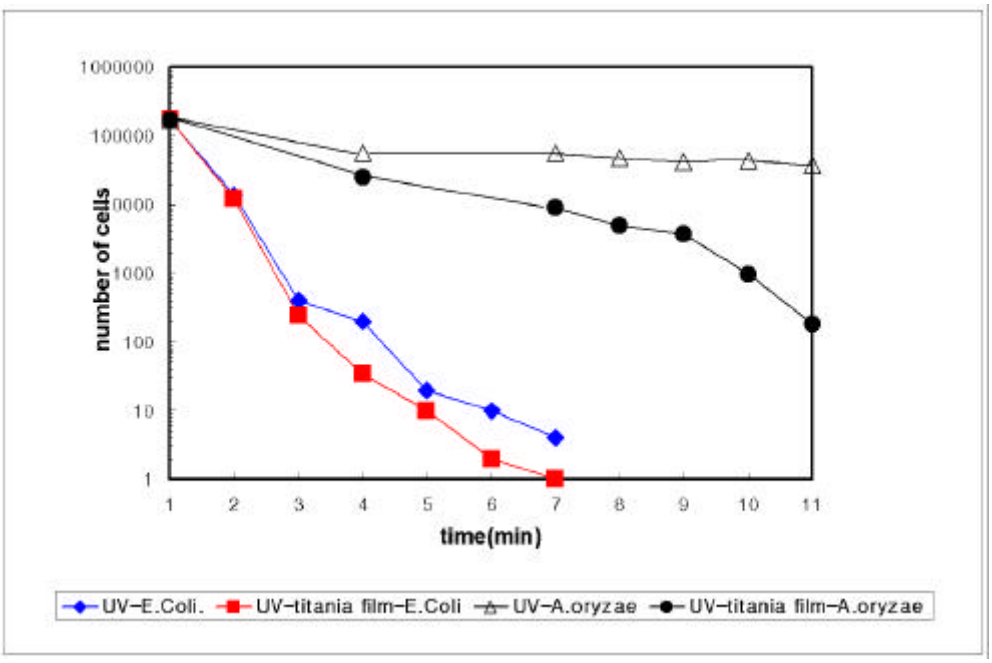


그림 4. 자외선-화학증착 티타니아 박막을 촉매상에서 자외선 조사시간에 따른 coliform bacteria와 곰팡이균종에 대한 살균효과

제 4 장 화학증착 광촉매를 이용한 살균효과 및 설계 방정식 도출

제 1 절 화학증착 광촉매에 의한 살균효과

4.1.1. 사용균주

본 실험에 사용된 균주는 *Escherichia coli(AB1157), Pseudomonas corrugata*(KACC10141), *Pseudomonas syringae* (KACC10396)와 *Ralstonia solanacearum*(KACC 10475)이다.

본 실험에서 사용된 균주로 *Escherichia coli*(AB1157), *Pseudomonas corrugata*(KACC10141), *Pseudomonas syringae* (KACC10396)와 *Ralstonia solanacearum*(KACC10475)으로 농업과학기술원으로부터 분양 받아 배양하였다. 세균의 배양은 LB Medium (pH 7.0, 37℃), King's B Medium (pH 7.2, 27℃)에서 24hr 진탕 배양하였다. 균주의 성장에 이용되는 배지의 조성은 표3 표4와 같다.

표 3. Components of LB Medium

Components	
Bacto-trypton	10 g/L
Bacto-Yeast extract	5 g/L
NaCl	10 g/L
Bacto -Agar	15 g/L
Dist. H_2O	1.0 L

표 4. Components of King's B Medium

Components	
proteose peptone #3	20.0g
K_2HPO_4	1.5g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	1.5g
glycerol	15.0mL
Agar	15.0g
D.W.	1L

4.1.2. 실험장치 제작

본 실험에서 사용된 자외선원으로는 254nm에서 최대 39watt의 방출량을 내는 자외선 램프 (HANKOOK ultra-violet co., 길이 : 850 mm)를 사용하였다(그림 1참조). TiO_2는 광촉매로서 활성이 높은 anstase 결정 (Degessa P25)를 사용하였고 석영관에 박막증착시킨 형태로 실험하였다. 석영관에 박막증착시킨 TiO_2는 두께를 7000Å으로 표면을 일정하게 피막하였다.

실험실 규모에서는 그림 5에 나타난 바와 같이 내경이 55mm이고 길이가 950mm인 Pyrex관 안에 내경이 21mm이고 길이가 1000mm인 석영관(Phillps Co.)을 넣고, 그 안에 자외선 램프를 넣어 순환식으로 실험하였다. 수용액의 흐름은 순환 펌프 (HANIL, PH-80-D)를 이용하여 2500 ㎖/min의 유속으로 일정하게 유지하였고, 반응기 하단부에서 상층부로 순환하는 형식을 취하였다. 미생물은 배양기에서 배양되면서 일부 배양액을 반응기로 도입하면서 균체수를 확인하여

시간에 따른 살균속도를 측정하였다. 장치구성에 사용된 티타니아 박막이 코팅된 석영관과 램프의 실물사진을 그림 6에 실었고 실험실에 설치된 반응장치는 그림 7과 같다.

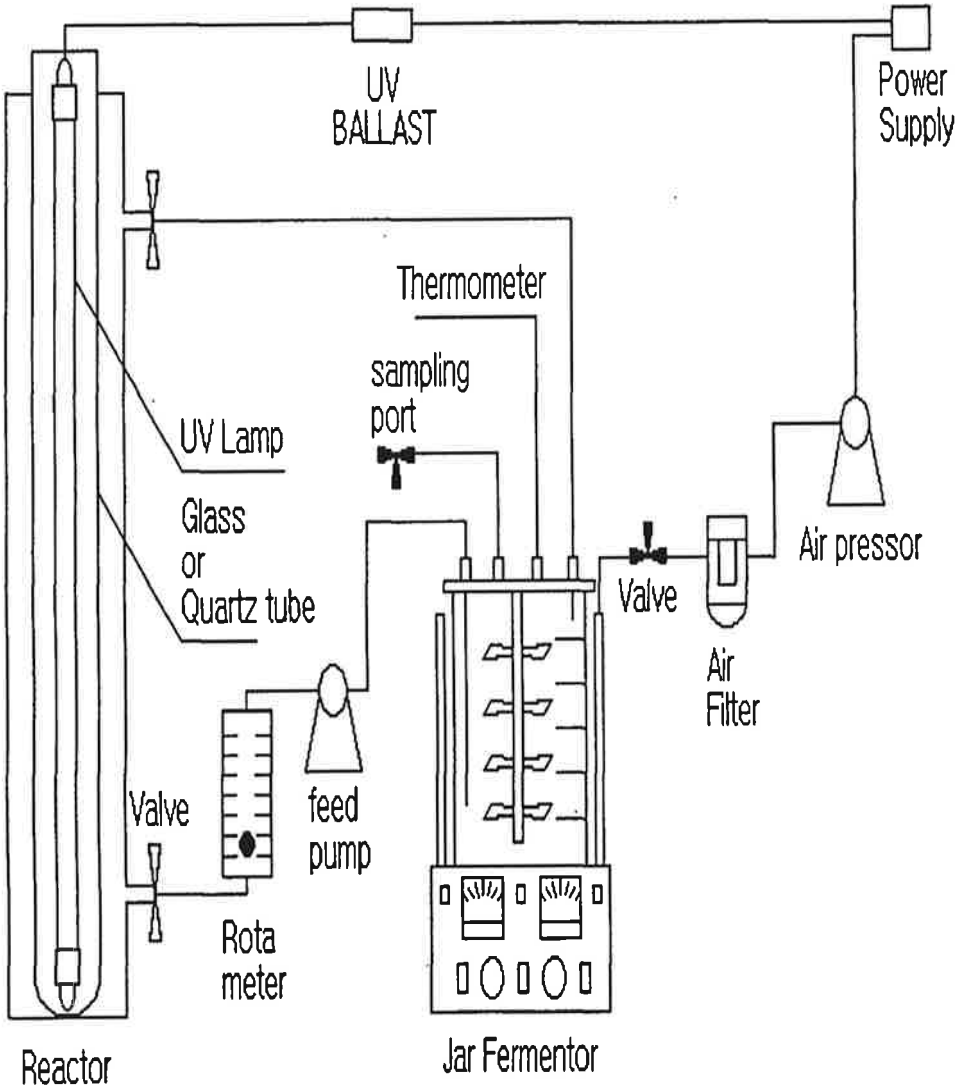


그림 5. UV-TiO_2 photoreactor의 시스템 구성 및 유로계

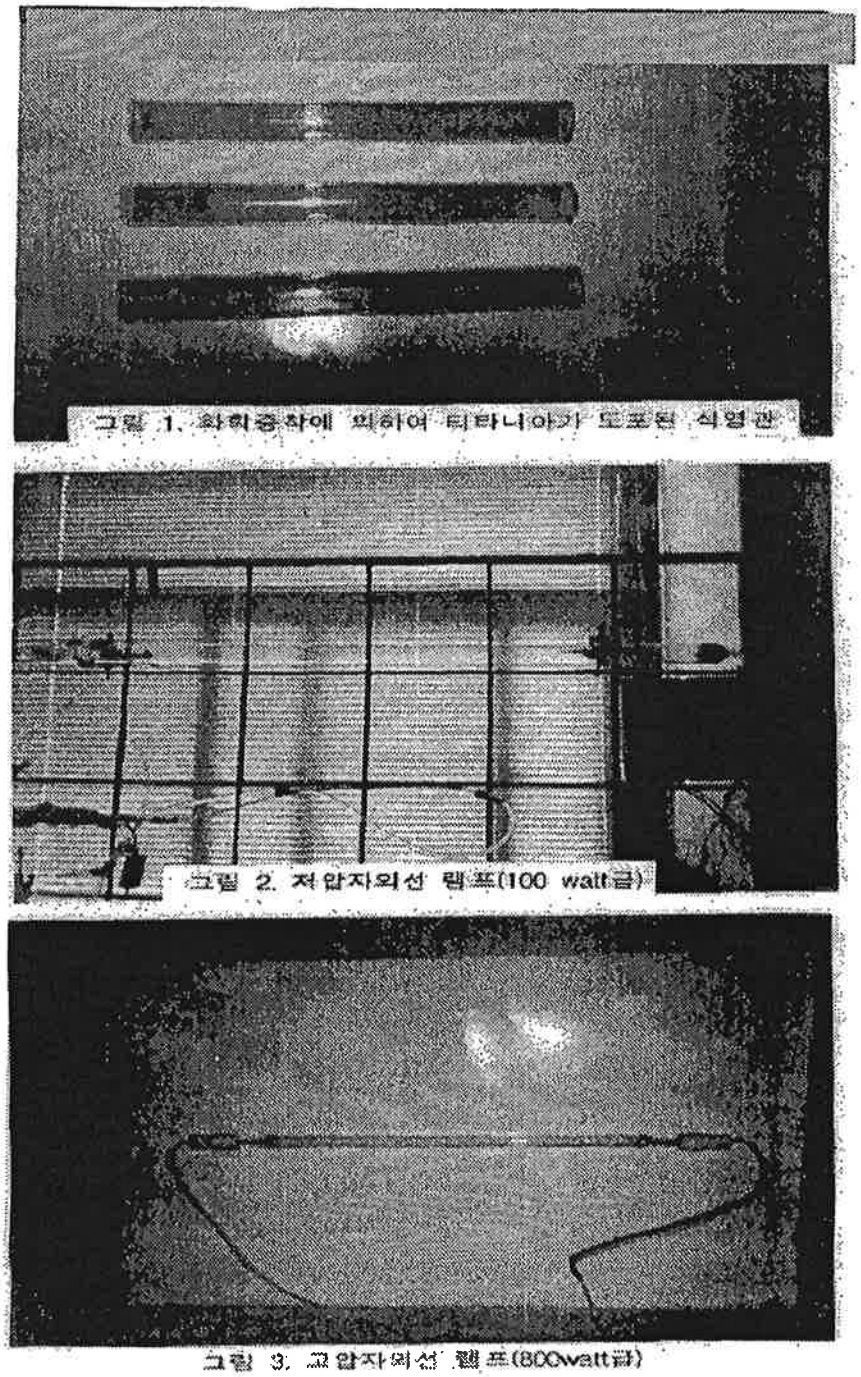


그림 6. 티타니아 박막이 코팅된 석영관(상), 저압램프(중) 고압램프(하)

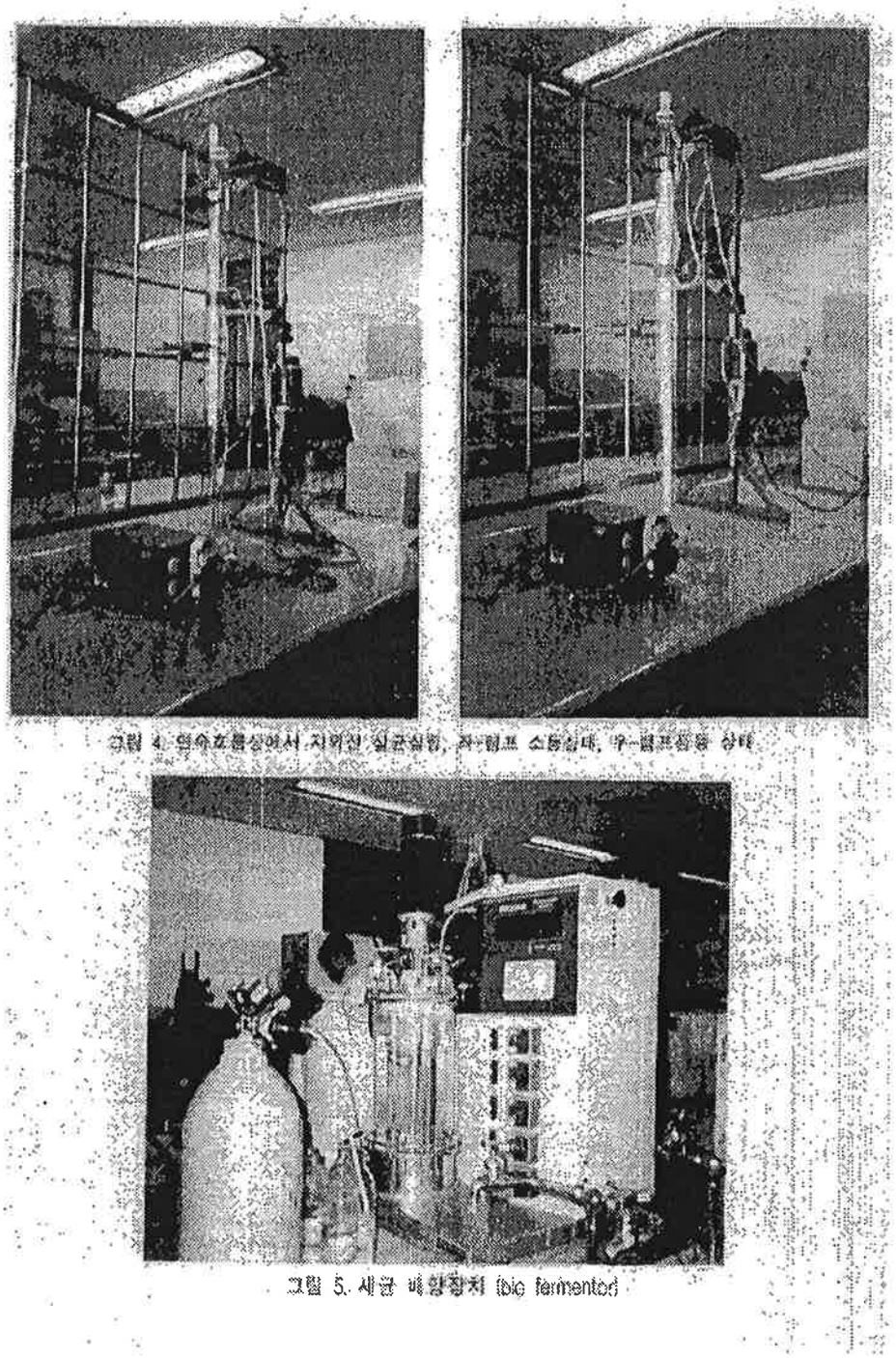


그림 7. 자외선 살균 실험장치 설치 및 실험 장면

4.1.3. 살균실험

모든 실험은 전체 순환용량을 2500 ㎖로 하여 수행하였다. 자외선 램프에 의한 살균효과와 동일한 조건하에서 석영관에 7000 Å 두께로 박막증착된 TiO_2가 자외선에 조사되었을때의 살균효과를 알아보았다. 희석수는 0.85% sodium chloride buffer (pH 7.0)을 사용하였다. 2490 ㎖의 희석수에 분광 광도기(Pharmacia Biotech, Ultraspec 2000)로 600 nm에서 흡광도 0.8의 *E. coil*를 10 ㎖넣고 자외선 반응기안에서 10분간 순환시킨 후 램프를 작동시켜 시간별로 분획을 얻었고 여기서 얻은 분획을 다시 희석하여 LB Medium에 100 ㎕씩 도말 후 24시간 배양하였다.

시간에 따른 분획을 적당히 희석하여 24 hr 배양한 결과 5분간 살균을 행하였을 때 UV에 의해 손상된 cell의 모습을 image analyzer를 이용하여 관찰한 결과 성장속도가 느린 cell (5 min(10^5))의 모습을 확인 할 수 있었으며 6 hr 살균을 수행하였을 때 절반정도의 cell이 정상적으로 성장하지 못함을 그림 8의(6 hr(10^3))을 보아 알 수 있으며, 12 hr 살균을 수행하였을 때의 사진에서 보듯이 cell이 정상적으로 성장하지 못함을 알 수 있다. 이는 cell이 UV에 직접 노출되었을 때 cell의 DNA 구조를 변형시켜 T-T dimer을 형성하므로서 cell의 복제 능력을 상실하게 된 것으로 사료된다. 또한 TiO_2 반도체 표면에 빛에너지가 조사되었을 때 생성되는 강력한 산화제인 $OH\cdot$에 의해 cell이 사멸 된 것으로 생각되어진다.

0 min

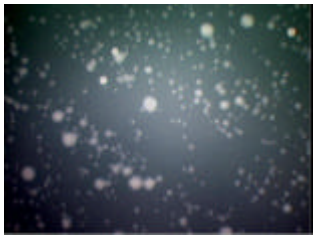
5 min

10 min

6 hr

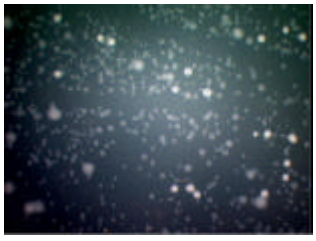
7 hr

9 hr



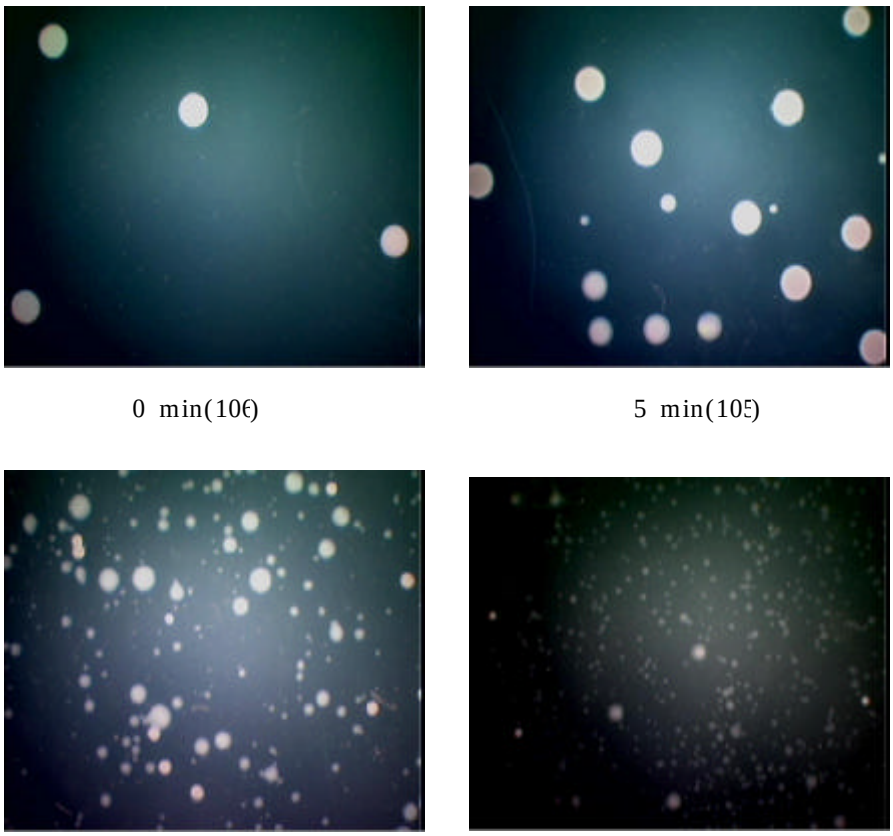
10 hr

12 hr



15 hr

24 hr



0 min(10⁶) 5 min(10⁵)

6 hr(10³) 12 hr(10¹)

그림 8. UV에 의해 살균후 미생물을 배지에 배양한 후 image analyzer를 이용하여 관찰한 결과 사진

4.1.3.1. **투과율에 따른 세균의 살균효과**

석영관에 7000 Å 두께로 박막증착된 TiO_2가 투과율에 따른 살균효과를 각각 알아보았다. 투과율에 대한 살균효과는 실제 살균기 안에서 램프의 거리에 따라 자외선이 양액에 의하여 흡수됨에 따른 살균력감소의 지표가 될 수 있다. 투과율이 살균에 미치는 효과를 알아보기 위하여 Methylene Blue 지시약을 이용하여 254 nm에서

투과율 70%, 50%, 30%로 각각 조절하고 이에 대한 각각의 살균효과를 알아보았다. 2490 ㎖의 sodium chloride buffer (pH 7.0)에 10 ㎖의 균주(*Ralstonia Solanacearum*)를 자외선-살균장치에 넣고 10분간 순환시킨 후, 램프를 켜서 시간에 따른 분획을 받아 적당히 희석한 후 King's B Medium에 100 ㎕씩 도말 후 24시간 배양 후 계수하였다. 자외선에 의한 살균 실험과 동일하게 수행하였다.

표 5. 투과율에 따른 E.coli의 살균효과

Time (min)	number of cells		
	70%	50%	30%
0	9,500	9,650	9,550
1	30	53	452
2	5	20	175
3	0	4	42
4	0	1	4
5	0	0	1
10	0	0	0

254 nm에서 투과율 70%, 50%, 30%에 대한 각각의 살균효과는 표 5에서 처럼 70 %의 경우 1분동안 9.5×103 cells/㎖에서 3.0×101 cells/㎖로 99.68 %의 살균효과를 나타냈고, 50 %의 경우 1분동안 9.65×103 cells/㎖에서 5.3×101 cells/㎖로 99.41 %의 살균효과를 나타낸 반면, 30 %의 경우 1분동안 9.5×103 cells/㎖에서 4.52×102 cells/㎖로 95.24 %의 살균효과를 나타냈다. 각각의 투과율에 대해서 10분 후에는 개체가 생존하지 않았다.

4.1.3.2. **개체수의 따른 세균의 살균효과**

세균의 개체수의 따른 세균의 살균효과를 알아보기 위하여 2490 ㎖**의** sodium chloride buffer (pH 7.0)**에** 3.0×10³, 1.05×10⁴, 1.15×105 cells/mL**의 접종균**((*Ralstonia Solanacearum*) 10 ㎖**를 자외선-살균장치에 넣고** 10**분간 순환시킨 후, 램프를 작동시켜 시간에 따른 분획을 받아 적당히 희석한 후** King's B Medium**에** 100 ㎕**씩 도말 후** 24**시간 배양 후 계수하였다. 자외선에 의한 살균실험은 위와 동일하게 수행하였다.**

세균의 살균효과를 알아본 표 6**의 경우와 같이** 1**분간** 3.0×103 cells/㎖**에서** 1.0×101 cells/㎖**로** 99.66 %**의 살균효과를 나타냈고,** 1.05×104 cells/㎖**에서** 2.0×101 cells/㎖**로** 99.80 %**의 살균효과를 나타냈으며,** 1.15×105 cells/㎖**에서** 1.4×102 cells/㎖**로** 99.87 %**의 살균효과를 나타냈다. 각각의 개체수에 따른 살균실험을** 5**분 동안 수행한 결과 모든 실험에서 살아 있는 개체를 확인 할 수 없었다.**

표 6. **개체수에 따른** E.coli**의 살균효과**

Time (min)	number of cells		
초기 개체수	3.0×103	1.05×104	1.15×104
0	3,000	10,500	115,000
1	10	20	140
2	4	3	67
3	0	0	2
4	0	0	0
5	0	0	0

초기 박테리아의 농도를 3.0×10³, 1.05×10⁴, 1.15×104 개로 각각 초기농도를 결정한 후 자외선을 조사하며 시간에 따른 개체수 감소를 실시한 결과 빠른 살균속도에 의하여 1분 후에 99% 이상의 개체수 감소를 보여 자외선-광촉매에 노출된 박테리아는 급격히 개체수가 감소함을 알 수 있다.

4.1.3.3. 발병원인균의 살균효과

UV-TiO2 반응기를 이용하여 *Pseudomonas corrugata* (KACC 10141), *Pseudomonas syringae* (KACC 10396), *Ralstonia solanacearum* (KACC 10475)의 살균효과를 알아보기 위하여 농업과학기술원으로부터 균주를 분양 받아 배양하였다. 2490 ㎖의 희석수에 분광 광도기 (Pharmacia Biotech, Ultrasec 2000)로 600 nm에서 흡광도 0.8의 *Pseudomonas corrugata* (KACC 10141), *Pseudomonas syringae* (KACC 10396), *Ralstonia solanacearum* (KACC 10475)를 각각 10 ㎖ 넣고 자외선 반응기안에서 10분간 순환시킨 후 UV-TiO2 반응기에 의한 살균실험을 위와 동일하게 수행하였다. 균주의 성장에 이용되는 배지의 조성은 위와 동일하다.

표 7. 오이와 토마토에서 주로 발병하는 수인성 병충해 원인균의 살균효과

number of cells / Time (min)	Scientific Name		
	Pseudomonas corrugata	*Pseudomonas syringae*	*Ralstonia solanacearum*
0	25000	25000	25000
1	1500	250	190
2	145	78	70
3	67	30	42
4	55	16	13
5	38	2	5
10	10	0	0
15	0	0	0

UV-TiO2 반응기를 이용한 발병원인균의 살균효과를 알아본 결과 표 7의 경우와 같이 *Pseudomonas corrugata*의 경우 1분간 2.5×104 cells/㎖에서 1.5×103 cells/㎖로 94 %의 살균효과를 나타냈고, *Pseudomonas syringae*는 2.5×104 cells/㎖에서 2.5×102 cells/㎖로 99 %의 살균효과를 나타냈다. 그리고, *Ralstonia solanacearum*의 경우 2.5×104 cells/㎖에서 1.9×102 cells/㎖로 99.24 %의 살균효과를 나타냈다. *Pseudomonas syringae*의 경우 5분 후에 5 cells/mL만이 생존하였고 *Ralstonia solanacearum*의 경우 2 cells/mL 개체만이 생존하였다. 반면, *Pseudomonas corrugata*의 경우 38 cells/mL의 개체가 생존하였다. 살균 시작 후 15분이 경과했을 때 각 실험에서 생존한 개체를 확인할 수 없었다.

4.1.3.4. 유리하우스내 세균의 접종 후 살균효과

자외선에 대한 살균효과를 알아보기 위하여 균주로 *Escherichia coli*(AB1157)과 오이 시드름병균 (*Ralstonia solanacearum*)을 농업과학기술원으로부터 분양 받아 LB Medium (pH 7.0, 37℃), King's B Medium (pH 7.2, 27℃)에서 24시간 동안 진탕 배양하였다. 세포농도는 0.85%의 sodium chloride buffer (pH 7.0)를 사용하여 연속희석방법으로 결정하였다. 자외선-광촉매 반응 후 살아남은 균체는 적당히 희석하여 LB Medium (pH 7.0, 37℃), King's B Medium (pH 7.2, 27℃)에 100 ㎕씩 도말하고 24시간 배양 후 계수하였다. 균주의 성장에 이용되는 배지의 조성은 위와 동일하다.

표 8. 유리하우스내 세균의 접종후 살균효과

처 리 별	*Ralstonia solanacearum*균 살균효과
균접종 농도	4.0×10⁴cells/mL
균접종후광촉매살균	50 cells/mL
균접종후무살균	2,000 cells/mL
균무접종무살균	600 cells/mL

표 8. 나타낸 바와 같이 초기 접종균의 농도가 4.0×104 cells/㎖을 400 L의 양액탱크에 접종한 후 24시간 후에 각각의 처리구에서 시료를 채취하여 세균수를 확인할 결과 균접종후 무살균구의 경우 2,000 cells/mL의 개체가 생존하였고 무접종 무살균은 600 cells/mL의 개체가 생존하였다. 반면, UV-TiO2 살균 장치를 사용한 양액탱크

에서는 50 cells/mL의 개체만이 생존하였다. 또한, 24hr간 순환한 베드에서는 200 cells/mL의 개체를 확인할 수 있었다. 즉 UV-TiO_2를 이용한 경우 살균효과가 높게 나타났다.

4.1.3.5. 발병한 농가 하우스의 살균효과

자외선에 대한 살균효과를 알아보기 위하여 전남 구례지방의 유리하우스 농가에서 발병한 양액을 채취하여 사용하였다. 발병한 식물을 베드에서 제거하기 전 시료를 채취하였으며, 채취 후 양액의 세포 농도를 확인하기 위하여 0.85% sodium chloride buffer (pH7.0)를 사용하여 연속희석법으로 희석한 후 King's B Medium (pH 7.2, 27℃)에 100 ㎕씩 도말하고 24시간 배양한 후 계수하였다. 자외선에 의한 살균 실험은 위와 동일하다.

표 9. 오이역병이 발병한 농가하우스에서 채취한 양액의 살균효과

살균시간 (분)	무박막 석영관 사용	티타니아 박막사용
0	4850	4750
1	360	49
2	42	21
3	18	6
4	8	2
5	1	0
10	0	0

4.1.4. 1000평 규모의 시설원예용 자외선 광촉매 살균장치의 설계 방정식

자외선살균장치의 설계방정식을 도출하기 위하여 살균장치에 의하여 세균이 살균되는 속도식을 다음과 같이 모델화 하였다. 세균의 감소속도가 1차식으로 나타난 것에 기초하였으며 세균의 살균속도는 자외선의 조사시간에 따른 총 자외선에너지의 함수로 볼 수 있다. 따라서 양액내에 존재하는 세균의 식은 다음과 자외선에 의한 세균의 살균속도상수와 자외선 조사세기에 따르는 1차식으로 표현된다.

$$N = No\ exp(-k.D)$$

N : UV에 노출된 후 세균의 수

No : 초기 세균농도

k : 자외선에 의한 세균의 살균속도

D : 자외선 조사세기

이때 D(mW. sec/cm2) 값은 자외선의 평균조사세기 (average intensity of UV dose ; mW/cm2)와 시간 (t, sec)의 곱이다.

즉 $D = I \times t$ 로 나타낼 수 있다.

이때 I 값은 자외선 측정기로 반응기안에 거리에 따라 측정하고 양액이 흐르는 경우 양액의 흡수도를 측정하여 Beer Lambert 법칙에 의하여 구할 수 있다. 그림 3에서 coliform bacteria를 기준으로 할 때 양액의 살균율을 99%로 산정하면 양액내의 평균 세균수는

10 MPN/100ml 이하가 되며 이때의 필요자외선 요구량은 자외선 강도와 조사시간이 곱으로 계산하여 140 mW.sec/cm2를 얻는다. 또한 자외선램프의 방출세기가 30%감소하고 자외선램프를 둘러싼 석영관의 스케일에 의하여 30%의 감소가 있다고 보았을 때

Required UV Dose = 140 mW.sec/cm2 / (0.7 x 0.7)

= 286 mW.sec/cm2

로 계산된다.

자외선 조사시간은

Exposure time, sec = UV dose, mW.sec/cm2 / average intensity, mW/cm2 로 계산 하면 40.4 sec가 된다.

1000평 규모의 유리하우스에 필요양액은 15 ton/day 이며 한번 양액을 공급하는 양은 일사량에 따라 다소 차이가 있으나 가장 공급량이 많을 때를 기준하여 설계한다. 이때 양액의 주입량은 400 L/min이며 6.6 L/sec이다. 따라서

Total Volume of reactor = (Exposure time, sec) X (design flow rate, L/sec)

= (40.4 sec) X 6.6 L/sec

= 24.2 Liter

가 된다.

필요한 램프의 수를 계산하면, 램프의 지름이 23mm이고 길이가 1,470mm일 때 램프 한 개당 처리 가능한 양액의 부피는 7.66리터이다. 따라서 요구되는 램프의 수는 다음과 같다.

Number of lamp required for disinfection = total volumn, L / volume per lamp, L/lamp

= 24.2 / 7.66 = 3.16 = **약 4 개**

따라서 반응기의 총부피는 25리터이고 원형으로 제작하여 길이 150cm, 지름이 5cm인 관형을 하나의 모듈로 산출하였다. 반응기의 재질은 스테인레스로 제작하였으며 4개의 모듈이 1개의 양액살균기를 형성한다.

4.1.5. 광촉매-자외선 살균장치 제작

티타니아 고체 지지체 필름 석영관 박막을 이용하여 광촉매 장치의 설계 및 개발이 이루어 졌으며 자외선 램프와 광촉매 장치의 조합 설계를 거쳐 광촉매에 의한 살균장치 제작하였다. 유리하우스 오이 재배 필요한 10 ton/min 용량의 그림 9와 같은 자외선 광촉매 살균 장치가 제작되었으며 여기에는 39watt 저압 자외선 램프 4개)와 티타니아 7000Å이 진공증착된 석영관(직경 30mm,두께 1.5mm)이 사용되었다. 본 장치는 구례오이시험소에서 오이 재배실험용으로 사용되었다.

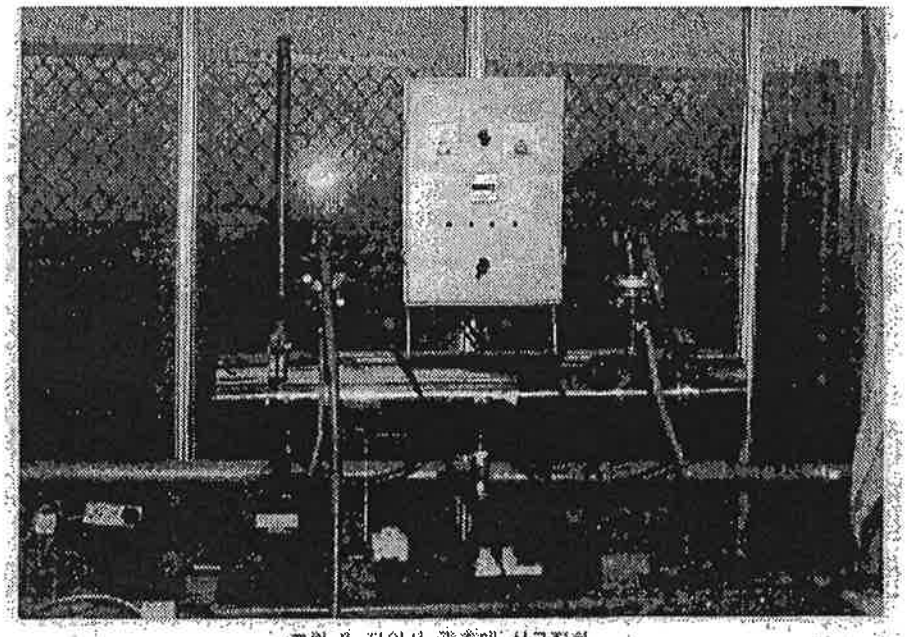


그림 6. 자외선-광촉매 살균장치

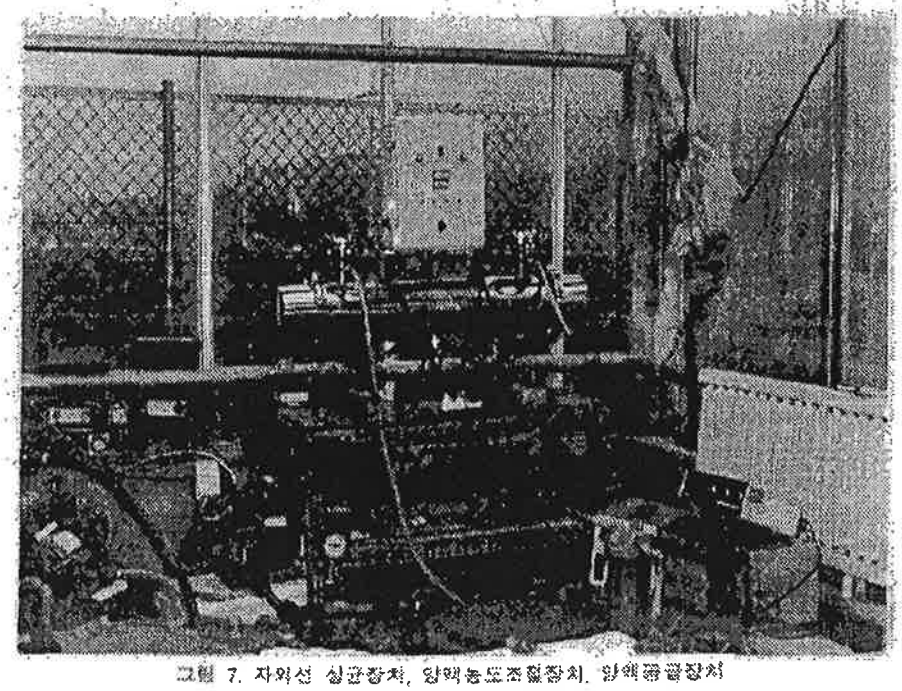


그림 7. 자외선 살균장치, 암액농도조절장치, 암액공급장치

그림 9. 자외선 살균장치 현장설치 사진

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

그림 9에 도시된 자외선-광촉매 살균장치는 양액탱크에서 양액을 펌프로 이송하고 도입부에 불순물유입을 막기 위한 필터가 부착되었으며 양액의 성분재조절 장치와 병합하여 운전된다. 살균된 양액은 이송펌프에 의하여 오이재배용 베드에 주입되고 폐용액은 다시 양액 탱크에 모아진다. 양액을 계속 재사용하기 위해서는 살균과 더불어 양액의 농도를 일정하게 유지하여야 하므로 양액의 pH, 전기전도도, 이온의 개별적 이온농도를 측정하고 이를 토대로하여 양액의 개별성분을 보충하여야 한다. 현재 양액의 농도는 전기전도도에 의하여 조절되고 있으며 선택적 이온전극과 콤퓨터와 analog-digital converter, digital-analog converter에 의한 농도제어 시스템이 실험실에서 제작되었다. 이에 대한 자세한 유료계는 그림 10과 같다.

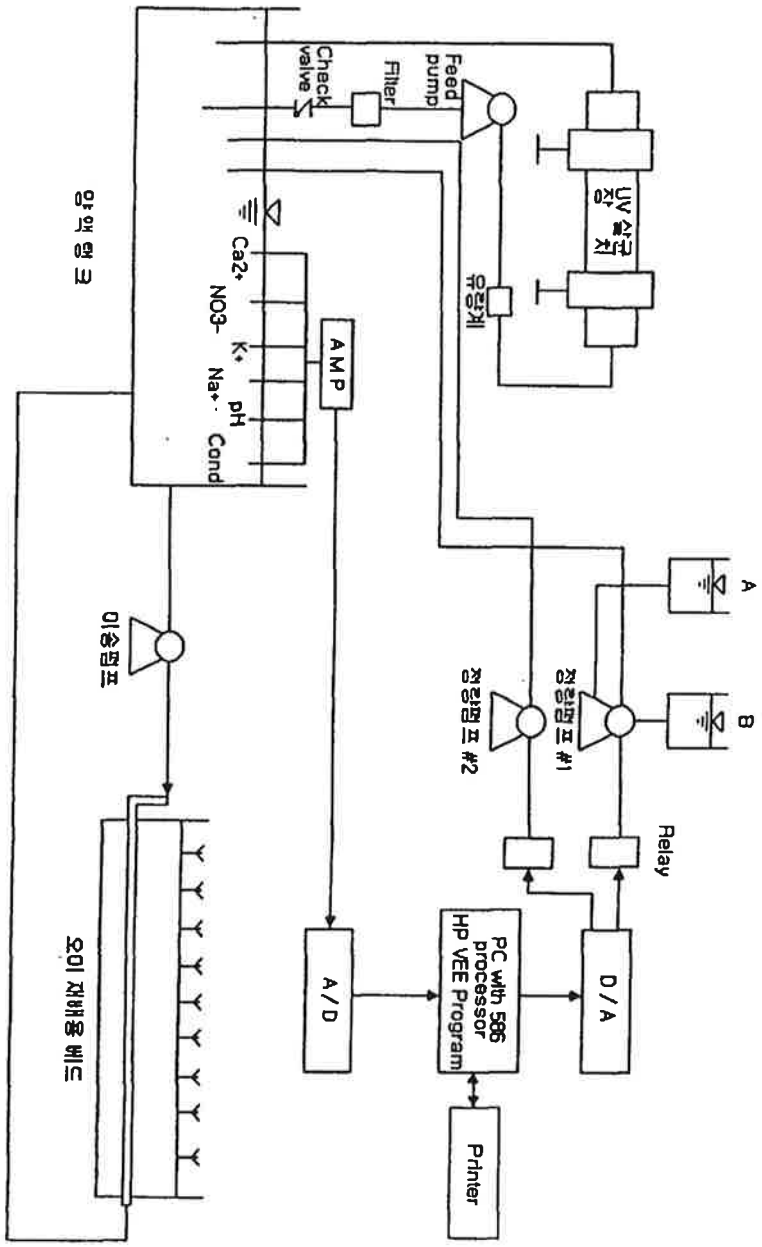


Fig. Schematic Diagram of UV - Photocatalytic disfection and nutrient control system

그림 10. 자외선-광촉매 살균장치 및 양액농도 측정 흐름도

양액의 성분중 성장에 중요하고 이온형태로 가장 많이 존재하는 칼륨, 나트륨, 나이트레이트 및 칼슘을 선택적으로 측정할 수 있는 이온전극과 전기전도도 센서, pH 전극을묶어 하나의 센서군을 형성하고 이들 측정기에서 출력단자의 +5V - -5V전압을 아나로그-디지탈 변환기(A/D conveter)를 사용하여 data logger로서 콤퓨터를 이용한다. 측정된 각 물리량과 화학종에 농도를 종합적으로 판단하여 프로그램상으로 판단하고 일정농도 이하가 되면 정량펌프를 구동하여 양액을 양액탱크로 부터 양액저장조로 보충하는 것이 기본 logic이다. 이와같은 물리량은 그림 11에 도시된 회로도에 기초한 A/D converter를 사용하는데 기판을 콤퓨터에 장착하여 사용한다.

A/D converter는 12bit의 resolution을 갖으므로 충분한 량의 데이터를 수집하여 평균함으로써 정확한 데이타를 수집하며 데이타의 량은 재배농가에서 20년 이상의 데이타를 연속적으로 수집할 수 있어 농민이 재배한 양액과 농작물의 생산과의 관계를 파악 할 수 있는 자료로도 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

양액상태를 실시간으로 모니터링하고 그 상태에 따라 양액의 농도를 최적상태로 유지하기 위한 제어 시스템은 재배의 최적화를 위해 필요하다. 양액의 물리화학적인자는 산도, 전기전도 도, 그리고 각 무기염류의 양이온과 음이온 값이다. 산도와 전기전도도는 통상적으로 전극에 의하여 측정기값으로 출력전압에 의하여 기록할 수 있으나 이온의 농도는 그 측정이 선택적이온전극에 의하여 이온의 각 값을 측정하여야 하는데 어려움이 있다. 본 장치에서는 이온의 종류를 양이온은 Na^{+}, K^{+}, Ca^{++}를 측정하고 음이온은 NO_3^{-}를 측정하여 양액의 주 이온성분을 선택적 이온전극으로 연속 측정한다. 이에 따라 측정기 또한 4세트가 필요하다. 본 장치는 1대의 측정기가 2개의 이온전극을 측정할 수 있도록 제작 하였으며 이온선택적 전극은 농도에 따른 mV값을 주 농도 범위에서 미리 보정하여 보정

곡선을 얻어 출력값으로 농도을 계산 할 수 있다.

이와같은 측정기는 출력이 0-10V 이내로 제작되고 각각의 출력값은 analog/dogotal conveter(이하 A/D)에 의하여 콤퓨터로 data logging된다. 그림 12는 이와같은 A/D와 D/A(digital-analog conveter), D/I(digital input), D/O(digital out put)이 장착되어 있는 Data Translation사의 모델 DT-300 series의 논리회로도를 도시한 것이다. 여기에 사용되는 소프트웨어는 HP VEE(Hewlet Packard사 Version 3.62)로서 프로그램상에서 데이타의 로깅, 제어, 제어값의 출력이 가능한 매우 우수한 소프트웨어 이다. 측정된 전압을 A/D로 읽은 후 그림 13에 도시된 프로그램에 의하여 자료값이 이온농도와 산도, 전기전도도가 화면에 실시간으로 표시되며 측정치는 파일에 저장된다. 또한 읽어들인 자료값은 프로그램상에서 제어프로그램으로 일정 농도로 제어된 후 D/A에 의하여 pump relay가 작동되어 양액탱크로 양액이 유입되어 양액의 농도가 일정하게 유지된다(그림 12).

이러한 장치를 아나로그변환 장치를 사용하여 양액의 물리화학적 특성을 콤퓨어에서 logging 되고 프로그램 상에서 최적상태의 제어가 가능하여 재배되는 농작물에 따라 프로그램상의 간단한 인자변환으로 적용영역을 늘릴 수 있어 매우 경쟁력 있는 장치로 볼 수 있다. 즉 본 실험은 오이재배에 대하여 최적화를 하여 프로그램상에서 오이재배에 알맞은 농도로 조절되나 토마토등과 같은 다른 농작물의 경우 이온농도의 최적성분치만 바꾸어 주면 다른 농작물에 대하여서도 적용이 쉬운 잇점이 있다는 것이다.

본 장치에서 사용된 프로그램은 HP사의 HP VEE 4.0 프로그램에 기본을 두고 있는데 본 프로그램은 그림 14에서 나타난 바와 같이 시각적으로 조절되는 상태와 수치를 그래픽으로 나타나 프로그램의 운영은 물론 응용도 매우 용이하다는 특징이 있다. 또한 이러한 장치는 현재 네널란드 등의 선진국에서 이용하는 장치에 비하여 비용을 60% 이상 절감시킬 수 있어 향후 수출상품으로 개발할 수 있을 것으로 본다.

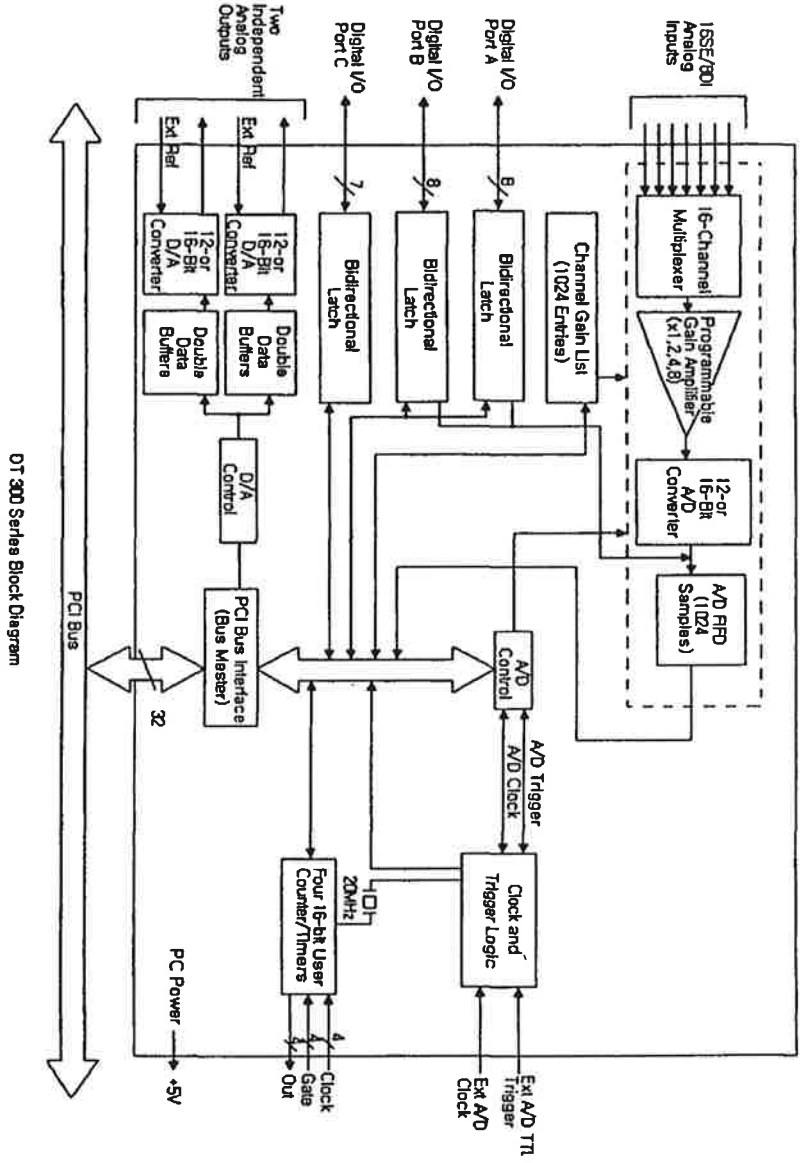


그림 11. 아나로그-디지탈 변환기의 회로도

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

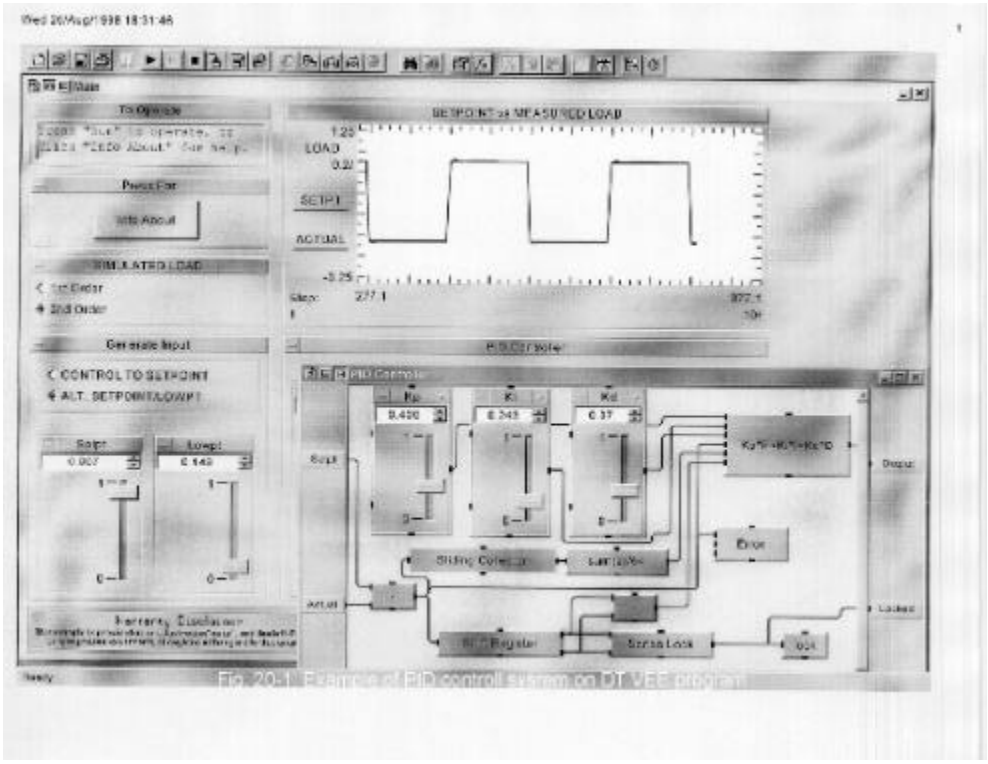


그림 12. 제어장치에서 모니터 표시되는 화면

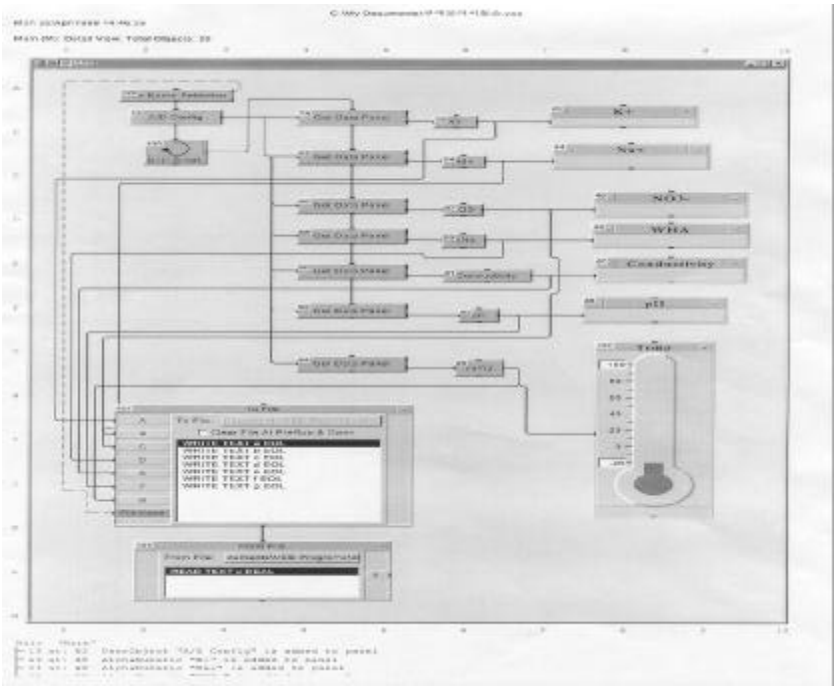


그림 13. 양액성분재조절 장치의 자료입력 및 조절시스템 프로그램 흐름도

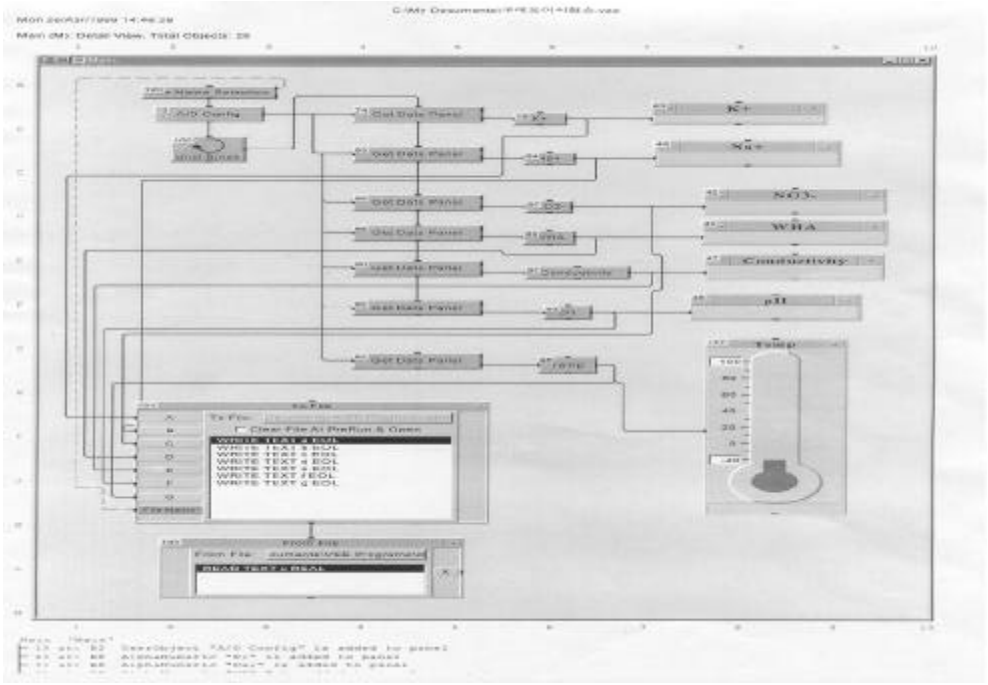


그림 14. 양액성분재조절 장치의 자료입력 및 조절시스템 프로그램 흐름도

제 5 장 오이재배실험

제 1 절 연구목적과 결과 요약

양액의 살균장치를 이용한 양액재순환시스템에서 오이재배를 통한 시스템의 안정성을 입증하고 나아가 실제 재배에 어떠한 영향이 미치는지를 규명한다. 또한 병충해의 억제 및 치유효과와 양액의 조절을 최적화하기 위한 양액조절장치의 개발을 위한 연구를 시행하였다. 양액 살균에 의한 농작물의 성장장애에 대한 검증과 병충해 억제에 대한 실험을 무살균 이병배지와 자외선-광촉매 살균배지, 오존살균배지를 설치하여 오이재배를 실험한 결과 자외선-광촉매 살균에 의한 재배에서 상품수량에서 10%의 출수율 증가를 보였으며 병충해를 인위적으로 접종하여 병충해 유발을 유도하였으나 모든 배지에서 병충해가 유발되지 않았다. 또한 자외선-광촉매에 의한 양액의 파괴에 대한 검증실험에서도 어떤 형태의 양액감소가 관찰되지 않았다. 따라서 자외선-광촉매에 의한 오이재배는 성공적이었으며 향후 양액재배시스템에 적용할 수 있다는 결론을 내릴 수 있었다. 현재 재배중인 오이배지상에서의 결과를 계속적으로 조사하고 인위적인 병충해의 발생과 이의 치유효과를 계속적으로 계절별로 검증하였다.

양액의 이온농도조절은 폐양액의 배출을 억제함은 물론 양액의 조성에 따른 농작물 생산성 향상과 직결되며 미래지향적 유리하우스재배의 핵심기술이다. 본 연구에서 선택적 이온전극과 전기전도도

pH 등을 측정기를 통하여 전기량으로 변환시키고 이 전류값을 A/D converter로 디지탈 값으로 변환하여 콤퓨터제어에 의한 data logger 기능 및 양액성분 조절장치의 프로그렘을 개발하여 양액농도조절 장치를 실험실 규모에서 개발하였으며 향후 상업용 전단계까지 개발되었다. 장치의 경제성을 염두에 두어 저가의 이온선택전국 채책과 1대의 측정기로 산도, 4개이상의 이온농도, 전기전도도를 동시에 측정하는 장비의 개발이 완성되었고 이로부터 측정된 값을 저장하고 제어할 수 있는 프로그램을 개발함으로써 장치를 모듈화하여 실제 생산농가에 보급할 수 있는 경제성 있는 장치를 제작하는 기초자료 활용하고자 한다.

제 2 절 연구범위

자외선 살균의 주안점은 이러한 미생물들의 유전물질이나 핵산을 변형시키거나 파괴하는 것이다. 자외선은 미생물체의 세포벽을 통과하여 핵산에 흡수됨으로써 생체내 유전정보를 혼란시키게 되고 이들은 증식을 못하고 사멸하게 된다. 자외선 가운데 260 nm 파장의 빛이 핵산에 의해 가장 흡수가 잘되기 때문에 가장 효과적이라고 할 수 있다. 대부분의 세균이나 바이러스는 1 평방센티미터당 10,000 microwatt의 비교적 적은 양의 빛에도 사멸되기 때문에 30,000-40,000 microwatt의 강도를 내는 자외선 램프를 사용한다면 수중의 각종 미생물을 살균하는데 효과적일 것으로 생각된다. 자외선을 이용한 물의 소독은 안전하고 효과적인 것으로 이미 증명된 기술이고

소규모 또는 대규모적으로도 응용이 가능하다. 결국 자외선 조사의 장점은 염소와 같은 화학제를 쓰지 않아도 되고 물속에 아무 것도 처리하지 않기 때문에 차후에 또 다른 부산물을 제거할 필요가 없으며 더구나 물의 물리적, 화학적 성질을 변화시키지 않으므로 pH나 색깔, 냄새, 온도, 맛등이 원래대로 유지될 수 있다는 데 있다. 본 연구에서 사용하고 있는 자외선이 배양액에 미치는 영향을 검토한 결과 배양액의 변형이나 파괴는 없다고 보여진다. 가장 널리 이용되고 있는 배양액의 조성은 주 성분으로 KNO_3, NH_4NO_3, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, KH_2PO_4 등이 포함되어 있고 미량 성분으로는 $MnSO_4 \cdot H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, H_3BO_3, $NaMoO_4 \cdot 2H_2O$, $CoCl_2$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$등이 포함되어 있으며, 이외에 vitamin류나 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $Na_2EDTA \cdot 2H_2O$등이 미량 들어가기도 한다. 앞에서도 언급한 바와 같이 생체내 핵산의 구조를 변형시킴으로써 살균에 효과적인 자외선 영역은 260 nm의 단파장에 속하는 UV-C band 이다. 일반적으로 자외선은 단파장으로 갈수록 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 단파장을 내는 자외선 램프는 고가이기 때문에 경제적으로 효율성이 없다. 따라서 본 연구에서는 저가의 장파장을 내는 자외선 램프를 사용하면서 살균효과를 극대화하기 위해서 TiO_2광촉매에서 발생하는 hydroxyl radical($OH \cdot$)로 각종 미생물을 살균하며 이에대한 영양소의 파괴현상의 유무를 관찰한다. 장파장의 자외선은 배양액내 주요 성분들의 분해나 결합 또는 침전 등을 일으키는데 효과적이지 못하기 때문에 본 연구의 최종 결과로서 제작된 살균 시스템은 배양액 성분 변화에 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

양액살균 재순환시스템에 의한 오이재배실험의 가장 핵심적인 내용중의 하나는 은 살균이 오이생육시 성장을 저해하는지 또는 성장에 촉진이 되는가를 규명하는 것이다. 따라서 오이의 수경재배를 위한 perlite 베드를 단위별로 조성하고 난괴법3차 반복법에 의하여 분리된 배지에 양액을 공급하고자 한다. 이때 각각의 베드는 자외선-광촉매 살균, 자외선-오존 살균, 이병무살균배지, 무병무살균 배지로 분리재배하여 각각의 성장 및 재배결과를 비교하고자 한다.

특히 양액 살균에 의한 재순환에 의하여 오이에 발생하는 수인성 병충해에 대한 예방효과가 있는지를 검증하는 것도 본 과제의 기술보급과 상업성에 도움이 되고 나아가 원예농가에 많은 피해를 주는 수인성 병충해를 농약의 도움 없이 예방한다면 농가소득에 크게 기여할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 오이시들음병을 일으키는 병원균을 발효기에서 대량배양한 후 이를 폐양액 저장통에 섞고 동시에 배양된 균을 줄기와 뿌리에 직접 접종하여 각각의 베드에서 재배되는 오이 시들음병의 발병율을 관찰한다.

제 3 절 연구방법

5.3.1. 오이 양액재배 병충해 유발균 및 배양

자외선 및 광촉매 장치에 따른 살균력 실험으로 자외선 파장 및 세기와 재배용수의 유속 따른 살균효과 측정과 바이러스, 박테리아, 곰팡이, 원생동물, 조류 등 각종 미생물의 살균에 대한 자외선 파장의 효과, 자외선 조사시간과 재배용수의 유속에 따른 살균효과 측정, 용수내 투과율에 따른 살균력 효과 측정, 폐용수내 유기물 함량에

따른 살균력 효과 측정, 광촉매 장치의 조건에 따른 미생물의 살균효과, 자외선 램프와 광촉매 장치의 조건에 따른 미생물의 살균효과, 자외선 장치 및 광촉매 장치를 조합시 살균효과가 수행된 바 있다. 본 연구의 중점 사항중에 하나로 오이의 양액 재배시 병충해를 일으키는 미생물 및 배양조건을 조사하여 병원균을 다량 배양하여 오이에 인위적으로 병충해를 일으켜 이에 대한 살균효과를 검증하고 베드를 미살균 양액과 살균양액 시험지로 구분하여 재배하여 자외선 살균력에 의한 병충해 억제 효과를 조사하였다.

실험실 규모에서는 그림 5와 같은 원통형 반응기에서 병원균 살균효과를 실험하며 자외선과 광촉매가 등착된 석영관에 자외선을 조사(照射)하여 그림 5의 상태에서 병원균을 살균하고 입구와 출구의 병원균 수를 카운팅하여 살균효과를 검증한다. 또한 병원균을 대량으로 배양하기 위하여 그림 5와 같은 생물발효기를 이용하여 병원균을 배양하고 harvest한 균을 오이에 상처를 통하여 주입하여 병을 유발시킨다. 병원균에 감염된 오이의 배양액을 살균장치로 살균하며 재배하여 실험적으로 병원균 억제 및 치료 효과를 검증하였다.

본 연구에서 선택한 균주는 오이세균성 시들음병이며 원인균은 Ralstonia solanacearum이다.균을 배양학기 위한 조건으로 다음과 같은 배지를 사용한다. 먼저 토양내에서 자라는 조건의 배지로서 TTC medium을 아래와 같이 제조한다.

멸균 증류수 1liter

Glucose 10g

peptone 10g

Cesamino acid (casein hydrolysate) 1.0 mg
Agar 18.0g

TTC medium 을 autocave한 후 antimicrobial compound로서 다음과 같은 조성의 액을 첨가한다.

Tripheny tetrazolium chloride (as sterile 1% aqueous solution)	50mg
crystal violet	50mg
Thimerosal	5mg
Polymyxin B sulfate	100mg
Tyrothicin	20mg
chloromycetin	5mg
cycloheximide (optional if fungal growth coccurs)	50mg
chlorothalonil (optional if fungal growth coccurs)	80mg

Ralstonia solanacearum의 식물체내에서의 성장배지 조건은 토양에서와 다르며 King's B medium으로 알려진 다음의 배지조성을 사용한다.

- protise peptone #3 20.0g
- K_2HPO_4 1.5g
- $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 7.5g
- glycerol 15.0g
- agar 15.0g
- 증류수 1 liter

배양된 균주는 토양 혹은 오이줄기의 상처부위에 살포하여 오이 주기나 뿌리에 인위적으로 병을 유발시킨다.

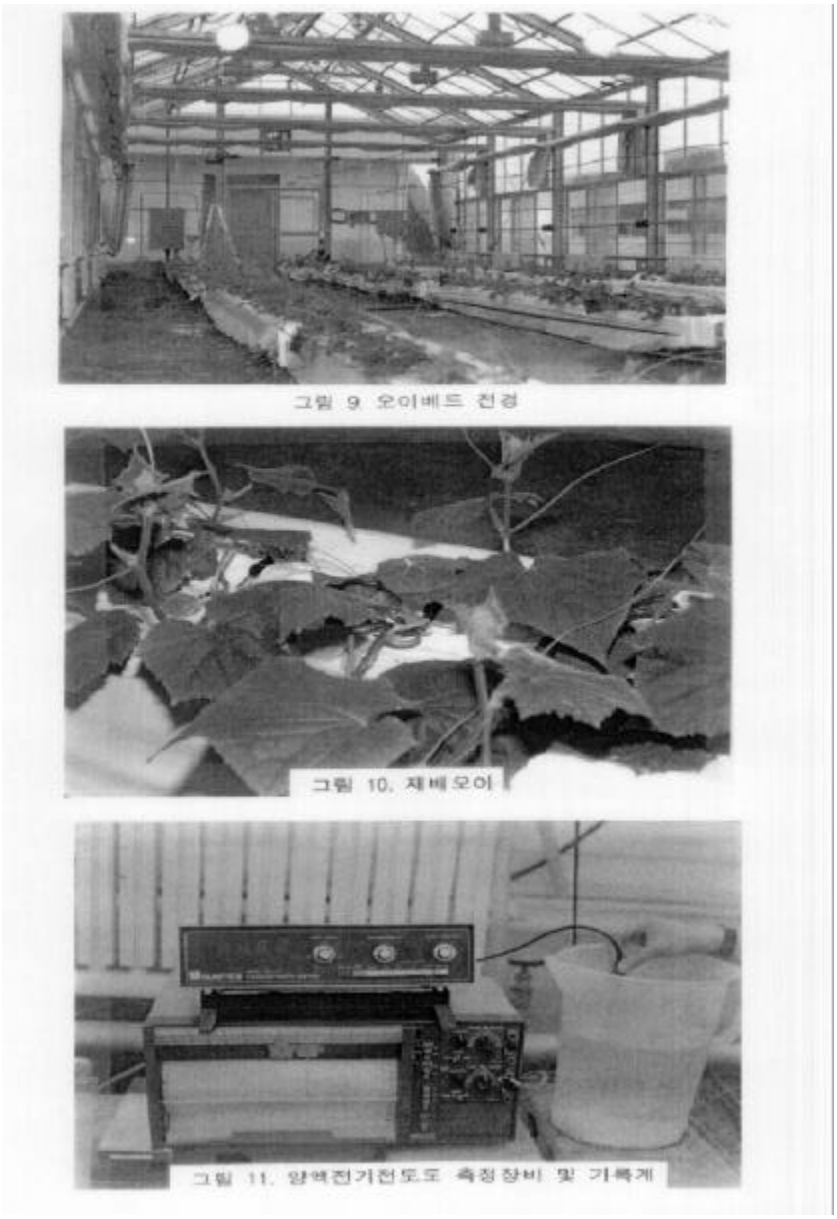


그림 9 오이베드 전경

그림 10. 재배오이

그림 11. 양액전기전도도 측정장비 및 기록계

그림 15. 유리하우스에서 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 오이재배

5.3.2. 유입·출 유체내의 성분 분석 산출

양액의 화학적 성분의 측정치는 pH, 전기전도도, 이온의 농도이다. pH의 경우 5.5- 6.5사이에서 유지되며 조절에 어려움이 없다. 전기전도도의 경우 이온의 농도와 이온의 세기에 따른 복합적 요인이 작용하므로 전도도 값으로 이온의 농도를 제어하기에는 다소 무리가 있으나 현재 양액의 자동조절기이 대부분이 전기전도도에 의존하고 있다. 먼저 오이양액의 원액과 희석비율에 따른 전기전도도는 표 5와 같다.

표 10. 오이양액 농도에 따른 전기전도도 측정치

시 료	희석률	온 도	Conductivity
1	10배	20.4℃	3.66 ms/cm
2	20배	20.4℃	1.702 ms/cm
3	30배	20.4℃	0.902 ms/cm
4	40배	20.4℃	0.613 ms/cm
5	50배	20.4℃	0.456 ms/cm

그림 15(하)와 같은 전기전도도 측정기를 이용하여 전도도를 연속측정하고 그 값은 기록계에 연속적으로 기록된다. 초기 양액의 전도도가 재배시간에 따라 그 변화를 측정하고 있다.

실제 오이 양액 배급기 측정값 은 25℃에서 2.90 ms/cm 이며 폐양액의 경우 2.73 ms/cm(21.5 C) 였다. 또한 공급되는 지하수의 전기전도도는 0.213 ms/cm 이다.

본 실험에서 사용되는 양액의 전기전도도는 초기 1.61 1.62 ms/cm로 조정하였다. 살균기에 급송유량은 1.07 l/min로 유지하고 순환량이 적으므로 자외선 램프를 2개만 사용하고 나머지 2개는 예비용으로 사용한다.

제 4 절 양액재순환 시스템에 의한 오이재배

제작된 살균시스템을 이용하여 다음의 수행방법으로 오이를 실제 재배하고 살균기의 효과를 검증하고자 한다. 구례오이시험소의 유리하우스 1개동을 다음과 같이 베드를 조성하여 실험하였다.

그림 15(상)은 베드의 조성 전경이며 그림 15(중)은 재배되는 오이의 상태이다.

5.4.1. 재배품종 및 방법

재배에 사용된 공시품종은 장형낙합오이이며 재배에 사용된 정식일과 재식거리 재배방법과 사용된 양액의 조성은 표 11과 같다.

표 11. 오이재배에 사용된 재배조건

정식일	재식거리	재 배 방 법	비 고
'98. 4. 15	180 × 18cm	양액재배 (펄라이트배지경)	야마자키표준액, 접목재배

조성된 베드에서 사용되는 배지의 처리조건은 표12와 같다. 먼저 사용시 발병이된 perlite를 살균하지 않고 배지로 사용되며 재배용수도 무살균으로 공급되는 이병무살균 베드와 처음 사용하는 perlite를 사용

하고 무살균 재배되는 무병무살균배지, 그리고 자외선-광촉매 살균장치와 자외선-오존 살균장치에 사용된 배지는 이병배지이다.

이때 시험구배치는 난괴법 3반복법을 사용하며 주요조사항목으로 이온변화, 병해발생 및 방제효과를 중점적으로 조사하였다.

표 12. 오이재배시 사용배지의 처리내용

방제 및 소독내용	배 지 종 류	비 고
U/V+오존살균	펄라이트 이병배지	조선대학교 구례오이시험소 공동연구
U/V살균	펄라이트 이병배지	
이병배지무살균	펄라이트 이병배지	
무병배지무살균	펄라이트 무병배지	

세부시행계획서에 따라 시험포위치는 전남 구례오이시험장 유리온실 1동을 개조하여 사용하였으며 시험온실규모 : 21.5 × 6.4m = 137.6㎡ 이다. 오이재배에 사용된 시험구 면적에 자세한 사양을 표 13에 정리하였다.

표 13. 오이재배에 사용된 재배시험구 면적

시 험 구 수			구당면적	소 요 면 적 ㎡		
계	처리수	반복수		계	시험구면적	기타
12	4	3	8.1㎡	137.6	97.2	40.4

각 베드상에서 재배시의 재식주수 및 재식거리는 아래와 같다.

- 재식거리 : 180cm × 18cm
- 재식주수 : 구당주수 : 25주 (총주수 : 288주)

오이재배용 시험구(수치는 길이 이며 단위 cm임) 베드의 배치도는 그림 16에 나타냈으며 본 실험재배에서 사용되는 실험구의 양액의 배관도는 그림 17과 같은 난괴법 3반복법에 의하여 설치되었다. 각각의 배지는 무살균 무병배지, 무살균 이병 배지, 자외선-광촉매살균배지, 오존살균배지로 구분된다.

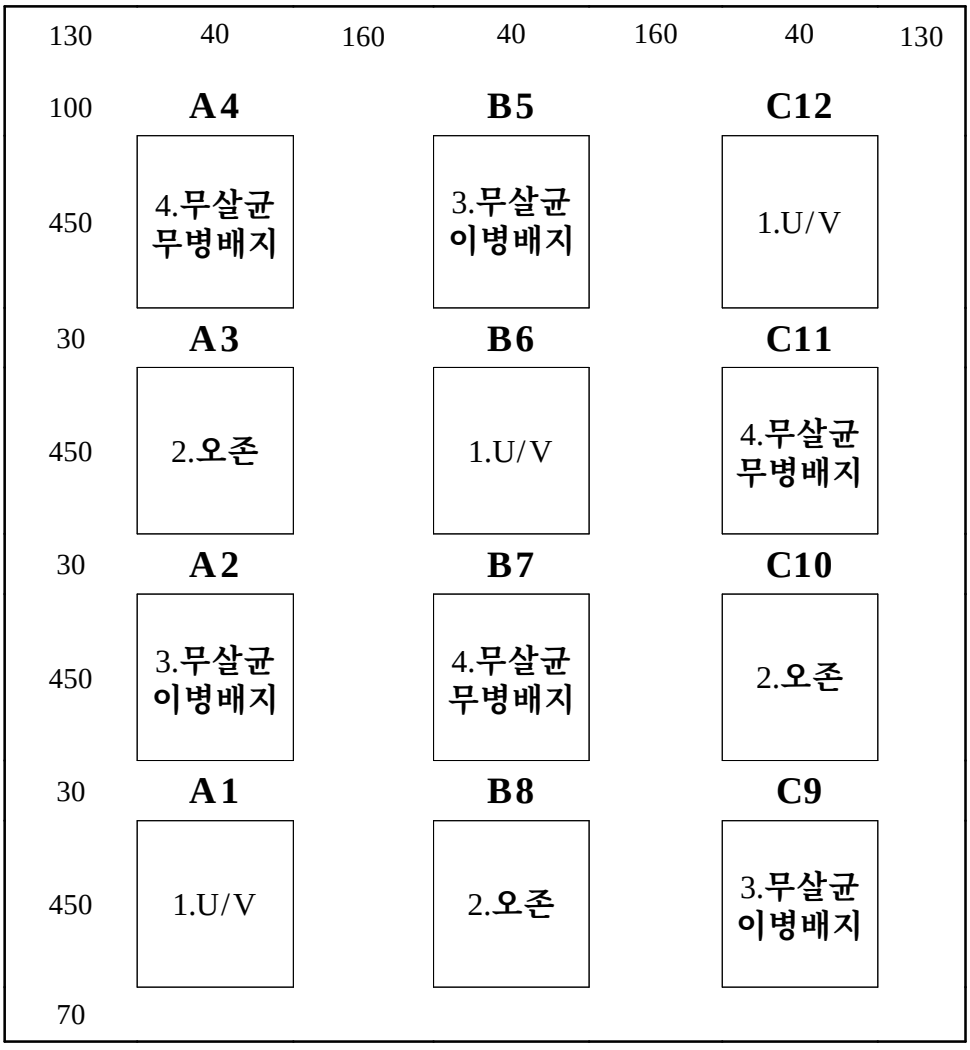


그림 16. 오이배지의 시험구 배치도

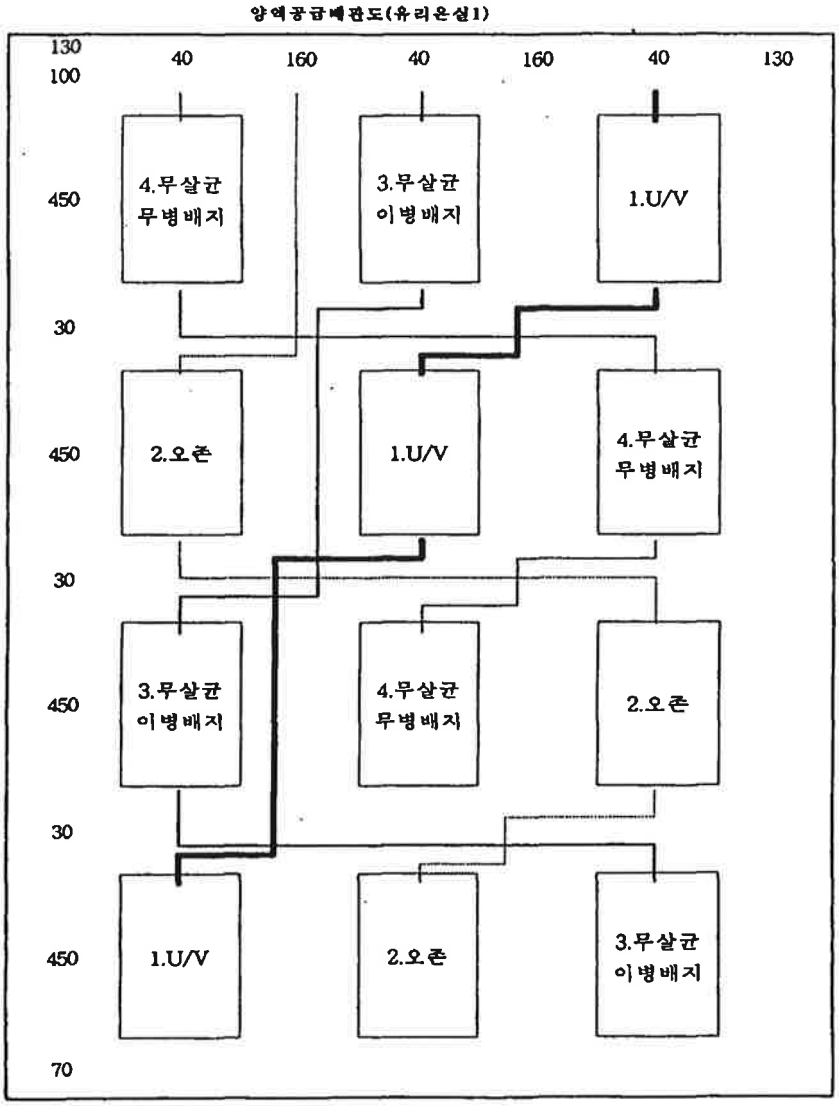


그림 17. 오이재배 배지의 양액 공급 유로계

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

제 5 절 오이재배 결과

오이양액재배시 배양액에 의한 풋마름병과 시들음병등의 병해발생 피해를 줄이기 위한 효율적인 양액소독 방법을 구명하고자 이병살균 베드, 이병무살균 베드, 자외선-광촉매 살균 베드, 오존살균 베드를 조성하고 오이재배를 통하여 병충해 발생 여부, 인위적 접종에 의한 병충해 발생 여부, 이온농도의 변화, 생육과정의 차이점, 생육결과와 출수율 등을 관찰하였다.

5.4.1. 양액의 살균법에 다른 양액의 변화

가. 재배에 사용된 공시품종

장형낙합오이 (대목 : 흑종호박)를 정식하여 재배하였다. 각 배지의 처리내용은 표 14와 같고 베드에 같은 양액을 공급하되 살균처리의 유무에 따라 재순환하고 용액은 1차 양액 주입 후의 변화를 관찰한 뒤 각각의 pH, 전기전도도, 양액의 이온별 농도를 분석한 후 2차 양액을 공급하여 같은 방법으로 양액을 분석하여 변화를 관찰 하였다.

표 14. 오이재배의 베드별 perlite 처리내용

처 리	비 고
UV-TiO_2광촉매살균	기 사용하여 이병된 펄라이트 사용
UV + 오 존 살 균	〃
이 병 배 지 무 살 균	〃
무 병 배 지 무 살 균	처음 사용한 무병 펄라이트

나. 오이시들음병 인공접종

생물발효기를 이용하여 병원균을 배양하고 harvest한 균을 오이에 상처를 통하여 주입하여 병을 유발시킨다. 병원균에 감염된 오이의 배양액을 살균장치로 살균하며 재배하여 실험적으로 병원균 억제 및 치료 효과를 검증하였다.

본 연구에서 선택한 균주는 오이세균성 시들음병이며 원인균은 Ralstonia solanacearum이다. 토양내에서 자라는 조건의 배지로서 TTC medium에서 배양하였다. 재배는 표 15에 정리한 내용에 따라 재배하였으며 오이의 재배기간은 총 70일간 행하였다.

배양된 균은 2회에 걸쳐 1997. 5. 27과 1997 6. 2 양액저장통과 식물의 뿌리와 줄기에 주사기를 이용하여 접종하였다.

접종 후 오이의 생육과정에서 발병 유무를 육안으로 확인하였다.

표 15. 폐양액의 처리조건에 따른 오이의 재배방법

정식일	재식거리	수확기간	재 배 방 법	배양액 처방
4. 15	180×18cm	5.15 7.20	펄라이트경	야마자키표준액

시험구배치 : 난괴법 3반복

다. 생육환경

재배기간의 기상환경을 일별로 조사하여 표16에 정리하였다. 오이 재배기간 중 기상조건은 양호하였으며 맑은 날이 많았다.

표 16. 주요 생육기간 기상환경

시 기	5월상순(5.4 8)				5월하순(5.22 25)				6월중순(6.13 17)				7월상순(7.6 9)			
	4	5	6	8	22	23	24	25	13	15	16	17	6	7	8	9
최고온도	30	29	32	33	36	36	29	33	29	35	32	37	39	39	39	40
최저온도	14	14	14	14	15	17	14	16	19	18	18	17	23	24	26	26
날 씨	맑음	맑음	맑음	맑음	맑음	맑음	맑음	흐림	비	맑음	맑음	맑음	맑음	맑음	맑음	맑음

양액의 교환주기는 표 17에 정리하였으며 전기전도도를 기준하여 교환과 보충을 6-7회 실시하였다.

표 17. 양액보충 및 교환

구 분		보충회수	보충량 (톤/25㎡)	교환회수	교환량 (톤/25㎡)	보충 및 교환회수계	양액량계 (톤/25㎡)
이병배지	UV-TiO_2광촉매살균	6회	2.0	7회	3.5	13회	5.5
	UV+오존살균	6	2.4	7	3.5	13	5.9
	무살균	7	2.0	7	3.5	14	5.5
무병배지	무살균	6	1.8	7	3.5	13	5.3

5.4.2. 생육기간중의 양액의 분석결과

pH 변화는 처리간에는 큰 차이가 없었고, 시기별로는 모든처리가 5월에는 비교적 안정적이었으나 6 7월에는 양액교환후 1 2일부터 높아지는 경향이었다.

표 18. 양액 pH변화

구 분		5월상순(5.4 8)				5월하순(5.22 25)				6월중순(6.13 17)				7월상순(7.6 9)			
		4	5	6	8	22	23	24	25	13	15	16	17	6	7	8	9
이병배지	UV-TiO2 광촉매살균	6.3	6.8	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.2	6.7	7.1	7.2	6.6	7.0	7.0	6.7
	UV+오존 살균	6.3	6.8	6.6	6.5	6.4	7.0	6.8	6.5	6.1	6.5	6.7	6.9	6.6	7.1	6.8	7.1
	무살균	6.3	6.4	6.5	6.7	6.4	6.5	6.7	6.5	6.3	6.8	6.9	7.4	6.2	6.5	6.6	7.0
무병배지	무살균	6.4	6.4	6.5	6.2	6.3	6.5	6.6	6.5	6.3	6.8	6.8	7.1	6.6	6.9	7.2	7.5

양액의 EC변화도 처리간의 5 6월에는 안정적이었으나, 고온기인 7월에는UV-TiO2 광촉매 살균처리는 비교적 안정적이었고, 다른 처리구에서는 0.1 0.5정도 높아졌다.

표 19. 양액의 전기전도도(EC) 변화

구 분		5월상순(5.4 8)				5월하순(5.22 25)				6월중순(6.13 17)				7월상순(7.6 9)			
		4	5	6	8	22	23	24	25	13	15	16	17	6	7	8	9
이병배지	UV-TiO2 광촉매살균	2.05	2.01	2.09	2.00	2.47	2.50	2.53	2.44	1.89	1.78	1.91	2.02	1.83	1.92	1.94	2.00
	UV+오존 살균	2.07	2.10	2.10	2.14	2.40	2.47	2.34	2.37	2.06	2.05	2.22	2.31	1.86	2.09	2.23	2.36
	무살균	1.96	1.92	1.85	1.76	2.43	2.36	2.37	2.26	2.09	2.02	2.14	2.26	1.82	1.78	1.88	1.91
무병배지	무살균	1.97	1.91	1.83	1.78	2.50	2.46	2.47	2.34	1.96	1.94	2.05	2.12	1.94	1.98	2.08	2.22

5.4.3. 생육기간중 양액의 이온별 분석

생육기간중 양액의 이온별 농도는 무기이온농도는 이온크로마토그라피를 이용하여 오이시험소에서 분석하였고 금속이온은 원자흡광분석을 이용하여 분석하였다. 시료는 매일 오전에 채수하여 1997년 6월 13일 6월 16일간의 변화를 분석하였다. 분석결과를 이온에 따라 표 20에 정리하였다. 2차 분석은 1997년 7월 6일 7월 9일상이에 오전 10시 및 오후 4시에 1일 2회 분석하여 그 결과를 표 21에 정리하였다.

이온의 변화는 질산염과 인산염은 양액의 초기투입 후 재배시간에 따라 크게 감소하였으며 인산염의 경우 3일 후 농도가 0에 가까워짐에 딸 양액보충시기를 3일로 하였다. 그러나 황산염의 경우 재배시간에 따라 농도가 증가하였으며 양액의 경도는 큰 변화를 보이지 않았으며 Fe-EDTA로서의 철농도역시 큰 변화를 보이지 않았다. 또한 각 처리구마다 이온의 농도변화간의 뚜렸한 변화가 없었고, 모든 처리에서 생육 영양 장해는 나타나지 않았다. 따라서 광촉매-자외선 살균에 의한 생육실험시 살균이 생육에 장애가 되지않음을 확인할 수 있었다.

표 20. 1차분석 (6.13 16 매일 오전 채수 분석)

이온	처 리 구	양액교환직후	2일후	3일후	4일후
NO3	이병배지UV-TiO_2광촉매살균	426	311	252	140
	이병배지UV+오존살균	490	385	370	260
	이병배지무살균	585	416	396	276
	무병배지무살균	407	327	324	232
PO4	이병배지UV-TiO_2광촉매살균	78	37	13	0
	이병배지UV+오존살균	44	23	11	0
	이병배지무살균	79	50	35	10
	무병배지무살균	57	61	66	44
SO4	이병배지UV-TiO_2광촉매살균	452	652	758	821
	이병배지UV+오존살균	560	715	845	812
	이병배지무살균	345	561	651	632
	무병배지무살균	418	613	747	665
K	이병배지UV-TiO_2광촉매살균	150	100	100	50
	이병배지UV+오존살균	150	100	100	100
	이병배지무살균	250	200	200	200
	무병배지무살균	200	150	200	200
Ca	이병배지UV-TiO_2광촉매살균	50	50	50	50
	이병배지UV+오존살균	100	100	100	100
	이병배지무살균	50	50	50	50
	무병배지무살균	50	50	50	50
Mg	이병배지UV-TiO_2광촉매살균	55	60	70	85
	이병배지UV+오존살균	55	60	65	75
	이병배지무살균	40	55	65	70
	무병배지무살균	45	55	60	65
Fe	이병배지UV-TiO_2광촉매살균	1.5	1.5	1.5	1.6
	이병배지UV+오존살균	1.1	0.6	0.4	0.2
	이병배지무살균	1.3	1.4	1.3	1.4
	무병배지무살균	1.9	2.0	1.9	2.0

표 21. 2차분석 (7. 6 9 오전10시 오후4시 1일 2회분석)

이온	처 리 구	양액교환직후		2일후		3일후		4일후	
		오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후
NO3	이병배지UV-TiO2광촉매살균	637	632	633	651	649	654	690	669
	이병배지UV+오존살균	594	563	544	551	552	517	547	508
	이병배지무살균	558	615	619	629	649	650	682	709
	무병배지무살균	614	603	550	552	535	506	519	490
PO4	이병배지UV-TiO2광촉매살균	44	38	33	31	31	34	38	34
	이병배지UV+오존살균	42	36	26	29	24	23	20	14
	이병배지무살균	37	43	46	49	44	40	41	37
	무병배지무살균	42	41	36	33	28	26	25	13
SO4	이병배지UV-TiO2광촉매살균	116	158	182	195	194	190	199	207
	이병배지UV+오존살균	177	232	414	393	462	518	597	891
	이병배지무살균	100	125	134	139	149	158	176	194
	무병배지무살균	138	249	290	367	418	469	540	631
K	이병배지UV-TiO2광촉매살균	201	194	196	199	196	193	195	191
	이병배지UV+오존살균	190	181	169	169	165	158	159	150
	이병배지무살균	173	185	188	199	192	188	188	197
	무병배지무살균	188	187	185	178	175	167	172	168
Ca	이병배지UV-TiO2광촉매살균	12	0	0.5	1.5	45	73	78	74
	이병배지UV+오존살균	5	11	31	3	111	115	123	133
	이병배지무살균	0	0	0	26	74	76	79	80
	무병배지무살균	0	5	7	13	90	91	105	113
Mg	이병배지UV-TiO2광촉매살균	19	23	27	28	28	27	25	22
	이병배지UV+오존살균	22	29	61	44	55	55	59	76
	이병배지무살균	16	20	20	23	22	20	20	21
	무병배지무살균	18	28	32	37	41	39	43	53
Fe	이병배지UV-TiO2광촉매살균	1.6	1.1	0	0	0	0	0	0
	이병배지UV+오존살균	1.3	0.9	0.2	0	0.4	0.5	0.4	0.5
	이병배지무살균	1.3	0.4	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1
	무병배지무살균	1.3	0.4	1.3	1.5	1.3	1.3	1.4	1.6

5.4.4. 재배결과

역병균을 양액과 식물체에 인공으로 접종을 했으나 포장에서 병해가 발생하지 않았다. 따라서 살균에 의한 병원균의 예방효과를 대조군을 통하여 확인할 수 없었으며 2차 접종에도 불구하고 오이의 줄기 및 잎에서 수인성 병원균에 의한 병징은 없었다.

신장절수, 만장, 절간장 등의 생육은 처리간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 상품수량은 이병배지 무살균구(5,977kg/10a)에 비해 UV-TiO2 광촉매 살균 처리구에서 10% 증수 되었다.

표 22. 오이재배의 처리구별 생육상황

구 분		만장 (cm)	절수	절간장 (cm)	경경(mm)		최대엽(cm)	
					20절	암꽃 개화절	장	폭
이병배지	UV-TiO2 광촉매살균	723	79	9.5	8.2	5.5	25.5	33.5
	UV+오존살균	736	79	9.6	8.2	5.6	24.9	34.3
	무살균	742	79	9.4	8.1	5.3	24.1	33.8
무병배지	무살균	742	80	9.5	7.6	5.5	23.7	34.2

구 분		1과중 (g)	과장 (cm)	과경 (cm)	L/D	가용성고형물 (%Bx)	수확 절위	개화 절위
이병배지	UV-TiO2 광촉매살균	176	25.5	3.3	7.7	3.4	16.5	8.6
	UV+오존살균	197	25.6	3.4	7.5	3.4	17.2	9.1
	무살균	183	25.7	3.3	7.8	3.3	16.9	9.4
무병배지	무살균	184	25.9	3.3	7.8	3.4	16.2	9.4

표 23. 오이재배시 처리구별 오이 수확 수량

구 분		과 수(개/10a)		수 량(kg/10a)			
		총과수	상품과수	총수량	상품과	상품과율 (%)	상품과수량 지 수
이병배지	UV-TiO2 광촉매살균	52,610	43,074	7,713	6,553	85.0	110
	UV+오존살균	46,418	38,495	6,563	5,658	86.2	95
	무살균	48,459	39,527	7,064	5,977	84.6	100
무병배지	무살균	48,938	40,700	7,304	6,252	85.6	105

표 24. 순별 상품과 수량

(단위 : kg/10a)

구 분		계	5월		6월			7월	
			중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순
이병 배지	U/V-TiO2 광촉매살균	6,553	1,021	1,190	1,072	1,544	886	353	493
	UV+오존살균	5,658	769	1,131	1,076	1,493	619	190	380
	무살균	5,977	946	1,112	992	1,574	775	178	370
무병 배지	무살균	6,252	728	1,127	1,134	1,403	886	387	452

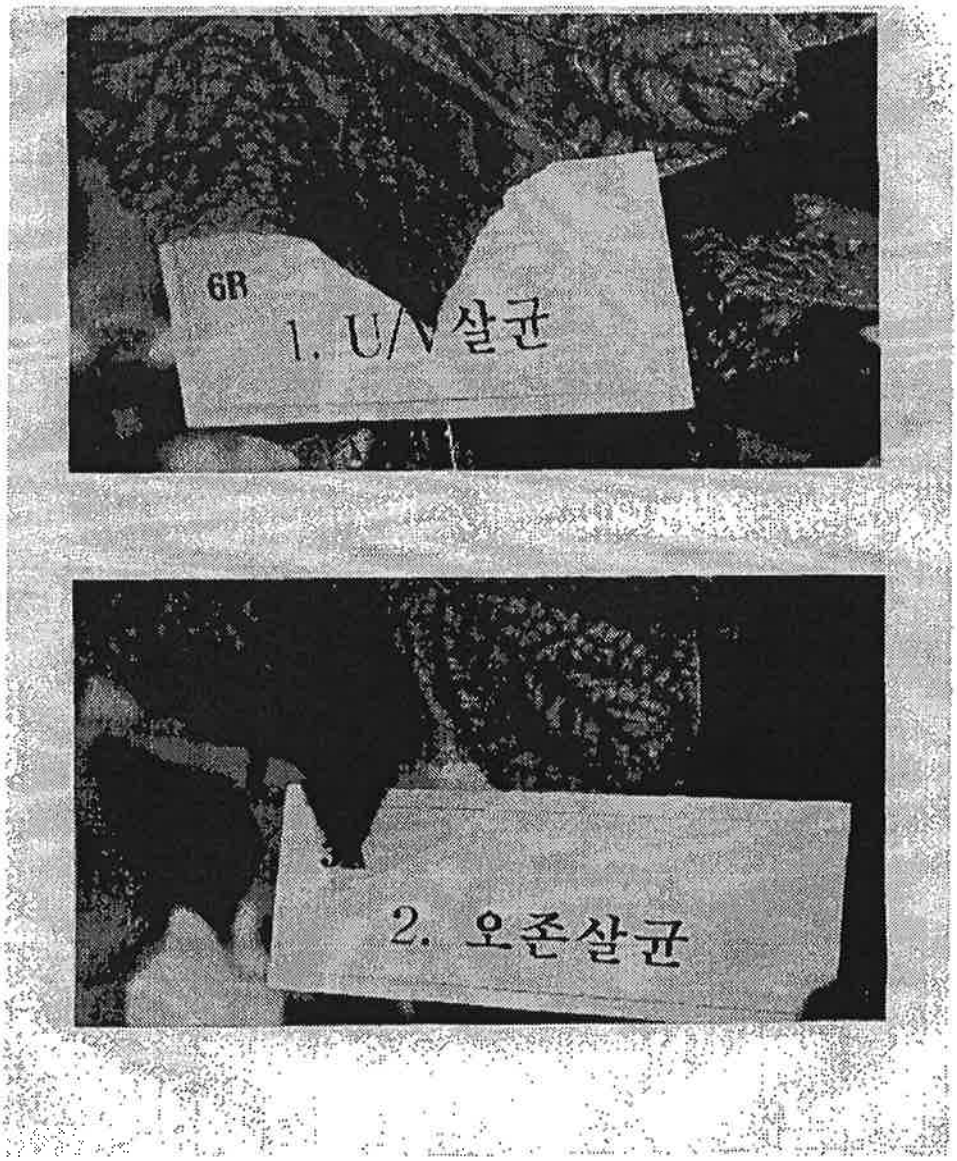


그림 18. 양액살균에 의한 오이재배의 생육상태

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

5.5.5. 결과요약

1). pH 변화는 처리간에는 큰 차이가 없었고, 시기별로는 모든처리가 5월에는 비교적 안정적이었으나 6 7월에는 양액교환후 1 2일부터 높아지는 경향이었다.

2) 양액의 EC변화도 처리간의 5 6월에는 안정적이었으나, 고온기인 7월에는UV-TiO2 광촉매 살균처리는 비교적 안정적이었고, 다른 처리구에서는 0.1 0.5정도 높아졌다.

3) 배양액내 이온변화는 처리간에 일정한 경향이 없었고, 모든 처리에서 생육 영양 장해는 나타나지 않았다.

4) 역병균을 양액과 식물체에 인공으로 접종을 했으나 포장에서 병해가 발생하지 않았다.

5) 신장절수, 만장, 절간장 등의 생육은 처리간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 상품수량은 이병배지 무살균구(5,977kg/10a)에 비해 UV-TiO2광촉매 살균 처리구에서 10% 증수 되었다.

제 6 절 연구성과 및 활용계획

양액의 살균에 의한 병충해의 억제 및 치유효과와 양액의 조절을 최적화화는 본 연구를 시설원예농가에 보급하기 위해서 필수적인 연구로 본다. 양액의 이온농도조절은 생산성 향상과 직결되며 미래 지향적 유리하우스재배의 핵심기술이므로 콤퓨터제어에 의한 양액 농도조절 장치를 실험적으로 검증한 후 상업용 전단계까지 개발 할 예정이다. 장치의 경제성을 염두에 두어 저가의 이온선택전국 채택

과 1대의 측정기로 산도, 4개이상의 이온농도, 전기전도도를 동시에 측정하는 장비의 개발이 요구되며 이로부터 측정된 값을 저장하고 제어할 수 있는 프로그램의 개발이 요구된다.

세계적으로 점차 수질오염 및 토양오염의 방지를 위한 규제가 계속될 전망이며 특히 우리나라와 같은 경우에는 재배농가나 축산농가로 부터 다량의 유기물질이 포함된 폐수가 발생할 것이기 때문에 폐수를 재이용 할 수 있는 시스템의 개발은 매우 시급한 실정이다. 특히 갈수기에는 농업용수의 부족으로 전국적인 문제가 되고 있는 시점에서 본 과제의 연구결과는 농업용수의 부족현상을 해결할 수 있는 좋은 대안이 될 것이다. 또한 계속적인 유리하우스의 건설을 촉진할 수 있으며 고품질의 무공해 작물을 재배하여 수출하게됨으로써 경쟁력을 가진 농업을 육성할 수 있을 것이다.

제 6 장 토마토 재배 실험

제 1 절 연구목적

오이의 시험재배를 통한 대조군별 병충해 발생여부를 관찰하려 했으나 모든 대조군에서 병징이 관찰되지 않았기 때문에 비교적 병충해 발생이 쉬운 것으로 알려진 토마토 재배를 통하여 병충해의 발생 여부를 시험하고자 한다. 오이재배시와 같이 베드를 나누어 양액의 살균처리방법에 따라 재배를 시행하고 재배도중 토마토 풋마름병원균을 배양하여 인공접종하고 양액탱크에도 섞어 주어 인위적인 병충해방생을 유도하였다. 이러한 실험재배를 통하여 토마토 양액재배시 배양액에 의해 전염되기 쉬운 풋마름병의 병해를 줄이기 위한 효율적인 양액소독 방법으로 제시하고자 한다.

제 2 절 재배방법

6.2.1 재료 및 방법

재배공시품종은 토마토 꼬꼬품종이며 살균처리방법에 따라 처리구를 균접종 후 살균처리구, 균접종 후 무살균 처리구, 균을 접종하지 않고 살균하지 않는 무접종 무살균처리구로 나누어 재배실험하였으며 이때 살균방법은 자외선-광촉매 살균장치를 이용하여 양액을 재순환하여 재배하였다. 처리내용은 표 25와 같다.

표 25. 토마토 재배시 각 베드내 배지의 처리내용과 배양액

처 리 방 법	재배방식	배양액처방	살균방법
균접종후광촉매살균 균접종후 무살균 균무접종 무살균	순환식 펄라이트경	야마자키표준액	UV-TiO2 광촉매

Ralstonia solanacearum(KACC10475)을 농업과학기술원으로부터 분양 받아 배양하였다. 세균의 배양은 LB Medium (pH 7.0, 37℃), King's B Medium (pH 7.2, 27℃)에서 24hr 진탕 배양하였다.

배양된 균은 표 26과 같이 1차 및 2차 접종을 실시하였다.

토마토의 재배는 표 27과 같은 방법으로 시행하였으며 1999년 6월 29일에 정식하여 100일간에 걸쳐 재배 수확하여 그 결과를 산출하였다.

표 26. 풋마름병균 접종

균 주	1차 접종 (7월31일)	2차 접종 (9월1일)
풋마름병균 (*Ralstonia solanacearum*)	양액내 접종 순환공급	C반복구 근권식상후 접종

표 27. 토마토 재배방법

정식일	재식거리	수확기간	수 확 화방수	생 장 촉 진 제
6월21일	180×18cm (3,000주/10a)	8.2 8.26	4	GA수용제 40ppm을 화방내 개화시 2-3일간격으로 살포

시험구 배치 : 난괴법 3반복

제 3 절 토마토 재배 결과

6.3.1. 생육상황

양액조제시 pH를 5.5 6.5 수준으로 보정하여 6일 경과후 pH측정시 6.5 6.8 수준으로 나타났고 EC는 1.2mS/㎠수준으로 공급하여 매일 측정한 결과 1.1 1.2 수준으로 큰 변화가 없었다.

초장 및 절간장, 과생육과 가용성 고형물 함량 등은 처리간 차이가 없었다. 초기 10a당 수량은 1,580 1,674kg으로 유의적인 차이가 없었다.

표 28. 정식시 묘소질 조사

초장 (cm)	엽수 (매)	절간장 (cm)	최대엽(cm)		근장 (cm)	경경 (cm)	지상부생육			지하부생육		
			장	폭			생체중 (g/10주)	건물중 (g/10주)	수분 함량 (%)	생체중 (g/10주)	건물중 (g/10주)	수분 함량 (%)
22.0	4.4	5.0	3.7	2.4	10.8	3.2	30.6	3.0	90.2	32.2	2.6	91.9

표 29. 토마토 줄기생육 현황

처 리 별	초 장 (20절/cm)	절간장 (cm)	최대엽(cm)		경 경 (mm)	생근중 (g/주)
			장	폭		
균접종후광촉매살균	111	5.6	39.7	35.7	14.4	196
균접종후무살균	95	4.8	43.7	36.3	13.9	161
균무접종무살균	120	6.0	38.6	33.6	14.7	165

표 30. 토마토 처리구별 과 생육 특성과 수확량

처 리 별	과장 (mm)	과폭 (mm)	과형지수	과 중 (g/10개)	과육두께 (cm)	가용성 고형물 (%Bx)
균접종후광촉매살균	31.9	32.7	98	188	0.6	6.7
균접종후무살균	31.5	33.8	93	195	0.6	6.7
균무접종무살균	31.3	32.7	96	180	0.6	6.8

처 리 별	주당과수 (개)		주당수량 (g)		상품과율 (%)		수 량 (kg/10a)		상품수량지수
	계	상품	계	상품	과수	과중	계	상품	
균접종후광촉매살균	46.7	33.9	627	513	73	82	1,930	1,580	94
균접종후무살균	46.3	33.1	627	516	71	82	1,931	1,590	95
균무접종무살균	49.6	35.9	661	543	72	82	2,035	1,674	100

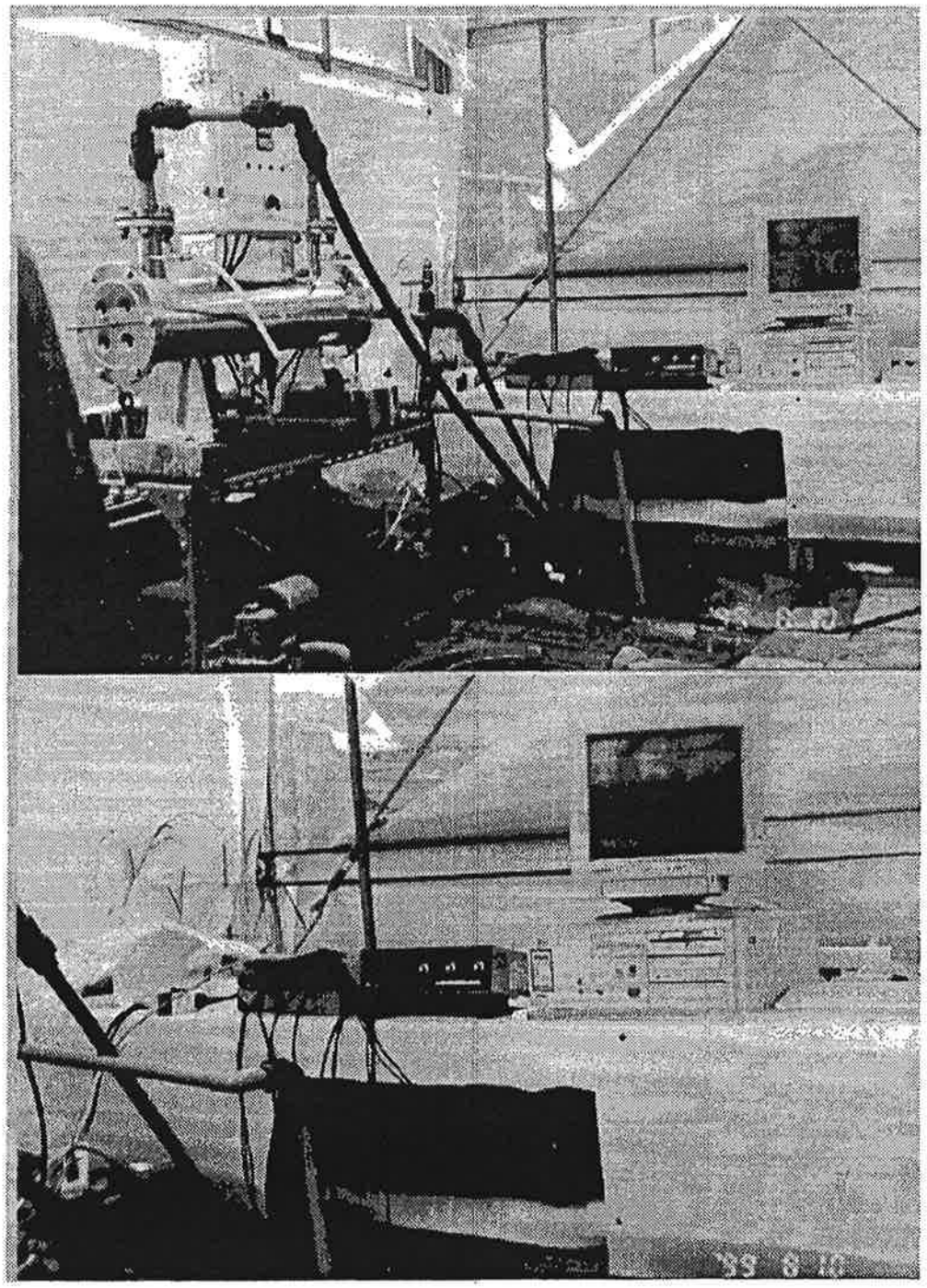


그림 19. 토마토 시험장에 설치된 살균장치와 성분분석장치

그림 20. 토마토 오이시험 유리하우스

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

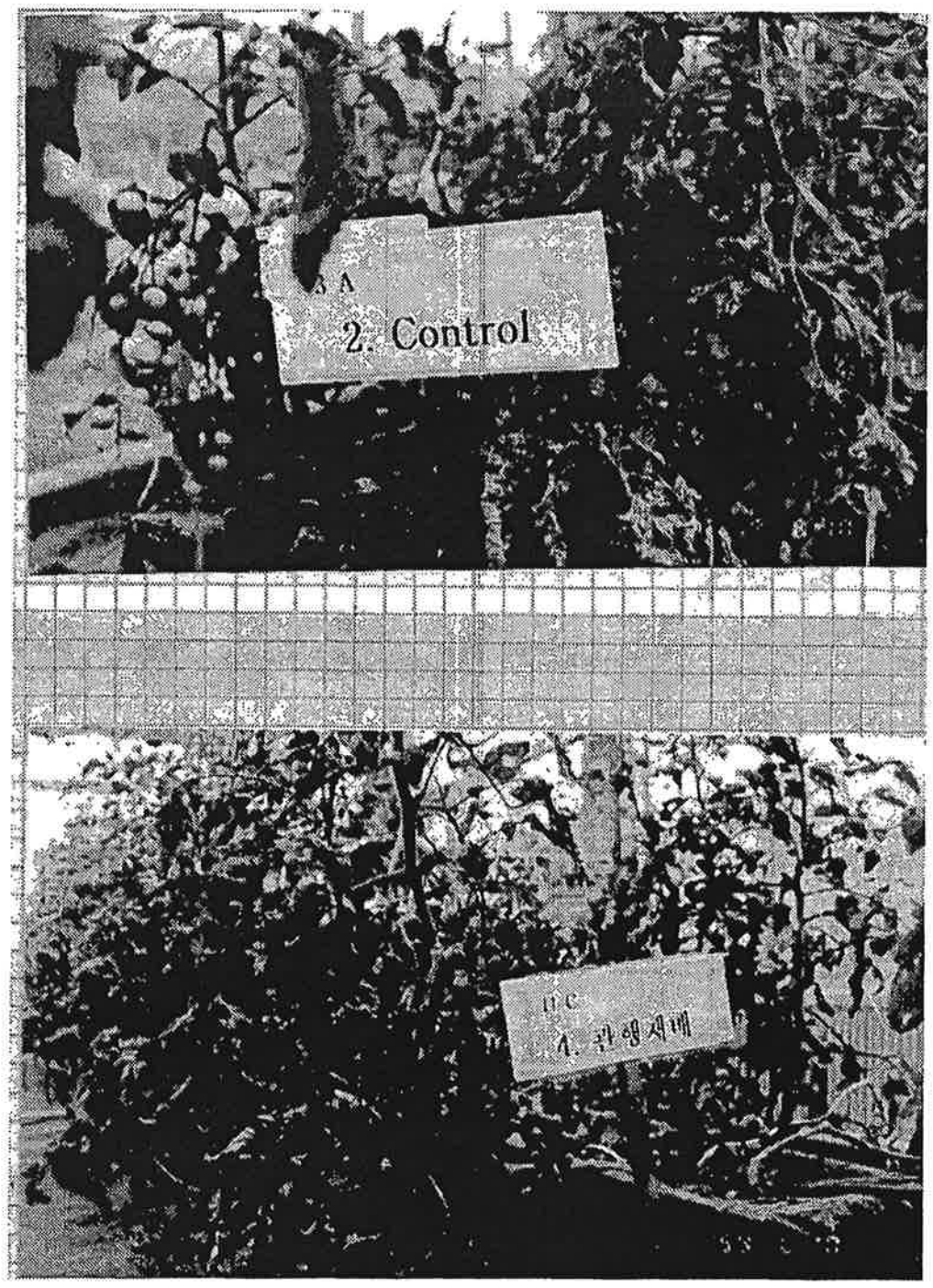


그림 21. 관행재배와 대조군 베드의 토마토 재배 생육상태

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

그림 22. 자외선-광촉매에 의한 양액살균재배와 대조군 재배의 토마토 생육 현황

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

그림 23. 오존살균에 의한 양액살균재배와 대조군 재배의 토마토 생육 현황

자료출처 : 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 시스템개발 / 농림부

6.3.2. pH 및 EC변화

양액조제시 5. 5 6.5 수준으로 보정하고 초기농도에서 변화량을 pH 측정기로 5일간 연속 측정하였다.

표 31. 토마토 재배시 양액의 pH 변화

처 리 별	9.15	9.16	9.17	9.18	9.20
균접종후광촉매살균	5.7	6.3	6.2	6.4	6.6
균접종후무살균	5.9	6.4	6.5	6.7	6.8
균무접종무살균	5.8	6.3	6.4	6.3	6.5

전기전도도의 측정은 양액조제시 1.2 수준으로 보정하여 조절한 후 5일간 일별로 연속측정한 후 평균값을 취하여 비교하였다.

표 32. 토마토 재배시 전기전도도의 변화

처 리 별	9.15	9.16	9.17	9.18	9.20
균접종후광촉매살균	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2
균접종후무살균	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1
균무접종무살균	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2

6.3.3. 양액내 이온변화

표 33. 토마토 양액 재배시 TiO2 광촉매 살균에 따른 이온별 변화

이온별	9. 15	9. 16	9. 17	9. 18
K+	22	16	13	27
Na+	21	423	99	288
NO3-	0.5	4.5	3.8	21.0

6.3.4. *Ralstonia solanacearum*균 접종후 변화

*Ralstonia solanacearum*균 접종 후 신초부위의 육안 병징 발현은 균 접종 후 무살균 처리구에서는 18.9%였으나 균접종후 광촉매살균구는 2.7%로 떨어졌고 2차 균접종후 지저부 줄기도관부 갈변도의 육안 조사에서는 균접종후 무살균 처리구에서 40%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 20%로 낮게 나타났다.

지저부 줄기 침출액의 *Ralstonia solanacearum*균 분리 조사에서는 2차 균 접종후 무살균 처리구에서는 발병도가 24%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 발병도가 20%로 낮게 나타났다. 지상부 침출액에서는 균접종후 무살균 처리구에서 28%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 4%로 낮게 나타났다.

토마토 *Ralstonia solanacearum*균의 양액내 접종 후 식물체내 균밀도는 균접종 후 무살균 처리구에서는 전체평균이 148×10-5/g였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 22×10-5/g으로 낮게 나타났다. 양액내 균밀도는 균접종후 무살균 처리구에서 전체평균이 190×10-3/㎖였으나 균접종후 광촉매살균구에서 18×10-3/㎖로 낮아 양액살균 효과가 있음을 알 수 있었다.

표 34. 신초부위 병징 육안조사

처 리 별	1차접종후(9.1)			2차접종후(9.21)		
	조사 주수	병 징 발현주수	발병 주율	조사 주수	병 징 발현주수	발병 주율
균접종후광촉매살균	72	1	1.4	37	1	2.7
균접종후무살균	72	12	16.7	37	7	18.9
균무접종무살균	72	5	6.9	37	3	8.1

그림 24. 병충해 유발균 접종후 살균재배에 의한 토마토의 지저부 줄기의 갈변상태

그림 25. 병충해 유발균 접종후 무살균재배에 의한 토마토의 지저부 줄기의 갈변상태

그림 26. 병충해 유발균 무접종후 무살균재배에 의한 토마토의 지저부 줄기의 갈변상태

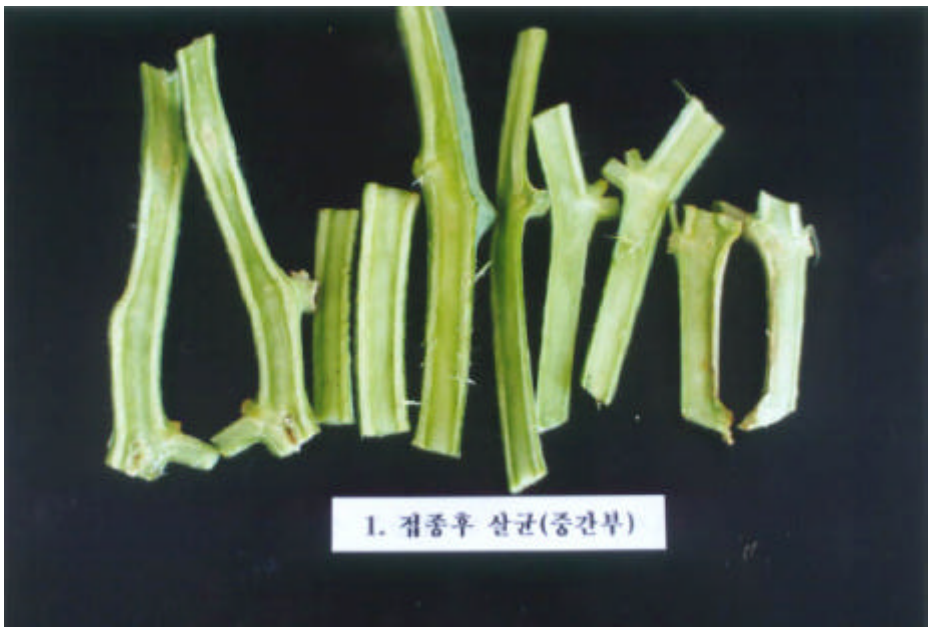


그림 27. 병충해 유발균 접종후 살균재배에 의한 토마토의 중간부 줄기의 갈변상태

그림 28. 병충해 유발균 접종후 무살균재배에 의한 토마토의 중간부 줄기의 갈변상태

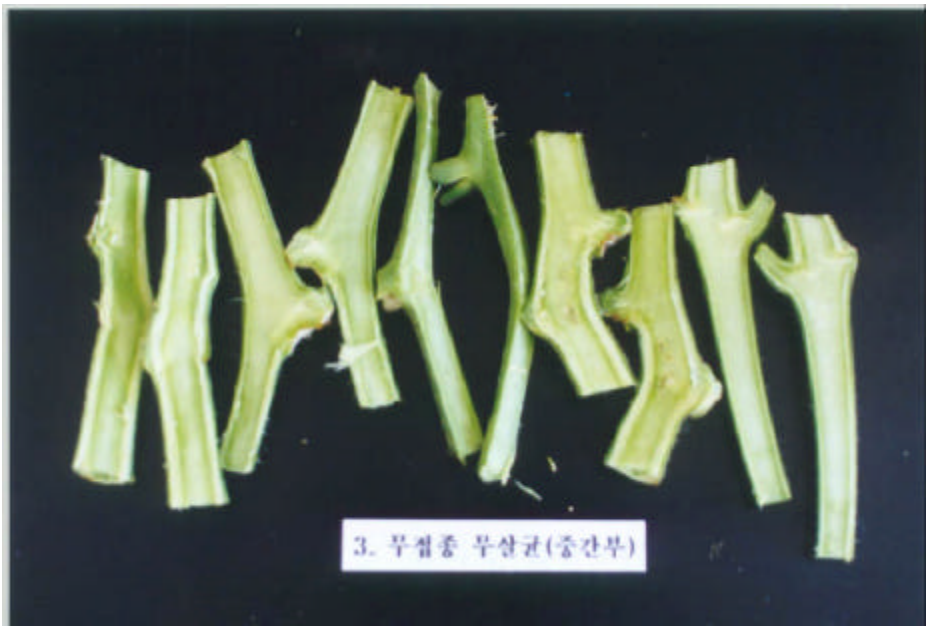


그림 29. 병충해 유발균 무접종후 무살균재배에 의한 토마토의 중간부 줄기의 갈변상태

표 35. 지저부 줄기 도관 갈변도 육안조사

처 리 별	1차접종후(9.1)				2차접종후(9.21)			
	조사 주수	갈변 주수	비율 (%)	발병도 (%)	조사 주수	갈변 주수	비율 (%)	발병도 (%)
균접종후광촉매살균	5	2	40	12	5	3	60	20
균접종후무살균	5	4	80	36	5	5	100	40
균무접종무살균	5	2	40	8	5	3	60	20

표 36. 지상부 줄기 도관 갈변도 육안 조사

처 리 별	1 차 접 종 후 (9. 1)			
	조사주수	갈변주수	비 율 (%)	발병도 (%)
균접종후광촉매살균	5	1	20	4
균접종후무살균	5	3	60	16
균무접종무살균	5	0	0	0

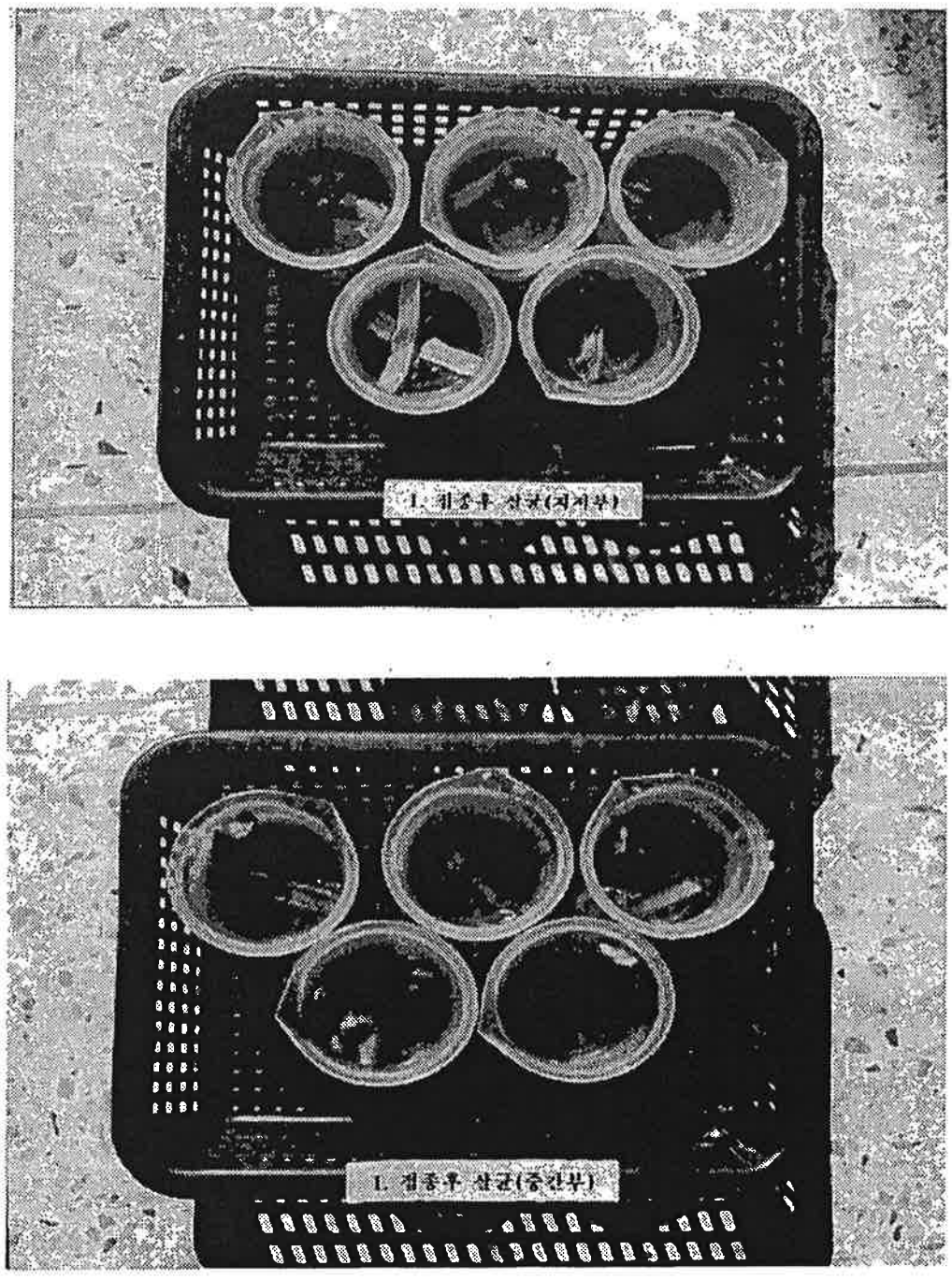


그림 30. Ralstonia solanacearum 균 접종후 광촉매-자외선에 의한 양액살균 재배된 토마토 줄기의 중간부 줄기(상) 지저부 줄기(하)의 침출액 균 분리 육안조사

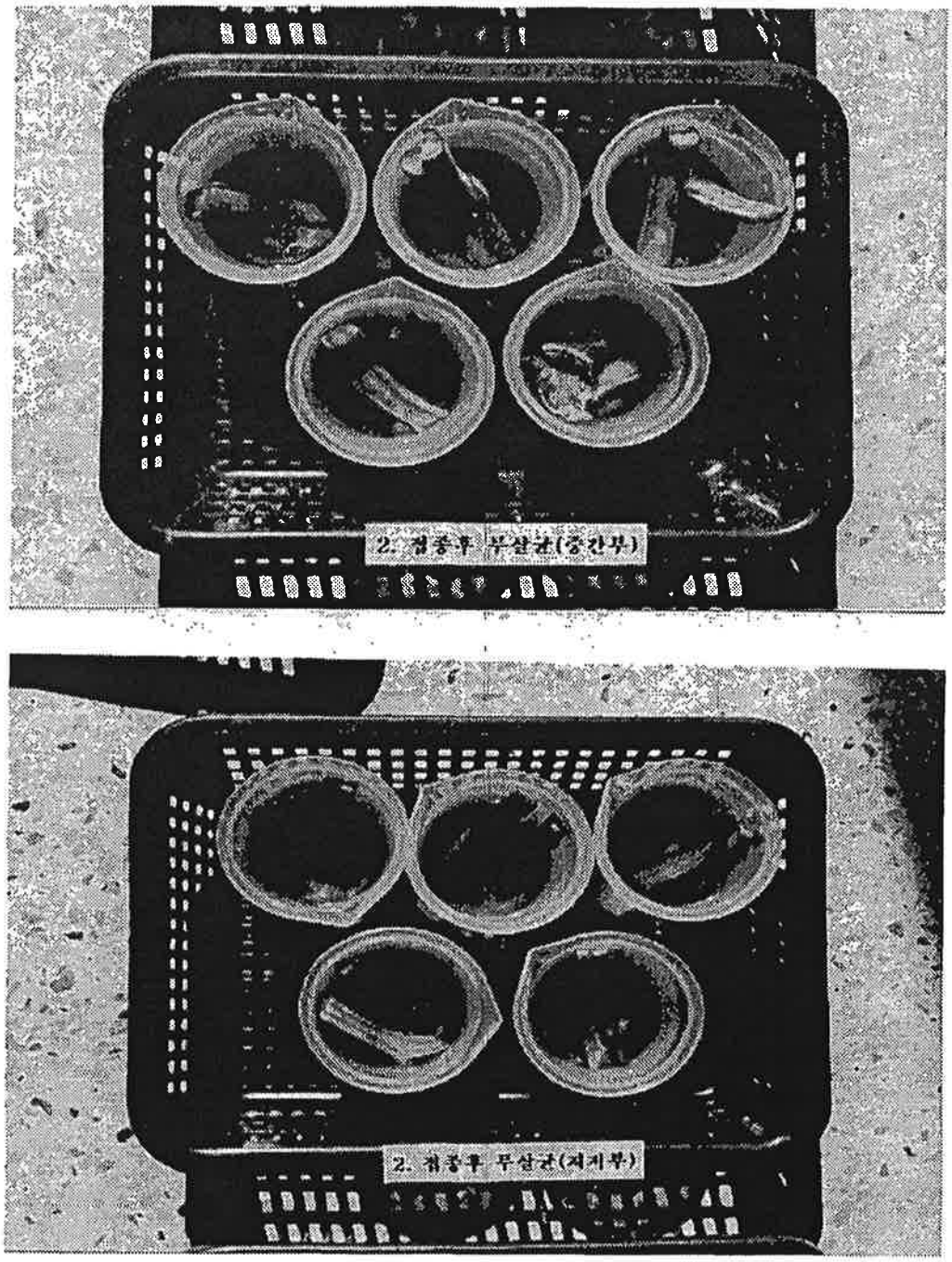


그림 31. Ralstonia solanacearum 균 접종후 무살균 재배된 토마토 줄기의 중간부 줄기(상) 지저부 줄기(하)의 침출액 균 분리 육안조사

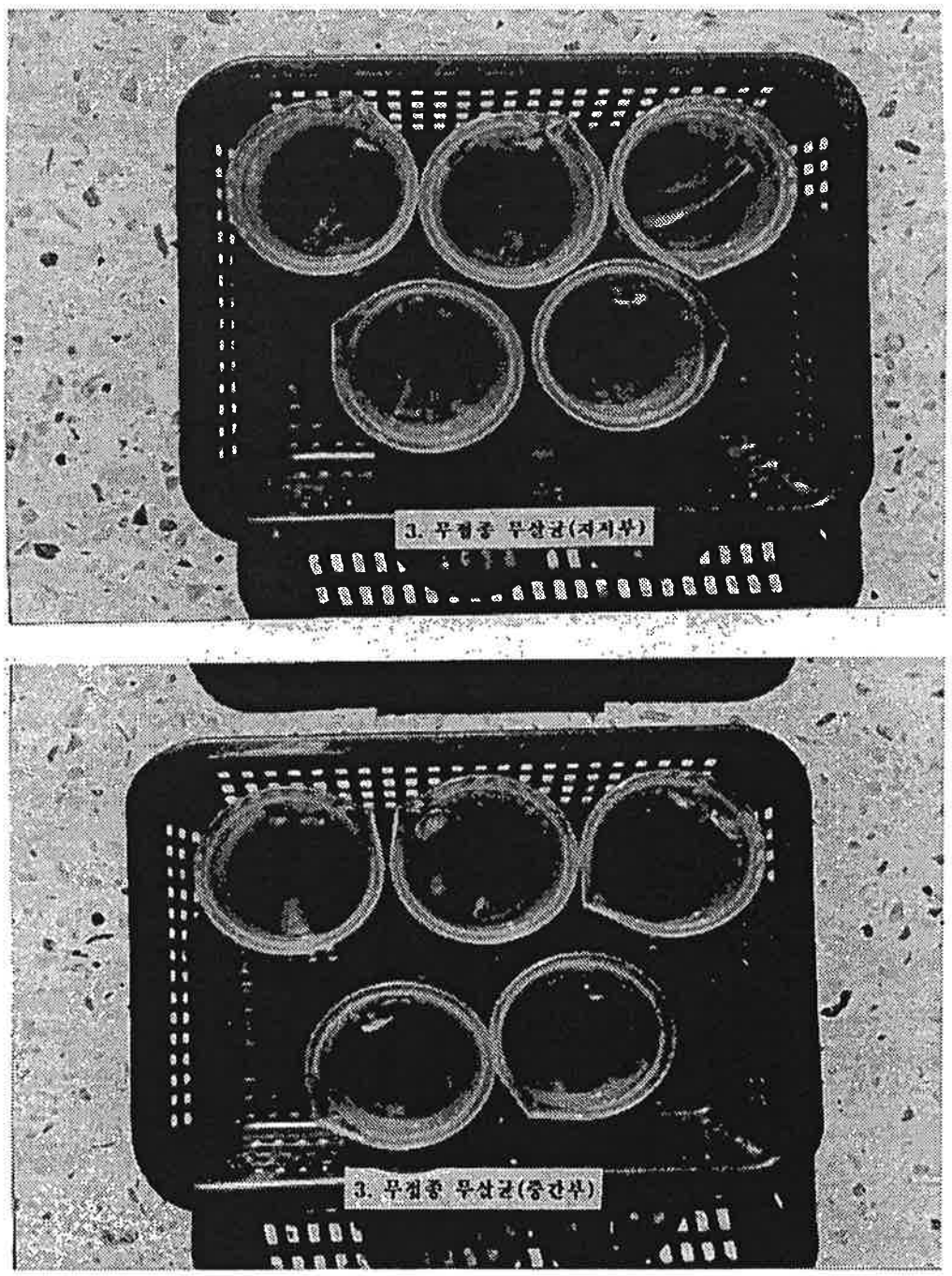


그림 32. Ralstonia solanacearum 균 무접종후 무살균재배된 토마토 줄기의 중간부 줄기(상) 지저부 줄기(하)의 침출액 균 분리 육안조사

표 37. 지저부 줄기 침출액 Ralstonia solanacearum균 분리 육안조사

처 리 별	1차접종후(9.1)				2차접종후(9.21)			
	조사 주수	분리 주수	비율 (%)	발병도 (%)	조사 주수	갈변 주수	비율 (%)	발병도 (%)
균접종후광촉매살균	5	2	40	16	5	3	60	20
균접종후무살균	5	5	100	44	5	4	80	24
균무접종무살균	5	4	80	4	5	2	40	12

표 38. 지상부 줄기 침출액 Ralstonia solanacearum균 분리 육안조사

처 리 별	1차접종후(9.1)				2차접종후(9.21)			
	조사 주수	분리 주수	비율 (%)	발병도 (%)	조사 주수	갈변 주수	비율 (%)	발병도 (%)
균접종후광촉매살균	5	1	20	4	-	-	-	-
균접종후무살균	5	4	80	28	-	-	-	-
균무접종무살균	5	2	40	16	-	-	-	-

6.3.5. 토마토 *Ralstonia solanacearum*균의 분리 밀도조사

표 39. 발병주율조사

처 리 별	양액내 접종			양액내 접종후 근권 식상 접종		
	조사주수	분리주수	비율 (%)	조사주수	분리주수	비율 (%)
균접종후광촉매살균	5	2	40	5	2	40
균접종후무살균	5	4	80	5	4	80
균무접종무살균	5	0	0	5	0	0

표 40. *Ralstonia solanacearum*균의 분리 밀도조사

처 리 별	양액내 접종후(10-5/g)		양액내 접종후 근권 식상 접종후(10-5/g)		양액내균 밀도 (10-3/㎖)
	분리주평균	전체평균	분리주평균	전체평균	
균접종후광촉매살균	56	22	308	123	18
균접종후무살균	185	148	171	103	190
균무접종무살균	0	0	0	0	0

6.3.6. 토마토 *Ralstonia solanacearum*균 멸균효과

400 L의 양액에 분광광도기로 600 nm에서 흡광도 0.8의 *Ralstonia solanacearum*균(4.0×107 cells/mL)을 접종한 후 각각의 처리구에서 24시간 순환시킨 후 시료를 채취하여 비교한 결과 균접종후 광촉매살균을 행한 처리구에서는 3.1×101 cells/mL의 세균이 생존하였으며 균접종후 무살균구에서는 2.8×105 cells/mL이 생존하였다. 반면, 무접종 무살균구의 경우 2.0×102 cells/mL를 확인 할 수 있었다. 균접종후 광촉매살균을 행한 처리구에서 베드를 순환한 양액의 세균수를 확인한 결과 6.0×103 cells/mL임을 확인 할 수 있었다. 이는 이병배지를 사용한 것으로 이병배지내 균의 수로 사료된다.

표 41. 토마토 *Ralstonia solanacearum*균 멸균효과

처 리 별	*Ralstonia solanacearum*균 살균효과
	4.0×10⁴cells/mL
균접종후광촉매살균	50 cells/mL
균접종후무살균	2,000 cells/mL
균무접종무살균	200 cells/mL

제 4 절 결과 요약

가. 초장 및 절간장, 과생육과 가용성 고형물 함량 등은 처리간 차이가 없었다.

나. 초기 10a당 수량은 1,580 1,674kg으로 유의적인 차이가 없었다.

다. 양액조제시 pH를 5.5 6.5 수준으로 보정하여 6일 경과후 pH측정시 6.5 6.8 수준으로 나타났고 EC는 1.2mS/㎠수준으로 공급하여 매일 측정한 결과 1.1 1.2 수준으로 큰 변화가 없었다.

라. *Ralstonia solanacearum*균 접종 후 신초부위의 육안 병징 발현은 균 접종 후 무살균 처리구에서는 18.9%였으나 균접종후 광촉매살균구는 2.7%로 떨어졌고 2차 균접종후 지저부 줄기 도관부 갈변도의 육안 조사에서는 균접종후 무살균 처리구에서 40%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 20%로 낮게 나타났다.

마. 지저부 줄기 침출액의 *Ralstonia solanacearum*균 분리 조사에서는 2차 균 접종후 무살균 처리구에서는 발병도가 24%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 발병도가 20%로 낮게 나타났다. 지상부 침출액에서는 균접종후 무살균 처리구에서 28%였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 4%로 낮게 나타났다.

바. 토마토 *Ralstonia solanacearum*균의 양액내 접종 후 식물체내 균밀도는 균접종 후 무살균 처리구에서는 전체평균이 148×10-5/g였으나 균접종후 광촉매살균구에서는 22×10-5/g으로 낮게 나타났다. 양액내 균밀도는 균접종후 무살균 처리구에서 전체평균이 190×10-3/㎖였으나 균접종후 광촉매살균구에서 18×10-3/㎖로 낮아 양액살균 효과가 있음을 알 수 있었다.

제 7 장 기술 보급화 방안 및 제언

제 1 절 기술 보급화 방안

산업화에 따른 도시 및 공업지역과 농업지역과의 소득격차는 노동력의 도시집중화를 가속시켜 농촌노도력의 급격한 감소를 초래했으며 공업화에 따른 관개수와 토양 및 환경의 오염은 농업생산성과 농업생산품의 품질을 저하 시키는 요인이 되고 있다. 그러나 소비자의 욕구는 고품질의 저공해 농산품에 대한 욕구가 커지고 있어 농촌의 노동력 감소와 함께 재래식농업의 한계요인으로 대두대고 있다. 따라서 양액에 의한 무농약 시설원예에 의한 식물공장 형태의 농업이 주목을 받고 있다. 이러한 시점에서 양액재배에 의한 폐양액의 배출은 또다른 환경오염원이 되고 있다. 또한 양액재배시 수인성 전염에 의한 병충해는 농약에 의한 방제도 어려운 상태이고 그 전염속도가 양액을 통하여 전 시설원예 단지로 급속히 전염되기 때문에 이에 대한 대책이 시급한 상황이다. 따라서 본 연구는 이러한 시설원예 농가의 애로사항을 해결하는 방안으로서 활용되도록 기술보급을 하고자 한다.

기술보급방법에은 두가지 형태로 할 수 있는데 첫째는 기술을 공개하여 농가에서 기술을 직접활용하는 방안이며 둘째는 기술을 이전한 업체에서 대량생산으로 싼 값에 장비를 보급하는 방안이다.

첫 번째 방안은 특허를 공개하여 농가에서 누구나 쓸 수있도록 하더라도 기술을 보급하는데 현실적인 어려움이 있고 둘째 방안은 기

업에서 기술을 이용하여 상업화하여 보급할 때 얼마나 저가로 농가에 생산비 부담을 줄이며 보급하느냐의 문제도 있다.

본 연구의 참여기관인 한국냉각캔(주)에서는 본 연구에서 개발된 양액살균 및 재순환 장치를 보급하고 한다. 생산농가에 보다 신뢰성을 주기 위하여 수인성 병충해가 발생할 경우 일정 피해를 보상해주는 프로그램도 생각 할 수 있겠다. 또한 본 기술을 보급하는데 있어 정부의 지원도 절실히 요구되고 있다.

제 2 절 애로사항 및 향후 해결과제

본 과제수행시 겪었던 애로사항과 기술보급화에 따르는 상업화 등에 따르는 애로사항은 다음과 같다.

첫째, 선택적 이온전극에 의한 이온농도를 측정하는데 있어 이온전극이 고가이며 수명이 1년 이내로 짧아 장치의 가격 상승과 유지보수에 드는 비용이 크다. 장치에 사용된 전극은 pH, 전기전도도에 질산염 이온, 인산염이온, 칼륨이온, 황산염 이온, 경도측정 이온등이며 이중 pH 및 전기전도도를 제외한 전극은 선택적 투과막이 양액의 흐름속에 쉽게 손상되고 이를 재생하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 이들 전극은 수입제품으로 가격이 60만원에서 100만원대로 고가인 점도 이온농도에 의한 최적화 장치의 상업화에 장애로 보인다.

둘째, 폐양액을 1년정도 연속사용하면 황산염이 축적되어 농도가 높아진다는 점이다. 따라서 변에 한번은 폐양액을 수거하고 새로운

양액으로 교환하는 것이 요구된다.

셋째, 자외선-광촉매가 10,000시간정도 사용되면 램프를 교환하고 석영관을 닦아 주어야 한다. 그림 33과 같이 약 1년 정도 사용된 석연관은 스케일이 형성되는 데 이들 성분은 탄산염으로 밝혀 졌다. 이러한 스케일은 비누나 에탄올에 의하여 세척되는데 상업화가 이루어지면 1년에 한번의 관리가 요구된다.

넷째, 상업화를 위해서는 양액재배농가의 수가 많아 장치를 대량 생산하여 보급해야 한다. 그러나 국내의 양액재배농가의 재배면적이 96년 현재 275ha[17]로 아직 보급단계에 있어 수출상품으로 개발되어 수출을 해야 생산단가를 낮출 수 있을 것으로 보인다. 따라서 외국의 시장현황과 요구상황을 정확히 수집하여 제작시 이를 반영해야 할 것으로 사료된다.

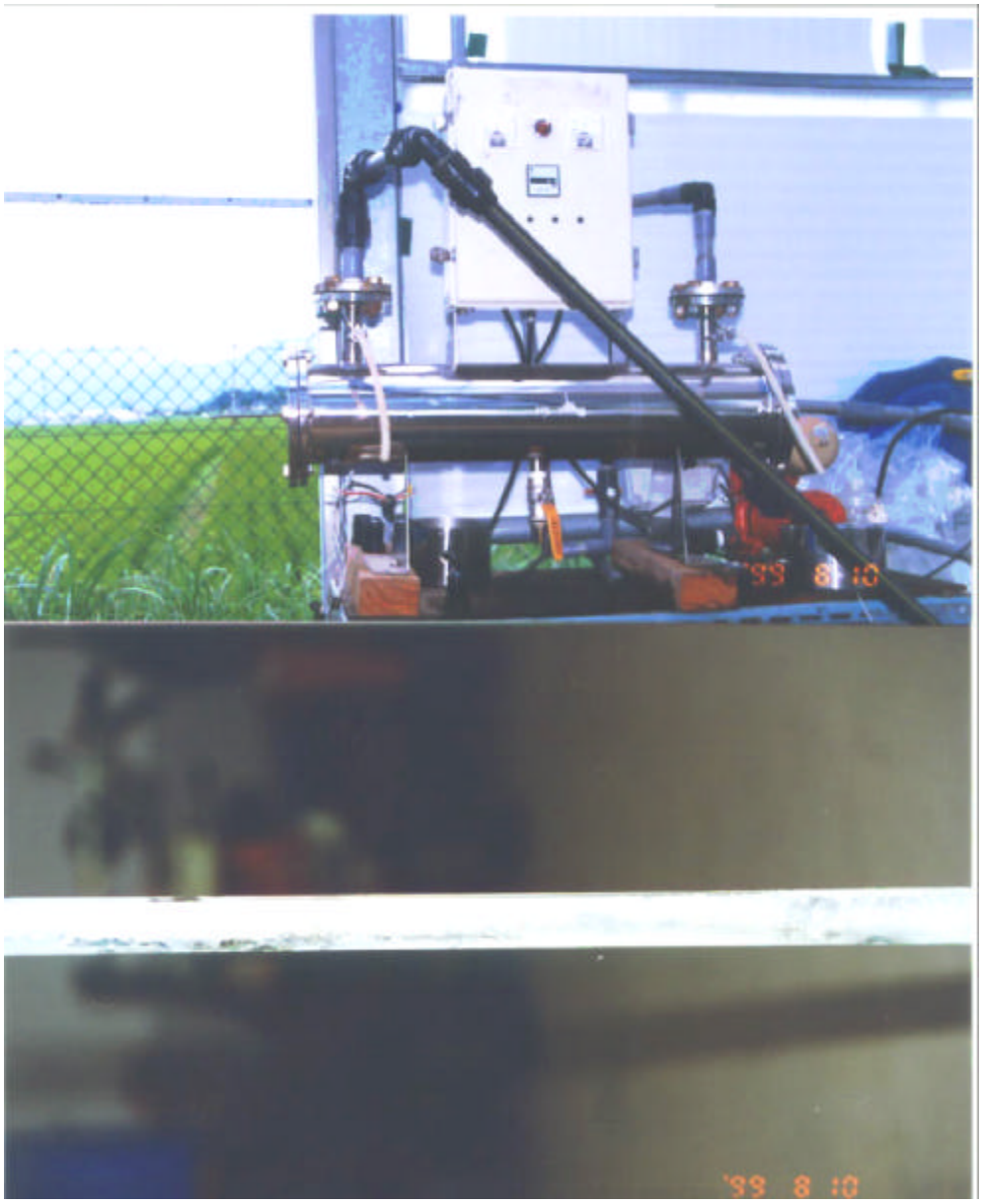


그림 33. 광촉매 석경관에 사용 1년 경과 후의 스케일 형성 사진

참 고 문 헌

1. Muller, K. R., Ed. *Chemical Waste. Handling and Treatment*; Springer Verlag : Berlin, 1986.
2. Glaze, W. H. *Envir. Sci. Tech.*. 1987, *21*, 224.
3. Kearney, P. C.; Muldoon, M. T.; Somich, C. J.; Ruth, J. M.; Voaden, D. J. *J. Agric. Food Chem*. 1988, *36*, 1301.
4. Pelizzetti, E ; Maurino, V.; Minero, C.; Carlin, V.; Pramauro, E. ; Zebinati, O.; Tosato, M. L. *Envir. Sci. Tech.*. 1990, *24*, 1559.
5. Zika, K. G.; Cooper, W. J., Eds. *Photochemistry cf Environmental Aquatic Systems*; ACS Symposium Series 327; Amer. Chem. Soc.; Washington DC, 1987.
6. Marcus, R. A.; Sutin, N. *Biochem. Bicphys. Acta* 1985, *811*, 265.
7. Kormann, C.; Bahnemann, D. W.; Hoffmann, M. R. *Envir. Sci. Tech.*. 1988, *22*, 798.
8. Hidaka, H.; Zhao, J.; Kitamura, K.; Nohara, K. *J. Photochem. Photobiol. A : Chem*. 1992, *64*, 103.
9. Vinodgopal, K.; Stafford, U.; Gray, K. A.; Kamat, P. V. *J. Phys. Chem*. 1994, *98*, 6797.
10. Kim, D. H. ; Anderson, M. A. *Envir. Sci. Tech.*. 1994, *28*, 479.
11. Lepore, G.; Langford, C. H. *Water Pollut. Res. J. Can.* 1989, *24*, 537.
12. Mao, Y.; Schoneich, C.; Asmus, K. D. *J. Phys. Chem*. 1991, *95*, 80.

13. Sabin, F.; Turk, T.; Vogler, A. *J. Photochem. Photobiol. A : Chem.* 1992, *63*, 99.
14. Ireland, J. C.; Klostermann, P.; Rice, E. W.; Clark, R. M. *Appl. Environ. Microbiol.* 1993, *89*, 1861.
15. Sjogren, J. C.; Sierka, R. A. *Appl. Environ. Microbiol.* 1994, *60*, 344.
16. Suzuki, K. *Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*; Ollis, D. F., Al-Ekabi, H., Eds.; Elsevier : Amsterdam, 1993.
17. **박권우, 김영식, "양액재배", 아카데미서적**, 1998