

631.58

L293d

v.2

최 종
연구보고서

양어와 채소수경의 복합영농에 관한 농가실증시험

On-site Trial for Complex Farming with
Aquaculture and Vegetable Nutrient Culture

연구기관
경기도내수면개발시험장

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “양어와 채소수경의 복합영농에 관한 농가실증시험”의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 12. .

주관연구기관명 : 경기도내수면개발시험장

총괄연구책임자 : 홍 상 근

연구원 : 홍 석 우

연구원 : 배 용 수

연구원 : 강 용 구

연구원 : 이 준 구

연구원 : 최 원 석

연구원 : 김 진 아

연구원 : 정 풍 현

협동연구기관명 : 경기도농촌진흥원

협동연구책임자 : 김 기 덕

요 약 문

I. 제 목 : 양어와 채소수경의 복합영농에 관한 농가실증시험

II. 연구개발의 목적 및 중요성

식생활패턴변화와 국민보건적 요구도가 증가함에 따라 수산물 및 청정 채소에 대한 요구가 급증하고 있어 내수면양어시설과 수경재배시설이 증가하고 있는 추세이다. 한편 석유에너지의 사용에 따른 환경오염문제가 대두되고 있으며 또한 난방연료가격상등에 의한 생산비상승으로 고심하고 있는 실정이다.

그런데 양어시설이나 수경재배시설 공히 막대한 시설비가 투자되며 겨울철 난방을 해야하는데, 이러한 시설에서 양어시설은 지상 1m내외로 활용하는데 반해 수경재배는 지상위 1m부위를 활용하고 있으며 양어시설은 난방비를 최대한 절감하고 용수를 절약하는 고밀도 순환여과방식에서 고형물과 무기성분을 제거하는 여과시설이 필요하고, 수경재배에서는 무기양분의 공급이 필요하므로 이 두가지의 시설을 한시설내 통합도입하므로써 공간이용극대화, 난방비 절약 및 시설내 환경의 조화를 통하여 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

양어와 채소수경재배의 복합영농을 꾀하는 데 따른 시설형태를 개발하고, 복합영농시설의 특이한 환경에 대한 채소작물의 생육반응 및 틸라피아의 성장반응을 검토하여 복합영농어시설에 적합한 운영체계를 구축하고자 하였다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1) 양어/수경복합영농시설에 적합한 수로형양어시설의 개발

고설식 수경재배시설에 적합한 양어시설의 구조를 고안하고 간이시설에서의 사육수의 환경조건, 틸라피아 성장도 조사를 통한 복합영농어가능성을 검토하였다.

2) 양어/수경복합영농시설에 도입가능한 업체류의 선발

복합영농시설에서의 특이적 미기상 환경을 파악하고 이 환경에서의 연중재배가능한 업체류를 선발하고자 하였다.

3) 양어/수경복합영농시설에서의 양어사육수의 수경재배원수로의 이용법개발

수경재배방식별 미나리생육 및 사육수 여과효과를 검토하여 사육수의 여과효과가 우수하고 작물생육도 양호한 수경재배방식을 선정하고자 하였다.

4) 양어/수경복합영농에 대한 경제성 분석 및 양어수경시설 표준모델설정

동일한 시설내에서의 양어수경복합영농법을 적용, 틸라피아 사육 및 미나리재배시 경제적 타당성을 검토하고 양어수경시설의 표준모델을 설정하고자 하였다.

Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1) 수경재배시설과 양어시설의 형태의 공통점과 상이점을 고려하여 폭 2m, 높이 1m, 길이 18m의 수로형 사육시설을 설계하여 설치하고 사육조위에 수경베드를 설치하여 밑에서는 틸라피아 사육을, 위에서는 채소수경재배를 수행할 수 있어 공간이용이 효율적이었다. 사육수의 수질은 사육하는데 이상없이 유지되었고 간이수로형 시설에서의 틸라피아의 성장은

원형사육시설에서의 그것과 대등하였다. 따라서 수경재배시설에 수용할 수 있는 양어시설은 수경재배시설의 형태에 걸맞는 수로형이 무난하며 사육환경이 정상적이므로 수로형 사육시설의 도입이 가능하다는 것이 입증되었다.

2) 양어수경복합영농시설은 실내에 가온을 하는 사육수가 있기 때문에 온도가 다소 안정하고 공기의 습도가 높았다. 연중생산체계를 도입하고자 할 경우 고온기 여름철 재배시 병발생이 우려되므로 이를 극복할 수 있을 뿐 아니라 생육도 양호한 미나리가 가장 적절한 것으로 판단되었다.

3) 사육수의 pH 및 EC 는 큰 변화가 없이 안정적이었으며, EC가 0.3~0.5dS/m로 양액표준보다 매우 낮은 편이지만, 미나리 수경재배시 양액수경미나리의 생육과 대등하였으며, 미나리 수경재배에 의해 사육수의 정화효과가 있음을 확인하였다.

4) 양어사육수사경시 사육수의 용존영양분이 작물수경재배시보다 낮음에도 불구하고 추가적인 비료성분의 공급없이 생육이 정상적으로 이뤄졌는데, 모래배지내에서의 유기물의 분해작용에 의해서 영양성분이 공급되고 있다는 것을 배지내의 미생물활성으로부터 미루어 짐작할 수 있었다.

5) 영농시설이 100평규모의 경우, 원형사육시설에서 틸라피아사육시 수익률이 22.4%이고, 미나리 단독수경재배에서 수익률이 20.0%이나 양어수경복합영농시설에서 수익률은 32.3%로 크게 향상시킬수 있는 것으로 분석되었는데 이는 이 시설의 공간효율적 이용과 연료비 절감으로부터 오는 잇점에 의한 것으로 판단되었다.

6) 양어수경복합영농시설에서 적합한 시설은 수경재배베드는 폭 2m로 하여 양쪽에서 1m씩 관리하도록 설치하였을 때 재배관리에 불편이 있었고 베드중앙부위가 아래로 구부러지는 등의 문제점이 있어, 이를 보완한 높이 1m내외, 폭 1.4m, 길이 15~20m정도의 형태로, 기둥재질은 펜타이트파이프, 사육조는 PP판넬(두께5mm)을 사용하고 biofilter배지는 모래 10cm정도를 채우고, 베드중앙부 밑에 타공관을 설치하여 급배수시키도록 하였다. 기둥 및 측판의 재료를 펜타이트파이프와 PP판넬을 이용하도록 하는 수로형 양어수경복합시설의 구조를 개선하였다.

활용에 대한 건의 : 대부분의 기존의 순환식양어시설은 영세성을 면치 못하며 시설환경이 열악하다. 한편 수경재배는 계속증가하는 추세에 있으므로 새로이 영농하고자 하는 농민에게 양어/수경복합영농기술을 지도하고 특화지역을 구성하는 등 시설을 지원하여 소득증대를 도모하고, 양어수경복합영농시스템은 특허를 득하여 시설보급의 체계를 확립하고 농촌지도반영자료로 활용토록 한다.

Summary

In order to develop of facility for complex farming of aquaculture and vegetable nutrient culture and to investigate growth of tilapia and water quality during in the channel type aquaculture system, these experiments were carried out.

Channel type aquaculture system was tested, which was made of polypropylene sheets, and the system was composed of aquaculture bed (width 2m x height 1m x length 19m) and filtering bed of similar size. Reared tilapia, quality of culture water and growth of tilapia were normal. Fish production and biofiltration provided by sand cultured waterdropwort (*Oenanthe stolonifera* DC.) were linked in a closed system of recirculating water. Waterdropwort was irrigated with water drawn from the tilapia tank and drainage from the 5 cm deep sand beds was returned to the fish tank.

And the growth of tilapia in the channel type and round type aquaculture system was much the same. When width of nutrient culture bed was 2m, there were more or less inconvenience in working of vegetable nutrient culture and aquaculture.

Channel type aquaculture facilities was applicable to the complex farming of aquaculture and vegetable nutrient culture. The feasibility of an integrated, recirculatory system for concurrent production of waterdropwort and fish with no additional fertilization application was demonstrated. The temperature, pH and EC of aquacultureal water was stable, and for year-round production in the integrated system, an

excellent crop is waterdropwort.

CO₂ concentration of the integrated culture system was higher than that of outside.

Microbial activity of the biofilterbed supplemented by aquacultural water was higher than that of biofilterbed supplemented by tapwater.

Improvement Channel type aquaculture/hydroponics integrated system was developed, which was made of polypropylene sheets, and the system was composed of aquaculture/aquaculture facility (width 1.4m x height 0.8m x length (20~25m)).

When A comparative analysis of economic efficiency on the crop production system for waterdropwort hydroponics, tilapia aquaculture, and integrated system with both of them, income rate of integrated system was very higher than single system of them, its rate was 32.3%, 20.0%, and 22.4, respectively.

CONTENTS

Chapter I. Introduction-----	15
Chapter II. Materials and methods-----	18
Section 1. Development of aquaculture system for complex farming of aquaculture and vegetable nutrient culture	18
A. Facility of vegetable nutrient culture -----	18
B. Development of aquaculture system for complex farming of aquaculture and vegetable nutrient culture-----	19
C. Investigation of filtering system of aquaculture water in the channel type aquaculture bed-----	22
Section 2. Selection of appropriate leafy vegetables for complex farming system-----	26
Section 3. Investigation of the growth of <i>tilapia</i> in the complex farming system-----	28
Section 4. Water pollution toxicity in a recirculating water system without filter bed -----	29
Section 5. Sand culture of waterdropwort using recirculating fish cultural water-----	29
A. Sand culture of waterdropwort using recirculating fish cultural water-----	29
1) Growth of waterdropwort by culture media-----	29
2) Effect of depth of sand bed on the waterdropwort and the microbial activity-----	30
B. Effect of biofilter bed on the growth of waterdropwort and aquaculture water quality -----	32

Section 6. Microclimate in the plastic house for integrated system with tilapia culture and waterdropwort sand culture	---34
Chapter 3. Results and discussion	-----35
Section 1. Development of aquaculture system for complex farming of aquaculture and vegetable nutrient culture	--35
A. Facility of vegetable nutrient culture	-----35
B. Development of aquaculture system for complex farming of aquaculture and vegetable nutrient culture	-----37
C. <i>Tilapia</i> culture in the recirculating system with biofilterbed	--38
1) Investigation of filtering system of aquaculture water in the channel type aquaculture bed	-----38
2) Water quality and growth of tilapia in the complex farming system	-----41
Section 2. Water quality and growth of tilapia in the recirculating aquacultural system with biofilter bed	-----44
Section 3. Water pollution toxicity in a recirculating water system without filter bed	-----49
Section 4. Selection of appropriate leafy vegetables for complex farming system	-----51
Section 5. Studies on the utilization of the aquaculture water for waterdropwort in sandponics	-----54
A. Growth of waterdropwort grown in the biofilterbed using aquacultural water	-----54
B. Filtering by the biofilterbed cultured waterdropwort	-----64
C. Changes of pH and EC of the water in the recirculating	

system with aquaculture and waterdropwort sandculture---	66
D. Uptake of inorganic nutrients and dry matter(%) of	
waterdropwort grown the biofilterbed -----	68
E. Sand culture of waterdropwort using recirculating fish cultural	
water-----	71
Section 6. Effect of biofilter bed on the growth of waterdropwort	
and aquaculture water quality -----	81
Section 7. Microclimate in the plastic house for integrated system	
with tilapia culture and waterdropwort sand culture ---	96
Section 8. Improvement of construction of system for the integrated	
farming with aquaculture and vegetable hydroponics---	103
Section 9. Economic annalysis of nutrient culture of waterdropwort,	
fish culture, and integrated system with both of them-	106
Chapter 4. Comprehensive discussion-----	110
Chapter 5. Conclusions -----	118
Literature cited-----	120
Appendix-----	131

목 차

제 1 장 서 론	15
제 2 장 재료 및 방법	18
제 1 절 양어/수경복합영농어시설에 적합한 양어, 수경시설의 개발	18
가. 수경재배시설	18
나. 수경재배에 적합한 순환여과식 수로형양어시설의 개발	19
1) 수로형 사육시설	19
2) 침전조 및 여과조의 설치	20
3) 폭기, 사육수 가온 및 사육수의 순환	21
4) 지하수의 개발	22
5) 발전기 설치	22
다. 수로형사육조시설에서의 적정여과방식의 구명	22
1) 간이시설에서의 적정여과방식의 구명	22
2) 수로형사육조시설에서의 양어의 사육에 적합한 순환방식의 구명	26
3) 수로형 사육시설과 원형사육조시설에서의 틸라피아의 성장도 비교	26
제 2 절 양어/수경복합영농어시설에 적합한 업체류의 선발	26
제 3 절 양어/수경복합영농어 시설에서의 틸라피아의 성장도	28
제 4 절 무여과사육시 수질에 따른 틸라피아 독성시험	29
제 5 절 양어수경복합영농어시설에서 수경재배원수로서의 양어사육수이용	29
가. 양어사육수를 이용한 미나리재배시험(96년)	29
1) 배지종류가 양어사육수를 이용한 미나리 생육에 미치는 영향	29
2) 배지의 깊이가 사육수사경미나리의 생육 및 배지내 미생물활성에 미치는 영향	30

나. 양어수경복합영농어시설에서의 양어사육수를 이용한 미나리사경 재배실증시험(97년 1차시험)	32
다. 양어수경영농시설에서의 사육수이용 미나리사경재배(97년 추계) ..	33
제 6 절 양어수경복합영농어시설내의 미기상측정	34
제 3 장 결과 및 고찰	35
제 1 절 양어/수경복합영농어시설에 적합한 간이식 양어시설의 개발 ..	35
가. 수경재배시설	35
나. 양어/수경복합영농어시설에 적합한 수로형 양어시설	37
다. 순환여과식수로형 사육시설에서의 틸라피아의 양식	38
1) 순환여과식 수로형 간이시설에서의 여과	38
2) 순환여과식 수로형 사육시설에서의 수질 및 틸라피아의 성장	41
제 2절 작물재배biofilter(사경베드)에 의한 순환여과식수로형 사육조에 서의 수질 및 틸라피아 성장도	44
제 3 절 무여과사육시 수질변화에 따른 틸라피아 독성 시험	49
제 4 절 양어/수경복합영농어시설에서의 엽채류의 생육	51
제 5 절 양어수경복합영농어시설에서 수경재배원수로서 양어사육수이용 에 관한 연구	54
가. 양어사육수에 의한 미나리의 생육	54
나. 사육수이용 미나리 사경재배에 의한 무기성분여과효과	64
다. 사육수의 온도, pH 및 EC변화	66
라. 사육수이용 재배시 배지별 미나리의 무기성분함량 및 건물율	68
마. 양어사육수를 이용한 사경미나리재배실증시험	71
제 6 절 양어수경복합영농어시설의 미기상환경의 특성	81

제 7 절 배지의 깊이가 사육수사경미나리의 생육 및 배지 내 미생물활성에 미치는 영향	96
제 8 절 양어수경복합영농에 적합한 수로형복합시설형태 의 개선	103
제 9 절 양어수경복합영농에 대한 경제성분석	106
제 4 장 종합고찰	110
제 5 장 적 요	118
참 고 문 헌	120
Appendix	131
부표 1. 우리나라의 수경재배면적	131
부표 2. 지역별 틸라피아 양식사업체수 및 사육지면적(1995년)	132
부표 3. 내수면 양식어종별 사업체수 및 사육지 면적(전국,1995년)	132
부표4. 일반 양어장 수질분석결과(경기도 관내)	133
부표 5. 수경재배, 양어 및 양어/수경재배시설의 유형	134
부표 6. 수경재배시(350m ² 기준)수익성분석	135
부표 7. 수경재배시설의 시설비 및 감가상각비	136
부표 8. 순환여과식 원형사육지(350m ² 기준) 틸라피아사육시의 수익성분석	137
부표 9. 순환여과식 원형사육지(350m ² 기준) 틸라피아시설의 시설비 및 감가상각비	138
부표 10. 순환여과식 수로형사육지(350m ² 기준) 틸라피아사육시의 수익성 분석(여과조는 수로형사육지위에 설치의 경우)	139
부표 11.순환여과식 수로형사육지(350m ² 기준) 틸라피아사육시의 시설비 및 감가상각비(여과조는 수로형사육지위에 설치의 경우)	140
부표 12. 양어수경복합영농어(350m ² 기준)시설에서의 수익성분석 (여과조	

는 수로형사육지위에 설치한 경우)	141
부표 13. 순환여과식 수로형사육지(350m2기준) 틸라피아사육시의 시설비 및 감가상각비(여과조는 수로형사육지위에 설치한 경우)	142
부표14. 수경재배시설의 개요도	143
부표15. 양어사육지 측면도	144
부표16. 양어사육지 배수로 평면도	145
부표17. 양어사육지 순환배관평면도	146

제 1 장 서 론

최근 우리나라의 농업은 여러 가지 문제점을 안고 있다. 영세한 경영규모, 생산기반의 취약, 노동력의 부족과 노임상승, 농가의 감소와 지가상승으로 농업의 수익성과 경쟁력이 저하되고 있으며, 국제화, 개방화의 이시대에 살아남기 위한 적극적인 농업정책과 경영방식으로 전환하지 않으면 안된다.

우리나라와 같이 경지면적이 좁고 노동력이 부족하며 부존자원이 적은 나라에서 농업혁신을 꾀하기 위해서는 토지와 노동력 중심의 농업에서 탈피하여 자본, 기술집약적 농업으로의 전환이 불가피하다.

한편 국민의 소비패턴에 따른 고품질, 청정농산물을 주년생산함으로써 국민들의 식품수요를 충족시키는 한편 노동력과 토지의 연중생산화, 토지 및 노동생산성의 향상을 통하여 농어가 소득증대에도 기여해야 한다.

그러나 현재의 시설원에 및 양식업에서 시설의 현대화를 추진하고 있으면서도 이를 뒷받침할만한 충분한 기술과 작목의 개발, 자본이 현실적으로 부족한 실정이다.

우리나라의 시설원예는 몇 년전까지만 해도 낙후된 비닐하우스 시설원예로부터 시작하여 최근에 이르러 시설의 표준화연구 및 개발에 의해 급격히 시설의 현대화 및 양적증가가 이루어지고 있으며, 시설자동화에 의해 재배의 생력화가 이뤄짐으로써 생산비의 절감을 꾀하고 있다.

또한 근래에 UR타결로 농수산물의 개방화시대를 맞이하여 경쟁력있는 생산기반을 확충하지 않으면 안되는 지금, 농업분야에 엄청난 재원의 국가 보조금을 지원하여 시설투자를 실시하고 있으나, 부적절한 재정지원은 그 투자가치를 충분히 획득하기가 어려울 것이다.

현재의 시설원예는 예전에 비해 많은 시설비를 투자하기 때문에 고부가

가치 작물을 재배하거나 시설 이용의 극대화를 통하여 생산성을 향상시키는 것이 바람직하다고 생각된다.

한편, 국민경제의 발전에 따른 생활의 고급화추세에 따라 수산물에 대한 이용이 증가하고 있으나 해산물의 가격이 매우 비싸기 때문에 내수면 양식에 관한 관심이 높아져 있고, 민물돔, 뱀장어, 열대 관상어 등의 겨울철 가온을 요하는 양어의 시설도 꾸준히 증가하고 있다.

특히 틸라피아는 식물질과 저급질의 사료로서 저렴한 생산비로 생산할 수 있어서 사료수급면에선 대단히 유리한 양식종이며 해산어 값이 높아지고 있는 추세에 비추어 대체 수산물로서 이용가능성이 높은 어종으로 각광을 받고 있다.

그러나 우리나라에서는 틸라피아 성장에 필요한 여름 고수온기가 짧아서 노지양식이 불리하기 때문에 온실 등의 가온시설을 이용해야 하므로, 저온기에 난방비를 최대한 절감하기 위해 고밀도 순환여과식 사육기술이 필요하여, 이에 대하여는 꾸준히 연구되어 지고 있으나 시설의 가온 경비를 줄이거나 시설의 공간을 효율적으로 이용하기 위한 방법에 관한 연구는 이루어지지 않고 있다.

한편 우리나라도 이제는 수자원이 부족한 나라로 분류되고 있고 오랜가뭄 등으로 농업용수를 확보하기가 곤란한 때가 많다. 이에 한정되어 있는 지하수의 개발 및 관리가 매우 현실적인 문제점으로 대두되고 있으며 개발된 관정중 사후관리허술로 오염되는 등 용수의 치밀한 관리가 시급하며 아울러 물의 효율적 이용 및 절약이 뒤따라야 한다. 이에 내수면 양식에서는 순환식여과양식기술개발되어 적극적으로 이용되어야 할 것이다. 그런데 양어시설 역시 기존의 생산방식과는 달리 높은 투자에 대한 높은 생산성을 추구하는 것임에도 불구하고 단일영농일 경우 수급의 불안정에 의한 농수산물의 가격 파동으로 그에 상응하는 효과를 기대하기가 곤란하

다. 특히 시설원에 또는 시설양식은 가운을 해야하는 바, 겨울철 난방비에 의한 운영비가 큰 비중을 차지하므로, 이를 극복하기 위해서는 시설의 공간을 최대한 활용함으로써 난방비등을 절감하고 공간의 이용을 극대화하여 생산비의 부담을 최소화함으로써 생산성의 향상을 꾀하여야 할 것으로 판단된다. 또한 물과 공기의 오염되고 자연생태계가 급속도로 파괴되어 생명체의 다양성이 줄어들고 각종 공해물질에 의한 지구온난화, 오존층 파괴로 자외선 침투량증가, 산성비에 의한 삼림 및 농작물피해, 농약오염문제 등 다방면에서 인간 생활에 의한 결과들이 원인이 되어 인간의 생활터전을 유린하고 있다. 이러한 농업환경적 측면에서도 기존의 영농방식에서의 문제를 해결해야 할 기로에 있다. 지속적인 농업환경을 유지하여야 하며 생태계를 보전하면서 농업생산활동을 영속적으로 할 수 있는 영농기술개발이 이뤄져야 할 것이다.

이와 같이 환경친화적 농업을 목적으로 한 양어와 채소수경의 복합영농의 기술개발에 관한 연구가 이루어진 바, 양어 및 채소수경의 복합영농의 가능성은 91년 과기처 지원에 의하여 “채소수경재배체계도입에 의한 내수면 양어시설의 효율적 이용방안”에 관한 연구에서 입증된 바 있다.

따라서 본 시험은 양어/수경 복합영농어시설에 알맞는 순환식양어시설을 개발하고 적합한 채소작물을 선발할 뿐아니라 사육수를 이용한 작물재배 그리고 작물재배에 의한 여과효과 및 시설내 미기상 특성을 파악하고 아울러 농가보급형 간이시설을 개발하여 양어수경복합영농체계를 수립하고자 수행되었다.

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 양어/수경복합영농어시설에 적합한 양어, 수경시설의 개발

가. 수경재배시설

베드골격의 형태는 수로형 양어시설의 측벽을 지지하고 고설식 수경재배의 베드를 고정하기 위해 직경 50mm 쇠파이프를 이용하여 3m 간격으로 기둥을 세우고 기둥의 중간에 직경 40mm의 파이프를 횡으로 대었다.

수경담액베드의 골조는 3mm의 앵글을 사용하여 분해조립이 가능하도록, 폭 1m x 길이 3m크기의 베드를 제작하여 5개의 베드를 조립, 2 lane으로 하여 설치하였다. 베드의 폭이 2m로 보통의 베드보다 넓어 베드의 휨을 방지하기 위해서는 5mm두께의 앵글을 이용하여 베드 밑에 지지대를 두었다.

베드의 구성은 보온 및 측면, 밑면을 지지할 수 있도록 두께 3cm의 스티로폼판을 대고 담액베드의 1개 lane을 두부분으로 나누기 위해 중간에 3cm높이의 칸막이를 두었고 담액을 위하여는 흑색PE film을 깔았다.

정식판의 제작은 3cm두께의 스티로폼판을 45cm x 60cm크기로 재단하고 직경 3cm 구멍의 정식혈을 10 x 9 cm간격으로 타공하였다.

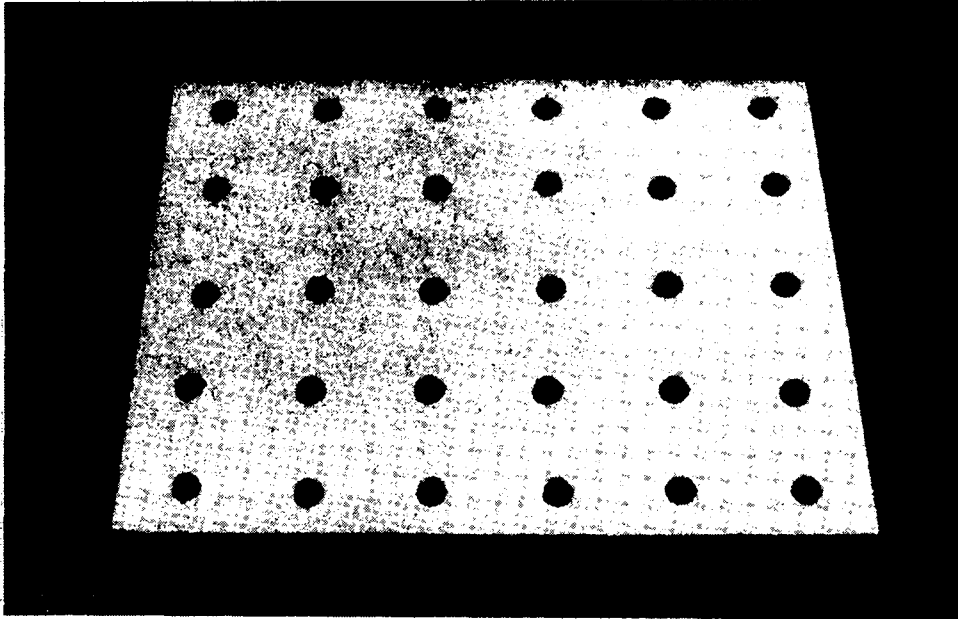


그림 1. 정식판의 모양

양액의 공급은 1/2Hp펌프를 이용하여 24시간 공급하였으며, 담액높이는 2 cm 내외로 하였으며 양액탱크는 600 l 들이의 양액통을 지중에 묻었고 양액통과 베드사이를 순환시켰으며 소모된 양은 수위조절기로 조절하여 3톤들이의 저장탱크에서 솔레노이드 밸브를 통하여 자동적으로 보충되도록 설치하였다.

나. 수경재배에 적합한 순환여과식 수로형양어시설의 개발

1) 수로형 사육시설

수경재배베드의 형태가 line형태이어서 관행의 원형사육시설에 수경

재배베드를 설치하면 작업이 불편하고 설치하기가 곤란하여 수경베드형태에 수용될 수 있도록 수로형사육조를 개발설치하였다.

물빠짐과 물고기의 배설물 및 사료찌꺼기가 잘 빠질 수 있도록 경사를 1.4%두어 지면을 고른 후 방온을 위해 얇은 스티로폼판을 깔았다. 그위에 3mm의 두께의 PP(polypropylene)판을 대었고 측면은 8mm PP판을 대어 접착시켰다. 측벽의 지지를 위해서는 지면을 20 ~ 30cm정도 파서 측벽을 돌았다.

사육조의 높이는 1m로 만들었으며 사육조의 크기는 폭 2 m x 높이 1m x 길이 19m로 하였다.

2) 침전조 및 여과조의 설치

침전조는 사육조보다 지면을 더 파서 침전조의 바닥이 50cm 더 아래에 있도록 설치하였으며 침전조는 2칸, 여과조 4칸으로 구성하였으며 여과 재료로서 침전조에는 선라이트집판(65판으로 구성 ,90cm x 80 cm x 60 cm) 3개씩을, 여과조에는 가리소와 사란필터를 설치하였다.

침전조의 크기는 폭 2m x 높이 1.5m x 길이 4m였고 여과조의 크기는 폭 2m x 높이 1.1m x 길이 11m로 설치하여 사육조의 용량과 여과조의 비율이 일반적으로 적용되고 있는 용적비율인 1 : 1의 비율이 되도록 설치하였다.

배설물 및 사료찌꺼기가 잘 배출될 수 있도록 하기 위해 배수구 쪽으로 침전조는 10%, 여과조는 2.9% ~6.6%정도의 경사를 두었고, 칸막이마다 배출구를 설치하여 각각 침전물과 찌꺼기가 배출되도록 시설하였다.

침전여과조도 마찬가지로 위에 수경재배베드를 설치할 수 있도록 사육조와 같은 규모로 설치하였다.

표 1. 양어시설의 시설개요

구 분	수로형 사육조	원형 사육조
구 성	수로형사육조, 침전조, 여과조	사육조, 침전여과조는 수로형사육조와 공유
사육조 규격	폭 2m x 높이 1m x 길이 19m	직경 5m x 높이 1 m
사육조 수	2개조	1개조
사육수량/사육조(m ³)	38	19.6
침전조 규격	폭 2m x 높이 1.5m x 길이 4m	-
침전조수/사육조(칸)	2	-
여과조 규격	폭 2m x 높이 1.1m x 길이11m	-
여과조수/사육조(칸)	5	-

표 2. 수경재배시설의 개요

시설 형태	베드높이 (m)	베드규격	재배면적
고설식	1~1.2m	폭 2 m x 길이 15m	27.6 m ² x 4
		폭 2 m x 길이 5 m	7.2 m ² x 2

3) 폭기, 사육수 가온 및 사육수의 순환

사육수내의 적절한 용존산소를 확보하고 사육수의 여과효율을 높이기 위해 3HP의 에어브로워를 사용, 여과조 양 측벽하단에 직경 2mm크기의 구멍을 뚫은 25mm파이프를 설치하여 연속적으로 폭기되도록 하였으며 2HP펌프 2대를 설치하고 사육조의 중간에 1/2Hp펌프를 설치하여 사육수

를 한쪽방향으로 흐르도록 공급하였다.

사육수의 가온을 위해 온수보일러를 설치하여 직탕식으로 하여 여과조의 물을 가온하였으며, 온도유지는 가온조의 온도가 27℃로 유지하도록 조절하였다.

4) 지하수의 개발

수경재배와 양어에 필요한 수량 확보를 위해 95년 4월, 1차로 관정 1공을 굴착하였으나 일일 29톤밖에 생산되지 않아 1공을 추가 굴착, 일일 32톤을 더 확보하여 일일 총 61톤을 생산할 수 있어 양어사육조에 일일 필요수량인 55톤을 초과하는 양이므로 필요한 수량을 확보할 수 있었다.

5) 발전기 설치

정전시 펌프와 보일러 등의 가동을 위해 68kw의 자가 발전기를 설치하여 정전시 자동적으로 발전하도록 설치하였다.

다. 수로형사육조시설에서의 적정여과방식의 구명

1)간이시설에서의 적정여과방식의 구명

하우스내에 2개조의 양어사육조 및 침전여과조를 설치하였으며 1개조당 침전조 2칸, 여과조 4칸을 두었고 침전여과조 1개조에는 침전조에 썬라이트집판 멍치 6개를 투입하였고 여과조 2칸에는 사란필터를, 나머지 2칸에는 가리소(흑색차광망)를 넣었다.

대조구로 나머지 한조에는 일반적으로 농가에서 구하기 쉽고 설치하기

용이한 가리소만을 여과조 4칸에 설치하고 두 사육여과조의 여과재질에 따른 사육수의 수질차이를 비교분석하였다.

표 3 . 여과조별 여과재 및 충진율

구 분	여과재	사용량	충진율(%)
여과조(우)	사란필터	25m x 2m	99%
	가리소	50m x 2m	95%
여과조(좌)	가리소	100m x 2m	80%

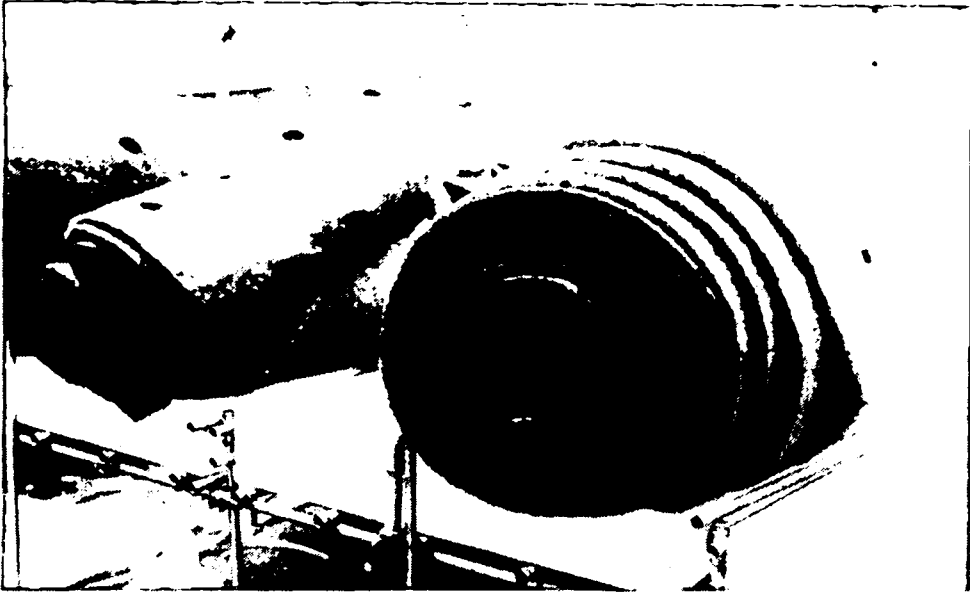


그림 2 . 여과재료로 사용한 사란필터

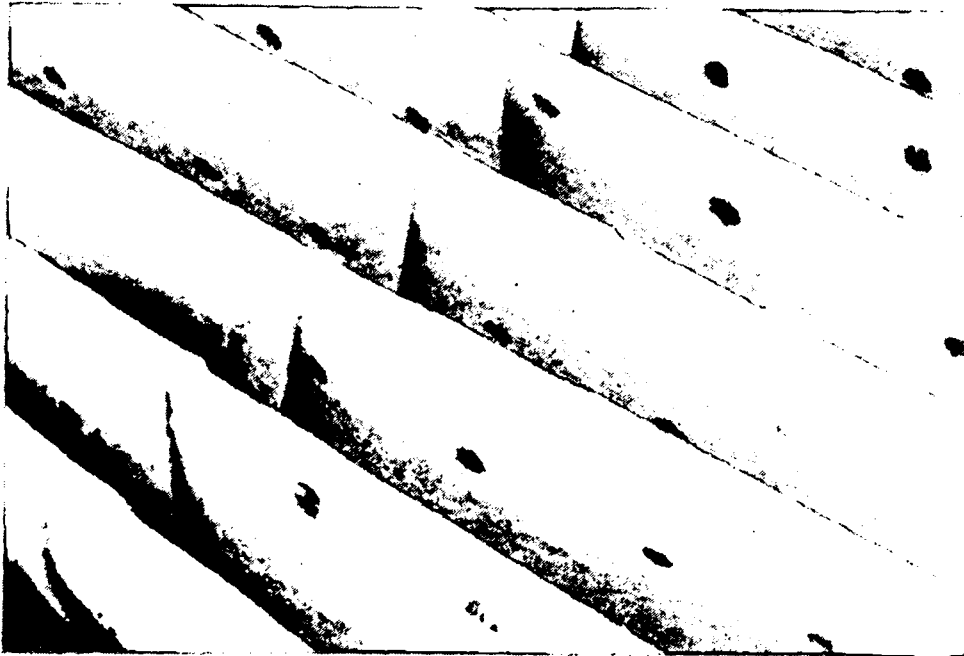


그림 3 . 사란필터를 설치한 모양

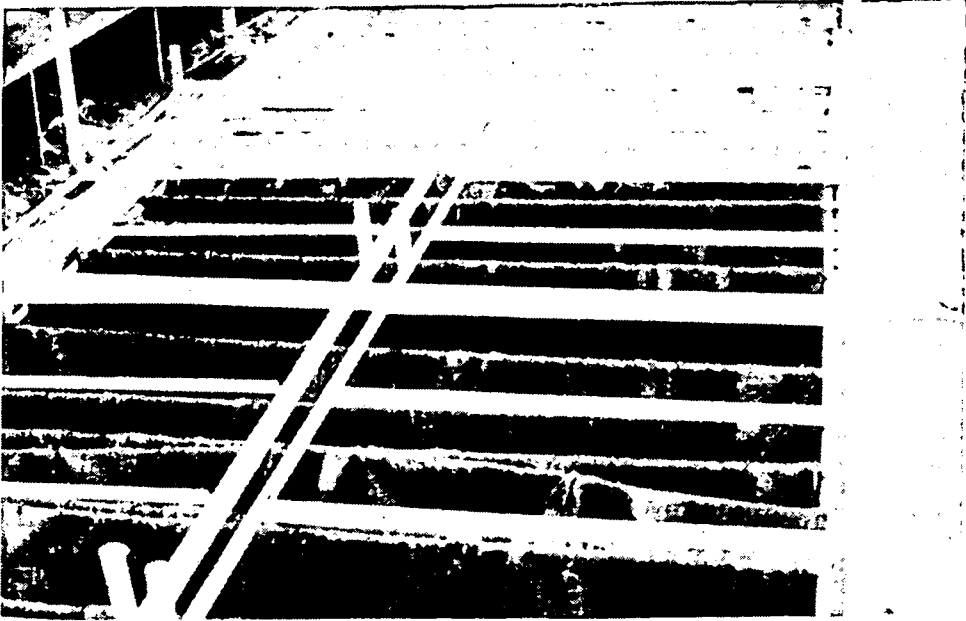


그림 4. 여과재료로 사용한 가리소의 설치모양

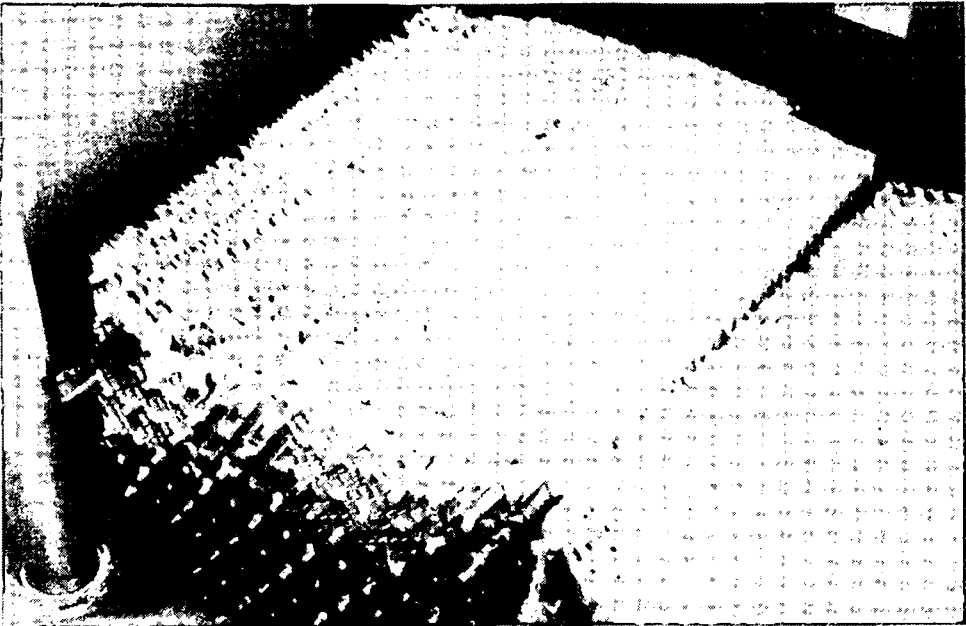


그림 5. 여과재료로 사용한 선라이트집판의 모양

2) 수로형사육조시설에서의 양어의 사육에 적합한 순환방식의 구명.

배설물이나 사료찌꺼기의 배출이 원형사육조에서는 잘되나 수로형에서는 직선형으로 되어 있기 때문에 어떻게 나타날지를 알아보기위한 시험에서는 사육을 정상적으로 할 수 있는 사육수 환경조절을 만들어주기 위한 방법을 찾기 위하여 사육조의 경사나 물의 흐름속도 등이 크게 관여하리라 감안하여 1.4%의 경사를 두었으며 물의 유량을 조절하기 위하여 2Hp 펌프를 2대와 사육조의 중간에 사육조에 폭기와 물의 흐름을 조절할 수 있도록 1/2Hp 펌프를 설치, 유량을 3수준으로 조절할 수 있게하여 각 처리 방법에 따른 물의 깊이 및 위치별 유속을 조사하고 찌꺼기 침전 및 배출 정도를 파악하여 적당한 유속을 파악하고자 하였다.

3) 수로형 사육시설과 원형사육조시설에서의 틸라피아의 성장도 비교

일반적으로 널리 사육시설로 이용되고 있는 순환식 원형사육시설을 직경 5m ,높이 1m의 크기로 PP판을 이용하여 제작, 설치하고 두 시설에서의 틸라피아의 성장도를 비교하였다.

제 2 절 양어/수경복합영농어시설에 적합한 엽채류의 선발

양어/수경복합영농어시설에서의 엽채류의 생육반응을 관찰하고 재배하기에 적당한 엽채류를 선발하기 위해 실시하였다.

양액은 미나리전용양액(표 4)을 사용하였고 양액의 공급은 1/3 Hp 펌프를 이용하여 연속공급하였고, 이때의 채소의 생육반응을 관찰하였다.

표 4. 수경재배에서 사용한 양액의 조성표

비료명	분자량 (g)	양액농도 (me/l)
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	236	2
KNO ₃	101	4
MgSO ₄ · 7H ₂ O	246	1
NH ₄ H ₂ PO ₄	115	3
FeEDTA · 3H ₂ O	421	20(ppm)
H ₃ BO ₃	61.8	1.2
MnCl ₂ · 4H ₂ O	197.9	0.72
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	287.6	0.22
CuSO ₄ · 5H ₂ O	250	0.05
(NH ₄) ₂ MoO ₄	196	0.02

1995년에 복합영농시설을 설치하여 상추, 미나리, 파, 들깨, 부추 등을 정식하여 1차 재배하고 1996년에 특이적 미기상 환경에서의 재배시기별 작물생육특성을 파악하기 위하여 수로형 사육조 상단에 설치한 엽채류용 베드에 NFT방식으로 케일, 부추, 배추, 들깨, 쪽갓, 미나리, 상추 등 엽채류를 봄철과 여름철, 가을철 재배하면서 생육을 관찰하였다. 부추, 파, 쪽갓, 미나리 등은 10 x 10 cm간격으로 1block당 3-5주씩을 정식하였고 들깨는 10 x 20cm, 케일과 배추는 20 x 20cm간격으로 정식하였다.

양액은 전년도와 동일한 조성을 사용하였고 양액의 공급은 10분공급/10분정지로 타이머를 이용하여 간헐적으로 공급하였으며 3톤규모의 양액통에 제조하여 두고 순환양액통의 양액이 줄어들면 자동적으로 공급되도록 불탑을 설치하였다. 육묘는 비파종상자에 파종용폴리우레탄에 종자를 파

종하여 받아서켜 1/2농도의 양액으로 15일내지 1개월간 육묘하여 정식하였다.

제 3 절 양어/수경복합영농어 시설에서의 틸라피아의 성장도

사육시설을 설치완료하고 틸라피아 평균 체중 6g , 평균체장 5.3cm, 체고 2.4cm, 전장이 6.5cm인 치어를 9월 29일에 입식하였고 사료는 잉어용 사료인 잉어4호를 1일 수시로 급이하였다. 그리고 경시적으로 틸라피아의 성장도와 급이계수, 생산율 등을 조사하였다.

표 5 . 급이사료의 성분

성	분	함	량(%)	
조	단	백	질	44이상
조	지	방		3.0이상
조	섬	유		4이하
조	회	분		17.0이하
칼		슘		1이상
		인		1.8이하

제 4 절 무여과사육시 수질에 따른 틸라피아 독성시험

시설은 지름이 180cm인 사육조에 지하수를 25cm 채우고 에어펌프로 충분히 폭기하였다. 틸라피아는 평균체중, 체장, 체고, 전장이 각각 245.7g, 19cm, 7.5cm, 23cm인 것을 10마리를 투입하였다. 사료는 잉어사료를 15일간 1회에 150g씩 총 6회 급이하였다. 18일이 경과한 후에 사육수의 pH, 용존산소, 염소, 아질산태질소, 질산태질소를 분석하였다. 대조구는 먹이를 공급하지 않고 같은 기간이 경과한 후에 분석하였다. pH는 pH meter(TOA), 용존산소(TOA), 기타이온은 이온크로마토그래피법으로 분석하였다.

제 5 절 양어수경복합영농어시설에서 수경재배원수로서의 양어사육수이용

가. 양어사육수를 이용한 미나리재배시험(96년)

1) 배지종류가 양어사육수를 이용한 미나리 생육에 미치는 영향

95년부터 1년정도 틸라피아를 안정적으로 사육한 사육수에 의한 미나리재배시 그 이용가능성을 검토하여 부족한 점을 보완하고자 실시하였다. 양어수경시설 옆의 연결옆동의 하우스에 길이 20m, 폭 50cm, 높이 1m의 베드를 설치하였다. 재배방식은 사육수사경, 양액사경, 사육수펄라이트재

배, 양액NFT재배, 사육수NFT재배를 실시하고 무배지로 사육수자체에 의한 미나리 생육과 배지에 의한 생육비교 및 배지별 생육비교를 하고자 하였다. 배지의 깊이는 10cm로 하였으며 여과효과를 구명하기 위해서는 입구의 양액과 출수쪽의 양액의 무기성분을 분석하였으며, 사육수 공급은 연속실시하였고, 양액조성은 앞에서와 같다. 각 처리별 미나리의 생육조사는 초장, 엽수, 생체중을 조사하였으며 무기성분 흡수량조사를 위해 시료를 채취하여 건조분쇄한후 전질소는 켈달법으로, 인산은 vanadate법으로 측정하였다. 양이온은 ICP spectrometer로 분석하였다.

한편 급이한 사료의 무기성분함량 및 모래, 펄라이트의 무기성분도 같은 방법으로 측정하였다. 모래중의 유기물 분석은 비색법(농과원, 토양화학분석법)으로 실시하여 610nm에서 흡광도를 비색정량하였다.

엽록소 분석은 미나리 엽 2g을 채취하여 100% 에탄올에 24시간 침지추출한후 5배희석하여 649nm 및 665nm에서 비색정량하였다.(牛島 等, 1981)

2) 배지의 깊이가 사육수사경미나리의 생육 및 배지내 미생물활성에 미치는 영향

틸라피아를 사육하면서 미나리에 의한 여과효과를 구체적으로 검토하고 미나리의 사경재배와 일반 수경재배와의 생육상의 차이점, 그리고 사경재배베드의 모래깊이별 미생물활성 및 미나리의 생육특성을 조사하기 위해 시험을 수행하였다. 본 시험은 서울대학교 농업생명과학대학 내 유리온실에서 실시하였다. FRP간이수조를 설치하고 틸라피아를 각각 10kg씩 방양하였다. 사육수 이용시 배지 깊이별 미생물활성 및 미나리 생육특성을 조사하기 위해서는 3m x 90cm베드에 강사를 5cm 및 10cm씩 채우고

바로커상토에 육묘한 플러그묘를 10cm간격으로 정식하고 사육수를 연속 공급하였다.

사육수는 부표17에서보는바와 같이 사육조에서 침전조를 거쳐 펌프로 베드로 공급하였고, 베드의 배수액은 곧바로 사육조로 유입되도록하였다. 사육조의 폭기 및 물의 회전을 위하여는 1HP순환펌프를 가동고 에어펌프를 설치하였다. 1개의 사육조는 2개의 5cm베드와 10cm베드를 갖도록 하였다.

순수양액재배와의 미나리 생육비교를 위해서는 앞에서와 같은 안우범미나리양액(安과 李, 1991)이었으며 이의 조성은 대량원소로서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 16, $\text{NH}_4\text{-N}$ 3, P 3, K 4, Ca 2, Mg 1, $\text{SO}_4\text{-S}$ 1mg/L 및 Fe 3ppm, 미량원소로서 B 0.5, Mn 0.5, Zn 0.5, Cu 0.02 및 Mo 0.01ppm이었으며 NFT방식으로 재배하였으며, 육묘시의 상토의 영양분과 모래층의 영양분의 효과를 알아보기 위해서는 모래 5cm 및 10cm씩 베드에 채우고 수도수만을 500ℓ 통에 채우고 재배하면서 사육수사경미나리와의 생육비교를 실시하였다. 물의 여과효과와 미나리식물의 무기성분을 측정하기 위해서 7일간격으로 배액을 채취하였다.

시험에 공시한 미나리는 보성 지방종을 전년도에 채종한 후 3개월 이상 노지에서 층적 처리하여 발아를 촉진시킨 종자로 plug tray에 바로커상토를 넣고 파종한 후, 안우범 양액으로 한달간 육묘한 모종을 사용하였으며, 정식시의 본엽은 평균 3매, 초장은 $5.2 \pm 0.3\text{cm}$ 이었다.

양액 공급시의 pH와 EC는 각각 6.5와 1.60으로 생육 전반에 걸쳐 별도로 보정하지는 않았다.

수확시에 미나리 생육을 측정하였고, 엽면적은 LI-1600 Leaf Area Analyzer(LI-COR)로, 엽중 엽록소 함량은 제2신엽에서 생체중으로 0.5g을 채취하여 100% ethanol로 24시간 암상태에서 추출한 후 3배 희석하여

649 및 665nm에서 비색 측정 후 그 함량을 계산하였다(牛島 等, 1981).

총미생물함량의 측정은 FDA hydrolysis법(J. Schnürer와 T. Rosswall, 1982)을 이용하였는데, 무양액(수도수)사경과 양어사육수사경의 모래를 베드 위치별로 급수부(Inlet), 중간부(Mid part) 및 배수부(Outlet) 세부위에서, 그리고 각 부위마다 배지 표면(Surface), 중간부(Middle) 및 바닥(Bottom)의 모래를 5g 채취하여 60mM sodium phosphate buffer(pH 7.6)액 20ml에 넣고 fluorescein diacetate(FDA) 400 μ g을 넣어 25 $^{\circ}$ C에서 1시간 동안 100rpm으로 원심분리시키면서 충분히 반응시킨 다음 acetone 20ml을 넣어 미생물의 활성을 정지시켰다. 반응액을 여과지로 걸러 spectrophotometer(UV-1601, Shimadzu)를 이용하여 490nm에서 비색 측정한 후 표준곡선을 기준으로 분해된 FDA 양을 계산하였다. 표준 곡선으로는 FDA를 각각 100, 200, 300, 400 및 500 μ g씩 50ml의 sodium phosphate buffer액에 넣고 잘 혼합한 뒤 100 $^{\circ}$ C에서 1시간 증탕하고 acetone 50ml로 반응을 중지시킨 뒤 비색 측정하여 구하였다.

나. 양어수경복합영농어시설에서의 양어사육수를 이용한 미나리사경 재배실증시험(97년 1차시험)

원형사육조와 수로형양어시설과 그위에 설치한 사경베드에서의 미나리 재배를 통한 여과효과 및 미나리 생육을 파악하기 위하여 96년 양액재배 하던 베드에 전부 5cm내외의 모래를 채우고 95년부터 사육하여 오던 사육수를 베드위로 정식 1주일전 흘러 모래를 평탄화시키면서 안정화시켰다. 육묘는 바로커상토(서울농자재)를 플러그묘판에 채워 미나리 종자 5~8립을 파종하여 3~5개가 입묘되어 자란 묘를 엽병부위를 잘라내고 근

부만을 10cm x 10cm간격으로 정식하였다.

지름 5 m의 원형사육조에서의 작물재배에 의한 여과효과와 작물생육을 알아보기 위하여는 사육조에 물을 40cm높이로 채우고 틸라피아 중간어 380kg을 투입하고 물의 정화를 위하여 7일간 사료를 공급하지 않았다. 여과베드는 5m x 2m의 베드 2조에 모래를 5cm깊이로 채우고 미나리를 정식하였다. 사육수는 순환펌프를 사용하여 연속공급하였고 사육수의 온도는 25℃로 관리하였으며 물은 배수시키지 않고 감소한 물만 보충하였다.

틸라피아 사육 및 미나리를 재배하면서 사육수의 pH, EC변화와 무기성분변화 그리고 미나리의 초장, 엽수 등 생육을 조사하였다.

양어수경복합시설에서의 사육수를 이용한 미나리 2차재배시험은 1차시험의 모래가 해사였으므로 물로 충분히 세척했지만 다소간의 염분피해가 확인되었고 또한 수로형 사육조시설은 95년 9월부터 치어를 방양하여 97년 4월초까지 사육한 틸라피아를 수확하였으므로 미나리를 모두 수확하여 생육조사 및 수량을 조사하였다.

가을철 재배를 위해서는 봄철과 동일한 방법으로 강사를 5cm깊이로 베드위에 채우고 플러그에 육묘한 실생미나리를 10cm간격으로 정식하였으며 사육수 공급은 10분공급/10분정지로 펌프를 가동공급하였다. 틸라피아는 8월 21일에 치어 300kg을 방양하였다. 사육수이용하여 미나리를 재배하면서 미나리의 생육을 조사하였다.

다. 양어수경영농시설에서의 사육수이용 미나리사경재배(97년 추계)

봄철에서 여름철에 걸친 재배는 해사에서 실시하였던 바, 약간의 염류장해를 확인하였기 때문에 추계재배시에는 강사로 교체하여 봄철과 동일한 방법으로 재배하였다. 정식은 플러그묘판에 실생번식한 미나리묘를 본

엽이 3매내외, 초장이 3~5cm인 것을 10cm간격으로 정식하고 경시적으로 생육을 조사하였다. 40일이 경과한 후에는 지상부를 절단하여 수확하고 지제부를 다시 성장하도록 하는 방식으로 계속재배하면서 생육을 관찰하였다. 한편 틸라피아는 성어를 수확한 후 8월20일에 중간어 300kg을 수로형 사육조에 방양하였다. 관리는 일반적인 방법으로 시행하였다.

제 6 절 양어수경복합영농어시설내의 미기상측정

온도와 습도는 자동자료수집장치(Licor-1000, USA)를 이용하여 1시간 간격으로 자동기록하였고 기온 및 습도는 Hanna센서(HI8666,USA)를 사용하였으며 사육수의 온도는 Licor지온센서를 이용하였다. 이산화탄소는 이산화탄소컨트롤러(Sensonix, Japan)를 이용하였다.

제 3 장 결과 및 고찰

제 1 절 양어/수경복합영농시설에 적합한 간이식 양어시설의 개발

가. 수경재배시설

양어시설에 결부시킨 수경재배시설의 형태는 그림6과 같이 설치되었다. 수경재배베드가 베드자체로서의 역할뿐만 아니라, 양어사육조의 PP 판자체가 유동적이기 때문에 기둥역할을 해야하며 충분한 지지역할을 해야 한다.

본시험에서 설계된 측판 PP상단을 가로지른 C형강과 3m간격으로 댄 기둥 그리고 기둥을 중간에서 가로지르는 파이프가 설치되어 양어 사육조에 1m정도의 물과 킬라라피아를 투입하여 사육하여도 충분한 지지력을 가졌고 안정적이었다.

한편 수경재배베드는 초창기 도입기의 시설투자비를 줄이기 위해 지면에 설치하는 방식에서, 근래에는 작업하기 편리하고 배수가 용이하도록 지상에 고설식으로 설치하고 있다. 때문에 양어시설과 결부시킬 때 본 시험에서 설치된 수경베드는 1.2m정도의 높이로 설치되었고 작업하는 사람의 키에 따라 설치되어야 하겠지만 높이는 설치할 때 지면을 더 파서 설치하면 조절할 있으므로 큰 문제는 되지 않을 것이다. 다만 이때에는 PP 판 자체가 측면 흠의 하중을 견딜 수 있도록 아래쪽에도 지지용 횡대를 대는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

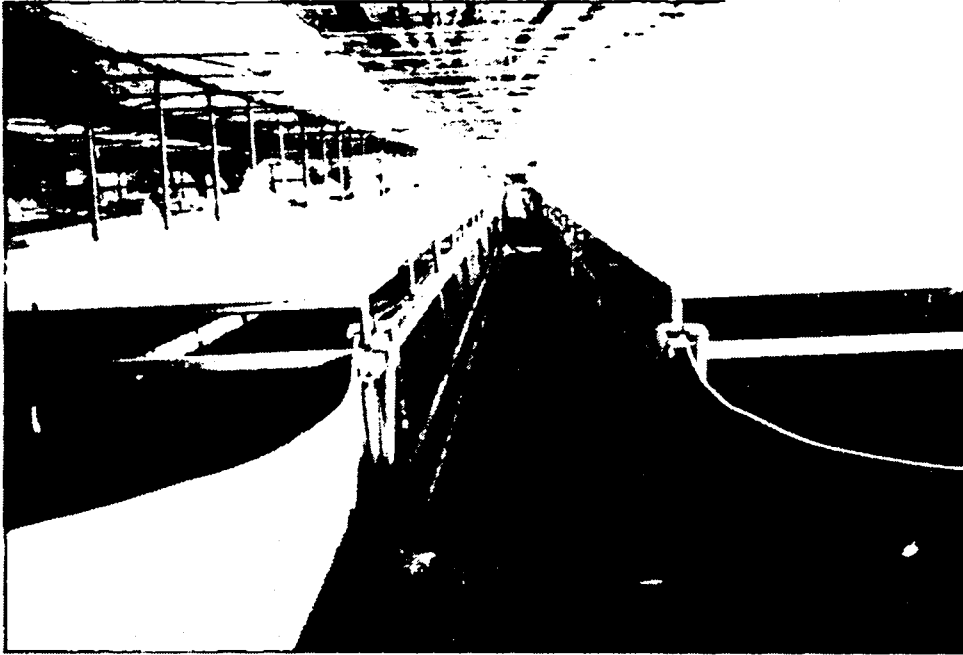


그림 6. 수경재배시설 및 양어시설 설치모양

한편 사육조시설의 폭이 2m이기 때문에 일반적인 수경재배베드의 폭보다 60cm가 더 커서 작업하기가 다소 어려운 것으로 생각되어 사육조 위의 베드를 4 lane으로 나누고, 한쪽에서 2개 lane을 재배·관리할 수 있도록 하여 NFT재배하는 데는 어려움이 없었다. 정식판에 정식하여 베드에 올려놓는 작업이나 다자란 엽채류를 재식판째로 이동시켜 처리할 때를 감안하여 정식판의 크기를 60cm x 45cm로, 일반적인 크기보다 작게 하였으므로 관리도중 정식판이 절단되어 파손되는 것은 없었다.

그러나 정식판을 사용하는 수경재배일때는 작업의 어려움이 작지만 사

경재배를 할 경우는 정식 및 수확작업이 불편할 것이므로 베드 폭을 줄여 1.4m정도로 하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

한편 정식판을 규격에 맞게 재단하고 타공을 위하여는, 2mm의 니크롬 선으로 직경 3cm의 구멍을 뚫을 수 있도록 등글게 구부러 제작한 타공기를 만들어 전기가열로 스티로폼판을 천공하여 정식판을 제작한 바, 아주 손쉽고 값싸게 정식판을 만들 수 있었다. 대량생산을 위해서는 정식판 금형을 만들어서 제작해야 하겠지만 본 천공기가 농가수준에서 작물에 따라 적절하게 간격을 조절하여 사용하는 데는 매우 적절한 것으로 여겨진다.

수경베드는 제작중 수평유지 조절이 손쉽도록 하기위해 나사고정식으로 제작하였으므로 물매를 잡는 데 매우 편리하였고 전체의 길이를 고려하여 3m크기의 조립식 베드를 설계하여 작업하는 데 편리하였다.

또한 베드의 제작은 원형파이프를 이용하는 것보다 구부러짐을 방지할 수 있는 것으로 판단되는 앵글사용하였는데 폭이 2m로 넓고 모래를 채울 경우 하중이 더 받으므로 중앙하중이 커서 계속사용하면 중앙부위가 휘어져 시설의 개선이 뒤따라야 할 것으로 판단되었다.

나. 양어/수경복합영농어시설에 적합한 수로형 양어시설

수경재배시설과 잘 부합될 수 있는 사육시설의 형태가 길쭉한 수로형으로 판단하고 수경재배시설 밑에, 앞에서 설명한 수경재배베드와 결부시켜 PP(polypropylene)판을 이용하여 설치하였다. PP판의 지지는 수경재배 기둥과 가로대에 기대었고 사육수의 높이는 1m내외로 하였으며 사육수의 흐름은 여과조의 맨 끝인 가온조에서 펌프를 사용하여 사육조의 한쪽으로 송수하여 사육조를 거치고 나서 침전조2칸을 거치면서 일부는 가라앉히고

그 다음에 여과조 4칸을 통과하면서 여과되도록 하였다. 침전조에는 선라이트집판을 넣어 생물적 여과도 이루어 질 수 있도록 하였으며 여과조를 거치는 동안 부유물질 등이 걸러지고 여과재료로 사란필터와 가리소를 투입하여 미생물의 활착을 유리하게 하였고, 폭기하여 줌으로써 용존산소를 높이고 여과효율을 높였다.

PP판을 사용하여 원형사육시설을 설치할 때에는 물론 측판지지용 골조는 필요없다. 그러나 원형사육조에서는 배설물의 배출이나 수류의 회전 등 유속조절이 용이하나 수경재배시설 설치가 쉽지않고 원형크기가 커지면 커질수록 작업이 불편하여지고 정식판을 밀어내는 식의 수경재배를 하지않으면 곤란한 등의 애로가 있다. 또한 직경이 커지면 베드가 길어지고 베드를 설치하기 위해 중간기둥이 필요하게 되는데 사육조내에는 중간기둥의 설치가 곤란하므로 일정한 크기를 초과하는 사육조위에 수경베드를 설치하기가 곤란하다. 그렇기때문에 수경재배베드를 설치하려면 양어사육상 경제적인 사육조 크기를 유지하기가 어렵고 또한 원형사육시설을 사용할 경우 불용공간이 많아지고 수경재배관리시 운반이나 작업공간의 장애요인이 되는 등 불편한 점이 발생하게 된다.

따라서 한 시설공간내에 수경재배와 양어를 동시에 수용하기 위해서는 수로형이 타당한 것으로 판단되었다.

다. 순환여과식수로형 사육시설에서의 틸라피아의 양식

1) 순환여과식 수로형 간이시설에서의 여과

2개조의 사육시설(사육조 + 침전여과조)을 설치, 여과재료로서 한쪽에는 선라이트집판, 사란필터, 가리소를 사용하고 다른 한쪽에는 가리소만을 사용하였을 때의 여과정도를 파악하기 위하여, 현재 선라이트집판, 사란

필터, 가리소를 설치한 사육조에서만 9월부터 치어를 사육하고 왔으나, 사육상의 어떤 문제는 발견되지 않았다. 본 시험에서 채택한 여과재료가 일반적으로 사용되고 있는 것인 바, 본 시험에서는 정상적으로 성장하는 것으로 보아 여과에서는 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다.

시험의 관건은 수로형사육시설에서 원형사육시설에 비해 얼마만큼 배설물이나 사료찌꺼기를 배출시키고 반송시키느냐 하는 문제이다. 순환여과식 사육수조의 형태는 일반적으로 정사각형, 정팔각형 또는 원형수조를 많이 사용하고 있다. 사육수조내에서의 유동구조는 투입된 사료의 분포, 사육조내에서 발생하는 노폐물의 배출 및 수조내에서의 수질문제 등과 밀접한 관계가 있다. 또한 수조내에서의 유동은 재순환유입수의 유량의 낙하유속에 의한 운동량과 수조내의 산소공급을 위한 기포발생장치 등에 의하여 조절할 수 있으며 배출수의 배출방식에 따라서도 달라지게 된다. 사육조내의 유동구조에 영향을 미치는 요인으로서는 수조의 평면형상, 저면경사, 수심, 유입수의 위치와 배출구의 위치도 매우 다양하다. 사육수의 평면형상은 원형이 가장 바람직하지만 공간의 효율적 이용과 제작의 용이성 등 관점에서 정사각형이 유리하다고 하였으며 이때 정사각형 수조에서 우각부에 정체수역이 나타나지 않도록 유선을 따라 우각부를 처리하는 것이 바람직하다고 하였다(이, 1996). 본 현장실증시험에서 설치한 폭 2m의 수로형사육시설은 배설물의 한쪽으로의 이동을 위해 1.4%의 경사를 두었고 저면 양측면에 폭기라인을 설치하여 연속 폭기시켰으며, 2HP펌프를 이용하여 여과조의 끝에서 수로형 입구로 데워지고 여과된 물을 펌핑하였는데 그양이 적었으므로 유속은 25 ~ 30cm/s의 속도로 느렸지만 틸라피아의 활발한 이동 등으로 사료찌꺼기나 배설물에 의한 슬러지가 형성되지 않았고 잘 배출되었다.

본 시험에서 고안된 새로운 시설방식인 수로형시설과 관행으로 사용하

고 있는 원형사육시설에서의 틸라피아의 성장과 사육수 수질의 변화를 살펴보면, 서로 다른 두 형태의 사육시설에서 자라는 틸라피아의 성장에서 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 사육수의 화학성분에서도 별다른 차이를 보이지 않았다. 틸라피아의 성장이 큰 차이없이 이뤄지고 사육수의 수질도 대동소이한 것으로 보아 수로형 사육조 그 자체에 의한 사육상의 어떤 장애요인이 되는 것은 아니라고 판단되었다.

고밀도 틸라피아 사육은 수질의 관리가 최우선적으로 잘 이뤄져야 한다. 수질개선을 위한 여러시험이 실시되었는데, 김등은 틸라피아 고밀도 사육 시험에서 green water를 이용하여 수질을 개선하고자 하였으나 틸라피아에 의한 식물성플랑크톤의 포식으로 녹색수유지가 곤란하다고 하였으며(김,1981), 물고기의 성장에 영향을 미치는 것은 용존산소 뿐 아니라 암모니아가 크게 영향을 미치는데 순환여과식 양어에서는 여과재료에 따라 차이를 나타내었다. 첨모직, 자갈, 썬라이트, 플라스틱판 등의 여과재료에서는 초기여과효과는 별차이가 없었으나 효능발휘시간의 차, 청소의 난이도, 및 설치비용 등을 고려할 때 썬라이트판이나 요철플라스틱판이 적합하다고 하였으며(김 등, 1987), 암모니아를 제거하기 위해 회전원판법을 사용(조,1993)하거나 자갈필터(Lewis, 1978)를 사용하기도 하여 사육수의 여과효율을 증대시키고자 하였다.

양어시설에서 버려지고 있는 덩고 영양이 풍부한 물의 방출은 열에너지 및 비료분 손실 뿐 아니라 더 나아가서는 환경오염을 가중시킨다. 이러한 자원은 채소나 수생식물을 재배하여 활용할 수 있다. 실제로 축산폐수를 정화하고자 부레옥잠등 7종의 수초를 이용하여 질소, 인의 흡수력시험을 실시한 결과 부레옥잠이 물중 영양염류의 제거력이 가장 높게 나타났다고 하였다(김,1988). 또한 순환여과식사육시설에서 암모니아를 산화시켜 독성을 감소시키고자 연구되었으나 산화된 아질산 및 질산 등이 축적되면

혈액학적으로 순환계에 이상을 유발한다는 보고(Maynard 등, 1976)도 있어 이의 제거를 위한 biofilter를 사용함으로써 질산태질소를 감소해야 한다는 연구가 진행되었으며, 사육수를 이용하여 토마토 등의 재배를 통하여 그 가능성을 확인(McMurty 등, 1990)하기도 하였다.

1년차에 수행한 시험은 기존의 원형사육조에서와 수로형사육조에서의 틸라피아 성장 및 수질을 검토하여 수로형의 가능성을 타진하고자 한 바, 수로형사육시설의 수질이나 틸라피아성장이 원형사육시설과 별다른 차이 없이 정상적이었다. 양어사육시설에서 채소수경재배를 통한 biofilter의 효율성을 증가시킴으로서 기존의 여과시설을 제거하여 사육공간을 더 확보하고, 이에 따른 문제점 등을 도출하고자 하였다.

2) 순환여과식 수로형 사육시설에서의 수질 및 틸라피아의 성장

사육에 사용하기 위해 개발한 지하수 원수 및 사육수의 위치별 화학성은 표 6 및 표7과 같다.

원수의 양어사육수로서의 적합성, 특히 양액재배에 원소로서의 적합성 여부를 알아보기 위하여 pH, EC와 질산염, K, Mg, Ca, P 등을 분석하였다.

원수의 수질을 보면 수온이 15.6°C로서 다소 낮은 편이나 pH는 약알칼리를 나타내고 있으며 NO₃-N를 비롯하여 K, Mg, Ca, P 등이 매우 낮았다. 기타성분에서는 낮았으며 염소가 다소 높았다.

표 6. 양어사육에 사용한 지하수의 수질

component	value	component	value
water temperature(°C)	15.6	Ca(ppm)	4.2
pH	6.7	Mg(ppm)	2.4
EC(dS/m)	0.12	P(ppm)	0.1
NO ₂ -N(ppm)	0.67	Na(ppm)	15.0
NO ₃ -N(ppm)	0.82	Cl(ppm)	9.4
K(ppm)	4.3	SO ₄ (ppm)	5.4
Fe(ppm)	0.01		

국내 양액재배용원수의 적정용수기준을 살펴보면 pH는 5.5 ~7.5, EC는 0.3이하, Ca 20ppm이하, Mg 10ppm이하, Cl은 15ppm이하 , SO₄는 20ppm 이하, Fe는 0.5ppm이하 등으로 알려지고 있는데 자체개발한 관정의 지하수가 적정범위내에 있어 양액재배원수로 뿐 아니라 사육수 원수로서 문제가 없는 것으로 판단되었다. 시설설치지역이 해안에서 그다지 멀지 않은 곳에 설치되어 염류가 다량 검출될 것으로 예상하였으나 그렇지 않았으며 다만 이지역이 지하수가 충분치 않은 지역이어서 관정을 2개 개발하였다.

한편 사육조의 출구 사육수와 여과조의 수질에서는 대차가 없었으나 온도에서는 1°C정도 가온조 물이 높아 사육조를 거치면서 1°C정도 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이 시기에는 사육수 가온만 하였고 별도의 수경재배를 하기위한 실내가온을 하지 않아도 충분한 시기였다.

수온을 보일러를 이용하여 직탕식으로 가온하여 가온조온도가 27°C로 유지되도록 온도센서를 조절하였는데 사육조의 온도는 틸라피아의 생육적 온범위에서 큰 편차없이 유지되어 직탕식 온도보일러에 의한 가온으로 사

육수의 온도를 유지하는데는 별 어려움이 없었다.

여과조에서와 사육조에서의 조사성분의 차이를 나타내지 않는데, 사육수 수질 조사시기가 빨라 여과재료에 미생물의 활착이 잘 되지 않아 여과능이 안정되지 않았거나, 여과재료에 의한 여과효과가 미비하여 물의 여과조와 사육조간의 물의 혼입속도에 의한 혼합효과에 못미쳤기 때문에 이러한 결과를 나타내고 있는 지는 앞으로 살펴보아야 할 것이다.

표 7. 순환여과식 수로형사육조에서의 사육수의 수질

구 분	수 온 (°C)	pH	용존산소 (ppm)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	SO ₄ (ppm)	Cl (ppm)
여과조로부터의 유입수	27.4	7.48	3.17	10.8	1.64	0.62	7.80	10.6
사육지에서의 유출수	26.0	7.75	3.17	10.1	1.52	0.52	6.95	10.1

지금까지 조사한 틸라피아의 성장도나 생산율을 보면 (표 8) 틸라피아가 정상적으로 성장하는 것을 확인할 수 있었고 사육수 환경도 양호한바, 지금까지의 결과로 미루어 볼 때 새로이 적용한 수로형사육조의 수용이 별 무리없이 수경재배시설에 함께 적용할 수 있는 사육시설방식이라고 생각된다.

표 8. 틸라피아의 성장도

조사일	체중 (g)	체장 (cm)	체고 (cm)	전장 (cm)	증체량 (g)	급이계 수	생산률 (%)	사료 급이량 (kg)
9월 29일	6.06	5.3	2.4	6.5	-	-	-	20
10월 10일	9.53	6.1	2.7	7.4	3.47	1.15	99	
10월 24일	15.1	7.4	3.2	8.9	5.57	2.16	100	60
11월 9일	32.9	9.3	3.8	11.4	17.82	0.67	99	60

제 2절 작물재배biofilter(사경베드)에 의한 순환여과식수로형 사육조에서의 수질 및 틸라피아 성장도

작물재배베드를 활용하여 여과한다고 해도 일반 여과조를 설치하여 사육하는 틸라피아 생장에 크게 영향을 미칠 것은 없을 것이다. 일반 농가에서 사용하고 있는 여과재료가 가리소나, 과판, 사란필터 등을 활용하는 대신에 모래배지를 사용하고 거기에 작물을 재배하여 여과한다는 것과 시설의 형태가 원형에서 수로형으로 바뀌었다는 것 뿐이다. 송어양식에서는 유수식으로 사육하지만 냉수어종으로 차가운 물이 계속 공급되는 조건이므로 문제가 되지 않는다.

순환여과식에서는 여과의 효율이 문제가 되기 때문에 이러한 수로의 형태가 어떤 문제를 일으키지 않는다는 것은 앞에서 밝힌 바 있다. 여기에서는 작물재배biofilter를 이용한 틸라피아사육시의 성장 및 수질변화를 분석하였다.

표 9 . 작물재배biofilter이용 여과시 틸라피아의 생육

사육조형태	조사시기	전장 (cm)	체장 (cm)	체고 (cm)	체중 (g)
수로형사육조	96.4.3	22.0	18.5	7.4	217.4
	97.4.4	30.9	25.8	10.1	718
원형사육조	96.9.20	30.2	25.3	10.1	567
	97.8.13	36.4	31.0	12.4	1,25
수로형사육조	97.8.20	24.3	20.5	8.9	290
	97.12.3	29.2	24.5	11.0	569

96년 4월 3일부터 97년 4월 4일까지 수로형사육조에서 틸라피아 3000마리를 사육하였을 때 생존율은 83%, 증중량은 1,142kg이고, 사료계수는 2.15로 양호한 결과를 보였으며 이는 일반 틸라피아 양어와 별차이를 보이지 않았으며, 96년 9월 20일부터 97년 8월 13일까지 침전지와 여과지가 없고 작물재배베드만 있는 시설에서 틸라피아를 670마리 중간어를 방양하였을 때, 생존율은 87%, 증중량은 351kg, 사료계수는 2.30을 보였으며 수로형 사육조에 비해 생존율은 낮았으며 사료계수는 높았다.

계속해서 97년 8월 20일부터 97년 12월 3일 종료시까지 107일간 1200마리를 사육한 수로형사육시설에서는 생존율 95%이고, 사료계수가 1.52. 성장배수는 1.86으로 비교적 높아 성장이 정상적이었음을 알 수 있었다.

표 10. 수로형사육조와 원형사육조에서의 틸라피아의 성장도

사육 기간	사육지형태	면적 (m ²)	방 양 시			수 확 시			생존율 (%)	증중량 (Kg)	성장률 (배)	사료량 (Kg)	사료 계수
			마리수	총체중 (Kg)	평균 체중 (g)	마리수	총체중 (Kg)	평균 체중 (g)					
96.4.3~ 97.4.4	수로형 사육조	36	3,000	652.2	217.4	2,500	1,796	718	83	1,143	3.3	2,457	2.15
96.9.20~ 97.8.13	무여과지 원형사육조	19.6	670	380	567	583	731	1125	87	351	1.98	807.3	2.30
97.8.20~ 97.12.3	수로형 사육조	36	1,200	348	290	1,140	649	569	95	279	1.86	457	1.52

표 11. 작물재배에 의한 여과시 수로형사육조의 사육수 수질분석

조사 일시	pH	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	DO (mg/l)
97.4.26	7.21	13.11	0.30	2.07	3.79	23.16	3.62
97.5.07	7.42	11.36	0.30	2.62	4.08	16.18	4.50
97.7.11	7.36	13.43	0.38	11.02	5.72	22.92	4.36
97.8.11	7.17	14.98	0.90	13.95	7.36	27.55	3.23
97.8.20	7.43	14.21	0.45	5.12	1.83	12.46	2.24
97.9.5	7.42	14.14	0.73	3.62	2.46	13.58	4.09
97.10.2	7.01	13.50	0.79	11.20	2.56	13.12	2.09
97.10.8	7.20	12.87	0.59	7.24	2.63	12.37	4.96

표 12. 작물재배에 의한 여과시 원형사육조의 수질분석

조사 일시	pH	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	DO (mg/l)
97.4.14	7.56	13.04	5.01	11.47	0.85	14.86	3.62
97.4.26	7.54	12.36	0.69	10.44	2.20	11.15	4.53
97.5.7	7.46	11.33	1.73	6.37	2.28	9.47	3.89
97.7.11	7.37	8.93	4.24	12.33	3.32	19.77	4.23
97.8.11	7.05	13.97	4.61	4.16	0.58	10.91	2.87
97.8.20	7.21	14.31	1.02	1.46	0.33	9.55	3.21
97.9.5	7.18	14.12	5.66	5.38	0.76	11.58	2.54
97.10.2	7.05	14.74	4.03	1.59	2.63	12.13	3.89
97.10.8	6.81	14.47	6.08	13.64	3.54	14.79	2.06

틸라피아의 순환여과식사육에서 제한요인중의 하나는 용존산소이다.

적절한 산소의 공급이 없이는 성장을 기대할 수 없는 한편 과도한 산소의 공급은 동력의 손실, columnaris 등의 발병가능성이 있다. 틸라피아의 적정 산소량은 2.5 ~ 3.5mg/l 사이가 좋다고(김, 1988)하였는데, 용존산소는 이에 비하면 수로형 사육시설에서나 원형사육시설에서 공히 다소 높게 유지되었다. 2대의 폭기장치를 사용하여 설치하였고 일반 사육량에 비해 저밀도사육을 함으로써 사육수의 산소요구량이 적었기 때문이 아닌가 생각된다.

한편 사료의 어분내 함유되어 있는 인의 이용율이 낮아 최근에 생산되는 사료는 수질의 인의 조절이 어렵기 때문에 인의 함량을 낮추고 있는데, 사육시설에서 급이된 사료중의 질소는 탈질 등으로 어느정도 소실된다고 하지만, 인은 어체에 축적되지 않는 것은 전부 배출수로 나가든지 슬러지로 쌓인다고 볼 수 있다. 그러나 작물을 재배하여 인을 흡수시킴으로서 배출수에 다량함유되므로써 하천에서 부영양화를 일으킬 우려를 줄일 수 있다고 생각된다. 인은 최고 7mg/l까지 유지되었으나 사육상에는 큰 문제는 없었다. 오히려 작물재배면에서 본다면 이 함량은 작물재배에 필요한 양의 1/3수준에 불과하다. pH는 대체로 약알칼리를 나타내고 있는데 사육에는 문제를 일으키지 않지만 작물재배에서는 약간 높은 편이나 양액이 아니고 사육수를 이용한다는 측면에서 크게 문제되지는 않는다. 질산염은 상대적으로 사육수량이 적고 여과베드가 작았던 원형사육조에서 다소 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 효과적인 질산염의 농도를 유지하려면 적정 베드비율이 파악되어야 하리라 생각된다.

제 3 절 무여과사육시 수질변화에 따른 틸라피아 독성 시험

순수한 틸라피아 양어사육수를 이용한 채소수경재배시 사경재배를 실시 하더라도 최초 적용시는 어느정도 수준에 도달되어 안정화되기까지는 작 물의 영양결핍을 초래할 수도 있어 이와 같은 때에는 무기양액공급에 의 해 회복시켜야 하며, 다른 한편으로는 양어사경시 작물수확에 의해 여과 효율이 떨어질 때는 수질이 오염이 유발될 수 있으며 또한 양어사경이 작 물의 영향을 충족시키는 조건을 유지하기 위한 사육수의 수질을 어느 정 도로 유지해야 하는지 또 이때의 틸라피아의 성장정도를 알아보기 위해 본 시험을 수행하였다.

표13. 무여과 틸라피아사육시의 수질분석결과

구 분	pH	DO (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	수 온
원 수	6.93	8.56	5.15	-	15.4	7.5	-	-
처리구	7.29	1.29	16.62	39.2	36.6	25.9	22.2	23
대조구	6.81	5.06	7.76	29.8	20.4	10.8	2.4	23

사육조에 150g의 사료를 6회에 걸쳐 총 900g을 15일간 투여한 결과, 수 질에서는 NO₂이 매우 높아지고 용존산소가 매우 낮아졌다. 틸라피아는 15일 경과한 때에 전량 폐사하였고, 이와 같은 조건에서 최소한 15일이

경과한 시점에서 물을 갱신하지 않으면 안될 것이며 결국 무여과방식으로
는 한계가 있어 여과를 실시하여야 할 것으로 판단되었다.

또한 표에는 나타내지 않았지만 미나리 양액농도조건에 틸라피아를 투입했을 때 폐사없이 96시간 동안 활발한 운동했는데 최소한 미나리 양액농도인 1 dS/m에서는 문제가 없다. 틸라피아는 열대성 어종으로 민물에서 자라지만 순치하면 바닷물에서도 잘 사는 어종으로 잘 알려져 있다. 바닷물의 농도는 염농도 2.0%이상이고 양액의 염농도는 0.06%내외로 매우 낮은 수준이므로 틸라피아의 양액농도정도의 수준에서는 별 무리없이 사육이 가능하다고 판단된다. 양어사경에서 물의 배출없이 사경재배를 통한 여과로 충분하게 수질을 유지할 수 있음을 알 수 있다. 경기도 관내 틸라피아 사육농가의 수질(부표4)을 살펴보면 농가에 따라서 수질의 편차가 큼을 알 수 있다. 물고기의 양식을 위해서는 일정수질의 유지와 환경오염물질을 줄이기 위해 배출수의 수질개선이 요구된다. 사육수의 수질을 개선하기 위한 오존발생기를 사용한 결과 세균억제효과는 인정되나 수질개선효과는 없었다고(오 등, 1995) 하였다. 일반적으로 단위체중당 산소소비량은 어체가 작을수록 많으며 수온이 상승함에 따라 증가된다. 수온이 10℃상승하면 2~3배 증가하는 것으로 알려져 있다. 또한 사료의 급이에 의해서 산소소비량도 증가하는데 섭이를 위한 운동과 소화흡수에 소비되기 때문이다.

수중의 이산화탄소는 호흡에 의해서 방출되어 용수가 경수일 경우 칼슘이나 마그네슘과 결합하여 중탄산염을 형성하여 수질의 pH가 안정되나, 경도가 낮으면 수중의 이산화탄소는 탄산으로 되어 물을 산성화시켜 유용생물의 생장에 좋지 않다고 한다(유, 1994). 틸라피아 사육시 수질이 pH 6.4~8.9, DO는 3.6~9.9, NH₄-N 0.034 ~5.36 ppm으로 유지되었을 때, 틸라피아성장을 제한하는 농도는 아니었다고 보고하고 있다(김, 1992).

제 4 절 양어/수경복합영농시설에서의 엽채류의 생육

여름철 채소류의 재배에 있어서 문제점은 양어/수경복합영농시설이어서 나타나는 재배상의 문제점이라기보다는 시설내부의 고온에 의해 시설원예분야에서 일반적으로 야기되는 문제가 수경재배의 극복해야 할 문제이고, 본 시설에서 예견되는 문제는 겨울철 가온기에 밀폐한 시설의 특이한 환경조건에서의 작물의 생육반응일 것이다.

양어/수경복합영농시설에서의 채소수경재배에서 양액은 미나리 전용양액을 조제하여 순환공급하였고 양어조와는 별도의 체계로 운용되었으므로 재배상의 어려움이 없었다. 그러나 수경베드의 방수필름이 0.05mm두께의 PE film이었기 때문에 찢어질 경우에는 양액이 사육조로 흘러 내릴 수 있고 보수하기가 매우곤란하기 때문에 lining재료의 재질은 값이 비싸더라도 관리상이나 사용기간이 긴 재질을 사용하는 것이 더 유리할 것으로 판단된다. 수경재배에서 재배한 청경채, 케일, 배추, 들깨, 쪽갓, 미나리, 상추 등의 엽채류의 계절별 생육조사 결과는 그림 7과 표14와 같다.

채소종자들은 우레탄 스폰지에 파종 육묘하여 정식하였기 때문에 정식하는데 매우 편리하였으나 부추, 파 등의 발아율이 낮았다. 들깨는 발아가 불량하였을 뿐 아니라 재배기가 단일로 접어드는 시기였기 때문에 충분히 자라기 전에 단일에 반응하여 잎의 분화가 중단되어 생육이 매우 좋지 않았으며 상추는 재식간격이 작아 웃자라는 경향이였다. 미나리는 대체로 잘자라는 양상이였다.

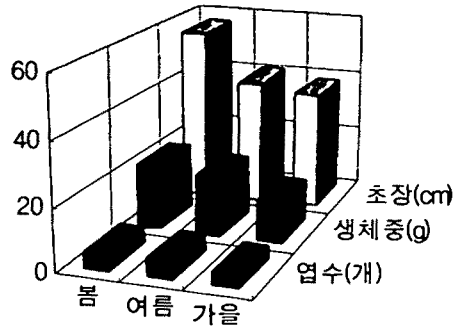


그림7 . 양어수경복합영농시설에서의 계절별 미나리의 생육

표14. 양어/수경 복합영농어 시설에서의 시기별 엽채류의 생육 및 수량

작물	시 기	초 장 (cm)	엽 수 (개)	지상중 (g/주)	수 량 (kg/10a)
청경채	봄	26.4	14.7	123.5	2063
	여름	16.8	11.6	10.9	182
	가을	26.6	11.4	101.9	1702
케일	봄	49.7	11.6	97.9	1226
	여름	12.5	6.5	2.7	-
	가을	43.8	8.8	40.8	511
배추	봄	35.9	13.9	133.6	1674
들깨	봄	102.1	15.2	68.3	1711
썩갓	봄	56.2	17.2	35.1	4397
	여름	33.8	15.0	34.7	4272
	가을	41.5	19.7	16.2	2030
상추	봄	29.2	12.2	104.3	1037
	여름	25.5	12.4	56.8	711
	가을	21.0	11.2	56.4	707

1996년도의 양어수경복합영농어시설내에서의 계절별 엽채류의 재배시험에서 저온성 채소인 청경채는 봄, 가을철에는 생육이 양호하였으나 고온기인 여름철에는 매우 불량하였으며 상추도 같은 경향을 보였으며, 잎이 너무 연하고 추대하여 품질이 매우 불량하였다. 부추와 파는 여름철에 초기에는 잘 자라다가 2주지난때부터 고온에 의해 잎이 말랐다. 엔디브는 여름철에는 잘자라기는 하였으나 잎/끝이 시커멓게 타는 tip burn 현상이 나타났는데 이는 고온기에 양액내 칼슘의 고온기 흡수장애에 의해서 나타나는 엽채류의 잎선단 괴사현상으로 알려져 있다. 쪽갓은 재배기간중 생육이 양호하였다. 단지 봄철 장일기로 가면서 추대개화하므로 개화전 일부 절단 수확하여야 할 것으로 보인다. 케일도 재배기간중 어느시기나 생육은 양호하였다. 들깨는 단일기에 접어들면서 개화하므로 별도로 조명시설을 하여 재배하지만 시설의 형태가 고설식이므로 어린식물을 채취하여 나물로 이용하는 재배방식을 택하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 청경채나 케일, 배추 등은 어느시기나 양액재배가 가능하였으나 충 발생이 심한 여름철에는 배추입벌레 등이 발생이 심하여 철저하게 나방류의 비래를 막지 않으면 농약을 함부로 사용할 수 없는 양어시설에 도입하기가 힘들 것으로 판단되었다. 한편 쪽갓이나 미나리는 년중 상부절단수확이 가능하여 수경재배 특성상 육묘와 정식의 노력을 상대적으로 절감할 수 있을 뿐 아니라 계절별 생육도 양호하므로 충분히 연중재배가 가능하리라 판단되었다. 수경재배는 어느정도 농약의 살포를 회피하여 재배할 수 있는 청정재배의 장점을 가지고 있으므로 방충망을 설치한다면 해충피해는 차단할 수 있고 농약살포에 의한 생산물의 오염이나 양어수경복합영농에서의 사육수의 오염에 의한 양식어의 농약피해로부터 원인적으로 피할 수 있을 것이다.

제 5 절 양어수경복합영농어시설에서 수경재배원수로서 양어사육수이용에 관한 연구

가. 양어사육수에 의한 미나리의 생육

양어사육수의 작물의 수경재배에의 이용은 상당한 잠재력을 가지고 있다. 물에 녹아있거나 사육수에 현탁되어 있는 유기물은 양어사육수내에 빠르게 축적되고 효과적인 사육을 위해서는 이를 제거해야만 한다. 특히 질산과 인산은 여과식사육시스템에 축적된다고 한다. 수경재배에 의한 채소생산은 재순환양어에서 질산태질소를 조절한다고 알려지고 있다. 즉, biofilter는 담수와 배수를 반복함으로써 여과배지내에서 고른 영양수를 제공하고 탈수에 의해 배지의 통기성을 개선하여 질산화성균과 식물뿌리의 호흡을 좋게한다(Lewi,1978)고 하였다. 식물에 사육수를 공급하기전에 침전에 의해 고형물을 제거하면 정상적인 식물생육이 이뤄지기에는 양분이 불충분할 수도 있다. 토마토의 경우에는 보조적으로 양액공급이 필요하다고도 한다. 이 시설은 밑에는 양어시설을 설치하고 그 위에는 수경재배 베드를 설치하여 수경베드를 biofilter로써 모래와 자갈에 작물을 재배하고 폐기물을 배출하지 않으면서 자체적으로 물질을 재활용하고 공간 및 에너지를 최대한으로 활용하는 것이다.

사육수의 무기양분은 원수의 무기성분과 사료로부터 공급된 무기성분 그리고 사경배지내에 함유된 무기성분이 그 전부이다. 그런데 사육수의 전기전도도가 0.3 ~ 0.4 dS/m에서 큰 변동없이 보통의 미나리양액의 조건인 EC 1.0 ~ 1.6 dS/m의 1/3수준에 불과하다. 사료의 무기성분함량은 살펴보면, 건물당 P_2O_5 2.48%, K_2O 2.09%, CaO 1.44%, MgO 0.46%,

T-N 5.98%로 나타나고 있다.

표 15. 급이사료의 무기성분함량(%)

P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N
2.48	2.09	1.44	0.46	5.98

결국 대부분의 무기양분은 급이된 사료로부터 공급된다고 볼 수 있다. 급이된 사료가 분해되어 용존되어 있는 무기성분이 EC가 낮은 것을 보면 얼마되지 않음을 짐작할 수 있다. 이러한 사육수를 이용하여 재배한 결과, 사육수를 이용한 NFT재배에서는 잎이 황화되어 절대적인 질소결핍증상을 보였으나 식물체의 초장은 통계적으로 유의하여 양액NFT재배에서 가장 컸고, 양액사경과 사육수사경은 대등하였으며 사육수NFT에서 가장 작았다. 엽수에서는 처리간에 큰 차이가 나지 않았으며 지상중에서는 역시 양액NFT재배에서 가장 무거웠고 양액사경이나 사육수사경에서는 대차없었다.

McMurtry등에 의한 biofilter와 사육수비 비율시험에서 biofilter의 비율이 사육수량보다 상대적으로 많아질수록 식물체의 P와 K의 함량이 낮아지고 N, Mg는 증가하였으며 질소의 함량은 모든 처리에서 낮았지만 비율별 통계적 차이는 없었다. 토마토의 경우 유기아미노산의 흡수에 의해 질소를 고정할 가능성을 시사하고 있다. 토마토는 무기질소원 만큼 alanine, glutamic acid, histidine, leucine을 흡수이용한다는 보고(Ghosy, 1950)에서도 언급하고 있다. 양어수경복합시설에서 미나리 재배시 양어사육수의 무기성분 농도는 절대적으로 부족한량임에도 불구하고 배지를 사

용할 경우 이런 부족문제가 해결되는데서도 배지내에서의 유기성분이 당류나 아미노산으로 분해되는 단계에서 미나리가 직접 흡수함으로써 정상적인 생장을 보이지 않나 추찰된다. 농업과 담수양식산업의 상호보완을 통한 환경오염대처방안으로 시행한 담수양식장 슬러지를 이용한 원예작물 공정묘의 생산시험에서 고추 공정묘의 생장이 양어슬러지농도가 높은 구에서 양호하였는데 이와같은 결과를 양어폐수의 슬러지에 함유되어 있을 것으로 추정되는 잉여사료의 영양분과 어류배설물에 함유된 비료성분이 고추와 토마토 등의 원예작물의 생육에 필요한 영양분과 유사하고 성분간의 균형도 유사함을 시사하고 있다고 하였다. 단지 많은 양의 비료성분이 슬러지내에 포함되어 있다라도 유기물은 서서히 분해되는 성질이 있으므로 고농도에 의한 장애는 받지 않았고 고추와 토마토의 공정육묘기간인 40일 동안 필요한 영양분을 충분히 공급할 수 있다고 하였다.

이와 재배방식은 다르지만 양어사육수자체를 이용한 미나리재배에서도 순수수경을 사용할 경우에는 양분이 부족하여 생육장애가 나타나지만 배지를 사용할 경우에는 큰 문제가 없는 것과 유사한 이유에서 생긴 결과라고 생각된다. block당 식물체수에 따라 block중의 개체의 생육이 달라진다. 따라서 개체수가 적을수록 개체당 생육이 양호해져서 block의 크기는 어느정도 회복하는 등의 밀도의 효과가 있다. block중을 측정한 결과 물론 양액NFT재배에서 39.5g으로 가장 무거웠고 양액사경, 사육수 사경, 사육수수경순이었다. 사육수이용한 미나리재배에서 나타난 질소결핍으로 구분되는 엽록소의 함량을 측정한 결과 엽색이 황색을 뚜렷하게 보이는 사육수 수경에서 매우 낮았으며 다른 처리에서는 처리간에 큰 차이를 보이지 않았다.

양액은 무기성분이 용액내에 잘 용해되어 있으므로 관련이 없지만 사육수는 용존되어있는 무기성분과 한편으로 다량함유되어 있는 미세 부유물질

이 있어 이것이 베드의 위치에 따라 침적량이 달라지므로 이에 의한 생육의 차이를 보일 것으로 판단하고 위치별 조사를 실시하였으나 대차 없었다.

표 16. 사육수 이용 수경재배시 베드위치별, 배지종류별 미나리의 생육 및 엽록소 함량 (봄철 : 정식 1개월 후)

구 분	초장(cm)			엽수(개)			지상중(g/주)			block중 (g)	엽록소 (mg/g FW)
	입구	중간	출구	입구	중간	출구	입구	중간	출구		
양액(NFT)	42.9a	44.4a	42.1a	5.6a	6.6a	5.8a	11.7a	9.9a	8.9a	39.5a	2.1
양액(모래)	39.2b	39.8b	37.3b	5.1a	4.9c	5.4ab	6.11b	5.0b	5.7b	32.0ab	2.3
사육수(NFT)	33.5c	34.5c	35.5b	5.1a	6.0ab	5.2b	4.66b	4.8b	5.6b	24.7bc	1.0
사육수(모래)	37.1b	39.6b	37.1b	4.2b	5.5bc	5.2b	5.34b	8.9a	6.15ab	20.8c	2.06
LSD.05	3.4	3.3	3.3	0.85	0.6	0.46	2.87	3.2	2.8	8.47	0.52

배지경재배에 사용한 일수가 부족하여 그 침적량이 작고 아직 안정화가 이뤄지지 않았기 때문인 것으로 판단되어 모래배지와 영양분이 거의 없는 펄라이트 배지를 사용하여 모래배지내의 약간 포함되어 있는 양분의 영향을 평가하고 배지 특성을 고려하여 사육수 이용법을 개발하고자 양액 NFT재배를 대조로 하여 사육수NFT재배, 사육수사경재배, 사육수펄라이트재배, 양액펄라이트재배를 실시하였때의 미나리의 생육을 살펴보면(표 18), 사육수NFT재배와 사육수펄라이트재배에서 생육이 비정상적이고 양액NFT와 사육수사경재배에서 대등한 생육을 나타내고 있다.

표 17 . 사경배지용 모래 및 펄라이트의 화학성

구 분	pH	P ₂ O ₅ (ppm)	Ex. cation(me/100g)			EC (dS/m)
			K	Ca	Mg	
모 래	5.4	13.7	0.31	0.62	0.51	0.02
perlite	5.8	-	0.23	0.12	0.03	-

9월 21일에 정식하여 시험한 사육수 이용 미나리 재배시험에서는 배지경재배에서 사육수를 이용시험을 2회 실시하였으므로 많은 양의 부유물질의 침적으로 미나리의 초장에서는 사육수NFT에서 가장 작았을 뿐 큰 차이를 보이지 않았고 block중에서도 마찬가지로 경향을 보였다. 근장에서는 역시 양액NFT재배에서 가장 길었고 다음으로 사육수사경재배가 길었으며 초장이나 무게에서와는 달리 크기에 있어서는 큰 차이를 보이지 않았지만 엽색에 있어서는 큰 차이를 보였는데 이는 엽색을 노랗게하는 엽록소의 생성에 영향을 미치는 질소결핍이 초장이나 생체중을 저하시킬만한 수준은 아닌가 생각된다.

표 18. 사육수이용 수경재배시 배지종류별 미나리생육
(여름철:정식1개월후)

구 분	초장(cm)	엽수(개)	지상중(g/주)
양 액 (NFT)	40.7ab	5.5a	17.2a
사육수 (NFT)	27.3d	4.3b	5.1
사육수 (모래)	42.9a	5.4a	10.8b
사육수(perlite)	36.5c	5.1a	8.5bc
양 액(perlite)	38.1bc	5.0a	8.0bc
LSD.05	3.6	0.5	4.1

생육이 매우 저조한 사육수NFT에서도 식물이 자라면서 뿌리가 발달하여 베드표면을 덮어 사육수의 공급시 부유물이 뿌리에 부착되어 있는 입구쪽베드의 식물체도 약간의 황화현상을 보이기는 하나 생육은 다소 양호한 것으로 보아 사육수의 무기성분용존량으로는 작물이 성장하는데 충분하지 못한 것이 부유물이 뿌리에 부착되어 그 물질로부터 필요한 성분이 무기화되거나 유기성분이 흡수되어 식물생장에 이용되지 않는가 판단된다.

이와 같은 결과는 봄철재배의 결과로부터 예상했듯이 사육수 자체로는 식물이 용존되어 있는 무기양분만 이용할 수 있으므로 충분한 생육을 할 수 없지만 배지를 사용할 경우 사육수에 함유된 사료 및 배설물에 의한 부유물이 미생물이 풍부한 배지내에 침적되어 미생물의 분해작용에서 유기물이 무기화되면서 어느정도의 질소결핍을 보완할 정도의 양이 공급되

었다고 판단할 수 있다. 사육수펠라이트재배에서는 모래보다는 아직 부유물의 침적이 적고 미생물활착이 적었던 것이 아닌가 판단된다. 따라서 미나리의 생육이 사육수사경재배만 못하였을 뿐 아니라 또한 펄라이트배지는 표면에 조류의 발생이 심하였다. 이는 배지경재배를 실시함에 있어서 일반적 담액수경처럼 한쪽에서 다른 한쪽으로 구배를 주어 흘리는 식으로 사육수 및 양액을 공급한 바 한쪽에서 양액이 차고 펄라이트가 물위로 떠서 광차단이 전혀안되는 상태에서 양분이 있고 물이 표면위로 흐르지 않기 때문에 조류의 발생이 심한 반면 모래배지는 대부분의 사육수가 모래위로 흘러가기 때문에 조류의 발생이 거의 없었다.

수경재배의 장점은 토양재배에서 나타나는 단점을 극복할 수 있는 재배방법이며 수경재배중 모래를 이용하는 사경재배는 가장 토양재배 특성에 가까우면서 수경재배의 특성을 살릴 수 있는 장점을 가지고 있다. 가장 큰 단점은 배지의 운반 및 교환작업이지만 근래의 농업기계의 발달로 크게 문제되지 않으며 한번 설치하면 반영구적으로 사용할 수 있는 큰 장점을 지니고 있다.

사경재배에 대한 연구는 다른 배지재배에 비해 작물재배에서 많이 보고되고 있지는 않다. Brar등에 의하면 사경재배에 시험에서 목화 뿌리의 hydraulic conductivity는 수경액에서 자란 것보다 모래배지에서 자란 것이 4 ~ 10배 낮았다고 보고하고 있으며, Graves 등은 honey locust재배시 근계의 길이는 사경이나 수경에서 유사하고 수경에서 1차근이 더 길고 측근이 적으며 근모도 적었는데도 수리도는 두재배방식에 비슷하므로 뿌리의 형태는 변해도 물의 이동에는 영향하지 않는다고 보고하고 있다. 이의 결과는 직근성인 식물에 대한 결과이고 미나리와 같은 수생식물이면서 수염뿌리인 엽채류이므로 배지내로 뿌리가 깊이 들어가지 않으며 뿌리의 발달도 생육하는데 충분하게 발달되는 것으로 판단되었다. 모래의 입

자가 클 경우 뿌리의 진로를 차단하여 뿌리가 짧고 굵어진다지만 미나리에서는 이와같은 현상은 발견하지는 못하였다.

따라서 사육수의 무기성분 농도가 낮아 EC가 0.3 ~ 0.5 dS/m내외이어서 표준 양액농도에 턱없이 낮긴하나 배지경을 도입·적용할 경우 배지내에서의 사료찌꺼기나 물고기배설물의 부유물이 침적되어 분해되면서 작물이 자라는데 충분한 양분을 공급한다는 것을 미루어 짐작할 수 있다. 다만 킬라피아 사육수는 직접이용하여 엽채류재배에 사용할 경우 위생적인 면을 고려하여 내습성이 강한 비식용작물의 적용도 가능하리라 판단된다.

또한 펄라이트와 같은 배지는 비중이 작기는 하나 상대적으로 표면적이 작기 때문에 모래보다는 미생물에 의한 유기물분해가 다소 떨어지는 것이 아닌가 생각되며 최초 생산시설투입시 무거워서 취급이 다소 어렵다고는 하나 정식작업이나 여과효율, 재료구입의 경제성을 고려할 때 모래가 우수하다고 판단된다. 한편 사육수의 공급방식은 부유물이 베드표면을 흘러 내려가는 것을 배제하고 위생적으로 하기 위해서 모래아랫부분의 배수되는 부위에 급수라인을 설치하여 아래로부터 상부로 사육수를 공급하는 방식을 채택하는 것도 좋을 것으로 판단된다. 모래는 펄라이트에 비해 가격이 싸고 쉽게 구입할수 있으며 반영구적으로 반복사용이 가능하여 모래의 입도, 베드구조, 시비의 조절법 등이 이상적으로 시스템화된다면 활용성이 높다고 보고(김,1997)하고 있다. 특히 양어수경에서는 작물재배측면만 만족시킬수는 없다. 양어와 수경 모두를 어느정도 특성을 살려 잘 어울리 수 있는 배지를 선택하는 것이 좋을 것이다. 이와 같은 이유에서 모래는 한번구입설치하면 그이후에는 큰 불편이 없기 때문에 권장할 만한 배지라고 생각된다. 양어수경에서는 수경재배시의 모래단독배지의 단점은 어느정도 극복된다. 유기물이 부족한 모래배지는 사육수로부터 공급되어 보습성 및 수리도가 증가하고 주기적 물공급에 의해 산소도 충분히 공급될

수 있기 때문이다. 한편 배지의 입자의 크기, 직경, 밀도, 공극, 입자모양이 여과효과에 영향을 미친다. 모래는 순환여과시스템에서 효율적이고 값싼 biofilter로 좋다고 하였다(Summerfelt, 1996).

표 19. 사육수이용 수경재배시 미나리생육에 미치는 영향
(가을철 :정식1개월후)

구	분	초장 (cm)	엽수 (개)	주중 (g)	지상중 (g/주)	block 지상중(g)	근장 (cm)	엽록소 (mg/gFW)
양	액(NFT)	37.8ab	4	13.6bcd	9.0bcd	24.2bc	29.9a	1.78b
양	액(모래)	35.1b	4	11.5cd	7.7cd	25.4abc	14.4d	0.76d
사	육 수(NFT)	26.7c	4	6.4d	4.5d	16.6c	15.6cd	0.8d
사	육 수(모래)	40.7a	4	20.6abc	13.7bc	35.0a	21.0b	2.12a
사	육수(perlite)	36.2b	4	28.0a	21.7a	33.6ab	14.5d	1.36c
사	육수(NFT)입구쪽	35.5b	4	21.8abc	16.1ab	34.1ab	13.8d	1.76b
사	육수(perlite)입구쪽	34.1c	4	23.6ab	16.6ab	30.0ab	18.2c	0.41
LSD.05		3.75		11.1	7.9	10.4	2.7	0.25

또한 사육수NFT재배와 사육수펄라이트재배 양쪽모두 베드 사육수가 공급되는 쪽일부를 제외하고 그뒤부터는 황화현상을 보였지만 사육수 NFT재배에서와는 달리 사육수펄라이트재배에서는 초장, 생체중, 포복경 발생정도의 차이가 현저하게 좋았다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 사육수 용존량이외에 배지가 있어 상대적 미생물부착이 많은 배지내에서의 분해산물에 의해 생장이 정상적으로 이뤄지고 있음을 시사하나 베드

끝부분 즉, 사육수입구로부터 20m정도에서는 질소결핍현상을 보이는 것은 공급부위로부터 차례로 부유물의 침적이 일어나고 베드 끝부분에서는 아직도 안정화가 덜 되었거나 사육수에 용존되어 있는 질소성분이 미나리가 자라고 있는 베드라인을 통과하면서 흡수되어 끝에서 부족현상을 보이는 것으로 생각된다.

나. 사육수이용 미나리 사경재배에 의한 무기성분여과효과

표 20 . 사육수 이용 수경재배시 미나리 베드위치별 수질분석
(봄철 : 정식 1개월 후)

Treatment		pH		P(ppm)		K(ppm)		NO ₃ -N(ppm)	
		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Nutrient solution	NFT	7.0	6.8	21	20.5	24.4	19.2	23.6	22.1
	Sand	7.0	7.1	21	20.8	24.4	24.3	23.6	23.5
Tilapia rearig effluent	NFT	7.1	6.9	7.8	7.5	22.8	20.7	12.7	11.4
	Sand	7.1	6.9	7.8	7.3	22.8	17.2	12.7	10.5

앞에서 언급한 바와 같은 길이 20m의 모래배지에 미나리를 10 cm x 10 cm 간격으로 1헥타 3~5주씩 정식하여 한쪽으로부터 다른 한쪽으로 사육수를 흘려보내면서 1개월간 재배하여 식물체가 40여 cm크기로 자랐을 때 공급사육수와 배출사육수를 채취하여 주요 화학성 및 무기성분을 분석하여 본 결과는 표20에 나타나 있다.

대조로 미나리 양액을 공급하면서 NFT와 사경재배방식으로 미나리를 재배할 경우 pH는 NFT에서 약간 낮아지고 사경재배에서는 약간 올라가지만 큰 차이는 나타나지 않았고, 인이나 칼륨, 질산태질소에서는 사경재배에서보다는 양액재배에서 더 많이 줄어들어 식물체에 의한 흡수가 더 많이 되었다는 것을 알 수 있다. 이는 미나리 생육양상에서도 나타난 바와 같이 양액NFT재배에서 미나리 생육이 더 양호하였던 것과 일치한다.

사육수를 이용한 재배에서는 pH가 약간 낮아졌고 인이나 칼륨, 질산태질소 등 주요성분에서 입구쪽보다는 출구쪽에서 약간 그 함량이 낮은데 이것도 역시 사육수NFT에서보다는 사육수사경재배에서 그 차이는 미미하지만 더 낮아진 것으로 보아 양액에서의 경우와 같은 경향임을 알 수 있고, 공급수가 계속 흘러가고 베드내 체류시간이 작기 때문에 이와 같은 결과를 나타내지 않았나 생각된다. 오등은 썬라이트골판을 재료로한 침지식 여과조의 탈질조건구명시험에서 탈질화에 필수적인 혐기적조건은 수리학적체류시간 8시간과 C/N율이 5이상일 때 최적의 탈질율을 보였다고 보고하고 있다. 사육수가 베드에 유입되어 일정한 체류시간이 확보되어야 그 기간동안 작물에 의해 흡수되고 부유물질이 침적이 잘되리라 생각된다. 또한 사육수 공급 방식을 일정량 급액하고 펌프를 정지하여 아래로 배액하는 방식을 택하면 배지내로의 산소공급이 원활하여 여과효율은 더 크리라 생각된다.

사육수공급방식에 따라, 미나리 재배시기 및 베드 크기에 따라 달라질 것이므로 틸라피아 사육량, 사육수량, 사료급이량, 틸라피아 생육단계, biofilter베드의 크기의 적정규모의 선택이 필요할 것으로 판단된다.

또한 베드위의 작물생육단계를 다단계로 하여 유지시키므로써 여과효율을 균일하게 하는 것도 좋을 것으로 사료된다. biofilter에 대한 연구로는 자갈필터를 이용하는 방법(Lewis, 1978)과 rotating biological

contactor(Rakocy. 1994)를 이용하는 법 그리고 모래(Gloger. 1995)를 이용하는 방법 등이 있다.

Gloger 등은 순환식 틸라피아 양식에서 매일 사료를 공급하면서 적당한 비율의 작물을 재배하면 별도의 여과조가 필요치 않다고 보고하고 있고, 상추를 재배할 경우 BOD의 제거효과는 거의 없었으나, 암모니아의 농도는 0.6 ~ 9ppm으로 유지되며 농도가 낮을 때는 상추를 재배하지 않는 것에 비해 0.5ppm, 농도가 높을 때는 4ppm까지 낮았으며, NO₃-N은 시작할 때의 농도가 10ppm에서 최고 170ppm까지 상승하나 상추재배에 의해 30ppm으로 낮출수 있었으며 NO₂-N도 0.1~ 4.6ppm으로 유지되며 상추재배에 의해 0.5ppm정도 낮았다. PO₄-P도 2~10ppm으로 유지되었고 상추재배로 3.5ppm의 낮아지는 효과가 있는 등 순환여과식양식에서 작물재배에 의한 수질정화의 효과를 보고하고 있다.

다. 사육수의 온도, pH 및 EC변화

일반양액의 경우 토양재배와 달리 완충능력이 작기 때문에 pH변화가 심하며 양액량이 적을 경우는 더욱 그러하다. 이럴 경우 무기성분의 불용화, 양분흡수의 불균형으로 결국 생장에 장애요인이 된다.

식물의 성장에는 양수분흡수에 작물별 적정 pH범위가 있지만 보통의 작물은 대개 pH 5.5 ~ 6.5사이에서 정상적인 생육반응을 보인다. 그래서 양액재배에서는 pH의 안정화가 중요한 재배관리의 한 요인으로 이의 안정화를 위한 기술, 즉 작물흡수특성에 맞는 양액조성을 구명한다든지 아니면 pH연속계측에 의한 산·알칼리보정 또는 양액보충을 위한 컴퓨터제어기술등의 개발에 노력을 기울여 오고 있다. 그러나 이와같은 노력을 기울인다 하더라도 기계적인 결함에 의한 오작동과 정전, 기후의 차이에서

오는 양수분흡수패턴의 변화로 pH를 완전하게 안정화할 수는 없다.

이러한 이유에서 양어사육수를 이용한 작물사경재배를 하면 이를 쉽게 해결할 수 있다. 일반적 재배면적 및 필요양액량에 비해 사육조의 사육 수용량이 상대적으로 대용량이기 때문에 pH 및 EC가 쉽게 변화하지 않으며 성분의 변화폭이 매우 낮다는 것을 알 수 있다(그림8).

pH의 변화는 7부위에서 안정화되어 있고 EC는 사육수의 배출수 및 증발산량의 원수보충으로 약간 변하기는 하지만 그 정도가 0.1dS/m정도에 국한되므로 아무런 문제가 나타나지 않는다. 앞에서 언급한 바와 같이 작물의 생장이 양어사육수의 용존무기성분에 의존된다기보다는 배지내의 고형물의 양분으로부터 대부분 공급된다고 볼 수 있는 것을 보더라도 이를 짐작할 수 있다. 이와 같이 양어수경복합영농어에서는 양액재배 단독영농에서의 pH관리문제가 쉽게 해결될 수 있다는 장점을 가지고 있다.

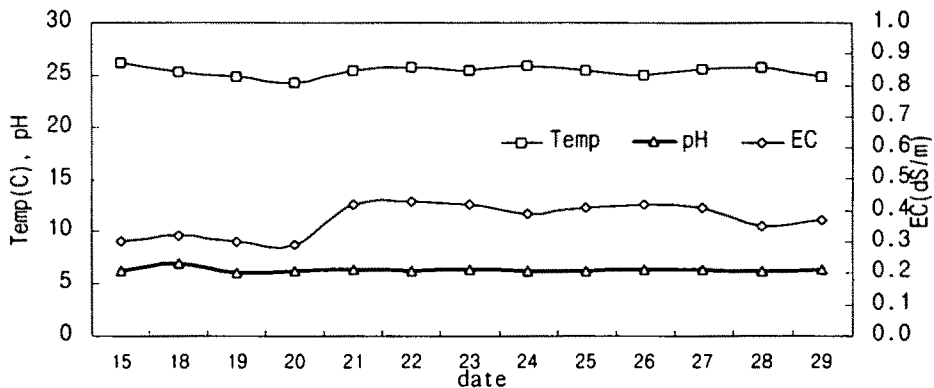


그림8. 양어수경복합시설에서의 미나리 사경재배시 사육수의 pH, EC 변화(6월중)

라. 사육수이용 재배시 배지별 미나리의 무기성분함량 및 건물을

양액재배와 사육수를 이용한 미나리 수경재배에서 배지별 여과효과를 간접적으로 측정하기 위하여 미나리 식물체중의 무기성분 함량을 알아보기 위하여 분석한 결과는 표21에 나타나 있다.

표21 . 사육수 이용 수경재배시 미나리의 무기성분함량 및 건물율
(단위:%, in dry matter basis)

Treatment		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	T-C	Dry matter
Nutrient solution	N F T	1.3	7.35	1.46	0.7	2.7	47.0	9.7
	Sand	0.76	6.67	1.64	0.68	2.6	46.0	9.7
Tilapia rearing effluent	N F T	1.53	7.81	1.34	0.85	2.7	47.0	9.6
	Sand	1.21	5.46	1.47	1.01	2.8	47.2	9.8
	Perlite	1.32	6.43	1.28	0.93	2.8	45.7	9.4
	NFT(inlet)	1.83	6.72	1.45	0.96	3.2	48.1	7.0
	Perlite(inlet)	1.57	6.23	1.30	0.94	3.1	48.1	7.2

생육이 저조했던 사육수NFT재배나 사육수펄라이트재배에서도 건물율에서는 처리간 차이를 나타내지 않고 있어 앞에서 언급한 바와 같이 엽색에서 황화를 보일뿐 초장 등의 생육에는 큰 지장을 초래하지 않은 것을

알수 있는데, 과채류에서는 이러한 경우 생육에 큰 장애가 우려되나 엽채류인 미나리에서는 그러한 현상은 보이지 않았다. 또한 잎이 완전히 백화된 것이 아니고 엽록소를 어느정도 함유하고 있어서 생장에는 지장이 없는 것으로 추찰된다.

무기성분 함량에 있어서 다소간의 차이는 나타나지만 거의 비슷한 함량을 유지하고 있어 식물체의 크기가 다를 뿐 무기성분함량에는 차이가 없음을 확인할 수 있다.

위의 무기성분 함량에 양어수경복합영농어시설에서의 수경재배배지로서 생육도 양호하고 여과효율도 일반적으로 알려진 모래가 가장 우수하다는 결과와 일치하였고 모래배지를 사용할때의 작물1기작 재배에 의한 사육수중 무기성분제거정도를 수량에 대하여 계산한 것은 표22에 있다.

표22. 양어사육수 이용 사경재배시 미나리에 의한 무기성분흡수량

(unit : kg/350m²/year)

P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N
14.6	66.2	17.9	12.3	33.9

Amount of absorption calculated on the nutrient contents of the biofilter bed plant. (Total fresh wt. of plant : 12,366kg/350m²/year, dry matter(%) : 9.8)

350m²의 양어수경복합영농어시설의 수경재배면적을 전체면적의 44%로 적용하여 사경재배로 1년에 10회 생산할 경우로 환산했을 때, 질소는 약 34kg의 흡수량을 보이고, 인산이 14.6kg으로 사육수중에서 사료로부터 유래한 많은 양의 무기성분을 제거한다고 볼 수 있다.

사료의 급이계수가 1.7일 경우 사료의 40%가 사육수에 존재하게 되고 이를 식물이 이용하게 되며, 총급이사료중의 총질소량이 약 110kg이나, 실제 식물이 흡수한 양의 1/3수준이고 기타의 질소성분은 탈질에 의해 소실되거나 많은 양이 물에 녹아있는 상태로 있게 된다.

양어수경시스템에서 사료에 의해 공급된 질소의 고정 또는 순환계의 비율은 티라피아에 의해 24%내외 고정되고 탈질 및 기타에 의해 40%정도 소실되며 잔사로 8%정도, 작물(상추)흡수에 의해 8%정도, 사육수에 16% 정도로 높다고 하였다(Gloger, 1995). 양어사육수를 이용한 bush bean, 오이, 토마토의 사경제배에 대한 시험도 있는데, 작물은 추비없이 정상적인 재배가 가능하였고 티라피아 사육수의 수질도 정상적이어서 양어와 채소 수경의 복합시스템의 가능성을 입증하고 있다(McMurtry, 1990). 티라피아 사육수를 이용하여 토마토를 재배한 시험에서 식물체의 무기물흡수와 biofiltration, 폭기에 의해 사육수수질은 티라피아를 사육하는데 문제가 없었고 모든 영양소는 결핍수준이상이었으며 식물체내 N, P, K, Mg함량도 충분하였고 미량원소는 다소 과잉되었지만 장애는 나타나지 않았으며 사료의 무기성분의 함량이 작물요구량에 부합되었고 티라피아양식에 요구되는 함량의 범위안에 있다는 것을 알 수 있었다고 하였다.

토양재배에서도 시용한 질소질비료는 토양미생물에 의해 가스화되어 공기중으로 탈질되거나 강우 또는 관수에 의해 유실되므로 시비량은 보통 작물흡수량의 2~3배 정도를 하는 것이 보통이다.

마. 양어사육수를 이용한 사경미나리재배실증시험

표23. 양어와 채소사경에 의한 미나리 재배시 사육수의 경시적 pH변화

위 치	정식1주후	2주	3주	4주	5주
수로형 사육조입수부	5.8	5.8	6.0	6.0	6.2
사육조배수부	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3
베드입수부	6.0	6.0	6.2	6.2	6.0
베드배수부	6.4	6.4	6.4	6.1	6.2
원 형 사육조	5.5	5.9	6.2	5.4	6.0
베드배수부	7.3	7.0	6.7	5.5	5.8

표24. 양어와 채소사경에 의한 미나리 재배시 사육수의 경시적 EC변화

위 치	정식1주후	2주	3주	4주	5주
수로형 사육조입수부	0.24	0.29	0.30	0.31	0.22
사육조배수부	0.29	0.28	0.31	0.34	0.24
베드입수부	0.24	0.27	0.23	0.36	0.19
베드배수부	0.29	0.25	0.26	0.36	0.24
원 형 사육조	0.25	0.24	0.36	0.39	0.26
베드배수부	0.28	0.24	0.40	0.40	0.40

틸라피아의 방양과 동시에 미나리 사경재배시, 사육수 및 재배베드입구와 출구쪽 그리고 규모가 작은 8톤규모의 원형사육조와 수경베드사이의 사육수 및 재배베드유출수의 경시적 pH 및 EC의 경시적 변화를 조사하였다. 일반적인 양액재배의 경우 흘러버림식일 경우에는 무기성분의 공

급이 균일하지만 앞으로 환경오염의 부담을 줄이기 위하여 순환식 양액재배가 이뤄져야 할 것이다. 그런데 이때 양분공급의 자동조절이 어렵고 제대로 이뤄지지 않을 경우 양액의 용량이 작고 또한 양액의 완충능이 작기 때문에 화학조건이 아주 쉽게 변하여 작물의 생육에 장애를 초래하게 된다. 그래서 본 조사에서는 양어수경시 사육수의 pH 및 EC의 변화정도를 조사함으로써 대용량에 의한 화학성의 안정화정도를 파악하고자 하였다.

표23 및 24에서 보면 양어수경시스템에서의 1개월동안의 pH 및 EC의 큰 변화를 나타내지 않았다. 다만 사료공급이 계속됨에 따라 최초 원수를 공급하였을때보다 서서히 EC가 증가하였다. 최고 0.4dS/m수준을 넘지 않고 0.3 ~ 0.4 dS/m에서 안정적으로 유지되었으며 1년중 어느때에도 그 수준을 넘지 않았으며, pH는 일반작물에 호조건인 약산성부위로 유지되었다. 다만 EC 0.4dS/m정도는 미나리의 경우 일반적인 양액재배시 1.0 ~ 1.6 dS/m내외로 유지시키는 것이 좋은 것에 비해 매우 낮은 편이나 배지경재배를 실시하였으므로 사육수 자체만 보고, 낮아서 정상적인 작물재배가 불가능하다고 평가할 수 없다고 생각된다. 한편 양어사육수의 무기영양물질은 거의 대부분 사료에 의해 공급되는 것이므로 틸라피아가 살수 있을 만한 조건을 유지하면서 작물재배가 충분할 만한 영양물질수준으로 도달하는 것은 어려우므로 앞선 시험에서도 나타난 결과이지만 사육수 자체로는 정상적인 생육을 유지하기는 힘들다. 그러나 사육수에 아직 분해되지 않은 부유물질이 모래배지내에서 집적되어 안정화되어 일정한 수준의 무기양분이 공급되는 조건에서는 작물재배가 가능해진다. 본 시험에서도 EC로는 나타나지 않는 이러한 효과가 나타난 것을 짐작할 수 있다.

한편 플러그묘판에서 육묘한 묘의 엽병부위를 잘라내고 rootstock만 모

래에 심었을 때 물에 깊이 잠긴 묘는 상부가 부패되었다. 40여톤 규모의 수로형사육조와 그와 동등한 표면적을 가지고 있으며 전체 체적이 3m³ 규모의 재배베드에서 자란 미나리와 8톤규모의 원형사육조사육수와 약 전체 체적이 0.9m³ 규모의 사경재배베드에서 자란 미나리의 생육은 표25에 나타나 있다.

표25. 틸라피아사육수 이용 사경재배미나리의 생육

구 분		정식2주후	정식3주후	정식4주후	정식5주후
초 장 (cm)	원 형	13.6±1.64	20.3±1.90	38.4±4.28	48.2±2.08
	수로형	22.5±2.00	24.9±2.42	42.3±1.42	50.4±4.68
엽 수 (개)	원 형	1.7±0.40	3.3±0.20	4.3±0.62	5.0±0.20
	수로형	2.2±0.32	3.3±0.42	4.7±0.62	5.3±0.40

수로형사육조의 사육수는 95년 9월부터 사육해오던 사육수이고 원형사육조의 사육수는 시험시작과 동시에 틸라피아를 방양하고 처음시작하여 양어수의 용존 무기성분이 적었으므로 초기의 생육은 다소 낮았으나 시간이 경과함에 따라 회복되어 정식 5주후부터는 수로형베드에서의 미나리생육과 대등하였다. 한편 원형사육조는 사육수 및 사육량에 비해 베드면적이 작았으므로 모래배지를 사용하지 않은 수경재배에서도 질소결핍증상이 나타나지 않았는데 이는 96년시험에서 나타난 바와 같이 초기에는 질소결핍증상이 나타나다가 뿌리가 발달하여 뿌리에 사료 및 배설물에 의한 무유물이 걸리면서 개선되어 엽색이 회복되었고 정상적인 생육을 나타내었

다. 표에는 나타내지 않았지만 사경미나리가 수경미나리보다 다소 작았는데 이는 실생육묘한 묘의 root stock이었기 때문인 것으로 판단되었다.

한편 재배중에 부위에 따라 황화엽이 발생하거나 또는 군데군데 개체에 일부잎이 황화되는 현상을 보였다. 또한 1개월동안의 사육수이용에 의한 모래내의 사육수 부유물 집적의 안정화가 불완전하고 사용한 모래배지가 해사였으므로 물로 탈염시키고자 최대한 노력하였으나 충분히 제염되지 않아 부분적으로 물이 적게 공급되는 곳에서 더욱 황화현상을 보인 것 같다. 한참 줄기가 자라는 일장이 길어지는 시기였으므로 정식후 1개월이 경과하는 시기에는 최고 60cm까지 되는 것도 있어 미나리가 도복되었는데 품질면이나 수확시의 작업의 편리성을 고려하여 수량은 다소 떨어지더라도 봄철재배에서는 정식후 25일경에 수확하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

한편 정식 1개월후 수확시의 양어사경미나리의 무기성분 함량을 보면(표 26), 원형사육조나 수로형사육조 미나리 공히 인산, 칼륨, 질소 및 탄소의 함유율은 비슷하였고 칼슘과 마그네슘이 원형사육조에서 다소 높았다.

표26. 정식 1개월후의 미나리식물체의 무기성분 함량(%)

구 분	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	T-C
원 형	1.46	4.60	1.91	0.93	3.26	53.0
수로형	1.48	4.17	1.69	0.71	3.03	52.8

미나리 전용양액으로 재배했을 경우 질소함량이 건물당 평균 3.0%이며 P₂O₅는 1.53%내외, K₂O 는 10%내외, CaO는 1.2%내외, MgO는 0.5%내

외인 것과 비하면 양어사경미나리의 체내 무기성분함량은 질소는 대등하거나 다소 높은 3.03 ~ 3.26%를 보이고, 인산함량은 양액미나리와 유사한 함량을 보이는 반면, 칼슘은 다소 낮았으며 마그네슘은 약간 높게 나타났다고 칼륨은 양액미나리의 절반도 못미치는 4.17 ~ 4.6%정도였다. 이러한 결과로 보아 사료의 성분이 조단백이 44%이상으로 사육수에서 분해되어 용존하는 질소가 미나리의 생육에 충분한 것으로 보이며, 인성분 또한 충분한 것으로 판단된다. 양액재배에 비해 칼륨이 낮고 칼슘이 다소 낮기는 하나 미나리 양액재배가 미나리를 위해 전용으로 개발한 양액임을 감안하고 일반적인 식물체내의 무기성분함량수준을 고려할 때 낮은 편이 아니다. 따라서 사육수에 의한 작물재배시 양어사육수에 의한 양분부족현상이 없을 것으로 판단된다.

표27. 양어사육수이용 사경재배미나리의 식물체내 질산태질소함량 및 건물율

구 분	NO ₃ -N(ppm)	건물율(%)
원 형 사육조	6634	6.1
수로형사육조	3612	6.3
양액재배(대조)	4935	6.1

표28. 양어사육수이용 사경재배미나리의 수량(정식 5주후)

구 분	생체중(g)/주	수량(kg)/평
원형사육조	14.4	17.3
수로형사육조	16.0	19.2

최근에 식물체에 함유된 질산염의 지나친 함량으로 사람이 과다하게 섭취하게 되면 청색증을 일으키는 등의 인체에 해롭다는 인식이 일부에서 일고 있어, 양어사육수를 이용하여 재배한 미나리의 체내 질산태질소함량을 조사해 본 결과(표27), 양어사경미나리의 건물당 질산태 질소의 함량이 양액재배미나리함량보다 낮은 반면 원형사육조미나리는 높았는데 이는 원형사육조 미나리가 물이 매우 혼탁하게 유지되었던 시기인 재배말기미나리였기의 시료였기 때문으로 판단되며 물량이 많은 수로형에서는 낮게 나타나서 양액재배미나리보다는 질산염이 낮았음을 확인할 수 있었다. 식물체의 질산태 질소의 함량은 양액내의 질산태질소함량과 대체로 비례한다. 양액의 질산태질소함량보다는 사육수의 함량이 낮았으므로 이와같은 결과를 보였다고 생각된다. 사육수의 암모니아가 산소가 충분히 공급되는 사경배지내에서 미생물에 의해 충분히 질산태질소로 산화되거나 미나리가 암모니아를 우선적으로 흡수하는 작물이기는 하지만 미나리의 질산의 체내에서의 암모니아로 환원되어 이용되는 한계가 있으므로 재배가 계속될수록 식물체내에 질산염은 집적될 가능성이 높다. 양액재배시 지하수에는 질화세균이 거의 없고 또한 식물의 흡수특성상 암모니아질소보다는 질산태질소의 비율을 높게 하여야 정상적으로 생육하므로 미나리와 같이 암모니아태질소를 우선적으로 흡수하는 식물(Maynard, 1976)은 양액에 질산염이 존재하는한 양이온과 음이온의 균형적 흡수로 인한 질산염의 체내 축적은 회피하기는 어렵다.

미나리의 질산태질소함량을 줄이기 위한 연구에 의하면, 미나리 전용양액재배에서 질산염의 함량이 3400ppm이었으나 일정기간 재배후 양액내 질산태질소를 Cl^- 로 대체하면 840ppm으로 낮출수 있으며(문, 1996), 양액의 질소급원을 질산염을 없는 탄산암모늄을 사용함으로써 500ppm수준으로 낮출수 있다고(이,1996) 보고하고 있다.

질산태질소의 미나리 식물체내 과다집적은 수확시기를 앞당김으로써 해결할 수 있지 않을까 생각된다. 앞으로 수확시기별 질산태질소의 함량을 연구할 필요가 있을 것이다.

표29. 양어수경복합시설에서의 미나리사경재배시 사육수의 무기성분의 경시적 변화 (단위 : ppm)

구 분	P	K	Ca	Mg	NH ₄ -N	NO ₃ -N	
원 형 사육수	1주 후	0.1	4.5	10.0	7.7	1.6	22.4
	2주 후	0.2	3.4	11.5	7.2	3.2	13.1
	3주 후	0.24	18.7	15.1	8.3	13.7	18.0
	4주 후	3.2	20.2	19.9	9.5	4.3	33.3
수로형 사육수	1주 후	0.6	13.5	7.8	7.3	11.4	5.4
	2주 후	3.6	12.7	10.8	7.6	6.6	7.6
	3주 후	4.2	18.0	14.3	8.2	10.7	2.3
	4주 후	5.1	19.4	16.4	8.1	17.9	4.0

표29는 재배기간중의 사육수의 경시적 무기성분변화를 나타낸 것이다. 사육규모가 상대적으로 작은 원형사육조의 사육수는 채취시기마다 다소간 변화를 나타내지만 대체로 3주까지는 성분히 서서히 증가하였고 1개월 재배기간중 말경에는 어느정도 높은 수준을 유지하였다. 그러나 미나리 전용양액 수준에 비해 낮아 인산은 최고 5.1ppm수준으로 낮았으나 식물체에는 정상적으로 흡수된 것으로 보아 사육수용존에 의해 의존되는 것이 아니라 사경베드의 배지내에서의 유효인산분해에 의해 충족되는 것으로

추찰된다. 칼리는 1/4수준이며, 칼슘은 1/2수준, 마그네슘은 2/3수준에서 크게 변화하지 않았다. 이 수준이라면 일반적인 순환식양액재배에서 일정원소의 편중적인 흡수에 의한 양액불균형으로 생육의 장애를 초래하는 것보다 어느 일정한 수준을 유지하는 양액이 좋은 것으로 판단되며 또한 이와 같이 다소 낮은 양분수준이 미나리의 정상적인 생육을 보이는 것으로 보아 사경배지의 역할이 매우 중요하다고 생각된다. 모래는 뿌리의 침투를 억제하는 작용을 하는 것과 무거워서 취급하기가 어려운점 등 수경재배시 사용하는 여러 가지 배지중에서 많이 활용되지 않지만 양어사육시에는 여과효과가 우수한 것으로 알려져 있으며 최근 토양재배에서는 토양중 규소의 흡수가 *Pythium*속에 의한 발병이 억제되지만 양액재배를 할 경우 이를 극복하기 위해 규산염을 어느정도 첨가해야 하는데 사경재배를 할 경우 여과효과, 미생물에 의한 유기물분해로 유효양분공급 및 규소공급 등 좋은 점과, 한번 시설하면 반영구적으로 사용할수 있으므로 큰 장점이라 할 수 있다. 또한 미나리는 수생식물로 대부분 논이나 물을 충분히 공급할 수 있는 밭에서 재배되고 있으나 용수의 오염 등으로 수경재배로의 전환이 이뤄지고 있는 현재 상황에서 정식판에 정식하는 방법보다 모래에 정식하면 생육도 좋고 품질도 우수할 뿐 아니라 줄기를 절단하여 수확할 경우 정식판에서의 줄기신장에 의한 압박으로 나타나는 생육부진을 회피할 수 있어 여러차례 수확이 가능하게 되는 등의 장점이 있다.

봄철에서 여름철에 걸친 재배는 해사에서 실시하였던 바 약간의 염류장애를 확인하였기 때문에 추계재배시에는 강사로 교체하여 봄철과 동일한 방법으로 재배하였다.

표30. 양어수경복합영농시설에서의 미나리의 생육(1997. 9)

구 분 (정식후일수)	초장 (cm)	엽수 (개)	생체중 (g/주)	수량 (kg/평)
20	34.6±3.1	5.3±0.66	10.5±4.48	-
40	57.2±5.3	6.6±0.50	19.0±5.20	18.4

표31. 사육수의 수질

EC (dS/m)	pH	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NH ₄ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)
0.34	6.03	2.68	10.2	25.1	9.5	6.7	12.6

수로형 사육조의 사육수의 수질은 큰 변화가 없었다. 미나리의 수량은 정식후 얼마만에 수확하느냐에 따라 달려있기는 하지만 적정수확기를 택해야만 수량도 확보하고 품질도 유지되기 때문에 적정시기를 택해야 하며 단일기보다 장일기인 봄철에서 여름철에는 25일정도면 충분하고 가을에서 겨울로 갈수록 수확기에 도달하는 재배기간이 다소 길어지기는 하나 미나리는 장일처리를 하면 줄기가 신장하는 특성이 있어 재배기간을 상당히 단축할 수도 있다.

표32. 틸라피아의 크기별 함수율

체중 (g)	전장 (cm)	체장 (cm)	체고 (cm)	건조중 (g)	함수율 (%)
193	21	18	7.5	56.1	70.9
212	21	18	8	65.4	69.2
362	23	20	9	107.6	70.3
678	23	27	10.5	216.3	68.1
평균					69.6

표33.틸라피아의 체내 무기성분함량(%)

P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N
2.01	0.96	3.55	0.22	1.68

표32 와 표33은 틸라피아크기별 함수율 및 틸라피아 체내의 무기성분을 조사한 것이다. 함수율은 고기의 크기에 관계없이 약 70%로 나타났으며 체내 무기성분은 T-N가 1.68%, P₂O₅가 2.01%, K₂O가 0.96%, CaO가 3.55%, MgO가 0.22%를 보이고 있다. 이의 결과는 양어사경재배에서의 양분공급은 지하수, 사료, 모래로부터 첨가되는데 여기서 사료에 의해서 대부분이 공급되는 것이다. 사료로부터 공급된 양분은 틸라피아의 성장에 이용되고 나머지는 배설물로 나와 물에 녹아 성장베드내에서 분해되어 식물체의 영양으로 이용되고 일부는 침전되는데 필요에 따라 사육수배출이 과 베드내에서의 가스등으로 순환계박으로 배출된다. 이와같은 상호간의 물질의 이동 및 집적정도를 살핌으로서 사료공급에 의한 물고기가 이용하고 남은 물질이 미나리 재배시 양분으로서의 충분한 수급이 이뤄질 수 있는지를 평가할 수 있다. 급이사료중 증체량이외의 성분이 모두 물에 용

해된다면 (총사료급이량 x 사료중무기성분함량) - (증체량 x 건물율 x 건물당무기성분함량) = 사육수 용존량 - (식물체건물량 x 식물체건물당 무기성분함량)으로부터 대략적인 사육수로의 무기성분용존량을 가늠할 수 있을 것이다.

제 6 절 양어수경복합영농시설의 미기상환경의 특성

양어시설은 대부분 하우스의 고정시설에서 최대한 보온을 유지하는 시설이어서 광환경보다는 온도환경위주로 관리되므로 당연히 광의 차단이 많고 습도가 높게 유지된다. 이러한 고습도의 환경조건에서 일반 작물재배는 병발생이 용이하기 때문에 아무 작물이나 재배한다는 것은 무모한 일이다. 그러므로 작물재배를 같이하는 양어수경시설에서는 복합영농에 걸맞는 광환경, 온도 및 습도환경 등 두영농방법을 도입함으로써 나타나는 특이한 미기상 환경의 파악이 필요하다.

이러한 미기상 특성은 물론 계절에 따라 시기마다 달라지고 우리나라의 계절특성상 여름철 고온기는 시설내 온도가 매우 높지만 겨울철 저온기에는 낮게 유지된다. 본 시험의 목적이 공간을 최대한 활용한다는 측면에서 뿐 아니라 겨울철 난방비를 절감할 수 있다는 장점이 있고 이러한 장점이 있는 반면 습도가 다소 높기는 하다.

표34. 양어수경복합영농어시설내의 온도, 습도, 이산화탄소특성

시기		온도	습도	실내CO ₂	실외CO ₂	사육수온
1996.7.27~ 7.30	최고	34.4	95.0	-	-	-
	최저	24.3	58.0	-	-	-
	평균	28.3	81.8	-	-	-
1996.8.11~ 8.14	최고	36.0	97.0	-	-	-
	최저	24.3	49.0	-	-	-
	평균	28.6	79.0	-	-	-
1996.10.12 ~10.12	최고	25.0	93.4	707	-	25.5
	최저	11.9	53.4	327	-	21.5
	평균	18.0	80.4	523	-	22.9
1997.3.12~ 3.15	최고	25.7	100	-	-	27.1
	최저	10.5	58.7	-	-	23.1
	평균	14.1	95.5	-	-	25.5
1997.10.9~ 10.11	최고	30.1	98.8	709	325	-
	최저	13.5	42.6	439	278	-
	평균	20.3	82.9	560	298	-
1997.11.5~ 11.7	최고	28.4	100	717	335	-
	최저	12.3	63.2	491.8	276	-
	평균	17.1	94.2	556.7	297	-

표34는 측정기간 중의 최고, 최저 및 평균치를 나타낸 것이다. 사육수의 온도는 측정기간중 평균 22.9 ± 1.0 으로 매우 균일하게 유지되었다. 반면 실온이나 습도는 일출 및 일몰에 따라 반대경향으로 낮과 밤이 교차하며 습도는 평균 80%이상으로 높은 수준을 보이고 있다. 따라서 일반작물을 재배하기에는 습도가 다소 높은 수준이다. 미나리는 일반 수경재배의 경우 병발생이 여름철에 나타났으나 사경재배에서는 병발생이 적었다. 작물이 양분을 흡수하기 위해서는 적당한 온도가 유지되어야 하고 습도가 적

당해야만 원활한 기공개폐를 통하여 증산이 활발히 이뤄지며 양수분흡수도 촉진되고 광합성도 증가하게 된다. 지나친 건조나 지나친 과습은 이를 억제한다. 본 실험에서 적용한 미나리는 습생식물이어서 양어수경복합시설에 아주 적합하다고 생각되었다. 조사된 기간동안의 식물생장부위에서의 조사한 온도분포는 최고 36℃를 상회하는 여름철은 미나리도 병발생을 완전히 억제할 수는 없었다. 특히 미나리는 진딧물 발생이 많고 그에 의한 바이러스 감염으로 생장이 매우 불량하였다.

양어와 수경복합시설에서의 가장 큰 단점은 물고기가 농약에 약해를 받을 수 있으므로 농약방제를 함부로 할 수 없다는 점이다. 농약방제를 신중히 하지 않으면 안된다. 따라서 최대한 해충의 시설내 출입을 막기 위해서는 방충망의 설치가 필수적이며 부득이 방제를 해야할 경우에는 훈연제를 적량사용해야 한다.

진딧물방제는 농약을 사용하지 않고 상당히 밀도를 줄일 수 있는데, 국화 재배시 잔사필름에 의한 진딧물밀도가 현저히 감소시킨다(虛, 1994)고 하였는데, 이는 백색광이 진딧물을 배척하기 때문이라고 한다(稻田, 1984)

한편 양어수경방식은 무농약재배를 추구하는 방향으로 농업을 이끌어가는 청정재배방식을 적용할 수 있는 좋은 예라 할 수 있다. 미나리에 발생하기 쉬운 *Pythium*에 의한 병발생은 사경재배를 통하여 어느정도 해결할 수 있었는데 미나리엽이 일반 미나리엽에 비해 두껍고 윤이나는 등 균이 침투하기 어려운 엽표피조직화 되는 것으로 판단되었다. 앞선 보고(Menzies, 1996, Cherif, 1993)에서도 규소가 이러한 역할을 하는 것으로 알려져 있고 수경재배에서 경제적인 수준의 규소첨가를 권장하고 있다. 규소는 양액에 1.7mM첨가한 오이재배에서 병발생이 감소하고 건물중이 증가하였는데 이는 양액내 병오염시 규소의 병발생억제로 수량성을 증대시킬 수 있었다고 하였다.

온실내에서 작물재배시 작물에 양호한 생육조건에서도 병발생을 종종 일으킨다. 온실에서의 해충방제약의 사용이 제한됨에 따라 병방제를 경종적, 생물학적인 방제필요성이 인식되고 있다. 병원성을 조절할 수 있는 천연 물질에 관한 관심이 기울여지고 있으며 수용성규소가 방제효과가 있는 것으로 알려지고 있다.

본 시험에서 채택한 사경재배는 모래로부터 규소가 공급되므로 인위적인 규소를 첨가할 필요는 없어 이 문제를 쉽게 해결하는 장점도 가지고 있다고 볼 수 있다.

한편 미기상중 식물의 생산생산활동과 밀접한 관계를 가지고 있는 광합성속도를 결정하는 요인의 하나는 이산화탄소의 농도이다.

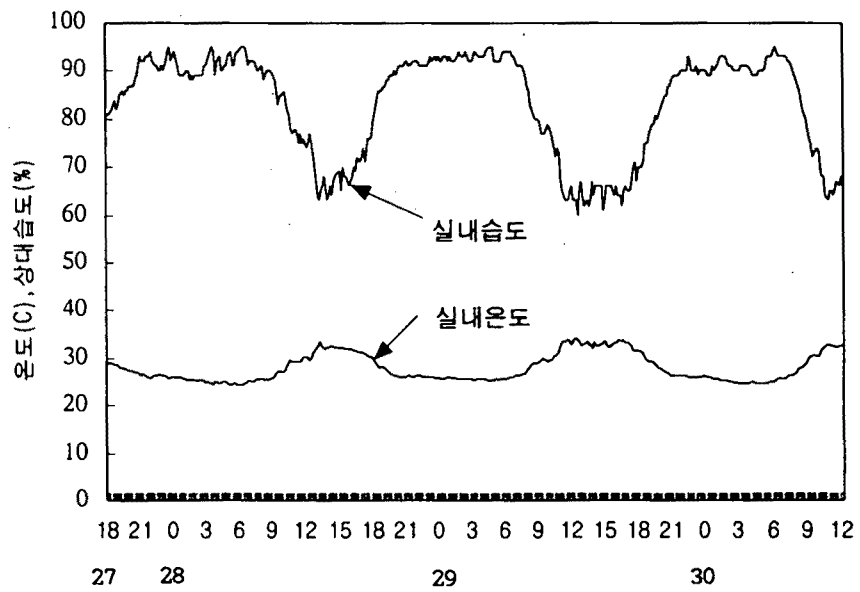


그림9. 양어수경복합영농시설내의 온습도 일변화(1996. 7.27~7. 30)

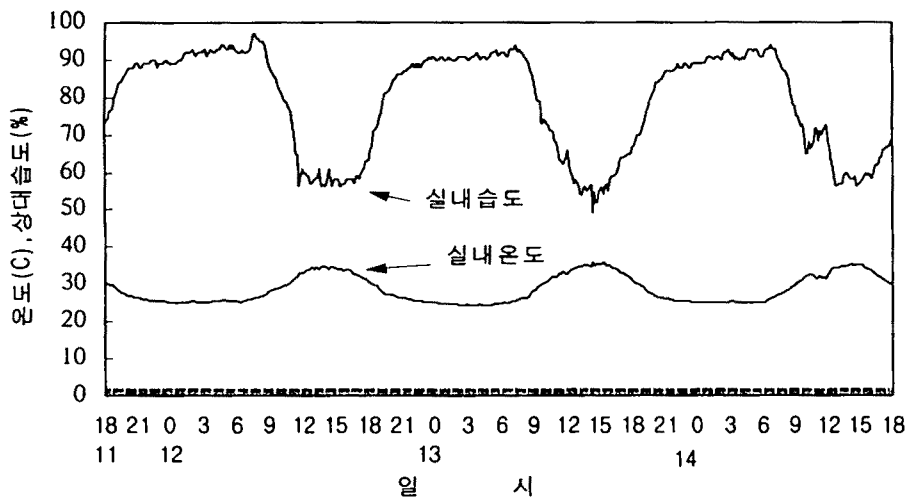


그림10. 양어수경복합영농시설내의 온도, 습도의 일변화(1996.8.11~8.14)

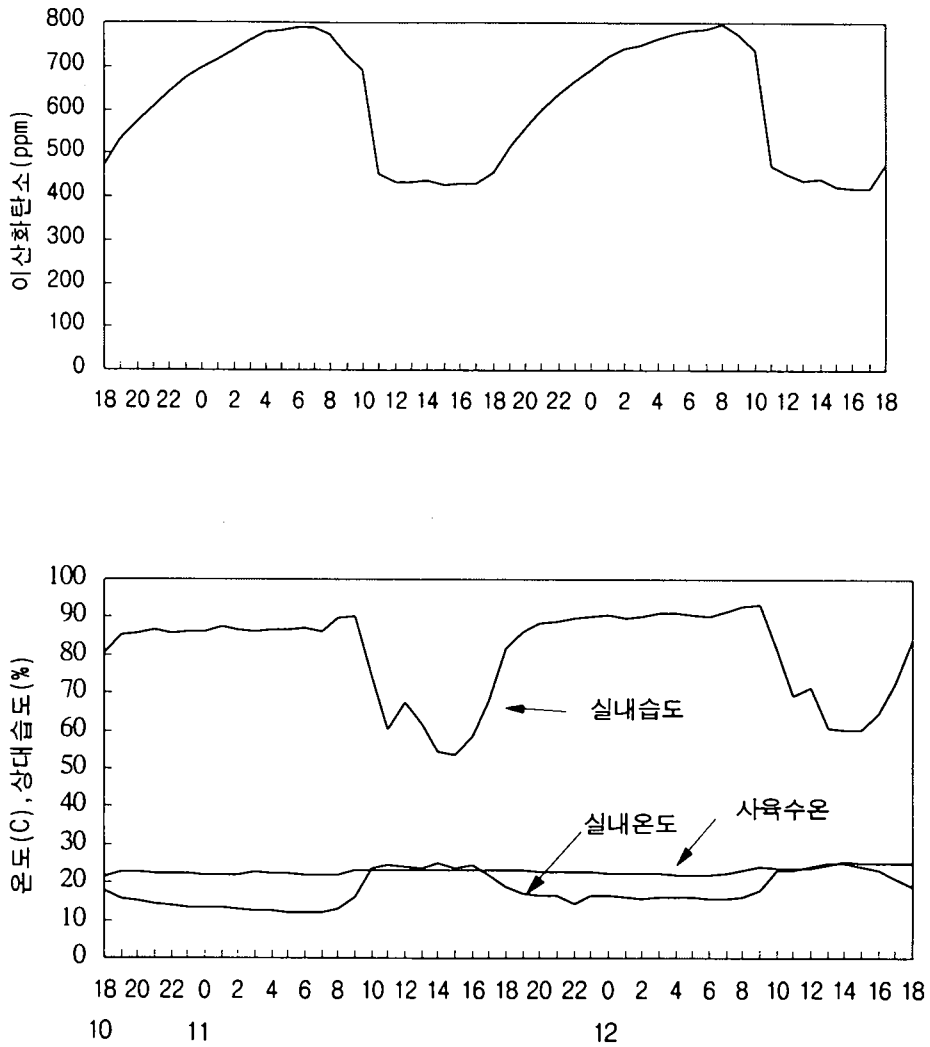


그림11. 양어수경복합영농시설내의 온도, 습도 이산화탄소의 일중변화 (1996. 10. 10 ~ 10. 12)

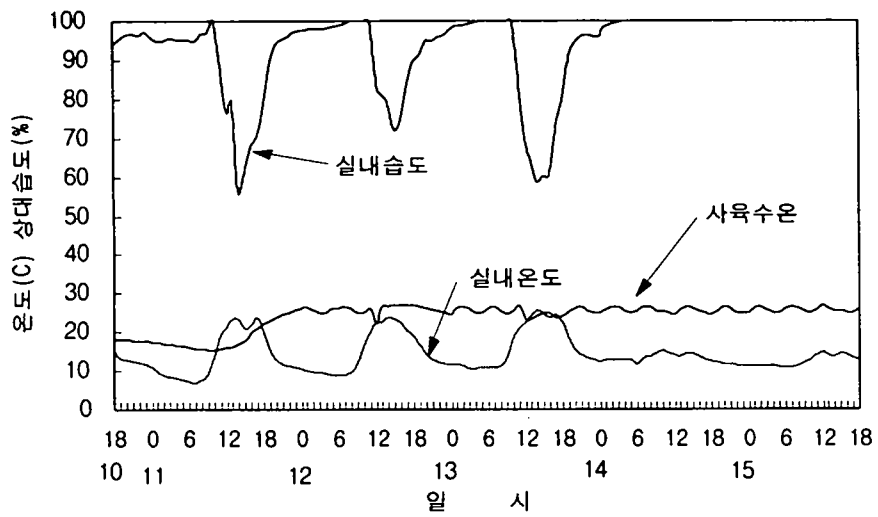


그림12. 양어수경복합영농시설내의 온습도 및 사육수의 일변화
(1997. 3. 10~ 3.15)

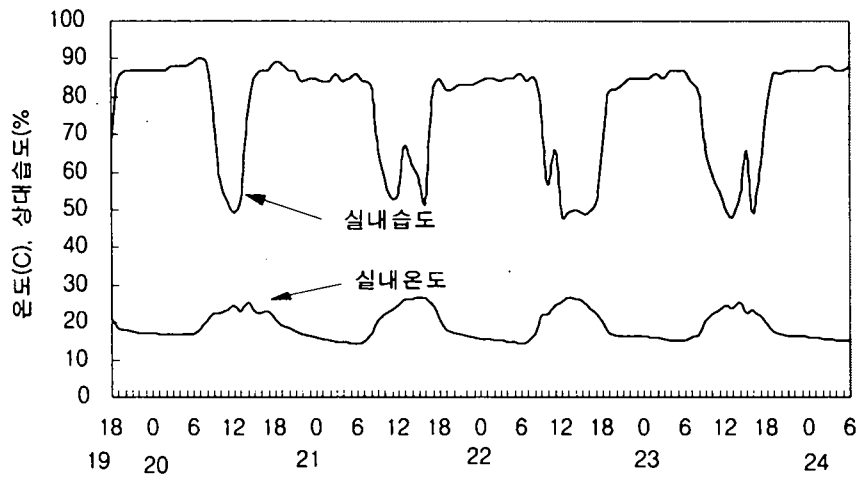
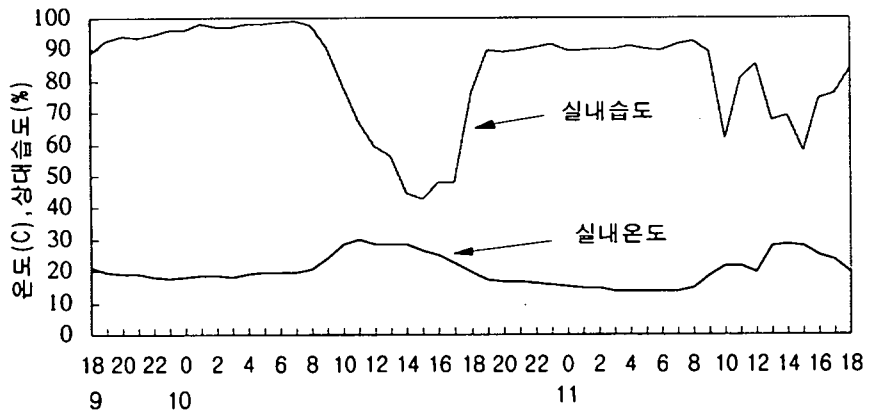
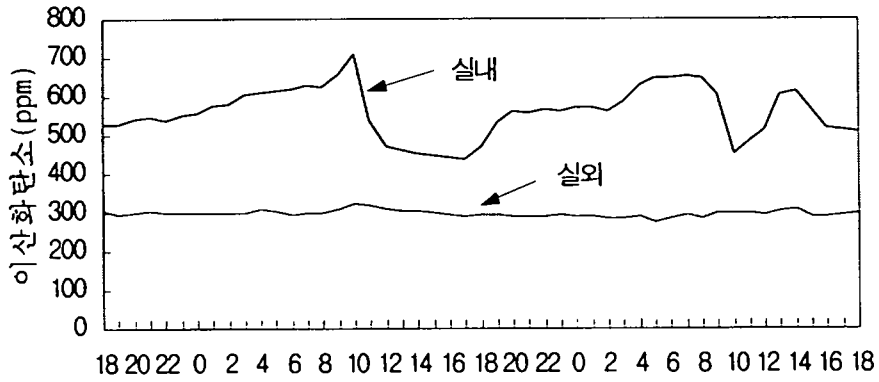


그림13. 양어수경복합영농시설내의 온습도 일변화(1997. 9.19 ~ 9. 24)



일 시

그림14. 양어수경복합시설내의 온습도 및 실내외이산화탄소농도의 일중 변화(1997. 10.9 ~ 11)

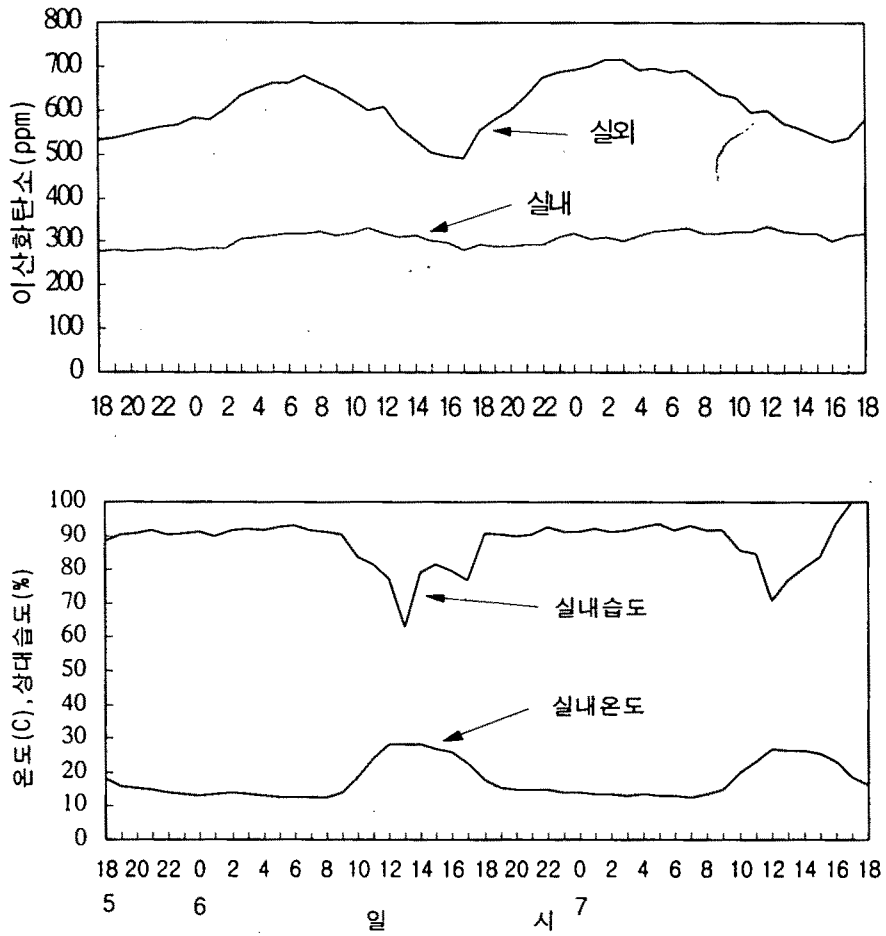


그림15. 양어수경복합영농시설내의 온도, 습도 및 이산화탄소의 일변화
(1997. 11. 5 - 7)

수경재배 단독시설은 유기물을 시용하고 경운하여 경작하는 토양재배와는 달리 지표면은 대부분 멀칭하고 그위에 시설을 설치하므로 지표면으로부터 이산화탄소발생은 적으며 시설내는 난방시 밀폐된 공간이기 때문에 이산화탄소의 농도가 급격히 낮아져 50~125ppm정도로 대기중의 탄산가스농도보다 낮아진다.(矢吹, 1985) 그래서 시설원예에서는 작물재배시 이산화탄소의 시비로 작물생육 및 수량, 품질을 향상시킨다(Brum. 1967) 일반적으로 엽채류는 1500ppm정도, 과채류는 700ppm정도를 추천하고 있다.

양어수경시설내외의 시기별 이산화탄소의 농도의 경시적변화(그림11, 14, 15)를 살펴보면 외기의 이산화탄소의 농도가 최고 335ppm에서 최저 276ppm으로 나타나 그 편차가 60ppm에 머무는데 반해, 양어수경복합시설내의 이산화탄소의 농도는 밤동안 최고 717ppm이고 광합성이 활발한 낮동안 최저 439ppm 으로 대략 280ppm의 편차를 보이고 있다. 외기는 계속되는 대류의 영향으로 그 편차는 작으나 시설내에서는 물고기의 호흡과, 유기물 등의 분해과정에서 나오는 이산화탄소와 야간의 식물의 호흡에서 분출되는 이산화탄소 등으로 밤에는 매우 높은 반면 낮에는 식물에 의한 광합성작용으로 이산화탄소의 고정이 이뤄지므로 낮아지는 경향을 보인다. 이는 1991년 서울대 농생대에서 수행한 온실내 이산화탄소의 주야간 변화와 광합성속도조사에서 밝혀진 바와 일치하고 있다.

수경재배구와 양어/수경병행구의 일중 CO₂농도를 측정한 그 시험의 결과를 보면, 두 처리간의 경시적인 CO₂ 농도변화의 양상은 비슷하였는데 일평균 CO₂ 농도가 각각 423 및 222 ppm으로서 양어수경병행구가 수경재배구보다 201 ppm 이 높았고, 오전 7, 8시경에 각각 507 및 335 ppm으로서 172ppm의 차이를 보였으며, 낮동안의 실내온도가 상승함에 따라 CO₂ 농도는 최저로 되어 각각 209 및 28 ppm으로 181 ppm의 차이를 보

였다. 오후에는 다시 서서히 높아졌는데 그 변화는 온도변화와 반대의 경향이었다.

본시험과 달리 동일한 크기의 온실내 공간이라 하더라도 한쪽은 수경재배만 실시하고 다른 한쪽은 양어와 수경재배를 동시에 수행할 때 두 공간의 이산화탄소농도는 약 200ppm의 차이를 보이고 있어 이러한 차이로 식물의 공합성속도가 달라져 생육의 차이를 나타내고 있다고 보고(이 등, 1991)하고 있다. 본시험과의 차이점은 작은공간에서 시험하고 거의 밀폐된 공간에서 시험을 수행하여 이산화탄소가 광합성작용이 활발하면 최저 30ppm까지 낮아진 반면, 공간이 100평규모로 상대적으로 대형인데다 양어시설 규모대비 식물재배면적이 비교적 작았기 때문에 실내 이산화탄소의 농도의 최저치가 최저 270ppm에서 유지되는. 외기 이산화탄소농도 수준을 보였고 또한 시설이 완전히 밀폐되지 않은 낮동안에는 어느정도의 외부공기의 유입이 이뤄져 이러한 결과를 초래하지 않았나 생각된다. 작물재배시 이산화탄소 공급위한 플라스틱내에서 미부숙우분퇴비발효조를 만들어 발생하는 열과 이산화탄소를 이용하여 토마토를 재배한 시험에서는 관행온실내의 이산화탄소의 농도가 450ppm인데 비해 퇴비발효온실내의 농도는 처리후 점점 감소하여 4개월까지 약 700 ~ 1000ppm으로 유지되었으며 지온은 10 ~ 15℃ 정도 높게 유지되어 토마토의 생육 및 과실 품질을 향상시켰다. 반면 암모니아가스가 발생하므로 고온일때는 환기시키는 것이 좋고 퇴비투입후 암모니아가스 발생이 적은 3주후에 작물을 정식하는 것이 좋다고 하였다(양 등,1996).

양어사육수에서 일어나는 일련의 반응은 퇴비발효시와 같은 원리가 존재한다. 다만 퇴비발효시는 초기의 미생물안정화시기를 지나 급격히 미생물활성이 높아지면 퇴비내의 유기물중의 단백질이 분해되면서 다량의 암모니아가 발생하여 작물의 피해를 야기할 수 있으나 이와는 달리 양어사

옥수에서는, 사경배지중의 미생물은 퇴비에 비해 현저히 낮은 미생물량으로 급격한 암모니아의 발생은 일어나지 않는다. 암모니아의 가스발생과 더불어 이산화탄소의 발생도 같은 경향을 보이며 꾸준히 균일하게 발생된다고 볼 수 있어 퇴비를 이용한 시험과는 다른 양상을 나타낸다.

한편 광합성속도가 매우 큰 옥수수의 canopy내에서의 CO₂의 농도의 일중변화는 최고 320ppm, 한낮에는 260ppm이고 오후에는 서서히 상승하는 등 이산화탄소의 농도가 변하며, 유리온실의 경우 최고 410ppm, 최저 220ppm이고 밀폐된 비닐하우스내는 최고400ppm에서 120ppm으로 까지 낮아진다는 보고가 있다.

식물은 주간에 광합성작용으로 태양에너지를 이용하여 이산화탄소를 고정하는데 그 과정에서 이산화탄소가 제한요인이 되기도 한다. 보온을 하는 겨울철 난방을 할 때는 밀폐된 공간으로 유지되기 때문에 시설원예에서는 생산성을 향상시키기 위해 인위적으로 이산화탄소시비를 실시하고 있다. 그러나 양어와 동시에 작물재배를 실시할 경우 이와같은 이산화탄소의 부족현상을 어느정도를 자체적으로 물질순환에 의해 보완할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다. 한편 물고기는 공기중의 1/30~1/40 밖에 함유되지 않은 산소를 효율적으로 이용하여 호흡하고 있기 때문에 공기중의 산소가 야간에 식물에 의하여 이용되고 이산화탄소가 증가하나 계속해서 사육수의 수류가 이동되고 폭기가 이루어지는 상태에서는 식물에 의한 산소의 이용이 고기에 영향을 줄 만한 여지가 없을 것으로 추찰된다.

한편 시설내부의 환경은 온실효과라고 하는 밀폐된 상태에서 태양의 외부 단파방사가 계속적으로 유입되고 실내에서 에너지로 지표면 등에 흡수되면서 열선으로 바뀌면서 열이 축적되어 기온이 상승하며 내부는 외부에 비해 2.5~3배정도 상승한다. 또한 공간내 기온의 수직수평분포가 불균일하다. 하우스내는 밀폐된 공간이어서 다습한 토양층과 식물, 상부공기층으

로 나뉘어져 있어 온실내의 환경은 특이하다. 한편 시설내는 강우가 차단된 시설이면서도 식물체의 증산과 지면으로부터의 지속적인 증발로 인해 쉽게 과습되기도 한다. 이와 같이 일반적인 하우스내에서도 온도 및 습도의 미기상 특성이 특이하며 특히 양어수경복합영농시설은 수조와 수경재배시설이 있어 습도가 대체로 높으며, 온도는 일반 하우스시설내와 유사하다고 볼수 있다. 다만 사육수를 가온하는 때는 사육수를 직접 사경베드에 사용함으로써 별도의 양액의 가온이 필요치 않으며 여름 고온기에는 물량이 많은 사육수를 사용하므로 온도상승이 되지 않아 일반 수경재배에서 야기되는 양액온도상승에 의한 뿌리부분의 용존산소부족과 뿌리활력저하에 의한 무기성분 및 수분흡수장애로 작물의 품질이 저하되는 등의 문제가 해결될 수도 있다.

제 7 절 배지의 깊이가 사육수사경미나리의 생육 및 배지 내 미생물활성에 미치는 영향

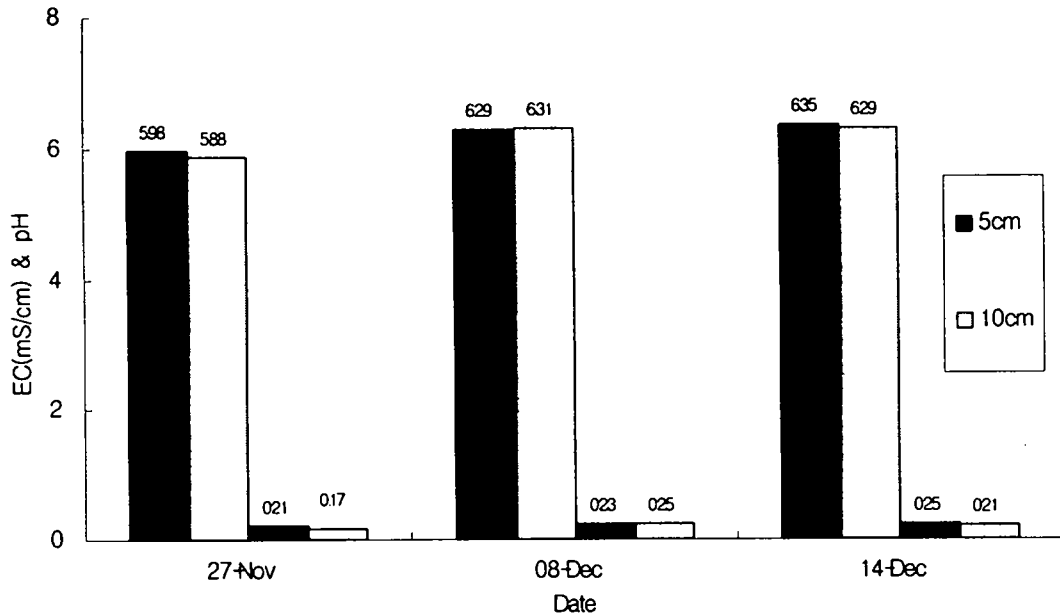


그림16. 양어사육수사경시의 모래배지의 EC 및 pH 변화
(모래재료의 pH : 6.21 , EC : 0.07)

그림16에 양어사육수로 사경한 모래 침출액의 EC와 pH를 나타내었다. 전반적으로 모래의 깊이와 관계없이 시기가 지날수록 pH는 증가하는 경향이있으며 10cm 모래 충전 처리구보다는 5cm 충전구에서 뚜렷하게 나타났다. 처리하지 않은 모래의 pH가 6.21인 것에 반해 생육 중기의 모래 침출액의 pH가 이보다 낮아진 것을 감안한다면 양어한 물이 모래에 걸러져 미생물의 활동으로 인해 무기화가 이루어졌으며 그 중 일부가 식물체

에 흡수되었던 것으로 생각된다. 또한 생육 후기에 5cm 처리구보다는 10cm 처리구에서 pH가 더 낮아 10cm 처리구에서 무기화가 많이 이루어졌음을 보여준다.

EC에 있어서도 거의 차이는 없지만 5cm 처리구에서는 약간 증가하는 반면, 10cm 처리구에서는 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 그리고 처리하기 전 모래 침출액의 EC가 0.07인 점을 볼 때, 시간이 지날수록 양어액의 분비물이 모래에 많이 걸러짐을 알 수 있다.

표35에 수확시 미나리 생육을 나타내었는데, 전반적인 생육은 NFT수경과 양어사육수사경 처리구에서 가장 좋았으며 양액의 공급없이 물로만 사경재배한 처리구에서 가장 열악한 생육 상태를 보였다. 특히 양어사육수사경 처리구에서도 5cm 처리구보다는 10cm 처리구에서 원활한 생육을 보였으며, 이는 대조구보다 오히려 양호한 결과를 나타냈다. 초장은 10cm 양어사육수사경에서 가장 컸고, 5cm 양어사육수사경과 대조구가 유의적으로 비슷했으며, 양분 공급이 없는 사경에서 대조구의 초장에 비해 34, 39% 정도에 불과하였다. 제 2산업 소엽폭과 포복경 수, 엽면적에 있어서도 초장과 유사한 결과를 보였다. 근권부의 생장은 대조구에서 원활하였고, 양어사육수사경과 수돗물 공급 사경(10cm)에서도 유사한 근권부 신장을 보였다. 하지만 5cm 수돗물 처리구에서는 열악한 생장을 나타냈다.

표35. 양어사육수사경미나리와 수경미나리의 생육비교

Treatment ^z (sand depth)	Plant height(cm)	leaflet width(cm)	No. of stolons	Leaf area (cm ²)	Root length (cm)	
NFT	28.59 b ^y	2.76 a	6.0 a	80.60	31.60 a	
Tap-water	(5cm)	11.13 c	1.31 b	3.8 b	2.30	18.48 d
	(10cm)	9.81 c	1.39 b	3.6 b	2.40	25.30 b
Fish raising	(5cm)	30.72 b	2.59 a	5.9 a	53.75	23.69 cd
	(10cm)	34.14 a	2.99 a	5.5 a	79.35	20.17 bc

^z NFT:hydroponics with An's solution. Tap-water & Fish raising:sand culture without nutrient solution.

^y Duncan's multiple range test. $p=0.05$

이러한 결과는 생체중, 건물중 및 엽중 엽록소 함량에서도 뚜렷이 나타나고 있는데(표36), 지상부와 지하부 생체중은 10cm 양어사육수사경 처리구에서 가장 높았고, 대조구에서도 양호한 생육을 보였으나 수돗물을 공급한 사경재배 처리구에서는 가장 낮은 중량을 나타냈다. 건물중은 지상부, 지하부 공히 양어사육수사경 처리구와 대조구 사이에 차이가 없이 양호하였다. 특히 5cm 양어사육수사경 처리구에서는 대조구보다 더 낮은 생체중과 건물중을 나타내 모래층이 깊을수록 미나리 생육이 양호함을 알 수 있다. 엽록소 함량은 오히려 5cm 양어사경 처리구에서 높게 나타났으나 10cm 양어 사경 처리구와 대조구의 함량과 유의적인 차이는 보이지 않았다. 모든 처리구에 있어서 수돗물만으로 공급한 사경재배 처리구에서 가장 낮은 생육을 보였으며, 모래의 깊이가 낮을수록 그러한 경향은 심해졌다.

시험 종료시에 베드의 위치와 깊이별로 모래를 채취하여 총 미생물 함량을 측정한 결과는 표 37과 같다.

양어사육수사경 처리구에서 살펴보면 베드의 급수부에서 높은 FDA hydrolysis를 보였으며, 배수부에선 중간적인 성적을, 베드 중간부에서는 가장 낮은 미생물 활성을 보였다. 이러한 결과로 물이 들어오는 급수부와 물이 빠지는 배수부에서 양어사육수의 부유물이 많이 걸러져 쌓이고, 상대적으로 물의 흐름이 완만한 베드의 중간부에서는 부유물의 집적어 적어 미생물활성인 낮은 것으로 사료된다.

모래가 깊을수록 표토의 미생물 함량은 증가하였으며 물고기를 키우지 않은 사경재배의 모래에서도 양어사경의 22.3%에 해당하는 미생물 활성을 보였는데, 모래차체에도 양어사육수공급에 의한 유기물축적이 없지만 모래 자체가 갖는 적은 양의 유기물과 그에 따른 미생물의 어느정도의 활성을 보이고 있는 것으로 보인다.

표36. 양어사육수사경미나리의 생체중, 건물중 및 엽록소함량

Treatment ^z (sand depth)	Fresh weight(g)		Dry weight(g)		chlorophyll content(mg/g FW)			
	Shoot	Root	Shoot	Root	a	b	Total	
NFT	4.68	1.80	0.33	0.095	0.979 a ^y	0.695 a	1.674 a	
Tap-water	(5cm)	0.51	0.60	0.06	0.056	0.560 b	0.382 b	0.942 b
	(10cm)	0.47	0.69	0.05	0.064	0.684 b	0.458 ab	1.142 b
Fish raising	(5cm)	3.97	1.10	0.28	0.063	1.082 a	0.568 ab	1.650 a
	(10cm)	6.19	1.71	0.45	0.093	0.909 a	0.642 ab	1.551 a

^z NFT:hydroponics with An's solution, Tap-water & Fish raising:sand culture without nutrient solution.

^y Duncan's multiple range test, $p=0.05$

베드의 깊이별로 살펴보면 모래 표면층에서 가장 높은 미생물 활성을 보였고, 베드의 깊이에 따라 미생물 활성이 낮아져 깊이가 깊을수록 용존 산소량이 부족할 것으로 판단되므로 유기물의 무기화에 관여하는 미생물은 호기성인 것으로 생각된다. 그러나 10cm 양어사육수사경 처리구의 바닥부위에서는 미생물 활성이 중간부위보다 높아 이에 대한 정밀한 분석이 요구된다.

FDA는 미생물 세포내에서 protease, lipases, esterase 등에 의해 가수분해되어 형광색으로 발색되고, 이것은 효소의 활성 정도와 양에 비례하기 때문에 총 미생물 활성을 측정하는데 적합하며, 주로 *Pseudomonas denitrificans*와 *Fusarium culmorum*의 활성과 비례한다고 보고(Schnürer와 Rosswall, 1982)되었다. 본 시험의 양어사육수사경 처리구에서도 아주 높은 FDA hydrolysis를 보여 모래에 걸러진 양어액의 분비물을 탈질화균이 작용하여 식물체에 필요한 성분으로 무기화가 이루어졌으며, 이에 따라 외부에서 별도의 비료에 의한 양분을 전혀 공급하지 않았는데도 미나리의 생육이 원활히 이루어졌음을 알 수 있다.

표37. 양어사육수에 의한 미나리사경시 모래배지에내의 FDA hydrolytic activity($\mu\text{g}/50\text{ml}$ buffer soln.)

Location	Sand culture without fish raising						Sand culture with fish raising					
	5cm			10cm			5cm			10cm		
	Surface	Middle	Bottom	Surface	Middle	Bottom	Surface	Middle	Bottom	Surface	Middle	Bottom
Inlet	92.79	5.50	4.78	63.80	2.58	1.60	131.53	22.84	14.00	415.79	12.63	5.86
Mid part	37.73	3.14	3.24	66.69	2.68	4.02	222.49	3.17	3.37	75.52	5.69	2.55
Outlet	65.70	1.67	4.42	63.54	5.92	4.48	202.14	3.60	3.47	316.62	14.66	24.31

제 8 절 양어수경복합영농에 적합한 수로형복합시설형태의 개선

일반적인 순환식 양어사육시설은 원형, 사각형, 또는 팔각형 구조를 하고 있다. 한편 수경재배시설이 처음 도입되던 단계에서는 자재투자비를 줄이기 위해 지면에 설치하여 오다가 작업성이 불편하여 엽채류의 경우 파이프와 스티로폼 성형베드를 이용한 고설식 베드가 이용되게 되었으며 시설내 작물재배공간을 최대한 확보하기 위하여 좌우이동식 베드가 개발되어 사용되고 있다. 여기에서 사육시설과 수경시설을 결합할 경우 원형 사육시설 때문에 수경재배시 관리작업성이 불편하여 이의 형태를 조화롭게 개선하지 않으면 안된다. 이를 위해 본 시험전 고안되어 적용했던 것이 수로형 양어사육시설이고 이를 제작하여 시험을 수행하여 왔다.

본 시험을 수행하면서 시설제작에 과다한 경비가 투자되고 처음으로 시도되는 수로형 양어사육시설이었으므로 최대한 폭을 넓혀 사육수량을 확보하고자 폭이 2m로 되도록 함으로써 NFT수경재배시에는 양편에서 엽채류를 정식하고 수확관리하는데 불편없었으나 사경재배시에는 직접 모래에 정식해야하므로 다소 불편하여 그 폭을 줄일 필요성이 대두되었다. 그러나 사육조의 폭을 줄이는 만큼 사육수량 및 사육량이 감소하므로 시설내 적정 사육조가 선택되어야 한다.

한편 간이수로형사육시설과 사경베드시설의 결합을 위해서 가장 제작이 간단하고 모래의 하중과 사육수의 하중을 견딜만한 최소한의 구조를 형성하여야 하므로 이를 위한 적정 규모의 양어수경시설을 설계하고자 하였다. 수로폭은 작업성의 편의를 위해 140cm, 베드의 높이는 지면으로부터 100 ~ 110cm로 하고 물높이를 60cm, 사경베드는 파이프를 X형태로 교

차하여 하중을 견딜 수 있도록 하였고, 원활한 배수를 위해 중앙에 PVC 타공관을 매설하도록 하였다.

사육조로는 사경베드 밑에 3mm PP판을 깔고 옆에는 폭이 80cm이고 두께가 5mm인 PP판을 용융부착하여 고정하고 기중은 25mm 펜타이트 파이프를 1m간격으로 지면아래 20cm깊이로 박아서 고정하고 옆으로 파이프 22mm를 40cm간격으로 3줄로 대도록 하였다. 사육조안 밑에는 1줄로 통기용 PVC파이프를 설치하도록 하였다. 사육조의 길이는 15 ~ 20m내외로 하였다. 사경베드의 측면 및 하단은 파이프를 각각 2줄 및 6줄로 대고 30mm 두께의 고밀도 스티로폼판을 대고 비닐을 라이닝한 후 배수파이프를 깔고 모래를 최소한 10cm이상 채우도록 하였으며 사육수의 공급은 배수관으로 설치한 곳으로부터 저면관수식으로 하여 사경베드 표면에 사료찌꺼기가 흐르는 것을 배제하도록 하였다.

이 양어수경시스템은 일반적으로 보급설치되고 있는 1-2W형의 폭 7m의 하우스 1동에 3줄로하여 총 6개 설치하는 것으로 설계하였다.

한편 이와 같은 수로형 사육시설에서 물고기의 포획이나 선별작업은 원형사육시설에서와 달리 격자형 판을 사육조 선단에서 후단으로 부표를 띄워 끌고 감으로 쉽게 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

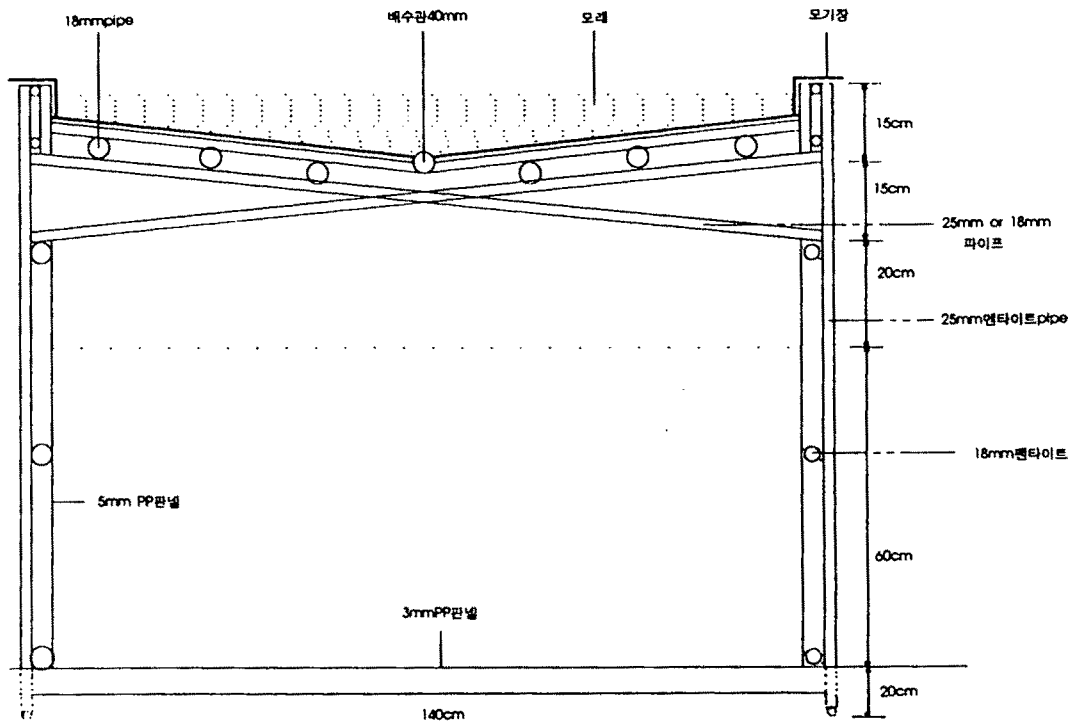


그림17. 양어수경복합영농시설의 개선형의 정면도

제 9 절 양어수경복합영농에 대한 경제성분석

우리나라는 북위 중위도 지방에 위치하고 있으며 반도라는 지리학적 위치에 차지하고 있어 여름철에는 덥고 겨울철에는 춥기 때문에 여름철 작물재배하기 위해 시설업체류의 경우 최대한 환기등으로 온도상승을 막고 겨울철에는 최대한 보온을 하여 가온비를 줄여야 하고 일사량이 많고 겨울철에도 상대적으로 온도가 높은 남부지역에서 단경기생산으로 과채류를 재배하고 중복부로 갈수록 도시근교를 중심으로 저온성인 업체류를 생산하고 있다.

한편 그동안 육질이 좋고 양식하기가 비교적 쉽고 소득이 어느정도 보장될 것으로 기대된 열대성 어종인 틸라피아가 도입되어 많은 지역에서 양식하기에 이르렀다. 그러나 한동안 좋았다가 과잉생산되고 또한 수산물 파동 등으로 소비가 주춤하면서 양식농가가 감소되었고 근래에는 실내 낚시터에 공급하기 위한 수요가 늘었다.

양어나 수경재배 공히 겨울철에는 난방을 해야하는 경영방식이기 때문에 우리나라에서와 같이 난방연료가 전적으로 수입에 의존하는 형편에서 생산비의 30%를 차지할 정도로 큰 부담이다. 최근에 연료비가 폭등하여 입지조건이 불리하거나 생산물의 가격폭락이 이뤄지는 농가에서는 생산을 중단해야 하는 지경에 이르는 매우 불리한 형편에 놓여있는 것이 심각한 현실이다.

우리나라 시설원예재배면적은 4,4000ha이며 이중 21%인 9200ha가 난방 시설에 의해 재배가 이루어지고 있다. 이렇게 재배면적이 급격히 늘어난 것은 상대적으로 소득이 높은 화훼, 시설채소 등으로의 작목전환과 정부의 시설농업 지원정책에 기인한 것이라 볼 수 있다. 또한 OECD 가입과 green round에 따른 환경오염물질생산의 규제가 강화되고 있는 시점에서

화석에너지의 사용이 제한될 전망이다. 이와같은 시기에 생산비 가중을 주는 연료비를 절감하는 방법으로 태양에너지를 최대한 활용하는 방법과 최대한 보온재배해야 하겠지만 어느 한계온도이하에서는 가온하지 않으면 안된다. 한편 틸라피아는 열대성 어종으로 우리나라의 여름철 노지에서 고온기이기 때문에 문제없으나 겨울철에는 가온하지 않으면 안된다. 이러한 생산비 상승의 가온비를 절감하기 위한 경영방식이 복합영농이다. 여러 가지 복합영농의 형태는 있겠으나 시설의 형태와 경영방식이 유사하여 결합가능성이 있는 것중에서 양어와 수경재배의 복합영농은 물질의 순환원리에 부합되어 자원의 효율적이용과 공간효율증대, 그리고 생산성향상을 위한 방법이라 생각된다.

표38. 순환여과식원형사육시설과 양어수경복합시설 및 미나리 수경재배에서의 경제성분석(350m²).

Type	Yield (kg/350m ² /year)	Unit price (Won/kg)	Total income (1,000won)	Production cost (1,000won)	Net income (1,000won)	Income rate (%)
Recirculated aquaculture (tilapia)	15,680	4,000	62,720	48,682	14,038	22.4
Nutrient culture (waterdropwort/ 10 cycles production /year)	12,366	1,000	12,366	9,885	2,481	20.0
Integrated culture (tilapia/ waterdropwort)	Tilapia : 19,880	4,000	91,886	63,308	28,578	31.1
	waterdropwort : 12,366	1,000				

표38 및 부표8, 9, 10, 11, 12, 13은 널리 이용되고 있는 양식방법인 원형사육시설에 의한 양식과 엽채류 수경재배시설에서의 미나리재배 그리고 이 둘을 접목한 양어수경복합영농어시설에서의 양식 및 미나리재배의 경제성분석을 한 것이다.

본 경제성 분석은 경기도 지역을 기준으로 분석한 것이기 때문에 다소 다르게 나타날 것으로 생각된다. 둘을 접목했을 때 개선되는 사항은

양식시설에서 필수적인 여과조를 수경베드로 하여 사육조위에 올려 설치함으로써 동일시설내 사육면적이 증가한다는 점,

양어사육시 폐쇄공간에서 사육수를 가온여과해야하기 때문에 최대한 물의 유출을 억제하는 것이 난방비를 절약할 수있고 또한 고밀식사육을 하기 때문에 여과효율이 좋아야하는데 모래여과베드와 작물을 재배하는 방식의 biofilter를 활용함으로써 여과효율을 향상시킬수 있다는 점,

양식에서 발생하는 사육수를 작물재배에 활용함으로써 환경오염경감을 할 수있다는 점,

수경재배시 공급해야 하는 비료가 많은 비중이 수입에 의존하고 있는데 이를 양식결과로부터 얻을 수 있다는 점,

작물생산에 필수적인 이산화탄소가 복합영농시설에서 밀폐된공간이기 때문에 이산화탄소의 외부로부터의 보충이 적어도 자체 발생량이 많아 탄소동화작용이 활발하여 작물생산향상을 가져온다는 점,

수경재배시 양액의 완충능력이 작아 관리가 어려운점이 pH 및 EC등의 화학성이 안정된 대용량의 사육수를 활용함으로써 양액관리가 안정화된다는 점,

특히 시설을 공유할 수 있어 토지 및 시설생산성을 향상시킨다는 점이다. 원형사육시설위에 수경재배시설을 설치하면 작업이 불편하여 원형사육조를 수로형사육조로 대체함으로써 그 사육공간의 면적은 유사하면서

사육단적이 5 ~ 10%정도 커지면서 작물재배작업성이 향상된다는 점이다. 한편 사육시설내의 습도가 높아지지만 작물재배에 크게 문제되지는 않는다. 다만 병해충발생시 수경재배와 양어사육조가 동일순환계이기 때문에 피해우려가 있어 병충해관리를 치밀하게 할 필요가 있다.

복합영농에 영농시설이 100평규모의 경우에 원형사육시설에서 수익률이 22.4%이고 단독수경의 경우20.0%에서 복합영농시설에서 수익률이 32.3%로 향상시킬 수 있는 것과 본 시험에서 수행하였던 시설을 보완하여 개선형을 투입할 경우 생산량에 큰 차이는 없이 작업성의 향상만 가져온다. 수경재배시 작업의 편리성을 확보하기 위해 2m에서 1.4m로 베드폭을 줄이고 사육조를 4개에서 6개로 늘리면 사육단면적은 크게변화지 않으나 사육조수가 늘어나는 만큼 시설비가 더 들어가는 듯하지만 폭이 2m일 경우 하중이 큰 사경베드를 지탱하기 위해 자재가 더 들어가야 하는 만큼 폭이 1.4m로 좁아지면 중앙하중이 작아지므로 경량골조로 설치가 가능하므로 자재비는 오히려 덜 들어간다.

제 4 장 종합고찰

현대의 농업은 전문적인 기술을 요할뿐 아니라 적극적으로 사고하고 행동하는 능력이 있어야 하며 최신 정보수집능력과 적절한 기동력 그리고 이 전체를 뒷받침하는 경제력이 있어야 전문 경영인으로 자리잡을 수 있을 것이다. 양어/수경이야 말로 높은 투자와 전문기술을 요하는 농업분야에서는 특수한 농업기술이라 할 수 있다. 그러므로 이를 성공적으로 경영하기 위해서는 경영인의 독자적인 노력뿐 아니라 이를 뒷받침할 새로운 기술개발이 필요하다.

근래에 보급되고 있는 양어시설이나 수경재배시설이 단일 경영방식으로 운영되고 있으므로 이 두가지 경영방식을 한 시설공간에 수용함으로써 생산비절감 및 소득증대를 꾀할 수 있을 것으로 판단된다. 틸라피아는 농어(Perciformes)목, Cichlidae과에 속하는 아프리카원산인 열대성담수어로 맛이 좋고 주로 식물성 및 잡식성의 식성을 가지고 있으며 담수에서 해수에 이르기까지 광범위한 염분농도는 물론 낮은 용존산소에서도 잘 견디는 등 환경의 변화에 대하여 비교적 저항력이 강하고 번식력 또한 강해 이미 열대 및 아열대 지역 국민의 단백질 공급원으로서 중요한 역할을 담당하고 있는 양식어종이다(Hickling, 1963). 우리나라에는 1955년 태국으로부터 최초로 도입되었으나 열대성 어류인 관계로 열관리 등 사육방법의 미숙으로 인해 양식어종으로 크게 각광받지 못하다가 순환여과식에 의한 사육방법의 개발(김, 1980)보급으로 생산량이 증가되어 왔다.

전국의 양식장 현황을 보면 총 1367개소중 순환여과식이 304개를 차지하고 있다. 종사자 1인당 평균 300평규모로 실시하고 있으며 어종은 잉어류, 뱀장어, 송어 틸라피아, 가물치, 메기 등이며 잉어류는 가두리, 뱀장어 및 틸라피아는 순환여과식으로, 송어는 유수식으로 가물치는 지수식으로

양식하고 있다(내수면잠재력보고서, 1991).

한편 호소에서 문제가 되고 있는 부영양화는 무기인과 질소의 농도가 각각 0.015ppm, 0.3ppm을 초과할 때 일어나는 현상으로 우리나라 수질환경보전법에도 영양염류의 기준을 총인 0.010ppm, 총질소0.2ppm이하로 규정하고 있다. 따라서 양식에 의한 배출수의 영양염류의 감소는 필수적이며 순환여과식으로 최대한 물질배출을 줄이는 연구가 외국에서는 이뤄지고 있다.

고밀도 양식장의 사육조는 어류의 양에 비하여 면적이 좁기 때문에 인위적인 관리가 용이하고 목적에 따라 생산성 증대를 위한 수조 등 일부 환경요인의 조절이 가능하여 자연환경에서는 양식이 불가능하거나 생산성이 낮은 생물도 대량생산 할 수 있다는 잇점이 있다. 그러나 이러한 폐쇄적 양식장은 비교적 좁은 사육조에서 많은 생물을 수용하므로 생물의 활동에 의한 환경요소의 변화를 가져오기 쉽고 또 양식생물의 밀도가 높아짐에 따라 노폐물의 축적이 사육조의 수질을 악화시키는 심각한 문제점을 야기시키고 있다. 사육조에는 어류의 대사배설물이나 사료찌꺼기 침전 또는 현탁물질로 부유하고 있으며 이들 고형물질이 분해되는 과정에서 수중의 용존산소를 감소시키고 분해과정중에 생성되는 암모니아는 어류에 대해 강한 독성은 야기시켜 결국 치사까지도 이르게된다. 따라서 고밀도 양식장의 생산성제고를 위해서는 사육조내에 양질의 수질을 유지해야 하며 이를 위해서 순환수의 적절한 처리법의 개발이 요구되고 있다.

본시험은 1991년에 시행된 시험으로부터 동일한 시설공간에서의 재배가능성을 검토한 시험의 결과를 기초로 하여 농가차원에서 양어/수경복합영농어를 할 수 있는 체계에 관한 실증시험을 수행하였다.

수경재배시설의 형태가 직선형이고 고설식으로 설치된 베드 밑의 공간이 이용되고 있지 않다는 점에 착안하여 관행의 원형사육조의 형태를 수

로형으로 설치하였다. 이때에 야기되는 배설물이나 찌꺼기의 이송을 좋게 하기 위해서는 저변을 1.4%의 경사를 두었으며 사육조의 제작을 위해서는 PP(polypropylene)판을 사용하였고 PP판의 측면으로 나타나는 수압을 버티도록 위해서는 수경재배베드의 기둥과 기둥중간에 횡대를 설치하였다. 경제적인 양어사육량을 확보하기 위해서는 물의 깊이를 1m로 하고, 수경재배시 재배관리가 불편이 없는 범위내에서 폭을 2m로 설치하였다. 침전여과를 위해서는 사육조와 같은 규모의 수로형으로 침전조 및 여과조를 설치하였고 가온을 위해서는 온수보일러로 직탕가온하였다.

위와 같은 시설에 담수하였을 때 구조적으로 매우 안정적이었으며 틸라피아 치어를 입식하였을 때 사육상을 검토한 바, 원형사육조에서와 별다른 차이없는 성장도를 보여, 수로형 사육조가 양어/수경복합영농시설에의 틸라피아의 양식이 가능하다는 것이 입증되었다.

한편 채소수경재배에서는 1차적으로 수경재배는 일반적인 방법으로 재배하였기 때문에 문제없이 재배할 수 있었으나 여름철 고온기와 겨울철 가온기의 특이한 환경에서의 채소류의 반응을 관찰하고 생산성이 높으면서 시기에 적절한 채소작목을 선발하는 시험이 수행되었다. 고설식 시설이었기 때문에 일반적으로 수경재배되고 있는 엽채류를 재배하였으며 청경채, 들깨, 상추, 쑥갓, 미나리 등 여러종류의 채소를 양어수경시설에서 재배하여본 결과 시설내에서 재배의 한계를 보여주는 여름철 고온기의 저온성채소를 재배하는데는 어려움이 있었다. 이 중에서 양어수경재배에서 습도가 높고 사육수사경이라는 점 그리고 수생식물이라는 점이 양어수경복합시설에 부합되며 한편 미나리가 폐수정화능력이 뛰어나다는 연구도 있고 고온기인 여름에도 장일성식물인 미나리는 생육이 왕성하여 작기를 단축할 수 있을 뿐아니라 병발생도 적었으므로 미나리를 양어수경복합영농시설에서 재배하기에 적절할 것으로 생각된다. 특히 미나리는 서울대학

교 농업생명과학대학에서 집중적으로 연구되어 예전에 번식방법의 문제점을 극복하는 종자번식법이 개발되었으므로 사경재배시 번식은 어렵지 않다. 또한 미나리는 영양번식특성이 강하여 1회정식하여 줄기를 잘라수확하는 방식으로 재배하면 여러번 수확할 수 있어 번식 또는 정식의 번거로움을 줄일 수 있다. 또한 미나리도 여름철 양액재배에서는 병발생이 나타날 수 있는데 규소가 풍부한 사경재배를 통하여 병발생을 억제할 수 있을 뿐 아니라 미나리는 당분이 풍부하여 진딧물 발생이 많은데 이는 반사필름사용으로 억제할 수 있다는 보고(허, 1994)도 있으므로 아주 적절한 재배작물이라 판단된다. 한편 일반 미나리는 용수의 오염과 거머리 등의 불결한 문제를 지니고 있어 청정재배가 요구됨에 따라 미나리의 수경재배를 통한 청정재배를 추진하고 있는 것과 병행하여 양어수경시설에서 이의 발전가능성은 크다고 판단된다.

양어수경복합시설의 유형을 부표5와 같이 잠정적으로 분류(김,1994)하고 있다. 양어시설과 수경시설을 별도로 설치하는 것, 순환계를 같이하되 설치위치를 달리하는 것, 양어시설위에 수경시설을 설치하는 것 등 여러 유형이 있다.

한편 양어수경재배 복합영농의 효과로는 우선 양어의 측면에서 본다면 더라도 고도로 제한된 면적과 수원때문에 재래식 池中양식에 의해서는 앞날의 발전이 제한적일 수 밖에 없다.

*Tilapia*는 종에 따라서는 낮은 수온에서도 견딜 수 있지만 수온의 한계는 대체로 15℃에서 45℃인데 적정수온은 24℃~32℃의 범위이므로 동절기에 사육하기 위해서는 가온시설을 설치하여 사육수온을 적정수준으로 유지시켜야 한다. 더욱이 우리나라와 같이 긴 겨울의 저수온 기간을 가지는 곳에서는 넓은 면적에 저밀도로 사육하기란 거의 불가능한 실정이

다. 그러므로 가온 율동을 위해서는 고밀도의 사육법의 개발은 필수적문제라 할 수 있다. 고밀도 사육장치에는 여과조가 필수적이라 해도 과언은 아니나 여과조를 설치하는 일은 많은 비용과 면적이 소요되고- 대개 사육조와 여과조면적 비는 1 : 1 정도- 그만큼 율동가온 비용도 많아진다. 따라서 한편으로는 무여과조 사육시험이 행해지고 있다. 그러나 원활한 양어사육을 위해서는 여과조를 설치하는 것이 바람직하다. 여과조는 물고기의 대사과정에 의해 발생하는 배설물과 섭이되지 않은 부유유기물이 걸러지고 박테리아에 의해 변환 분해되어 다시 순수한 물을 공급해 겨울철 가온기의 사육에서는 가능하면 에너지 효율을 높이기 위해 배출수를 최대한 억제하고 여과시키는 재순환방식을 채택하게 되므로 여과조의 역할이 매우 중요하다. 그러나 그러한 단일양어는 많은 시설비와 운영비가 소요된다는 측면에서 비효율적일 수 있다. 양어와 수경을 병행함에는 공간이용효율의 극대화, 에너지 절감, 시설내 온도변화의 안정, 자원의 재활용 및 완전 폐쇄형 재순환 방식을 채택함으로써 폐기물을 최소화하여 환경오염을 줄일 수 있는 등의 잇점이 있다.

양어/수경재배 복합영농에서의 고려할 사항으로서는 biofilter(수경베드)의 면적과 고기 무게당 급이량 관계이다. 재식한 베드가 상대적으로 크면 영양결핍증이 일어날 확률이 커지고 이를 보완하기 위해서는 급이량을 적절히 조정해야 하며 보완적으로는 엽면시비를 실시해야 한다. 사육수의 배설물 및 찌꺼기를 침전시키면 영양이 결핍되기 쉽다.

그리고 양어 사육수에 따라 고기의 밀도, 크기 등은 어종이나 작물종류에 따라 적절한 비율로 조정해야 하며 고밀도 사육으로 산란에 의한 성장속도의 저하를 방지하는 것이 좋고 호르몬제를 이용하여 응성화시키는 것도 바람직할 것이다. pH는 사료의 단백질의 함량에 따라 암모니아의 발생정도가 달라 사육수의 산도가 변하므로 사료의 단백질함량의 증감으

로 조정할 수 있고 사육수에 의한 오탁물은 제거 도는 분해하여 무기화 시켜야 한다. 수질유지의 목적으로 정화설비(biofilter 등)를 하고 그것이 충분히 기능을 발휘할 수 있게 하려면 호기성 미생물의 정화작용은 물론 뿌리 및 물고기의 호흡을 위해 적극적인 산소공급이 필요하다. 베드내에는 원활한 산소공급을 위해 담액과 배수를 교호로 실시하는 것이 좋다.

특히 양어/수경 복합경영에서는 공동순환이기 때문에 병이나 해충방제를 위해 함부로 농약을 사용할 수 없다. 그러므로 항상 시설내를 청결하게 유지하고, 병충의 유입을 방지하며, 천적을 이용한 방제를 하거나 가능하면 회전이 빠른 작물을 선택하는 것도 좋을 것으로 판단된다.

또한 작물의 수확 및 정식에 의한 베드내의 정화능력이 사육기간중 균일하게 하기 위하여 작물의 각 단계별로 고르게 유지하는 것이 좋으며, 질산화성균이 사멸할 수 있으므로 베드를 건조시키지 않도록 해야 할 것이다. biofilter에 의해 사육수가 잘 정화된다고 해도 작물이 자라는 데 증산이나 증발에 의해 감소하므로 감소하는 만큼의 물이 자동적으로 공급되도록 하는 것이 좋을 것이다.

현재 전세계적으로 인구의 증가, 생활수준향상으로 어류의 생산과 이용이 계속 증가하고 있고, 이에 바다에서는 남획이 이뤄지고 부적절한 기술이 도입되어 생태계가 파괴되어지고 있다. 호수나 하천도 인간 활동에 의해 변화되고 그것은 결국 어업활동에 악영향을 초래하게 된다. 또한 담수어업은 호수의 수위저하, 습지의 배수, 물빠기, 댐건설, 선박항해, 홍수방지를 위한 하천제어 등으로 영향을 받는다. 그러므로 수생동물자원과 그 환경의 현상에 관한 분석 및 평가가 이뤄지고 어업자원의 지속가능한 이용 수생동물의 환경보호를 위한 각종기술의 응용이 이뤄져야 할 것이다. 이러한 관점에서 자연환경파괴를 일으키지 않는 상태에서 충족할 만한 생산량을 얻기 위하여는 새로운 기술개발이 선행되지 않으면 안된다.

한편 생산활동에 의한 환경오염은 날로 심각해지고 있으며 생산성 향상을 위한 시설에의 부적절한 이산화탄소의 시여와 석탄연료의 과다사용 또한 지구의 온난화에 미치는 영향도 고려해야 할 일이다. 또한 양액의 폐기나 양어배설물에 의한 환경오염은 최소화해야만 할 것이다.

둘을 접목했을 때 개선되는 사항은 첫째 양식시설에서 필수적인 여과조를 수경베드로 하여 사육조위에 올려 설치함으로써 동일시설내 사육면적이 증가한다는 점, 둘째는 양어사육시 폐쇄공간에서 사육수를 가온여과해야 하기 때문에 최대한 물의 유출을 억제하는 것이 난방비를 절약할 수 있고 또한 고밀식사육을 하기 때문에 여과효율이 좋아야하는데 모래여과베드와 작물을 재배하는 방식의 biofilter를 활용함으로써 여과효율을 향상시킬수 있다는 점, 셋째는 양식에서 발생하는 사육수를 작물재배에 활용함으로써 환경오염경감을 할수있다는 점, 넷째 수경재배시 공급해야 하는 비료가 많은비중이 수입에 의존하고 있는데 이를 양식결과로부터 얻을 수 있다는 점, 다섯째 작물생산에 필수적인 이산화탄소가 복합영농시설에서 밀폐된 공간이기 때문에 이산화탄소의 외부로부터의 보충이 적어도 자체 발생량이 많아 탄소동화작용이 활발하여 작물생산향상을 가져온다는 점, 수경재배시 양액의 완충능력이 작아 관리가 어려운점이 pH 및 EC등의 화학성이 안정된 대용량의 사육수를 활용함으로써 양액관리가 안정화된다는 점, 특히 시설을 공유할 수 있어 토지 및 시설생산성을 향상시킨다는 점이다. 원형사육시설위에 수경재배시설을 설치하면 작업이 불편하여 원형사육조를 수로형사육조로 대체함으로써 그 사육공간의 면적은 유사하면서 사육단적이 5 ~ 10%정도 커지면서 작물재배작업성이 향상된다는 점이다. 한편 사육시설내의 습도가 높아지지만 작물재배에 크게 문제되지 않는다. 다만 병해충발생시 수경재배와 양어사육조가 동일순환계이기 때문에 피해우려가 있어 병충해관리를 치밀하게 할 필요가 있다.

한편 수익성측면에서 고찰하여 보면 복합영농에 영농시설이 100평규모의 경우에 원형사육시설에서 수익률이 22.4%이고 단독수경의 경우 20.0%에서 복합영농시설에서 수익률이 32.3%로 향상시킬수 있는 것으로 분석되었다. 이는 시설의 공간효율적 이용과 연료비 절감으로부터 오는 잇점에 의한 것이다.

최근 급격히 상승하는 유류가의 상승으로 시설원예나 양식이 난방비를 적게들이는 입지조건이 충족되는 지역으로 집중이 불가피할 것이다. 뿐만 아니라 태양열을 이용하는 연구가 활발하게 이뤄져야 하는 필요성이 대두되고 있다. 아울러 복합영농을 통하여 이의 문제를 극복하고, 앞에서 언급한 바와 같은 양어와 채소수경을 실시함으로써 얻는 부수적인 효과와 더불어 양어채소복합영농시설은 확대보급되리라 생각한다.

제 5 장 적 요

수경재배/양어 복합영농시설의 형태를 개발하고 틸라피아를 사육시 성장도 및 사육수의 수질을 파악하여 수경재배에 병용할 수 있는 수로형 사육시설의 적용가능성을 조사하고, 사육수를 이용한 미나리 수경재배 복합영농을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 수경재배시설과 양어시설의 형태의 공통점과 상이점을 고려하여 폭 2m, 높이 1m, 길이 18m의 수로형 사육시설을 설계하여 설치하고 사육조 위에 수경베드를 설치하여 밑에서는 틸라피아 사육을, 위에서는 채소수경재배를 수행할 수 있어 공간이용이 효율적이었다. 사육수의 수질은 사육하는데 이상없이 유지되었고 간이수로형 시설에서의 틸라피아의 성장은 원형사육시설에서의 그것과 대등하였다. 따라서 수경재배시설에 수용할 수 있는 양어시설은 수경재배시설의 형태에 걸맞는 수로형이 무난하며 사육환경이 정상적이므로 수로형 사육시설의 도입이 가능하다는 것이 입증되었다.

2) 양어수경복합영농시설은 실내에 가온을 하는 사육수가 있기 때문에 온도가 다소 안정하고 공기의 습도가 높았다. 연중생산체계를 도입하고자 할 경우 고온기 여름철 재배시 병발생이 우려되므로 이를 극복할 수 있을 뿐 아니라 생육도 양호한 미나리가 가장 적절한 것으로 판단되었다.

3) 사육수의 pH 및 EC 는 큰 변화가 없이 안정적이었으며, EC가 0.3~0.5dS/m로 양액표준보다 매우 낮은 편이지만, 미나리 사경재배시 양액수경미나리의 생육과 대등하였으며, 미나리 수경재배에 의해 사육수의 정화

효과가 있음을 확인하였다.

4) 양어사육수사경시 사육수의 용존영양분이 작물수경재배시보다 낮음에도 불구하고 추가 비료성분 공급없이 생육이 정상적으로 이뤄졌는데, 모래배지내에서의 유기물의 분해작용에 의해서 영양성분이 공급되고 있다는 것을 배지내의 미생물활성으로부터 미루어 짐작할 수 있었다.

5) 영농시설이 100평규모의 경우, 원형사육시설에서 틸라피아사육시 수익률이 22.4%이고, 미나리 단독수경재배에서 수익률이 20.0%이나 양어수경복합영농시설에서 수익률은 32.3%로 크게 향상시킬수 있는 것으로 분석되었는데 이는 시설의 공간효율적 이용과 연료비 절감으로부터 오는 잇점에 의한 것으로 판단되었다.

6) 양어수경복합영농시설에서 적합한 시설은 수경재배베드는 폭 2m로 하여 양쪽에서 1m씩 관리하도록 설치하였을 때 재배관리에 불편이 있었고 베드중앙부위가 아래로 구부러지는 등의 문제점이 있어, 이를 보완한 높이 1m내외, 폭 1.4m, 길이 15~20m정도의 형태로, 기둥재질은 펜타이트파이프, 사육조는 PP판넬(두께5mm)을 사용하고 biofilter배지는 모래 10cm정도를 채우고, 베드중앙부밑에 타공관을 설치하여 급배수시키도록 하였다. 기둥 및 측판의 재료를 펜타이트파이프와 PP판넬을 이용하도록 하는 수로형 양어수경복합시설의 구조를 개선하였다.

참 고 문 헌

AlJaloud, A. A., G. Hussain, A. A. Alsadon, A. Q. Siddiqui and A. Alnajoda. 1993. Use of aquaculture effluent as a supplemental source of nitrogen fertilizer to wheat crop. *Arid Soil. Res. Rehabil.* 7(3):233-241.

Alderz, W. C. and P. H. Everett. 1968. Aluminium foil and white polyethylene mulches to repel aphids and control watermelon mosaic. *J. Eco. Ent.* 61:1276-1279.

Bannelos, G. S., G. P. Offermann and E. C. Seim. 1985. High relative humidity promotes blossom-end-rot on growing tomato fruit. *Hortsci.* 20(5):894-895.

Blom-Zandstra, M. and J. E. M. Lampe. 1985. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce grown at different light intensities. *J. Exp. Bot.* 36:1043-4052.

Brar, G. S., B. L. McMichael and H. M. Taylor. 1991. Hydraulic conductivity of cotton roots as influenced by plant age and rooting medium. 83(1):264-266.

Brum, W. A. and R. L. Cooper. 1967. Effects of light intensity and carbon concentration on photosynthetic rate of soybean. *Crop Sci.* 7:451-454.

장기운. 1996. 유기성 폐자원의 농업적 이용. 경기지역 환경친화형 농업발전 방안.

Cherif, M., J. G. Menzies, D. L. Ehret, C. Bogolanoff, and R. R. Belanger. 1993. Yield of cucumbar infected with *Phythium aphanidermatum* when grown with soluble silicon. *HortSci.* 29(8):896-897.

조영개, 이재관, 양병수. 1993. 순환여과식 해산어류 양식장의 수청지 공정 최적화 연구. 1. 회전원판법에 의한 해수중의 암모니아 제거 동력학. *한국양식학회지.* 6(4):311-321.

Enoch, H. Z. and R. G. Hurd. 1977. Effect of light intensity, carbon dioxide concentration and leaf temperature on gas exchange of spray carnation plants. *J. Expt. Bot.* 28:84-95.

Ghosh, B. C., R. Ghosh, B. N. Mitra, A. Mitra and M. K. Jana. 1994. Influence of organic and inorganic fertilization of the growth and nutrition of rice and fish in a dual culture system. *J. Agr. Sci.* 122:41-45.

Ghosh, B. P. and R. H. Burns. 1950. Utilization of nitrogenous compounds by plant. *Soil Sci.* 70:187-203.

Gislerod, H. R. and L. M. Motensen. 1990. Relative humidity and nutrient concentration affect nutrient uptake and growth *Begonia* ×

heimalis. Hortsci. 25(5):524-526.

Gloger, K. C., J. E. Rakocy, J. B. Cotner, D. S. Bailey, W. M. Cole, K. A. Shultz. 1995. Contribution of lettuce to wastewater treatment capacity of raft hydroponics in a closed recirculating fish culture system. Preceedings from the Agriculture Expo VIII and Aquaculture in the Mid-Atlantic Conference. I. Aquacultural Engineering and Waste Management. Pp. 272.

Gloger, K. G., J. E. Rakocy, J. B. Bailey, W. M. Cole, and K. A. Shultz. 1995. Waste treatment capacity of raft hydroponics in a closed recirculating fish culture system. Book of abstracts. World Aquaculture Society.

Graves, W. R. 1992. Influence of hydroponic culture method on morphology and hydraulic conductivity of roots of honey locust. Tree Physiol. 11(2):205-211.

Hickling, C. F. 1963. The cultivation of tilapia. Sci. Amer. 208:143-152.

허종수, 김응오, 박명애, 박영일. 1988. 틸라피아 치어 밀도별사육시험. 국립수산물진흥원사업보고 제74호:63.

허노열. 1997. 시설내 원예작물의 합리적인 물관리. 한국시설원예관수와 시비기술심포지움. Pp. 55-103.

허건양. 1994. 시설재배에서 반사필름멀칭이 절화류의 생육, 수량 및 품질에 미치는 영향. 서울대박사학위논문.

稲田藤美. 1984. 光と植物生育-光選擇利用の基礎と應用. 養賢堂.

Ikeda, H. and J. Osawa. 1980. Comparison of adaptability to nitrogen source among vegetables crops. II. Growth response and accumulation of ammonium- and nitrate-nitrogen of leaf vegetables cultured in nutrient solution containing nitrate, ammonium, and nitrite as nitrogen source. J. Japan Soc. Hort. Sci. 48:435-442.

정진영. 1994. 한국의 유기농업발전과정. 유기농업의 현황 및 발전방향에 관한 심포지움. Pp. 43-45. 농진청.

정문기. 1973. 어류생태학. 과학기술후원회. pp.59-60.

정종륜, 장계남, 방종득, 류중오. 1988. 순환여과 양식시험. 국립수산진흥원 사업보고 제74호:3-13.

강석중, 김인배. 1982. 무여과조 순환수 사육장치내에서의 틸라피아의 성장. 한수지. 15(1):47-51.

김복영. 1988. 수질환경과 농업. 환경농학회지. 7(2):153-169.

김동수, 박인석. 1990. 양식 틸라피아에 대한 유전학적 동정. 한국양식학회지. 3(1):31-37.

김응오, 허종수, 정우건. 1995. 잉어, 틸라피아 육종시험. 수질사업보고 제 123호:41-55.

김일섭. 1997. 천연무기배지를 이용한 고행배지경. 고행배지경용 배지의 종류와 특성-한국양액재배연구회 춘계양액재배심포지움.

김인배, 김용석, 조재윤. 1977. 뱀장어 사육에 관한 연구. 한수지. 10(2) : 115-124.

김인배, 조재윤. 1974. 뱀장어 초기사육에 관한 연구. 한수지. 7(4) : 179 - 186.

김인배. 1980. 순환여과식 사육수 정화 재사용법에 의한 pilot 규모의 어류 양식시험. 한수지. 13(4):195-206.

김인배, 김병기, 지영옥. 1987. 순환여과식 양어시설에 이용될 수종의 여과 재료의 효능에 관한 연구. 한수지. 20(6):561-568.

김인배, 이숙희. 1981. 순환 Green water 사육장치내에서의 어류의 성장실태. 한수지 14(4):233-238.

김인배. 1983. 무여과 순환수 탱크 이용 틸라피아의 고밀도 사육 시험. 한수지. 16(2):59-67.

김기덕. 1994. 채소 수경재배 체계 도입에 의한 양어시설의 효율적 이용 방안. 시설원예연구. Pp. 95-107.

김광석, 김성원, 장계남, 유영출, 이생동. 1992. 틸라피아의 양성시험. 수질사업보고 91호.

김광석, 노용길, 김이청, 구자현. 1995. 자라양식시험. 내수면연구소사업보고서:106-116.

김숙양, 손송정. 1996. 내수면 양식장 저질이 부영양화에 미치는 영향연구. 내수면연구소사업보고서:35-40.

Kirby, E. A. and A. D. Hughes. 1970. Some aspects of ammonium and nitrate in plant metabolism. Pp. 69-77. In:Kirkby(ed). Nitrogen Nutrition of the Plant.

고학균, 권영삼, 최창현, 이대원, 김대민, 권지선. 1996. 자동온실내 복합환경의 컴퓨터제어시스템 개발. 농림부보고서.

국립수산진흥원 청평내수면연구소. 1994. 유영출정년기념논문집.

국립수산진흥원. 1988. 틸라피아(Tilapia)의 양식. pp.3-8.

경기도내수면개발시험장. 내수면어류양식교재(1) 틸라피아 양식.

경기도농촌진흥원. 1991. 원예작물의 양액재배현황과 발전방향.

이병일, 이순길, 정선부, 이지원, 한평수, 김기덕. 1991. 채소 수경재배체계 도입에 의한 내수면 양어시설의 효율적 이용방안. 과학기술처 연구보고서.

이병일 외. 1990. 시설원예. 한국방송통신대학 출판부.

이용호, 이병일. 1991. 미나리의 수경재배체계 개발에 관한 기초연구. II. 양액조건이 수경미나리의 무기양분흡수와 수량에 미치는 영향. 한원지. 32:29-42.

이재룡. 1997. 태양열 이용 농작물 생산의 경제성과 효과분석. 태양열 이용 시설 농업 생산비 절감 방안 세미나. Pp. 84-100.

이종섭. 1996. 순환여과 사육수조내의 3차원 유동구조-이용성과 효율성을 고려한 수조제작. Aquaculture pp. 114-117. 1996.

이근후, 권순국. 1995. 지속가능 농업과 농업용수의 보전. 지속적 농업과 환경보전. pp. 43-60.

이민효. 1991. 농경지에서의 영양염류의 유출과 대책방안에 대하여. 농업 환경보전에 관한 심포지움. Pp. 53-78.

Lewis, W. M., J. H. Yopp, H. L. Schramm, and A. M. Branclenburg. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. Trans. Amer. Fisheries Soc. 107:92-99.

Mancini, L., and G. S. Mugnozza. 1994. Yield and quality of chinese cabbage grown on sand culture and NFT system. *Acta Hort.* 361:578-582.

Maynard, D. N., A. V. Barker, P. L. Minotti and N. H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agron.* 28:71-118.

McMurty, M. R., D. C. Sanders, P. V. Nelson, and A. Nash. 1993. Mineral nutrient concentration and uptake by tomato irrigated with recirculating aquaculture water as influenced by quantity of fish waste products supplied. *J. Plant Nutr.* 16(3):407-419.

McMurty, M. R., P. V. Nelson, D. C. Sanders, and L. Hodges. 1990. Sand culture of vegetables using recirculated aquacultural effluents. *Appl. Agr. Res.* 5(4):280-284.

Menzies, J. G. and R. R. Belanger. 1996. Recent advances in cultural management of diseases of greenhouse crops. *Can. J. Plant Pathol.* 18(2):186-193.

문보흠. 1996. 수경재배 미나리의 체내 질산태질소 수준 저하방법과 품질에 관한 연구. 서울대학교석사학위논문.

나우현. 1997. 한국의 양액재배 현황과 문제점. 고품배지경용 배지의 종류와 특성-한국양액재배연구회 춘계양액재배심포지움.

노충환, 남윤권, 조재윤, 김동수. 1997. 순환여과식 시스템에서 나일틸라피아의 종묘생산성 향상을 위한 연구. 한국양식학회지. 10(3):373-380.

오봉세, 김숙양, 김진도. 1995. 오존이 양식장 수질 및 세균에 미치는 영향. 수질사업보고 제123호:1-8.

Oh, Y. J. and K. W. Park. 1984. Effects of the light condition of root zone and the types of hydroponics on the growth and certain quality of radish and lettuce. J. Kor. soc. Hort. Sci. 25(3):206-211.

오승용, 조재윤, 김인배. 1997. 침지식 여과조를 이용한 합성폐수의 탈질화. 한국양식학회지. 10(3):335-346.

박권우, 김영식. 1993. 수경재배의 이론과 실제. 고려대학교 출판부.

박권우, 홍혜영. 1996. Selection of nutrient solutions and substrates for radish(*Raphanus sativus* L. var *sativus*) growth. 생물생산시설학회지. 5(2):236-247.

Penalosa, J. M., M. D. Caceres, and M. J. Sarro. 1995. Nutrition of bean plants in sand culture: Influence of calcium/potassium ratio in the nutrient solution. J. Plant Nutr. 18(10):2023-2032.

Penalosa, J. M., O. Carpena and P. Zornoza. 1988. A study of the nutrient uptake by plants in sand culture. Soilless culture. 4(2):41-50.

Rakocy, J. E. 1994. Waste management in integrated recirculating system. Bull. Nat. Res. Inst. Aquaculture Suppl. 1:75-80.

Scaife, A. and S. Schloemer. 1994. The diurnal pattern of nitrate uptake and reduction by spinach. Ann. Bot. 73:337-343.

Schnürer J., and T. Rosswall. 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. Applied and Environ. Microbiol. 43(6):1256-1261.

서범석. 1997. 양액재배통계조사. 호남온실작물연구소.

Singh, S., L. S. Marsh, D. H. Vaughan and G. S. Libey. 1996. A computer simulation model to optimize greenhouse size for an integrated (fish production, hydroponics) system. Trans ASAE. 39(6):2241-2248.

Summerfelt, S. T. and J. L. Cleasby. 1996. A review of hydraulics in fluidized bed biological filters. Trans. ASAE. 39(3):1161-1173.

Takeda, F., P. Alder and D. M. Glenn. 1993. Growing greenhouse strawberries with aquaculture effluent. Acta Hort. 348:246-267.

Tibbitts, T. W. and G. Bottenberg. 1976. Growth of lettuce under controlled humidity level. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101:70-73.

양원모, 홍지형, 박금주, 손보균. 1996. 퇴비발효온실의 환경조건이 토마토의 생육에 미치는 영향. 생물생산시설환경학회지. 5(2):202-209.

Appendix

부표 1. 우리나라의 수경재배면적

지 역	농가	면적(평)
전국	968	825,223
부산	13	11,600
대구	9	6,900
인천	3	1,370
광주	35	22,470
대전	10	6,300
경기	122	117,127
강원	70	40,200
충북	45	41,100
충남	116	83,510
전북	66	69,300
전남	130	127,736
경북	79	44,400
경남	204	204,300
제주	56	42,510

자료 : 한국양액재배연구회 심포지움자료

부표 2. 지역별 틸라피아 양식사업체수 및 사육지면적(1995년)

지 역	사업체수	면적(m ²)
전국	170	189,393
부산	1	170
대구	1	330
인천	1	4,714
광주	1	893
대전	-	-
경기	55	60,803
강원	4	2,690
충북	7	4,761
충남	10	11,412
전북	12	10,548
전남	3	4,300
경북	12	12,739
경남	55	70,713
제주	8	5,320

자료 : 어업총조사보고

부표 3. 내수면 양식어종별 사업체수 및 사육지 면적(전국,1995년)

어 종	사업체수	면적(m ²)
계	3,686	13,918,762
뱀장어	258	1,607,368
잉어류	658	2,506,551
송어류	456	496,989
가물치	369	2,448,713
틸라피아	170	189,393
메기	825	2,745,765
자라	99	102,119
미꾸라지	284	1,310,246
관상어	292	1,505,823
기타	275	1,005,797

자료 : 어업총조사보고

부표4. 일반 양어장 수질분석결과(경기도 관내)

장 소	수온 (℃)	pH	DO (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)
1화성군(민물돔)	15	5.30	5.38	17.96	0.06	38.4	24.7	31.4
2용인시(민물돔)	26	7.10	3.84	7.42	0.44	8.18	12.1	24.1
3평택시(메기)	17	7.36	4.99	2.02	0.86	1.07	16.2	7.58
4안성군(민물돔)	20	7.24	4.81	3.76	5.84	17.2	13.1	9.34
5화성군(민물돔)	20	7.30	4.21	6.43	0.64	20.6	27.3	27.2
6안성군(민물돔)	20	7.01	5.32	4.57	11.48	9.48	16.4	9.03
7화성군(민물돔)	20	7.22	5.38	11.6	-	9.23	46.1	30.4
8안성군(민물돔)	20	7.35	3.8	15.7	0.67	15.3	19.4	45.5
9양평군(메기)	12	7.09	6.48	0.7	0.63	19.8	21.4	32.1
10고양시(메기)	14	7.07	5.4	0.51	0.16	17.5	19.5	26.6
11김포군(메기)	15	7.05	5.12	0.57	0.28	17.8	19.7	27.7
12용인시(민물돔)	27	6.92	5.46	7.88	0.44	20.2	15.8	25.8
13평택시(메기)	24	4.60	7.50	2.01	2.68	16.7	26.0	10.3

자료 : 자체조사자료

부표 5. 수경재배, 양어 및 양어/수경재배시설의 유형

유 형		내 용 및 효 과	
단독형	수경재배	박막수경	비료염으로 만든 양액에서 작물을 재배하는 방식
		담액수경	
		분무경	
		고형배지경	
양어	기타		
	무여과조순환식	여과조에 의한 시설비 및 시설이용효율을 높이기 위해 여과조 없이 배옥잠이나 개구리밥 및 식물성플랑크톤 등 green water system으로 정화하여 사육하는 방식	
	여과조순환식	사육조와 여과조 및 침전조에 의한 순환여과 사육방식	
복합형	분리병행형	시설내 공간은 공동이용하고 순환은 별도로 이뤄짐. 공간이용의 극대화, 열에너지 절감, 기상환경개선효과(온도, 습도, 이산화탄소 등)	
	완전폐쇄 순환형	배지경재배의 베드(사경,역경 등)가 bio-filter로 이용되어 재순환되는형, 공간이용의 극대화, 열에너지 절감, 환경보전, 물질의 재활용(양분, 물, 이산화탄소등)	
	완전폐쇄 순환 분리 배치형	시설배치는 별도로 하고(기존의 여과조가 biofilter로만 이용) 순환은 폐쇄형으로서 운영됨.여러효과는 완전폐쇄형과 동일하나 공간이용효율은 떨어짐	
	불완전폐쇄 순환형	양어와 수경재배가 별도로 이뤄지되 수경재배의 양액은 양어배설물 및 유기물의 분해산물이 충분히 용존되어 있는 물을 활용하는 방식, 공간이용의 극대화, 열에너지 절감, 환경보전, 물질의 재활용(양분, 물, 이산화탄소 등)	

부표 6. 수경재배시(350m²기준)수익성분석

항 목		금액(천원)	산 출 내 역
수경재배		○ 시설규모 : 350m ² ○ 생산량 : 12,366kg/350m ² /년 ○ 년 10회 생산 ○ 출하 단가 : 1,000원/kg	
조수입		12,366	12,366kg x 1,000원 = 12,366,000
생 산 비	종자대	200	
	비료비	400	
	광열동력비	600	
	수리비	500	
	연료비	2,000	
	소농기구비	100	
	수선비	300	
	부대경비	700	
	감가상각비	550	
	계	5,350	
운 영 비	자가노력비	3,600	300,000원 x 12월 = 3,600,000
	자본용역비	935	9,350천원 x 0.1 = 935,000
총 계		9,885	

수익 : 12,366천원 - 9,885천원 = 2,481천원

수익률 : 2,481천원/12,366천원 = 20.0%

부표 7. 수경재배시설의 시설비 및 감가상각비

구 분		규격	재 질	단위	수량	단가 (천원)	금액 (천원)	내용 연수	감가상 각비
시 설 비	베드시설	NFT	파이프, 스티로폼	베드	4	1,250	5,000	10	500
	펌프	1HP			1	150	150	3	50
계							5150		550
토지대 및 시설임차료							4,200		
총시설비							9,350		

부표 8. 순환여과식 원형사육지(350m²기준) 틸라피아사육시의 수익성분석

항 목	금액 (천원)	산 출 내 역
양식조건		○ 시설규모 : 사육동350m ² (사육조면적 56%적용) ○ 생산율 : 70% ○ 생산량 : 15.68톤 ○ 사료계수 : 1.7 ○ 출하시 중량 :1kg/마리
조수입	62,720	80kg/m ² x 350m ² x 0.56 x 4,000원=62,720,000
생 산 비	종묘비	1,800 22,500미 x 80원 = 1,800,000
	사료비	15,993 15,680kg x 1.7 x 600원 = 15,993,600
	제약품비	319 15,993천원 x 0.02=319,860,사료비의 2%
	노무비	7,200 600,000원 x 1인 x 12개월 = 7,200,000
	전기료	2,400 200,000원 x 12월 = 2,400,000
	연료비	4,500 15드럼 x 50,000원 x 6개월 = 4,500,000
	수선비	1,388 46,275,000원 x 0.03 = 1,388
	체세공과금	150 12,500원 x 12월 = 150,000
	기타제경비	1,200 100,000원 x 12월 = 1,200,00
	감가상각비	3,027
계	37,997	
자가노력비	7,200	600,000원 x 12월 = 7,200,000
자본용역비	3,505	35,048,000원 x 0.1 = 3,504,8000
총 계	48,682	

수익 : 62,720천원 - 48,682천원 = 14,038천원

수익률 : 14,038천원/62,720천원 = 22.4%

부표 9. 순환여과식 원형사육지(350m²기준) 티라피아시설의 시설비 및 감가상각비

항 목		규격	재 질	단 위	수 량	단가 (천원)	금액 (구천원)	내용 연수	감가상 각비	
시 설 비	사육지,여과조	196m ²	PP	동	5	49/m ²	8,940	20	447	
	지하수개발	φ50mm		공	1	5,000	5,000	20	250	
	전기시설						2,000	2,000	10	200
	급배수시설						1,500	1,500	10	150
	발전기	10Kwh		대	1	3,000	3,000	20	150	
	순환펌프	1HP		대	3	150	1,200	3	500	
	에어브로워	3HP		대	2	1,500	3,000	5	600	
	보일러	50,000Kcal		대	2	1,400	2,800	5	560	
전기컨트롤러		set	1	3,400	3,400	20	170			
계							30,848		3,027	
토지대 및 시설임차료							4,200			
총시설비							35,048			

부표 10. 순환여과식 수로형사육지(350m²기준) 틸라피아사육시의 수익성 분석(여과조는 수로형사육지위에 설치의 경우)

항 목	금액 (천원)	산 출 내 역
양식조건		○ 시설규모 : 사육동350m ² (사육조면적 71%적용) ○ 생산율 : 70% ○ 생산량 : 19.88톤 ○ 사료계수 : 1.7 ○ 출하시 중량 :1kg/마리
조수입	79,520	80kg/m ² x 350m ² x 0.71 x 4,000원=79,520,000
생 산 비	종묘비	3,216 40,200미 x 80원 = 3,216,000
	사료비	20,278 19,880kg x 1.7 x 600원 = 20,277,600
	제약품비	571 15,993천원 x 0.02=319,860,사료비의 2%
	노무비	7,200 600,000원 x 1인 x 12개월 = 7,200,000
	전기료	2,400 200,000원 x 12월 = 2,400,000
	연료비	4,500 15드럼 x 50,000원 x 6개월 = 4,500,000
	수선비	1,388 46,275,000원 x 0.03 = 1,388
	제세공과금	150 12,500원 x 12월 = 150,000
	기타제경비	1,200 100,000원 x 12월 = 1,200,00
	감가상각비	3,202
계	44,105	
자가노력비	7,200	600,000원 x 12월 = 7,200,000
자본용역비	3,856	38,558,000원 x 0.1 = 3,855,800
총 계	55,165	

수익 : 79,520천원 - 55,161천원 = 24,359천원

수익률 : 24,359천원/79,520천원 = 30.6%

부표 11.순환여과식 수로형사육지(350m²기준) 틸라피아사육시의 시설비 및 감가상각비(여과조는 수로형사육지위에 설치의 경우)

항 목		규격	재 질	단 위	수 량	단가 (천원)	금액 (구천원)	내용 연수	감가상 각비
시 설 비	사육지	249m ²	PP	동	4	509/m ²	12,450	20	622
	지하수개발	φ50mm		공	1	5,000	5,000	20	250
	전기시설					2,000	2,000	10	200
	급배수시설					1,500	1,500	10	150
	발전기	10Kwh		대	1	3,000	3,000	20	150
	순환펌프	1HP		대	3	150	1,200	3	500
	에어브로워	3HP		대	2	1,500	3,000	5	600
	보일러	50,000Kcal		대	2	1,400	2,800	5	560
전기컨트롤러		set	1	3,400	3,400	20	170		
계							34,358		3,202
토지대 및 시설임차료							4,200		
총시설비							38,558		

부표 12. 양어수경복합영농어(350m²기준)시설에서의 수익성분석 (여과조는 수로형사육지위에 설치한 경우)

항 목		금액(천원)	산 출 내 역
양식조건			○ 시설규모 : 사육동350m ² (사육조면적 71%적용) ○ 생산율 : 70% ○ 생산량 : 19.88톤 ○ 사료계수 : 1.7 ○ 출하시 중량 : 1kg/마리
수경재배			○ 시설규모 : 350m ² ○ 생산량 : 12,366kg/350m ² /년 ○ 년 10회 생산 ○ 출하 단가 : 1,000원/kg
조수입		91,886	(틸라피아) 80kg/m ² x 350m ² x 0.71 x 4,000원=79,520,000 (미나리) 12,366kg x 1,000원 = 12,366,000
생 산 비	종묘비	3,216	40,200미 x 80원 = 3,216,000
	사료비	20,278	19,880kg x 1.7 x 600원 = 20,277,600
	제약품비	571	15,993천원 x 0.02=319,860,사료비의 2%
	노무비	7,200	600,000원 x 1인 x 12개월 = 7,200,000
	전기료	2,400	200,000원 x 12월 = 2,400,000
	연료비	4,500	15드럼 x 50,000원 x 6개월 = 4,500,000
	수선비	1,388	46,275,000원 x 0.03 = 1,388
	제세공과금	150	12,500원 x 12월 = 150,000
	기타제경비	1,200	100,000원 x 12월 = 1,200,000
	종자대	200	
	비료비	400	
	광열동력비	600	
	수리비	500	
	연료비	2,000	
	소농기구비	100	
	수선비	300	
부대경비	700		
감가상각비	3,752		
계		47,055	
자가노력비		10,800	
자본용역비		4,371	43,708,000원 x 0.1 = 4,370,800
총 계		62,226	

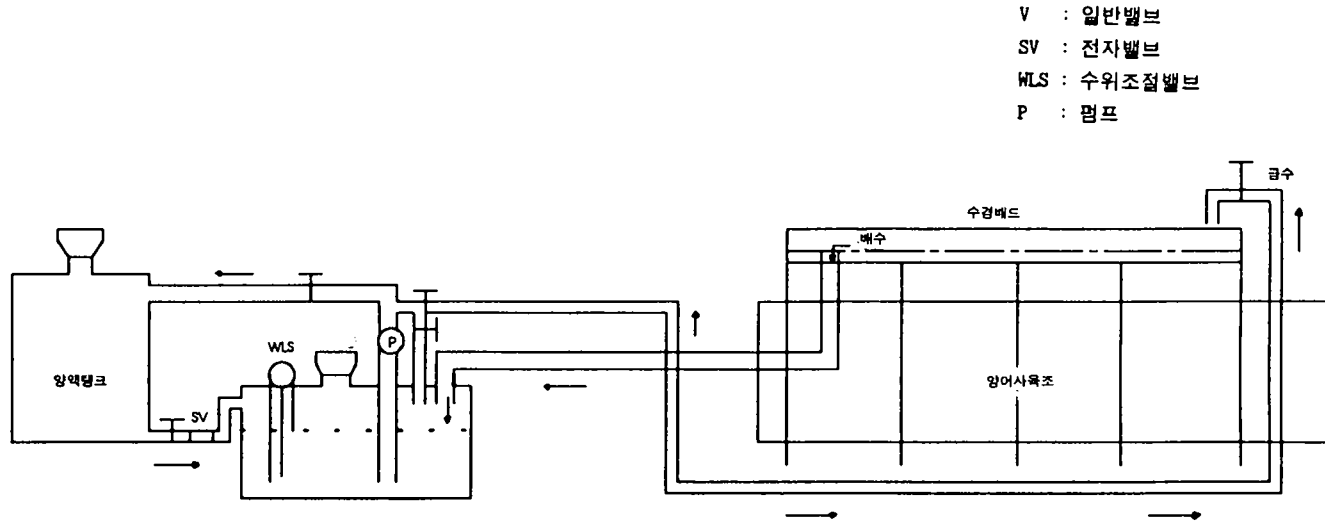
수익 : 91,886천원 - 62,226천원 = 29,660천원

수익률 : 29,660천원/91,886천원 = 32.3%

부표 13. 순환여과식 수로형사육지(350m²기준) 틸라피아사육시의 시설비 및 감가상각비(여과조는 수로형사육지위에 설치한 경우)

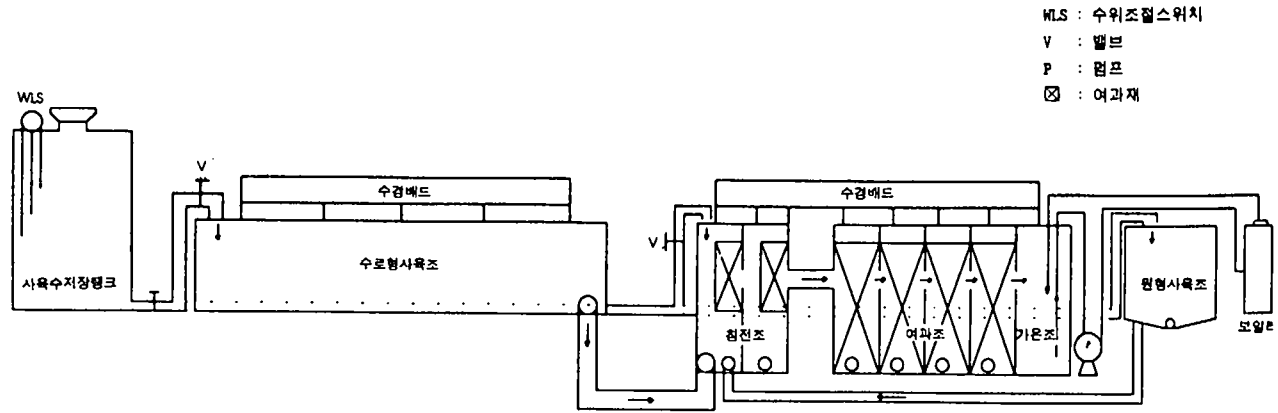
항 목	규격	재 질	단위	수량	단가 (천원)	금액 (구천원)	내용 연수	감가상 각비	
시 설 비	사육지	249m ²	PP	동	4	509/m ²	12,450	20	622
	지하수개발	φ50mm		공	1	5,000	5,000	20	250
	전기시설					2,000	2,000	10	200
	급배수시설					1,500	1,500	10	150
	발전기	10Kwh		대	1	3,000	3,000	20	150
	순환펌프	1HP		대	3	150	1,200	3	500
	에어브로워	3HP		대	2	1,500	3,000	5	600
	보일러	50,000Kcal		대	2	1,400	2,800	5	560
	전기컨트롤러			set	1	3,400	3,400	20	170
	베드시설	NFT		베드	4	1,250	5,000	10	500
펌프	1HP			1	150	150	3	50	
계						39,508		3,752	
토지대 및 시설임차료						4,200			
총시설비						43,708			

부표14. 수경재배시설의 개요도

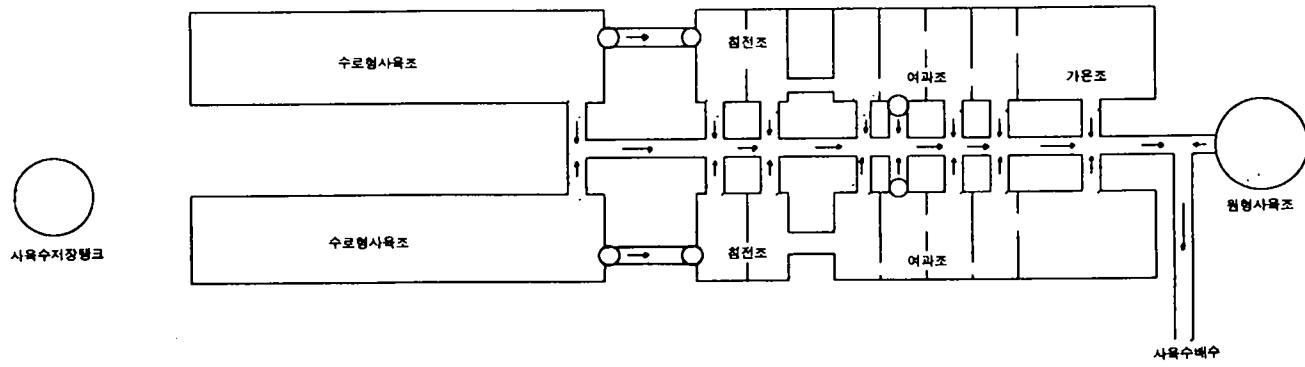


- V : 일반밸브
- SV : 전자밸브
- WLS : 수위조절밸브
- P : 펌프

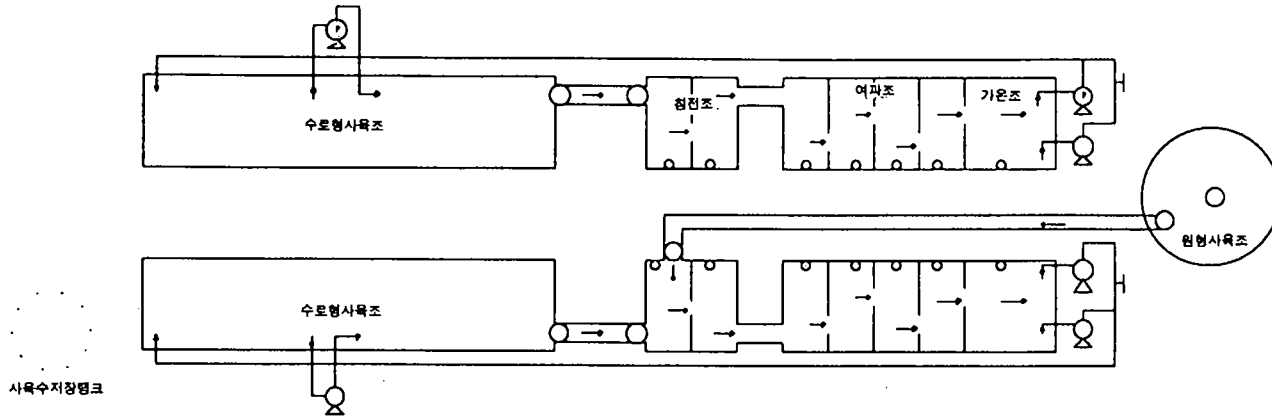
부표15. 양어사육지 측면도



부표16. 양어사육지 배수로 평면도



부표17. 양어사육지 순환배관평면도



사육수지장형크