

양액순환재배를 위한 박막여과식 양액재처리 장치 개발

Development of Membrane Disinfection Device for Recirculation of Drained Nutrient Solution

이공인* 지형진** 김승희* 김진영* 최덕규*
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
G. I. Lee H. J. Jee S. H. Kim J. Y. Kim D. K. Choi

1. 서론

우리나라의 수경재배 면적은 2001년말 현재 736ha로 순환식이 296ha, 비순환식이 440ha를 차지하고 있다. 수경재배에서의 양액관리방법은 작물 및 재배시스템의 종류에 따라 다르지만 작물이 흡수하고 남은 양액이 양액탱크와 재배조사이를 왕복순환되는 순환방식과 양액탱크에서 재배조로 공급된 후 배출폐기되는 비순환방식(홀러버림식)으로 나누어 진다.

비순환방식의 고품배지경 양액재배에서는 15~40%에 이르는 잉여양액을 대부분 시설밖으로 배출폐기하고 있어, 폐양액을 재이용할 수 있는 양액순환방식으로의 전환은 환경보전과 비료절감이란 측면에서 반드시 필요하다. 이와 같이 폐양액을 재이용하기 위해서는 양액재배 특성상 일단 양액속에 병원균이 발생하면 토경재배에 비하여 뿌리와의 접촉기회가 많아 병원균의 확산이 빠르고 양액탱크를 경유해서 재배조 전체에 만연되기 쉽다는 문제를 해결해야 하므로 폐양액의 완전살균소독에 의한 배지 또는 뿌리주변에서의 병원균이나 바이러스의 발병을 억제하는 일이 중요하다.

폐양액의 살균방법으로 자외선램프를 이용한 살균방식이 많이 채택되어 왔으나 처리후 철과 망간이 결핍되거나 살균효과가 불투명하다는 문제점 때문에 사용이 기피되고 있어 양액성분을 변화시키지 않으면서 폐양액을 쉽고 확실하게 살균하여 재이용할 수 있는 장치개발이 시급하다고 생각된다.

본 연구에서는 양액순환재배를 위하여 폐양액내 양액성분에 영향을 미치지 않으면서 균을 제거할 수 있는 박막여과식 양액재처리장치를 제작하여 분리막의 제균성능 및 양액성분변화에 대해 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 요인시험

(1) 요인시험장치 제작

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

** 농업과학기술원 식물병리과

막 종류별 폐양액의 적정재처리 요인을 구명하기 위하여 요인시험장치를 그림1과 같이 이물질 제거하는 전처리부, 하우스 내부에 공시여과막을 카트리지로 장착하는 여과부 등으로 구성하여 막 종류별로 유량과 압력을 조절할 수 있도록 제작하였다. 공시여과막으로 역삼투막(RO), 나노여과막(NO), 한외여과막(UF), 정밀여과막(MF)을 사용하였다.

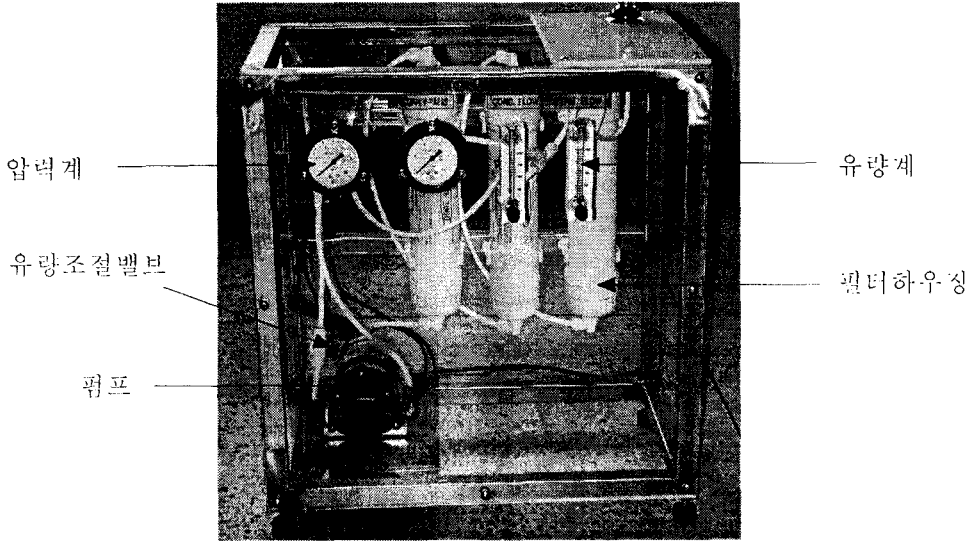


그림 1. 요인시험장치 구조

(2) 요인시험내용

여과막별 처리성능시험은 압력조건이 3, 4, 5kg/cm²일 때 역삼투막, 나노여과막, 한외여과막, 정밀여과막의 시간당 처리량을 측정하였다.

또한, 여과막별 양액성분변화는 양액의 EC를 0.76dS/m로 조절한 후 EC 미터(CM-11P, TOA Electronics Ltd)로 여과장치 통과전·후의 EC변화를 조사하였다.

병원균 제균시험의 공시병원균으로서 양액재배에서 많이 발생하는 풋마름병원균(*Ralstonia solanacearum*)과 시들음병원균(*Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*)을 대상병원균으로 하여 여과장치의 통과전과 통과후의 균 밀도를 조사하였다. 풋마름병원균은 액체 영양배지를 접종한 후 28℃에서 2일간, 시들음병원균은 액체 감자 한천배지를 접종한 후 28℃에서 7일간 진탕 배양하였다.

여과막의 성능검정은 풋마름병원균의 경우 통과된 영양액을 *Ralstonia* 선택배양기에 도말하여 농도를 측정하였으며, 시들음병원균은 시들음병원균 선택배양기인 Komada배양기에서 선택적으로 분리하여 Microsyring법으로 측정하였다.

나. 시작기 제작 및 성능시험

요인시험에서 구명된 결과를 바탕으로 박막교환, 유량, 압력조절이 가능하도록 그림 2에 나타낸 바와 같이 시작기를 제작하였으며, 표 1에 그 제원을 나타내었다.

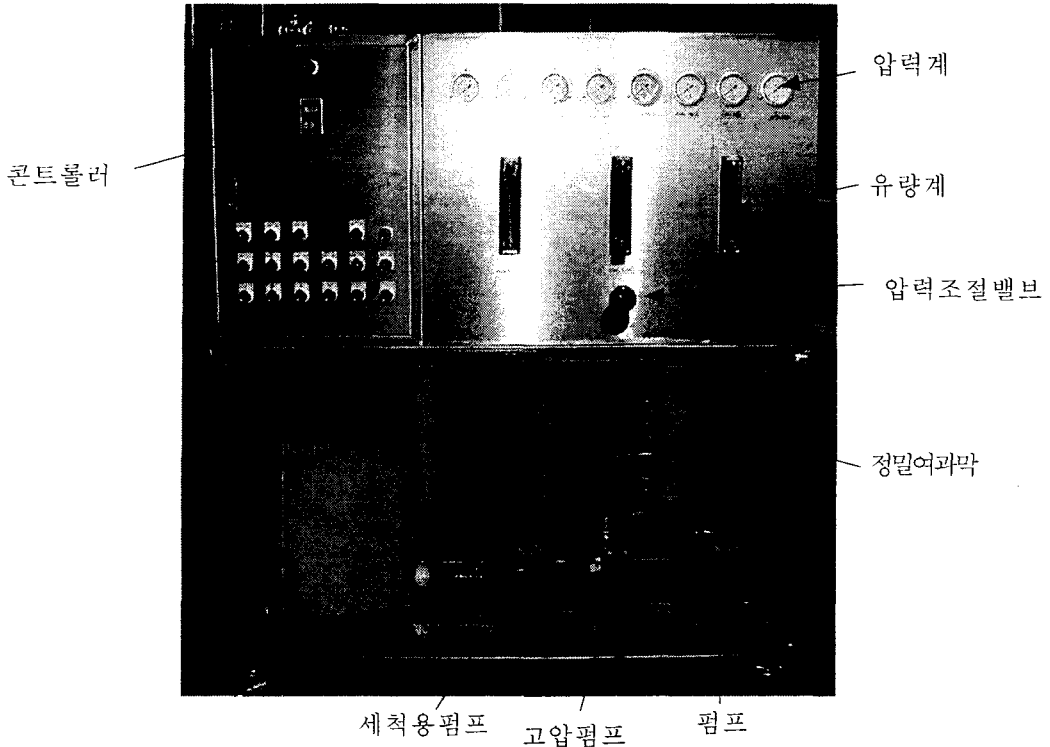


그림 2. 시작기 구조

표 1. 시작기 제원

크기 (L×W×H,mm)	전처리 막 (ϕ ×L,mm)	하우징 (ϕ ×L,mm)	펌프		압력계 (kg/cm)	유량계 (ℓ /min)
			용량 (kW)	토출량 (ℓ /min)		
1,400×700×1,600	100×1,000	105×1,118	0.5	90	0~10	0~20

성능시험은 오이 수경재배농가에 시작기를 설치하여 요인시험결과에서 얻어진 결과를 바탕으로 분자량 30,000의 한외여과막과 Pore size 0.1 μ m의 정밀여과막을 공시하여 제균성능, 양액의 무기성분변화를 조사하였다.

양액의 무기성분분석은 NO₃-N, NH₄-N의 경우 Kjetec 2300 Analyzer Unit, P 은 UV Spectrophotometer, 기타 이온은 ICP Spectrometer를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 요인시험

(1) 압력별 처리성능시험

여과막 종류에 따른 압력별 처리량 시험결과 표 2에 나타난 바와 같이 역삼투막과 나노여과막의 처리량은 압력에 따라 차가 큰 것으로 나타났으나 한외여과막과 정밀여과막의 경우

3~4kg/cm²에서 처리량이 많아지는 것으로 나타났다. 따라서 실제 압면이나 펠라이트를 사용하는 수정재배농가에서의 1일 배출폐양액은 10a당 3톤 정도되기 때문에 재균율이 높고 양액 성분에 변화가 없다면 한외여과막이나 정밀여과막이 폐양액을 대량처리함에 있어 적정할 것으로 판단되었다.

표 2. 공시 여과막에 따른 압력별 처리성능 (단위 : ℓ/hr)

막종류 압력 (kg/cm ²)	역삼투막		나노여과막		한외여과막		정밀여과막
	처리수	농축수	처리수	농축수	처리수	농축수	
3	6	34	2.7	26.3	9	20	30
4	7.8	24.8	3.6	19.6	22.5	1.2	24.5
5	9.6	10.2	4.5	5.1	11.4	0	11.8

(2) 공시 여과막별 양액농도변화시험

여과막에 따른 요인시험장치 통과전과 통과후의 EC를 조사한 결과 표 3과 같이 처리후 농도는 역삼투막과 나노여과막에서 각각 90.8, 47.4%의 높은 변화율을 보였으나 한외여과막과 정밀여과막에서는 변화가 없는 것으로 나타났다.

따라서 한외여과막과 정밀여과막의 경우 폐양액의 성분에 영향을 미치지 않기 때문에 원수와 혼합하여 양액을 조성할 경우 원수혼합비율 구멍이 쉬워질 것으로 생각되며, 아울러 역삼투막이나 나노여과막은 원수수질이 나쁜 지역에서 원수를 여과하는데 유용한 것으로 판단된다.

표 3. 여과막별 전기전도도(EC)변화

종 류 구 분	역삼투막	나노여과막	한외여과막	정밀여과막
처리전(dS/m)	0.76	0.76	0.76	0.76
처리후(dS/m)	0.07	0.40	0.76	0.76
농도변화율(%)	90.8	47.4	0	0

(3) 여과막별 제균성능시험

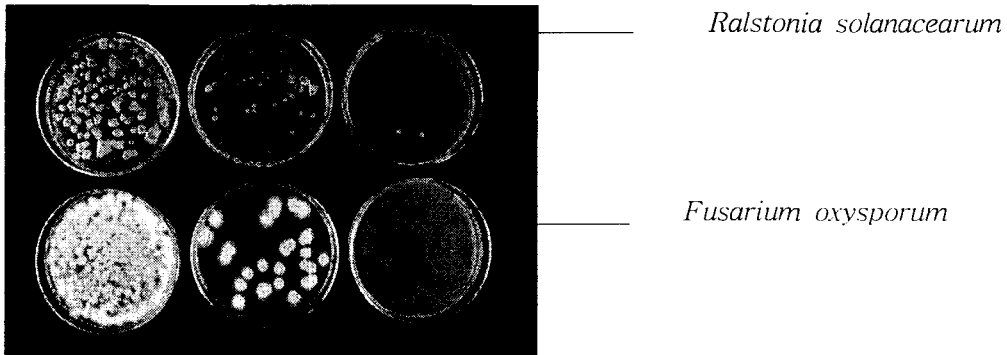
여과막별 양액농도변화 시험결과 한외여과막과 정밀여과막이 폐양액을 처리함에 있어 유용한 것으로 판단되었기 때문에 분자량 50,000의 한외여과막과 Pore size 0.2 μ m의 정밀여과막을 공시하여 여과막 통과후의 균밀도를 조사하였다.

막 종류별 균 밀도를 조사한 결과 풋마름병균과 시들음병균의 제거율은 정밀여과막에서 각각 99.5%, 98.5%, 한외여과막에서 각각 99.9%, 100%로 한외여과막의 제균성능이 우수한

것으로 나타났다(표 4, 그림 3).

표 4. 병원균 제균성능

병원균	양액 1ml당 균밀도(cfu/ml)		
	처리전	처리후	
		정밀여과막	한외여과막
<i>Ralstonia solanacearum</i>	2.8×10^4	9.7×10^3	35
<i>Fusarium oxysporum</i>	2.1×10^9	2.9×10^4	0



<처리전> <정밀여과막> <한외여과막>

그림 3. 여과막 처리전과 처리후의 병원균 상태

폐양액의 재순환을 전제조건으로 할 경우 진균제거율은 100%가 되어야 하기 때문에 본 시험의 공시여과막보다 분자량이나 Pore size가 작은 막을 선택한다면 제균능력은 더욱 향상될 것으로 생각된다.

나. 시작기 성능시험

(1) 제균성능

표 5는 수정재배농가에서 배출된 폐양액을 공시하여 정밀여과막과 한외여과막의 제균성능을 조사한 것으로 세균제거율은 각각 99.4%, 99.6%로 높게 나타났다. 따라서 여과막을 이용한 폐양액 처리방식은 폐양액을 재활용함에 있어 유용한 기술로 판단되었다.

표 5. 공시막별 세균제거율

처리별	양액 1ml당 세균밀도 ($\times 10^3$ cfu/ml)	세균제거율(%)
무처리	42.50	-
정밀여과막	0.28	99.4
한외여과막	0.21	99.6

(2) 양액성분변화

폐양액의 공시여과막 통과전과 통과후의 무기성분변화를 조사한 결과를 표 6에 나타내었다. 정밀여과막, 한외여과막의 시험구 모두 폐양액내의 다량요소와 미량요소의 성분에 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 급후 처리된 폐양액을 재사용할 경우 원수혼합비율 구명이 용이할 것으로 생각된다.

표 6. 공시막별 양액의 무기성분변화

(단위 : ppm)

이온 구분	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
처리전	0	61.60	2.61	88.90	51.02	18.02	0.72	0.001	0.07	0.03
MF 0.1 μ m	0	59.59	2.57	89.11	51.41	18.18	0.78	0.001	0.07	0.02
UF	0	55.74	2.84	88.96	51.97	18.10	0.76	0.001	0.07	0.02

4. 결론 및 요약

수경재배에서 배출되는 폐양액을 양액성분의 변화없이 재급하여 재사용할 수 있는 기술을 개발하고자 박막여과식 양액재처리장치를 제작하여 재급성능 및 양액성분변화를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 가. 박막여과식 양액 재처리장치는 폐양액내의 이물질 제거하는 전처리부, 하우스 내부에 여과막이 장착된 여과부, 오염된 막을 세척하는 막세척부 등으로 구성되도록 제작하였다.
- 나. 정밀여과막과 한외여과막의 세균제거율은 각각 99.4%, 99.6%로 높게 나타나 여과막을 이용한 양액재처리는 폐양액을 재활용함에 있어 유용한 기술로 판단되었다.
- 다. 공시여과막의 통과전과 통과후의 양액성분변화는 정밀여과막과 한외여과막의 시험구 모두 폐양액내의 다량요소 및 미량요소의 성분에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 田中和大, 馬場勝, 高地英大. 1992. 록우-롤에 재배오ける排出液의加熱殺菌による再利用. 生物環境調節30(1): 17-22.
2. 三重縣農業技術センター, 郡馬縣農業試驗場, 千葉縣農業試驗場. 1994. 하이테크利用による養液栽培野菜根部病害の綜合制御技術の開発.
3. W. Th. Runia. 1995. A Review of Possibilities for Disinfection of Recirculation Water from Soilless Cultures.
4. 大谷敏郎. 1995. 養液やかんがいのリサイクル化と膜技術の可能性. 研究ジャーナル18(8).
5. 李公仁. 1999. 養液循環栽培のための電氣加熱式養液殺菌装置の開発. 日本農業施設學會大會 78-79.
6. 이공인 외 4인. 2002. 양액순환재배를 위한 막 재급기술 개발. 한국생물조절학회 2002년 추계학술대회 285-288.