

# 전기가열식 양액살균장치 개발

## Development of the Electric Heating Type Sterilization Device for Drainage Solution

이공인*	김승희*	장유섭*	홍성기*
정회원,	정회원,	정회원,	정회원
G.I.Lee,	S.H.Kim,	Y.S.Chang,	S.K.Hong

### 1. 서론

양액재배에서의 양액관리방법은 작물 및 재배시스템의 종류에 따라 다르지만 작물이 흡수하고 남은 양액이 양액탱크와 재배조사이를 왕복순환되는 방식과 양액탱크에서 재배조로 공급된 후 배출폐기되는 비순환방식(홀리버립식)으로 나누어 진다.

비순환방식의 고품배지경 양액재배에서는 10~30%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 뿌리와외 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 고품배지경 양액재배에서의 폐양액을 가열살균하여 재이용하기 위한 전기가열식 양액살균장치를 개발하여 그 실용성을 검토하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 장치의 구성

양액살균장치는 전기히터를 가열원으로 하는 가열부, 예열 및 온도강하 기능을 하는 열교환부, 전기히터와 순환펌프를 ON-OFF 제어하는 제어부로 구성되어 있으며(그림1), 콘트롤러에 가열온도를 입력하면 전기히터의 작동에 의해 설정온도에 도달하고, 전기히터의 전원이 꺼지면서 가열처리된 양액이 순환펌프에 의해 열교환부로 보내도록 되어 있다.

살균장치의 제어부는 장치를 작동시키기 위한 ON-OFF 스위치, 가열온도를 설정하는 디지털 온도조절계, 순환펌프를 수동 및 자동 또는 정지로 전환해주는 로타리셀렉터스위치와 220V를 지시하는 전압계로 구성되어 있다. 전원이 공급되면 ON 스위치를 눌러 수동으로 순환펌프를 가동시켜 통수여부를 확인한 후, 자동으로 전환시켜 이상이 없으면 히터가 작동되어 양액을 가열하기 시작하며 히터와 순환펌프가 순차적으로 ON-OFF를 반복하게 되고 순환펌프가 작동되는 동안 고온처리된 양액이 배출된다.

---

\* 농업기계화연구소 시설기계과

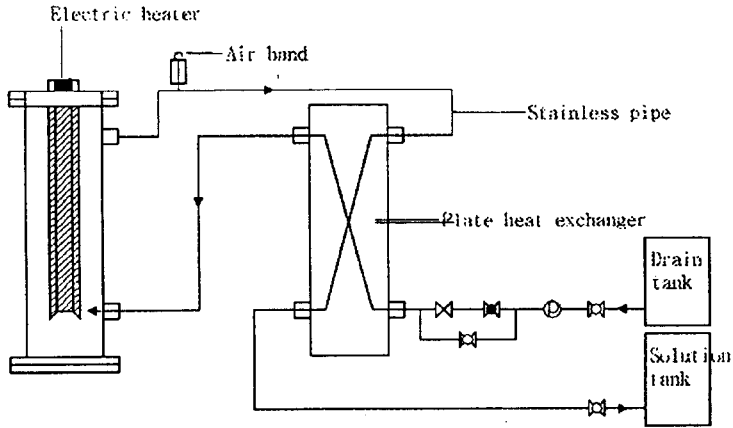


Fig. 1 Schematic diagram of the heat sterilizing device.

가열부는 2ℓ 용량의 원통파이프에 2.3kW의 3개의 전기히터를 고정시킨 구조를 하고 있으며, 설정온도에 따라 처음에는 3개의 히터가 동시에 작동하지만 설정온도에 도달하면 1개 또는 2개의 히터가 간헐적으로 작동하는 PID제어를 한다. 판형열교환기에서 들어온 양액은 전기히터로 가열된 후 설정온도에 도달하면 순환펌프에 의해 판형열교환기로 다시 보내지도록 구성되어 있다.

열교환부는 1장당 용량이 0.143ℓ인 20장의 금속제 전열판을 조립한 판형열교환기형으로 유입양액과 가열처리된 양액이 서로 한 장씩 교차되게 통과시켜 두 유체의 온도차에 의해 열교환이 이루어져 유입양액은 예열되고 처리양액은 냉각되도록 제작되었다.

#### 나. 시험방법

##### (1) 가열살균장치 성능시험

살균장치가 유입온도별로 설정온도에 도달하는 경과시간과 처리양액의 온도변화를 측정하고, 시간당처리량을 산출하기위하여 가열성능시험을 실시하였다. 이때에 가열부의 온도는 70℃로 설정하였고, 유입양액온도는 15, 25, 35℃ 3수준으로 하였으며, 가열부 온도변화에 대해서는 디지털온도조절기에 표시된 값과 경시시간을 연속측정하였다. 또한, 처리양액온도를 측정하기 위하여 가열부, 열교환부와 처리후 집수되는 탱크에 T형 열전대를 8점 설치하였으며, 가열살균장치를 1시간동안 연속으로 작동시켜 처리되어 나온 양액의 양을 측정하여 가열장치의 처리성능을 산출하였다.

##### (2) 병원균 살균시험

병원균 살균시험은 양액배배에서 많이 발생하는 근부위조병균, 역병균, 근부병균, 청고 병균을 대상병원균으로 하여 근부위조병균의 균체는 250ml 용량의 삼각플라스코에 PDB(감자한천배지)를 50ml 넣어 균을 접종한 후 25℃에서 2주동안 배양하였고, 역병균 및 근부병균은 10% 야채쥬스 배양액에 균을 접종한 후 같은 온도에서 1주동안 배양하였으며, 배양한 균체(균사, 포자)는 거즈로 걸른 후 homogenizer로 50ml 살균수에 분쇄시켜 양액탱크에 혼합시킨 다음 3반복으로 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 균 선택배양기로 배양한 후 희석농도를  $10^{-4}$ ~ $10^0$ 으로 하여 살균장치 통과전 균밀도와 가

열장치 통과후의 균밀도를 조사하였다. 또한 청고병균은 King's B 배양액에 접종하여 28℃에서 2일간 배양한 후 양액탱크에 혼합시켰으며 그 후의 처리는 다른 병원균과 동일하게 하였다.

(3) 양액성분변화 시험

가열후 양액성분변화의 추이를 조사하기 위해 시판중인 물푸레 A액과 B액을 사용하여 EC를 1.8(ms/cm)로 조절한 후 가열온도 70℃, 가열시간 3분의 조건에서 살균장치 통과전과 통과후의 양액조성농도를 원자흡광광도계(HITACH Z-8230)와 이온크로마토그래피(DIONEX DX-500)로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

가. 가열살균장치의 처리능력

가열부의 온도를 70℃로 설정하여 유입양액온도가 15, 25, 35℃일 때 가열살균장치의 처리용량은 각각 시간당 180, 220, 310 ℓ로 유입양액온도가 높을수록 처리량이 많았으나, 처리후 양액온도는 각각 27, 36, 45℃로 초기 유입양액온도보다 10~12℃정도 높아지는 것으로 나타났다(표1). 따라서 양액을 냉각시켜야 되는 문제가 발생하지만, 실제 재사용되는 양액은 새로운 양액조성시 조성량의 10%정도만을 혼합해서 사용하기 때문에 공급액은 상승에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 판단되며, 겨울철 양액을 가온해서 공급해야 하는 문제도 어느 정도 해결되리라 생각된다.

Table 1. Solution temperatures at inlet, outlet and sterilizing capacity of the heating device.

Inlet solution Temp. (°C)	Sterilizing capacity (ℓ/h)	Outlet solution Temp. (°C)
15	180	27
25	220	36
35	310	45

양액살균 처리시간이 경과함에 따라 가열부와 처리양액의 온도변화를 보면, 그림2에 나타난 바와 같이 유입온도별로 가열설정온도에 도달하는 시간은 유입양액온도가 낮을수록 처리경과시간도 길어지며, 전기히터에 전원이 간헐적으로 공급되는 주기도 빈번하였으나, 유입되는 양액온도가 높으면 전원공급주기와 처리경과시간이 짧아지는 경향이였다.

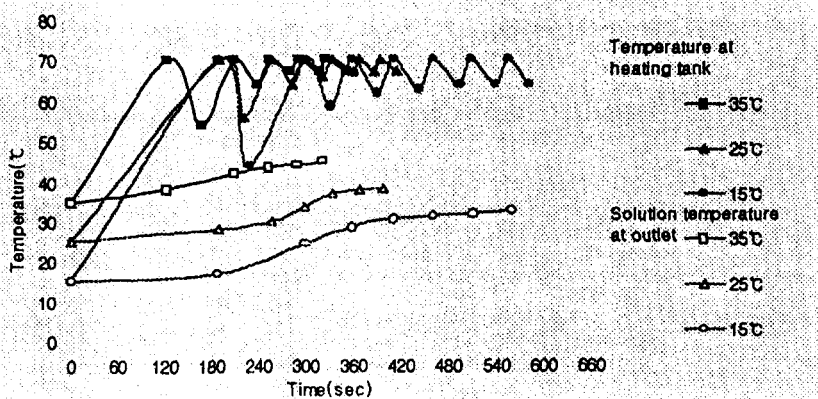


Fig. 2 Temperature changes at heating tank and at outlet solution on the various times.

처리후 양액의 온도변화는 시간이 경과함에 따라 높게 나타나는 경향을 보였으나 점차 그 상승폭이 적어지고 안정된 값을 보였다.

처리능력에 대해 田中(1992)가 제시한 장시간 가열하여 폴리에틸렌파이프내의 유입양액과 열교환을 시키는 배치식 방식과 비교해 볼 때, 판형열교환기를 열교환부로 채택한 본 살균장치가 처리능력이 9배정도 높아 연속살균이 가능한 잇점이 있다. 또한, 田中の 보고에 의하면 보통 300평 규모의 토마토 암면재배에서 1일 배출되는 양액은 여름철 약400 l, 겨울철 약200 l 정도라고 하기 때문에 가열온도를 70℃로 하여 가열식 살균장치로 이들 양액을 처리하면 겨울철은 90분, 여름철은 70분정도 소요되며, 용량을 크게 하면 1000평 이상의 시설에도 설치활용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 나. 병원균 살균효과

근부위조병균, 역병균, 근부병균, 청고병균에 대한 살균효과는 표2에 나타내었고, 배양기에서 배양시킨 역병균 및 청고병균 상태는 그림3에 나타내었다. 모든 병원균은 처리온도 70℃ 및 90℃에서 완전살균되었고, 그림4의 현미경사진에서 무처리의 역병균은 계속 균이 증식되는 것을 볼 수 있으며, 가열장치를 통과한 것은 완전히 살균된 것을 볼 수 있다.

田中에 실내실험에 의하면 근부위조병균은 후막포자를 형성하기 때문에 세균보다 고온에 강하여 살균처리온도를 70℃로 하여 10분간 가열하는 것이 필요하다고 보고하고 있으나, 공시한 전기가열식 양액살균장치를 사용할 경우 가열부에서 짧은 시간에 고온상태가 되기 때문에 살균시간이 단축되었다고 판단된다. 본 시험에서는 병원균의 확보와 균배양 및 균밀도 조사 등의 어려움 때문에 병원균의 최적살균온도를 찾지 못했으나, 금후 보다 세밀한 실험을 통해 최적살균온도를 구명한다면 에너지절감과 처리능력이 더욱 높아질 것으로 생각된다.

Table 2. Sterilization effects on the solution containing various pathogens passed the heating device.

Pathogen	Temperature (°C)	No. of cfu/ml	
		Before treatment	After treatment
<i>Fusarium oxysporum</i>	70	$4.5 \times 10^5$	0
	90	$4.5 \times 10^5$	0
<i>Phytophthora capsici</i>	70	$4.0 \times 10^4$	0
	90	$4.0 \times 10^4$	0
<i>Phythium sp.</i>	70	$1.3 \times 10^4$	0
	90	$1.3 \times 10^4$	0
<i>P. solanacearum</i>	70	$4.9 \times 10^7$	0
	90	$4.9 \times 10^7$	0

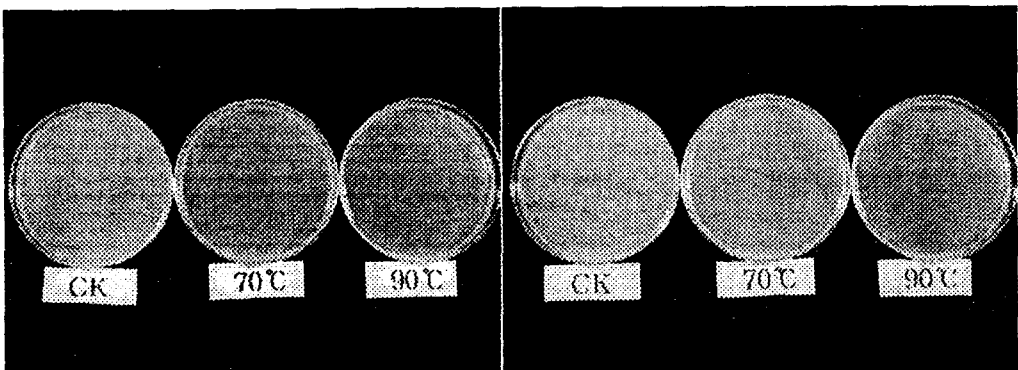


Fig. 3 Photographs of *Phytophthora capsici* and *P. solanacearum* taken after incubated.

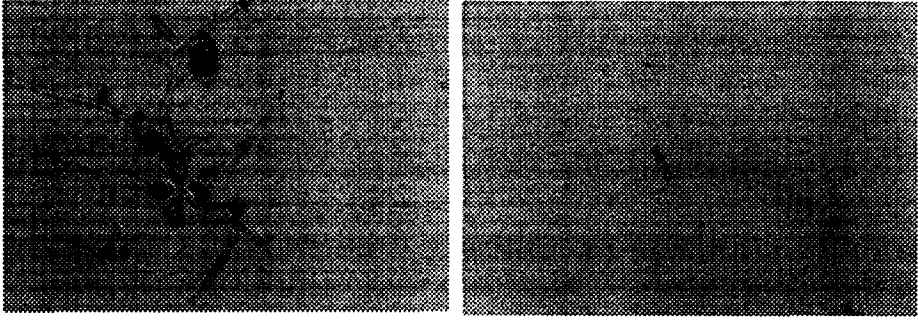


Fig. 4 Scanning electron microscope photographs of *Phytophthora capsici*.  
(Left : No treatment, Right : Treatment at 70°C)

#### 다. 양액성분 변화

가열처리에 의한 양액성분변화를 표3에 나타내었다. 가열에 의해  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  등은 2.4~10.7% 범위에서 약간 상승하는 경향을 보였으나, 다량요소 및 미량요소의 불용화는 거의 나타나지 않아 폐양액을 가열살균하여 재이용하는 데는 문제가 없을 것으로 판단되었다.

Table 3. Mineral compositions changes of solution after treatment and before treatment.

	EC (mS/cm)	$\text{NO}_3^-$ -N (ppm)	$\text{PO}_4^{3-}$ -P (ppm)	$\text{K}^+$ (ppm)	$\text{Ca}^{2+}$ (ppm)	$\text{Mg}^{2+}$ (ppm)	$\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	$\text{Fe}^{2+}$ (ppm)	$\text{Mn}^{2+}$ (ppm)	$\text{Zn}^{2+}$ (ppm)	$\text{Cu}^{2+}$ (ppm)
(Treatment)	18	660.7 (110.7%)	157.5 (100.2%)	82.3 (98.6%)	179.7 (105.3%)	49.3 (106.5%)	162.7 (102.4%)	2.28 (100%)	0.47 (106.8%)	0.07 (100%)	0.53 (100%)
(No treatment)	18	596.9 (100%)	157.2 (100%)	83.5 (100%)	170.7 (100%)	46.3 (100%)	158.9 (100%)	2.28 (100%)	0.44 (100%)	0.07 (100%)	0.53 (100%)

\* Heat treatment : at 70°C for 3min.

#### 4. 요약 및 결론

고형배지경 양액재배에서 배출되는 잉여양액을 양액성분을 변화시키지 않으면서 완전살균으로 재이용할 수 있는 전기가열식 양액살균장치를 개발하여 그 실용성을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 가. 개발한 전기가열식 양액살균장치는 전기를 열원으로 하는 가열부, 폐양액을 예열하거나 온도를 낮추어 주는 열교환부, 전기히터와 순환펌프를 ON-OFF로 제어하는 제어부로 구성하였고, 열교환기는 판형열교환기형으로 처리전 양액과 처리후 양액의 온도차에 의해 열교환이 이루어지도록 제작되었다.
- 나. 가열온도 70°C에서 처리용량은 유입양액온도 15, 25, 35°C일 때 각각 180, 220, 310 l로 유입양액온도가 높을수록 처리량이 많고, 처리후 양액온도는 초기 유입양액 온도보다 10~12°C정도 높아지는 것으로 나타났다.
- 다. 근부위조병균, 역병균, 근부병균, 청고병균을 대상으로 한 병원균 살균시험 결과 가열온도 70°C이상에서 완전살균이 가능하였고, 무처리에서는 계속 균이 증식되는 경향을 보

였다.

- 라. 가열후 양액성분변화는  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  등에서 2.4~10.7% 범위에서 약간 상승하는 경향을 보였으나, 다량요소 및 미량요소의 불용화는 거의 나타나지 않아 폐양액의 재이용이 가능한 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

1. 농촌진흥청. 1990. 양액재배기술. p99-108.
2. 田中和夫, 馬場勝, 島地英夫. 1992. ロックウールに栽培おける排出液の加熱殺菌による再利用. 生物環境調節30(1): 17-22.
3. (株)システム農業. 1991. 新時代の紫外線殺菌装置. アグリビジネス. Vol6(25): 95-98.
4. 三重縣農業技術センター, 郡馬縣農業試験場, 千葉縣農業試験場. 1994. ハイテク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.
5. 이충일. 1993. 시설원예 분야에 있어서 비용절감을 위한 재배기술 개발현황. 국내 시설원예산업 발전을 위한 심포지움. 서울대학교 농업개발연구소.
6. W. Th. Runia. 1995. A Review of Possibilities for Disinfection of Recirculation Water from Soilless Cultures.
7. 大谷敏郎. 1995. 養液やかんがい水のリサイクル化と膜技術の可能性. 研究ジャーナル 18(8).