

순환식시스템을 이용한 토마토 양액재배에서 배액의 재순환 방법

이한철* · 강경희 · 권기범 · 최영하 · 김희태
영시 부산원예시험장

Supplement Method of Drained Solution in Tomato Cultivation Using Recycling Systems

Han Cheol Rhee*, Kyung Hee Kang, Gi Bum Kwon, Young Hah Choi, and Hoe Tae Kim
Busan Horticultural Experimental Station, Busan 618-300, Korea

Abstract. This study was conducted to identify the effect of recycling method of drained solution on the concentration of drained solution, and growth and yield of tomato in the recycling system. The recycling methods of drained solution were composed of control, MEC (measurement of EC) and ANS (analysis of nutrient solution). The plant height in the early growth stage was not different among the treatments, but plant fresh weight and dry weight were higher in the MEC or the ANS than in the control. The growth including fruit number, fruit weight, and yield of tomato in the ANS as compared with the control was favorable. The EC of drained solution tended to decrease in the early growth stage, but that of drained solution increased in the late growth stage. It was low in the MEC and the ANS as compared with the control. The pH of drained solution was maintained by 6.2 to 6.5 throughout the growth period in the MEC and the ANS, but the pH of the control increased up to 7.2 at the late growth stage. The N and K concentrations of drained solution tended to decrease in the early growth stage, while those of P, Ca and Mg increased. In the late growth stage, concentrations of N, P, Ca and Mg tended to decrease, but that of K in the ANS was very low. Concentrations of N, P, K, Ca and Mg were lower in the MEC and the ANS than in the control.

Key words : EC, pH, growth stage, nutrient solution, recycling method

(*Corresponding author)

서 언

우리나라 양액재배 면적은 최근에 급격하게 증가하여 현재 약 650 ha(2001)에 이르고 있으며, 과채류의 양액재배방식은 대부분 비순환식이다(RDA, 1999). 비순환식은 배액을 토양으로 흘려버림으로써 하천이나 지하수를 오염시킬 뿐 아니라 양액의 유실로 경제적 손실이 크다(Smith, 1997; Bellert 등, 1998; Kim 등, 2001). 선진외국에서는 비순환식에 대한 규제가 이미 강화되고 있으며, 우리나라에서도 면적이 증가됨에 따라 규제가 곧 실시될 것으로 생각됨으로 순환식으로 전환하여야 할 것이다. Van Os(1994)는 토마토의 비순환식 재배에서 배액량을 20%로 하는 경우 연간 ha당 질소 147 kg, 인산 71 kg, 칼륨 282 kg, 마그네슘 60 kg의 비료가 손실된다고 하였다. 한편

Sonneveld(1993)는 비순환식에 비해 순환식이 물의 소비량을 64% 정도 줄일 수 있고, 질소와 칼륨을 44~50% 절감할 수 있다고 하였다. 그러나 현재 우리나라에서 일부 이용되고 있는 순환식 시스템은 양액을 EC 및 pH 교정으로만 관리되기 때문에 양분의 조성이 균일하지 못하다(Vincent and Kay, 1990). 특히 양액 pH의 교정을 위해 산과 알칼리성 염을 공급하기 때문에 양액은 EC만 높아지고 실제 필요한 성분이 부족한 경우가 많다(Cho 등, 1997). 순환식 시스템에서 양액 성분의 과부족을 선택적인 이온센서를 이용하여 관측하여 교정하는 방법(Hashimoto 등, 1989; Schwarz, 1995)이 가장 좋으나, 아직은 개발된 제품이 고가여서 보급하기에는 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 순환식 양액재배에서 배액을 받을 수 있는 보조탱크를 설치하여 배액의 EC를 측정

하여 교정하거나, 배액의 성분을 분석하여 교정한 후 재 순환하는 방법이 토마토의 생육 및 수량, 또는 배액의 EC, pH 및 무기성분농도에 미치는 영향을 구명코자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 2002년에 부산원예시험장의 유리온실에서 '하우스 모모타로'(Takii Seed Co., Japan) 품종을 공시하여 수행하였다. 양액육묘를 하여 제1화방의 꽃이 1~2개 피기 시작할 때 정식하였다. 800 cm × 70 cm × 15 cm(길이 너비 깊이)의 플라스틱 재배상의 바닥에 0.05 mm 두께의 PVC필름을 깔고, 펄라이트(No. 1, 삼손(주), 한국) 배지를 채웠다. 정식은 20 cm 간격으로 1주씩 심어 재식거리를 140 cm × 20 cm가 되게 하였다. 정식 후 20 cm 간격의 점적용 관수 호스(슈퍼타이푼 80, 푸른(주))를 2줄로 깔고, 흑백필름을 이용하여 표면이 백색이 되게 멀칭하였다. 양액은 토마토 재배용 아마자키 표준 양액이고, 1일 6회로 나누어 공급하였으며 배액이 양액탱크로 돌아오는 순환식으로 관리하였다. 처리는 새로운 양액 보충구(대조구), 배액의 양액농도(EC) 측정 교정후 보충구(MEC), 그리고 배액의 양액성분 분석교정 후 보충구(ANS)를 두었다(Fig. 1).

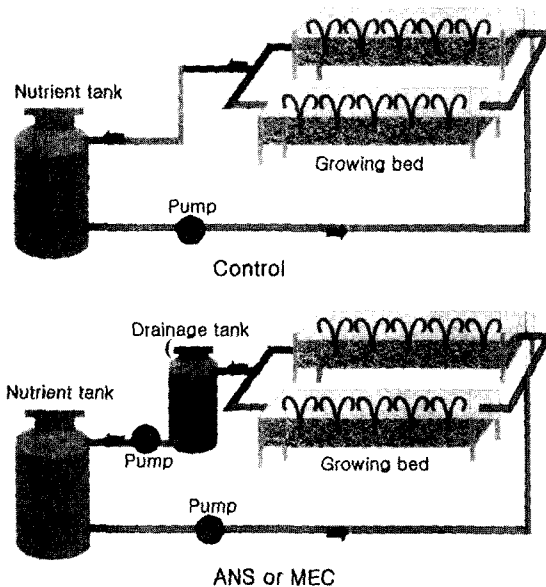


Fig. 1. Schematic diagram of recycling methods used in this experiment.

대조구는 관행으로 양액을 공급한 후 배액이 양액탱크로 직접 흘러 들어가게 하였으며, 2주일간격으로 새로운 양액(아마자키 표준액)을 보충하였다. 배액의 양액농도(EC)를 측정 교정 후 보충하는 구는 양액을 공급한 후 배액을 보조탱크에 받았으며, 2주일 간격으로 EC를 측정 후 아마자키액(stock solution)으로 조절하여 새로운 양액과 함께 보충하였다. 배액의 양액의 성분을 분석 교정 후 보충하는 구는 양액을 공급한 후 배액을 보조탱크에 받았으며, 배액의 성분을 실험실에서 분석하여 부족한 성분을 교정한 후 새로운 양액과 함께 보충하였다. 이때 배액의 성분을 분석하는 동안 배액이 배액탱크로 들어가 혼합되는 것을 막기 위해 별도의 집수구를 두었다. 처리기간은 정식 후 2주(3월 15일)부터 수확말기(7월 16일)까지였다. 토마토는 제 9화방이 완전히 개화한 후 9화방 상위 2엽을 남기고 적심하였으며, 측지는 발생할 때마다 제거하였다. 착과 유도를 위해 토마토톤(동양화학(주))을 15배(v/v)로 희석하여 화방마다 2~3개의 개화가 이루어졌을 때 분무기(A1-450, 푸른(주))를 이용하여 살포하였다. 주당 착과수 및 과실중은 기형과 등을 제외한 80 g 이상의 상품과를 기준으로 처리 당 10주씩 3반복으로 조사하였다. 다른 생육조사는 농촌진흥청 조사기준에 준하였다. 수확후 처리 당 10주 씩 3반복으로 식물체를 채취하여 지상부와 뿌리의 지하부를 나누어 각각의 생체중을 측정한다. 시료를 80 건조기에서 32시간 건조시킨 후 건물중을 측정하고 T/R 율을 환산하였다. 배양액의 배액은 보조탱크에 매일 받아 2주일 간격으로 시료를 채취하여 EC 및 pH를 측정하고 무기양분 분석에 사용하였다(Agricultural Research Institute, 1988). 질소는 Kjeldahl법(1030 analyzer, Kjeltec Auto)으로, 그리고 인산은 Vanadate법으로 비색계(UV/VIS spectrophotometer, Lambda 18, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 K, Ca 및 Mg는 tenery solution으로 분해한 후 원자 흡광 분광 광도계(atomic absorption spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다.

결과 및 고찰

정식 후 제 3화방이 개화하는 시기의 초기생육을 조사한 결과(Table 1), 대조구에 비해 배액의 양액농도

Table 1. Effect of supplement method of drained solution on the plant height, fresh and dry weights, and T/R ratio of tomato in hydroponics.

Treatment	Plant height (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Dry matter (%)	T/R ratio
		Top	Root	Top	Root		
Control	113 a ^y	211 b	26.0 b	21.8 b	2.93 b	11.3 a	7.5
MEC ^z	115 a	223 a	30.7 a	25.0 a	3.45 a	11.2 a	7.3
ANS	116 a	225 a	32.0 a	25.6 a	3.65 a	11.4 a	7.0

^zMEC, measurement of EC; and ANS, analysis of nutrient solution.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Effect of supplement method of drained solution on the mean fruit weight, number of fruits, and yield of tomato in hydroponics.

Treatment	Mean fruit weight (g)	Number of fruits	Fruit weight per plant (kg)	Yield (kg/10a)	Soluble solids (%)
Control	165 a	20.6 b	3.3 b	12,066 b	5.3 a
MEC ^z	162 a	21.7 a	3.4 b	12,528 ab	5.2 a
ANS	168 a	22.3 a	3.8 a	13,911 a	5.3 a

^zMEC, measurement of EC; and ANS, analysis of nutrient solution.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

(EC 측정 교정 후 보충구(이하 MEC구로 표기)와 배액의 양액성분 분석교정 후 보충구(이하 ANS구로 표기)에서 생육이 좋았다.

초장은 처리간에 차이가 없었으나 지상부와 뿌리의 생체중 및 건물중은 MEC구와 ANS구가 대조구보다 무거웠으며, MEC구와 ANS구 간에는 유의차가 없었다. Table 2는 수량구성 요소 및 수량을 나타낸 것으로 평균 과실중은 처리간에 유의차가 없었으나 주당 과실수는 처리간에 유의차가 있었으며 ANS구가 22.3개로 가장 많았다. 본 실험의 결과로 순환식 시스템의 관행(대조구)보다 ANS구의 방식에서 토마토의 생육이 촉진되고 수량이 증가됨을 알 수 있었으며, 이는 식물체의 균형적인 양분 흡수와 양액의 안정된 pH 유지에 의한 것으로 생각된다.

Choi 등(2001)은 오이의 순환식 양액재배에서 배양액의 다량원소와 미량원소를 3일 간격으로 조절할 경우 EC만 조절하는 경우보다 생육이 좋았으나, 다량원소만 조절할 경우는 생육이 억제되었다고 하였는데 본 실험에는 다량원소만 조절하여도 EC조절의 경우보다 생육이 좋아 다소 다른 결과를 보였다. Choi 등(2001)은 EC 조절만으로 양호한 생육을 나타낸 것은 상대적으로 미량원소의 충분한 공급이 이루어졌기 때문이라고 하였으므로 토마토에서도 미량원소를 고려한 추후 실험이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 한편 본

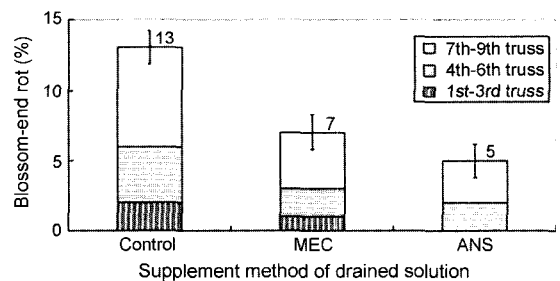


Fig. 2. Effect of supplement method of drained solution on the occurrence of blossom-end rot of tomato in hydroponics. MEC, measurement of EC; and ANS, analysis of nutrient solution.

실험에서 MEC구의 방식도 ANS구의 방식보다는 효과적이지 못하지만 대조구보다는 효과적임이 확인되었다. Roh 등(2002)은 오이의 순환식 양액재배에서 배액의 EC를 급액 EC 0.5 범위로 조절하는 것이 대조구보다 상품과수가 많다고 보고하여, 작물은 다르지만 본 실험의 MEC구와 동일한 결과를 얻었다. 따라서 배액의 EC 교정 후 보충만으로도 작물의 생육을 촉진할 수 있음이 확인되었다.

Fig. 2는 처리에 따른 화방 별 배꼽썩음과 발생율을 나타낸 것으로 모든 처리에서 저위화방에서는 적었으나, 상위화방으로 갈수록 증가하는 경향이 있었다. 대조구보다 MEC구와 ANS구가 배꼽썩음과율이 적었다. ANS구의 적은 배꼽썩음과율은 과실수의 증가에 영향

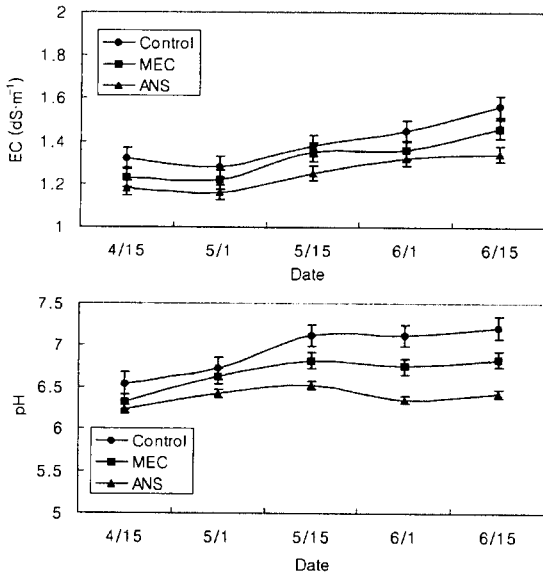


Fig. 3. Changes in EC and pH of drained solution as affected by supplement method of drained solution in tomato hydroponics. MEC, measurement of EC; and ANS, analysis of nutrient solution.

을 미쳤으며, 그 결과로 인하여 수량도 많은 것으로 생각된다. 특히 상위화방에 배꼽썩음과가 많은 것은 Ca 흡수 부족(Adams와 Ho, 1994)으로 추측되는데, 상위화방의 착과가 고온기에 이루어져 과실로의 Ca의 이동이 적었기 때문이다(Boon과 Van der, 1973).

정식 후 배양액 농도(EC)를 1.4 dS·m⁻¹로 공급하여 2주 간격으로 양액을 교정하고 보충하였는데, 각 처리별 배액의 농도(EC)는 지속적으로 증가하는 경향을 보였으나, 대조구가 증가의 폭이 가장 컸고 MEC구, ANS 구 순으로 컸다(Fig. 3).

대조구와 ANS구와의 농도(EC) 차이는 대조구의 다량 성분의 흡수억제, 그리고 ANS구의 균형적인 흡수에 의해서 일어났다. 특히 대조구의 배액 pH 증가는 Ca 및 Mg의 흡수억제에 원인이 있었다. 반면 ANS구는 배액 pH가 6.1~6.3로 비교적 안정된 변화를 보여 식물체의 양분흡수가 각 성분에서 균일하게 이루어졌음을 알 수 있었다.

각 처리별 배액의 무기이온 함량을 경시적으로 분석 확인한 결과(Fig. 4), 대부분의 무기성분이 생육초기에는 감소하다가 생육후기에는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다.

T-N의 함량은 5월 1일까지는 감소하다 그 후 증가

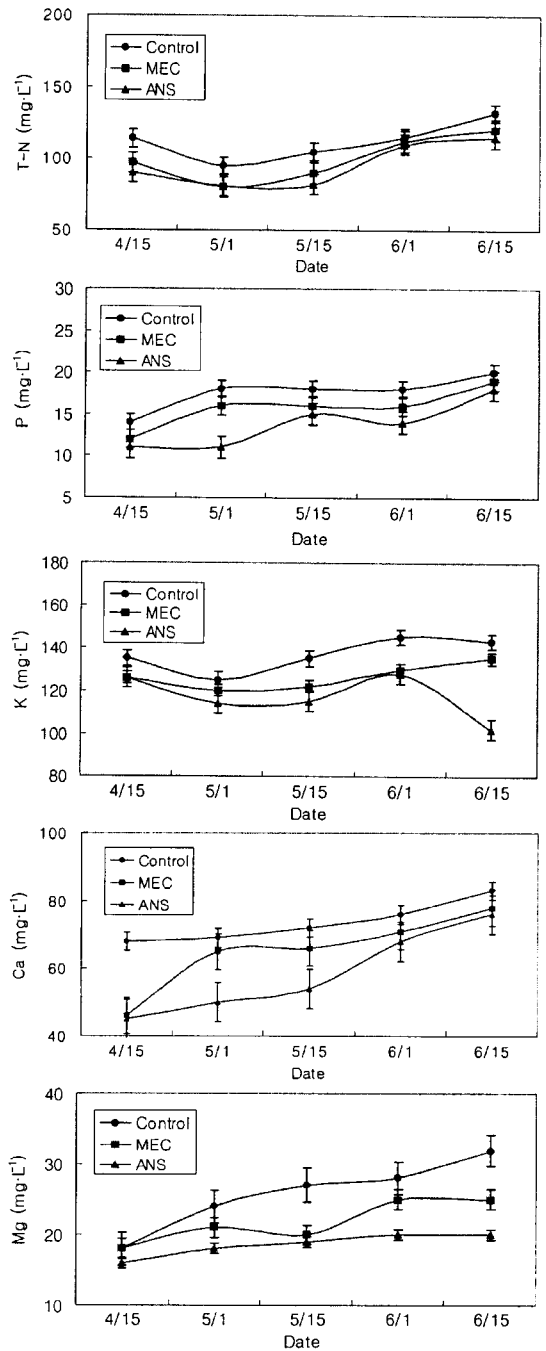


Fig. 4. Effect of supplement method of drained solution on the mineral concentration of drained solution in tomato hydroponics. MEC, measurement of EC; and ANS, analysis of nutrient solution.

하였으며, 처리간에 차이는 적었으나 대조구에 비해 MEC구와 ANS구가 적은 경향이였다. P의 함량은 대

조구 및 MEC구는 5월 1일까지 증가하다 그 후 변화가 없었고 ANS구는 지속적으로 증가하였으며, ANS구가 다른 처리구에 비해 적었다. K 함량은 5월 1일까지 모든 처리에서 감소하였으나 그 후 대조구 및 MEC구는 증가하였으나 ANS구는 6월 15일 수확후기에 급격히 감소하였다. 반면에 Ca 및 Mg 함량은 모든 처리구에서 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며, 그 정도가 대조구에서 다른 처리구보다 컸다. Smith (1997)도 토마토의 순환식 양액재배에서 생육중기 이후에는 배양액 내의 P와 K의 함량이 저하하고 Ca와 Mg의 함량이 증가한다고 하였는데, 본 실험의 결과에서도 유사한 경향을 보였다. 이는 식물체의 K 흡수가 높아 길항적으로 Ca 및 Mg 흡수가 억제되어 배양액 내 이들의 함량이 높은 것으로 추정되며, Morimoto와 Nishina(1992)도 토마토에서 배양액 내 Ca 함량이 높은 것은 식물체내 K 흡수가 많았기 때문으로 보고한 바 있다.

순환식 시스템에서 일반적으로 배양액을 관리하는 방법(대조구)으로 배액을 교정하지 않고 양액탱크로 보내 양액탱크 내 양액의 EC와 pH를 교정하는 것은 배액의 EC, pH 및 무기성분 함량이 높아지는 것으로 미루어 보아 배양액의 조성변화가 발생하여 양분흡수가 억제되며, 그 결과로 인하여 생육이 억제되고 수량이 적었을 것으로 추측된다. 그러나 양액공급 후 배액을 보조탱크에 받았으며 배액의 성분을 분석하여 부족한 성분을 교정(ANS구)한 후 새로운 양액과 함께 보충하면 무기이온의 균형적인 흡수에 의하여 양호한 생육, 수량 및 품질을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나 ANS구는 실험실에서 분석하여야 함으로 토마토재배 농가에서 응용하기에는 다소 무리가 있다. 그러나 앞으로는 순환식 시스템에서 토마토를 재배할 경우 ANS구의 방식으로 가야 할 것으로 생각된다. 한편 배액의 EC만 교정하는 MEC구의 방식은 ANS구의 방식보다 토마토의 생육에 효과적이지는 못하지만 대조구보다는 효과적이었다. 따라서 MEC구의 방식은 배액의 EC만 측정 교정하여 보충하기 때문에 토마토재배 농가에서 쉽게 적용할 수 있을 것 같다. 그러나 본 실험의 결과는 적은 면적과 작은 규모에서 얻었으므로 큰 규모에서의 결과와 다소의 차이가 발생할 수 있으므로 이에 대한 보충실험이 필요할 것으로 생각된다.

적 요

본 실험은 토마토의 순환식 시스템 양액재배에서 배액의 재순환 시 안정된 pH와 균형적인 양분 공급 방법을 구명하고자 수행되었다. 배액의 pH나 무기성분을 교정하지 않는 구(대조구), EC 측정 및 양분 분석 교정구를 처리내용으로 두었다. 초기생육인 초장은 처리간에 차이가 없었으나 생체중 및 건물중은 양분분석구가 대조구에 비해 무거웠다. 후기생육에서는 양분분석구가 대조구에 비해 과중이 무겁고, 착과수가 많고 수량이 증가하였다. 배액 EC는 대조구에 비해 EC 측정구와 양분분석구가 전반적으로 낮았다. 배액의 pH는 전 생육기간에서 양분 분석구 및 EC 측정구는 6.2~6.5를 유지하였으나 대조구는 지속적으로 높아져 후기에는 7.2정도 되었다. 배액의 무기성분에서 N, P 및 K의 함량은 모든 처리구에서 생육이 경과함에 따라 적어졌으며, 대조구에 비해 양분분석구가 적었다. Ca 및 Mg의 함량은 모든 처리구에서 생육초기에는 급격히 감소하였으며 생육후기에는 양분 분석구와 EC 측정구는 적은 상태로 유지되었으나 대조구는 급격히 증가하는 경향이 있었다. 이상의 결과에서 순환식 시스템을 이용한 토마토의 양액재배 시 배액의 양분을 분석한 후 교정하는 것이 생육에 효과적이었다.

주제어 : EC, pH, 생육단계, 순환방법

인 용 문 헌

1. Adams, P. and L.C. Ho. 1994. Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. *Acta Hort.* 401:357363.
2. Bellert, C., J. Le Bot, M. Dorais, J. Lopez, and A. Gosselin. 1998. Nitrogen accumulation and growth of fruiting tomato plants in hydroponics. *Acta Hort.* 458:293-301.
3. Boon, J. and D. Van der. 1973. Influence of K/Ca ratio and drought on physiological disorder in tomato. *Neth. J. Agr. Sci.* 21:56-67.
4. Cho. Y.R., E.J. Hahn, and Y.B. Lee. 1997. Effects of nutrient control on the growth of lettuce in nutrient film technique. *Proceedings of the 7th ISHS Symposium in Vegetable Quality.* p. 245-248.
5. Choi, E.Y., H.J. Lee, and Y.B. Lee. 2001. Mineral elements control of the nutrient solution in perlite culture

- of cucumber (in Korean). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:497-500.
6. Hashimoto, Y., T. Morimoto, T. Fukuyama, H. Watake, S. Yamaguchi, and H. Kikuchi. 1989. Identification and control of hydroponic system. *Acta Hortic.* 245:490-497.
 7. Kim, H.J., J.H. Kim, Y.H. Woo, Y.I. Nam. 2001. Nutrient and water uptake of cucumber plant by growth stage in closed perlite culture (in Korean). *J. Bio-Environ. Control* 10:125-131.
 8. Morimoto, T. and T. Nishina. 1992. Sensor for ion control-An approach to control of nutrient solution in hydroponics. *Acta Hortic.* 304:301-305.
 9. RDA. 1999. Statistical data of soilless culture area in Korea.
 10. Roh, M.Y., H.J. Kim, Y.I. Nam, Y.B. Lee, and J.H. Bae. 2002. Growth and yield responses of cucumber plants to the control of irrigated solution EC based on drained solution EC. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:261-266.
 11. Schwarz, M. 1995. Soilless culture management. p. 117-121. Springer Verlag.
 12. Smith D.L. 1997. Rockwool in horticulture. Grower Books, London. p. 25-27.
 13. Sonneveld, C. 1993. Hydroponic growing in closed system to safeguard the environment. Australia conference hydroponics and the environment. Monash University, Melbourne, Australia. p. 21-36.
 14. Van Os, E.A. 1994. Closed growing systems for more efficient and environmental friendly production. *Acta Hortic.* 396:25-32.
 15. Vincent, P.G. and L.E. Kay. 1990. Nonrecirculation hydroponic system suitable for uptake studies at very low nutrient concentration. *Plant Physiol.* 95:1125-1130.