

고형배지경을 이용한 과채류 재배

이 용 범

서울시립대학교 환경원예과

1. 고형배지특성

(1) 물리화학적

토양재배에서는 토양이 갖고 있는 다양한 완충작용, 즉 보수, 통기성, 비료성분의 보유능력이 대단히 높기 때문에 연작장애가 없는 한 작물생산에서 안정적 생산이 가능하다. 반면에 양액재배에서는 이러한 완충능을 기대하기가 어렵다. 특히 배지에 따른 물리화학성의 차이가 있고 이들 배지의 활용을 근본적으로 근권환경의 제어라는 측면에서 기존의 토양재배보다 높은 생산성과 고품질을 요구하고 있는 실정이기 때문에 배지에 따른 적정 근권환경제어가 필요하다.

그동안 본 실험실에서 실험한 양액재배용 배지에 대한 물리화학적 특성은 표1과 같다.

고형배지경용 배지로서 환경오염을 유발시키지 않을 재료로 perlite, peatmoss, bark, 목탄, 혼탄, 모래, polyphenol resin foam(PRF)와 입상면 (rockwool granule)에 대한 물리화학성을 조사하였다.

배지재료별 화학성을 보면 배지의 pH가 강산성을 보인 것은 peatmoss, bark 등 이었으며, 입상면과 목탄은 강알칼리성을 나타내어 pH 8.5, 8.8을 각각 나타냈다. 폴리페놀 발포수지는 pH 6.0을 나타냈고 perlite, vermiculite, 모래 등은 pH 6.8-6.9를 나타내 pH면에서는 안정된 배지로 보였으며, 압면재배에 이용되는 압면(slab)와 혼탄 (2일동안 흐르는 물에 씻어냄)은 pH 7.4-7.5로서 약알칼리성을 나타냈다.

배지별 물리성을 보면 표 2과 같이 perlite, peatmoss, 혼탄, 입상면, 압면, PRF 등은 90%이상의 공극률을 보였으며, 모래와 토양은 가비중이 1.4 g/cm³이상을 나타냈다. 또한 질석과 bark가 0.3 g/cm³수준이었고 perlite, peatmoss, 목탄, 혼탄, 입상면, 압면, PRF는 0.3 g/cm³이하로서 대부분의 배지가 가벼운 것으로 나타났다.

Table 1. Chemical properties of growing media used bag culture. (이용범 등,1992).

Substrate	pH	CEC	O. M	Ava. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
	(1:5)	(me/100g)	(%)	(ppm)	(me/100g)		
Perlite	6.9	0.5	0.1	16	0.40	5.88	1.31
Vermiculite	6.8	44.4	0.0	84	0.36	6.76	1.68
Peatmoss	3.9	102.5	53.4	18	0.19	1.52	1.41
Bark	4.4	41.0	48.5	64	0.41	2.81	0.25
Charcoal	8.8	-	39.7	70	1.15	5.15	0.61
SRH ²	7.4	-	38.0	75	1.76	5.44	0.70
Sand	6.8	1.0	0.1	12	0.65	0.85	0.19
Rockwool(slab)	7.5	0.0	0.0	0	1 %	23 %	7 %
Rockwool(granular)	8.5	0.0	0.0	0	1 %	26 %	5 %
PRF ³	6.0	0.0	0.0	0	0.003%	0.027%	0.001%

²SRH = smoked rice hull

³PRF = polyphenolic resin foam

유효수분함량을 보면 peatmoss, 입상면, 압면등에서 50%이상을 나타냈고, 질석과 bark는 24~26 %수준인 반면, perlite는 낮은 수준인 17.6%를 나타냈다. PRF는 가장 낮은 수준을 보였다(표 2).

활착과 그에 따른 근근의 발달을 위하여 21℃ 이상으로 관리하고 생육중기 이후에는 다소 낮추어 18-21℃ 정도로 관리하는 것이 최적 근권온도라 생각된다. 총수량은 근권온도가 18℃ 일때 많았으나 상품수량은 18-21℃ 범위에서 높았다. 상품율에서는 21-25℃ 범위가 높았으나 저온(15℃)과 고온(35℃)에서 낮게 나타났다. 기형과율은 저온과 고온에서 높았으며 21-29℃ 에서 낮게 나타났다.

Table 5. Effect of root zone temperature on CO₂ assimilation rate at 60 days after sowing in substrate culture.

Root zone temp. (°C)	Diffusive conductance (cm/s)	Stomatal resistance (s/cm)	CO ₂ assimilation rate (μmol/m ² /s)	Measurement condition
15	2.796	0.144	11.80	◦ Light intensity 380 μmol/m ² /s ◦ Leaf temperature 28.5℃
18	2.886	0.147	11.80	
21	3.302	0.126	14.72	
25	2.356	0.163	10.58	
29	2.852	0.147	11.94	
35	2.384	0.170	7.87	

Table 6. Effect of root zone temperature on tomato growth at 50 days after sowing in substrate culture.

Root zone temp. (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Fresh wt.(g/pl.)		Dry wt.(g/pl.)	
			Top	Root	Top	Root
15	17.2 c ²	6.0 b	15.1 b	1.1 c	0.96 b	0.11 b
18	18.6 c	6.3 ab	17.4 b	1.1 c	1.12 b	0.11 b
21	25.0 b	7.1 a	34.6 a	2.2 a	2.20 a	0.23 a
25	26.1 b	6.5 ab	29.6 a	1.8 ab	1.84 a	0.18 a
29	27.5 ab	6.2 b	27.4 a	1.5 bc	1.97 a	0.18 a
35	29.1 a	6.5 ab	29.4 a	1.5 bc	1.99 a	0.19 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P = 0.05.

Table 7. Effect of root zone temperature on fruit yield of tomato in the soilless culture.

Root zone temp.(°C)	Total yield		Marketable yield			Malformed fruit ratio (%)
	Fruit No.	Fruit wt. (g/plant)	Fruit No.	Fruit wt. (g/plant)	Ratio (%)	
15	12.6	1491.1	5.4	879.8	58.3	17.4
18	12.1	1737.2	8.0	1284.5	73.9	12.4
21	10.8	1496.1	7.7	1249.5	83.6	5.1
25	10.1	1355.3	7.4	1116.3	82.5	9.9
29	10.5	1391.6	6.9	1066.3	75.9	2.8
35	8.4	1147.4	5.2	826.5	71.4	14.4

육묘기 근권온도가 초기수량에 미치는 영향을 분석한 결과, 총과수 및 총수량과 고도의 부의 상관을 보여 주었다. 이것은 육묘기 온도에 의해 총과수와 총수량이 결정적인 영향을 받을 수 있다는 것을 보여 주는 결과로 볼 수 있다(표 8). 즉, 육묘기의 근권온도가 지나치게 높으면 총과수와 총수량의 감소를 초래할 수 있다는 결과를 보여준 것이다.

시 제거하여야 하는 성분이다.

Mn 함량은 0.12-0.59 ppm으로 일부 농가가 네덜란드 원수기준인 0.55 ppm을 상회하고 있음을 보여주고 있어 양액조제시 Mn의 공급을 많이 하지 않도록 하여야 Mn 과잉장해를 피할 수 있다.

Table 4. 지역별 양액재배용 원수의 수질분석.

지역	pH	EC(mS/cm)	K	Ca	Mg	Na	B	Fe	Mn
1. 미사리	6.49	1.20	7.85	106.0	34.10	31.0	0.40	--	--
2. 용인 I	7.44	0.34	2.41	22.0	8.92	23.0	0.36	--	--
3. 용인 II	7.05	0.28	3.25	10.4	9.50	32.0	0.25	0.79	0.15
4. 고양	7.02	0.29	1.65	1.9	3.51	6.0	0.39	--	--
5. 울현	5.95	0.56	4.25	99.0	15.20	27.0	0.60	--	--
6. 팔당	6.45	0.07	0.41	1.6	0.96	5.0	0.45	--	--
7. 광주	6.98	0.19	0.65	13.0	2.42	9.0	0.51	--	--
8. 상주	7.13	0.38	1.26	7.0	6.40	11.0	0.38	--	--
9. 여수 I	7.50	0.61	4.12	29.1	22.50	32.0	0.32	0.34	0.12
10. 여수 II	7.56	0.37	1.51	13.5	4.50	28.0	0.30	0.18	0.59
11. 양주	6.70	0.40	7.85	15.0	9.20	14.6	0.41	0.58	0.13
12. 안성	7.20	0.16	0.86	3.6	5.50	14.5	0.20	0.87	0.42
13. 광명시	6.46	0.16	0.77	8.2	2.97				
14. 의왕시	5.98	0.29	8.61	21.3	5.75				
15. 성환	7.10	0.34	2.72	15.3	7.00				
16. 대관령	6.79	0.29	1.72	16.4	3.60				

(2) 근권온도

근권환경(root zone environment)은 뿌리의 생장과 활동을 지배하여 작물의 생육에 큰 영향을 미치기 때문에 지상부 환경과 함께 채소재배에 있어 가장 중요한 환경요인이 된다. 그러나 그동안 시설원에 재배기술은 주로 지상부 환경조절에만 치중하여 왔다. 반면 시설내 지하부 환경인 토양은 시설의 고정화에 따라 염류 집적, 토양전염성 병원균의 증가, 토양의 물리화학적 악화로 생산력이 점차 감소하는 연작장해 현상이 심각하게 나타나고 있다. 그 결과 실제재배에 있어서는 부적당한 근권환경에 의해 작물이 정상적인 생육을 보이지 않는 경우가 적지 않게 나타나고 있다.

순수수경재배에서는 근권온도가 높아지면 용존산소량이 감소하여 작물무기양분흡수 및 생육에 지대한 영향을 주는것과 마찬가지로 배지경에서는 배지내의 온도가 높아지면 뿌리의 호흡속도가 높아지면서 배지내 CO₂농도는 증가하고 산소농도가 감소하게 되면서 뿌리의 생리기능감퇴와 근부병의 원인이 된다. 이러한 생리기능의 저하는 광합성에도 영향을 미치게 된다. 한편 배지온도가 낮으면 뿌리의 활력저하로 무기양분과 수분흡수 장애가 나타나게 되어 결국 식물체 생육량의 감소로 나타나게 된다. 따라서 배지경에 의한 작물재배에서는 생육단계에 따라 적정수준의 근권온도 관리가 필수적이다.

고형배지경에서 토마토의 광합성속도, 확산속도, 기공저항에 대한 근권온도의 영향을 실험한 결과, 21℃에서 광합성속도가 가장 높았으며 다른 근권온도에서는 낮았는데, 특히 고온조건인 35℃에서는 21℃보다 1/2로 줄어들었다. 광합성속도에 직접적인 영향을 미치는 확산속도도 21℃에서 가장 높았으며, 25℃에서는 비교적 낮았다. 이와 반대로 기공저항은 21℃에서 가장 낮았으며 35℃에서 가장 높았다.

토마토의 지상부 및 지하부 생육에 대한 근권온도의 영향을 조사한 결과(표 5) 근권온도가 증가함에 따라 초장은 증가하여 31℃에서 가장 길었다. 경경은 21℃에서 가장 컸으며 그 이외의 근권온도에서는 유사하였다. 지상부 생체중은 21℃를 최고로 하여 근권온도가 저하함에 따라 감소하였는데, 21℃에 비해 15℃는 약 2.3배, 18℃는 약 2배 정도 감소하였다. 생육초기에는 뿌리의

러나 지하수의 경우는 Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, HCO₃, Cd, Pb 등이 많을 수 있고 해안에 가까운 곳에서는 Na나 Cl이 많이 함유되어 있는 경우가 많다. 따라서 무기이온 함량의 허용농도는 재배대상작물이나 양액재배방법(비배방식, 배양액 교환 빈도)에 따라 사용할 수 있는 폭에 차이가 있다.

양액재배에 이용되는 원수의 수질 분석 결과(표 4)에 의하면 원수의 pH가 5.95-7.56까지 분포하고 있으며, 평균 pH 6.86을 나타냈다. 이러한 원수의 pH는 일본 양액재배 수질기준(pH 5-8)에 모두 적합한 것으로 나타났으나 농가에 따라 원수의 pH 수준이 넓게 분포하고 있음을 보여주고 있다. 전기전도도(EC)는 0.16 mS/cm에서부터 1.20 mS/cm까지 역시 넓은 분포를 보여 주고 있다. 평균전기전도도는 0.37 mS/cm를 나타냈다. 일본양액재배 수질기준인 0.3 mS/cm 이하 농가는 44%이며, 네덜란드 수질기준인 0.5 mS/cm 이하 농가는 81%이었다.

즉, 일본수질기준보다 높은 농가가 56%로서 나타났고 네덜란드 수질기준보다는 높은 농가가 19%나 된다는 것을 보여 주었다. 이처럼 높은 EC 수준을 나타내는 농가에서는 배양액조성 및 관리에 좀더 깊은 배려가 필요하다. 특히 기존의 조성되어 나오는 배양액이나 비료를 사용하는 것은 작물재배에 커다란 위험성이 따른다는 것을 보여주고 있어 원수를 정확히 분석하여 설정농도에서 원수로 공급되는 성분량 만큼씩을 빼고 난 다음에 나머지 양을 공급해 주어야만 한다. EC에 대해서 일본 배양액 원수기준이 0.3mS/cm 이하인데 반하여 네덜란드에서는 0.5 mS/cm 이하로 차이를 보이고 있는데 이것은 일본이 원수에 Na와 Cl을 다량으로 함유하지 않은것을 전제로 하기 때문이다.

원수중 칼륨(K) 농도는 0.41-8.61 ppm으로 다른 양이온보다는 높지 않게 나타나고 있다. 칼슘(Ca)은 1.6-106 ppm까지 그 폭이 넓었고 평균 24 ppm으로 나타났다. 이러한 수준은 일본 배양액 원수 수질기준인 40 ppm 이상을 넘는 농가가 13%이고, 네덜란드 기준인 80 ppm을 넘는 농가도 13%로서 16농가중 2군데의 농가가 99 ppm과 106 ppm으로 대단히 높게 나타났다. Mg 함량은 0.96-34.1 ppm까지로서 평균 8.88 ppm이었다. 네덜란드 기준인 12 ppm 이상인 농가가 19%, 일본 기준인 20 ppm을 상회하는 농가가 13%이었다.

이처럼 원수중 Ca와 Mg 함량이 높을 경우 이것을 무시하고 배양액을 조성하여 양액재배를 하게 되면 일정기간이 경과된 후 배양액 조성이 당초 설정한 것과는 다르게 바뀐다. 특히 배양액 설정농도가 낮은 경우에 그 영향이 크다. 이에 대한 대책으로 배합비료(양액재배 전용비료)를 사용하지 않고 분석수치에 따라 단비로 공급하는 것이 최선책이라 하겠다. 경제성을 고려한다면 재배 농가는 양액재배 전용비료를 사용하기 전에 꼭 원수를 분석하는 것이 필요하다는 것을 보여주고 있다.

Na 함량은 5-32 ppm까지로 분포하고 있는데 네덜란드 원수 수질기준에는 NFT와 같은 순수 수경재배의 경우는 34.5 ppm을 그 상한선으로 하고 있으며, 이에 근접한 농가가 42%로서 나타났고, 고품배지경의 기준이 11.5 ppm인데 이 수준을 넘는 농가는 75%를 차지하고 있어 배지경에서 염류집적의 우려가 있다. 아직 동양권에서는 Na와 Cl에 대한 한계농도는 현재 명확하게 결정되어 있지 않으나 일반적으로 용수중에 30-40 ppm의 Na, 또는 같은 정도의 Cl이 함유되면 문제가 발생할 가능성이 있다고 생각된다. 한편 75 ppm 이상에서는 급액방법과 배액방법을 조절하여야 하고 100 ppm 이상이 되면 용수로써 장기간 이용이 곤란하다.

미량원소중 붕소함량은 0.2-0.6 ppm으로서 네덜란드 원수 수질기준인 2.7 ppm에는 모두 미달됨을 보여주었고, 반면에 철은 0.18-0.87 ppm으로 NFT와 같은 순수 수경재배 기준인 0.56-1.12 ppm과 같은 수준에 있는 농가가 상당수 포함되고 있어 철분제거의 필요성이 있다. 고품배지경 기준인 0.03 ppm 보다는 모두 높은 함량을 나타내 국내에서 배지경으로 양액재배를 하기 위해서는 철분을 제거하기 위해서 공기를 불어 넣는 폭기식이나 필터를 이용하여야 함을 보여주었다.

특히 철분은 다른 무기성분과 달리 원수에 함유된 철분이 전혀 식물에 이용되지 못하고 원수중 Fe가 Fe(HCO₃)₂로 되어 침전되므로 오히려 점적관수시 노즐을 막히게 하는 원인이 되므로 반드시

액내의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 K로 치환되어 배양액 내 K함량이 낮아진 결과를 보여주고 있다 (Wilson 1983). 그렇다고 배양액 내 Mg의 공급을 하지 않아도 된다는 것을 뜻하는 것은 아니며 정상적으로 Mg를 공급할 것으로 보였다.

Table 3. Change of chemical properties of nutrient solution in various media at 2 days after application of nutrient solution.

(이용범등, 1992)

Substrate	pH	(ppm)			
		P	K	Ca	Mg
Perlite	6.33	51.6	289.1	172.4	39
Vermiculite	6.45	35.8	81.7	347.3	58
Peatmoss	4.32	21.2	221.6	108.7	45
Bark	4.61	33.4	243.4	136.9	44
Charcoal	7.83	62.3	806.6	89.6	38
SRH [*]	7.31	61.8	712.5	94.4	38
Sand	6.32	48.9	295.8	178.2	44
Rockwool(slab)	7.12	33.7	297.1	187.1	48
Rockwool(granular)	7.45	31.4	295.9	191.3	47
PRF ^y	6.31	49.0	300.2	173.4	38
Perlite+Rockwool(G)	7.11	45.0	298.5	174.2	43.4
Nutrient Solution	6.26	50	300	170	40

^{*}SRH = smoked rice hull

^yPRF = polyphenolic resin foam

이상에서 공급한 배양액의 변화가 적고 화학적으로 안정된 배지는 perlite와 PRF이었으며 다음으로 암면이었다. perlite는 이러한 안정된 화학적 특성때문에 Wilson(1986)에 의해서 배지경용 배지로 활용되었다. 특히 perlite는 관주식뿐만 아니라 농업환경 오염 수준을 낮추기 위해서 순환식 양액재배로 한다 해도 큰 무리없이 활용할 수 있을 정도의 기상과 충분한 공급량을 보유하고 있으며, 어느 정도의 유효수분 함량과 소독이 되어 있다는 점, 무엇보다도 안정된 화학적 특성때문에 산업화를 시키는데 큰 무리가 없을 것으로 보인다. 반면에 보안을 한다면 유효수분 함량이 낮은 것을 입상면, peatmoss, 훈탄 등을 혼합하면 훌륭한 양액재배용 배지가 될 수 있을 것으로 나타났다.

2. 고품배지경에서 배지종류별 근권환경제어

(1) 원수수질

양액재배에서 수질상태는 대단히 중요하다. 용수로써 사용되는 물은 주로 지하수, 하천수, 수도물, 빗물 등이지만 병원균을 함유하지 않은 것을 원칙으로 하여 배양액을 조성하고 농도를 조절하는 것이 필요하다.

수질검사를 할 때는 무기이온 함량 뿐만 아니라 생물학적 산소요구량(BOD)과 화학적 산소요구량(COD)도 고려하도록 한다. 즉 수중 부유물이 많으면 미생물이 많아지고 BOD도 높아져 환원성 메탄이나 암모니아, H_2S , Fe, Mn이 많아지고 이들이 산화되면서 산소를 빼앗아감에 따라 COD가 높아지게 된다. 특히 우물물을 사용하는 경우에 BOD가 높은 경우에는 뿌리를 가해할 수 있는 병원균의 존재가능성이 높고 그 피해의 우려가 있다.

용수중 무기성분의 농도는 순수한 물이 이상적이지만 가능한 한 그 농도가 낮은 것이 좋다. 그

Table 2. Physical properties of growing media used bag culture. (이용범 등,1992)

Substrate	Solid (%)	Porosity (%)	Available water (%)	Bulk density (g/cm ³)
Perlite	7.0	93.0	17.6	0.15
Vermiculite	13.0	87.0	24.5	0.34
Peatmoss	7.1	92.9	50.7	0.07
Bark	22.3	77.7	25.6	0.30
Charcoal	12.4	87.6	-	0.26
SRH ²	5.0	95.0	27.6	0.19
Sand	56.2	43.8	21.0	1.49
Rockwool(slab)	3.0	97.0	54.2	0.17
Rockwool(granular)	8.9	91.1	60.6	0.26
PRF ^y	6.5	93.5	4.5	0.03
Soil	52.6	47.0	32.3	1.46

²SRH = smoked rice hull

^yPRF = polyphenolic resin foam

각 단용배지의 물리화학적 특성에서 볼 수 있듯이 압면과 PRF는 water capacity가 높고 충분한 공기량을 가지고 있으면서 화학적으로 안정되어 있고 고온에서 성형되는 관계로 소독의 필요성이 없으며, 병충해의 염려가 없다. 또한 무게가 가벼워 훌륭한 원예용 배지로 평가된다. 특히 PRF는 수년동안 물리화학적 특성이 안정되어 있으므로 압면보다 장기간 사용할 수 있어 압면의 문제점을 어느정도 보완할 수 있다고 Benoit 등(1990)은 보고하고 있다.

피트모스는 토양재배에서 토양 소독비의 증가로 인하여 토양 대신 사용되기 시작하여 많은 연구자들이 그 이용 가능성을 평가하였으나 물리성의 개량을 위하여 질석, 압면, perlite, polystyrene 등을 첨가하여 물리성이 개선된 배지의 개발 가능성에 대하여 많은 연구가 더불어 이루어지고 있다(Wilson 1983, Boertje 1983).

한편 peatmoss를 compact한 형태로 한 peat board가 스웨덴에서 생산되어 양액재배의 가능성이 검토되면서 peatmoss운송과 system설치상에 큰 변화를 주면서 재배 system의 간이화에 큰 진전을 이루고 있다(Barve 1986, Benoit 1990).

배양액을 각종 배지에 공급한 후 시간의 경과에 따라 배양액의 화학성을 측정한 결과는 표 3와 같다.

네덜란드 온실작물 시험장에서 설정한 원예용 배지의 산도는 적정수준을 pH 5.0~6.5로 하였고 pH 6.5 이상을 높다고 보고 있으며, pH 3.5~5.5를 낮은 것으로 설정하고 있는데 이를 기준으로 볼 때 배지별 pH는 peatmoss와 bark가 강산성을 나타냈으며 목탄이 알칼리성을 나타내 작물재배에서 초기생육에 영향을 미칠 수 있는 수준이므로 배지의 산도를 조절한 후 사용하는 것이 바람직할 것으로 보였다. 반면에 PRF, perlite, 질석 및 모래에서는 적정수준을 나타냈다. 압면, 입상면, 혼탄은 약알칼리성을 나타내 배양액의 산도조절로서 조절해야될 것으로 보였다.

배양액내 인산 농도가 50ppm인 상태에서 각 배지에 공급한 후 변화과정을 보면 peatmoss는 40%수준으로 줄었고, bark, 압면, 질석 등에서 60%이상의 수준을 나타냈다. 반면에 혼탄과 목탄에서는 인산함량이 20%정도 높아진 결과를 보였다.

칼슘 170 ppm을 공급하였을 때 목탄과 혼탄 배지에서 50%수준으로 낮게 나타났으며, peatmoss가 60%수준을, bark가 80%수준을 보인 반면에 질석에서는 약 2배의 농도를 나타냈다.

마그네슘은 질석에서 공급한 배양액보다 높은 수준을 나타냈으며, perlite, 목탄, 혼탄, PRF 등에서는 변화가 적었고, peatmoss, bark, 모래, 입상면과 압면에서 약간 높아진 결과를 나타냈다.

질석은 높은 온도에서 처리되면서 배지의 화학성이 중성을 나타내고 함유한 다량의 Mg이 배양

Table 8. Correlation coefficients between yield parameters and root zone temperature of seedling stage in tomato substrate culture.

TFN ²	TY	NMF	MY	MYR	MFR
-0.8354**	-0.7049**	-0.1479	-0.2012	0.2472	-0.2515

²TFN ; total fruit number, TY ; total yield, NMF ; number of marketable fruit, MY ; marketable yield, MYR ; marketable yield ratio, MFR ; malformed fruit ratio.

**Significant F test at $P = 0.05$ or 0.01 , respectively.

정식후 근권온도와 수량 관련요인과의 상관관계를 본 결과, 근권온도는 상품수량과 正의 상관관계를 보여 주었고 그 외의 요인들과는 유의성있는 상관관계를 보이지 않았다(표 9). 즉, 정식후 낮은 근권온도에서 상품수량의 감소가 초래될 수 있으므로 적정수준의 근권온도를 유지해야 됨을 보여주고 있다.

Table 9. Correlation coefficients between yield parameters and root zone temperature after transplanting in tomato substrate culture.

TFN ²	TY	NMF	MY	MYR	MFR
0.0031	0.1112	0.4236	0.4272	0.4918*	-0.2722

²TFN ; total fruit number, TY ; total yield, NMF ; number of marketable fruit, MY ; marketable yield, MYR ; marketable yield ratio, MFR ; malformed fruit ratio.

**Significant F test at $P = 0.05$ or 0.01 , respectively.

이상의 근권온도에 대한 연구와 문헌에 의하면 표10과 같이 근권온도관리체계를 정리할 수 있다.

Table 10. 과채류 배지경에서 생육단계별 근권온도 관리기준

생육단계	토 마 토	오 이
육묘기	25~27℃	26~28℃
정식초기	22~24℃	23~25℃
수확기	18~21℃	18~23℃

과채류중 오이와 토마토의 배지경에서 생육단계별 온도관리는 육묘기에 발아와 초기 생육촉진을 위해서 약간 높게 관리하고 정식후부터는 점차 낮게 관리하여 오이는 18~23℃, 토마토는 18~21℃ 수준으로 관리하도록 한다.

특히 고온기에는 토마토에서 20~24℃, 오이는 25~28℃정도까지는 낮게 유지할 수 있도록 배양액 냉각이 필요하다. 겨울에는 토마토가 최저 15~17℃이상으로 조절하여 20~25℃내외로 관리하는 것이 필요하고 오이는 최저 18℃이상으로 조절하여 20~23℃ 정도 관리하도록 한다.

(3) 배양액 pH

일반적으로 순수수경재배에서 배양액의 pH는 5.5-6.5 범위가 적당한데, 그것은 비료성분의 용해, 이온화에 있어서 이 범위가 적당하기 때문이다. pH가 7.0 이상으로 높아지면 Fe, Mn, P 등이 침전되어 식물이 흡수할 수 없게 되며, 반대로 너무 낮아지면 K, Ca, Mg 등의 결핍이 나타나기 쉬워진다. 그러나 각종 고형배지경에서 배지의 화학적 특성에 따른 공급 배양액의 적정 pH 수준

과 배양액농도에 대한 연구는 미흡한 편이다. 따라서 기본 배지의 화학성이 다른 펄라이트, 버미큘라이트 및 피트모스를 공시하여 시험한 결과는 다음과 같다.

배양액의 pH 수준에 따른 토마토의 광합성속도, 가스확산속도, 기공저항에 대해 살펴보면, 3 종류의 배지에서 대체로 pH 5.5-6.0 범위일 때 광합성속도와 가스확산속도가 높았고 기공저항이 낮았다. 배지종류별로 자세히 살펴보면, 펄라이트와 버미큘라이트는 pH 5.5와 pH 6.0에서 광합성속도와 가스확산속도가 높고 기공저항이 낮은 반면에 피트모스는 pH 6.0에서 광합성속도와 확산속도가 가장 높고 기공저항이 가장 낮게 나타났다.

광합성속도의 경우, 펄라이트와 버미큘라이트는 pH 5.5와 pH 6.0에서 서로 큰 차이를 보이지 않았지만 피트모스는 pH 6.0에서 가장 높았고 pH 5.0과 pH 5.5에서는 낮은 경향을 보였다. 이것은 피트모스 자체가 강산성의 배지이기 때문이라 생각한다. 펄라이트와 버미큘라이트에서는 pH 5.0과 pH 7.0에서 광합성속도가 현저히 낮아졌다. 이것은 두 배지 자체의 산도가 중성에 가까워지기 때문으로 보이며, 이에 따라 배양액의 산도가 일반 순수수경재배보다 낮은 pH에서 높은 생리적 활성을 나타낸 것으로 보인다. 특히 피트모스의 경우는 pH 7.0에서 pH 6.0에 비하여 광합성속도가 거의 절반 정도 감소하였다.

Table 11. Effect of pH levels of nutrient solution on CO₂ assimilation of tomato at 52 days after sowing at different substrates.

Substrate	pH	Diffusive conductance (cm/s)	Stomatal resistance (s/cm)	CO ₂ assimilation rate (μ mol/m ² /s)	Measurement condition
Perlite	5.0	0.8774	0.4049	11.72 b ²	◦ Light intensity 1080 ± 45 ₂ μ mol/m ² /s ◦ Leaf temp. 30.2°C
	5.5	1.4526	0.2981	17.06 a	
	6.0	1.7066	0.2347	18.86 a	
	7.0	1.1498	0.3463	10.26 b	
Vermiculite	5.0	0.9664	0.4123	14.74 b	30.2°C
	5.5	1.6658	0.2087	18.58 a	
	6.0	1.7816	0.3381	17.90 a	
	7.0	1.2954	0.3074	14.90 b	
Peatmoss	5.0	1.2656	0.3132	16.22 b	
	5.5	1.1843	0.4296	16.48 b	
	6.0	1.7194	0.2327	21.56 a	
	7.0	1.1400	0.3586	12.14 c	

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, *P* = 0.05.

생육에 대한 pH의 영향을 각각의 배지별로 살펴보면, 펄라이트는 지상부, 지하부 건물중, T/R율 및 건물율은 pH 5.5에서 가장 높았는데, 특히 지상부 생체중의 경우는 pH 5.5가 다른 3가지 pH 수준보다 월등히 높았다.

버미큘라이트에서 pH 수준간에 지하부 생체중, 지상부 건물중 및 T/R율은 유의차가 인정되었으나 다른 측정 요인에서는 차이가 인정되지 않았다. 그러나 전반적으로 버미큘라이트의 pH 수준에서 지하부 건물중을 제외하고는 지상부, 지하부 생체중, 지상부 건물중, T/R율 및 건물율 모두 pH 5.5에서 가장 높았다. 피트모스는 pH 수준에 따른 생육량은 지상부 생체중, 지하부 생체중, 지상부 건물중, T/R율 및 건물율 모두 pH 6.0에서 가장 높았다.

따라서 토마토의 생육을 높이기 위해서는, 중성에 가까운 pH를 가진 펄라이트와 버미큘라이트는 pH를 5.5로, 산성인 피트모스는 pH 6.0으로 펄라이트와 버미큘라이트보다 약간 높게 관리해야 된다는 결과를 보여 주었다.

Table 12. Effect of pH levels of nutrient solution on tomato growth at 52 days after sowing at different substrates.

Substrate	pH	Fresh wt.(g/pl.)		Dry wt.(g/pl.)		T/R ratio	Percentage of dry matter(%)
		Top	Root	Top	Root		
Perlite	5.0	73.9	30.6	11.73	1.83	6.39	15.7
	5.5	104.0	39.8	13.06	1.89	6.96	12.7
	6.0	63.1	24.5	11.72	1.68	6.94	18.7
	7.0	63.9	23.6	12.68	1.71	7.43	19.7
	LSD _{0.05}	20.9	3.4	NS	NS	0.63	1.3
Vermiculite	5.0	84.0	32.4	11.33	2.20	5.19	13.3
	5.5	98.3	37.7	13.70	2.09	6.60	13.7
	6.0	89.8	35.0	12.11	2.13	5.73	13.7
	7.0	84.6	30.7	11.03	2.18	5.08	13.3
	LSD _{0.05}	NS	2.9	2.59	NS	0.85	NS
Peatmoss	5.0	70.2	25.2	9.96	1.75	5.69	14.0
	5.5	67.0	22.5	9.52	1.59	6.01	14.3
	6.0	75.7	28.5	11.43	1.64	6.99	15.0
	7.0	70.7	24.8	9.85	1.64	5.95	14.0
	LSD _{0.05}	NS	NS	NS	NS	0.59	NS
Significance							
Substrate		**	**	**	**	**	**
pH		**	NS	NS	NS	*	**
Sub. × pH		**	NS	NS	NS	NS	**

NS,*,**Nonsignificant or significant F test at $P = 0.05$ or 0.01 .

池田(1985)가 고품배지의 화학적 특성을 비교분석한 결과에 의하면 배양액 pH를 pH 3에서 pH 8 까지 각 배지에 공급하여 24시간이 지난 후 추출한 액을 측정된 결과 피트모스는 어느 pH 영역에서나 변화 없이 pH 3.7-3.8 수준을 나타냈고, 혼탄과 암면은 각각 pH 7.2 와 6.9 수준을 보인다고 하였다. 그러나 펄라이트는 공급된 배양액에 따라 어느정도 변화되는 경향을 보였으며 질석은 pH 6.0-6.5 수준으로 공급된 배양액 pH 가 높아짐에 따라 높아지는 경향을 보인다고 하였다.

이용범(1988)은 오이 암면재배에서 배양액의 pH 관리 실험 결과 배양액 pH 5.0-5.5 수준으로 조절환경에서 높은 생육을 보인다고 하였으며, 본 연구에서도 토마토 배지경에서 배지별 적정 pH 관리수준이 peatmoss 에서는 pH 5.0, vermiculite 에서는 pH 5.5- 6.0, perlite 에서는 pH 5.5 에서 가장 높은 생육량을 보인다는 결과를 보여주었다.

Smith(1988)는 암면재배에서 slab내 최적 산도를 pH 5.5로 하여 적정범위는 pH 5.0-6.0 수준으로 관리하도록 권장하고 있다. 따라서 급액되는 배양액은 pH5.5수준 혹은 그 이하가 공급되는 것이 바람직하다고 하고있다.

이상의 결과와 여러문헌을 정리하면 표 13과 같다. 암면, 입상면, 혼탄, 목탄과 같이 알카리성 배지로서 공급된 배양액의 산도에 의해서 배지내 pH 변화가 적은 경우에는 급액시 적정 pH 범위를 pH 5.2-5.7로 하고 최적범위는 pH 5.5로 하도록 하는 것이 배지(slab) 내 pH 5.5-6.0 수준으로 유지될 수 있어 과채류의 생산성과 품질향상에 기여할 것으로 보인다.

Peatmoss 및 bark 와 같은 강산성으로 역시 급액되는 산도에 의해 변화가 적은 배지는 배지 자체를 석회 등으로 pH 6.0 수준으로 교정하던가 pH 6.0 수준의 배양액으로 포수시킨 다음 급액 하는 배양액의 산도 범위를 pH 5.8-6.5로 하고 최적 수준을 pH 6.0으로 하는 것이 타당할 것으로 보인다.

Table 13 .과채류 배지경에서 배지종류에 따른 배양액의 적정 pH 관리 기준(이용범,1994)

배 지 종 류	배 양 액	
	적정 pH 범위	최적 pH
알카리성 배지 Rockwool(입상면 포함) 혼탄 목탄	5.2 - 5.7	5.5
중성 및 약산성 배지 Perlite Vermiculite Hydroball Polyphenolic resin foam	5.5 - 6.0	5.8
강산성 배지 Peatmoss Bark	5.8 - 6.5	6.0

Perlite, vermiculite, hydroball, polyphenolic resin과 같은 중성 및 약산성 배지는 공급되는 배양액의 산도에 의해 영향을 받고 자체배지가 적정수준에 가까운 배지산도를 갖고 있는 관계로 배지경으로 이용시 배양액의 적정산도 범위는 pH 5.5-6.0이고 최적산도는 pH 5.8 로 조정하여 급액하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

(4) 배양액 농도

1) 토마토

배양액의 급액농도는 작물종류, 생육단계 및 기상조건에 따라 조절하여야 한다. Smith (1988)에 의하면 토마토의 암면재배의 경우 생육초기(정식 후 1달 이내)에는 배양액 농도를 5.0mS/cm, 수준으로 유지하고 점차 농도를 낮추어 정식 후 8주까지는 3.0 mS/cm 로 관리한다. 여름에는 그 농도를 2.0-2.5mS/cm 수준으로 조절한다.

일본에서는 토마토 암면재배에서 육묘기 block 내 양액농도 변화를 줄이고 EC 차를 1.2-1.8mS/cm로 하여 상한을 여름에 2.0mS/cm, 겨울에는 3.0mS/cm 한다. 정식 후 slab 내 배양액 농도는 0.8-3.6mS/cm 범위에서 관리한다. 여름에는 1.6mS/cm정도, 겨울에는 2.4mS/cm 전후로 관리하고 양액농도의 급격한 변화를 주지 않도록 하고 있다.

Benoit (1986)는 배양액 농도를 3-4mS/cm로 배양액을 관리하면 초기수량이 많고 2 mS/cm로 관리하면 총수량이 많았다고 하였다. 특히 EC 농도를 높여 관리하면 초기수량의 증가와 같은 생식생장 촉진 효과가 큰 것으로 보고하였다. 육묘기에는 3-4mS/cm 로 하고 정식이후에는 2.5-3.5mS/cm 로 할 것을 권장하고 있다.

국내에서 이충일(1994)는 토마토 생육초기에 2.5-4.0mS/cm, 생육최성기 2.0-2.5 mS/cm, 생육말기 2.0mS/cm로 추천하고 있으며, 봄, 가을과 같이 건조하고 단일 상태에서는 2.5mS/cm, 여름(고온,다습)에 1.8-2.0 mS/cm, 겨울(저온, 약광) 2.0-2.5 mS/cm 로 관리하는 것이 작물의 양수분 이용효율이 높다고 하고 있다

본 실험실 연구에서는 토마토 육묘를 육묘기에 배양액 농도 0.5, 1,2,3 및 5mS/cm 로 각각 처리하여 시험한 결과 광합성 속도는 3종류의 배지 모두 배양액 농도가 0.5mS/cm 에서 3.0mS/cm 로 높아짐에 따라 증가하였으나, 3.0mS/cm 이상의 배양액 농도에서는 광합성 속도가 감소하였다.

필라이트에서 육묘의 생장은 배양액 농도가 증가할 수록 높았으며, 버미큘라이트에서는 2-5 mS/cm일 때 높은 생육량은 보였다. 반면에 피트모스에서는 3mS/cm일 때 가장 좋았다. 총수량, 평균과중, 상품수량 및 평균과중은 3 종류의 배지 모두에서 배양액 농도가 3 - 5mS/cm 일 때 높

게 나타났다. 배양액 농도가 높아짐에 따라 당도는 높아졌지만 비타민 C함량은 감소 하였다.

정식 이후에는 배양액 농도를 1-3mS/cm 범위로 처리하여 시험한 결과, 배양액 농도가 1 mS/cm 에서 3mS/cm 으로 높아짐에 따라 토마토의 생육량은 증가하였다. 총수량과 상품수량은 배양액 농도가 2mS/cm 와 3mS/cm 일 때 높게 나타났으며 당도는 배양액 농도가 높아짐에 따라 증가하였다.

이상의 연구결과와 연구문헌에 의한 토마토 배지경에서 생육단계와 일사량에 따른 배양액 농도 관리 기준을 표 14와 같이 정리 하였다.

Table 14. 토마토 배지경에서 생육단계별 일사량에 따른 배양액농도 관리 기준

생육단계	기준양액농도 (mS/cm)	광량조건
육묘초기	2.0	* 12.56mJ/m ² 를 기준으로 하여 2.1mJ/m ² 증감에 따라 배양액 농도를 역으로 0.1mS/cm씩 변화될 준다.
육묘후기	3.5	
생육초기(정식후1개월)	2.2	ex) 생육중기때, 광량이 4.19mJ/m ² -> 2.4mS/cm
생육중기(정식후8주부터)	2.0	8.36mJ/m ² -> 2.2mS/cm
생육후기(수확기)	1.8	12.56mJ/m ² -> 2.0mS/cm
		16.74mJ/m ² -> 1.8mS/cm
		20.93mJ/m ² -> 1.6mS/cm

* 육묘용 Block은 육묘전에 표준배양액의 농도를 1.5-2.5mS/cm, pH 5.5로 하여 미리 포수 시킨후 사용한다.

* 정식용 slab는 표준배양액의 농도를 5.0mS/cm, pH 5.5로 하여 미리 포수 시킨후 사용한다.

2) 오이

Benoit(1986)은 오이양액재배에서 적정 배양액농도는 2.5mS/cm라고 하였다. 한편, Smith(1988)은 암면재배에서 배지내 양액농도를 일반적으로 slab를 포수시키는데 2.0mS/cm, 정식후 2.0-2.2mS/cm로 하고, 5월 중부터는 2.0mS/cm, 6월 말부터는 1.7mS/cm 수준으로 관리할 것을 권장하고 있다. Slab내 EC농도를 2.0mS/cm로 하기 위해서 배양액농도는 3.5-4.0mS/cm 수준으로 공급해야 된다고 하였다.

일본 시설원예협회에서는 암면재배에서 육묘중 육묘 black내 양액의 EC치를 2mS/cm을 기준으로 하여 상한을 여름에 3mS/cm, 겨울에 4.0mS/cm로 하고 있다. 정식후 베드내 적정 배양액농도는 1.5-3.0mS/cm로 하여, 여름에는 1.8mS/cm 전후, 겨울에는 2.4mS/cm 전후로 관리하고 있다.

이용범(1988)은 오이양액재배에서 배양액을 생육초기에 2.0-3.0mS/cm로 공급하여 생육을 조절하고 착과되면서 2.0mS/cm 내외로 급액하는 것이 생육이 양호하다고 하였다.

이충일(1994)은 오이양액재배에서 정식후 생육초기에 양액농도를 2.0-2.2mS/cm로 관리하고 정식후 3-4주까지 2.5mS/cm, 첫 수확부터 7주까지 2.0mS/cm, 7주이후 1.7mS/cm로 관리하는 것이 효과적이라고 하였다.

이상의 연구결과를 중심으로 생육단계별 기준 양액농도를 광량 12.56mJ/m²일때를 기준으로 육묘기 2.0mS/cm, 정식후 30일까지 2.4mS/cm, 수확초기 2.2mS/cm, 수확중기 2.0mS/cm, 수확후기 1.8mS/cm로 하여 광량이 2.1mJ/m²로 증감에 따라 배양액농도를 0.1mS/cm씩 변화를 주도록 하였다.

(2)배지경 베드

배지경에 사용하는 자루는 자외선에 분해가 덜 되도록 자외선 제거제가 첨가된 폴리에틸렌(PE) 필름을 사용하며 필름의 안쪽은 검은색, 외부는 흰색으로 하면 자루내 온도변화를 최소화할 수 있다. 보통 자루의 크기는 80년대 이전까지는 용량이 50-70ℓ의 대형이 사용되었으며 국내에서는 비료 포대를 사용하여 30-40ℓ로 하여도 되고 과채류의 경우 실용적인 배지용량은 주당 4-6ℓ 수준이 적정 수준으로 보고되고 있다.

사용되는 배지는 가격이 저렴하고 취급이 용이하며 작물의 생육이 우수하면서 다양한 목적에 적용할 수 있는 무공해 배지로서 천연유기물(피트모스, 훈탄, 왕겨, 바크)와 천연광물(질석, 펄라이트, 입상면, 모래)등을 이용하던가 이들 배지를 혼합하여 사용한다. 이외에도 원예용 인공배지는 어떠한 것이라도 사용가능하리라 본다. 배지용량은 과채류의 경우 주당 4-6ℓ 정도가 소요되며 만들어진 자루는 평평한 온실바닥에 배치하고 보통 작물재배할 때의 재식거리로 나열한다. 좀더 온실내를 깨끗하게 하고 일부 스며나오는 양액을 온실바닥에 스며들지 않도록 PE필름으로 멀칭하면 더욱 바람직하다.

여기에 흰색 PE필름을 사용하면 식물이 반사광을 이용할 수 있고 멀칭으로 온실내 습도를 낮출 수 있어 병의 이병을 극소화할 수 있다. 순환식에서는 배지 밑에 스티로폼으로 된 것이나 플라스틱 베드위에 배지를 배치하면 된다.

베드용 암면의 규격을 보면 두께는 대체로 7.5cm정도가 알맞은 것으로 밝혀져 있으며 폭은 15-30cm범위에서 작물에 따라 그 폭은 조정하여 사용하고 있다. 과채류 중 오이와 같은 경우는 두께 10cm, 폭 15cm, 길이 1m의 암면을 쓰면 된다.

지난 수년간 과채류를 대상으로 네덜란드에서는 m^2 당 얼마만한 암면판을 사용할 것인가에 대해 연구한 결과, m^2 당 이용하는 암면판을 7-10ℓ 까지 줄일 수 있는 것을 알아냈다. 그러나 그 이하로 암면판을 줄이면 수량이 감소한다고 한다.

한편 암면판은 3년 이상 이용할 수 없다는 결론을 얻었다. 과채류에서 배양액을 공급하는 방법을 일반적으로 점적관수 시스템을 이용하고 있다. 이 방법을 이용하면 극세튜브를 통해 공급되는 배양액의 유출속도가 균일하여 보수관리도 용이하므로 많이 사용하고 있다.

Table 19. 암면재배 시스템별 과채류 수량

표준형과 비교한 시스템	실험개수	수량지수(%)
표준형 (14 ℓ / m^2 암면판)	--	100
표준형 (10.5 ℓ / m^2 암면판)	11	100
표준형 (7 ℓ / m^2 암면판)	10	96
흡통형 (7-10 ℓ / m^2 암면판)	13	98
흡통형 (2.7-4.5 ℓ / m^2 암면판)	8	94

* 표준형 : 두께 7.5cm, 폭 30cm, 점적관수

흡통형 : 흡통에 양액을 흘려보내고 거기에 암면판을 넣어둠
흡의 재료는 NFT와 같이 흑색비닐을 이용

Table 17. 오이 배지경에서 급액설계

일사량 (mJ/m^2)	1일 급액량		1일 급액횟수		비	고
	l/10a	l/주	11월-1월	2월-10월		
4	1120	0.47	4.7	3.2	(1) 11월-1월 급액은 $0.85\text{mJ}/\text{m}^2$ 마다 급액 (100cc/노즐) (2) 2월-10월 급액은 $1.25\text{mJ}/\text{m}^2$ 마다 급액 (150cc/노즐) 16.0 (3) 급액 속도는 30cc/분	
8	2240	0.93	9.4	6.4		
12	3360	1.40	14.1	9.6		
16	4480	1.87	18.8	12.8		
20	5600	2.33				
24	6720	2.80		19.2		

* 재식주수기준 : 2400주/10a, $1\text{mJ}/\text{m}^2 = 23.9\text{cal}/\text{m}^2/\text{day}$

Table 18. 과채류의 월별 평균수분요구량 추정 및 월별급액설계

월	일사량 (mJ/m^2)	급액량($\text{l}/10\text{a}$)		급액량($\text{l}/\text{주}$)		급액 횟수		비	고
		오이	토마토	오이	토마토	오이	토마토		
1	6.71	1878.8	1442.7	0.78	0.60	7.9	7.9	(1) 11월-1월 급액은 $0.85\text{mJ}/\text{m}^2$ 기준으로 급액 (2) 2월-10월 급액은 $1.25\text{mJ}/\text{m}^2$ 기준으로 급액	
2	11.99	3357.2	2577.9	1.40	1.07	9.6	9.6		
3	14.13	3956.4	3038.0	1.65	1.27	11.3	11.3		
4	18.54	5191.2	3986.1	2.16	1.66	14.8	14.8		
5	19.43	5440.4	4177.5	2.27	1.74	15.5	15.5		
6	15.90	4452.0	3418.5	1.86	1.42	12.7	12.7		
7	13.37	3743.6	2874.6	1.56	1.20	10.7	10.7		
8	15.74	4407.2	3384.1	1.84	1.41	12.6	12.6		
9	13.28	3718.4	2855.2	1.55	1.19	10.6	10.6		
10	11.43	3200.4	2457.5	1.33	1.02	9.1	9.1		
11	8.61	2410.8	1851.2	1.00	0.77	10.1	10.1		
12	6.32	1769.6	1358.8	0.74	0.57	7.4	7.4		

* 재식주수 : 2400주/10a

(오이는 일사량 $1\text{mJ}/\text{m}^2$ 마다 10a당 280l 관수, 토마토는 일사량 $1\text{mJ}/\text{m}^2$ 마다 10a당 215l 관수)

3. 고품배지경 시스템

(1) 배양액 공급

배양액을 순환시키는 경우와 순환시키지 않는 경우의 2가지 방법으로 구분되는데 순환하지 않을 경우에는 배양액을 균일하게 공급할 수 있어야 되고 외부로 흘러나가는 양이 적어야 되므로 서서히 균일하게 양액을 공급될 수 있도록 하여야 한다. 유럽에서는 대부분 이방식을 채택하고 있으며 외부 일사량에 따라 배양액 공급을 마이크로 컴퓨터에 의해 조절함으로써 이러한 문제가 해결되어가고 있다. 특히 이러한 비순환식에서는 양액재배에서 치명적인 영향을 줄 수 있는 병해로부터 예방될 수 있다는 점에서 바람직한 양액재배라 할 수 있으나 배액되는 배양액에 의한 수질 오염 가능성이 있다.

순환식재배에서는 양액이 다소 불균일하거나 빨리 공급이 되어도 집수탱크에 모여서 다시 순환되므로 비순환식에서와 같이 공급방법에 어려움은 없어도 병이 발생하면 만연될 염려가 있으므로 이에 대해서도 역시 주의해야 한다. 그러나 최근 환경보호 측면에서 일부 순환식 양액재배 면적도 증가되고 있다. 이러한 배지경에서는 배지 자체가 순환식 양액재배에 적합한 배지야 된다. 여기에 적합한 배지로는 perlite와 입상면 같은 무기질배지와 혼탄과 같은 유기질 배지가 가능성이 있으나 혼탄은 사용되는 동안 물리성이 나빠지는 관계로 장기간 사용에는 무리가 따른다.

Table 15. 오이 배지경에서 생육단계별 일사량에 따른 배양액농도 관리 기준

생육단계	기준양액농도(mS/cm)	광량조건
육묘기	2.0	* 12.56mJ/m ² 를 기준으로 하여 2.1mJ/m ² 증감에 따라 배양액 농도를 역으로 0.1mS/cm씩 변화를 준다.
정식-정식후 30일	2.4	ex) 생육중기때 광량이 4.19mJ/m ² -> 2.4mS/cm
수확초기(수확4주까지)	2.2	8.36mJ/m ² -> 2.2mS/cm
수확중기(수확5-8주)	2.0	12.56mJ/m ² -> 2.0mS/cm
수확후기(8주이후)	1.8	16.74mJ/m ² -> 1.8mS/cm 20.93mJ/m ² -> 1.6mS/cm

* 정식용 암면 배지(slab)와 육묘용 Block은 파종과 정식전에 EC 2.0-2.5mS/cm, pH 5.5의 표준배양액에 3-4일간 포수 시킨후 사용한다.

(5) 급액량 및 급액횟수

토마토 재배시 급액량은 일사조건에 따라 조절하도록 하였는데 11월-1월의 저온기에는 0.85 mJ/m² 마다 급액하는 데 급액량은 75cc/노즐로 하였다. 2월-10월에는 일사량이 1.25mJ/m² 마다 급액량을 115cc/노즐 로 하였다. 급액속도는 15cc/분으로 조성하도록 하였다(표 16).

Table 16. 토마토 배지경에서 급액설계

일 사 량 (mJ/m ²)	1일 급액량		1일 급액횟수		비 고
	l/10a	l/주	11월-1월	2월-10월	
4	860	0.36	4.7	3.2	(1) 11월-1월 급액은 0.85mJ/m ² 마다 급액 (75cc/노즐)
8	1720	0.72	9.4	6.4	
12	2580	1.08	14.1	9.6	(2) 2월-10월 급액은 1.25mJ/m ² 마다 급액 (115cc/노즐)
16	3440	1.43	18.8	12.8	
20	4300	1.79		16.0	(3) 급액 속도 15cc/분
24	5160	2.15		19.2	

토마토 재배시 월 별 평균수분요구량과 월별 급액설계를 표16 에 나타냈다. 우리나라 일사량의 월별 분포를 보면 11월에서 1월 까지가 10 mJ/m² 이하를 나타냈으며 12월이 가장 낮아 6.32 mJ/m² 을 보였다. 2월 부터 10월 까지는 10 mJ/m² 이상을 보였으며 우기인 여름에는 봄보다도 낮은 일사량을 나타냈다.

이러한 수치를 기준으로 하여 관수량을 계산한 결과 10a당 1358.8l에서 부터 4177.5l 의 물량이 필요한 것으로 나타났다. 주당 급액량은 0.57l/주 에서 최고 1.74l/주 가 필요한 것으로 나타났다. 급액회수는 1일 7.4회에서 15.5회까지로 계절별 광량에 따라 차이가 크게 나타났다.

오이배지경에서 급액설계는 1일 급액량을 4mJ/m²당 1120 l/10a씩 하도록 하고, 급액회수는 11월-1월사이에서 0.85mJ/m²마다 100cc/노즐 씩 하도록 하고 2월-10월 사이의 급액은 1.25mJ/m²마다 급액을 155cc/노즐 로 하여 급액회수를 조절하였다. 월별 급액량과 급액회수는 표17와 같다.

Table 20. Effect of rooting volume on cumulative monthly yield of glasshouse tomatoes in perlite (unit :kg/m²)

Month	Rooting Volume (litres of perlite/plant)		
	6.7	8.3	10.0
June	2.7	2.5	2.5
July	10.3	10.0	10.0
August	14.7	14.5	14.7
September	18.9	18.7	18.8
October	20.1	20.0	20.5
November	21.0	20.9	21.5

4. 사용한 배지와 배양액 처리

(1) 암면재배의 처리

養液栽培에서는 현재 固形培地로서 암면, 피트모스, 폴리에스테르, 폴리우레탄 등이 사용되고 있지만 여기에서는 현재 가장 많이 사용하고 있는 岩綿培地의 처리에 관해서 알아보도록 한다.

岩綿은 석면과 달리 동물 실험 결과 무독성이 인정되었고 인체에 대해서도 건강장해를 일으키는 사례는 없다고 보고된 養液栽培用 배지로서 물리화학적 성질이 가장 뛰어난 자재의 하나이다. 그러나 사용후 배지 처리문제가 되는 것은 다량의 不燃性 암면이 배출되어 쌓이고 처리상의 문제로 주변환경을 오염시켰다고 하여 유럽의 養液栽培농민들에게 많은 처리비용을 부담시키는 결과를 초래하게 되었던 것이다.

1) 암면 처리량의 추정

암면재배에서 베드와 포트에 사용되는 양이 증가되면서 그 처리가 문제가 되고 있다. 암면은 내열성이 있는 무기질이어서 소각처리도 불가능하고 사용하는 농민들이 산재해 있기 때문에 많은 문제점을 안고 있다. 실제 암면재배에서 어느 정도의 암면이 배출되는가를 보면 다음과 같다.

과채류의 경우 10 l의 암면 매트 (7.5 cm H, 15 Cm W, 9 cm L)가 1 ha당 10,000개 정도 소요되므로 작물재배후 1 ha당 100 m³(10 l × 10,000)의 암면 매트가 쌓이게 되는 것이다. 또한 암면 포트는 1 ha당 25,000포트(10 cm × 10 cm × 5cm)가 필요하다. 이것이 폐기된다면 연간 12.5 m²(25,000 × 0.5 l)가 된다. 암면 베드는 2년정도 사용한다면 매트가 50 m³, 포트가 12.5 m³가 되어 전체 62.5 m³ 정도가 年間 폐기되는 물량이다. 암면 밀도가 80 kg/m³이므로 5,000 kg(62.5 m³ × 80 kg/m³)정도의 무게가 배출된다고 할 수 있다.

2) 처리방법

암면 자체는 독성이 없으므로 토양에 다량으로 사용해도 문제는 없다. 다행히도 암면은 규산과 석회암을 주성분으로 하여 만들어져 있으므로 농업적인 처리이용이 가능하다. 실제로 다음 2가지

이용 방법이 검토되고 있다.

① 암면을 파피 혹은 절단해서 토양에 사용하는 방법

② 암면을 물리화학적으로 처리하여 배합토나 토양 개량제로 이용하는 방법

현재는 토양에 사용하는 방법이 가장 경제적인 것으로 밝혀져 있다.

3) 사용한 암면의 토양이용효과

암면의 토양 이용의 적정량이 어느 정도인가는 앞으로 계속 검토되어야 하지만 가능한 한 한번에 다량을 이용하는 것은 피하는 것이 좋다.

암면을 눈에 사용하는 경우 절단하여 사용후 트랙터로 경운하여 토양과의 친화성과 작업성을 줄이는 것이 적당하다. 암면을 논토양에 1% 첨가하여 벼를 재배한 결과 벼의 유효 분얼수가 증가되고 벼 줄기에 Si와 Ca 함유율이 증가하여 도복 방지효과가 나타나 수량이 증가하였다. 건조한 밭토양에 암면을 사용한 경우 토양의 물리성이 개선되었고, 암면이 어느정도 덩어리로 남아 있었으나 양배추, 배추, 무 등에서 Bark퇴비를 사용한 정도의 효과를 얻었다.

(2) 배양액처리

養液栽培에서 사용한 養液이 排出되면 토양과 수질 오염의 중요한 원인이 되는데 특히 무질서한 폐액처분으로 土壤鹽類集積의 원인이 되고 河川 부영양화의 원인이 되므로 주의하여야 한다.

배양액의 사용량은 灌溉水耕에 비해서 岩綿栽培에서 일반적으로 적다. 관주식 岩綿栽培에서 공급된 양수분중 일부가 배출되더라도 폐액으로 회수가 되어야 한다. 순환식 岩綿栽培는 純粹水耕栽培에서와 마찬가지로 培養液 저장 탱크를 가지고 있는 점에서는 비슷하지만 암면경이 일반적으로 탱크용량이 적다.

앞으로는 모든 養液栽培에서 사용한 폐액을 모두 회수하여 다시 사용할 수 있는 recycling system이 확립되어야 할 것이다. 岩綿栽培에서 공급한 배양액의 비료 성분량과 폐액으로 내보낸 배양액의 비료성분량을 계산하면 다음과 같다.

1) 공급된 비료 성분량

토마토 岩綿栽培에서 1ha당 25,000주를 식재하여 재배기간을 10개월로 하고 1일 1 l/급액한다면 비료 처방은

N	:7 me/l	7 me ×14 ÷ 1 =	98 mg/l
P	:2 me/l	2 me ×31 ÷ 3 =	20.6 mg/l
K	:4 me/l	4 me ×39 ÷ 1 =	156 mg/l
Ca	:3 me/l	3 me ×40 ÷ 2 =	60 mg/l
Mg	:2 me/l	2 me ×24 ÷ 2 =	24 mg/l

으로 하여 1일 1l로 10개월(300일) 공급한다면 비료 성분량은

N	: 98 mg/l × 25,000주 × 1l × 300일 =	735 kg
P	: 20.6 mg/l × 25,000주 × 1l × 300일 =	154.5 kg
K	: 156 mg/l × 25,000주 × 1l × 300일 =	117 kg
Ca	: 60 mg/l × 25,000주 × 1l × 300일 =	450 kg
Mg	: 24 mg/l × 25,000주 × 1l × 300일 =	180 kg

실제 비료로서는

$$P_2O_5 = 154.5 \text{ kg} \times (31 \times 2) + (16 \times 5) / 31 \times 2$$

$$= 355 \text{ kg}$$

똑같은 계산으로 K₂O는 1410 kg, CaO는 630 kg, MgO는 300 kg이 된다.

2) 폐액으로 나간 비료 성분량

① 관주식의 경우

관주식의 경우는 매트 밑부분의 배수구멍으로 급액량의 20 %정도가 시설내 토양으로 배출된다. 폐기하는 방법과 양은 관주식과 순환식에 따라 다르다. 일반적으로 재배중 베드내 영양의 균형을 유지하고, 오염의 방지를 위하여 기상조건과 작물의 증발량을 정확하게 계산·공급하여가능한 폐액량을 최소한으로 줄이도록 하여야 한다.

관주식의 경우 1년간 1ha 에서 폐기되는 비료성분량을 급액량의 20% 가 된다면

N	:	735 kg	×	0.2	=	147 kg
P ₂ O ₅	:	355 kg	×	0.2	=	71 kg
K ₂ O	:	1410 kg	×	0.2	=	282 kg
CaO	:	630 kg	×	0.2	=	126 kg
MgO	:	300 kg	×	0.2	=	60 kg

정도가 된다.

② 순환식의 경우

순환식은 일반적으로 1ha 당 10-20 ton 정도의 배양액 탱크가 설치되고 있다. 양액을 교환할때 1/2이 감량되었을때 나머지는 배출한다.

배양액 교환회수는 베드종의 Na 등의 축적이나 식물의 양분흡수정도에 따라 다르지만 매월 2회 정도로 하여 연간 20회 정도 행한다면 폐기되는 배양액은 200 ton정도이다.

배양액 200 ton 중에 함유한 주성분량은 전술한 바와같은 방식으로 계산하면 관주식의 1/7 ~ 1/8 정도 된다. 이상에서 환경을 고려한다면 폐액을 최소한으로 줄일 수 있는 System을 개발하고 폐액을 재활용할 수 있도록 하는 것이 절대 필요하다.

(3) 배양액의 처리

사용한 배양액을 회수하여 다시 사용할수 있는 방안을 찾는 것도 중요하다. 이용분야로는 발작물, 잔디밭 및 수목에 비료로서 재 이용하는 것도 바람직하다.

그러나 무엇보다도 배양액 관리기술을 합리적으로 체계화하여 적정 사용하도록 하고, 필요이상으로 공급하지 않도록 하고, 과잉공급된 양액을 회수하여 소독하고 분석한 후 부족한 비료를 더 공급하여 다시 사용할 수 있는 체계가 세워지는 것이 필요하다.

암면재배를 많이 하는 네덜란드에서는 관주식에 의한 지하수 오염문제로 인하여 순환식으로 바꾸기 위한 연구가 심도있게 진행되고 있으며, 더불어 폐액의 회수이용에 대한 기술개발이 이루어지고 있다.

5. 과채류 배지경의 실제

세계 양액재배는 유럽을 중심으로 배지경중 암면을 이용한 암면재배가 과채류와 화훼작물의 장기재배에 주로 이용되고 있다. 한편 NFT를 이용한 암면재배에서는 엽채류와 일부 화훼작물의 재배에 이용되고 있다.

그러나 폐암면의 처리문제가 크게 대두되면서(62.5m³/ha/year) 그 대체 배지의 개발에 많은 연구인력이 투입되고 있는 실정이고, 농업환경보전의 측면에서 관주식 암면재배에서 순

환식 암면재배로 전환이 점차 이루어지고 있는 실정이다.

이처럼 전세계적으로 암면을 이용한 양액재배가 활기를 띠고 있으나 이미 사용한 암면의 처리가 사회문제로 대두되고 있어 환경오염의 염려가 없거나 혹은 있더라도 상대적으로 적은 배지를 개발하여 암면을 대체하도록 하고, 농가에서 양액재배를 손쉽게, 그러면서도 안정적으로 재배할 수 있도록 하고, 시설비와 운영비가 저렴한 양액재배시스템으로서 우리 기후 환경에 적합한 고품배지경용 배지 개발과 재배기술의 확립으로 오이 생산성과 품질향상을 도모하고자 시험을 수행한 결과를 보면 다음과 같다.

공시작물은 오이(샤프 No.1)를 사용하였으며, 1993년 11월 22일 파종하여 1993년 12월14일에 정식하였다. 실험은 농수산물유통공사의 수출농산물 시범단지(음성)의 벤로온실에서 실시하였다. 시험에 사용된 배양액은 표 21과 같이 화란 Naaldwijk의 온실작물 연구소의 오이 배양액을 사용하였다.

Table 21. Nutrient solution for cucumber in rockwool.

EC (mS/cm)	pH (mmol/ℓ)	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn
2.2-3.0	5.2-5.5	13	1	6.5	2.75	1	1	0.75	15	10	2.5	0.75	0.5	5

배양액의 pH는 5.2-5.5로 조절하였으며 배양액농도는 기상조건(일사량)에 따라 2.2-3.0mS/cm로 하여 Slab 내 EC수준이 2.5-3.0mS/cm가 되도록 조절하였다. 배양액의 급액량과 급액회수도 생육단계와 그 날 기상조건에 따라 0.5-2.5ℓ/day를 하루에 10-15회 정도로 조절하여 공급하였다. 근권온도는 18-22℃로 조절하였으며 온실내 기온은 4단 변온관리 체계로 하여 야간 최저 15℃를 유지하도록 하였다. 해가 뜨면서 난방(20℃)과 동시에 CO₂를 800-1000ppm 수준으로 조절하였다.

주간에 실내기온이 25℃를 상회하는 경우 천장환기를 하였다. Bag의 규격은 25cm PE튜브를 사용하여 100cm에 20ℓ의 배지를 처리별로 조성하였다. 재식주수는 하나의 자루에 4주씩 식재하여 주당 5ℓ의 배지가 되도록 하였다. 암면을 대체하기 위해서 시험에 공시한 배지종류 및 혼합배지는 표 22와 같다.

Table 22. Experimental media for substrate culture.

Substrate	Mixture
Rockwool Slab	--
Rockwool granulate(RWG)	--
Perlite(PER)	--
RWG+PER	40:60
RWG+PER	50:50
RWG+PER	60:40
RWG+PER	80:20
Peatmoss(PM)+PER	40:60
PM+PER+RWG	40:30:30
PM+PER+RWG	60:20:20

PER = Perlite, RWG = Rockwool granulate, PM = peatmoss

수확은 1994년 1월17일부터 4월25일까지 하였다. 상품과는 오이무게가 80-120g으로서 기형과나 꼭과가 아닌 것만으로서, 과장이 19-25cm범위의 것으로 하였다. 그 외의 것은 비상품과로 분류하였다.

본 실험에서는 농가에서 직접 배지를 PE튜브에 담아 작물을 재배할 수 있는 배지로서 앞으로 암면을 대체할 수 있고 장기적으로 사용이 가능하면서 더불어 순환식 및 관주식 배지경에 적용할 수 있는 가능성을 타진하기 위해서 오이에 대해서 실험한 결과는 표 23과 24와 같다.

오이 수확 완료 후 오이 생육상태를 보면(표 23) 초장은 perlite와 암면재배에서 짧았다. 그외 처리에서는 700cm 이상의 결과를 나타냈다. 식물체 생체중은 입상면과 perlite 혼합배지에서 입상면의 비율이 50-80%수준에서 가장 높게 나타났다. 전체적으로 기존의 암면재배보다 낮은 생육량을 보인 처리는 peatmoss+perlite(50:50)처리와 peatmoss+perlite+입상면(40:30:30)처리 정도였다. 반면에 암면재배보다 확실하게 높은 생육량을 보인 처리는 입상면+perlite 혼합배지로서 입상면 혼합비율이 50-80%일 때 더욱 많은 생육량을 나타냈다.

오이수량은 총수확 과수가 57.5-64.2개, 배지간에 큰 차이를 보여주지 않고 있으나, 수확 총과중은 5560.3-6778.2g/주 로서 처리간에 차이가 인정되고 있다. 총수확 과수나 과중이 암면재배보다 많은 처리는 입상면+perlite 혼합배지와 peatmoss+perlite+입상면 혼합배지로 나타났다.

상품과수와 상품과중이 암면재배보다 많은 처리는 입상면+perlite 혼합배지로서 90%이상의 상품과율과 주당 6kg이상의 과를 생산할 수 있었다. 총수량에서 높았던 peatmoss+perlite+입상면의 혼합배지에서는 상품과율에서 낮아 암면재배보다 낮은 수량을 보였다. 입상면(Granulate) 단용배지에서는 암면재배(Slab)보다 생육과 수량에서 큰 차이를 보여주지 않았으며, 특히 perlite 단용배지에서도 높은 생산성을 나타낸 것은 배양액의 급액회수 조절로서 어느 정도 perlite 배지의 단점인 낮은 유효수분함량 상태를 보완할 수 있다는 것을 보여 준 것으로 보인다.

이러한 결과는李 등(1992)의 연구결과에서도 같은 결과를 보여주었다. 그러나 피트모스가 다른 배지와 혼합되어서 조성된 처리에서는 전반적으로 기대이하의 낮은 상품과율과 수량을 보인 것은 배양액 급액이 암면과 같은 알칼리성 배지에 맞추어진 배양액 pH 및 배양액농도이기 때문으로 보인다. 산성배지인 피트모스가 혼합될 때는 배양액 pH수준을 pH6.0-6.5수준으로 조절하는 것이 무엇보다 중요할 것으로 보였다.

이상의 결과에서 오이 생육·상품수량 및 상품과율이 암면재배보다 높았던 처리는 입상면+perlite 혼합배지로서 입상면 비율이 50-80% 수준일 때가 최적 수준인 것으로 보인다.

이것은 앞으로 암면 대체배지로서의 가능성과 농가에서 손쉽게 배지를 구입하여 자체 양액재배에 응용하는데 효과적일 것으로 생각된다. 특히 입상면과 perlite 혼합배지의 사용은 배양액의 순환 및 비순환(관주식)으로 동시에 활용할 수 있어 배양액에 의한 수질오염을 극소화할 수 있다. 배지 수명은 2-3년 간격으로 증기소독을 한다면 10년이상 사용이 가능하다.

특히 다른 배지와 달리 무기질재료이기 때문에 소독 중 물리화학성의 변화가 적다는 장점이 있다. 배지가격도 기존 암면에 비해 저렴하여 40-50%수준의 가격으로 조성이 가능할 것으로 보인다.

Table 23. Growth characteristics of cucumber plants as influenced by different growing media in substrate culture on 23 April 1994.

Substrate	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (cm)	Fresh weight (g/plant)
Rockwool Slab	661.9	20.8	28.8	8.3	853.3
Rockwool Granulate(RWG)	758.0	21.8	28.5	9.3	835.0
Perlite (PER)	638.2	21.7	28.3	9.2	870.0
RWG+PER (40 : 60)	710.7	21.7	27.7	8.3	836.7
RWG+PER (50 : 50)	727.7	22.3	29.5	9.5	913.3
RWG+PER (60 : 40)	730.7	22.2	28.7	8.8	890.0
RWG+PER (80 : 20)	722.7	23.0	30.7	8.3	960.0
Peatmoss+PER	641.5	21.0	26.7	8.2	780.0
Peatmoss+PER+RWG (40 : 30 : 30)	699.3	22.5	28.5	7.3	805.0
Peatmoss+PER+RWG (60 : 20: 20)	706.0	23.0	30.1	8.4	887.5

Table 24. Yield and fruit quality of cucumber plants grown in various substrate on 23 April 1994.

Substrate	Fruit		Total Fruit		Marketable Fruit		Marketable ² Yield ratio (%)
	Length (cm)	Diameter (cm)	No.	Weight (g/plant)	No.	Weight (g/plant)	
Rockwool Slab	20.7	2.62	59.8	5985.9	54.8	5617.4	91.7
Rockwool Granulate(RWG)	21.5	2.85	58.8	6444.4	50.1	5510.6	85.0
Perlite (PER)	21.1	2.64	57.5	5560.3	49.9	5014.9	86.7
RWG+PER (40 : 60)	21.2	2.60	62.7	6426.8	56.4	5724.6	90.0
RWG+PER (50 : 50)	19.8	2.66	63.7	6427.3	59.1	6099.1	92.8
RWG+PER (60 : 40)	20.8	2.82	62.7	6778.2	56.8	6021.8	90.6
RWG+PER (80 : 20)	20.9	2.49	64.2	6452.1	60.0	6125.6	93.5
Peatmoss+PER	21.1	2.77	58.0	5840.6	51.6	5263.2	88.9
Peatmoss+PER+RWG (40 : 30 : 30)	22.1	2.63	61.8	6235.6	50.3	5206.1	81.4
Peatmoss+PER+RWG (60 : 20: 20)	22.3	2.79	63.0	6602.4	48.5	5064.3	77.0

²
$$\frac{\text{Marketable fruit number}}{\text{Total fruit number}} \times 100 (\%)$$

Table 25. Marketable yield of cucumber in substrate culture on April 1994.

Substrate	Marketbale (10a)	
	Fruit Number	Fruit Weight(kg/10a)
Rockwool Slab	134,808 (100)	13,819 (100)
Rockwool Granulate (RWG)	123,246 (91.4)	13,556 (98.1)
Perlite (PER)	122,754 (91.1)	12,337 (89.3)
RWG+PER (50 : 50)	145,386 (107.8)	15,004 (108.6)
RWG+PER (60 : 40)	139,728 (103.6)	14,814 (107.2)
RWG+PER (80 : 20)	147,600 (109.5)	15,069 (109.5)

() : yield index