

# 養液組成 및 自動化

孫 禎翼

서울대학교 農業生命科學大學

## 1. 서론

Hydroponics, Nutriculture, Soilless culture 라고 불리워지는 養液栽培는 결코 새로운 기술은 아니지만 최근 집약적 생산을 위한 工場的 재배등을 통해서 다시 주목을 받고 있다. 과거에는 재배 관리의 어려움 때문에 전문가 이외에는 재배가 곤란했지만, 최근 재배관리의 自動化경향 때문에 비전문가에 의한 관리도 가능하게 되고 있다. 양액재배는 토양재배에 비하여 여러가지 장점을 가지고 있다. 양액관리를 위한 장치의 개선과 적용작물의 선택, 생력관리기술이 확정되었고, 연작장애 대책, 안정적 계획생산, 무공해식품의 평가가 높기 때문에 양액재배 면적은 서서히 증가하는 추세라 할 수 있겠다.

양액재배에 따른 관리는 크게 作物管理와 養液管理로 구분할 수 있다. 작물관리의 자동화를 위해서는 각 작물에 대한 경험적 재배지식 및 자료가 필요하기 때문에 실현까지는 많은 시간이 걸릴 것이다. 양액관리는 크게 養液組成, 養液制御, 養液調劑등으로 구분할 수 있다. 양액조성은 오래 전부터 각 이온의 적당한 비율에 의한 생산량 등을 검토함으로써 적정비율을 정한 계통적 번량법과 작물의 흡수량을 직접 분석하거나 겔보기상의 흡수량으로 작물체의 흡수비율을 결정하는 방법 등으로 결정하였다. 따라서 작물별, 생육단계별, 시기별 각종 조건에 대하여 가장 최적인 양액 조성을 추구하는 연구가 계속되어 왔다.

최근 양액의 계측 및 제어기술이 발달하기 시작하면서 상기의 양액 조성연구 이외에도 양액 제어 연구도 활발하게 시작되고 있다(외국에는 이미 상당부분 진행중). 기본적인 취지는 초기의 양액조성이 최적의 조성이 아니라도 시간경과에 따라서 필요로 되는 이온을 선택적으로 공급할 수 있다면 충분한 양액관리가 가능하다는 점이다. 따라서 이러한 관점에서 최적 양액조성을 靜的 養液管理라 한다면 養液制御는 動的 養液管理라고 할 수 있다. 양액제어는 대상의 계측과 제어로 구성되는데, 양액조성의 제어를 위한 계측부분에서는 아직까지 실험실 수준이며 실용화와는 거리가 있다. 궁극적으로는 쏘이온을 연속적으로 분석해 부족량을 자동적으로 추가하는 시스템이 필요하다. 최근, 자동분석 기술은 현저히 발전하고 있지만 이러한 시스템의 실용화에는 이르지 못하고 있다.

또한 비료염 단위가 아닌 이온농도별로 투입량이 절정되었을 경우 정확하고 효율적인 양액의 조제가 따르지 않으면 양액조성이나 제어의 의미가 반감된다. 특히 재배자의 고유한 생각이나 경험에 기초를 둔 양액조성을 고려할 경우 효율적인 양액조제 방법이 필요하다. 최근 양액관리의 자동화가 진행됨에 따라서 養液調劑의 중요성도 부각되고 있고 양액관리의 중요한 부분중의 하나로 되었다.

이와같이 양액재배는 科學營農을 선도하는 施設農業중의 중요한 분야로써 그 역할이 중요하고, 장래 해결해야 할 課題도 산적해 있다고 할 수 있다. 여기서는 양액관리에 관련된 자동화 내용에 관해서 언급하기로 하다.

## 2. 양액재배시스템

- 1) 양액제어방식에 의한 재배시스템 분류
- (1) 養液방식

재배베드에 담액시키고 부족분은 보조적으로 탱크에서 보충한다. 일반적으로 복수개의 재배베드를 이용하여 순차적으로 이동시키는 방식을 사용한다. 증산에 의한 흡수분은 베드의 양액수위로 검사한다. 담액방식이기 때문에 탱크는 소형으로 충분하나 베드내에 다량의 양액량이 필요하고 대형 베드도 필요하다.

### (2) 循環방식

액경에서 일반적으로 사용되고 있는 방식. 재배베드에 순환시키고 탱크에서 보충하는 방식으로 양액제어가 다른 방식에 비하여 용이하다. 증산에 의한 양액수위 변동은 탱크에서 검사한다. 베드 및 탱크는 재배방법에 따라 상이하나, DFT 방식은 중형 이상, NFT 방식은 소형 정도로 충분하다. 양액의 효율적 이용차원에서는 가장 바람직한 방식이다.

### (3) 開放방식

고형배지경에서 일반적으로 사용되는 방식. 재배베드에 점적관수등으로 양액을 보충하는 방식으로 양액제어가 까다롭다. 증산에 의한 흡수분을 예측하여 일정한 간격으로 베드에 공급한다. 경량 베드 및 탱크로 충분하지만 폐액에 의한 주위환경 오염에 주의할 필요가 있다. 압면재배 방식이 좋은 예이다. 최근 폐액을 재활용하는 방식도 등장하고 있다.

### 2) 循環방식의 특징

양액을 강제적으로 순환시키는 과정에서 뿌리에 효율적으로 산소공급을 실행하는 방법으로, 효율적인 산소공급 및 정확한 양액제어가 가능하다. 특히, (1) 효율적인 산소공급 방법(흐름에 의한 용존산소 증가, 공기혼입기 도입, 間歇적 공급)의 도입가능, (2) pH, EC, Temperature의 안정적 분포 및 정확한 제어가능, (3) 순환에 의한 전염확산, 순환을 위한 펌프작동, 펌프 및 탱크의 대형화의 문제점 등이 있다.

## 3. 양액제어대상

### 1) pH(수소이온농도지수: $pH = \log_{10}(H^+)$ )

pH에 관해서는 작물의 생육에 직접 영향을 주기 때문에 일찌기 부터 자동제어가 사용되었다. 작물에 따라 적정범위가 다소 차이는 있지만 일반적으로 pH 5.5-6.5 정도로 제어를 한다. 일반적으로 산과 알칼리 액을 사용하여 조절한다.

### 2) 전기전도도(Electric Conductivity: EC (mS/cm))

양액중에 용해되어 있는 전해질(염, 산, 알칼리)의 종합적인 농도를 나타내는 대표치로서 전기전도도를 사용한다. 개략적이기 때문에 정밀제어상에 많은 문제를 수반하지만 간단하기 때문에 많이 사용된다. 일반적으로 1.0-2.0 mS/cm 범위에서 많이 사용한다.

### 3) 용존산소(Dissolved Oxygen: DO)

용존산소는 양액중에 용해된 산소의 농도를 말하고 식물의 양분흡수를 위한 에너지의 원동력으로 사용된다. 온도가 증가하면 감소하기 때문에 양액관리상 중요한 인자중의 하나이다.

### 4) 양액온도(Nutrient Temperature)

양액온도는 뿌리의 생육과 밀접한 관계를 가지고 있다. 특히, 용존산소는 온도에 반비례 성격을 가지고 있기 때문에 하절기 양액온도의 상승에 의해서 용존산소가 급격히 감소하기 때문에 각별히 신경을 써야할 중요한 인자중의 하나이다.

### 5) 이온(Ion Concentration)

일반적으로 양액의 EC는 물리화학적 특성이 다른 각 이온의 EC의 합으로 나타나기 때문에 양액중의 각 이온의 균형을 무시하고 EC를 일정하게 유지하여도 양액의 조성을 일정하게 제어할 수 없다. 결국 시간의 경과와 함께 이온의 균형이 깨어져 필요한 이온이 감소하게 된다. 따라서 양액내용의 균형을 이루기 위하여 이온제어가 필요하게 되었다. 대부분의 이온에 대한 전극

(electrode)는 개발되어 있지만 연구실 수준 정도이기 때문에 연구단계이다. 대상이온은 다량요소인  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  이다.

### 3. 양액의 이화학적 특성

#### 1) 전해질용액의 전기전도(EC)

##### (1) 이온전도(ionic conductivity)

전해질용액중의 전기전도는, 용존이온의 이동에 기인하는 것이기 때문에 이온전도라 한다. 일반적으로 비전도율(specific electric conductivity)은 EC 미터로 측정할 때 1cm의 거리에서  $1cm^2$ 에 대한 전도율을 말한다. 이온 당량전도율  $\lambda$ (equivalent ionic conductivity)은 이온의 당량농도에 따른 전도율을 의미한다. Kohlrausch의 법칙에 의하면 강전해질, 무한희석의 경우에 이온의 독립이동의 법칙이 적용된다.

$$\lambda(\text{전해질의 당량전도율}) = \lambda_{\infty}^+ + \lambda_{\infty}^-$$

용액의 전도율은 각 용존이온의 전도율의 합이지만 양액과 같은 복합용액의 경우 무한희석상태라고 보기 어렵기 때문에 정확히는 무한희석 상태의 이온 당량전도율을 적용할 수 없다. 각 전도율은 당량과 이온 이동도의 함수이기 때문에 전체 전도율은 다음과 같다.

$$\lambda_i = F_i u_i$$

$$\kappa = \sum \kappa_i = \sum c_i |z_i| \lambda_i = F \sum c_i |z_i| u_i$$

(단,  $F$ : Faraday 정수,  $u_i$ : 이온의 이동도,  $c_i$ : 이온의 몰농도,  $z_i$ : 이온의 전하수)

##### (2) 이온의 移動度(electric mobility)

이온의 이동도의 지배요인은 용매의 종류(물, 유기물질...), 印加전압의 크기( $U$ ), 이온의 크기(클수록 이동속도 감소), 이온의 상태(水和상태면 유효반경은 커짐)등이다. 단위電場  $E$  (1V/cm)에서 이온의 속도(이동거리/초)로 나타낸다. 이동도의 개념은 정상적인 상태(이온구동력 = 마찰저항력)에서 이온은 정상적인 속도로 이동하는 속도를 의미한다.

- 마찰저항력

$$F_f = 6\pi\eta r_i v_i \quad (\eta: \text{매체의 점성율}) \quad (\text{Stokes의 식})$$

- 구동력

전기적 일(구동력) = 전기량  $\times$  전장( $E$ )을 만족시키는 힘으로써 무한희석상태에서는 이온-이온간, 이온-용매간 상호작용 무시되므로  $\delta F_i = 0$ 가 된다.

$$F_i = |z_i| e E + \delta F_i \quad (\text{단, } E: \text{전장, } e: \text{전자의 전하량})$$

- 이동도계산

무한희석상태에서 이동도는 속도를 구한후 전장  $E$ 로 나눈다.

$$|z_i| e E = 6\pi\eta^0 r_i v_i^\infty$$

$$\rightarrow u_i^\infty = \frac{v_i^\infty}{E} = \frac{|z_i| e}{6\pi\eta^0 r_i} \quad (\text{단, } \eta^0: \text{순용매의 점성율, } r_i: \text{이온유효반경})$$

이온농도가 높을때는 이온-이온간, 이온-용매간 상호작용 고려한다. 전해질의 희석용액중에는 이온간의 정전기력(coulomb force)이 중요한 역할을 수행하여 이동도의 감소요인( $\delta F$ )이 된다. 이것을 고려하면 당량전도율은 희석용액의 경우 Onsager의 극한법칙에 준한다. 따라서 농도증가에 따라서 포물선형태로 되는 것을 알 수 있다. 單鹽에 관한 실험적 추정식은 상당부분 연구되어 있다.

$$\lambda = \lambda^\infty - (\alpha^+ \lambda^\infty + \beta^-) \sqrt{C} = \lambda^\infty - A\sqrt{C} \quad (\text{단, } \alpha, \beta: \text{이론계수})$$

(3) 용액의 전도율에 대한 각 이온 전도율의 비

각 이온의 전체전도율의 기여도는 당량과 이온 이동도의 함수로 표기될 수 있다. 또한 보다 정확히 구하기 위해서 몰농도 대신에 활량(activity)를 사용할 경우는 용액내의 화학적 평형상태를 만족시키는 값을 구해야 한다.

$$t_i = \frac{\kappa_i}{\kappa} = \frac{|z_i|c_i\lambda_i}{\sum |z_i|c_i\lambda_i} = \frac{|z_i|c_iF u_i}{\sum |z_i|c_iF u_i} = \frac{n_i u_i}{\sum n_i u_i} \quad (\text{activity를 사용하는 경우 } c_i \Rightarrow a_i \text{ 대입})$$

(4) 양액중의 전기전도도(EC)의 추정예

전기전도도 추정방법은 통계적인 방법으로 직접 구하는 방법과 Onsager의 극한법칙에 근거한 간접적인 방법으로 구할 수 있다(Son, 1992,1993). 양액중의 EC는  $\kappa = \sum \kappa_i = \sum a_i |z_i| \lambda_i$  이나, 정확하게  $\lambda_i$ 를 구할 수 없기 때문에 근사적으로  $\kappa = K \sum a_i |z_i| \lambda_i^{\infty}$  형태로 근사시켜서 K를 구하였다.

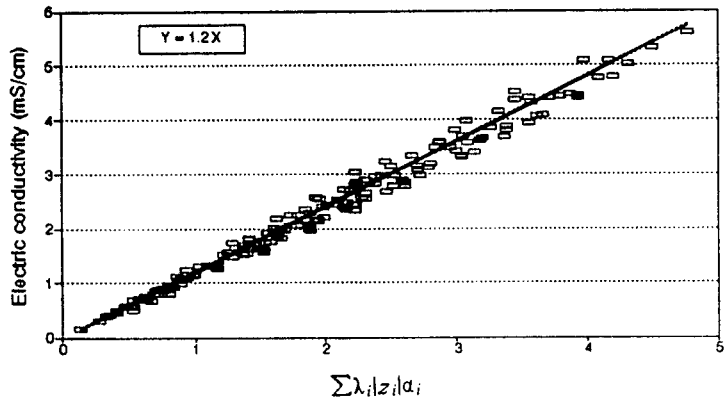


그림 1. 통계적 방법에 의한 양액중의 EC 예측(Son, 1992)

5. 양액관리의 자동화

1) 양액의 조성

(1) 계통적 변량법

이온群내에 양이온(또는 음이온)을 적당한 균형을 유지시키고 음이온(또는 양이온)을 群내에서 이온간의 비율을 자유롭게 변화시키면서 群내의 이온 상호작용을 파악하는 방법으로 생산결과(수량, 품질)에 의하여 경험적으로 판단한다.

- Homes 방식

K:Ca:Mg, NO<sup>3</sup>:H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>:SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> = 60:20:20의 지점에서 균형을 유지시킴

- Steiner's universal nutrient solution

K:Ca:Mg = 35:45:20, NO<sup>3</sup>:H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>:SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> = 60:5:35

(2) 흡수량에 의한 방법

식물체 분석에 의한 방법(Hoagland 액)과 결보기 흡수량에 의한 방법으로 n(양분흡수량)/w(물흡수량)의 방식인 Yamasaki 처방이 있다.

2) 양액 제어

(1) 양액내의 이온의 경시적 변화

양액의 EC는 이화학적 특성이 다른 각 이온의 EC의 함으로 이루어 지기때문에 순환식 재배방식일 경우 작물의 선택적 흡수에 의하여 양액내의 이온간의 균형은 시간의 경과와 함께 깨어져 버린다. 특히 농도가 낮은 양액일 수록 양액의 유효성이 급속히 감소하기 때문에 빨리 교환할 수 밖에 없다. 따라서 가능한 양액의 유효성을 장기간 유지하도록 하는 방안이 필요하다.

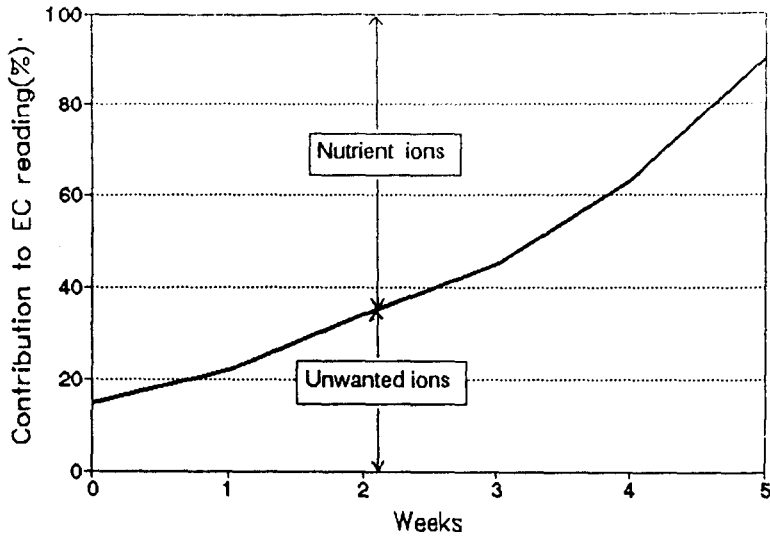


그림 2. EC를 제어할 경우의 양액특성의 변화 (Varley and Burrage, 1981)

(2) 제어종류

- 수위(흡수량)에 의한 제어방법

작물이 흡수하는 각 이온의 비율이 양액내의 각이온의 비율과 동일하다고 가정하여 탱크내의 수위에 의해서 양액을 공급하는 방식이다. 이경우 물과 비료의 혼합비율은 일정하게 한다. 그러나 계절에 따라서 증산량이 상이하기 때문에 혼합비율을 보정한다. 즉 여름의 경우는 증산이 활발하기 때문에 겨울보다 혼합비율을 낮게한다. 기본적으로 EC를 기준으로 하지 않기 때문에 EC가 변동하는 사례가 있다.

- EC에 의한 제어방법

EC미터를 사용하여 양액농도를 조절하는 방법으로 대체적으로 연속적으로 실시한다. 일단 탱크의 수위를 검사하여 부족분의 물을 공급한 후, 계속한 EC미터의 값과 설정치와 비교하여 일정치 이하일 경우는 농축된 액비(약 100배정도)를 혼합후 주입한다.

- 부분 이온전극에 의한 제어방법

이온농도를 손쉽게 계속할 수 있다면 거의 완벽한 양액제어가 가능하다. 실제로 이온농도를 연속적으로 계속하는 기술은 실험실 수준에서 유리전극을 사용하여 이루어 지고 있으나, 실용적인 차원에서는 일부 이온에 지나지 않는다. 그러나 몇개의 이온제어 만으로도 상당 부분의 성과가 있음을 보여주고 있다. 예를 들어  $K^+$ ,  $NO_3^-$  정도의 제어만으로도 상당부분 양액의 유효성 감소를 줄일 수 있다. 왜냐하면  $K^+$ ,  $NO_3^-$  이 양액내의 이온의 불균형에 미치는 영향이 매우 크기 때문이다. 다음의 장치는 4개의 이온을 이온전극법에 의하여 연속 측정하는 장치이다.

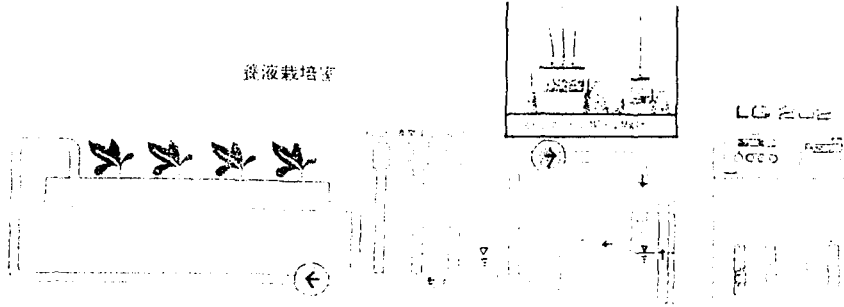


그림 3. 부분이온전극에 의한 실측예(Toshiba, 1993)

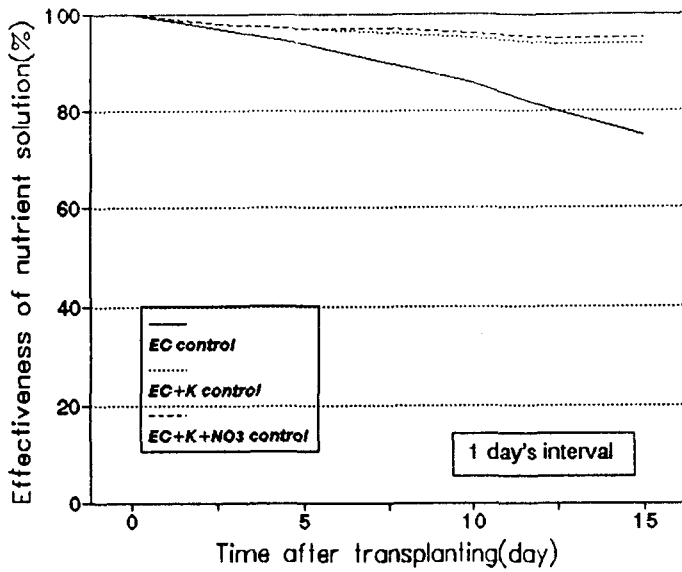


그림 4. 부분이온전극에 의한 제어결과 비교(Son, 1988)

- 이온크로마토그래피에 의한 방법

이 방법은 전체 무기이온을 이온크로마토그래피에 의한 방법으로 분석해 내는 방식이다. 현재는 batch 방식으로 사용하고 있지만 기술적으로는 이온크로마토그래피를 약간 개조하면 가능한 방법이다. 그러나 가격이 高價라는 문제점이 있다.

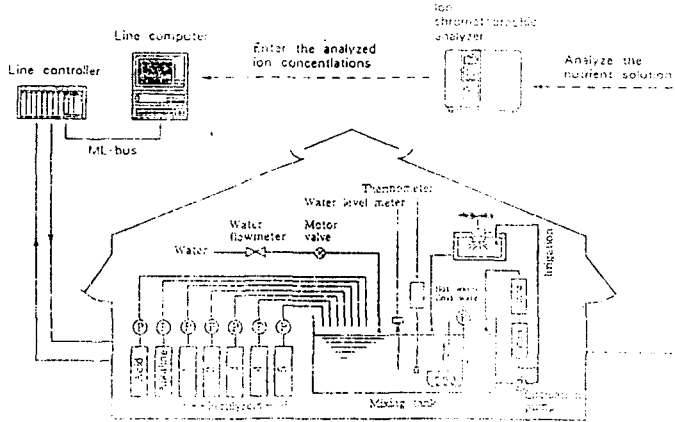


그림 5. 이온크로마토그래피의 Batch처리에 의한 이온제어(Okuya, 1992)

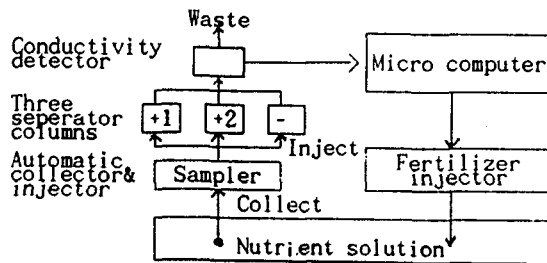


그림 6. 이상적인 양액제어시스템(Son, 1985)

3) 제어방법

(1) 타이머 제어: 시간경과에 따라서 제어하는 간단한 방법으로 실제 많이 사용하고 있음.

(2) ON-OFF 제어: 설정치에 준해서 제어기기를 on-off 시키는 방법으로 실제 많이 사용하고 있음. pH, EC의 제어등에 사용된다.

(3) PID 제어: 편차(동작신호)의 비례치, 적분치, 미분치를 고려하여 조작량을 결정하는 방법. 양액의 경우, sampling time이 길기 때문에 많은 문제점이 있음.

$$Q = K(e + T_d \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_i} \int edt)$$

여기서, Q(t): 제어량, e: 편차, K: 비례상수, T<sub>d</sub>: 미분상수, T<sub>i</sub>: 적분상수

(4) 적응(Adaptive) 제어: 상황에 따라 제어상수를 변화시키는 방법으로 PID 제어에서 비례상수 K를 부하량의 상승의 요인에 따라 변화시킨다.

(5) 기타: 퍼지제어, 인공지능 방법을 사용한 각종 제어방법이 있음

3) 용존산소의 제어

(1) 양액중의 용존산소량

일반적인 액체에서의 용존산소농도의 추정식은 다음과 같다. 실제로 양액의 용존산소의 추정식은 대체적으로 n < 2000 이고, 기압은 760mmHg, 포화수증기압은 온도의 함수이므로 다음과 같이 근사시킬 수 있다. 따라서 다음식을 이용하면 간단히 온도에 따른 용존산소량을 계산할 수 있기 때문에 용존산소농도제어에 사용할 수 있다.

$$O_{ws} = 0.678(p - p_w(t))(1 - n \times 10^{-5}) / (t + 35) \\ \approx (510 - 0.018t^2) / (t + 35) \text{ (ppm)}$$

여기서, O<sub>ws</sub>: 포화용존산소농도(mg/l), t: 양액온도, p: 기압(mmHg), p<sub>w</sub>: 포화수증기압(mmHg), n: NaCl의 농도(mg/l). 만약, 양액온도 20℃, 대기압 760mmHg, 포화수증기압 7.8mmHg 이라면 DO<sub>s</sub>=9.27mg/l 이 된다. 참고적으로 1 ppm ≈ 0.7ml/l (∵ ρ<sub>w</sub>=1, ρ<sub>o2</sub>=32/22.4=1.429)이다.

(2) 작물의 산소흡수량(소비량)

작물의 산소흡수량은 온도증가에 따라 증가한다.

표 1. 뿌리의 산소흡수량과 온도와의 관계 (mg/g/100ml/hr) (位田, 1951)

종류	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
토마토	0.08	0.13	0.16	0.22	0.26	0.39	0.40	0.42
오이	0.06	0.07	0.09	0.18	0.29	0.41	0.43	0.49
딸기	0.19	0.20	0.26	0.30	0.36	0.41	0.51	0.49

(100ml 양액중의 1g 뿌리가 1시간 흡수하는 산소량(mg))

(3) 용존산소량 변화

양액의 용존산소농도의 변화 및 작물에 공급가능한 산소량을 개략적으로 표현하면 다음과 같다.

- 용존산소농도 변화 = 혼입용존산소량 - 작물의 산소소비량

$$V \frac{dO_w}{dt} = O_i - nO_p \quad (\text{단, } O_i = Q(k_i + k_n)O_{ws} = kQO_{ws})$$

$$\rightarrow O_w = \frac{1}{V} \int (kQO_{ws} - nO_p) dt + O_{w0}$$

- 작물에 공급가능한 산소량 = 혼입용존산소량 + 공기중의 산소량일부 (정상상태)

$$O_{sa} = O_i + O_a$$

여기서,  $O_w$ 는 양액의 용존산소농도,  $O_{ws}$ 는 포화용존산소량,  $O_p$ 는 단위작물의 용존산소흡수량,  $n$ 은 작물수,  $O_i$ 는 폭기 및 자연적으로 양액으로 녹아드는 산소량,  $O_a$ 는 공기중에서의 직접 작물에 공급되는 산소량으로 수경재배방식에 관계,  $V$ 는 재배상의 양액체적,  $Q$ 는 양액의 유입유량( $l/min$ ),  $k_i$ 는 혼입용존산소량의 공급효율로 공기혼입설비의 특성에 관계(유입양액이 완전포화상태라고 가정한다면 1 이 된다),  $k_n$ 는 공기중으로 부터 자연적으로 양액에 녹아드는 산소량의 효율로 재배상의 특성에 관계하지만 대체적으로  $k_i \approx k$  이다.

특히,  $O_{sa}$ 의 경우는 수경재배방식에 따라서 크게 상이하다. 예를 들면 담액식은 용존산소, NFT는 용존산소+공기중산소(용존산소의 약 2.5배정도), 분무경은 공기중 산소의 비중이 크다. 또한 담액식의 경우에도 수위조절에 의한 뿌리의 공기중 노출면적 변화등도 중요한 산소공급에 관련된 함수이다.

(4) 용존산소와 양액온도, 급액량과의 관계

- 급액량과 許容작물數  $n$  과의 관계(평균개념)

공급용존산소량 = 작물소비산소량 (즉, 용존산소농도가 일정)

$$O_{sa} = nO_p$$

$$\rightarrow n = \frac{O_{sa}}{O_p} = \frac{O_i + O_a}{O_p} = \frac{kQ(510 - 0.0183t^2)/(t+35) + O_a}{O_p}$$

$$\approx \frac{Q(510 - 0.0183t^2)}{O_p(t+35)} \quad (\text{산소혼입효율 } k=1, \text{ 용존산소에 의존하는 담액방식})$$

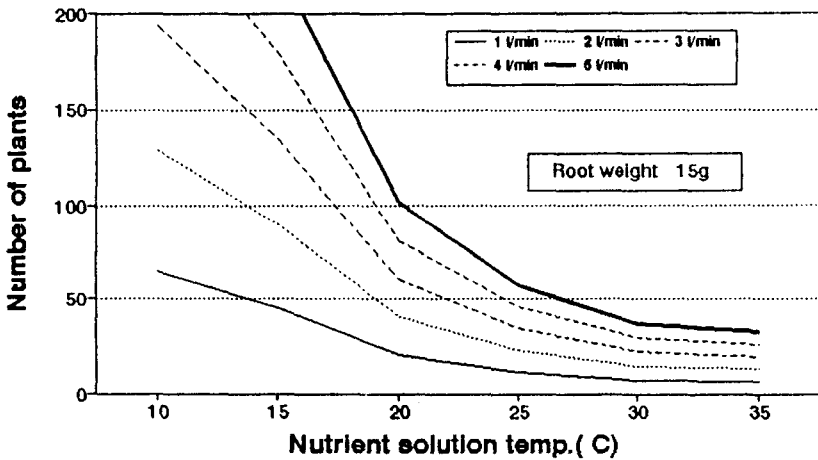


그림 7. 오이의 생육에 필요한 용존산소량을 근거한 양액온도와 작물株數와의 관계

6. 양액관리 자동화 시스템

1) 방식선택의 기본요소

경제성 고려, 노동력 절감가능성, 안전설비, A/S 용이, 양액누출등을 고려해야 한다.

2) 설비 및 장치

구성요소는 베드, 배양액탱크, 급배액장치, 부대장치(여과 및 공기주입장치), 제어장치 등이다.

3) 부대장치

(1) 비료회석기: 배양액탱크를 사용하지 않을 경우 고농축 비료 회석장치가 필요. 보통 1/100-1/200정도 사용

(2) 배양액 온도조절장치

탱크사용시는 탱크에 난방장치를 설치함(16-18℃유지), 탱크가 없을시는 온수탱크를 난방하



여 난방파이프를 배드 아래부분에 설치

(3) 급배액장치: 내부식성 플라스틱이 사용하고 배액량은 급액의 7-10%정도(개방식의 경우)

(4) 여과장치: 막힘을 방지하기 위하여 필터를 사용하나 최근 필터 자체에 의하여 막히는 경우도 있어 사용하지 않는 경우도 있다.

(5) 공기주입장치: 용존산소량 증가를 위하여 공기혼입장치, 낙차식, 순환식 등 사용

(6) 살균장치: 급액전에 여과후 자외선소독, 열소독, 오존소독 등 사용

4) 각종 계측장치

(1) 온도: 백금전극( $Pt_{100}$ ), 열전대(cc), 서미스터(반도체),

(2) EC: 전기전도도전극,  $EC_t = EC_{25}[1 + 0.02(t - 25)]$

(3) pH: 수소이온전극,  $\log_{10}[H^+]$

(4) DO: 격막전극법, 온도, 기포, 유속영향(30cm/s이상 필요)

(5) 이온: 이온전극

5) 양액재배시스템의 예

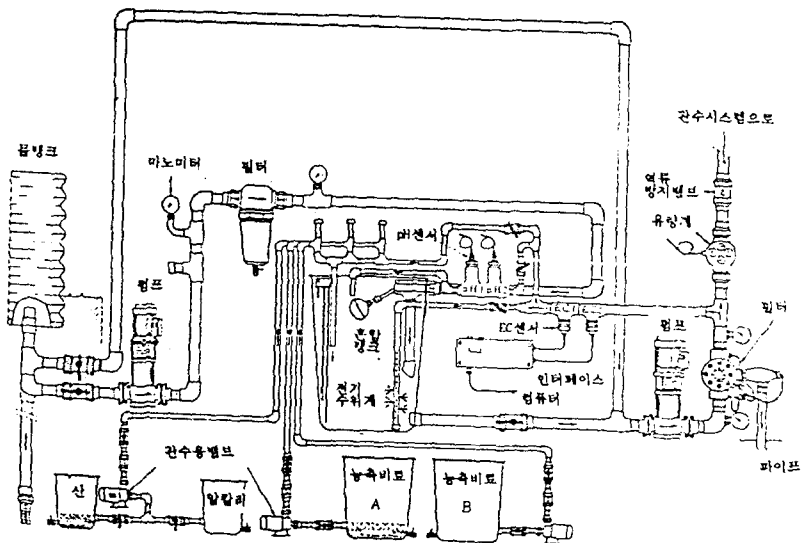


그림 8. 혼합탱크를 포함한 양액공급시스템(Takakura, 1987)

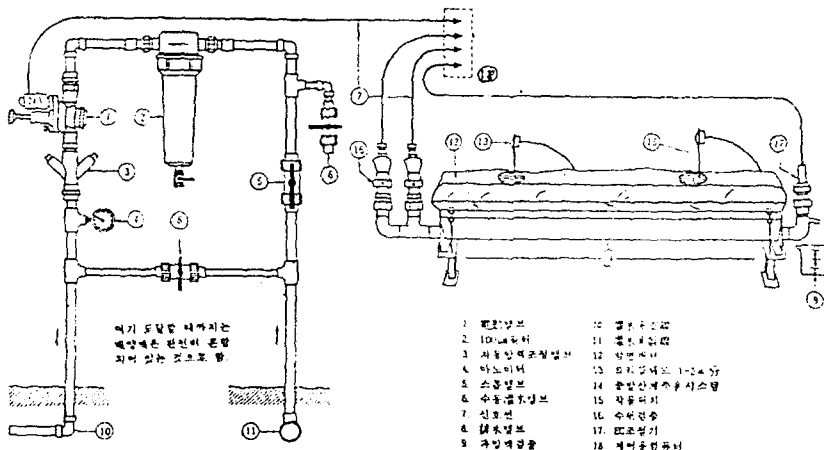
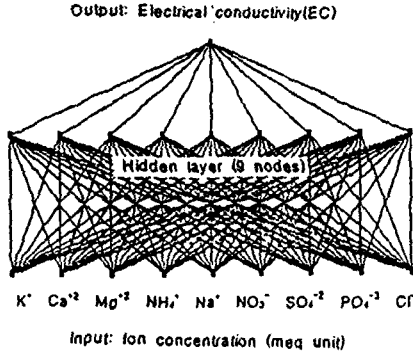


그림 9. 고압배지경의 양액공급시스템(Takakura, 1987)

7. 양액관리를 위한 새로운 기법의 도입에

1) 신경망회로에 의한 양액의 EC추정

무기화합물의 종류가 증가하면 수용액이 비선형적인 성격을 나타내기 때문에 근사적인 예측방법 이외에는 불가능한 것이 사실이다. 모델의 경우, 양액의 물리화학적 특성을 완벽하게 표현할 수 없고, 모델화하는 과정에서 많은 어려움을 내포하고 있다. 양액 관리의 기초가 되는 양액의 전기전도도 예측방법을 검토하기 위하여 각 이온의 농도를 입력, 전기전도도를 출력으로 하는 역전파 다층 회로망을 이용하여 양액의 전기전도도를 추정하였다. EC 추정을 위하여 경험적으로 설정한 신경회로망의 개요와 추정치는 다음과 같다.



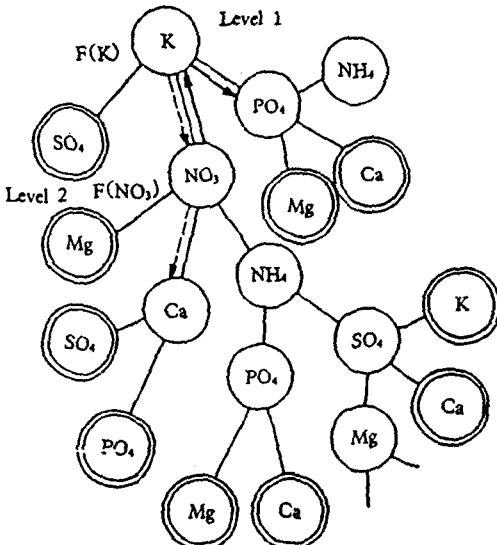
Predicted EC(mS/cm)			
$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_n$
1.38	1.32	1.47	1.36
1.73	1.67	1.88	1.76
2.09	2.04	2.28	2.11
2.30	2.24	2.58	2.32
2.72	2.62	2.85	2.76
5.09	5.09	5.80	5.07

그림 11. 신경망회로에 의한 추정치( $f_n$ )와 실측치( $f_1$ )의 비교(Son, 1993)

그림 10. 양액의 EC추정을 위해서 사용된 신경망회로(Son, 1993)

2) 양액 배합시스템

재배 도중에 양액을 분석하여 그 결과에 따라 필요한 양분조성을 보충하는 경우, 어떤 양분조성을 보충하는데 필요한 비료염의 종류는 다양하기 때문에 선택하는 비료염에 따라서 배합방법도 달라진다. 필요한 양이온과 음이온의 me/l 적산치는 반드시 일치하지는 않기 때문에, 필수 영양요소 중에서 양분조성을 배합할 때 선택가능한 비료염과 그 배합방법은 중요한 문제가 된다. 또한 부족한 이온농도를 만족시키는 양분을 투입할 경우, 모든 비료염에 대해서 시행착오적으로 양분을 배합하는 것은 맹목적인 방법이기 때문에 반경험적인 지식에 근거하여 투입비료염을 배합하였다.



★★ 採用方式 = 最小値 ★★

肥料目録	肥料の投入量	最初の不足量	最終分配(2)까지
KNO <sub>3</sub>	= 2.26- (me/l)	K = 2.00- (me/l)	0.00 (me/l)
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	= 3.83- (me/l)	Ca = 2.50- (me/l)	0.00 (me/l)
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	= 0.50- (me/l)	Mg = 1.00- (me/l)	0.00 (me/l)
Mg(SO <sub>4</sub> )	= 1.00- (me/l)	NH <sub>4</sub> = 0.50- (me/l)	0.00 (me/l)
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	= 0.21- (me/l)	NO <sub>3</sub> = 5.50- (me/l)	0.00 (me/l)
		PO <sub>4</sub> = 0.50- (me/l)	0.00 (me/l)
		SO <sub>4</sub> = 1.00- (me/l)	0.00 (me/l)
		Cl = 1.00- (mg/l)	0.00 (mg/l)
		Fe = 1.00- (mg/l)	0.00 (mg/l)
		Mn = 1.00- (mg/l)	0.00 (mg/l)
		Cu = 1.00- (mg/l)	0.00 (mg/l)
		Zn = 1.00- (mg/l)	0.00 (mg/l)
		B = 1.00- (mg/l)	0.00 (mg/l)
		Mo = 1.00- (mg/l)	0.00 (mg/l)

그림 13. 양액조제시스템에 의한 결과에(Son, 1992)

그림 12. 양액의 조제를 위한 이온간의 조합관계(Son, 1992)

## 8. 결론

양액재배는 科學營農을 선도하는 施設農業 중의 중요한 부분으로서 그 역할은 중요하다고 할 수 있고, 장래 해결해야 할 研究 및 實用化 課題도 산적해 있다고 할 수 있다. 사회적인 요청에 의하여 농업이 기술 및 자본 집약적인 형태로 가고, 도시의 소비자가 보다 청정한 채소를 원하는 양액재배의 미래는 밝다고 말할 수 있다. 양액재배 방식은 온실부터 식물공장, 나아가서는 우주공간에서의 식물재배에도 사용되고 있기 때문에 그 용도의 개척에 따라서 많은 가능성을 가지고 있는 재배방법이다.

농업생산 차원에서 고찰하면 이러한 자본집약형 방식의 양액재배에 의한 생산량은 低투자자의 전통적 방식의 토경재배에 의한 생산량의 극히 일부에 지나지 않지만 과학영농을 추구하는 未來 지향적인 농업발전을 위해서는 전통적인 방식과 첨단적인 방식은 반드시 상호 공존해 나가야 할 것이라고 사료된다.

## 9. 참고문헌

- 1) 柳寬熙. 1993. 養液狀態의 計測. 生物生産施設環境 2(2): 147-149.
- 2) 朴權瑀, 金永植. 1990. 水耕栽培의 理論과 實在. 高大出版部.
- 3) 孫禎翼. 1992. 園藝施設의 自動化를 위한 컴퓨터 利用. 農業과 情報技術 1(2): 6-12.
- 4) 孫禎翼, 金文基. 1992. 養液栽培를 위한 培養液管理 支援시스템의 開發. (1) 培養液의 配合 및 電氣傳導度(EC)의 豫測. 生物生産施設環境 1(1): 52-60.
- 5) 孫禎翼, 金文基, 南相運. 1992. 養液栽培를 위한 培養液管理 支援시스템의 開發. (2) 神經回路 網에 의한 電氣傳導度(EC)의 推定. 生物生産施設環境 1(2): 162-168.
- 6) 孫禎翼. 1993. 植物工場-未來의 都市農業. 生物生産施設環境 2(1): 69-76.
- 7) 李炳駟 외 14. 1992. 新制 施設園藝學. 鄉文社.
- 8) Adams, F. 1977. Ionic concentration and activities in soil solutions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 420-426.
- 9) Cooper, A.J. 1979. The ABC of NFT. Grower books.
- 10) Hashimoto, Y. and W. Day 1991. Mathematical and control applications in agriculture and horticulture. IFAC.
- 11) Howard, M.R. 1978. Hydroponic food production. Woodbridge press publishing company.
- 12) McNeal, B. L., Oster, J. D. and Hatcher, J. T., 1970: Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in-situ estimation of soil salinity. Soil Science, 110, 405-414
- 13) Son, J.E. and T. Takakura 1987. A study on automatic control of nutrient solutions in hydroponics. J. Agr. Met. Vol. 43(2): 147-151.
- 14) Son, J.E. 1988. A study on environmental control in factory-style production of lettuce. PhD thesis. University of Tokyo.
- 15) Son, J.E. and T. Okuya 1991. Prediction of electrical conductivity of nutrient solution in hydroponics. J. Agr. Met. Vol 47(3): 159-163.
- 16) Tanji, K. K., 1960: Predicting specific conductance from electrolytic properties and ion association in some aqueous solution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 887-889.
- 17) 高倉直. 1987. 培養液制御의 裝置化. 養液栽培의 新技術. 誠文堂新光社
- 18) 山崎肯哉. 1981. 養液栽培全篇. 博友社.
- 19) 養賢堂. 1986. 養液栽培의 新技術. 養賢堂.
- 20) 水野直治. 1984: 水溶液의 電氣傳導度에 關する 各種 이온濃度의 影響. 土肥紙 55: 103-108.