

다구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템 개발

Development of an Automatic Nutrient-Solution Mixing and Supplying System

류관희*	전성필*	이규철**	김기영*
정회원		정회원	정회원
K. H. Ryu	S. P. Chun	K. C. Lee	G. Y. Kim

1. 서론

양액재배의 장점으로 인하여 양액재배 농가가 늘고 있으며, 최근에는 넓은 면적을 여러 구역으로 나누어 구역별로 공급 양액의 조성과 급액량을 다르게 관리하는 다구역 양액재배가 증가하고 있다. 국내에서는 중소기업을 중심으로 연속식의 다구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템의 개발이 진행되고 있지만 이 장치들은 작물마다 A액, B액, 산조절액으로 농후액을 나누고 구역별로 급액량과 EC, pH를 조절하는 방식을 사용하고 있으나, 아직은 정확한 제어가 되지 않고, 작물마다 별도의 농후액을 조성해야 하며, 특정 성분농도의 증감이 어렵다는 단점이 있다. 다구역 재배를 하는 농가를 중심으로 외국 제품도 많이 보급되어 있으나, EC 및 pH의 정확한 제어가 힘들고, 아주 고가이며 기능 조작이 복잡하다는 등 우리나라 실정에 부적합한 점들이 있다.

따라서 본 연구의 목적은 다구역 양액재배시 구역별로 원소별 성분량과 급액량 제어가 가능한 연속식의 다구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템을 개발하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 원소별 농후액 공급조절장치

작물의 종류와 생육단계, 환경변화에 따라 각 이온별 흡수속도가 다르기 때문에 배양액의 조성을 변화시켜 작물생육에 적합한 배양액을 공급하는 것이 적절하다. 본 연구에서는 비료별로 따로 조제된 각 농후액의 토출량을 조절함으로써 원소별로 농후액의 증감조절이 가능한 원소별 농후액 공급조절장치를 개발하였다. 원소별로 농후액을 공급하는 방식은 원소들간 화학반응과 불순물등에 의한 침전물의 생성을 줄이고, 공통 비료염을 사용하는 작물의 경우 원소별 농후액의 조합만 달리해 줌으로써 작물에 따라 각기 다른 농후액을 별도로 조제하지 않아도 되므로 노동력을 줄일 수가 있다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

** (주)마포산업전자

농후액 공급조절장치는 각각 오버플로우식 액체정밀계량장치, 마그네트 펌프, 솔레노이드 밸브, 여과기, 농후액 소탱크로 구성된다. 8개의 액체정밀계량장치에는 5가지 다량원소 농후액, Fe-EDTA 농후액, 미량원소 농후액 그리고 산 조절액이나 알칼리 조절액을 넣을 수 있도록 하였다.

2.2. 원수 유입량 계측 시스템

다구역 재배방식에서는 구역별로 배양액의 조성과 공급량이 다르기 때문에 구역별로 이를 조절하기 위해서는 유입되는 원수의 양을 정확히 계측하고 제어할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 부자식 레벨 트랜스미터(float-type level transmitter)를 사용하여 혼합탱크내 수위를 계측함으로써 간접적으로 원수 유입량을 계측하였다.

2.3. 양액 상태 계측 시스템

본 연구에서는 제어대상을 EC로 하지 않기 때문에 EC 센서가 피드백 신호 발생용으로 사용되지는 않고 정보용으로 사용된다. EC 센서는 배지로 공급되는 관에 설치하여, 좀 더 안정된 값을 계측하도록 하였다.

2.4. 배양액의 조제 및 공급 알고리즘

본 연구에서는 비순환식 양액재배를 대상으로 하여 비료염을 양액 조성표의 비율대로 투입하므로 제어대상을 각 성분의 농도로 하는 방식을 사용했고, 배양액을 공급하는 방식은 넓은 재배 면적에도 적용이 가능하고 혼합탱크가 차지하는 공간을 줄일 수 있는 연속식을 사용하였다. 제어대상을 각 성분 농도로 하는 방식은 필요에 따라 특정 성분의 농도와 전체 농도의 증감이 모두 가능하지만 원수 유입량과 농후액 토출량을 정확히 계측 해야 하고, 유입원수의 수질 분석이 필요하다. 다구역 재배에서는 구역별로 배양액의 조성이 다를 수 있기 때문에 이전에 급액하고 혼합탱크나 관내에 남은 양액이 다음 급액때 영향을 줄 수 있다. 이것을 방지하기 위하여 이전 구역에 공급했던 양액을 원수로 씻어 내어 가능한 낮은 농도가 되게 하여 그 부작용을 최소화 시키는 세척(rinse) 과정이 필요하다.

위에 서술한 내용을 기반으로 본 연구에서 개발한 배양액의 조제 및 공급 알고리즘을 그림 1에 나타내었다.

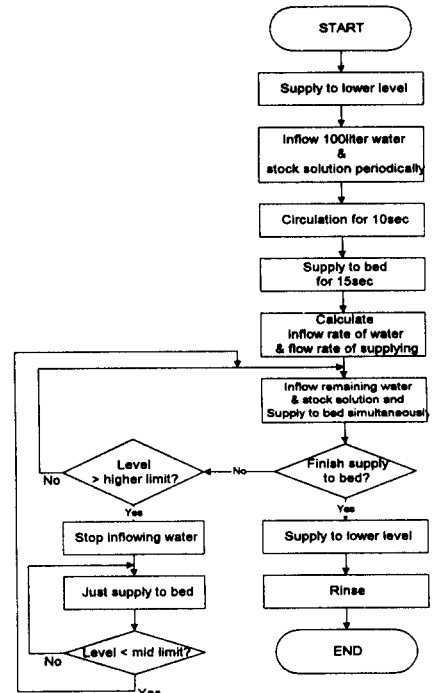


Fig. 1 Flowchart of the algorithm for mixing and supplying nutrient-solution

2.5. 다구역용 양액 자동조제공급 제어기

2.5.1. 장치 구성

그림 2는 제어기의 구성도를 나타낸 것이다.

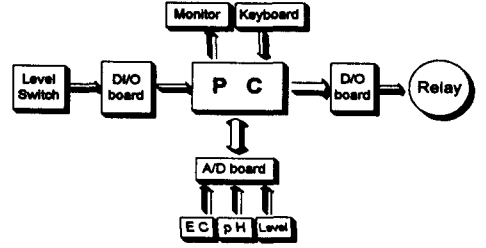


Fig. 2 Schematic diagram of the controller

2.5.2. 다구역 재배용 양액 자동조제공급 프로그램

개발된 다구역 온실용 양액자동조제공급 장치를 이용하여 사용자가 원하는 조성의 양액을 원하는 양만큼 급액할 수 있도록 양액자동조제용 소프트웨어를 개발하였다. 사용된 프로그래밍 언어는 Microsoft사의 Visual C++ 6.0이다.

개발된 소프트웨어는 자동/수동 모드로 되어 있고 수동 모드에서는 원하는 구동기를 원하는 시간 동안 구동할 수 있도록 되어 있다. 자동 모드에서는 사용자가 구역별로 양액조성과 농축배율, 급액량, 급액 스케줄을 입력하면 급액시간에 사용자 설정값에 맞도록 양액을 공급하도록 되어 있다. 그림 3에 개발된 소프트웨어의 흐름도를 나타내었다.

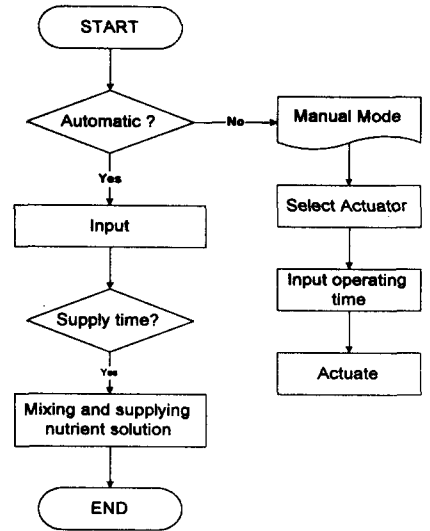


Fig. 3 Flowchart of the program for operating the automatic nutrient-solution mixing and supplying system.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원소별 농후액 공급조절장치

3.1.1. 솔레노이드 밸브의 토출량 편차와 시간당 토출량 실험

농후액 공급조절장치의 농후액 토출량 편차를 알아보기 위하여 토출량 편차 실험을 수행하였다. 8개의 솔레노이드 밸브간의 토출량 편차 실험 결과를 그림 4에 나타내었다. 토출량 편차 실험을 밸브당 각 5회에 걸쳐 5초씩 구동하여 수행한 결과 8개의 샘플 중 7개는 최대 1%편차 내에서 토출되었으며, 나머지 1개의 샘플간의 편차는 최대 -1.23% 내에서 토출이 되었다. 하나의 솔레노이드 밸브를 선정하여 구동시간을 3초부터 15초까지 변화시키면서 토출량 실험을 수행하였다. 구동시간과 배출량의 관계를 그림 5에 나타내었으며 결정계수(R^2)는 0.9999로 나타났다. 회귀식에 의한 예측량과 실제

토출량이 거의 일치하여 솔레노이드 밸브 구동시간에 의한 농후액 토출량의 제어가 가능함을 확인하였다.

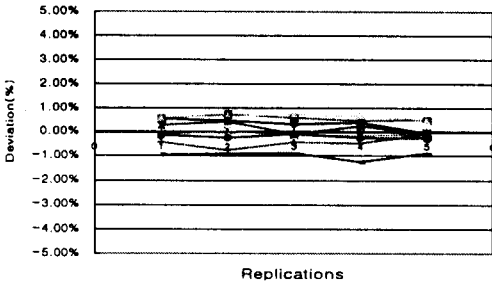


Fig. 4 Deviation in flow rate from an average flow rate when 8 solenoid valves were used

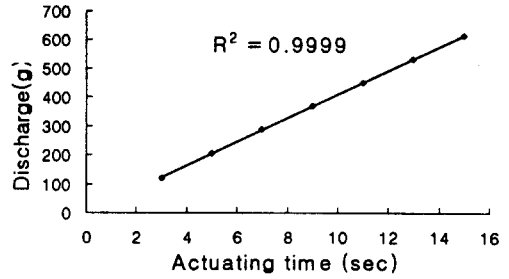


Fig. 5 Regression curve of the stock solution discharge with respect to actuating time of the solenoid

3.1.2. 농후액 공급조절장치의 반복 구동에 따른 내구성 시험

상용 정량펌프의 문제점은 사용시간이 경과함에 따라 토출량이 변화하는 것이다. 농후액 공급조절부의 토출량이 시간에 따라 변화하는지를 조사하기 위하여 상용의 정량펌프 2개와 반복 구동회수에 대한 내구성 비교시험을 실시하였다.

시험을 위하여 1일 조제횟수와 1회 조제시 필요한 시간으로부터 소요시간을 계산하였다. 1회 조제는 총 3회의 농후액 공급으로 이루어지며, 1일 동안 5번 배지에 공급하는 것으로 가정하였다. 1회 조제시간은 10초간 농후액 공급, 50초간 휴식의 과정을 3회 반복하여 총 3분 정도 소요되는 것으로 산정하였다. 그림 6은 개발된 농후액 공급조절장치와 2가지 정량펌프에 대한 15개월 동안의 반복 구동회수에 대한 내구성시험 결과를 나타낸 것이다. 개발된 농후액 공급조절장치는 약 0.4% 정도의 최대 편차를 보이며 Hanna와 Blue White 정량펌프는 각각 4.3%, 4.4%의 최대 편차를 보이고 있다. 15개월의 시험결과 개발된 농후액 공급조절장치의 반복 구동회수에 대한 내구성이 우수함을 확인하였다.

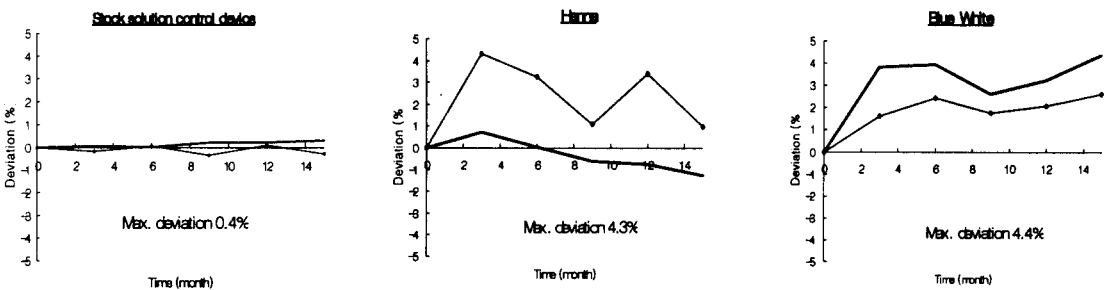


Fig. 6 Results of durability test against repeated operation for each devices

그림 7은 농후액 공급조절장치의 6년(72개월)동안의 반복 구동회수에 대한 내구성시험 결과를 나타낸 것이다. 최대 편차는 1.8%로 나타났으며, 토출량이 계속 증가하거나 감소하는 상황은 일어나지 않음을 알 수 있었다. 시간이 경과하면서 토출량 편차가 초기보다 증가하는 이유는 시간이 지남에 따라 A, B농후액에 의한 침전물이 발생하여 유로에 영향을 준 것으로 추정된다.

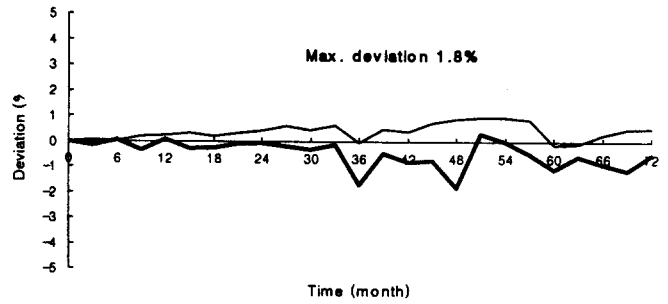


Fig. 7 Results of durability test against repeated operation of the stock solution control device (for 6 years)

토출량 편차의 원인으로는 위에서 실험한 반복 구동에 따른 것뿐만 아니라 펌프나 밸브등이 농후액과 접촉하는 사용시간이 될 수도 있다. 그러나 실제 사용시간에 따른 내구성 시험을 위해서는 많은 시간이 소요되는 관계로 본 연구에서는 수행하지 못했다.

3.2. 원수 유입량 계측 시스템

실제 원수유입량의 편차를 알아보기 위하여 목표 원수유입량을 150 l와 160 l, 170 l로 설정하여 원수유입량 편차 실험을 수행하였다. 실험 결과를 표 1에 나타내었으며, 목표 원수유입량과 실제 원수유입량간의 편차는 2.73% 이내로 나타났다.

Table 1 Deviation in amount of inflow water based on float-type level transmitter

Target inflow water	150 l			160 l			170 l		
Replication	1회	2회	3회	1회	2회	3회	1회	2회	3회
Flow rate (l/s)	2.301	2.301	2.249	2.302	2.353	2.251	2.250	2.198	2.250
Measurements(l)	145.9	149.4	149.4	159.3	157.3	161.6	171.0	171.0	171.0
Deviation(%)	-2.73	-0.40	-0.40	-0.44	-0.17	1.00	0.59	0.59	0.59

3.3. 양액의 조제 결과 및 고찰

3.3.1. 세척

세척과정 전에 배지로의 양액 공급은 하한 수위에서 정지하게 된다. 하한 수위에서의 혼합탱크내 잔량은 약 13.0 l인데, 이때 잔량 농도를 최대한 신속하고 적은 세척량 (clear volume)으로 낮출 수 있도록 세척량과 세척회수를 변화시키면서 실험을 수행하

였다. 세척효율 실험결과 총 세척량을 일정하게 할 때 세척회수는 여러 번 나누는 것이 효율적이었고, 총 세척량은 소요시간과 세척후 잔존 양액의 EC등을 고려하였을 때 30 l가 적당하였다. 그림 8에 30 l를 10 l씩 3회로 나누어 세척을 하였을 때의 EC 변화량을 나타내었다.

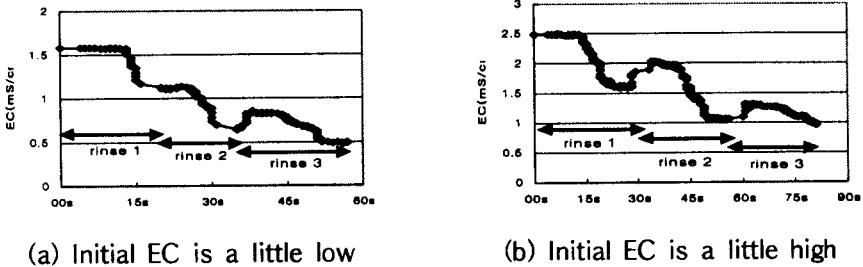


Fig. 8 EC change in rinse process

3.3.2. 조제 및 급액시간 동안의 EC 변화 양상

그림 9는 토마토용 야마자키액 조성 410 l를 급액하였을 때의 EC 변화와 탱크내 수위 변화 양상을 나타내는 그림으로써 조제 및 급액 알고리즘을 알 수 있다.

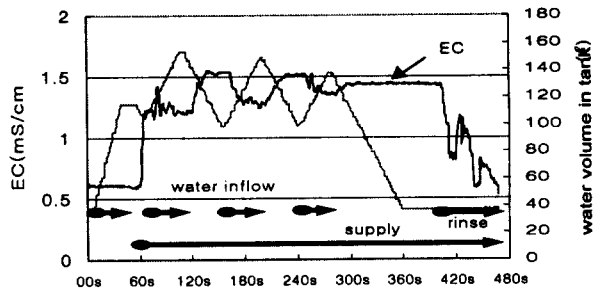


Fig. 9 Changes in EC and water volume in tank for supplying 410 l (Yamasaki for tomato)

3.3.3. 개발된 시스템

개발된 시스템의 조제 성능을 평가하기 위하여 오이용 야마자키액 180 l를 조제, 공급하였을 때 양액에 포함된 6개의 다량원소중 질산 이온과 인산 이온에 대해서 실험실에서 조제된 이온 농도와의 비교 실험을 3회에 걸쳐 수행하였고, 분석기기로는 이온 크로마토그래피를 사용하였다. 표 2에 결과를 나타내었다.

개발된 시스템으로 조제한 양액중에 포함된 질산(NO_3^-)과 인산 이온(PO_4^{3-})의 농도는 실험실에서 조제된 양액에 비하여 각각 2.36%, 5.15% 낮게 나왔는데, 이는 원수유입량의 측정 오차(2.73%), 이온 크로마토그래피 본체 및 장비 운용시에 발생할 수 있는 오차(1%이내)등을 고려하면 설명가능한 수치라고 사료된다.

Table 2 Comparison between element concentrations of nutrient-solution compounded in laboratory and element ones of nutrient-solution compounded by developed system

	NO ₃ ⁻				PO ₄ ³⁻			
In laboratory (ppm)	750.98				92.97			
Replication	1	2	3	Avg.	1	2	3	Avg.
By system (ppm)	727.39	734.93	737.55	733.29	88.69	87.04	88.81	88.18
Deviation (%)	-3.14	-2.13	-1.79	-2.36	-4.6	-6.3	-4.47	-5.15

3.4. 다구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템

그림 10과 11은 개발된 전체 시스템의 외형을 보여준다.

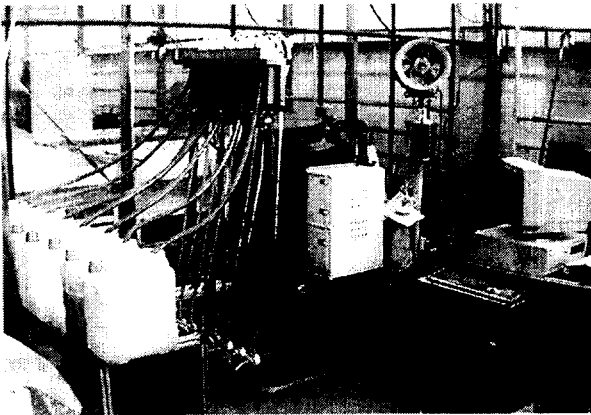


Fig. 10 Front view of the automatic nutrient-solution mixing and supplying system developed

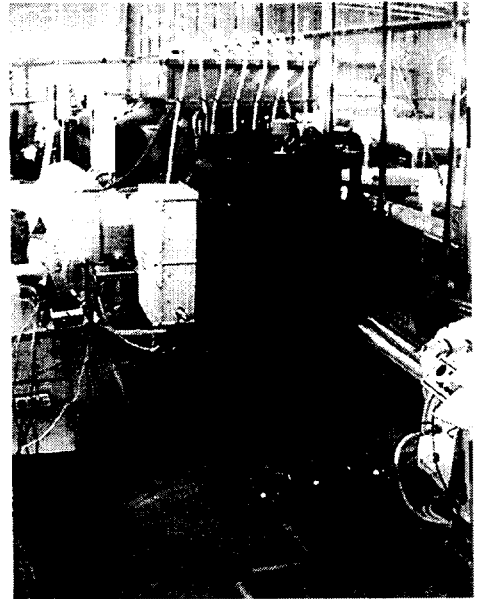


Fig. 11 Side view of the automatic nutrient-solution mixing and supplying system developed

4. 결론

본 연구는 다구역 양액재배에 적용할 수 있는 연속식 양액 자동조제공급 시스템 개발을 위한 목적으로 수행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 기존의 정량펌프에 비해 정밀성 및 반복 구동회수에 대한 내구성이 우수하고 구동시간에 따라 토출량을 정밀 제어할 수 있는 원소별 농후액 공급조절장치를 개발하였으며, 개발된 원소별 농후액 공급조절장치의 시간당 토출량 실험 결과 결정계수는 $R^2=0.9999$ 이었고 3초~15초 구동시간동안의 회귀식에 의한 토출량과 실제 토출량 편

차를 비교한 결과 최대 0.82%로 나타나 회귀식에 의한 구동시간에 따른 토출량 제어가 가능성이 확인되었다.

2. 원소별 농후액 공급조절장치의 원소별 토출량 증감을 통하여 조성이 다른 양액을 조절할 수 있었으며, 생육단계에 따른 원소별 농도의 증감 조절이 가능하였다.
3. 원수유입량 편차 실험 결과 목표 원수유입량과 실제 원수유입량간의 편차는 2.73% 이내로 나타났다.
4. 세척 과정을 통해 EC가 1.4~1.6mS/cm인 경우에는 0.5~0.6mS/cm, 2.4~2.6mS/cm인 경우에는 0.9~1.0mS/cm 정도로 낮추어 급액후 잔류 양액의 영향을 줄일 수 있었다.
5. 개발된 대구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템의 성능을 평가하기 위하여 오이용 야마자키액 조성의 배양액 180 ℓ를 조제, 공급하였을 때 양액에 포함된 NO_3^- 와 PO_4^{3-} 이온에 대하여 실험실에서 조제한 양액의 이온 농도와 비교 실험을 3회에 걸쳐 실시한 결과, 개발된 시스템으로 조제한 양액중에 포함된 NO_3^- 이온과 PO_4^{3-} 이온은 실험실에서 조제된 양액에 비하여 각각 2.36%, 5.15% 낮게 나타났다.

5. 참고 문헌

1. 정순주 외 10인. 1997. 양액재배 보급확대를 위한 자동양액 관리기기, 장치, 시스템의 국산화 개발. 최종 연구보고서. 전남대 농과대학. p1-2, 5.
2. 김승희, 이공인, 유병기, 손정익. 1997. 양액재배 기계장치에 관한 연구 : 양액혼입 및 공급자동화시스템 개발. 농업기계화 시험연구보고서. p374-380.
3. 이정훈. 1997. 액체 정밀 계량 장치를 이용한 양액 자동조제 시스템 개발. 서울대학교 석사학위논문.
4. 김형준, 우영희, 남윤일, 권영삼. 1998. 양액 자동공급 장치 개발. 생물생산시설환경학회지. 7(1).
5. 이인복, Peter R. Fynn, Ted H. Short. 1998. Automatic five headed nutrient injector system. 한국농업기계학회 1998년 동계 학술대회 논문집. p395-400.
6. 손정익, 김문기. 1992. 양액재배를 위한 배양액관리 지원시스템의 개발. I. 배양액의 배합 및 전기전도도(EC)의 예측. 생물생산시설환경학회지. 1(2).
7. 박상근, 김광용. 1995. 수경재배 - 기초이론부터 산업화까지. 오성출판사. p134.
8. C. de Kreij. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. Acta Hort. Soilless Cultivation Technology for Protected Crops. 408:47-61.
9. R. Peter Fynn. 1994. Water and Nutrient Delivery - Ebb and Flood. Proceedings from the Greenhouse Systems International Conference New Brunswick. p102-112.