

# 양액 자동조제용 액제 정밀계량 장치 개발<sup>+</sup>

## Development of a Low-Cost and Precise Liquid Metering Device for Automatic Nutrient-Solution Control

李 正 勳\* 柳 寬 煦\* 李 奎 哲\*

정회원 정회원

J. H. Lee K. H. Ryu K. C. Lee

### ABSTRACT

A low-cost and precise metering device, which is suitable to automatic mixing of nutrient-solution for hydroponic culture, was developed for small-scale growers. The metering device was composed of three parts those were supply pumps, metering cylinders and venturi tube. Those parts were controlled by personal computer with time-based on/off control method.

To verify the performance of the developed metering device, the relationship between operating time and discharge was examined and the accuracy of the developed metering device was compared with commercial metering pumps.

The results of this study are as follows.

1. The correlation coefficient between the flow rate and operating time was 0.9999, and the linear regression equation computed was  $y=21.759x$ , where  $y$  is the discharge(g) and  $x$  is the operating time(s).
2. The developed device has greater accuracy than commercial metering pumps in terms of the full-scale error. Calculated errors for the developed metering device and two commercial pump were  $\pm 0.3\%$ ,  $\pm 2.45\%$  and  $\pm 1.38\%$  respectively.
3. Above results show developed metering device is a useful tool for nutrient-solution control system.

**주요용어(Key Words)** : 계량장치(Metering device), 양액(Nutrient-solution),  
수경재배(Hydroponics)

\* 본 연구는 농림수산부의 1995년도 현장애로기술사업개발 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 서울大學校 農業生命科學大學 農工學科

## 1. 서 론

고품질의 무공해 농산물을 생산하여 소비자의 기호를 충족시키고자 하는 노력이 증가하면서 양액 재배에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 양액재배는 초기 시설비의 투자가 크고 재배자의 높은 지식수준을 요구하기 때문에 소규모 농가에서 양액재배를 채택하는데 어려운 점이 있으며, 또한 두 종류의 농축배양액을 사용하는 경우 두 양액의 토출량 편차가 발생하여 정밀한 양액제어가 어렵다는 단점 때문에 농가 보급에 제한을 받고 있다.

현재 채택되어 사용되는 농축배양액 주입펌프장치로써는 벤튜리관식 펌프, 수압작동식 펌프, 전기작동식 펌프 등이 있다. 그러나 벤튜리관식 펌프는 관내를 흐르는 유체의 유속을 이용하므로 토출유량의 조절이 어려워 사용자가 설정한 공급유량을 정밀하게 공급하기 힘들고 수압작동식 펌프는 수압에 영향을 받으며 양액 주입 주기가 길므로 정확한 개폐 단속이 까다로와 양액조제용 펌프로서 부적합하다. 전기작동식 펌프는 정밀한 양액의 주입이 가능하나 가격이 고가이며 사용시간에 따라 제품간 토출량 편차가 증가하여 농축배양액 공급용으로는 부적절하다. 따라서 양액재배의 보급확산을 위해서는 정밀한 양액제어가 가능한 농축배양액 공급장치의 개발이 시급한 실정이다.

본 연구의 목적은 정밀한 양액조제를 위한 액제 정밀계량 장치의 개발이며 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 농축배양액 공급장치로 사용되는 상용 정량펌프의 성능을 평가하는 실험을 수행한다.
2. 저렴한 액제 정밀계량 장치를 유체정역학적 분석을 통하여 설계·제작한다.
3. ON/OFF 제어를 통하여 액제 정밀계량 장치의 성능을 평가한다.
4. 개발된 액제 정밀계량 장치와 컴퓨터를 이용하여 자동화된 농축배양액 공급장치를 구성한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 농축배양액 공급 방식

양액재배는 정밀한 양액 조제가 필수적이므로 우선 농축배양액을 정밀 계량하고, 계량된 농축배양액을 원수와 혼합하여 조제하는 방법을 결정하는 것이 중요하다.

그림 1은 본 연구에서 개발된 액제 정밀계량 장치를 이용한 양액 자동조제 장치의 전체 시스템을 나타낸 블록도이다. 정밀액제 계량은 다음과 같이 구현된다. 농축배양액이 농축배양액 공급부로부터 소형 임펠러 펌프를 통하여 농축배양액 계량 및 배출부로 공급되면, 농축배양액 계량 및 배출부에서는 수위센서를 이용하여 농축배양액을 일정 높이로 유지하고 전자 밸브를 이용하여 계량된 농축배양액을 양액 역류 방지부로 배출한다. 벤튜리관으로 구성된 양액 역류방지부는 압력차에 의한 양액의 역류현상을 방지하고 농축배양액 흡입 및 혼합성능을 향상시키며 양액 혼합부와 연결되어 물공급부로부터 유입된 물과 농축배양액을 혼

합하여 양액을 공급하게 된다. 이러한 일련의 과정은 양액 계측부 및 양액 제어부의 계측 및 제어 신호를 바탕으로 하여 수행된다.

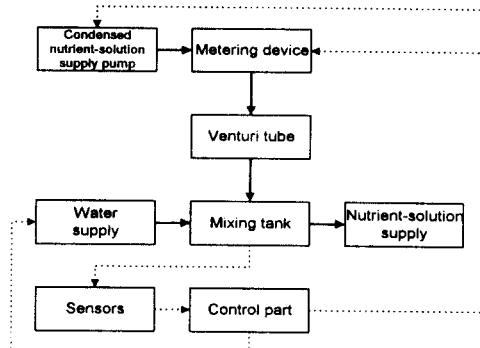


Fig. 1 Block diagram of the automatic nutrient-solution control system.

#### 나. 액제 정밀계량 장치

액제 정밀계량 장치의 설계기준은 경제성, 정밀성, 내구성 및 내화학성이며 농축배양액 공급부, 농축배양액 계량 및 배출부, 양액 역류 방지부 등으로 구성하였다.

농축배양액 공급부는 농축배양액 탱크에 저장된 농축배양액을 농축배양액 계량 및 배출부로 공급하며 공급펌프와 그 공급량을 조절할 수 있는 수동밸브로 구성된다. 농축배양액 공급펌프의 선정기준은 경제성, 내구성, 내화학성이며 정밀한 양의 제어를 위하여 적은 양의 배양액을 배출할 수 있는 것이어야 한다. 이 연구에서 선정된 펌프는 임펠러 형식이고 재질은 폴리프로필렌으로 내구성 및 내화학성을 가진다. 또한 농축배양액 계량 및 배출부로의 공급유량을 다소간 결정할 수 있도록 하기 위하여 농축배양액 공급펌프의 배출구 쪽에 수동밸브를 장착하였다. 표 1에 선정된 펌프의 명세를 나타내었고 그림 2에 펌프의 외형을 보였다.

다음으로 농축배양액 계량 및 배출부는 농축배양액 공급부로부터 공급된 액제를 계량하기 위한 계량용기, 액제의 높이를 일정하게 유지시키는 수위센서, 그리고 양액역류 방지부로 농축배양액을 배출하기 위한 전자밸브로 구성된다.

농축배양액 계량 및 배출부를 구성하는 계량용기는 ‘연속적으로 분포된 균일한 정지상태의 유체에서 압력은 용기의 모양에는 관계가 없으며 유체의 깊이에 따라 증가한다’는 유체 정역학적 원리를 이용하여 설계하였다. 계량용기의 규격은 다음의 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 결정하였다.

Table 1 Specifications of the supply pump.

| Specifications | Supply pump         |
|----------------|---------------------|
| Manufacturer   | KUMIL               |
| Size           | 200 × 100 × 150 mm  |
| Material       | Polypropylene       |
| Weight         | 3 kg                |
| Power          | 110/220 V; 50/60 Hz |



Fig. 2 View of the supply pumps.

$$Q = \frac{A \times V}{1000} = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \times \frac{V}{1000} \quad (1)$$

$$V = \sqrt{2gH} \quad (2)$$

윗 식을 이용하여 계량용기의 높이는 20 cm, 직경은 10 %의 마찰손실을 고려하여 9.53 mm (3/8 in)로 결정하였다.

계량용기내 농축배양액의 수위를 일정하게 유지하기 위해 부자형(float type) 수위센서를 이용하였으며 그림 3에 그방법을 나타내었다. 그림에서 ①은 농축배양액을 하부 수위센서 위치까지 공급하는 그림이고 ②는 일정 높이의 수위를 확보한 후 조제하기 전 대기 상태이고 ③은 수위를 유지하며 농축배양액을 공급 및 배출하는 그림이며 ④는 상부 수위센서로 농축배양액의 넘침을 방지하는 그림을 나타낸다.

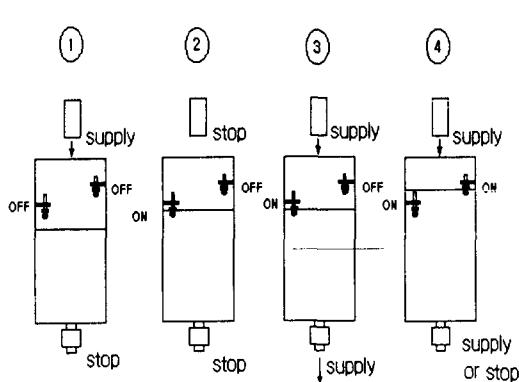


Fig. 3 Theory of operating metering cylinder.

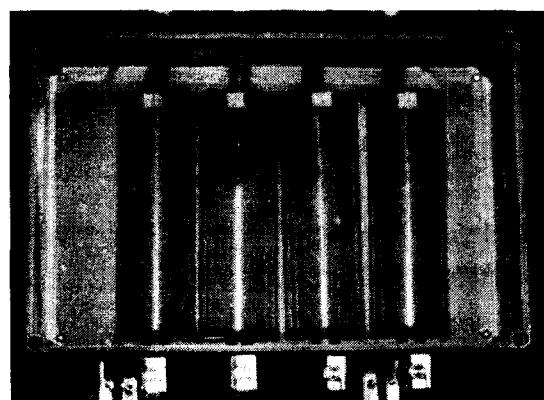


Fig. 4 View of the metering cylinder developed.

양액 역류 방지부로 농축배양액을 배출하기 위하여 설치된 솔레노이드 밸브는 빠른 응답 특성을 가지며 분해 및 조립이 간단하고 내구성이 뛰어난 장점이 있다. 그림 4에 농축배양

액 계량 및 배출부의 형태를 나타내었다.

마지막으로 양액 역류 방지부는 파이프내의 압력을 낮추고 유체의 속도를 증가시켜 농축 배양액의 흡입을 원활히 하고 양액의 혼합성능을 향상시키며 양액이 계량용기내로 역류하는 현상을 방지하기 위하여 설계·제작하였다.

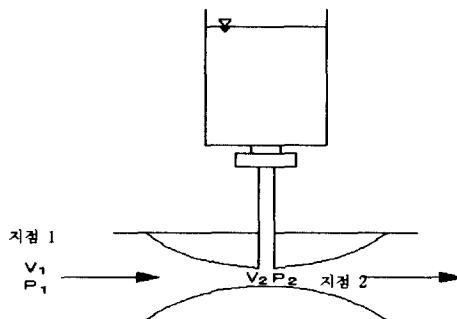


Fig. 5 Venturi tube.

그림 5는 양액 역류 방지부를 설명하는 그림으로 지점 1과 2에 대한 비압축성 유체의 에너지 방정식을 유도하면 식 (3)과 같이 된다.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 \quad (3)$$

또한 연속방정식을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으므로, 배출유량은 다음 식으로 구해진다.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (4)$$

그림 6에 벤튜리관 직경과 배출유량과의 관계를 나타내었고, 그림 7에 개발된 양액 역류 방지용 벤튜리관을 나타내었다.

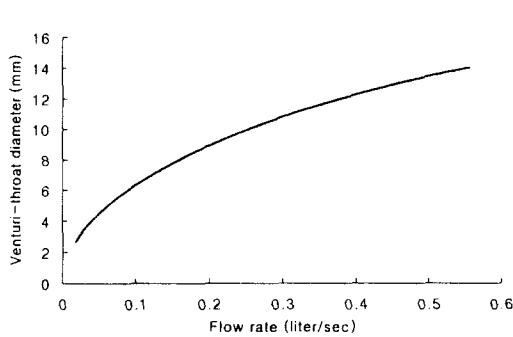


Fig. 6 Relationship between venturi-throat diameter and flow rate.

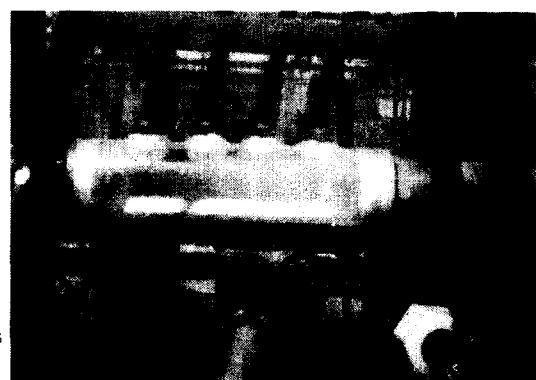


Fig. 7 View of the venturi tube developed.

#### 다. 액제 정밀계량 장치 구동 프로그램

농축배양액 공급부, 농축배양액 계량 및 배출부 및 양액 역류 방지부로 구성된 액제 정밀계량 장치는 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 제어된다.

상술한 액제 정밀계량 장치를 구동하기 위한 제어 프로그램을 볼랜드사의 C/C++ 프로그램을 이용하여 작성하였다. 구동 프로그램이 시작되면 DIO 포트를 초기화 한 후, 네 개의 수위센서를 점검하고 농축배양액 공급용 펌프를 작동하여 계량용기내 농축배양액의 수위를 유지한다. 그 후 공급할 농축배양액에 대한 작동시간을 결정한 후 농축배양액 공급 펌프와 솔레노이드 밸브를 동시에 가동하여 농축배양액을 벤튜리관으로 배출하게 되며, 매 순간 공급시간과 설정시간을 비교하게 된다. 이때 순수한 공급시간만을 계산하기 위해 농축배양액의 수위를 유지하기 위한 각 펌프의 개별 작동시간은 작동시간 계산에서 제외하였다. 이런 순서로 계량용기내 농축배양액의 수위가 일정하게 유지되면서 공급됨으로써 두 종류의 농축배양액 공급량은 정밀하게 제어된다.

#### 라. 성능실험

액제 정밀계량 장치의 성능을 실험하기 위하여 구동시간에 따른 농축배양액 공급장치의 배출량, 제품간 배출량 편차를 측정하였다.

또한 개발된 액제 정밀계량 장치를 구동시간으로 제어하기 위하여 구동시간과 배출량의 관계를 구명하고자 하였다. 이 실험은 계량용기내 수위를 20 cm로 유지하면서 구동시간을 10초씩 증가시켜가며 배출량을 조사하는 방식으로 수행하였다.

4개의 액제 정밀계량 장치의 제품간 배출량 편차는 10회에 걸쳐 각각 30초간 구동한 배출량으로 비교하였으며 4개월 동안 600시간을 구동한 후 배출량을 조사하였다. 또한 상용 정량펌프와의 비교실험을 위하여 한나(HANNA, Italy)사와 블루화이트(Blue White, USA)사의 정량펌프를 각각 2개씩 채택하여 5회에 걸쳐 각각 30초간 구동시 나타나는 제품간 배출량 편차를 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

개발된 액제 정밀계량 장치의 구동 시간과 배출량의 관계를 그림 8에 나타내었으며 회귀방정식을 식 (5)에 나타내었다. 구동시간과 배출량과의 상관계수는 0.9999로 나타났으며 구동시간을 이용하여 액제 정밀계량 장치의 제어가 가능함을 확인하였다.

$$\text{Discharge(g)} = 21.759 \times \text{Time(sec)} \quad (5)$$

개발된 4개의 액제 정밀계량 장치의 제품간 배출량 편차 그래프를 그림 9에 나타내었다. 또한 한나(HANNA, Italy)사와 블루화이트(Blue White, USA)사의 정량펌프에 대한 제품간 배출량 편차 그래프를 그림 10 및 그림 11에 각각 나타내었다.

개발된 액제 정밀계량 장치를 4개월 동안 600시간을 구동한 후 제품간 배출량 편차를 10

회에 걸쳐 각각 30초간 구동하여 성능실험을 수행한 결과 그림 9에서와 같이 제품간 편차가 0.33 %로 나타났다. 반면에 상용 정량펌프의 경우 그림 10의 HANNA사의 제품은 1.38%, 그림 11의 Blue White사의 제품은 2.45%로 각각 나타났다. 따라서 개발된 액제 정밀계량 장치를 이용하는 경우 상용의 정량펌프를 사용한 경우에 비해 양액의 정밀한 조제가 가능하며 주기적인 배출량 점검 및 교정이 필요 없다고 판단된다.

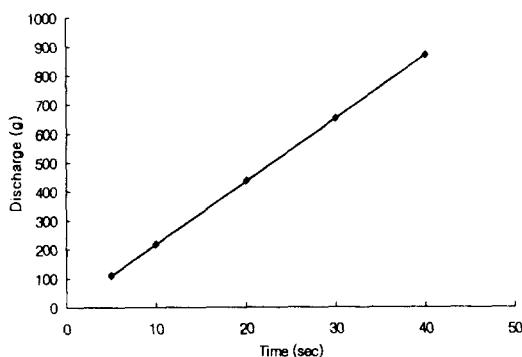


Fig. 8 Regression curve of the metering device developed.

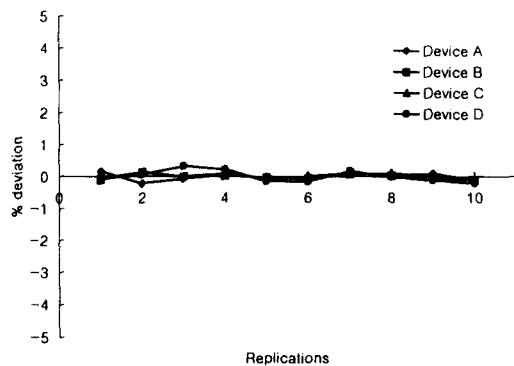


Fig. 9 Deviation in flow rate between the metering devices developed.

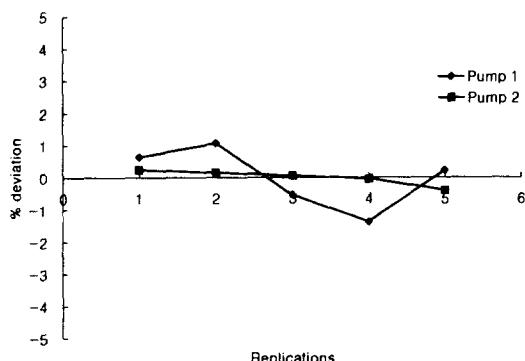


Fig. 10 Deviation in flow rate for the commercial metering pumps made by HANNA Inst.

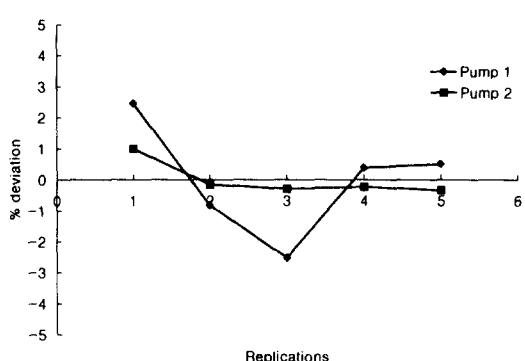


Fig. 11 Deviation in flow rate for the commercial metering pumps made by Blue White Ind.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 정밀한 양액조제를 위한 액제 정밀계량 장치의 개발을 목적으로 수행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

- 액제 정밀계량 장치의 구동시간과 배출유량과의 상관계수는 0.9999이며 선형회귀방정식은  $y=21.759x$ 로 나타났다.

2. 액체 정밀계량 장치의 배출량 편차는  $\pm 0.33\%$ 로 나타났으며 이 값은 두 가지 형태의 상용 정량펌프의 배출량 편차인  $\pm 2.45\%$ ,  $\pm 1.38\%$ 에 비하여 작았다.
3. 이상의 결과로부터 개발된 액체 정밀계량 장치는 양액 자동조제 시스템의 농축배양액 공급장치로 적합함을 확인하였다.

## 5. 참 고 문 헌

1. 박권우, 김영식. 1991. 수경재배의 이론과 실제. 고려대학교 출판부.
2. 박상근 외. 1995. 수경재배 <기초이론부터 산업화까지>. 오성출판사.
3. 오길근. 1995. 양액 자동제어 장치 및 공급량 예측 프로그램의 개발. 서울대학교 석사학위논문.
4. Frank M. White. 1986. Fluid mechanics-2nd ed. McGraw-Hill Book Company.
5. Robert L. Mott. 1994. Applied fluid mechanics-4th ed. Macmillan Publishing Company.