

마이크로컴퓨터를 이용한 시설원예작물 재배의 관개자동화에 관한 연구

A Study on the Automatic Irrigation Control System in the Vinyl-House Cultivation Utilizing Microcomputer

김철수*, 김진현**, 정성원**
C. S. Kim, J. H. Kim, S. W. Chung

Summary

The purpose of this study was to develop a computer operated automatic drip irrigation system for application in vinyl-house cultivation. The results can be summarized as follows:

- 1) The T-type ice compensation wire was used to measure the temperature. The voltage level measured up to 0.02 volt was used as input to an 8-bit A/D converter.
- 2) A specially devised tensiometer was used to content the watering system. When the needle of the pressure gauge reaches the lower threshold position it turns on the pumping system and turns off when it reaches higher threshold position.
- 3) In order to use the multiple gypsum blocks for one transducer, reed relays and a D/O board were used to make the sequential switching possible.
- 4) It was possible to automate the trickle irrigation system for the whole growth period of vinyl-house crops with the help of microcomputer.
- 5) In terms of furrow irrigation, the irrigation water consumption was the smallest, 2.8 times less than conventional method of surface trickle irrigation, 3.4 times less than subsurface trickle irrigation method.
- 6) In terms of productivity of cucumber, there was a drop in productivity when compared to furrow irrigation method, 7.2% for surface trickle irrigation, 27.4% for subsurface irrigation method.

1. 緒 論

國民의 所得 增大로 인하여 高等 菜蔬類나 花卉類 등의 國內 收要件 크게 늘어나고 있다. 또한 이들 高等 菜蔬類나 花卉作物들은 年中 大量으로 生産되고 있으며, 특히 花卉作物은 輸出 有望 品目으로 각광을 받고 있는 등 우리 農村도 過去의 主穀 生産 중심의 營農 形態에서 高所得 經濟作物의 栽

培 形態로 바뀌고 있다.

그러나 農村 勞動力은 계속 減小하고 있고 이로 인하여 人件費가 上昇하는 등 生産原價가 높아지고 있기 때문에 栽培 分野에서의 自動化가 절실히 要求되고 있는 實情이다. 특히 물관리는 施設園藝栽培에서 가장 중요한 작업일 뿐만 아니라 人力과 時間이 크게 所要되고 있다.

따라서 本 研究에서 施設園藝栽培에서의 勞動力

* 상주농업전문대학 농업토목과
** 상주농업전문대학 농업기계과

節減, 灌溉用水量 節約, 生産性 向上, 비닐하우스 내의 作業 環境 改善 등을 위하여 點滴灌溉 施設에서 컴퓨터를 이용한 灌溉自動化的 적용가능성을 검토하였으며, 營農自動화 체계를 확립하기 위한 자료를 얻고자 시도하였다.

2. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

1) 토양수분장력계(tensiometer)

토양수분장력계는 비교적 정확하게 土壤水分 포텐셜을 測定할 수 있기 때문에 土壤水分 張力(PF)의 計測에 가장 많이 이용되고 있다. 또한 토양속에 장시간 埋設하여도 Porous cup의 수분에 의한 土壤空隙 破壞의 이환이 비교적 적다. 그리고 토양수분장력계의 압력 계기는 作物生育에 적합한 임의의 토양 수분 범위내에서 制御할 수 있다. 그중에서 DM-80용 토양수분장력계는 임의의 灌水點에 압력 계기의 바늘이 接觸되면 관개가 시작되도록 製作되었으며, 임의의 관수점은 knob으로 조정하도록 제작되었다^{6,9}.

그러나 制御用 센서는 임의의 灌水點에 도달하였을 때 관개가 시작됨과 동시에 最滴水分量까지 관개

하였을 때에는 관개를 終了시키는 기능도 함께 가지고 있어야 한다.

본 연구에서는 토양에 따른 最適水分量을 임의로 조정하는 장치를 별도로 그림 1과 같이 개조하였다. 이때 灌水點과 最適水分點에 接觸이 되면 A/D converter에 입력되도록 하였다.

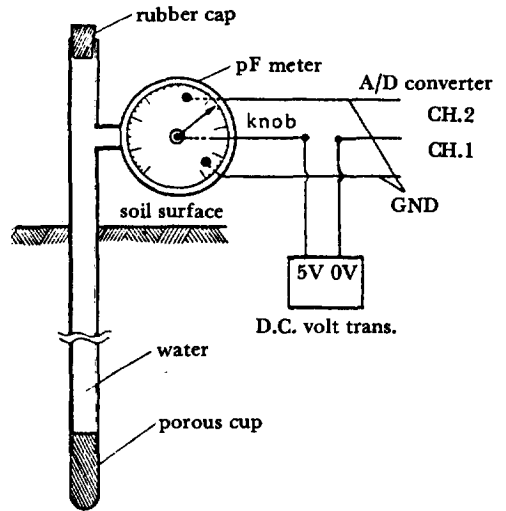


Fig. 1. View of the soil moisture sensor.

2) 석고블럭

석고블럭은 製作이 비교적 간편하고 가격이 저렴

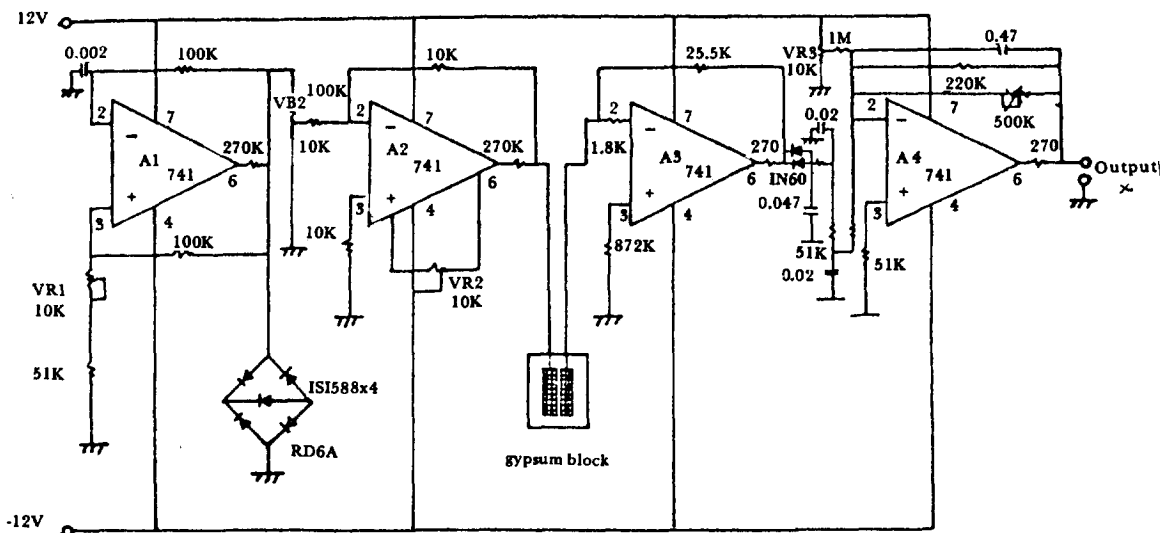


Fig. 2. Electrical conductivity detector circuit.

하기 때문에 土壤水分 計測에 많이 이용되어 왔으나, 製作 技術 및 方法에 따라 各 個體의 성능에 큰 차이를 나타내므로 제작된 석고블럭은 각각 점정한 후 實驗에 이용하고 있다. 그러나 토양수분장력계에 비하여 토양수분 포텐셜이 낮은 상태에서 민감하게 작동되기 때문에 석고블럭은 작물의 永久 萎凋點을 측정하기 위하여 無灌溉 試驗區에 매설하여 계속하였다.

본 실험에서는 비교적 개체간의 특성이 균일한 BECKMAN社의 석고블럭을 이용하였다.

그림 2는 석고블럭의 導電率을 측정하기 위한 回路圖를 나타낸 것으로서 출력 0~5V가 되도록 可變 抵抗을 並列로 연결하였다.

3) 온도계측 시스템

작물의 생육에 중요한 역할을 하는 시설내의 온도를 계속하거나 기록하기 위해서는 온도를 電氣信號로 變換시켜야 한다.

본 실험에서는 工業用 溫度 센서로서 가장 많이 이용되고 있는 thermocouple을 사용하였다.

Thermocouple의 종류는 B, R, S, K, E, J 및 T가 일반적이며 본 실험에서는 T-type을 이용하였다. Thermocouple을 이용하여 起電力을 얻기 위한 transducer의 회로는 그림 3과 같다. 온도의 補正은 TO형 package인 AD 597를 사용함으로써 자체 보상(Ice point compensation)이 되었다. 그리고 온

도변화에 대한 기전력의 크기는 직선적으로 비례하며, 본 실험의 측정 범위인 상온에서는 직선성이 대단히 우수하였다. 그림 4는 T-type 보상도선의 온도와 출력 전압과의 관계를 나타낸 것이며 출력 gain에 따라 온도 계수값은 다소 차이가 있었다.

4) MICROCOMPUTER, A/D CONVERTER 및 I/O INTERFACE

制御試驗을 하기 위하여 사용한 마이크로컴퓨터는 Apple II이며, A/D converter는 ADC 0817을 사용하였다. 그리고 I/O board는 68 계열의 병렬 I/O interface IC인 6821 PIA를 사용하였다. 마이크로컴퓨터의 입력 port에는 표 1과 같은 ADD space를 가지며 실험을 위하여 각 slot에 printer, A/D converter, time clock, I/O interface, disk driver, D/O board를 연결하였다

Table 1. Address of I/O slot.

Hex. decimal	Slot number	Remarks
C080 - C08F	0	
C090 - C09F	1	Printer
C0A0 - C0AF	2	A/D converter
C0B0 - C0BF	3	Real time clock
C0C0 - C0CF	4	
C0D0 - C0DF	5	I/O interface
C0E0 - C0EF	6	Disc driver
C0F0 - C0FF	7	D/O board

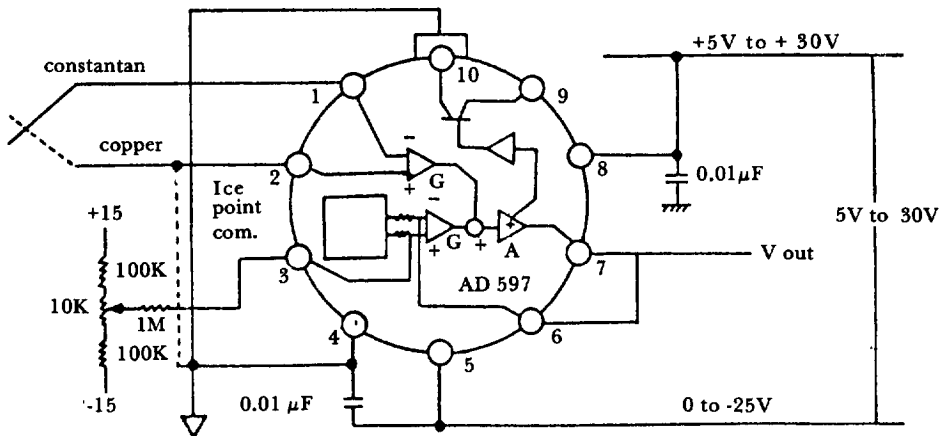


Fig. 3. Circuit diagram of the temperature transducer.

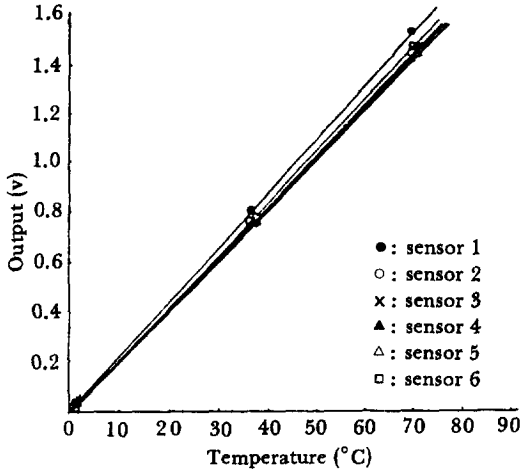


Fig. 4. Calibration curve of the temperature vs electric voltage.

5) REED RELAY 및 RELAY

(가) REED RELAY

A/D converter는 16CH을 연결할 수 있도록 구성하였다. 그리고 입력 port를 늘리거나 1개의 변환기에 여러개의 센서를 부착시키기 위하여 reed relay를 이용하였으며, D/O board로는 6821 PIA를 output port #7에 연결하여 사용하였다.

석고분력의 출력을 검출하기 위하여 D/O board에 reed relay 및 출력 회로를 그림5와 같이 연결하여 6821 PIA가 순차적으로 switching될 때 출력 회로는 각각의 센서를 차례로 A/D converter에 입력되도록 하였다.

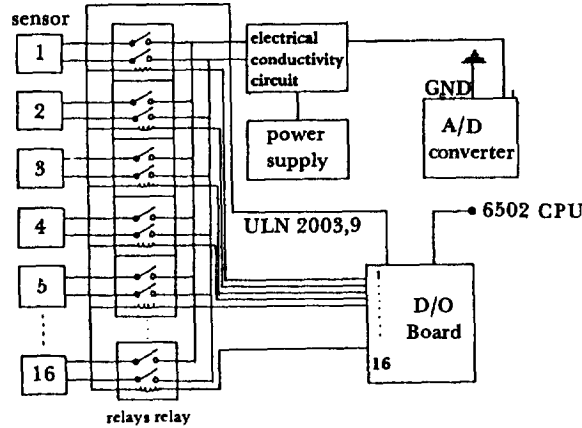


Fig. 5. Circuit for measurement of electrical conductivity used by multiple reed relays

(나) RELAY

I/O interface에서 나온 신호는 relay에 의하여 actuator를 작동시켰다.

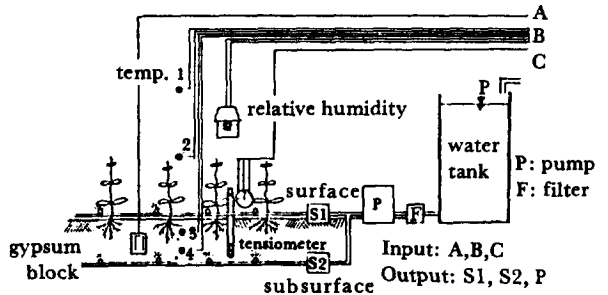
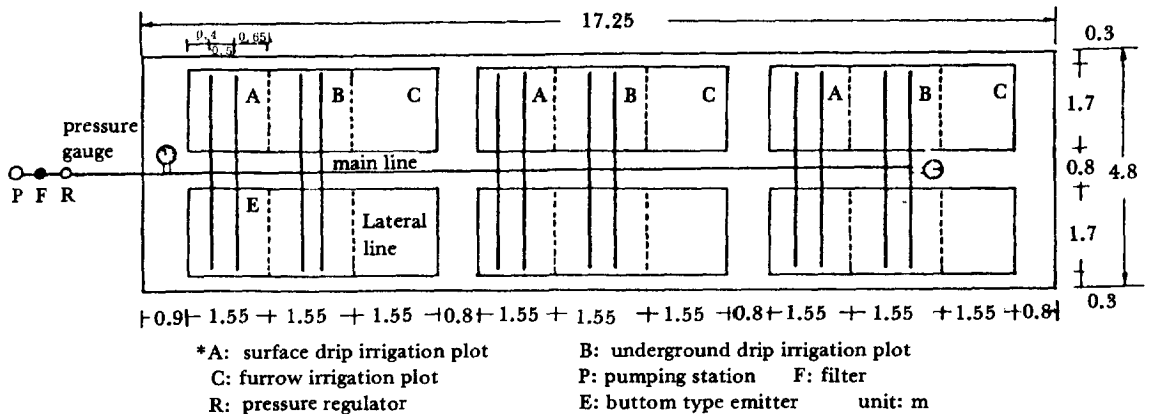


Fig. 6. Field layout of automatic irrigation system.



*A: surface drip irrigation plot B: underground drip irrigation plot
 C: furrow irrigation plot P: pumping station F: filter
 R: pressure regulator E: bottom type emitter unit: m

Fig. 7. Field layout of automatic trickle irrigation system.

6) 재배실험 장치

栽培 圃場에 설치한 실험 장치의 측면도는 그림 6 과 같으며, 그림 7 은 시험구의 배치도를 나타내 고 있다. 그림에서와 같이 온도는 온실 상부와 ca-nopy 상단, 지하 10cm, 지하 20cm에서 계측되었 으며 토양, 수분제어용 센서는 작물의 주 근역인 20 cm 깊이에 표면점적구와 지하점적구에 각각 매설하 였다. 또한 석고블럭은 계측 가능한 PF 값과 작물 의 영구 위조점을 측정하기 위하여 설치하였다.

그리고 관개방법은 지하점적관개, 지표점적관개

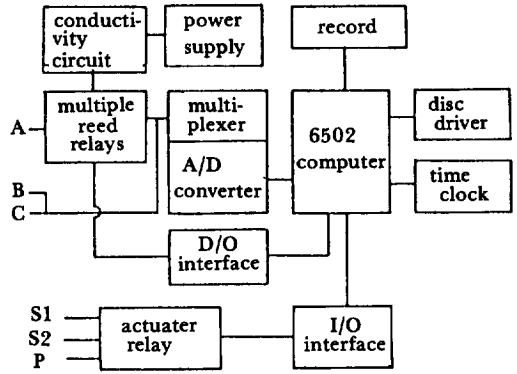


Fig. 8. Schematic diagram of the computer control system.

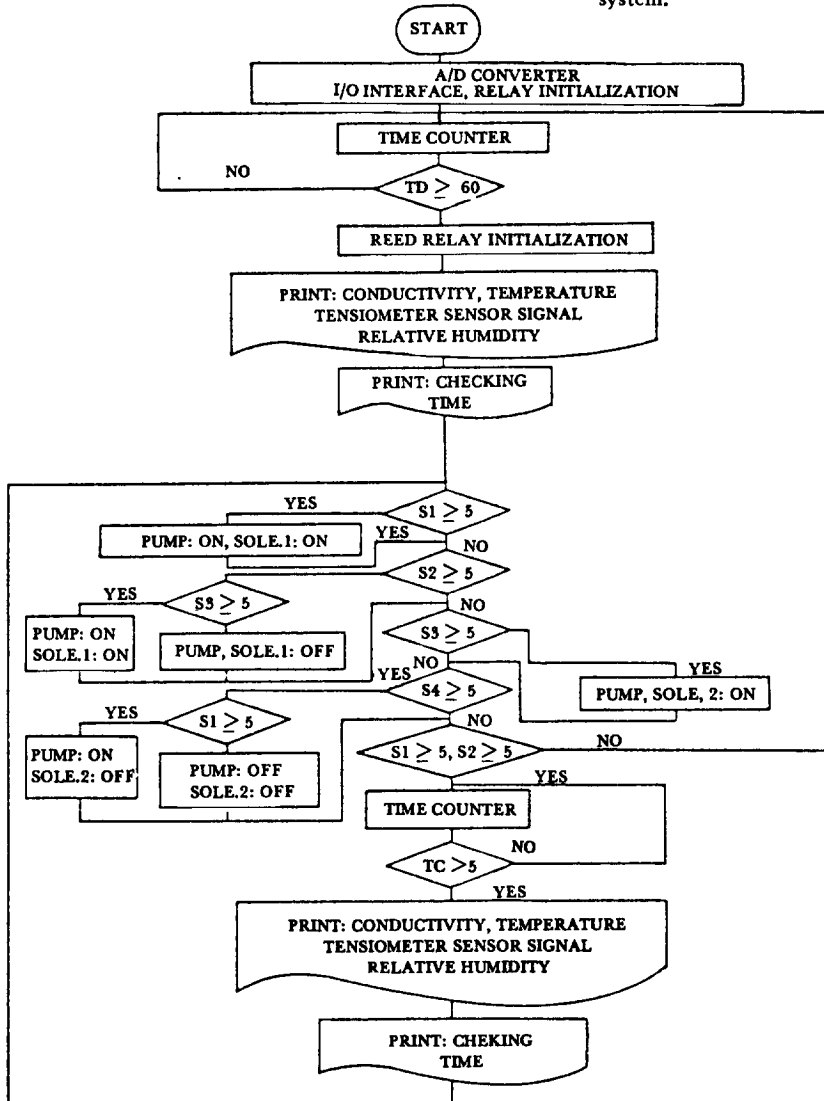


Fig. 9. Flow chart of the main program

및 고랑관개의 3 처리구를 3 반복으로 실험하였다. 시험구 배치도에서는 main line의 좌우에 lateral line을 설치하고 lateral line에 50cm 간격으로 bottom型 emitter를 설치하였으며, 표면점적 관개구는 lateral line을 표면에, 지하점적 관개구는 지표면에서 20cm 깊이에 매설하였다. 그리고 emitter의 시간당 공급유량은 2 liter로 하였다.

나. 실험방법

1) 컴퓨터 제어시스템

작물재배를 위한 컴퓨터의 제어시스템은 그림 8과 같다.

입력자료는 시설내의 온도, 석고불력의 도전율, 토양수분장력계의 signal이었다. Reed relay와 A/D converter의 multiflexer에 의하여 이들 자료가 입력되며, 특히 reed relay는 CPU의 D/O board를 통한 출력에 의하여 A/D converter의 ch. 1, ch. 2에 多點 입력을 시켰다.

출력은 I/O interface와 relay를 통하여 solenoid valve와 펌프를 작동하도록 하였고 작동시간은 real time clock에 의하여 기록되도록 하였다.

2) 컴퓨터 프로그램

그림 9는 실험수행을 위한 주 프로그램의 흐름도이다. 센서의 신호와 온도 및 도전율은 60분 간격으로 측정하였다. 그리고 센서에 signal이 들어오는 것은 매 5분마다 측정하였다. 또한 펌프 1개에 2개의 solenoid switch를 부착하였기 때문에 지표나 지하점적관개시에 서로 영향이 없도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

가. 도전율과 토양수분함량과의 관계

석고불력의 출력과 토양수분 함량과의 관계는 그림 10과 같다. 그림에서와 같이 센서출력과 토양함수율과의 관계를 F 검정한 결과 $\alpha=0.01$ 의 수준에서 유의하였다. 전생육 기간 2.5에서 5.2V로 나타났으며 C와 PF의 관계는 그림 11과 같이 $PF=2.964-0.076C$ 의 관계가 있었으며, 도전율 0~5V에 해당하는 PF는 2.964~2.584이었다. 이것은

Tensiometer에서 제어되는 범위(PF 2.3~2.0)보다 크므로 대단히 건조한 경우의 측정범위임을 알 수 있다. 본 실험에서는 Reed Relay에 의하여 계측된 석고불력의 도전율 범위는 2.5~3.0V(PF 2.774~2.736)로 나타났다.

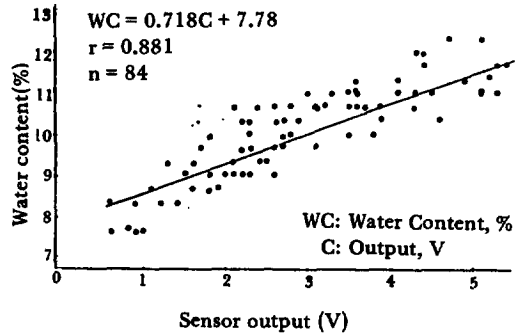


Fig. 10. Relation between water content and conductivity

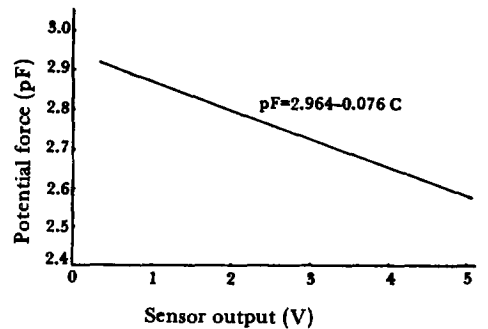


Fig. 11. Relation between potential force and conductivity.

나. 생육기간 중의 기상

본 시험이 수행된 시험포장의 기상을 조사한 결과는 표 2에서 보는 바와 같이 평균기온이 19.7℃, 최고 및 최저기온이 각각 26.1℃와 12.7℃였으며 상대습도의 평균치는 53.8%이었다.

또한 비닐하우스내의 기상은 표 3과 같이 기온이 22.5℃로 외기에 비하여 2.8℃ 높았으며 최고 기온은 32.02℃로 외기에 비하여 5.9℃ 높았고 최저 기온은 15.1℃로 외기보다 2.4℃ 높은 것으로 나타났다. 그리고 상대습도의 평균치는 83.3%로써 외기보다 29.5% 높았다.

Table 2. Meteorological data of the experimental farm measured during the growing period.

Period	Air temperature (°C)			R. humidity (%) Mean	Mean wind velocity(m/sec.)	Rainfall (mm)	Pan evaporation (mm/day)	Sun shine hour (hrs/day)	
	Max.	Min.	Mean						
April L	22.3	7.8	15.9	51	2.4	37.3	6.7	10.3	
May F	23.4	8.5	16.4	51	1.2	28.5	5.0	7.6	
	M	26.8	12.5	19.8	47	1.1	2.0	7.7	8.1
	L	25.7	12.5	19.3	56	0.7	9.5	5.8	8.6
June F	26.7	16.8	21.8	65	0.9	32.5	5.0	6.6	
	M	31.5	18.3	25.2	53	1.0	3.5	7.1	10.0
Average	26.1	12.7	19.7	53.8	1.22		6.2		

Table 3. Meteorological data in the plastic house measured during the growing period.

Period	Air temperature (°C)			R. humidity (%) Mean	Ground temperature (°C)	
	Max.	Min.	Mean		Depth (10cm)	Depth (20cm)
May F	29.5	10.0	17.5	97.5	18.5	19.8
	M	32.5	13.7	22.2	18.9	20.0
	L	30.6	14.0	22.2	19.7	20.7
June F	31.6	18.7	23.6	82.0	20.7	22.2
	M	35.9	19.5	27.2	74.0	22.4
Average	32.02	15.1	22.5	83.3	20.0	21.2

다. 토양수분 제어

그림 12, 13, 14는 1988년 5월 9일 부터 6월 20일까지의 生育期間 동안 표면점적관개구, 지하점적관개구, 고랑관개구에서 PF값의 변화를 나타낸 것이다.

관개시기는 생육기간 동안의 기상과 밀접한 관계가 있기 때문에 일정하지 않으나 표면점적과 지하점적 관개구에서 설정한 적정 토양수분의 범위(PF 2.0~2.3)에서 잘 제어 되었으며 간단일수가 비교적 짧았다. 그러나 고랑관개구는 전반적으로 표면점적이나 지하점적에 비하여 간단일수가 크게 나타났다.

라. 관개방법에 따른 생육상황

표 4에서 보는 바와 같이 생육초기인 4월 하순에는 지하점적 관개구에서의 초장이 33.3cm, 일수가

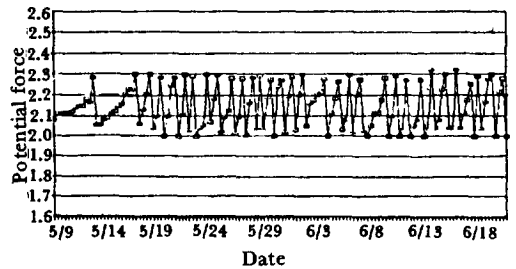


Fig. 12. Potential force versus date by surface drip irrigation control.

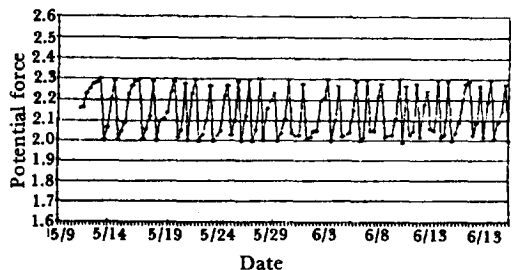


Fig. 13. Potential force versus date by subsurface drip irrigation control.

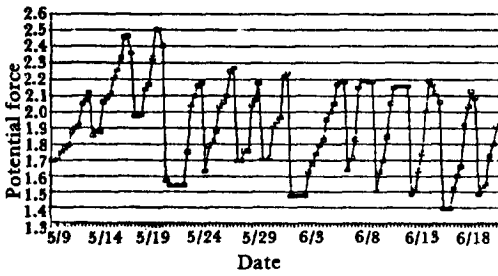


Fig. 14. Potential force versus date by furrow irrigation.

6.8개로써 생육이 가장 좋았으며, 표면점적 관개구는 초장이 22.4cm, 염수가 5.8개로써 생육이 가장

저조하였다. 신장기의 생육은 고랑관개구의 초장이 106.5cm, 염수가 19.4개로써 가장 좋았으나 표면점적 관개구는 초장이 86.2cm, 염수가 16.8개로 가장 저조하였다. 그러나 생육 중기와 생육 후기에서는 고랑관개구가 가장 생육이 왕성하였으며, 지하점적 관개구의 생육이 가장 저조하였다.

이상과 같은 결과를 종합해 보면 생육 초기에서 표면점적 관개구의 생육이 가장 저조한 이유는 뿌리에 찬 관개수가 직접적으로 공급되었기 때문이며, 생육 중기와 후기에서 지하점적 관개구의 생육이 가장 많이 떨어진 이유는 기온보다 낮은 지온의 영향 때문인 것으로 사료된다.

Table 4. Growth data of cucumber during the experimental period by the plots.

Period	Plant height (cm)				Number of leaves				
	Non irrigated plot	Surface drip irrigated plot	Subsurface drip irrigated plot	Furrow irrigated plot	Non irrigate plot	Surface drip irrigated plot	Subsurface drip irrigated plot	Furrow irrigated plot	
April	M	8.4	10.6	12.7	12.9	3.4	3.9	3.9	4.2
	L	13.5	22.4	33.3	28.6	4.5	5.8	6.8	6.4
May	F	34.3	50.7	64.6	66.5	8.8	10.7	12.2	13.0
	M	57.1	86.2	97.0	106.5	13.7	16.8	17.5	19.4
June	L	80.7	128.3	131.0	154.0	19.5	23.8	23.9	26.7
	F	119.1	200.0	193.3	217.5	22.3	30.9	30.7	32.1
M	173.4	301.2	280.9	305.6	31.6	41.7	40.7	43.4	

마. 관개방법에 따른 수확량의 비교

5월 중순에서 6월 하순까지 오이를 수확하였다. 표 5에서 보는 바와 같이 고랑관개구의 경우 총 중량이 99,857kg, 표면점적 관개구는 92,665kg, 지하점

적 관개구에서는 72,525kg으로써 고랑관개구가 수확량이 가장 많았으며 표면점적 관개구는 고랑관개구 보다 7.2% 떨어졌으며 지하점적 관개구는 27.4%나 수확량이 떨어졌다. 그러나 품질면에서 상품

Table 5. Comparison of cucumber yield and water consumption by irrigation treatments.

Irrigation treatments	Yields (kg/10m ²)		Percent of marketable (%)	No. of cucumbers	Single fruit weight(g)	Water consumption (ℓ)
	Total	Marketable				
Furrow irrigation	99,857 (100)	46,531	46.6	622	160.5	3,260 (100)
Surface drip irrigation	99,665 (93)	50,774	54.8	571	162.3	1,150 (35)
Subsurface drip irrigation	72,525 (73)	42,598	58.7	430	168.7	960 (29)

가치가 있는 정과의 수확량은 표면점적 관개구가 가장 많았으며 수확량 중에서 상품 가치가 있는 정과의 비율을 보면 고랑관개구가 가장 낮았다. 이러한 결과를 보면 점적관개구는 생육에 알맞은 토양 수분을 제대로 유지시켰기 때문에 물 부족현상이 비교적 없었으나 고랑관개구는 Water stress를 많이 받았기 때문인 것으로 사료된다.

바. 관개용 수량의 비교

공시 작물이 전 생육기간에 걸친 관개용 수량은 표.5에서와 같이 고랑관개구가 총 3,260 리터로써 가장 많았고 표면점적관개구가 1,150 리터였으며, 지하점적관개구가 960 리터로서 고랑관개구에 비하여 표면점적관개구는 65%, 지하점적관개구는 71% 절약되었다. 따라서 관개용수의 절약면에서는 지하점적관개가 가장 유리한 것으로 나타났다.

4. 結 論

施設 園藝作物의 栽培에 있어서 물관리 自動化 시스템을 點滴灌溉施設에 적용하여 栽培試驗을 한 結果는 다음과 같다

1. 시설내의 온도 계측은 T-type 빙점 보상도선을 이용하고 8 BIT A/D converter로 입력시키므로서 약 1℃의 정도로 계측할 수 있었다.
2. 제어 센서로써는 DM-80형 토양수분 장력계를 이용하여 관개수분점과 관수점을 점점으로 연결하므로써 threshold로 제어가 가능하였다.
3. 석고블럭은 한개의 transducer로써 이용할 수 있도록 reed relay와 D/O board를 사용하므로써 순차적인 switching이 가능하였다.
4. 컴퓨터와 점적관개시설을 組合 運用하므로써 시설내에서 전 생육기간 동안 토양수분의 세어가 가능하였다.
5. 관개 용수량은 고랑관개구에 비하여 표면점적

관개구는 65%, 지하점적관개구는 71% 절약되었다.

6. 오이의 수량은 고랑관개구에 비하여 표면점적 관개구는 7%, 지하점적관개구는 27% 감소하였다.

參 考 文 獻

1. 구건효. 1985. 마이크로컴퓨터를 이용한 농약의 자동화 및 살포 시스템의 개발. 석사학위논문. 경북대학교 대학원.
2. 고대석, 이성원. 제어용 컴퓨터. 도서산업사.
3. 김영해 역. 센서 인터페이스. 기전연구사.
4. 박규식. 1985. 마이크로컴퓨터를 이용한 온실의 물관리 자동화 시스템의 개발. 경북대학교 대학원.
5. Cary, J.W. and H.D. Fisher. 1983. Irrigation decisions simplified with electronics and soil water sensors. Soil Sci. Soc. Amer. J. 47:1219-1223.
6. Fischbach, P.E., T.L. Thompson, and L.E. Stetson. 1970. Electric controls for automatic surface irrigation system with reuse system. Trans. ASAE. 13(2): 286-288.
7. Phene, C.J., G.J. Hoffman, and R.S. Austin. 1973. Controlling automated irrigation with soil matric potential sensor. Trans. ASAE. 16(4): 773-776.
8. Phen, C.J., T.A. Howeel, 1984. Soil sensor control of high-frequency irrigation systems. Trans. ASAE. 27(3): 392-396.
9. Zazueta, F.S., A.G. Smajstrla, D.S. Harrison. 1985. Drip/trickle irrigation in action. ASAE. Volume II: 505-510.