

점적 emitter의 성능과 수리적 특성

Performance and Hydraulic Characteristics of Drip Emitters

이 남 호*
Lee, Nam Ho

Abstract

Variations in the discharge rates of drip emitters were examined to find the effects of operation pressure and the tube length and to evaluate performance of the emitters. Several point-source emitters were selected such as pressure compensated, anti-leak pressure compensated, turbulent flow regulated, flow regulated, ready-made dripper, and spaghetti. Combinations of operation pressure and tube length were compared. The microirrigation system was operated at pressures of 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 bar. The discharge from emitters were collected at every ten meters along the lateral tube and weighed. In order to evaluate the drip emitters performance coefficient of discharge variation, statistical uniformity, and emission uniformity were calculated. No significant variation in discharge along drip tube resulted with all emitters. There is no trend of variation of discharge rate from pressure compensated emitters with increase in operation pressures. But discharge rate from other types of emitters increased with increase in operation pressures. The nominal discharge of each emitter was secured at pressure of 1.0 bar. Evaluation using statistical and emission uniformity coefficients indicated that most of the emitters except turbulent flow regulated emitter and ready-made dripper performed at excellent level.

I. 서 론

최근 들어 시설재배, 과수재배, 노지재배 등을 위한 점적관개시설의 도입이 급증하고 있으나, 이에 필요한 자재들의 대부분은 외국에서 수입하고 있는 실정이다. 또한 수많은 외국 관개자재회사들의 여러 종류의 제품이 시판되고 있는데, 일부 관개자재 제작회사에서 사양서가 제공되고 있으나

각 제품의 일반적인 특성이나 수리적 특성에 대해 구분이 어려운 실정이다. 시설재배 농가를 대상으로 한 조사(이 등, 1998)에 의하면 현재 사용되고 있는 점적관개자재를 포함한 각종 관개자재에 대한 기초적인 지식이 전무한 상태이고, 관개시설의 선정, 설계 및 조작에 관한 기준이나 지침이 없는 것으로 보고된 바 있다. 특히 현재 사용되고 있는 관개자재들의 제품 제작상의 결함이나 성능에 대

* 한경대학교 농학부

키워드 : 마이크로관개, 점적관개, 발관개, 변동계수, 균등계수, 과수관개

해 알려진 것이 없다.

점적관개에 대한 국내의 연구로는 김 등(1991)과 정(1993)이 점적관개의 작물생육에 대한 효과와 관개효율 증대 효과 등을 분석하였고, 정(1993)은 Turbo-tape의 성능 평가를 위하여 균등계수를 산정하여 보고한 바 있다. 외국의 경우에는 Solomon(1979)과 Boman(1988)이 점적 emitter들에 대한 제품의 제작과정에서 발생하는 변이도를 균등계수들을 이용하여 평가한 바 있으나, 우리나라의 경우는 점적 emitter들의 성능을 평가한 실험 결과는 거의 보고된 바가 없는 실정이다.

본 연구에서는 현재 국내에서 시판되어 사용하고 있는 점적 emitter들의 제품 변이도와 수리적 특성을 파악하기 위한 포장실험을 실시하고 그 결과를 분석하여 영농인들과 관개기술자들의 적정 점적관개 시스템 선정, 설계 및 운영에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적을 두었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험개요

실험은 경기도 안성시 한경대학교의 발판개 시험포장에서 1998년 7-8월에 실시되었다. 시험포장은 경사가 거의 없는 평지이고, 본 실험기간 동안에는 작물이 재배되지 않았다. 실험에 사용된 점적 emitter는 화란과 이스라엘에서 생산된 6가지 종류에 8개 모델이 사용되었는데, Fig. 1에 나타나 있고 자세한 내용은 Table 1에 정리되어 있다. 여기서 특정회사의 제품명은 밝히지 않기로 한다. 실험에는 압력보정형, 낙수방지기능을 갖는 압력보정형, 유량조절기능이 있는 난류형, 점적 emitter와 튜브 일체형, 스파게티형과 같은 점적 emitter들이 사용되었다. 압력보정형 emitter는 관개시스템의 작용압력이 변화하는 경우에도 유량의 변이정도가 크지 않고 일정하고, 낙수방지 기능을 갖는 압력보정형은 펌프가 작동을 멈추게 되면 emitter를 통한 누수가 없는 특징을 갖고 있다. 일반적으로 낙수방지 기능이 없는 점적 emitter나

점적테이프의 경우에 펌프 가동을 중단한 후에도 약간의 누수가 발생한다. 유량조절기능이 있는 emitter는 작용압력의 변화에 따라 유량이 변화한다. 일체형과 스파게티형 모두 고정핀을 사용하고 온실에서 주로 사용되는 점적 emitter로서 유량조절형에 속한다. 실험에 사용된 emitter들은 모두 점원(point source) emitter들이고, Table 1의 유량은 공칭유량을 나타낸다.

실험에는 용량이 140 l/min인 펌프, 정압발브, 40mm-120mesh의 Amid filter, 지거관은 직경 14mm의 PE 튜브가 사용되었고, 압력은 0.5, 1.0,

Table 1. Characteristics of drip emitters used in experiment

Emit type	Discharge (l/h)	Description
A	8	pressure compensated
B	4	pressure compensated
C	4	pressure compensated + anti-leak
D	8	turbulent flow + flow regulated
E	4	turbulent flow + flow regulated
F	4	flow regulated
G	2	ready-made dripper
H	2	spaghetti

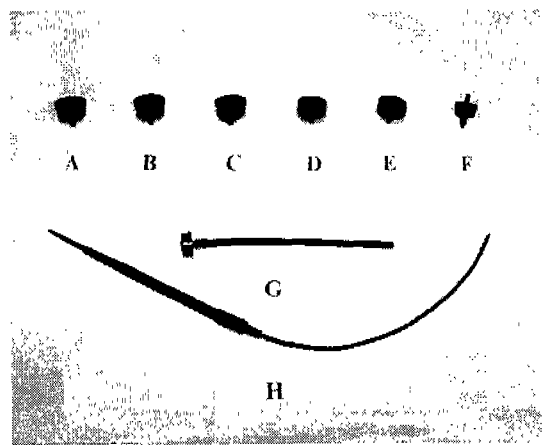


Fig. 1. Drip emitters

1.5, 2.0bar가 적용되었다. 간선관으로부터의 거리에 따른 유량의 변화를 파악하기 위하여 지거관의 길이를 100m로 하고 매 10m 마다 emitter를 설치하여 각 지점에서 bucket을 이용하여 emitter로부터의 유출량을 집수하여 그 무게를 측정하였다. 유출량 측정은 30분씩 2회 반복으로 실시되었고, 무게 측정에는 0.1g 단위까지 측정할 수 있는 CAS전자저울을 사용하였다. 실험에 사용된 emitter는 새 것들 중에서 임의로 10개씩을 선정하였다.

2. 수리특성

본 연구에서는 미국농공학회기준 EP458 DEC96인 “마이크로관개시스템의 현장평가”를 적용하여 다음과 같은 인자들을 점적 emitter의 성능평가에 사용하였다.

가. 통계적 균등계수(Statistical uniformity, U_s)

통계적 균등계수는 emitter 유량의 변이정도를 나타내는 계수로서 식 (2)와 같이 표시되는데, 1942년에 Christiansen에 의해 균등계수(Uniformity Coefficient, C_u)로 제안되었다. 이 계수는 emitter 유량의 변이도를 정량적으로 평가하는 도구이다(Jensen, 1983).

$$U_s = 100(1 - V_{as}) \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{as} = S_q / \bar{q}$$

여기서, V_{as} 는 변동계수(Coefficient of variation)이고, S_q 는 emitter 유량들의 표준편차이고 \bar{q} 는 emitter들의 평균유량이다. 미국농공학회기준 EP405.1에 의하면, 제작회사의 변동계수에 대한 평가기준은 0.05보다 작으면 매우 양호(excellent), 0.05~0.07이면 양호(average), 0.07~0.11이면 보통(marginal), 0.11~0.15이면 불량(poor), 0.15보다 크면 사용불가(unacceptable)이다.

나. 유출균등계수(Emission uniformity, EU)

유출균등계수는 Keller와 Kalmeli(1975)에 의해

식 (3)과 같이 제안되었는데, 이는 점적관로에서의 emitter 유량의 변이도를 나타낸다.

$$EU = 100[1.0 - 1.27 \frac{C_v}{\sqrt{n}}] \frac{q_m}{q_a} \dots\dots\dots(3)$$

여기서, n 는 작물당 설치되는 emitter의 개수이고, q_m 은 emitter의 최소유량(L/h)이고, q_a 는 emitter의 평균유량 또는 설계 emitter유량이고, C_v 는 제작회사의 변동계수인데 본 연구에서는 전에 사용되지 않은 emitter를 사용하여 측정한 관계로 V_{as} 를 사용하였다. 미국농공학회기준 EP405.1에 의하면, 유출균등계수에 대한 평가기준은 평지의 경우 85~95%가 허용범위이다.

III. 결과 및 고찰

1. 거리에 따른 압력별 유량의 변화

8개의 emitter에 대한 4개 작용압력별로 간선관으로부터의 거리별 유량을 측정된 결과를 Fig. 2~Fig. 9에 정리하였는데, 각각 emitter A에서 H까지를 나타내고 있다. 전체적으로 관으로부터의 거리증가에 따른 압력변화에 의한 유량감소현상은 없었다.

가. 압력보정형

Fig. 2~Fig. 3은 압력보정형 emitter A와 B에 대한 결과를 도시하고 있는데, 압력별로 거리별로 유량의 변화를 크게 나타내고 있지는 않지만, emitter A의 경우 최저 7.7 l/h에서 최고 9.2 l/h까지의 유량을 나타내고 있어 emitter 유량의 분산정도가 큰 것으로 보인다.

나. 낙수방지 기능을 갖는 압력보정형

Fig. 4는 낙수방지형 emitter C에 대한 결과인데, 일반 압력보정형 A, B와 거의 유사하나 제품의 변이도가 작고 성능면에서 보다 양호한 것으로 나타났다. 압력별 변화와 거리별 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

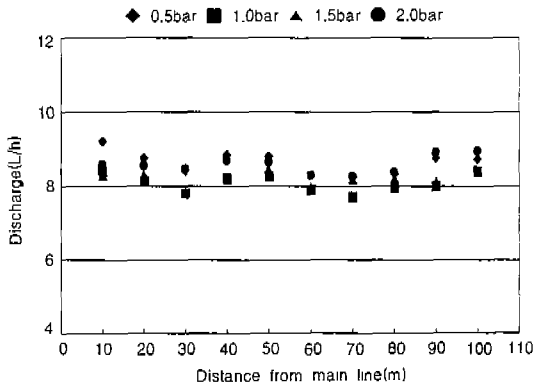


Fig. 2. Discharge variation at different pressures and locations (Type A)

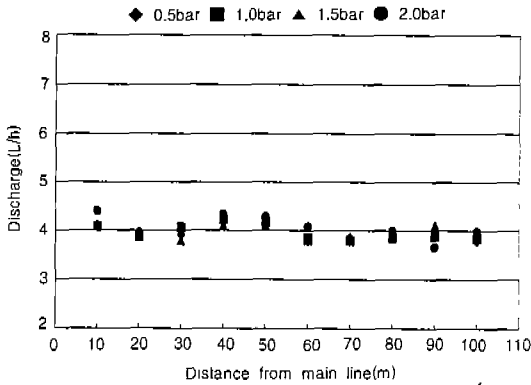


Fig. 3. Discharge variation at different pressures and locations (Type B)

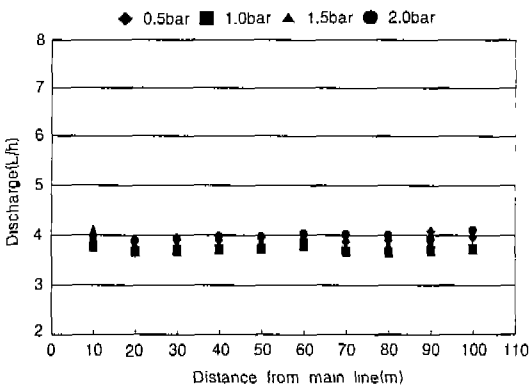


Fig. 4. Discharge variation at different pressures and locations (Type C)

다. 유량조절기능이 있는 난류형

Fig. 5~ Fig. 6은 유량조절기능이 있는 난류형 emitter D, E에 대한 결과인데 거리별 유량변화는 없었으나, 압력별 유량변화는 큰 것으로 나타났다. 특히 제작회사의 적정 작용압력 1.0bar에서 공칭 유량 8 l/h와 4 l/h가 발생하였다. 또한 2개의 emitter 모두 낮은 압력 0.5bar에서 상대적으로 적은 유량을 보였다.

라. 유량조절형

Fig. 7은 유량조절형 emitter F의 실험 결과를 나타내고 있는데 거리별 압력별 변화는 emitter D,

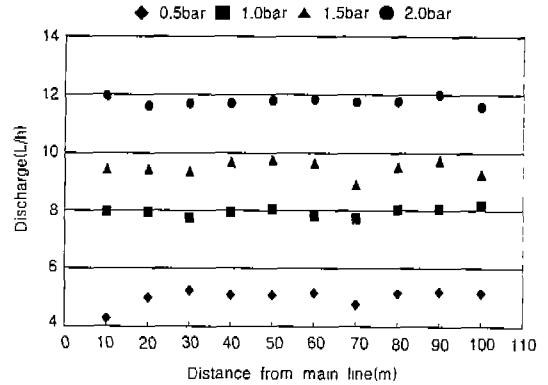


Fig. 5. Discharge variation at different pressures and locations (Type D)

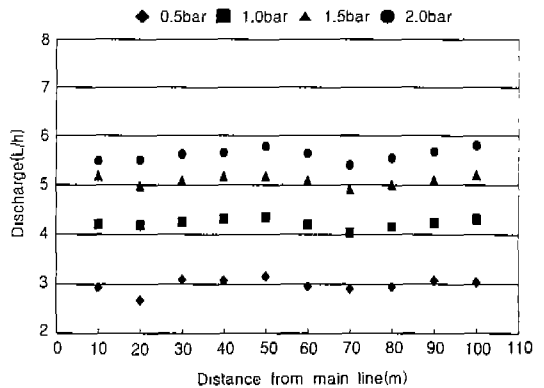


Fig. 6. Discharge variation at different pressures and locations (Type E)

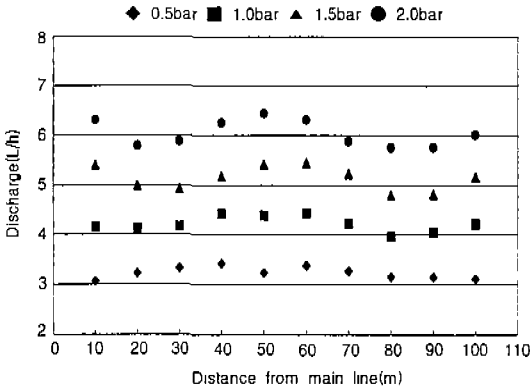


Fig. 7. Discharge variation at different pressures and locations (Type F)

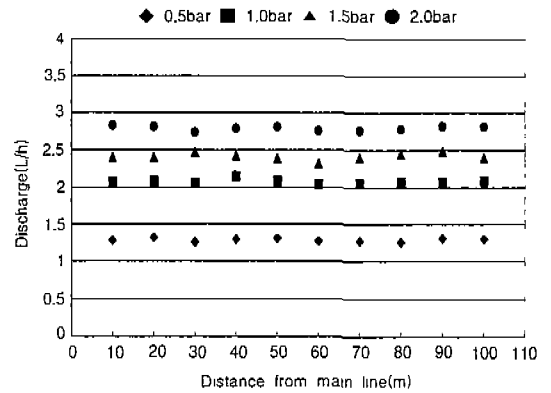


Fig. 9. Discharge variation at different pressures and locations (Type H)

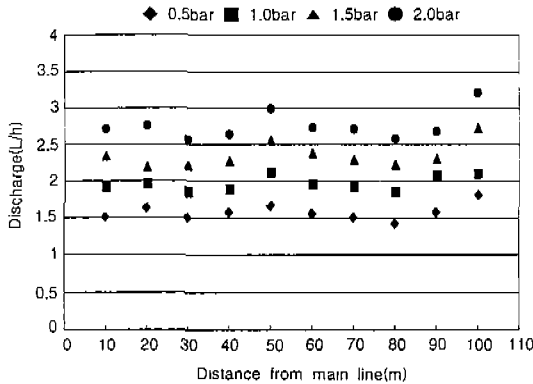


Fig. 8. Discharge variation at different pressures and locations (Type G)

E와 같았다. 또한 압력 1.0bar에서 공칭유량 4 l/h가 발생하였다.

마. 점적 emitter와 튜브일체형

Fig. 8은 일체형 emitter G에 대한 결과인데 거리증가에 따른 압력강하에 의한 유량변화는 보이지 않았으나 emitter D, E, F와는 달리 동일 압력에서의 유량의 분산정도가 크게 나타났다.

바. 스파게티형

Fig. 9는 스파게티 emitter H에 대한 결과인데 동일압력에서의 분산정도가 작게 나타났고 0.5bar에서 상대적으로 적은 유량을 보였다.

2. 점적 emitter의 성능평가

점적 emitter의 성능을 평가하기 위하여 2반복으로 실시한 실험결과를 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 변동계수, 균등계수와 유출균등계수를 계산하고 그 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보면 앞에서 논의한 것과 같이 압력보정형 emitter A, B, C는 압력변화에 대해서 유량이 변화하지 않는 것으로 나타났기 때문에 이들 emitter에 대해서는 전체 측정 결과를 이용해서 균등계수와 유출균등계수를 계산하고 그 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 4는 미국농공학회기준 EP405.1에 의하여 각 emitter들의 성능을 평가한 결과가 정리되어 있다.

가. 압력보정형

Emitter A와 B는 모두 평가 결과 통계적 균등계수가 매우 양호하고 유출균등계수는 범위내에 있는 것으로 나타났다. 단지 emitter B의 경우 작용압력 2bar에서 통계적 균등계수는 94.1로 양호하지만 유출균등계수는 83.6%로 허용범위 밖에 있는 것으로 나타났다.

나. 낙수방지 기능을 갖는 압력보정형

Emitter C는 일반 압력보정형 emitter A, B에 비해 제품의 변이도가 작고, 모든 작용압력에서

Table 2. Performance of drip emitters

Emitter type	Application pressures(bar)	Mean discharge (ℓ/h)	Standard deviation	Variation coefficient	Statistical uniformity (%)	Emission uniformity (%)
A	0.5	8.64	0.304	0.035	96.5	91.2
	1.0	8.08	0.244	0.030	97.0	91.8
	1.5	8.19	0.189	0.023	97.7	92.8
	2.0	8.58	0.235	0.027	97.3	93.0
B	0.5	3.97	0.158	0.040	96.0	90.5
	1.0	3.97	0.159	0.040	96.0	90.7
	1.5	3.95	0.137	0.035	96.5	91.8
	2.0	4.05	0.237	0.059	94.1	83.6
C	0.5	3.91	0.104	0.027	97.3	90.5
	1.0	3.72	0.043	0.012	98.8	97.1
	1.5	3.84	0.110	0.029	97.1	92.5
	2.0	3.98	0.061	0.015	98.5	95.8
D	0.5	5.00	0.291	0.058	94.2	79.0
	1.0	7.95	0.143	0.018	98.2	94.5
	1.5	9.48	0.265	0.028	97.2	90.6
	2.0	11.78	0.131	0.011	98.9	97.0
E	0.5	2.99	0.137	0.046	95.4	84.3
	1.0	4.23	0.089	0.021	97.9	93.1
	1.5	5.09	0.098	0.020	98.1	94.1
	2.0	5.61	0.129	0.023	97.7	93.4
F	0.5	3.23	0.116	0.036	96.4	90.5
	1.0	4.21	0.161	0.038	96.2	89.3
	1.5	5.14	0.248	0.048	95.2	87.7
	2.0	6.04	0.264	0.044	95.6	90.0
G	0.5	1.58	0.108	0.069	93.1	82.4
	1.0	1.97	0.100	0.051	94.9	88.0
	1.5	2.35	0.170	0.072	92.8	84.5
	2.0	2.76	0.198	0.072	92.8	84.5
H	0.5	1.28	0.023	0.018	98.2	95.3
	1.0	2.08	0.029	0.014	98.6	96.6
	1.5	2.41	0.047	0.020	98.0	93.4
	2.0	2.79	0.032	0.012	98.8	96.6

통계적 균등계수와 유출균등계수가 높은 것으로 나타났다.

다. 유량조절기능이 있는 난류형

Emitter D와 E는 통계적 균등계수 기준으로는 D

의 경우 0.5bar를 제외하면 매우 양호하고, 유출균등계수 기준으로는 D와 E의 경우 0.5bar에서 허용범위 밖에 있는 것으로 나타났다. 특히 D의 경우는 유출균등계수가 79.0%로 가장 낮은 값을 보였다.

라. 유량조절형

Emitter F는 모든 작용압력에서 통계적 균등계수가 매우 양호하고 유출균등계수는 범위내에 있는 것으로 나타났다.

마. 점적 emitter와 튜브 일체형

Emitter G는 통계적 균등계수는 양호한 것으로 나타났고, 유출균등계수는 작용압력 1.0bar에서만 허용범위 내에 들고 그 외의 경우에는 범위 밖에 있는 것으로 나타났다.

바. 스파게티형

Emitter H는 제품의 변이도가 실험에 사용된 제품 중에서 가장 낮았으며, 모든 작용압력에서 통계적 균등계수가 매우 양호하고 유출균등계수는 범위내에 있는 것으로 나타났다.

Table 3. Performance of pressure compensating drip emitters

Emitter type	Mean discharge (l/h)	Standard deviation	Variation coefficient	Statistical uniformity (%)	Emission uniformity (%)
A	8.37	0.341	0.041	95.9	87.4
B	3.98	0.174	0.044	95.6	86.7
C	3.86	0.126	0.033	96.7	90.9

Table 4. Performance evaluation of drip emitters by ASAE Standard EP405.1

Emitter type	Statistical uniformity	Emission uniformity
A	excellent	acceptable
B	excellent	acceptable
C	excellent	acceptable
D	excellent~average	partly acceptable
E	excellent	acceptable
F	excellent	acceptable
G	average~marginal	mostly unacceptable
H	excellent	acceptable

IV. 요약 및 결론

점적관개시스템의 설계 및 운영에 필요한 기초 자료를 제공을 목적으로 점적 emitter들의 제품 변이도와 수리적 특성을 파악하기 위한 실험을 실시하고 분석한 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. emitter들의 성능을 평가하기 위한 기준으로 변이계수, 통계적 균등계수 및 유출균등계수가 사용되었다.

2. 압력보정형 emitter는 압력별로 거리별로 유량의 변화를 크게 나타내고 있지는 않지만 측정된 유량의 분산정도가 큰 것으로 나타났다. 통계적 균등계수가 매우 양호하고 유출균등계수는 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

3. 유량조절기능이 있는 난류형 emitter는 압력별 유량변화는 큰 것으로 나타났다. 통계적 균등계수 기준으로는 매우 양호하고, 유출균등계수 기준으로는 저압력에서만 허용범위 밖에 있는 것으로 나타났다.

4. 유량조절형 emitter는 압력별 유량변화는 큰 것으로 나타났다. 모든 작용압력에서 통계적 균등계수가 매우 양호하고 유출균등계수는 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

5. 일체형 emitter는 거리증가에 따른 압력강하에 의한 유량변화는 보이지 않았으나 유량의 분산정도가 크게 나타났다. 유출균등계수는 작용압력 1.0bar에서만 허용범위 내에 들고 그 외의 경우에는 범위 밖에 있는 것으로 나타났다.

6. 스파게티형 emitter는 거리증가에 따른 압력강하에 의한 유량변화는 보이지 않았으나 분산정도가 작게 나타났다. 모든 작용압력에서 통계적 균등계수가 매우 양호하고 유출균등계수는 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

7. 실험에 사용된 모든 emitter들은 압력 1.0bar에서 공칭유량이 발생하였다.

본 논문은 1998년도 농림수산기술개발사업에 의하여 수행한 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

1. 김철수, 김진현, 고수현, 이근후, 1991, 자동관개 시스템을 이용한 시설오이 재배에 관한 연구, 한국농공학회, 33(1) : 89-99.
2. 정상욱, 1993, Turbo-tape를 이용한 배추의 점적관개 효과 분석, 한국농공학회, 35(4) : 31-37.
3. 이남호, 황한철, 남상운, 홍성구, 전우정, 1998, 시설농업을 위한 관개시설의 이용실태 조사분석, 한국농공학회, 40(6) : 37-45.
4. ASAE Standards, EP405.1, 1996, Design and installation of microirrigation systems, St. Joseph, MI : ASAE.
5. ASAE Standards, EP458, 1996, Field evaluation of microirrigation systems, St. Joseph, MI : ASAE.
6. Boman, B. J., 1988, Manufacturing variation of microirrigation emitters, Proc. Fla. St. Hort. Soc., 100 : 141-143.
7. Boman, B.J., 1991, Micro tubing effects on microsprinkler discharge rates, Trans. of the ASAE, 34(1) : 106-112.
8. Jensen, M.E., 1983, Design and operation of farm irrigation systems, ASAE monograph No.3, St. Joseph, MI : ASAE.
9. Keller, J. and D. Karmeli, 1975, Trickle irrigation design, 1st ed., Rain Bird Sprinkler Mfg. Corp., Glendora.
10. Solomon, K., 1979, Manufacturing variation of trickle emitters, Trans. of the ASAE, 22(5) : 1034-1043.