

시설재배용 분수호스 및 점적관수 시스템의 관수균일도 분석

남상운¹ · 김영식^{2*}

¹충남대학교 생물자원공학부, ²상명대학교 식물산업공학과

Discharge Variation of Perforated Hoses and Drip Irrigation Systems for Protected Cultivation

Sang-Woon Nam¹ and Young-Shik Kim^{2*}

¹Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Plant Science and Technology, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

Abstract. Discharge variations of perforated hose and drip irrigation systems were examined to evaluate irrigation uniformity at different pressures and length of branch line. Evaluation using statistical uniformity indicated that button drippers performed at excellent level but drip tapes and drip hoses were a little lower level. Nominal discharge of drip irrigation systems showed at the high side within the range of regulating pressure provided by the manufacturer. It is desirable that the length of branch line for drip hose, drip tape, and button dripper should be limited to 50 m, 70 m, and 100 m, respectively. Irrigation uniformity of perforated hoses showed very low level. So it is recommended that the length of branch line for perforated hoses should be limited to 30~35 m.

Key words : drip irrigation, friction loss of head, micro-irrigation systems, perforated hose, statistical uniformity

*Corresponding author

서 론

시설원예의 급속한 증가와 더불어 시설재배에 있어서도 수량 증대, 품질의 향상, 노동력 절감 등의 관점에서 물관리의 중요성이 대두되고 있다. 시설재배 작물이 필요로 하는 수분을 충분하면서도 적절히 공급하기 위해서는 과학적인 계획, 설계에 의해서 충분한 용수를 확보하고 또한 적절한 관수설비를 갖추어야 한다(Nam, 2000; 日本施設園藝協會, 1997).

시설채소 재배농가에서 가장 많이 사용하고 있는 관수방법은 분수호스와 점적관수로 조사된 바 있으나, 관수시설의 선정이나 설계 및 운영에 필요한 기준이나 지침이 없어서 일부 자재회사에서 제공되는 사양서에 의존하거나 농가 임의로 설치하여 사용하고 있는 실정이다(Lee 등, 1998). 국내에 설치된 온실은 대부분 길이가 70~100m 정도로써 대다수 시설재배 농가에서는 이와 같은 온실의 길이에 맞추어 관수라인을 배관하여

사용하고 있어서 균일한 관수를 기대하기 어려운 실정이다.

점적관수에 대한 수리적 특성에 관한 연구는 점적 emitter들에 대한 균등계수를 평가한 실험(Lee, 1999) 이외에는 거의 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 농가 또는 지도기관에 점적관수 설비의 선정이나 설계 및 운영에 필요한 기초자료를 제공할 목적으로 국내 시설재배 농가에서 많이 사용하고 있는 분수호스와 점적관수 자재(점적호스, 점적테이프, 점적단추)를 대상으로 수리적 특성을 파악하기 위한 포장실험을 실시하고 그 결과를 분석, 검토하였다.

재료 및 방법

실험은 충남대학교 실험농장에서 2007년 7~8월에 실시하였으며, 포장은 경사가 거의 없는 평지이고 작물은 재배되지 않았다. 실험에 사용된 자재는 국내에서

Table 1. Characteristics of irrigation materials used in experiment.

Name	Type	Nominal discharge (L/h)	Regulating pressure (kPa)	Dripper spacing (cm)	Diameter of tube (mm)	Place of production
Drip hose	DhA	2.0	50~400	30	16.0	Domestic
	DhB	2.3	100~400	30	16.0	Foreign
Drip tape	DtA	1.45	70~100	20	16.0	Domestic
	DtB	1.49	85	20	16.0	Foreign
Button dripper	BdA	2.0	50~400	30	25.0	Domestic
	BdB	2.0	100~400	30	25.0	Foreign
Perforated hose	W32	-	30~50	-	20.4	Domestic
	W60	-	40	-	38.2	Domestic
	W70	-	40	-	44.6	Domestic

가장 많이 사용되고 있는 분수호스와 점적관수 자재였다. 점적관수 자재는 점적호스(drip hose), 점적테이프(drip tape) 및 점적단추(button dripper)로 각각 국산 1개, 외산 1개 모델을 사용하였고, 분수호스(perforated hose)는 국산 3개 모델을 사용하였으며 자세한 내용은 Table 1과 같고 제조회사와 제품명은 밝히지 않기로 한다. 점적호스는 두께 1.0~1.2mm의 경질 플라스틱 튜브에 점적기를 내장하고 있는 형식이고, 점적테이프는 두께 0.1~0.3mm의 연질 플라스틱 튜브에 점적기를 내장하고 있는 형식이다. 점적단추는 버튼 형태의 외장형 점적기를 경질 폴리에틸렌 튜브에 꽂아서 사용하는 형식을 말하며, 분수호스는 두께 0.1~0.3mm의 연질 플라스틱 튜브에 미세 구멍을 다수 뚫어 놓은 다공 튜브로서 점적기는 내장하고 있지 않으며 분수처럼 물이 분출되는 형식의 관수자재이다. 여기서 분수호스의 기호 W32는 연질의 플라스틱 튜브를 접었을 때 폭이 32mm임을 의미한다.

실험은 압력 450kPa의 상수도망을 이용하였다. 간선관은 직경 25mm의 PE튜브를 사용하였고, 압력은 밸브와 압력계(MS-1111, 명성호다계기)를 이용하여 제품의 적정 압력 범위에서 3단계로 조절하여 실험하였다. 거리에 따른 유량의 변화를 파악하기 위하여 분수호스 및 점적관수 튜브의 길이를 100m로 하고 매 10m 마다 집수용기를 설치하여 토출구로부터의 유출량을 모아 전자저울(GX-4000, CAS)을 이용하여 그 무게를 측정하였다. 유출량 측정은 15분씩 2회 반복으로 실시하였으며 시간유량으로 환산하였다.

실험 데이터로부터 통계적 균등계수(U_s)를 구하여 유출량의 변이정도를 검토하였다.

$$U_s = 100(1 - V_{qs}) \quad (1)$$

$$V_{qs} = S_q / \bar{q} \quad (2)$$

여기서, V_{qs} 는 변동계수, \bar{q} 는 평균유량, S_q 는 표준편차이다. 미국농공학회 기준(ASAE, 1997)에 의하면 균등계수에 대한 평가기준은 95% 이상이면 매우양호(excellent), 93~95%이면 양호(average), 89~93%이면 보통(marginal), 85~89%이면 불량(poor), 85%미만이면 사용불가(unacceptable)이다.

또한 분수호스와 점적관수는 모두 관망으로 이루어지기 때문에 관수로에서의 마찰손실수두를 적용하여 압력보상 필요여부를 검토하였다. 관의 마찰손실수두(H_f)는 Darcy-Weisbach의 식, 마찰계수(f)는 Manning 공식식을 이용하여 추정하였다(Ministry of agriculture and forestry, 2004).

$$H_f = f \frac{L v^2}{d 2g} \quad (3)$$

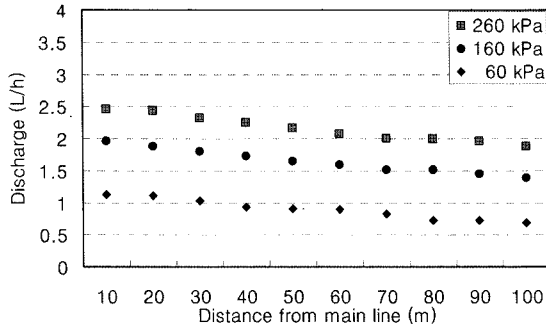
$$f = \frac{124.5n^2}{d^{1/3}} \quad (4)$$

여기서, L 는 관의 길이(m), d 는 관의 직경(m), v 는 유속(m/s), g 는 중력가속도(m/s²), n 은 조도계수(plastic tube 0.012)이다.

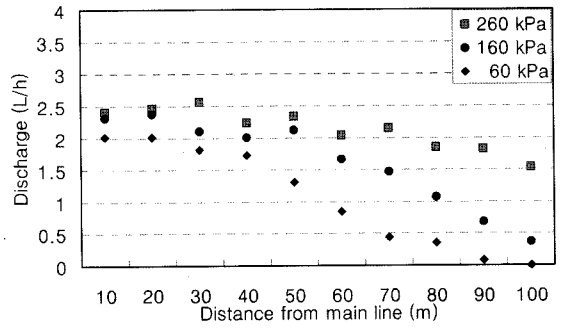
결과 및 고찰

점적관수의 사용압력과 튜브 길이에 따른 유량 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 점적호스의 경우 길이 증가와 압력 감소에 따라 유출량이 크게 줄어드는 것으로 나타났다. 점적테이프의 경우에

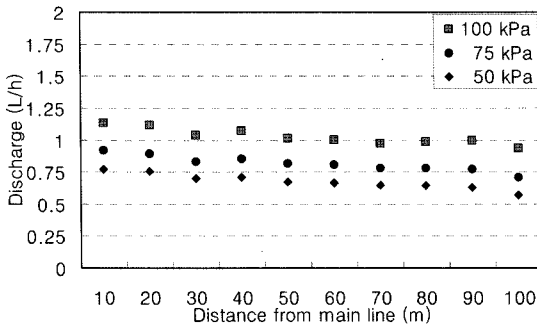
시설재배용 분수호스 및 점적관수 시스템의 관수균일도 분석



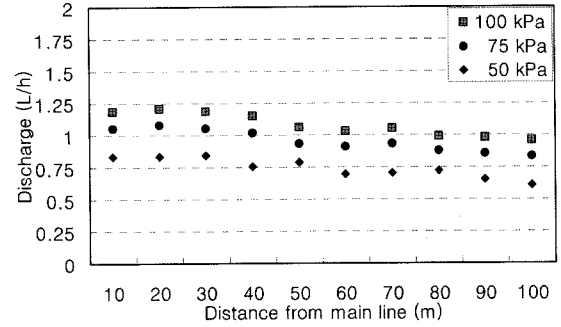
(a) Drip hose DhA



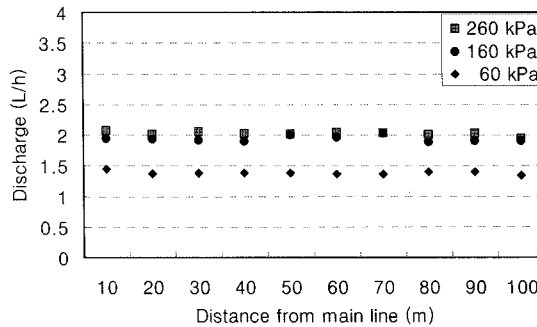
(b) Drip hose DhB



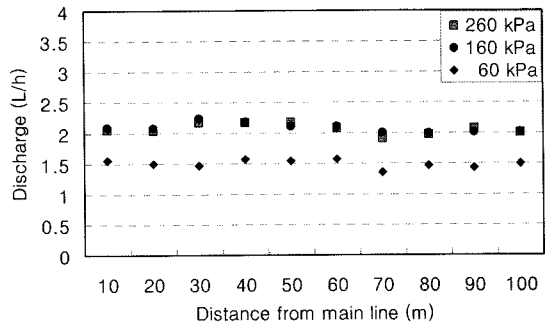
(c) Drip tape DtA



(d) Drip tape DtB



(e) Button dripper BdA



(f) Button dripper BdB

Fig. 1. Discharge variations of drip irrigation systems at different pressures and length of branch line.

도 점적호스 보다는 양호했지만 역시 길이 증가와 압력 감소에 따라 유출량이 줄어드는 것으로 나타났다. 점적단추의 경우에는 길이에 따른 변화가 거의 없었다.

Table 2는 배관길이 50, 70, 100m에 대한 점적관수의 균등계수를 분석한 결과이다. 점적단추의 경우에는 거의 대부분이 95%를 상회하여 매우 양호한 것으로 나타났다. 점적테이프의 경우에 70m까지는 대부분

양호 또는 매우 양호한 균등계수를 보였으나 100m에서는 제품 DtA의 압력 100kPa를 제외하고는 보통수준의 균등계수(89~93%)를 보였다. 점적호스의 경우에는 3가지 제품군 중에서 균등계수가 가장 떨어지는 것으로 나타났다. 제품 DhA의 경우 균등계수 90% 정도를 얻기 위해서 압력 60kPa에서는 50m, 160kPa에서는 70m가 한계였으며, 제품 DhB의 경우에는 압력

Table 2. Performance of drip irrigation systems at different pressures and length of branch line.

Type	Application pressure (kPa)	50 m			70 m			100 m		
		Mean discharge (L/h)	Standard deviation (L/h)	Statistical uniformity (%)	Mean discharge (L/h)	Standard deviation (L/h)	Statistical uniformity (%)	Mean discharge (L/h)	Standard deviation (L/h)	Statistical uniformity (%)
DhA	60	1.02	0.103	89.9 ^m	0.98	0.117	88.0 ^p	0.90	0.158	82.4 ^u
	160	1.80	0.122	93.2	1.73	0.158	90.9 ^m	1.65	0.190	88.5 ^p
	260	2.33	0.125	94.6	2.25	0.174	92.3 ^m	2.16	0.204	90.6 ^m
DhB	60	1.77	0.290	83.6 ^u	1.45	0.612	57.8 ^u	1.06	0.809	23.6 ^u
	160	2.18	0.153	93.0	2.01	0.331	83.5 ^u	1.62	0.703	56.5 ^u
	260	2.40	0.124	94.8	2.31	0.184	92.1 ^m	2.14	0.327	84.7 ^u
DtA	50	0.72	0.040	94.5	0.70	0.046	93.4	0.68	0.060	91.2 ^m
	75	0.86	0.043	95.1	0.84	0.049	94.2	0.82	0.061	92.5 ^m
	100	1.08	0.051	95.3	1.05	0.061	94.2	1.03	0.063	93.8
DtB	50	0.81	0.039	95.2	0.78	0.063	91.9 ^m	0.74	0.080	89.2 ^m
	75	1.03	0.058	94.4	1.00	0.070	93.0	0.96	0.090	90.6 ^m
	100	1.16	0.059	94.9	1.13	0.075	93.4	1.08	0.095	91.2 ^m
BdA	60	1.39	0.029	97.9	1.38	0.028	98.0	1.38	0.028	98.0
	160	1.94	0.039	98.0	1.95	0.046	97.6	1.94	0.045	97.7
	260	2.04	0.023	98.9	2.04	0.019	99.1	2.03	0.034	98.3
BdB	60	1.53	0.044	97.1	1.51	0.077	94.9	1.50	0.068	95.5
	160	2.14	0.067	96.9	2.12	0.075	96.4	2.08	0.081	96.1
	260	2.12	0.068	96.8	2.08	0.097	95.3	2.06	0.089	95.7

note ; ^mmarginal, ^ppoor, ^uunacceptable

Table 3. Irrigation performance of perforated hose at different pressures and length of branch line.

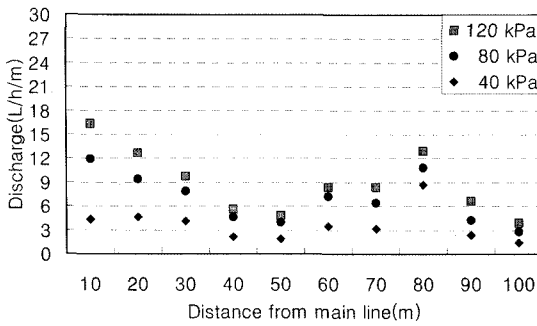
Type	Application pressure (kPa)	50 m			70 m			100 m		
		Mean discharge (L/h/m)	Standard deviation (L/h/m)	Statistical uniformity (%)	Mean discharge (L/h/m)	Standard deviation (L/h/m)	Statistical uniformity (%)	Mean discharge (L/h/m)	Standard deviation (L/h/m)	Statistical uniformity (%)
W32	40	3.44	1.308	62.0	3.41	1.071	68.6	3.64	2.093	42.5
	80	7.58	3.325	56.1	7.37	2.746	62.8	6.96	3.090	55.6
	120	9.87	4.807	51.3	9.45	3.991	57.8	8.97	4.001	55.4
W60	40	7.97	5.284	33.7	5.69	5.809	-	3.99	5.483	-
	80	12.28	4.256	65.3	10.27	4.979	51.5	9.09	4.625	49.1
	120	16.43	4.206	74.4	14.99	4.228	71.8	14.12	3.801	73.1
W70	80	25.16	5.805	76.9	22.20	6.932	68.8	21.56	5.760	73.3
	120	31.51	6.803	78.4	29.15	6.905	76.3	28.24	6.129	78.3

60kPa에서 사용 불가, 압력 160kPa에서 50m, 압력 260kPa에서 70m가 사용 한계로 나타났다. 제조회사에서 제공하고 있는 공칭유량과 적정 압력 범위는 실제 유량과 상당히 차이가 있는 것으로 나타났다. 실제 유량은 적정압력 범위 내에서도 상당히 높은 압력에서만 공칭유량의 값을 보였으며, 따라서 농가에서 이용할 경우 사용압력에 따라 공칭유량을 보정하여 적용할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

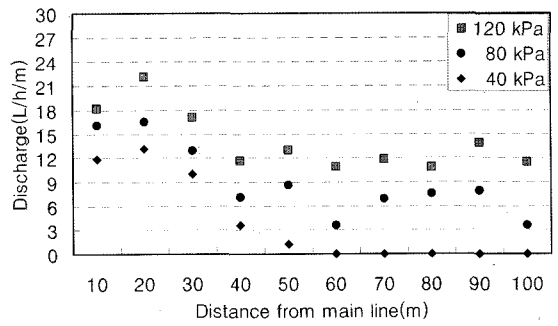
Fig. 2는 분수호스의 사용압력과 튜브 길이에 따른 유량 변화를 나타낸 것이다. 분수호스의 경우에는 일정한 간격으로 토출구가 있는 것이 아니라 다공 튜브의 형식으로 되어 있으므로 집수용기의 폭을 이용하여 단위 길이당 유량으로 환산하였다. 그림에서 보는 바와 같이 배관길이에 따른 유량 변화가 매우 심한 것으로 나타났다.

Table 3은 배관길이 50, 70, 100m에 대한 분수호스

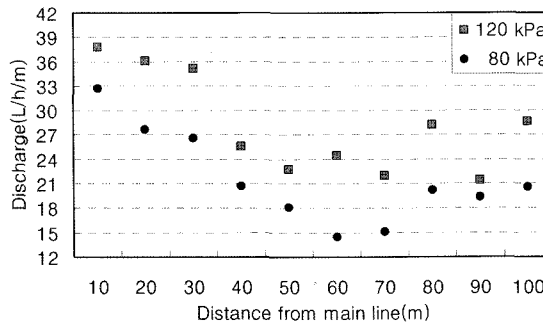
시설재배용 분수호스 및 점적관수 시스템의 관수균일도 분석



(a) Perforated hose W32



(b) Perforated hose W60



(c) Perforated hose W70

Fig. 2. Discharge variations of perforated hose at different pressures and length of branch line.

Table 4. Loss of pressure in 100 m length of branch line for drip irrigation system.

Diameter of tube (mm)	Dripper		Total discharge (m ³ /h)	Velocity of flow (m/s)	Friction coefficient (f)	Loss of head (m)	Loss of pressure (kPa)
	Discharge (L/h)	Spacing (cm)					
16	2.0	30	0.67	0.92	0.0711	19.2	188
16	1.0	20	0.50	0.69	0.0711	10.8	106
25	2.0	30	0.67	0.38	0.0613	1.8	18

Table 5. Loss of pressure in 100 m length of perforated hose irrigation system.

Type	Diameter of tube (mm)	Discharge (L/h/m)	Total discharge (m ³ /h)	Velocity of flow (m/s)	Friction coefficient (f)	Loss of head (m)	Loss of pressure (kPa)
W32	20.4	6.96	0.70	0.59	0.0656	5.74	56
W60	38.2	9.09	0.91	0.22	0.0532	0.35	3
W70	44.6	21.56	2.16	0.38	0.0506	0.85	8

의 균등계수를 분석한 결과이다. 관수균일도 측면에서는 모든 경우에 매우 불량한 것으로 나타났다. 점적기를 사용하지 않고 있기 때문에 점적관수의 관정기준을 적용할 수는 없지만 균등계수가 매우 낮아 균일한 관수를 기대하기는 어려울 것으로 판단된다. W32의 경우 균등계수 70%를 넘는 것이 하나도 없으며 W60,

W70의 경우에도 균등계수 70%를 넘기기 위해서는 사용압력이 100kPa은 넘어야 할 것으로 판단되어 제조 회사에서 제공하고 있는 적정압력 40kPa과는 차이가 큰 것으로 나타나고 있다. 심지어 W60의 경우 낮은 압력에서는 50m 이후에 유출량이 전혀 없었으며, W70은 저압 조건에서 실험이 불가능 하였다. 이는 다

공투브관수의 경우 균일한 관수를 얻기 위해서는 튜브의 길이가 30~35m 이하이어야 적합하다(Lee et al., 1993)고 제시한 것과 일치하는 결과라고 생각된다.

Table 4는 점적관수의 튜브직경 및 공칭유량 적용시 배관 길이 100m에서의 압력손실을 수리학적으로 계산한 것이다. 관마찰에 의한 압력손실을 고려할 때 길이 100m까지 적정 압력을 유지하기 위해서는 점적호스의 경우에 300kPa, 점적 테잎의 경우 150kPa정도 이상의 압력을 배관 입구해 가해야 할 것으로 판단되지만 이렇게 고압에서는 튜브가 터질 수도 있으므로 배관 길이를 제한적으로 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Table 5는 분수호스의 튜브직경 및 공칭유량 적용시 배관 길이 100m에서의 압력손실을 수리학적으로 계산한 것이다. 관마찰에 의한 압력손실은 길이에 비례하므로 원하는 길이까지 필요한 압력을 유지하기 위해서는 관수자재의 적정압력에 배관길이에 따른 압력손실을 더한 만큼의 압력을 배관 입구해 가해야 한다. 직경이 큰 분수호스의 경우에는 손실수두가 크지 않으므로 압력에는 별 문제가 없을 것으로 생각되지만 W32와 같이 직경이 작은 분수호스는 압력손실을 고려해야 할 것으로 판단된다.

적 요

점적관수 자재 및 분수호스의 관수균일도 실험결과 사용압력과 배관길이에 따라 유출량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 점적관수 중에서는 점적단추의 관수 균일도가 가장 높았고, 점적테잎, 점적호스의 순으로 나타났다. 관의 직경과 길이 및 유량에 따라 다르지만 마찰에 의한 압력손실이 상당히 크므로 점적관수의 사용압력과 배관길이 선택에 주의할 필요가 있다. 제품에 따라 약간의 차이는 있었지만 대체로 점적호스는 50m, 점적테잎은 70m 정도를 최대 배관길이로 제한하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 점적단추는 실험에서 설정한 최대길이인 100m까지도 사용이 가능한 것으로 사료된다. 그러나 관수시스템의 압력을 체크하여 충분한 압력을 확보하고 있는지 검토할 필요가 있

고, 부족시 별도의 가압펌프를 설치하여 적정압력 범위를 만족할 수 있도록 하며 물구멍이 막히지 않도록 필터를 설치하고 수질을 관리하는 등의 유지관리가 필요한 것으로 판단되었다. 분수호스의 경우에는 균등계수가 매우 낮아 균일한 관수를 기대할 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 균일한 관수 제어를 필요로 하는 높은 수준의 시설재배에서는 가능한 한 점적관수를 사용하고, 비교적 낮은 수준의 배지수분 관리가 이루어지는 시설재배에서도 분수호스를 이용할 경우 배관길이를 30~35m 이내로 제한하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

주제어 : 균등계수, 마이크로관개시스템, 마찰손실수두, 분수호스, 점적관수

인 용 문 헌

1. ASAE Standards, EP405.1. 1997. Design and installation of microirrigation systems. St. Joseph, MI : ASAE.
2. ASAE Standards, EP458. 1997. Field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph, MI : ASAE.
3. Lee, B.I. et al. 1993. Protected horticulture new edition. Hyangmoonsa Press. p. 189-196 (in Korean).
4. Lee, N.H., H.C. Hwang, and S.W. Nam. 1998. A study on the utilization of irrigation systems for greenhouse farming. Journal of the KSAE 40(6):37-45 (in Korean).
5. Lee, N.H. 1999. Performance and hydraulic characteristics of drip emitters. Journal of the KSAE 41(3):33-40 (in Korean).
6. Ministry of Agriculture and Forestry. 2004. Design standards for agricultural production infrastructure development (part of irrigation canal). KSAE. p. 107, 503 (in Korean).
7. Nam, S.W. 2000. Gross and unit irrigation water requirement for greenhouse design. Proceeding of Bio-Environment Control 9(1):108-112 (in Korean).
8. Nam, S.W., Y.S. Kim, and I.K. Yang. 2007. Discharge variation of drip irrigation systems at different pressures and the length of a pipeline. Proceeding of Bio-Environment Control 16(2), p. 119 (in Korean).
9. 日本施設園藝協會. 1997. 最新施設園藝の環境制御技術. 誠文堂新光社. p. 112-117 (in Japanese).