

세라믹 종류, 두께 및 소성온도에 따른 식물개체제어형 세라믹 자동점적관수시스템의 점적성능¹⁾

양원모

순천대학교 응용생물원예학부

Trickling Performance of Individual Watering System with Variety, Thickness and Firing Temperature of Ceramic

Yang, Won-Mo

Faculty of Applied Biology and Horticulture, Suncheon Nat'l Univ. Suncheon,
Korea

Abstract

The trickling system for automatic and individual watering were made with Bunchungto, Ongito and Backjato. The thickness of ceramics were 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0mm. And they were fired in a muffle furnace at five different temperatures between 500 and 900°C during 12 hours. The upper plastic parts of sensor consisted of five elements made by steel mold. With the photo fiber sensor attached to datalogger, an accumulated amount of drops for every 10 minutes were recorded. The porosity is higher in the order of Bunchungto, Backjato and Ongito; also, as the firing temperature is higher and the thickness is thicker, the porosity is higher. The ceramic sensors consisted of SiO₂ of 54.17~71.62wt.%, Al₂O₃ of 15.42~33.79wt.% and the rest of 10wt.%, those were Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅. The pattern of dropping were changed according to the variety, thickness and firing temperature of ceramics. As the ceramics were made thicker, the fluctuation of dropping became more rapid, but it did not regularly work at 1mm thickness. As the firing temperature of ceramics became higher, the fluctuation of dropped amount became more rapid.

주제어: 관수자동화, 세라믹 자동점적센서, 식물개체제어형 관수시스템

Key Words: automatic drip irrigation, automatic trickling ceramic sensor, individual irrigation system,

¹⁾ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(971-0601-005-2) 지원으로 수행되었습

서 론

원예상품의 품질 향상은 광, 온도, 수분, 탄산가스 등과 같은 환경의 효율적인 제어 없이는 불가능하며, 특히 효율적인 수분관리는 우수한 상품 생산의 필수적인 요소이다. 또한 농업인력의 노령화가 심각한 현실에서 노동력의 절감을 위하여 수분관리의 생력화와 자동화가 절실히 요구되고 있다.

관수의 적정화 및 자동화를 위하여 일사비례제어, VPD제어, 경계계측제어 등과 같은 연구가 계속되어 왔으며, 여러 가지 다양한 관수자재와 센서가 개발되었으나, 모두가 온실 전면에 일정량의 물을 일정시간동안 관수하는 방식이기 때문에 식물체의 크기나 온실 내 위치에 따른 증발산량의 차이를 고려하지 못하므로 각각의 식물 개체에 필요한 적정관수가 이루어지지 못하고 있는 실정이다(Davis와 Annan, 1980; Baker와 Spaans, 1993; 이, 1997; 김과 김, 1998; 이 등, 1998). 그러므로 각 식물체에 적합한 양의 수분을 식물이 필요로 할 때에 합리적으로 관수하기 위해서는 식물개체별로 소비한 양 만큼의 수분을 공급할 수 있는 식물개체 제어형 관수시스템의 개발이 필요하다.

식물개체제어형 관수장치에 관한 연구는 아직 미흡한 편인데 실제 응용되고 있는 경우로서 오스트리아에서 개발되어 시판되고 있는 제품(Weninger, Tropf-Blumat)이 있으나 우리 나라에서는 그 개념조차 도입되어 있지 못하고 있는 실정이다.

이 연구는 이러한 측면에서 온실 전면에 일정량의 물을 일정시간 관수하는 기존의 관수개념을 탈피하여 각 개체별로 소비된 양만큼의 물을 관수하는 개념을 채용함으로써 관수의 적정화 및 자동화를 실현하고자 수행하였다. 이를 위해 시판센서의 작동 기본원리를 이해하여 우리 실정에 맞도록 시험 제작해 보고, 세라믹의 종류

별, 두께별, 소성온도별로 점적성능을 비교분석하였다.

재료 및 방법

센서상단부의 플라스틱 개폐장치는 5개의 부품으로 구성하였으며 각 부품을 만들 수 있는 13벌(호스연결핀용 포함)의 철제금형을 제작하고 여러 차례 수정보완한 후 수지와 나일론을 재료로 하여 사출 제작하였다. 센서하단부의 세라믹은 석고틀을 제작하여 이장주입법(임, 1991; 이 등, 1991; 이 등, 1992; 김 등, 1995)으로 제작하였다. 이장조제를 위한 해교제는 Na_2SiO_3 를 사용하였다. 석고틀은 소성 후의 축소율을 고려하여 제작하였다. 축소율은 같은 재료, 같은 방법으로 제작 건조하여 700℃에서 소성한 결과 나타난 축소율 19.5%를 기준으로 하였다. 센서하단부의 세라믹구조는 외경 32mm, 내경 16mm이며 길이는 8cm인 원추형으로 하였고 재질은 용기토, 백자토, 분청토를 기본으로 하고 이들 상호간을 조합하였다. 세라믹의 두께는 이장주입시간을 5, 10, 15, 20, 25분으로 하여 5수준으로 만들었으며, 각각 약 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0mm의 두께가 되도록 하였다. 소성은 전기로(Carbolite, EML)

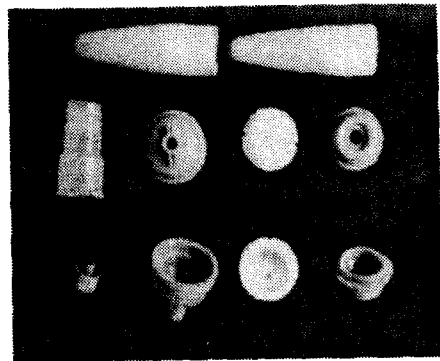


Fig. 1. Parts of ceramic sensor for automatic drip irrigation for individual plant.

를 이용하였고 소성온도는 400℃ 이하에 서는 물을 채웠을 때 수축에 의하여 파손 되었고, 1000℃ 이상에서는 소결되어 공극 이 없어질 것으로 생각되었으므로(이 등, 1991; 이 등, 1997) 500, 600, 700, 800, 900℃의 다섯 수준으로 하였다. 소성과정 은 상온에서부터 400℃까지는 매 10분마다 10℃씩 승온시켰으며 410℃에서 900℃ 까지는 매 10분마다 20℃씩 승온시켰고 최종온도에 이른 후에는 30분 이상을 유지한 후 실온까지 자연 냉각하였다.(Fig. 1)

이렇게 제작된 시작센서 하단부의 세라믹 부분은 각각 화학성분의 조성을 분석

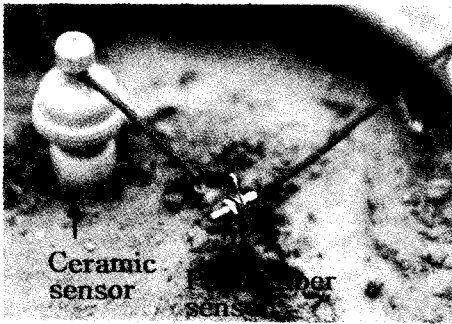


Fig. 2. A ceramic sensor and the photo fiber sensor for counting water drops.

하였다. 화학분석은 X레이형광분석기(理化學器機社, 모델30702)를 이용 KSL3316 법(김 등, 1995)으로 분석하였다. 또한 각각의 세라믹 종류별로 공극율, 흡수율, 부피비중, 겔보기비중을 측정하였다. 공극율, 흡수율, 부피비중, 겔보기비중은 열중량물리시험법(이 등, 1992; 김 등, 1995)에 의하여 측정 계산하였다. 각 센서의 점적패턴과 점적량을 분석하기 위하여 광선유센서(日本 竹中電子, F5RN)를 부착하고 10분 간격으로 누적점적량을 데이터수집기(CampBell, 21XL)로 측정 기록하였다(Fig. 2).

결과 및 고찰

Table 1에 점토의 종류를 달리하여 700℃로 소성한 시작센서의 화학분석 결과를 나타내었다. 강열감량은 세립분청토(Bunchungto(L))에서 2.03%로 가장 많았고 오스트리아산 시판제품(Control, 이하 대조구라 함)에서 0.39%로 가장 적었다. 규소함량은 옹기토(Ongito)와 대조구에서 많았고 세립분청토에서 54.17%로 가장 적었다. 일반적으로 고온에 견디는 힘의 지표가 되는 Al_2O_3 는 세립분청토에서 33.79%로 가장 많았고 백자토(Backjato)

Table 1. The portion of chemicals according to the ceramic variety. Unit: wt. %

Ceramic variety ^z	Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Total
Backjato	1.23	67.59	24.75	0.96	0.66	0.22	1.53	2.46	0.10	0.04	99.54
Ongito	1.31	71.48	17.70	3.83	0.38	0.70	0.93	2.53	0.77	0.03	99.66
Bunchungto(L) ^y	2.03	54.17	33.79	3.10	1.69	0.73	1.13	1.62	0.14	0.02	98.42
Bunchongto(S) ^y	1.57	60.75	27.42	3.73	0.67	0.77	1.47	3.07	0.33	0.04	99.82
Control ^w	0.39	71.62	15.42	4.24	2.77	0.99	1.38	2.32	0.75	0.02	99.88

^zThe firing temperature is 700℃, thickness is 2.5mm

^yL : Large particle, ^yS : Small particle

^wControl : Import goods, Weninger, 32003 2 Tropf-Blumat

에서는 24.75% 였으며 대조구에서 가장 적은 15.42%였다. Fe₂O₃, CaO, MgO는 대조구에서 많았으며 Na₂O는 백자토에서 많았다. 고온에서 자화되어 공극율을 저하시키는 K₂O는 미립분청토(Bunchungto(S))에서 많았고 세립분청토에서 작았으며 나머지는 비슷하였다. TiO₂는 옹기토와 대조구에서 많았다. P₂O₅의 함량은 전체적으로 극히 적었다.

성분함량의 대부분을 차지하는 규소:알루미나의 비율을 보면 백자토 73.2:26.8, 옹기토 80.2:19.8, 세립분청토 61.6:38.4, 미립분청토 68.9:31.1, 대조구 82.3:17.7로서 대조구와 가장 비슷한 것은 옹기토였고 가장 큰 차이가 나는 것은 세립분청토였으며 시작용 소재로 사용한 점토는 대조구에 비하여 규소의 함량이 상대적으로 적은 편이었다. 또한 두 가지 성분의 합계는 백자토 92.34, 옹기토 89.18, 미립분청토 88.17, 세립분청토 87.96, 대조구 87.04%로 試作用 제작에 사용한 점토가 대조구에 비해 두 성분의 합계가 많았으며, 알루미나의 함량도 많았다. 이러한 성분함량이나 비율의 차이는 센서의 공극율 차이를 초래하여 세라믹 자동접착센서의 점적성능과 패턴에 영향을 미치는

것으로 생각되었다.

센서의 공극율은 Table 2 및 3과 같다. Table 2는 두께 2.5mm인 세라믹 점토종류 및 소성온도에 따른 공극율을 나타낸 표이다. 표에서 보는 바와 같이 세립분청토에서 가장 높았으며(평균 37.47%) 다음이 옹기토와 세립분청토의 혼합토(평균 34.82%), 백자토(평균 34.71%), 옹기토(평균 31.84%) 순 이었다.

세립분청토와 백자토의 경우는 소성온도 간에 공극율의 차이가 인정되었으나 옹기토와 세립분청토의 혼합토나 옹기토의 경우 개체간의 오차가 심하여 통계적으로 유의차가 인정되지 않았지만 소성온도 간에 공극율의 변화가 초래되는 경향을 알 수 있었다. 세립분청토는 소성온도 500℃에서 35.83%로 가장 낮았고, 900℃에서 38.53%로 가장 높았으며 800℃에서 37.6% 700℃에서 38.1%, 600℃에서 37.3%의 공극율을 나타내었다. 백자토와 옹기토는 소성온도가 높을수록 공극율도 높아졌는데 각각 900℃에서 36.43%, 32.50%, 800℃에서 35.8%, 32.13%, 700℃에서 34.7%, 31.77%, 600℃에서 34.9%, 31.83%, 500℃에서 31.7%, 30.97%였다. 즉, 백자토와 옹기토의 경우는 온도가 높아질수록

Table 2. The porosity with the variety and the firing temperature of ceramic at the thickness of 2.5mm. Unit: % .

Firing Temperature	Bunchungto(L ²)	Ongito+ Bunchungto(L)	Backjato	Ongito
500 (°C)	35.83c	33.47	31.7c	30.97
600	37.3b	35.13	34.9b	31.83
700	38.1ab	36.30	34.7b	31.77
800	37.6b	35.97	35.8ab	32.13
900	38.53a	33.23	36.43a	32.50
Average	37.47	34.82	34.71	31.84

²L : Large particle

Mean separation within the columns by DMRT, 5% level

공극율이 높았으며, 분청토의 경우 600℃ 이상에서는 비슷하였다. 일반적으로 세라믹의 공극율은 점토의 종류나 소성온도에 따라 변화하므로(김 등, 1993) 세라믹 자동점적센서의 점적패턴과 점적지속기간 등은 세라믹소재의 종류와 소성온도 그리고 센서상단부 플라스틱 개폐장치의 탄력성이 상호 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 3은 소성을 700℃에서 동일하게 한 경우 두께에 따른 공극율의 변화를 나타낸 것으로 점토의 두께에 따라서도 공극율의 차이가 인정되었으며 얇은 것보다 두꺼운 것이 오히려 공극율이 높아지는 현상을 보였다.

세라믹은 제조과정에서 수많은 인자에 의해 물리화학적 성질이 변화한다(이

등, 1992). 공극율도 이러한 여러 가지 원인 때문에 재료와 두께 그리고 소성온도에 따라 다양하게 변화하는 것으로 생각되었다. 일반적으로 소결이 완성되면 공극율이 0%가 되는데 두께가 두꺼운 것이 얇은 것보다 소결의 완성이 늦어지기 때문에 오히려 공극율이 높은 것으로 추측되었다(이 등, 1991).

소성온도를 700℃로 하고 세라믹의 두께와 종류를 달리한 경우의 세라믹 자동점적센서의 점적패턴은 Fig. 3과 같다.

세라믹의 두께는 1mm로 같으나 점토의 종류가 다른 경우의 점적패턴을 보면 Fig. 3a와 같다. 백자토의 경우는 대조구(시판 제품)와 유사한 패턴을 보였으나 세립분청토와 옹기토는 정상적인 점적이 이루어지지 못하였다. 또, 미립분청토의 경우에는 주기적이고 규칙적인 점적이 이루어지지 못하고 일반점적 방식과 같이 일정하게 같은 량의 점적이 이루어져 센서의 자동조절 기능을 발휘하지 못하였다. 두께별로 보면 두께 1mm로 세라믹을 제작하는 경우 백자토외에는 정상적인 자동점적 기능을 발휘할 수 없었다.

Fig. 3b는 세라믹의 두께 1.5mm인 경우, Fig. 3c는 세라믹의 두께 2mm인 경우, Fig. 3d는 세라믹 두께 2.5mm인 경우, Fig. 3e는 세라믹 두께 3mm의 경우이다. 두께 1.5mm의 경우 전반적으로 점토의 종류에 관계없이 비슷한 점적패턴을 보였으나 백자토와 미립분청토의 경우 점적피크가 높게 나타나는 것으로 보아 센서내부의 부압변화에 따른 튜브의 개폐가 민감하게 이루어짐을 알 수 있었다. 또한 백자토의 경우 Fig. 3b에서 보는 것처럼 점적의 시작이 급격히 이루어지지만 점적의 중단은 서서히 이루어지는 것으로 나타나 센서내부에서 빠져나간 수분의 재유입이 다른 점토에 비해 늦다는 것을 알 수 있었으며 이것은 백자토의 경우 세라믹의 공극크기와 밀도가 옹기토 보다는

Table 3. The porosity with the variety and the thickness of ceramic.

Ceramic Variety ² (A)	Thickness(B)	Pore rate(%)
	1.5 (mm)	29.77cd
Bunchung-to(L ³)	2.0	30.17bcd
	2.5	31.03ab
	3.0	31.8a
Bunchung-to(S ⁴)	1.5	26.8ef
	2.0	27.5e
	2.5	29.16d
Backjato	3.0	29.4d
	1.5	27.17ef
	2.0	29.93cd
Ongito	2.5	29.4d
	3.0	30.53bc
	1.5	24.63h
A	2.0	25.73g
	2.5	26.87ef
	3.0	26.4fg
A		35.55**
B		10.09**
A×B		NS

²Firing temperature of ceramic is 700℃
³L : Large particle, ⁴S : Small particle
 Mean separation within the columns by DMRT, 5% level

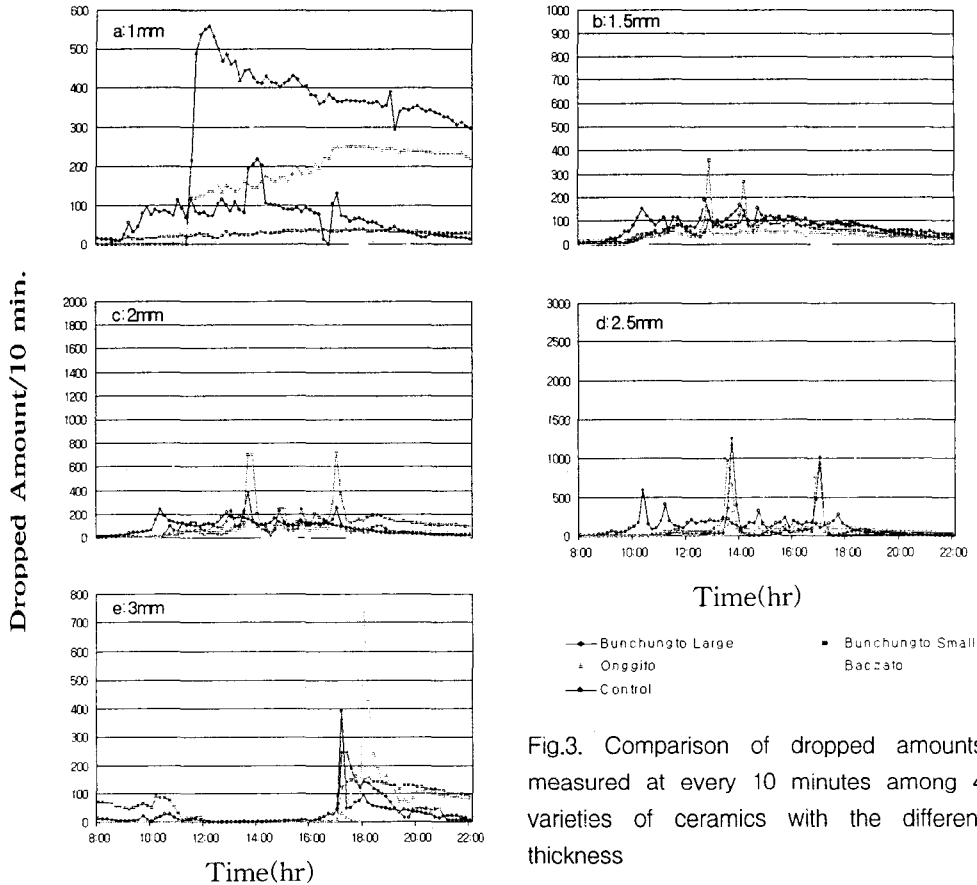


Fig.3. Comparison of dropped amounts measured at every 10 minutes among 4 varieties of ceramics with the different thickness

크지만 분청토 보다는 작아 부압이 형성 되었음에도 불구하고 빠져나간 수분의 재유입 이 늦게 일어나기 때문으로 생각되었다. 그리고 이러한 경향은 세라믹센서의 두께가 두꺼워질수록 심하게 나타났다 (Fig. 3c~3e). 두께 2mm에서는 미립분청토에서도 같은 현상이 나타나기 시작하였고 두께가 두꺼워지면서 그 경향은 현저하였다. 세라믹센서 두께 2.5mm와 3.0mm에서는 대부분의 점토에서 그러한 경향이 나타나기 시작하였다.

세라믹 소재의 종류별로 두께에 따른 점적패턴을 보면, 세립분청토의 경우 두께가 얇을수록 점적개시에서 종료까지의 점적 지속시간이 길었으며 단위시간당 점적물 방울의 숫자는 적었다. 반면 두께가 두꺼

워질수록 점적지속시간이 짧았고 단위시간당 점적물방울의 숫자는 많았다. 이러한 현상은 미립분청토, 옹기토, 백자토에서도 비슷하였다. 이러한 결과로 볼 때 상단부 플라스틱 개폐장치의 탄력성과 상호관계가 있으므로 단정짓기는 곤란하지만 일반적으로 세라믹 자동점적센서의 세라믹 두께는 2mm내외가 적당할 것으로 생각되었다. Fig. 4는 옹기토를 소재로 한 세라믹 센서의 소성온도에 따른 점적패턴을 나타낸 것이다. 소성온도에 관계없이 전체적으로 점적이 양호하였다. 세부적으로는 대조구가 완만한 점적지속시간을 보인 반면 자체 제작한 세라믹 자동점적센서의 경우는 급격한 점적 즉, 점적지속시간은 짧으나 단위 시간당 점적량이 많았다. 특히 그

양 : 세라믹 종류, 두께 및 소성온도에 따른 식물개체제어형 세라믹 자동점적관수시스템의 점적성능

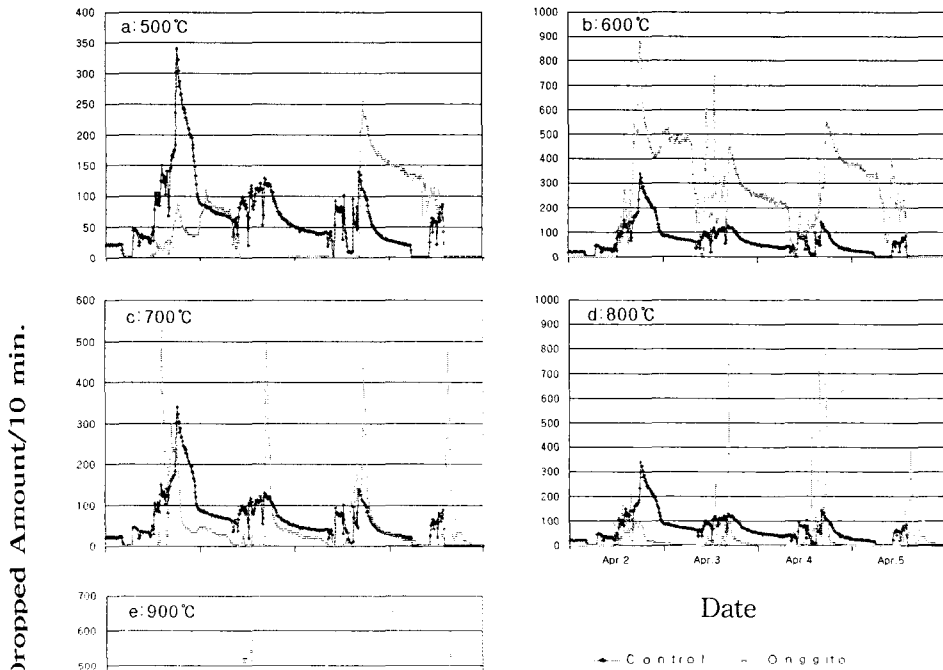


Fig 4. Patterns of dropped amount of Onggito ceramic measured at every 10 minutes for 4 days, from Apr. 2nd to 5th, at 5 different firing temperatures, which were the upper plastic-only Import goods, Blumat.

경향은 소성온도 800°C에서 심하였다. 이와 같이 자동점적센서 하단부 세라믹의 소성온도는 세라믹의 공극형성에 영향을 미쳐 점적성능과 패턴을 크게 좌우하는 것으로 판단되었으며 점적성능과 수명 등을 고려할 때 800°C내외에서 소성하는 것이 적절할 것으로 생각되었으나 상부의 플라스틱 개폐장치의 탄력성에 따라서는 그 이상의 온도에서도 문제는 없을 것으로 판단되었다.

적 요

세라믹의 종류와 두께 그리고 소성온도를 달리하여 제작한 세라믹 자동점적센서의

점적성능을 비교 분석하였다.

자체제작 세라믹센서에 가장 많이 함유된 조성성분은 SiO₂로 54.17~71.62 wt.%였으며 다음이 Al₂O₃로 15.42~33.79 wt.%였다. 두 성분의 합계는 백자토 92.34 wt.%, 옹기토 89.18 wt.%, 미립분청토 88.17 wt.%, 세립분청토 87.96 wt.%, 대조구(시판수입제품) 87.04 wt.%였다.

SiO₂:Al₂O₃의 비율은 백자토 73.2:26.8, 옹기토 80.2:19.8, 미립분청토 68.9:31.1, 세립분청토 61.6:38.4, 대조구 82.3:17.7이었다. 기타 Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ 등이 10wt.%내외 함유되어 있었다. 공극율은 세립분청토에서 가장 높았

고 백자토, 용기토 순이었으며 소성온도가 높을수록 두께가 두꺼울수록 공극율이 높았다. 두께 2.5mm로 성형한 세라믹의 점토종류에 따른 공극율은 세립분청토 37.47%, 세립분청토와 용기토의 혼합토 34.82%, 백자토 34.71%, 용기토 32.5% 순이었다.

세라믹의 점토종류, 소성온도에 관계없이 자동점적이 가능하였으나 점적센서의 반응주기와 점적량의 집중도는 차이가 있었으며, 세라믹의 두께나 상부 플라스틱 개폐장치의 탄력성에 따라서도 점적패턴과 점적량의 집중도에 큰 차이가 있었다. 세립분청토나 백자토에서는 점적지속시간이 짧았으며 백자토의 경우 점적량의 증가가 급격하지만 감소는 서서히 이루어졌다. 또한 세라믹의 두께가 두꺼울수록 점적지속시간이 짧았으며 점적량의 증가는 급격하였고 감소는 완만하였다. 그러나 두께 1mm로 얇은 경우는 백자토를 제외하고는 정상적인 급액이 이루어지지 못하였다. 세라믹 센서를 500℃에서 소성한 경우 점적지속시간이나 단위시간당 점적량이 불안정하였으며 600℃ 및 700℃에서는 비교적 안정된 양상을 보였으나 점적지속시간이 길어졌으며 800℃ 또는 900℃에서 소성한 경우는 점적지속시간이 짧은 반면 단위시간당 점적량이 커지면서 점적의 개시와 종료가 뚜렷하였다.

인용문헌

1. 김복희, 신현택, 한상목. 1995. 무기재료 실험. 반도출판사. 서울. p. 7-9, 43-47, 77-82, 139-147, 276-288.
2. 김종희, 김도경, 박지연. 1993. 최신세라믹공학. 반도출판사. 서울. p. 97-133.
3. 김혜진, 김영식. 1998. 방울토마토 고품형 배지경에서의 적산일사량에 따른 관수와 당도와의 관계. J. Bio. Env. Con. 7(2) : 144-150.
4. 이범선, 박순기, 정순주. 1998. 배지의 종류와 급액 방법이 양액재배 오이의 성장과 수량에 미치는 영향. J. Bio. Env. Con. 7(2) : 151-158.
5. 이변우. 1997. 온실재배 토마토의 경직경 변화에 의한 관개 시기 진단. J. Bio. Env. Con. 6(4) : 250-257.
6. 이준근, 송종택, 김병훈, 한상목, 김환, 박정현, 김철영. 1991. 세라믹공학. 반도출판사. 서울. p. 232-263.
7. 이홍립, 이형식 공역. 1992. 파인세라믹스 제조프로세스 입문. 반도출판사. 서울. p. 11-25, 47-52, 79-114, 230-249.
8. 이홍립, 정윤중, 박금철. 1997. 요업공업. 서울. 반도출판사. p. 320-331.
9. 임무근. 1991. 도예의 기초. 미진사. 서울. p. 78-86.
10. Baker, J. M. and E. G. Spaans. 1993. Comments on "Time-Domain Reflectometry Measurements of Water Content and Electrical Conductivity of Layered Soil Columns". Soil Science Society of America journal 57(5) : 67.
11. Davis, J. L. and A. P. Annan. 1980. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. Water Resources Research. 16(3) : 574-582.