

답전윤환 인삼재배 예정지 토양의 물 이동특성 평가

허승오* · 이윤정* · 연병열** · 전상호* · 하상건* · 김정규***

*국립농업과학원, **국립원예특작과학원, ***고려대학교 환경생태공학부

Assessment on Water Movement in Paddy-Upland Rotation Soil Scheduled for Ginseng Cultivation

Seung Oh Hur*, Yun Jeong Lee*, Byung Ryul Yeon**, Sang Ho Jeon*, Sang Geon Ha*, and Jeong Gyu Kim***

*National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-100, Korea.

**National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-100, Korea.

***Department of Environmental Ecology Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea.

ABSTRACT : This study was conducted to assess water movement in paddy-upland rotation soil scheduled for ginseng cultivation through the measurement of infiltration and permeability of soil water. Soil sample was divided with four soil layers. The first soil layer (to 30cm from top soil) was loamy sand, the second and the third soil layers (30~70 cm) were sand, and the fourth (< 120 cm) was sandy loam. The soil below 130 cm of fourth soil layer was submerged under water. The shear strength, which represents the resisting power of soil against external force, was 3.1 kPa in the first soil layer. This corresponded to 1/8 of those of another soil layer and this value could result in soil erosion by small amount of rainfall. The rates of infiltration and permeability depending on soil layers were 39.86 cm hr⁻¹ in top soil, 2.34 cm hr⁻¹ in 30~70 cm soil layer, 5.23 cm hr⁻¹ and 0.18 cm hr⁻¹ in 70~120 cm soil layer, with drain tile, and without drain tile, respectively. We consider that ground water pooled in paddy soil and artificial formation of soil layer could interrupt water canal within soil and affect negatively on water movement. Therefore, we suggest that to drain at 5 m intervals be preferable when it makes soil dressing or soil accumulation to cultivate ginseng in paddy-upland rotation soil to reduce failure risk of ginseng cultivation.

Key Words : Paddy-Upland Rotation, Ginseng, Water Movement, Soil

서 언

3년에서 5년을 재배해야 하는 다년생 작물인 인삼은 휴작기간이 매우 길어 토지의 생산성은 다른 작물에 비해 떨어진다(Kang *et al.*, 2007)고 할 수 있다. 밭에서는 10년, 논에서는 6년의 휴작기간을 설정 (농촌진흥청, 2001)해 연작을 피하려는 것은 연작장애로 인한 생산량의 급격한 감소를 피하고자 하는 것으로, 이를 위해 매년 인삼재배가 가능한 새로운 경작지가 필요한 것이 현실이다. 인삼재배 면적이 2000년 12,445 ha, 2005년 14,154 ha, 2007년 17,831 ha로 해마다 증가하고 있는 상황에서 휴작으로 인한 재배면적의 감소는 초작지를 고갈시키고 동시에 인삼의 안정적 생산성에 저해인자가 되는 것은 분명하다. 인삼재배 경작자들은 이러한 문제를 해결하기 위해 논토양에서 인삼을 재배하거나 논토양을 밭으로 전환한 답전윤환지에 인삼을 재배하고 있다. 인삼재배 논토양은 밭재배의 경우보다 인삼의 함량은 낮은 반면 전기전도도 (EC), 유기물

함량, 질산태질소의 함량은 높은 것으로 조사 되었으며 (Lee *et al.*, 2004), Jo *et al.* (1996)에 의하면 이러한 유기물 함량이나 염류의 과다는 인삼재배시 황병의 발병율을 높인다고 보고되어 있다. 답전윤환지는 지하수위가 높고, 투수속도가 매우 느린 논 토양의 특성을 개선하고자 석비레 (마사토) 등의 모재토양을 논토양 위에 적토함으로서 논토양의 물리성을 개선해 밭으로 사용하고자 하는 것이 주목적이다. 답전윤환지 토양의 물리적 특성 변화는 적토의 재료나 적토의 높이에 따라 달라질 수 있는데, 특히, 한밭이나 습해 등의 영향을 많이 받는 인삼의 특성상 답전윤환지 적토토양에 대한 물리적 변화 특성을 살펴보는 것은 초작지 인삼재배의 성패를 가늠할 수도 있다. 그러나, 지금까지의 대부분의 인삼관련 연구에서 토양의 물리적 특성은 토양수분 함량 (Nam *et al.*, 1980; Hur *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 2004)을 제외하고는 주목을 받지 못한 것이 현실이다. 특히, 토양수분 함량에 큰 영향을 미치는 토양 표면에서의 물의 침투 (infiltration)특성이나 토양 단면 내에서의

¹Corresponding author: (Phone) +82-31-290-0336 (E-mail) sohur@rda.go.kr
Received 2009 March 2 / Revised 2009 June 9 / Accepted 2009 June 10

Table 1. Soil particle size distribution and soil texture at each soil depth.

Soil Depth (cm)	Particle Size Distribution (%)			Soil Texture
	Sand	Silt	Clay	
0~30	85.5	9.9	4.6	LS
30~70	87.6	8.0	4.4	S
70~120	87.1	9.9	3.0	S
120 <	70.0	21.4	8.6	SL

투수 (permeability)특성에 대한 연구는 전혀 없는 형편이다. 따라서 본 연구는 인삼재배를 위한 답전윤환지 토양에서의 관개나 습해에 영향을 줄 수 있는 침투 및 투수특성을 측정해 개선해야할 물리적·화학적 특성이 무엇인지를 살펴보고, 원래 토양에 다른 토양을 적토하는 것이 토양 물리성 개선을 이루어 낼 수 있는지를 살펴보고자 수행했다.

재료 및 방법

1. 대상토양

본 연구를 위한 대상토양은 음성에 위치한 국립원예특작과학원 산하의 인삼특작부 구내 포장을 대상으로 했다. 이곳은 원래 논과 밭으로 구성된 곳이었는데, 재배를 위해 모든 논에 대해 점토가 섞인 석비레를 평균적으로 약 1.2 m 정도로 쌓아 밭으로 전환한 답전윤환 토양이다. 원래 토양이 예천토종으로 논 토양이었던 측정 대상토양 (Fig. 1)의 층위별 토양 입도분포와 토성은 다음의 Table 1에 나타나 있으며, GPS로 측정된 측정 위치는 북위 36도 56분 59초, 동경 127도 45분 06초이다. 토성, 용적밀도 및 화학성 분석은 농업과학기술원에서 발간한 ‘토양 및 식물체 분석법 (2000)’을 따랐으며, 토양수분 함량과 지온은 토양수분 함량과 지온 측정 겸용 센서인 WET2 (Delta-T Devices Ltd., UK)를 사용했고, 경도는 야마나카 경도계를 (Daiki, Japan), 전단강도 (shear strength)는 바람개비 형태의 측정장비 (Eijkkamp, Netherland)를 사용했다.

2. 침투 및 투수 측정

토양학에서는 강우나 관개에 의한 물의 토양침투를 나타내는 용어를 구분해서 사용하는데 침투는 계 (phase)가 다른 즉, 기체상인 대기로부터 고체상인 토양표면으로 물이 침투할 때 사용하는 용어이며, 투수는 동일한 고체상인 토양단면 내에서의 물의 이동을 나타낼 때 사용하는 용어이다. 따라서, 토양에서의 물의 이동을 기술하기 위해서는 침투와 투수로 구분해서 사용해야 하며, 본 시험에서는 이를 측정하기 위해 원반형 장력 침투 측정 장치 (DTI, Disc Tension Infiltrometer)와 Guelphpermeameter (GPM)를 사용했다. 그리고, 침투속도와 투수속도 측정 결과는 포화수리전도도로 표시되며, 현장에서 측정된 관계로 현장 포화수리전도도 (field saturation hydraulic

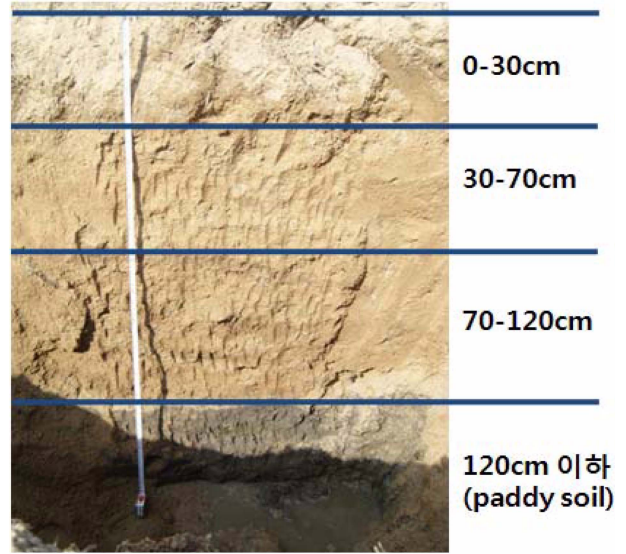


Fig. 1. Soil layer and depth of measured soil.

conductivity, K_{fs})로 통칭되어 진다.

2.1 이론

2.1.1 DTI의 이론

DTI (Fig. 2)는 현장에서의 침투속도를 측정하기 위해 수리전도도 예측 공식인 Gardner (1958)와 Wooding (1968)의 방정식을 사용했다. Gardner의 방정식은 매트릭 퍼텐셜 (matric potential, cm)과 포화수리전도도 값을 이용해 불포화수리 전도도를 추정하는 모형으로서 다음의 식 (1)과 같다.

$$K(h) = K_{sat} e^{\alpha h} \tag{1}$$

여기서, $K(h)$ 는 불포화수리전도도, K_{sat} 는 포화수리전도도이며, 단위는 $cm \cdot hr^{-1}$ 이다. α 는 거리 값의 역수 (cm^{-1})로 표현되는 파라미터 값이고 h 는 매트릭 퍼텐셜을 나타낸다.

토양으로 침투되는 물의 양과 불포화 수리전도도와 DTI의 원반의 반경과 파라미터 값인 α 의 관계를 나타내는 Wooding의 방정식은 다음의 식 (2)로 표현된다.

$$Q = \pi \cdot r^2 \cdot K(h) \cdot \left[1 + \frac{4}{\pi \cdot r \cdot \alpha} \right] \tag{2}$$

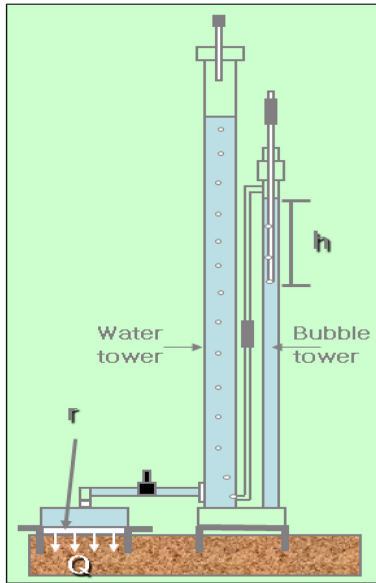


Fig. 2. Disc tension infiltrometer (DTI).

여기서, Q 는 토양으로 들어가는 물의 양 ($\text{cm}^3 \cdot \text{hr}^{-1}$)을 나타내며, $K(h)$ 는 불포화수리전도도 ($\text{cm} \cdot \text{hr}^{-1}$)를 나타낸다. α 는 거리 값의 역수 (cm^{-1})로 표현되는 파라미터 값이고 r 은 DTI 원반의 반경 (cm)이다.

식 (1)의 불포화수리전도도를 (2)의 불포화수리전도로 치환해 다음의 식 (3)을 얻었다. 이 식은 침투되는 물의 양을 포화수리 전도도와 매트릭 퍼텐셜의 함수로 나타내므로, 현장에서 DTI로 측정된 물의 양과 매트릭 퍼텐셜의 관계를 통해 포화수리전도도 값을 이 식을 활용해 구했으며, 이론적으로 한계 침투속도와 포화수리전도도 값이 같아지므로 계산된 포화수리전도도를 통해 한계 침투속도를 결정했다. 이렇게 결정된 침투속도는 측정 시에 물에 의한 공기의 포집 때문에 현장 포화수리전도도 (K_f)로 불리며, 그 값은 실험실에서 측정하는 포화수리전도도보다 작은 것이 일반적이다.

$$Q = \pi \cdot r^2 \cdot K_{sat} e^{(ah)} \cdot \left[1 + \frac{4}{\pi \cdot r \cdot \alpha} \right] \quad (3)$$

2.1.2. GPM의 이론

여러 층위 (layer)로 구성된 토양 단면 내에서 물의 이동은 GPM (Fig. 3)을 이용해 측정했다. GPM은 오거홀 (auger hole)방식의 투수속도 측정 장치로 Reynold and Elrick (1986)의 모형을 이용해 침투속도처럼 현장의 포화수리전도도를 측정한다. Reynold and Elrick (1986)의 모형은 다음의 식 (4)와 같다.

$$K_f = G_{10} Q_{10} - G_5 Q_5 \quad (4)$$

여기서, K_f 는 현장 포화수리전도도 (field saturated hydraulic

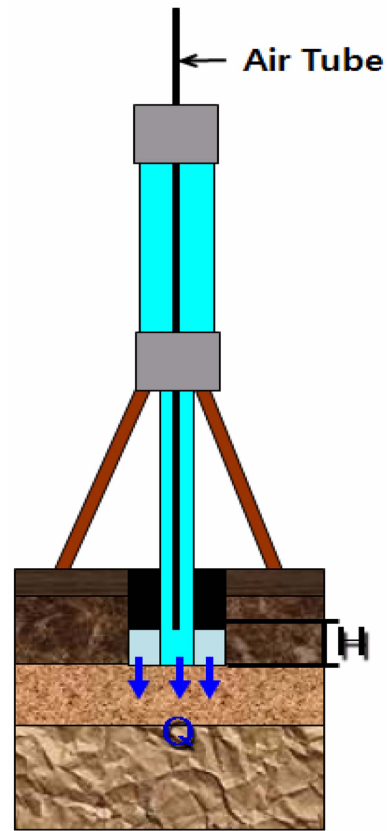


Fig. 3. Guelph permeameter (GPM).

conductivity, $\text{cm} \cdot \text{hr}^{-1}$)이고, G_i 는 각 수두에서의 상수, Q_i 는 각 수두 (H , water head)에서의 투수량을 나타낸다.

2.2 측정

2.2.1 표토 (A층)의 침투속도 측정

DTI를 사용함에 있어 주의할 점은 매트릭 퍼텐셜을 3단계 이상 (일반적으로 3, 6, 12 cm) 주어야 하는데, 이것은 DTI에서 디스크로 물이 빠져나오는 기본 높이가 2~3 cm에 있으므로 최소 매트릭 퍼텐셜은 3 cm 이상이어야 하기 때문이다. 본 연구에서는 현장의 침투조건에 따라 3 cm~15 cm 사이에서 3~4 단계의 매트릭 퍼텐셜로 측정했다. 한편, 측정을 위해 표토에 고운 모래를 5-10 mm 갈아 DTI의 디스크가 측정면과 공기가 통하는 부분이 없이 접촉이 잘 되도록 디스크를 설치했으며, 디스크는 바로 측정이 가능하도록 측정 전에 물에 담가서 포화시켰으며, 측정본체 (water reservoir와 bubbling tower)와 디스크가 수평을 이루도록 했다. 또한, 본체와 디스크 사이의 연결튜브에 공기가 없도록 해주었으며, 디스크는 포화 전에 디스크를 감싸 주는 측정용 압력 막 (membrane)을 접하지 않고 평평하게 디스크의 밑바닥과 밀착되도록 잘 감싸주었다. 측정은 지름이 2.54 cm로 지름이 5.1 cm 인 water reservoir보다

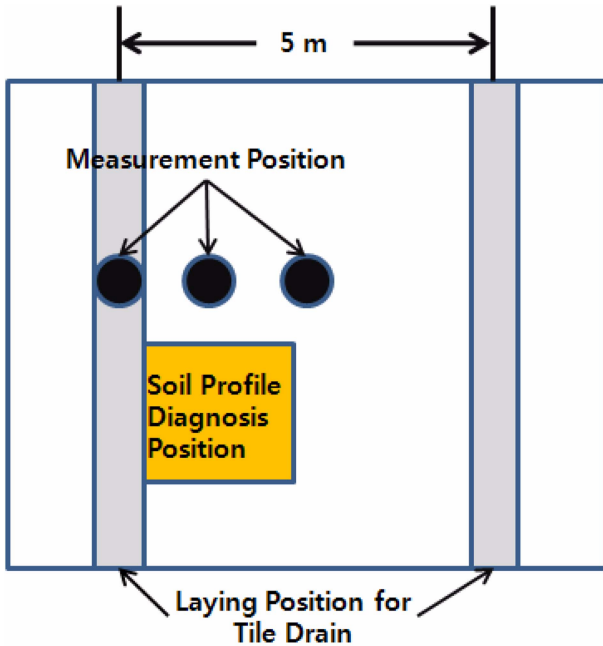


Fig. 4. Perspective drawing for measurement position.

2.54 cm 작은 bubbling tower에서 수두 (water head)를 유지해 주고, water reservoir에서 감소하는 수위를 읽고 기록했는데, 시간에 따른 수위 감소를 기록하고 시간변화에 따른 수위 감소가 일정해지면 측정을 멈추고, 다시 bubbling tower의 수위를 변화시키고 시간과 수위감소 측정을 반복해서 실시했다. 수위변화는 높은 퍼텐셜 (12 cm)로부터 낮은 퍼텐셜 (3 cm)쪽으로 퍼텐셜을 낮추어가며 측정을 진행했다.

2.2.2 토양 단면 내의 (B층, C층) 투수속도 측정

GPM은 토양을 파괴하지 않고 토양 층위별로 측정해야 하기 때문에 먼저, 토양단면에 대한 층위구분을 실시했다. 대표 토양에 대한 층위구분은 한국토양총설 (ATI, 1992)에 제시되어 있어 이를 참고해 토양 단면의 층위구분을 실시했으며, 측정을 실시할 층위와 깊이를 결정했다. 이때, 투수에 대한 토양 특성 분석에 유리하도록 토양단면에 대한 분류특성이나 물리적 특성에 대한 기술을 첨가했다. GPM은 측정시에 각 토양 층위의 깊이에 맞게 오거를 이용해 원형 구멍을 뚫고, 투입관을 원형 구멍에 바닥이 닿도록 투입하고 가운데의 공기관 (air tube)를 이용해 바닥으로부터 각각 5 cm와 10 cm의 수두를 주고 그 때의 투수량을 측정했는데, 시간변화에 따라 토양수분 함량이 충분히 포화되어 토양 단면 내에서의 투수량이 일정해질 때 까지 측정 했으며, 토양단면 진단 지점 (Fig. 1)의 1~2 m 이내 인근 3개 지점 (암거배수관 매설지점 직상부 포함)을 선정해 3반복으로 동시에 측정했다 (Fig. 4). 암거배수의 특성을 파악하기 위해 측정 가능한 토양의 층위가 10 cm 이상

의 두께가 되어야 하는 것은 제한조건이다.

결과 및 고찰

1. 토양 이화학적 특성

원래의 논토양 (예천통)으로부터 인삼재배를 위해 적토된 측정 대상토양은 Fig. 1에 나타나 있듯이 4개의 층위로 구분되는데, 원토양을 제외한 3개 층은 적토 작업 시 적토재료나 섞인 정도의 차이에 따라 구분되었으며, 표토부터 30 cm까지의 토성은 양질사토 (LS)였으며, 30~70 cm, 70~120 cm는 사토였고, 원래토양인 논토양은 사질양토 (SL)로 나타났다 (Table 1). 그리고 130 cm 부근의 토양은 물에 잠긴 상태로 되어 있는데 (Fig. 1), 이것은 지하수위가 높은 논토양 본래 특성에 적토된 밭토양을 침투한 물들이 논토양 표면을 따라 이동하면서 형성된 것으로 여겨진다. 각 층위별로 측정된 토양의 물리적 특성들은 다음의 Table 2에 나타나 있다. 토양 용적수분함량 (SWC, Soil Water Content)은 표토의 15.7%로부터 원토양의 25.5%까지 증가하는 경향으로 물이 고이는 130 cm 부위에 가까울수록 토양수분 함량이 높아지고 있는데, 이것은 사질특성의 토성을 고려해 볼 때 고여 있는 물의 영향으로 하부로 내려갈수록 물이 이동보다는 정체하고 있다는 것을 의미한다. 토양온도는 토양수분 함량과는 반대로 하층부로 내려갈수록 토양온도가 낮아지고 있다. 이것은 토양수분 함량에 의한 잠열의 영향인 것으로 판단된다. 정지작업을 통해 다져진 토양의 단단함을 판단할 수 있는 경도 (hardness)는 토양 표층부에서 작은 값을 보이고 70~120 cm 층위에서 가장 작은 값을 보이고 있다. 이것은 작물 생육을 전제로 한 토양 정지작업 특성상 표토 부분이 가장 작아야 하는 것이 정상적이나 지하부에 물이 고이는 특성이 토성이 사토로 토양수분 함량이 높지 않은 원토양 바로 위의 층인 70~120 cm 층위에도 영향을 미쳐 경도를 가장 작은 값으로 나타내게 된 것으로 사료된다. 토양이 외력에 저항하는 힘을 나타내는 전단강도는 작물생육을 위한 표토와 기판으로서의 하층부의 특성을 감안한 작업으로 인해 표층부는 3.1 kPa에 지나지 않고 두 번째와 세 번째 층위는 표층부의 8배 정도의 저항력을 나타내고 있다. 그러나 표층부의 전단강도 정도는 사질토양 특성상 약간의 경우에도 쉽게 유실될 우려가 있으므로 작물 재배 시 이를 유의할 필요성이 있다. 용적밀도 (bulk density)는 전체체적에 대한 토양의 무게 비로 나타내는데, 각 층위별 용적밀도 값이 1.46~1.70 g cm⁻³을 나타내고 있어 일반토양의 1.3 g cm⁻³ 정도를 상회하고 있는데, 이는 입자크기가 크고 무거운 모재특성의 마사토를 적토원료로 사용했기 때문인 것으로 여겨지며, 원토양인 논토양의 용적밀도가 1.62 g cm⁻³에 이르는 것은 정지작업을 하면서 실시한 다짐 때문에 단위 체적 내의 토양의 무게가 증가한 것으로 생각된다.

Table 2. Soil physical properties.

Soil Depth (cm)	SWC (% v/v)	Soil Temperature (°C)	Hardness (mm)	Shear Strength (kPa)	Bulk Density (g/cm ³)
0~30	15.7	29.6	9.0	3.1	1.46
30~70	17.1	26.9	16.7	24.0	1.70
70~120	24.7	24.8	8.2	23.0	1.62
120 <	25.5	23.2	13.5	27.7	1.62

Table 3. Soil chemical properties.

Soil Depth (cm)	pH (1 : 5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ N (cmol+ kg ⁻¹)	Av. P2O5 (mg kg ⁻¹)	Ca	K	Mg
						(cmol+kg ⁻¹)		
0~30	6.50	0.10	1.8	0.1	46.7	2.6	0.1	0.5
30~70	6.83	0.08	0.6	0.1	28.5	3.1	0.1	0.6
70~120	6.61	0.08	1.6	0.1	31.5	2.3	0.1	0.5
120<	6.48	0.25	15.2	0.1	66.4	2.7	0.2	0.7
Optimum Range*	5.0~6.0	0.25~0.5	15~20	100 >	70~200	2.0~4.5	0.2~0.5	1.0~3.0

*Ranges of proper soil chemical property recommended for ginseng growth

Table 4. Saturated hydraulic conductivity in the soil.

Soil Depth (cm)	Measurement Depth (cm)	Saturated Hydraulic Conductivity (cm hr ⁻¹)	
0~30	0	39.86	
30~70	50	2.34	
70~120	80	Tile Drain	Non-Tile Drain
		5.23	0.18

각 층위별 토양의 화학적 특성은 다음의 Table 3에 나타나 있다. 인삼생육에 적합하도록 추천된 토양화학 특성 (Lee *et al.*, 2004) 중 pH는 적정범위를 상회하고 있고 EC는 적정범위보다 낮은 상태다. 유기물 함량 (OM)은 모재인 적토재료의 특성상 적정함량보다 약 13~14 g kg⁻¹ 정도가 부족하다. 질산태 질소함량도 아주 낮은 상태이며, 인산함량도 적정범위 이하의 값을 보여주고 있다. 양이온 함량 역시 Ca를 제외하고는 적정범위에 미치지 못한다. 이러한 결과로 볼 때 답전유환된 현재의 토양은 인삼재배를 위해서는 질산 등을 이용해 pH를 낮추어야 하며, 유기물을 투입해 주어야 하고, 질소 및 인산질 비료를 사용해 질산태질소 및 유효인산 함량도 높여주어야 한다. 또한, K와 Mg도 보충해 주어야 한다.

2. 토양 침투 및 투수특성

논토양에서의 침투 및 투수속도는 밭토양에 비해 현격히 떨어지는 것이 일반적이다 (Hur *et al.*, 2006). 그것은 논토양에서의 지하수위도 문제가 되지만 해마다 반복되는 썩래질 (puddling)로 토양의 공극이 모두 막혀 토양의 침투 및 투수속도를 떨어뜨리는 것이 그 원인이다. 이러한 논토양의 물 이동 특성을 개선하고자 인삼재배지 토양에서는 객토나 적토를 통

해 답전유환을 실시하는 것이 일반적이지만 답전유환된 토양에서의 물의 이동특성에 대한 연구논문은 전무해 실제 답전유환 토양의 객토나 적토효과를 검증하기에는 불충분하다. 본 연구를 통해 측정된 토양 표면에서의 침투속도와 토양 단면 내에서의 층위별 투수속도는 이러한 답전유환 토양의 성토나 적토의 효과를 살펴볼 수 있는데, 각각의 층위를 대표하기 위해 표토 (0 cm)와 50 cm 깊이 및 지하부의 배수개선을 위해 표면으로부터 1 m 깊이에 매설된 암거배수 (tile drain) 시설의 직상부에 위치한 지표면으로부터 80 cm 깊이와 암거배수 시설 사이에 위치한 지점 (non-tile drain)의 지표면으로부터 80 cm 깊이에서 측정한 결과는 다음의 Table 4와 같다. 포화수리전도도 (saturated hydraulic conductivity)로 표현되는 침투와 투수속도 값은 석비레 (마사토)로 되어 있는 적토재료의 특성과 토성이 대부분 모래 입자로 구성되어 있는 특성 때문에 표면에서의 침투속도는 39.86 cm · hr⁻¹로 나타났다. 이것은 시간당 398.6 mm의 경우가 내려도 모든 물이 토양으로 침투할 수 있는 매우 빠른 속도를 의미한다. 지표면으로부터 50 cm 지점에서 측정한 30~70 cm 층위에서의 투수속도는 2.34 cm · hr⁻¹로 시간당 23.4 mm 이하의 경우에 견딜 수 있는 속도이며, 70~120 cm 층위에서의 투수속도는 암거배수시설이 매설된 지점에

서는 $5.23 \text{ cm} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 상당히 빠른 속도로 배수가 될 수 있음을 알 수 있었지만, 5 m 간격의 암거배수시설들의 중간에 시설이 되어 있지 않은 지점에서는 $0.18 \text{ cm} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 사토인 토성에도 불구하고 매우 느린 속도를 보여주고 있다. 이것은 Fig. 1에 나타나 있는 것처럼 원토양인 논토양에 고여 있는 지하수와 인위적 토층 생성에 따른 토양 내 물길의 끊김이 토층 내에서의 물의 이동에 부정적 영향을 주고 있음을 의미하며, 이런 결과로 인해 답전윤환을 위해 석비레나 거친 입자로 객토나 적토를 하는 것은 암거배수 등의 배수시설을 동반하지 않는다면 토층 내에서의 물의 이동을 개선시킬 수 없음을 알 수 있다. 따라서 답전윤환 경작지에서 인삼재배를 위해 객토나 적토를 하는 행위는 유공관 등을 이용해 배수시설을 하는 것이 바람직할 것으로 여겨지며, 시설들 간의 간격도 5 m 보다는 좁은 간격으로 설치해야 배수시설로서의 역할을 제대로 수행할 수 있을 것으로 여겨지므로 답전윤환된 적토된 토양에서 인삼을 재배할 경우에는 이와 같은 물의 이동특성을 참고해야 재배의 실패 위험성을 감소시킬 수 있을 것이다.

LITERATURE CITED

- Gardner WR.** (1958). Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*. 85:228-232.
- Hur BK, Jo IS, Min KB and Um KT.** (1984). Representative physical and chemical properties of Korean soils by the results from detailed soil survey. *Journal of Korean Society Soil Science Fert.* 17:330-336.
- Hur SO, Jung KH, Park CW, Ha SG and Kim GG.** (2006). Comparison of Disk Tension Infiltrometer and van Genuchten-Mualem Model on Estimation of Unsaturated Hydraulic Conductivity. *Journal. Korean Society. Soil Science. Fert.* 39:259-267.
- Jo JS, Kim CS and Won JY.** (1996). Crop rotation of the Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) and the rice in paddy field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science.* 4:19-26.
- Kang SW, Yeon BY, Hyeon GS, Bae YS, Lee SW and Seong NS.** (2007). Changes of soil chemical properties and root injury ratio by progress years of post harvest in continuous cropping soils of ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science.* 15:157-161.
- Lee SW, Kang SW, Kim DY, Seong NS and Park HW.** (2004). Comparison of growth characteristics and compounds of ginseng cultivated by paddy and upland cultivation. *Korean Journal of Medicinal Crop Science.* 11:10-16.
- Nam KY, Park H, and Lee IH.** (1980). Effect of soil moisture on growth of *Panax ginseng*. *Journal of Korean Society. Soil Science Fert.* 13:71-76.
- Reynolds, WD and Elrick DE.** (1985). In-situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the alpha-parameter using the Guelph permeameter. *Soil Science* 140: 292-303.
- Wooding RA.** (1968). Steady infiltration from a shallow circular pond, *Water Resour. Res.*, 4:1259-1273.
- National Institute of Agricultural Science and Technology.** (2000). Analysis method for soil and plant. Suwon, Korea.
- Rural Development Administration.** (2001). Revision notice on the standard of Ginseng cultivation method (Notice 2001-8). Suwon, Korea.