

## 두둑을 재활용한 한국형 무경운 농업 II. 시설 무경운 토양의 물리적 특성 : 입단과 용적밀도 및 삼상변화

양승구\* · 신길호\*\*\* · 김선국\*\*\* · 김희권\*\*\* · 김현우\*\*\* · 정우진\*\*

### No-Tillage Agriculture of Korean-Style on Recycled Ridge II. Changes in Physical Properties : Water-Stable Aggregate, Bulk density, and Three Phase Ratio to Retain Water at Plastic Film Greenhouse Soil in No-Tillage System

Yang, Seung-Koo · Shin, Gil-Ho · Kim, Sun-Kook ·  
Kim, Hee-Kwon · Kim, Hyun-Woo · Jung, Woo-Jin

This study was carried out to investigate the effect of no-tillage on sequential cropping supported from recycling of first crop ridge on the productivity of crop and physical properties of soil under green house condition. This study is a part of “No-tillage agriculture of Korea-type on recycled ridge”. From results for distribution of soil particle size with time process after tillage, soil particles were composed with granular structure in both tillage and no-tillage. No-tillage soil in distribution of above 2 mm soil particle increased at top soil and subsoil compared with tillage soil. Tillage and one year of no-tillage soil were not a significant difference at above 0.25 mm~below 0.5 mm, above 0.5 mm~below 1.0 mm, and above 1.0 mm of water-stable aggregate. Two years of no-tillage soil was significantly increased by 8.2%, 4.5%, and 1.7% at above 0.25 mm~below 0.5 mm, above 0.5 mm~below 1.0 mm, and above 1.0 mm of water-stable aggregate, respectively, compared with one year of no-tillage. Bulk density of top soil was 1.10 MG m<sup>3</sup> at tillage and 1.30 MG m<sup>3</sup> at one year of no-tillage. Bulk density of top soil was 1.14 MG m<sup>3</sup> at two years and 1.03 MG m<sup>3</sup> at three years of no-tillage, respectively. Bulk density of subsoil was a similar tendency. Solid phase ratio in top soil and subsoil was increased at one year of no-tillage compared with tillage soil, while soil phase

\* Corresponding author, 전라남도농업기술원 친환경농업연구소(sky3878@korea.kr)

\*\* Co-corresponding author, 전남대학교 농업생명과학대학 농화학과 친환경농업연구소(woojung@jnu.ac.kr)

\*\*\* 전라남도농업기술원 친환경농업연구소(ghshin@korea.kr)

ratio decreased at two and three years of no-tillage. Pore space ratio in tillage top soil (58.5%) was decreased by 8.5% at compared with no-tillage soil (51.0%). Pore space ratio was 56.9% and 61.2% at two and three years of no-tillage soil, respectively. Subsoil was a similar tendency. Gaseous phase ratio was decreased at one year of no-tillage soil, and increased at two and three years of no-tillage soil compared with tillage soil. Liquid phase ratio in top soil was increased at one year of no-tillage (28.3%), and decreased at two years (23.4%) and at three years (18.3%) of no-tillage soil compared with tillage soil (24.2%). Subsoil was a similar tendency. Liquid phase ratio in subsoil was increased than top soil.

Key words : *aggregate, bulk density, correlation, no-tillage, three phase ratio*

## I. 서 론

우리나라는 BC 3,000년경에 시작된 경운으로 인하여 우리나라의 문화형성과 발전에 크게 기여하여 왔다(Yang and Jung, 2016). 그러나 많은 장점에도 불구하고 과도한 경운은 토양의 다져짐에 의한 용적 밀도의 증가, 다공성의 감소로 통기성이 약화되고, 뿌리 성장을 제한하며, 유기물의 손실, 입단의 감소, mycorrhiza, 질지동물 등 토양 생물상의 감소, 바람과 물에 의한 토양 침식의 증가로 경운을 배제시키는 원인이 되고 있다(Cleik, 2011).

우리나라의 강우량은 대부분이 6~8월에 집중되는 기후조건 때문에(Kim et al., 2010) 토양 관리 방법으로 배수와 보수력을 높이고, 작물의 근권의 확대를 위한 방법으로 두둑을 높게 고랑을 깊게 만들어 작물을 재배하고 있다. 그러나 두둑을 높게 고랑을 깊게 만드는 과정에서 과도한 경운은 많은 량의 에너지가(Eswaran and Cook, 2013) 소모될 뿐만 아니라 토양 물리성 악화 등, 경운은 많은 문제점을 발생 시키고 있다(Kim et al., 1997; Yang et al., 2014, 2015a, 2015b, 2016).

이와 같은 경운에 문제점을 개선하자 시도된 뒷그루 작물 재배 시 앞그루 작물 재배에서 형성된 두둑을 재활용하는 '한국형 무경운 농업'은 생산비가 절감되고, 토양의 물리성과 화학성이 개선되며(Yang et al., 2014, 2015a, 2016) 투입부분 탄소량이 감소되고(Lee et al., 2012) 생산비와 농가소득은 증가되는 것으로 보고되고 있다(Yang et al., 2012b).

따라서 본 논문은 앞그루작물 재배 시 형성된 이랑을 재활용하여 다음 뒷그루 작물을 무경운으로 재배하는 '이랑을 재활용한 한국형 무경운 농업'의 제2편으로 무경운 토양의 입자와 입단의 변화 및 용적밀도, 고상율과 공극율 등 무경운 재배가 토양 물리성 변화에 미치는 영향을 구명하고 추진한 연구결과의 보고이다.

## II. 재료 및 방법

본 시험은 1984년부터 2016년 현재까지 약 30년간을 시설 채소를 재배하고 있는 전남 나주시 남평읍 평사리 지식강 인근 무농약 인증 토양에서(N 35°03.0'02.0.3"와 126°59.5'02.0", 해발 23 m) 시험을 수행하였다. 토양관리는 2009년 3월부터 경운하지 않고 무경운으로 관리한 토양과 관행 경운 미사질양토(중동통(jd), 미사 30.3%, 점토 14.7%, 모래 55.0%) 비닐 온실에서 유기재배에 준하여 시험을 수행하였다.

Table 1. Chemical characteristics of soil (Jungdong Series) used in the experiment

Tillage systems	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	EC (ds m <sup>-1</sup> )
				K	Ca	Mg		
Tillage	6.8	31.5	830	0.35	8.1	2.2	12.1	1.35
No-tillage 1 year	6.4	35.0	819	0.37	9.7	2.3	12.9	1.44
No-tillage 2 years	5.9	32.5	738	0.29	9.7	2.3	13.3	1.45
No-tillage 3 years	5.9	29.9	707	0.26	9.8	2.3	14.5	1.42

유기질비료를(N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O - CaO = 8.47 - 4.62 - 1.58%, 유기물함량 : 81.1%) 경운 전에 ha 당 1,800 kg을 3월 2일 투입하였다. 경운 처리는 농업용 소형 트랙터(대동 L 2202 - 4 WD)를 이용하여 표토에서 12 cm 깊이로 3월 9일 로타리 경운하였다. 고추 모종은 녹광 품종의 플러그 묘를 멀칭하지 않은 상태에서 재식거리 135 × 38 cm로 1 ha당 19,490주를 정식하였으며, 봄 작형과 가을 작형 2기작 재배로 시험사업을 수행하였다(Yang et al., 2012a).

관수는 점적관수 라인을 설치하여 생육상태에 따라서 관수하였으며, 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 관리하였다. 2007년 12월에 경운한 무경운 3년차와(31개월 전 경운) 2008년 12월에 경운한 무경운 2년차(19개월 전 경운), 그리고 2009년 3월에 경운한(16개월 전 경운) 무경운 1년차, 2010년 3월 경운한 관행 경운토양에서 토양의 물리성 변화를 조사하였다.

중동통(jd)의(Table 1) 미사질양토의 분포 토양입자 토괴(土塊)분포 조사는 토양 표면으로부터 12 cm까지 심토는 토양 표면으로부터 12~24 cm 깊이의 토양을 2010년 7월에 채취하였다. 채취된 시료는 음지에서 말리면서 토양의 물리성이 변화되지 않도록 조심스럽게 다루면서 4 mm, 2 mm, 1.4 mm 체를 이용하여 토양 입자의 크기 분포를 분류하였다.

토양 내수성 입단분석은 토양을 채취 후 음건하여 분석에 이용하였다. 입단분석은 습식 사별법을(Wet - sieving method : Model DIK - 2000, Daiki Rika Kogyo Co. Ltd., Tokyo, Japan)

따랐다. 항은 20°C 사각수조에서 실시하였으며, oder - type의 입단분석용 체 4종(2.00, 1.00, 0.50, 0.25 mm) 이용하였다. 먼저 토양시료 50 g을 끌고루 펴 넣어 기포가 생기지 않도록 주의하여 하강시켜 물에 잠기도록 하였으며, 10분 동안 토양에 물이 스며들게 한 후 30 분간 분당 20회 상하운동을 시켰다. 사분된 토양입자를 105°C의 dry oven에서 24시간 건조한 후 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 mm 체에 들어있는 토양입자의 무게를 각각 칭량하여 백분율로 환산하였다.

토양 삼상은 중동통(jd)과 지산통(Ji)의(Table 2) 표토를 1 cm 정도 제거하고 100 mL 메탈링을 이용하여 표토는 토양표면에서 12 cm 깊이까지, 심토는 12~24 cm 깊이에서 Core를 채취하여 토양의 고상율, 액상율, 기상율을 Core법으로 조사하였다. 토양의 용적밀도는 채취된 토양의 건조 중량을 측정하여 그 중량을 토양전체(공극포함) 용적으로 나누었다.

삼상은 토양의 건조중량을 진비중으로 나누어 고상의 부피로 하고 그 토양의 수분을 정량하여 물의 밀도로 나눈 값을 액상의 부피로, 전체부피에서 액상과 고상의 부피를 뺀 값을 기상의 부피로 하여 백분율로 표시하였다.

토양 삼상과 용적밀도, 공극율의 표토와 심토의 편차를 구하여 토양 깊이에 따른 편차를 구하였다. 그리고 고상, 액상, 기상율 및 용적밀도와 공극율 각각의 상관관계를 분석하였다.

Table 2. Chemical characteristics of soil (Jisan Series) used in the experiment

Tillage systems	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	EC (ds m <sup>-1</sup> )
				K	Ca	Mg		
Tillage	6.4	27	755	0.23	8.4	2.1	12.5	1.05
No-tillage 4 year	6.2	35.0	710	0.30	8.3	2.0	12.5	1.50

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 중동통(jd) 미사질양토의 물리성

##### 1) 토양 입자 분포

경운 등 인위적인 작용에 의하여 만들어지는 토괴(土塊)는 자연적으로 형성된 흙덩어리로 유기물 함량이 높고 지렁이와 같은 토양 동물의 활동이 많은 토양에서 흔히 발견되며, 공극율이 높고 물과 공기의 이동을 쉽게 한다. 따라서 이량을 재활용하는 한국형 무경운 재배(Lee et al., 2012) 토양에서 경운 후 시간의 경과에 따른 토양 입자 크기의 분포 변화를 조사한 결과를 그림 1과 2에 나타내었다. 중동통(jd) 시설재배 토양 입자는 관행경운과 무

경운 토양에서 공히 입상구조(granular structure)를 이루고 있었다(Fig. 1).

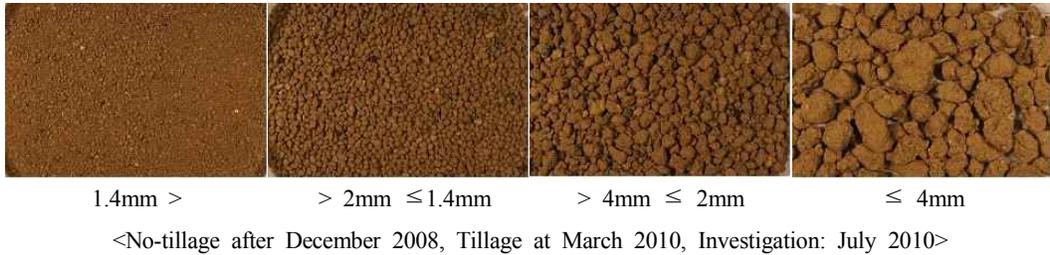


Fig. 1. Size and conformation of ped in silt loam.

무경운 토양의 입자 크기 4 mm 이상의 분포는 표토가 18.8%, 심토는 21.5% 수준으로, 경운 토양 표토 14.5%, 심토 14.3%에 비하여 유의성 있게 증가되었다. 그리고 4 mm 이하 2 mm 이상 토양 입자의 분포는 무경운 토양이(무경운 표토는 19.2%, 심토는 19.9%, 경운 표토 17.3%, 심토 19.5%) 경운 토양에 비하여 심토는 증가되었으나, 표토는 유의적인 차이가 없었다. 따라서 2 mm 이상의 토양 입자 분포는 무경운 표토와 심토 공히 경운 토양에 비하여 증가되었으나, 1.4 mm 이하는 감소되었다. 이와 같이 이랑을 재활용하는 무경운 재배 토양에서 2 mm 이상 토양 입자가 경운 토양에 비하여 증가된 원인은(Fig. 2) 경운작업 시 분상으로 작게 부서진 토양입자가 시간의 경과에 따라서 뭉쳐지면서 폐알구조를 형성하여 가기 때문에 내수성 입단의 증가와(Fig. 3. 4) 관련이 있을 것으로 판단되었다.

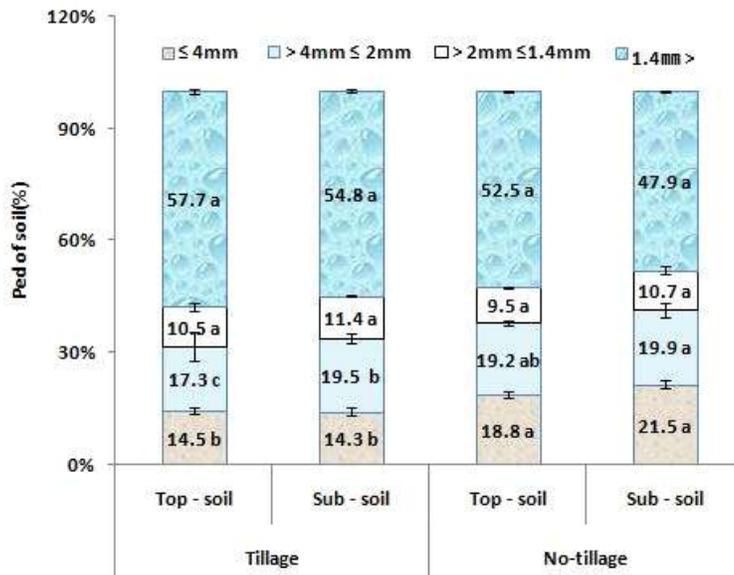


Fig. 2. Distribution of ped with different tillage systems.

한편 Grossman 등(1985)에 의하면 Vertisols 토양 표면은 건조해지면 균열로 각이 지거나 덩어리가 형성되는데, 토양 수직 균열의 폭은 5~10 mm 정도로 큰 덩어리나 각기둥이 형성되며 점차 깊이가 더 해진다. 그리고 Vertisols 토양의 내부는 금이 가고 과립 표면은 대부분 용적밀도가 낮은 경향이 있는데, 이는 더 높은 유기물 함량과 과립 사이의 공간 때문에 다음 시즌 동안 물 흐름 좋게 하며 뿌리들이 더 깊게 더 쉽게 투과할 수 있는 공간이 될 수 있다(Grossman et al., 1985).

## 2) 내수성 입단 분포

토양의 여러 가지 특성 중 토양입단(soil aggregate)은 토양의 침식과 다짐에 대한 저항력 뿐만 아니라 토양의 공기와 수분 흐름과 같은 토양의 물리성과 화학적 특성 및 미생물 특성에 많은 영향을 미치는데(Son and Cho, 2009), 입단은 크기에 따라 0.25 mm 이상을 대입단, 0.2 mm 이하를 소입단으로 구분하며, 대입단은 내침식성 증대와 토양 내 투수 및 공기와 수분의 확산 증가 등 중요한 기능을 하는 것으로 알려져 있다(Michael & Rusell, 1993; Yun et al., 2009).

경운방법이 내수성입단 분포에 미치는 영향을 살펴보면(Fig. 3. 4) 0.1 mm 이상 0.25 mm 이하의 소입단은 경운 표토 4.2%에 비하여 무경운 1년차는 5.7%, 2년차는 7.3%로 유의성 있게( $p < 0.05$ ) 증가되었다. 그리고 경운과 무경운 1년차 토양에서 내수성입단 0.25 mm 이상 0.5 mm 이하는 4.5~4.6%, 0.5 mm 이상 1 mm 이하는 1.0~1.1%, 1 mm 이상은 0.7~0.9% 수준으로 유의적인 차이가 없었으나, 무경운 2년차에서는 입단의 크기별로 각각 8.2%, 4.5%, 1.7%로 경운과 무경운 1년차에 비하여 유의적인 증가를 보였다.

전체 토층의 내수성입단의 분포비율은 경운 토양 10.5%, 무경운 1년차는 12.2%, 무경운 2년차는 21.7%로 경운 후 시간이 경과됨에 따라 유의적인 증가를 보였다.

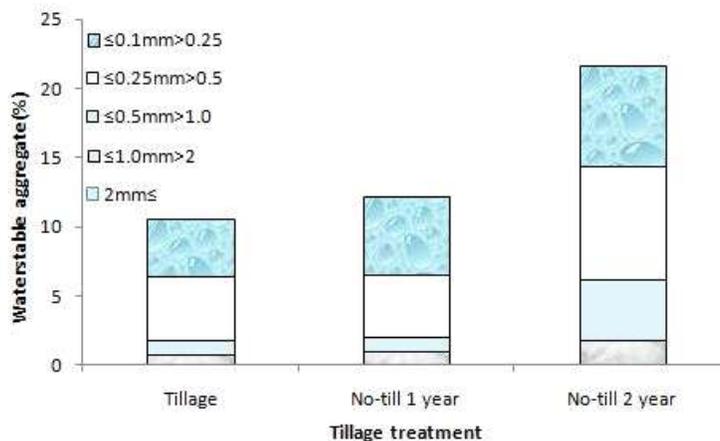


Fig. 3. Changes of water-stable aggregate with time process after tillage.

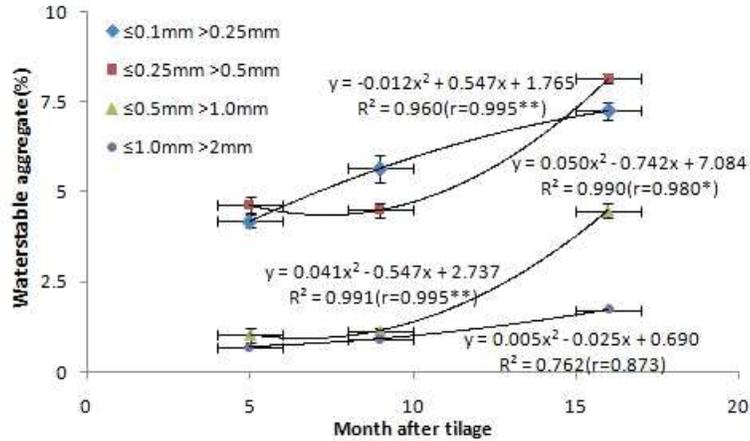


Fig. 4. Correlation in changes of water stable aggregate with time process after tillage.

Martinol and Shaykewich (1993)은 일반적으로 구조가 치밀하지 않은 Souris 사질 토양에서 경운 방법이 토양 성질에 미치는 영향이 특히 작았으며, 표면 근처 토양의 지름 100 μm 이상 대공극의(macropores) 비율이 관행경운(CT) 토양에 비하여 무경운(ZT)에서 많았다고 하였다. 그리고 Son과 Cho (2009)는 모래 함량이 높은 토양보다 미사와 점토함량이 높은 토양에서 입단형성이 양호하고 토양 유기물은 토양입단 형성과 안정성에 많은 영향을 끼친다고 하였다. 또한 Son 등(2005)은 우리나라 간척지 토양의 입단화도는 20% 미만이고, 간척공사가 진행 중이거나 영농활동이 이루어 지지 않은 토양은 10% 미만이라고 하여 본 시험의 경운 토양과 같은 경향이었으나 무경운 토양은 교란이 감소되어 입단이 급격하게 증가된 것으로 생각되었다.

한편 포화 점토 토양에 있어서 물리적 특성에 민감하게 반응하는 건조와 수축, 균열의 연결과 입단은 상호 밀접한 관계가 있다(Chertkov, 2002). 토양입자 사이의 결합과 입단 사이의 결합된 힘은 건조와 수축에 의하여 파괴되고, 토양의 건조와 수축은 외관을 다각형의 덩어리로 갈라지게 유도하며, 박엽지(薄葉紙)와 같은 얇은 몬모릴로나이트(montmorillonite) 토양은 건조되는 동안, 매우 치밀하고 작은 다공성 입단을 형성한다(Eswaran and Cook, 2013). 균열과 과립표면 구조는 뿌리들이 더 깊게 더 쉽게 투과할 수 있는 공간으로 균열 내부 공간은 뿌리와 다음 시즌 동안 물 흐름을 좋게 하는 지역을 구축하기 때문에(Grossman et al., 1985) 다음 작물의 생육과 수량에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 생각되었다. 그리고 Yang 등(2016)은 강우가 차단된 시설재배 토양은 작물재배가 끝나고 온도가 높은 하절기 휴경기 간에 관수가 중단되면 토양이 극도로 건조하게 되고 토양에 균열이 크게 발생되지만 경운 후 시간의 경과에 따라서 토양에 균열의 발생과 소멸이 반복되기 때문에 무경운 토양은 물리성이 향상되어 배수력과 보수력을 증진된 것으로 판단되었다.

### 3) 용적밀도와 고상율

경운 방법에 따른 표토의 용적밀도는(Table 3) 관행 경운 토양 1.10 MG m<sup>3</sup>이 무경운 1년차에서는 1.30 MG m<sup>3</sup>으로 0.2 MG m<sup>3</sup>가 증가되었으나, 무경운 2년차는 1.14 MG m<sup>3</sup>, 무경운 3년차는 1.03 MG m<sup>3</sup>으로 용적밀도가 감소되었다(P<0.05). 그리고 심토의 용적밀도는 관행 경운토양 1.29 MG m<sup>3</sup>, 무경운 1년차는 1.31 MG m<sup>3</sup>로 증가되는 경향이었으나, 무경운 2년차는 1.27 MG m<sup>3</sup>, 무경운 3년차는 1.18 MG m<sup>3</sup>로 감소되었다. 따라서 용적밀도와 정(+)의 상관성이 있는 고상율은(Fig. 5 A-B) 관행 경운 표토 41.5%가 무경운 1년차는 49%로 8.5%가 증가되었으나, 무경운 2년차는 43.1%, 무경운 3년차는 38.8%로 감소되었다. 그리고 관행 경운 심토의 고상율은 48.7%가 무경운 1년차에서 49.5%로 증가 후 무경운 2년차는 47.8%, 무경운 3년차는 44.5%로 감소되었다.

경운 후 기간의 경과에 따른 용적밀도와 고상율은 무경운 2년차와 3년차가 관행경운과 무경운 1년차에 비하여 감소되었다(P<0.05). 따라서 경운을 생략한 무경운 토양이 관행경운 토양에 비하여 표토와 심토 공히 용적밀도, 관입저항, 내수성입단이 증가되어 기상과 공극율의 증가와 액상과 고상율이 감소되는 등, 토양 물리성 개선 효과를 보였다. 따라서 무경운으로 토양을 관리하게 되면 다량의 유기물 시용과 심경에 의한 토양 물리성을 개선을 대체 할 수 있는 저탄소 농업기술로 생각되었다(Lee et al., 2012; Yang et al., 2012).

### 4) 공극율

용적밀도 및 고상율과 부(-)의 상관관계가 있는 공극율은(Yang et al., 2014) 경운 토양 58.5%가 무경운 1년차는 51%로 8.5% 감소되었으나, 무경운 2년차는 56.9%, 무경운 3년차는 61.2%로 증가되었다(Table 3, Fig. 5 A-B). 그리고 심토의 공극율은 경운 토양 51.3%가 무경운 1년차는 50.5%로 감소되었고, 무경운 2년차는 52.2%, 무경운 3년차는 55.5%로 유의적인 증가를 보였다(P<0.05).

한편 Cho 등(2009)은 유기재배 농가 밭 토양의 표토와 심토 공히 인근 밭보다는 용적밀도는 5~10%, 경도는 13~33%까지 감소하였다며 유기물을 다량시용하고 작물의 근권 확대를 위하여 심경을 한 결과인 것 같다고 하였다. 그리고 표토의 공극률은 인근 토양 보다는 유기토양에서 약간 증가하였지만 심토의 공극율은 감소되었다(Cho, 2009) 그러나 내수성입단은 인근 토양에 비해 유기토양에서 약간 감소하였다며 이와 같은 현상은 거친 유기물 시용과 다모작으로 인한 빈번한 경운이 입단발달을 저해하기 때문으로 판단된다(Cho, 2009)고 하였다.

### 5) 기상율

공극율에 직접적인 영향을 미치는 기상율은(Yang et al., 2014) 경운 표토의 기상율 34.3%가 무경운 1년차에서는 22.6%로 11.7% 감소되었으나, 무경운 2년차에서는 33.4%로 증가되

고 무경운 3년차에서는 42.9%로 현저하게 증가되는 경향을 보였다(Table 3, Fig. 5 A-B).

심토의 기상율도 경운 토양 25.0%가 무경운 1년차는 20.6%로 감소 후 무경운 2년차는 26.0%, 무경운 3년차는 34.2%로 현저하게 증가되었으나, 표토의 기상율에 비하여 낮았다. 그리고 기상과 함께 공극율을 결정하는 액상율은(Yang et al., 2014) 경운 표토 24.2%가 무경운 1년차는 28.3%로 증가되었으나, 무경운 2년차는 23.4%, 무경운 3년차는 18.3%로 현저하게 감소되었다. 그리고 심토의 액상율도 경운 토양 26.3%가 무경운 1년차는 29.9%로 증가 후 무경운 2년차는 26.2%, 무경운 3년차는 21.3%로 감소되어, 심토의 액상율이 표토에 비하여 증가되었다.

무경운 1년차의 표토와 심토에서 관행 경운토양에 비하여 용적밀도는 증가되고 공극율은 감소되어 무경운 1년차에서 물리성이 악화된 것처럼 보이는 원인은 경운 과정에서 토양 입자가 가루상태로 부서져 입자간의 간격이 커진 상태로 놓여 있기 때문에 무경운 1년차에 비하여 용적밀도와 고상율이 낮고 공극율이 높게 나타나지만 경운 토양은 입단이나 떼알 구조가 형성되지 않은 상태이기 때문에 진정한 의미의 공극량이 많아진 것이 아니다. 그러나 경운 후 시간이 경과되면 토양 입자간의 간격이 좁아지고 뭉쳐져서 떼알구조를 형성하게 된다. 따라서 무경운 1년차는 토양입자가 뭉쳐지면서 떼알구조를 형성하여가는 단계로 무경운 2년차와 3년차에서 용적밀도가 감소되고 공극율은 증가되는 진행 과정이기 때문에 경운 토양에 비하여 무경운 1년차가 물리성이 악화되는 것이 아니라 개선되고 있는 과정이라고 판단된다.

Table 3. Changes of Bulk density and three phases of soils by the tillage methods in rain proof plastics house

Tillage systems	Soil position	Bulk density (MG m <sup>3</sup> )	Solid (%)	Liquid (%)	Air (%)	Porosity (%)
Tillage	Top soil	1.10 cd*	41.51 cd	24.20 bcd	34.29 b	58.49 ab
No-tillage 1 year		1.30 a	49.02 a	28.34 ab	22.63 c	50.98 d
No-tillage 2 years		1.14 c	43.13 c	23.43 cd	33.43 b	56.87 b
No-tillage 3 years		1.03 d	38.81 d	18.33 e	42.86 a	61.19 a
Tillage	Sub soil	1.29 a	48.70 a	26.27 abc	25.03 c	51.30 d
No-tillage 1 year		1.31 a	49.53 a	29.92 a	20.55 c	50.47 d
No-tillage 2 years		1.27 ab	47.79 ab	26.03 abc	26.18 c	52.21 cd
No-tillage 3 years		1.18 bc	44.48 bc	21.33 de	34.19 b	55.52 bc

용적밀도와 고상율은 정(+)의 상관관계가 있으며(Yang et al., 2014) 작물재배 시 퇴비를 사용하면 고상율이 감소하고, 액상율이 증가되는데, 이는 입단의 발달이 촉진되어 모세관 공극이 증가하기 때문에(Yun et al., 1996), 내수성 입단 형성이 증가되면 공극율이 증대되고, 용적밀도가 감소하여 토양의 물리성 개선효과가 나타난다는 Son과 Cho (2009)의 결과와 같은 경향을 보였다.

경운 로타리 작업을 하게 되면 표토의 토양입자는 분상(粉狀)의 가루가 되어 트랙터의 하중에 의하여 다져진 심토의 경운 바닥층에 위에 놓여 있게 된다. 이와 같은 원인으로 용적밀도와 토양 삼상은 표토와 심토간 편차가 심하게 발생된다(Yang et al., 2014). 따라서 토양의 표토와 심토의 물리적 차이를 분석하여 보면 토양의 특성을 파악하는데 도움이 될 것이다(Yang et al., 2014) 이와 같은 관점에서 경운 후 기간의 경과에 따른 표토와 심토의 편차를 비교한 결과(Table 3) 용적밀도의 표토와 심토 편차는 관행 경운 토양은 0.19 MG m<sup>3</sup>가 무경운 1년차는 0.01 MG m<sup>3</sup>로 감소된 후 무경운 2년차는 0.13 MG m<sup>3</sup>, 무경운 3년차는 0.15 MG m<sup>3</sup>로 증가되었다.

용적밀도와 부(-)의 상관관계인 고상율과 정(+)의 상관관계인 공극율의 표토와 심토 편차는 공히 관행 경운 토양 7.19%가 무경운 1년차는 0.51%로 감소된 후 무경운 2년차는 4.66%, 무경운 3년차는 5.67%로 증가되었다.

공극율에 영향을 미치는 기상과 액상율 중 기상율의 표토와 심토 편차는 관행 경운 토양 9.3%가 무경운 1년차는 2.0%로 감소된 후, 무경운 2년차는 7%, 무경운 3년차는 8.7%로 증가되었다. 그리고 액상율 편차는 관행 경운 토양 2.1%, 무경운 1년차는 1.6%, 무경운 2년차는 2.8%, 무경운 3년차는 3%로 기상율에 비하여 편차가 감소되었다.

한편 Yang 등(2014)은 본 시험과 같은 미사질양토에서 관행 경운과 무경운 1년차의 표토와 심토의 용적밀도, 고상율, 공극율의 편차를 구하여 본 결과 관행 경운토양에 비하여 감소되었다며 토양의 표토와 심토의 편차가 감소된 원인은 토양의 물리성이 양호하게 변하기 때문이라고 하였다. 따라서 본 논문의 무경운 1년차의 결과와는 같은 경향이었으나, 무경운 2년차와 3년차에서는 편차가 증가되어 다른 결과를 보였다. 이와 같이 무경운 2년차와 3년차에서 편차가 증가된 원인은 쟁기 바닥층위에 놓여 있는 경운토양 표토의 가루상태의 토양 입자가 작물재배의 생육과정에서 시간이 경과됨에 따라 토양이 가라앉아 무경운 1년차 표토와 심토의 물리성이 유사하게 변화되어 표토와 심토의 편차가 적어지게 된 것으로 추정되었다(Yang et al., 2014). 그러나 경운을 하지 않고 토양에 교란이 없는 상태에서 계속하여 무경운으로 작물을 재배하게 되면 토양에 표면에서부터 균열의 발생과 소멸이 반복되고 토양 미생물과 미소동물의 활동으로 토양에 입자가 때알구조를 형성하면서 내수성입단이 형성된다(Fig. 1, 2, 3). 따라서 용적밀도와 고상율은 감소되며 기상율과 공극율은 증가되어 물리성 개선이 늦게 진행되는 심토와 표토의 편차가 발생되어 무경운 2년차와 3년차에서 물리성의 편차가 증가된 원인으로 추정되었다.

Yun 등(1996)에 의하면 작물재배와 퇴비 시용 시 고상율이 감소되며, 입단의 발달 촉진으로 모세관 공극이 증가되었다고 하였는데, 본 시험에서 경운의 생략으로 용적밀도가 감소되며 공극율은 증가되고(Fig. 5, 6) 내수성 입단의 형성이 증가된 결과로(Fig. 3, 4) 보아 이랑을 재활용하여 무경운으로 토양을 관리하면 퇴비 시용과 같은 인위적인 처리를 하지 않아도 토양에 물리성의 개선효과가 있는 것으로 생각되었다.

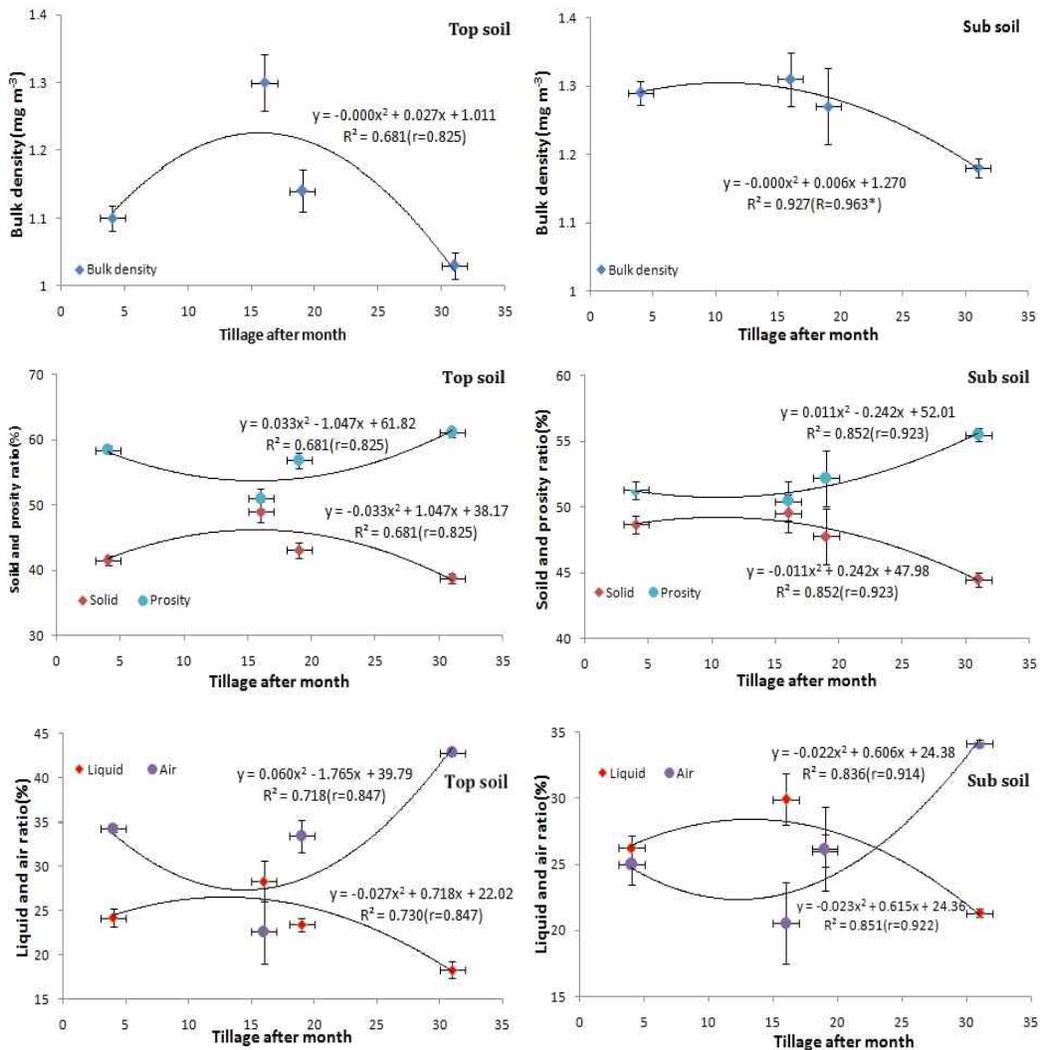


Fig. 5. Correlation between the each bulk density, porosity ratio of three phases of soils. Values are means  $\pm$  S.E. Significance levels of the liner correlation coefficients were denoted by  $P < 0.05$ .

## 2. 지산통(ji)의 토양 삼상

지산통(ji)의 미사질식양토 시설재배 무경운 4년차 토양의 용적밀도는 표토와 심토에서 공히 1.24로 관행 표토의 1.10에 비하여 높은 경향이었으나, 관행 경운 심토의 용적밀도에 비하여 현저하게 낮았다(Fig. 6A). 무경운 4년차 표토의 고상율은 46.7%, 심토는 46.9%로 관행경운 표토 41.6%, 심토 49.0%에 비하여 표토의 고상율은 5.1% 증가되었으나, 심토는 2.1% 감소되었다(Fig. 6B). 따라서 고상율과 부(-)의 상관관계인 공극율은 무경운 4년차 표토는 53.3%, 심토는 53.1%로 관행 경운 표토 58.4%에 비하여 5.1% 감소되었고, 심토의 공극율은 53.1%로 관행 경운 토양 51.0%보다 2.1% 증가되었다.

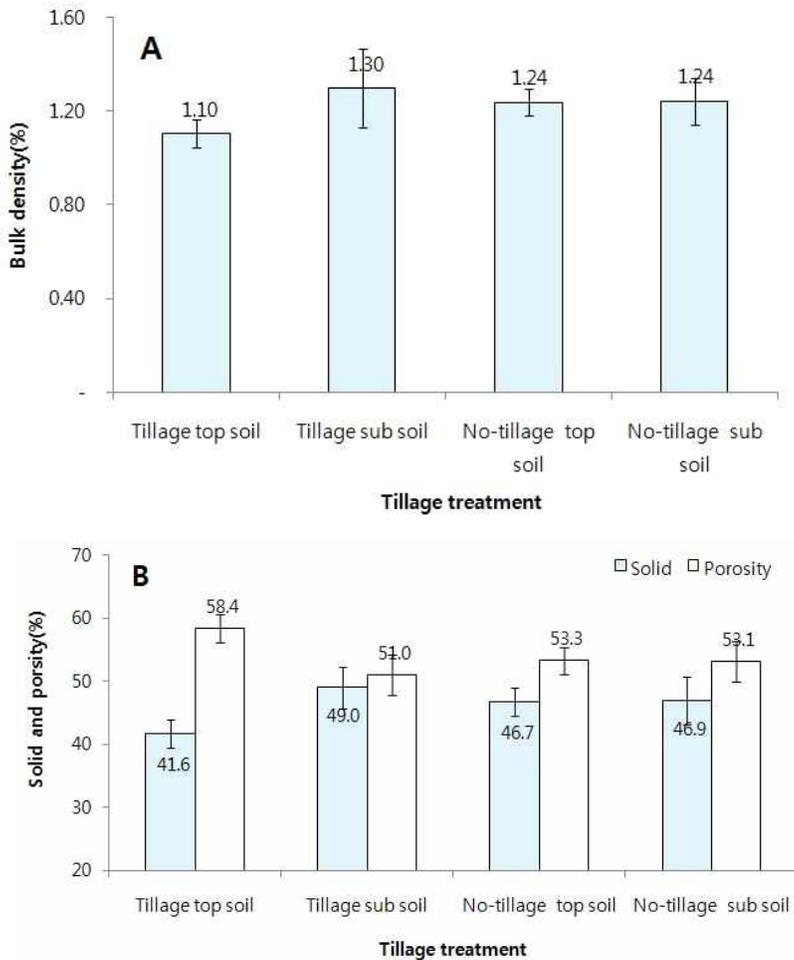


Fig. 6. Changes of bulk density and three phases of soils by the tillage methods in rain proof plastics house.

관행 경운 토양이 무경운 토양에 비하여 표토의 고상율이 높고 공극율이 낮았으나, 심토는 무경운 4년차에서 고상율은 경운토양에 비하여 2.1%가 낮았으며, 심토의 공극율은 증가되었다(Fig. 6B) 이는 무경운 토양이 경운의 생략으로 트랙터 등 대형농기구에 의한 답압이 생략된 결과로 추정되었다. 특히 무경운 토양에서 고상율과 공극율의 표토와 심토의 편차가 0.2%에 불과한 점은 경운토양 고상율의 표토와 심토의 편차 7.4%와 비교하면 무경운 토양의 물리성이 개선된 결과로 지산통(ji)도 중동통(jd)과 같은 결과를 보였다.

#### IV. 적 요

본 논문은 앞그루작물 재배 시 형성된 이랑을 재활용하여 다음 뒷그루작물을 무경운으로 재배할 경우 토양의 이화학적 특성과 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하고자 추진한 연구 결과의 일부이다.

토양에서 경운 후 시간의 경과에 따른 토양 입자 크기의 분포를 조사한 결과 관행경운과 무경운 토양 입자는 공히 입상구조(*granular structure*)를 이루고 있었다. 무경운 토양의 입자 크기 2 mm 이상의 분포는 무경운 토양이 경운 토양에 비하여 표토와 심토 공히 증가되었다. 그리고 내수성입단 0.25 mm 이상 0.5 mm 이하와 0.5 mm 이상 1 mm 이하, 1 mm 이상의 대입단 분포는 경운과 무경운 1년차 토양에서 유의적인 차이가 없었으나, 무경운 2년차에서는 입단의 크기별로 각각 8.2%, 4.5%, 1.7%로 경운과 무경운 1년차에 비하여 유의적인 증가를 보였다.

관행 경운 토양 표토의 용적밀도 1.10 MG m<sup>3</sup>이 무경운 1년차에서 1.30 MG m<sup>3</sup>으로 증가되었으나, 무경운 2년차는 1.14 MG m<sup>3</sup>, 무경운 3년차는 1.03 MG m<sup>3</sup>으로 용적밀도가 감소되었으며, 심토도 같은 경향이였다. 따라서 용적밀도와 정(+)의 상관관계가 있는 고상율은 표토와 심토 공히 무경운 1년차에서 관행 경운 토양에 비하여 증가되었으나, 무경운 2년차와 3년차는 감소되었었다.

용적밀도 및 고상율과 부(-)의 상관관계가 있는 공극율은 경운 토양 58.5%가 무경운 1년차는 51%로 8.5% 감소되었으나, 무경운 2년차는 56.9%, 무경운 3년차는 61.2%로 증가되었으며, 심토도 같은 경향이였다.

공극율과 정(+)의 상관관계가 있는 기상율은 관행경운 토양에 비하여 무경운 1년차는 감소되었으나, 무경운 2년차와 3년차에서는 증가되었다. 그리고 기상과 함께 공극율을 결정하는 액상율은 경운 표토 24.2%가 무경운 1년차는 28.3%로 증가되었으나, 무경운 2년차는 23.4%, 무경운 3년차는 18.3%로 현저하게 감소되었으며, 심토도 같은 경향이였으나, 심토의 액상율은 표토에 비하여 증가되었다.

[Submitted, June. 24, 2016 ; Revised, September. 29, 2016 ; Accepted, November. 15, 2016]

## References

1. Chertkov, V. Y. and I. Ravina. 2001. Effect of interaggregate capillary cracks on the hydraulic conductivity of swelling clay soils. *Water Resources Research*. 37(5): 1245-1256.
2. Cho, H. J., S. W. Hwang, K. H. Han, H. R. Cho, J. H. Shin, and L. Y. Kim. 2009. Physicochemical Properties of Upland Soils under Organic Farming. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(2): 98-102.
3. Daniel L. Martinol and Carl F. Shaykewich. 1993. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil. Sci.* 193-2000.
4. Eswaran, H. and T. Cook. 2013. Classification and management-related properties of Vertisols. <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5493e/x5493e05.htm>
5. Grossman, R. B., W. D. Nettleton, and B. R. Brasher. 1985. Application of pedology to plan response prediction for tropical Vertisols. In: *Proceedings of the Fifth International Soil Classification Workshop, Sudan*. Soil Survey Administration, Sudan. pp. 97-116.
6. Kim, M. K., S. O. Hur, S. I. Kwon, G. B. Jung, Y. K. Sonn, S. K. Ha, and D. B. Lee. 2010. Prediction of soil erosion from agricultural uplands under precipitation change scenarios. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43: 789-792.
7. Kim, P. J., D. K. Lee, and D. Y. Chung. 1997. Effects of soil bulk density on saturated hydraulic conductivity and solute elution patterns. *J. Korea Soc. Soil Sci. Fert.* 30: 234-241.
8. Lee, G. Z., Y. S. Choi, S. K. Yang, J. H. Lee, and S. Y. Yoon. 2012. Analysis of consumption of homemade organically processed food analysis of the carbon emission reduction effect from no-tillage in pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. *Korean J. Organic Agri.* 20: 503-518.
9. Michael, H. Beare. and R. Russell Bruce. 1993. A comparison of methods for measuring water stable aggregates implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma*. 56. 87-104.
10. Son, J. G. and J. Y. Cho. 2009. Effect of Organic Material Treatments on Soil Aggregate Formation in Reclaimed Tidelands. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(3) 201-206.
11. Yang, S. K., G. H. Shin, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2015a. Effects of No-Tillage and Split Irrigation on the growth of Pepper Organically Cultivated

- under Plastic Film Greenhouse Condition. Korean J. Organic Agri. 23(4): 781-796.
12. Yang, S. K., G. H. Shin, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2015b. Changes of chemical properties and correlation under no-tillage silt loam soil with ridge cultivation of plastics film greenhouse condition. Korean J. Soil Sci. Fert. 48(3): 170-179.
  13. Yang, S. K., M. K. Kim, Y. W. Seo, K. J. Choi, S. T. Lee, Y. S. Kwak, and Y. H. Lee. 2012a. Soil microbial community analysis of between no-till and tillage in a controlled horticultural field. World J Microbiol Biotechnol. 28: 1797-1801.
  14. Yang, S. K., Y. W. Seo, J. H. Son, J. D. Park, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2012b. Properties of pepper growth and yield, cost down with no-tillage organic cultivation in vinyl greenhouse. Korean J. Organic Agri. 20(3): 411-422.
  15. Yang, S. K., Y. W. Seo, S. K. Kim, B. H. Kim, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, Y. S. Han, and W. J. Jung. 2014. Changes in physical properties especially, three phases, bulk density, porosity and correlations under no-tillage silt loam soil with ridge cultivation of rain proof plastic house. Korean J. Soil Sci. Fert. 47(4): 225-234.
  16. Yang, S. K. and W. J. Jung, 2016a. No-tillage agriculture of korean-type on recycled ridge I. Changes in physical properties : soil crack, penetration resistance, drainage, and capacity to retain water at plastic film greenhouse soil by different tillage system. Korean J. Soil Sci. Fert. 24(4): 699-717.
  17. Yun, E. S., K. Y. Jung, K. D. Park, J. Y. Ko, J. S. Lee, and S. T. Park. 2009. Changes in the Soil Physical Properties of Vineyard Converted from Paddy Field. Korean J. Soil Sci. Fert. 42(3): 145-151.