

두둑을 재활용한 한국형 무경운 농업

I. 경운방법에 따른 시설재배 토양의 물리적 특성 : 균열, 관입저항, 배수, 보수력 변화

양승구* · 정우진**

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

Yang, Seung-Koo · 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 growth of pepper plant and physical properties of soil under green house condition.

1. Degree of crack on soil by tillage and no-tillage

Soil cracks found in ridge and not found in row. At five months of tillage, crack number and crack length in length ridge were 3 and 37~51 cm in tillage. Maximum width and maximum depth in length ridge were 30 mm and 15.3cm in tillage. Crack number and crack length in width ridge were 7.5 and 7~28 cm in tillage. Maximum width and maximum depth in width ridge were 29 mm and 15.3 cm in tillage. At a year of no-tillage, crack number and crack length in length ridge were 1.0 and 140~200 cm in tillage. Maximum width and maximum depth in length ridge were 18 mm and 30 cm in a year of no-tillage. Crack number and crack length in width ridge were 11 and 6~22 cm in a year of no-tillage. Maximum width and maximum depth in width ridge were 22 mm and 18.5 cm in a year of no-tillage. Soil crack was not found at 2 years of no-tillage in sandy Jungdong series (jd) soil. Soil crack was found at 7 years of no-tillage in clayish Jisan series (ji) soil.

2. Penetration resistance on soil

Penetration resistance was increased significantly at no-tillage in Jungdong series

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

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

(jd). Depth of cultivation layer was extended at no-tillage soil compared with tillage soil. Penetration resistance of plow pan was decreased at 1 year of no-tillage compared with than tillage soil. Penetration resistance was linearly increased with increasing soil depth at tillage in Jisan series (ji). Penetration resistance on top soil was remarkably increased and then maintained continuously at no-tillage soil.

3. Drainage and moisture content of soil

Moisture content of ridge in top soil was not significant difference at both tillage and no-tillage. Moisture content of ridge in 20 cm soil was 14% at no-tillage soil and 25% at tillage soil.

4. Change of capacity to retain water in soil

Capacity to retain water in top soil was not significant difference at 1 bar both tillage and no-tillage. Capacity to retain water in soil was slightly higher tendency in 1 year and 2 years of no-tillage soil than tillage soil. Capacity to retain water in soil was increased at 15 bar both tillage and no-tillage. Capacity to retain water in subsoil was slightly higher tendency at 1 bar and 3 bar in 2 years of no-tillage than tillage soil and a year of no-tillage soil.

Key words : *capacity to retain water, drainage, no-tillage, penetration resistance, soil crack*

I. 서 론

한반도에서는 BC 3,000년경에 사용된 것으로 보이는 돌보습이 출토되고 있으며, 삼국유사 노례왕편에(AD 24~57) 쟁기와 보습을 만들기 시작하였다는 기록이 등장하는 등, 경운은 우리 문화형성과 발전에 크게 기여하여 왔다. 경운은 오랜 관습으로 지중해 동부에 위치한 터키의 Kurova 지역에서는 밀을 11월 중순에 파종, 6월 중순에 수확하고 두 번째 작물로 옥수수, 콩, 면, 땅콩을 경작한다(Cleik, 2011). 관행 경운(Tilling)은 잡초를 제거하고 작물을 파종하며, 관개를 위하여 사용되고 있으며, 때로는 토양의 다짐이 토양과 종자의 접촉으로 이어질 수 있어 식물의 발아와 종묘 성장이 바람직할 수 있다(Cleik, 2011; Radford and Nielsen, 1985). 많은 장점에도 불구하고 과도한 경운은 토양의 다져짐에 의한 용적 밀도의 증가, 다공성의 감소로 통기성이 약화되고 뿌리 성장을 제한하며 유기물의 손실, 입단의 감소, mycorrhiza, 절지동물 등 토양 생물상의 감소, 바람과 물에 의한 토양 침식의 증가로 경운을 배제시키는 원인이 되고 있다(Cleik, 2011).

한편 비닐하우스를 이용한 시설 채소재배는 작물의 생산성 향상과 농가소득 증대를 목적으로 2~5회의 다모작 재배를 위한 과도한 경운은 많은 양의 에너지가(Eswaran and Cook, 2013) 소모될 뿐만 아니라 대형농기계의 하중으로 인한 토양 물리성 악화 등 경운은 많은 문제점을 발생 시키고 있다(Kim et al., 1997; Yang et al., 2014, 2015a; 2015b).

이와 같은 문제점 해소와 지속 가능한 생태 농업의 요구로 중국과 잠비아, 남미공동체

(Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay) 등에서 세계적으로 시도되고 있는 무경운 재배는 0.5 ha~1,000 ha까지 토양조건에 관계없이 가능하고(Friedrich et al., 2012) 무경운 재배 면적도 1987년 6만 7천 ha에서 2002년 3천만 ha로 15년 동안에 448배 정도 증가되고 있다(http://notill.org). 이와 같은 무경운 재배의 증가 원인은 농작업 량의 감소와 경제적 이익이 크기 때문으로 보고되고 있다(Yang et al., 2015b).

한편 우리나라는 년 강우량의 대부분이 6~8월에 집중되는 기후조건으로 인하여(Kim et al., 2010), 일반적으로 두둑을 높게 고랑을 깊게 만들어 작물을 재배하고 있다. 이와 같은 관점에서 최근 전라남도농업기술원에서 연구되어 보급되고 있는 뒷그루 작물을 재배할 경우 앞그루 작물 재배에서 형성된 두둑을 재활용하는 ‘한국형 무경운 농업’은 생산비를 절감시키고, 대형 농기구에 의한 답압의 생략으로 토양의 물리성과 화학성이 개선되는 것으로 보고되고 있다(Yang et al., 2014; 2015a). 뿐만 아니라 한국형 무경운 농업은 투입부분 탄소량을 감소시키고(Lee et al., 2012) 생산비와 농가소득은 증가되는 것으로 보고되고 있으며, 이와 같은 원인으로 우리나라 농업에 있어서 식량자급의 “녹색혁명”, 비닐하우스 하얀들의 “백색혁명”에 이은 제3의 “무경운 혁명”으로 평가되고 있다(Yang et al., 2011a, 2012b).

이와 같은 많은 장점에도 불구하고 무경운 농업은 쉽게 받아들여지지 않고 있는데, 이는 우리나라만의 문제는 아닌 것 같다. Eswaran과 Cook (2013)에 의하면 저투입 농업은 자연의 높은 비옥도와 긍정적인 관리 반응으로 Vertisols 농업을 매력적으로 만들어 감에도 불구하고 제한적이지만 비판을 받고 있다고 하였다.

한편 농업에서 중요한 영향을 미치는 토양 균열의 형성과정은 중요한 물리적인 과정이다(Aguilar Torres et al., 2004). 뿐만 아니라 토양 구조 변화와 비가 오는 동안 토양 균열의 갈라진 틈 아래쪽에 수분을 저장하여 증발산에 의한 수분의 손실을 줄일 수 있다. 그리고 심토에 저장된 수분은 다음 작물재배에 이용될 수 있어(Eswaran and Cook, 2013) 토양에 균열은 긍정적으로 평가되기도 한다. 따라서 경운 방법에 따른 토양 균열의 형태적 연구는 중요하다(Xiong et al., 2010). 그리고 경운 방법에 따른 토양의 관입 저항은 종묘의 출현, 식물의 밀도, 뿌리 분포와 작물 수확량에 영향을 미친다(Khan et al., 2001). 그러나 우리나라는 농업부분에서 토양의 관입저항은 일부 연구되고 있으나(Yun et al., 2009; Ok et al., 2015), 토양 균열과 관련된 연구는 거의 시도되고 있지 않다.

따라서 본 연구는 앞그루작물 재배 시 형성된 두둑을 재활용하여 다음 뒷그루작물을 무경운으로 재배할 경우 토양의 이화학성과 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하고자 추진한 연구 결과의 보고이다.

II. 재료 및 방법

1. 토양 및 재배관리

본 시험은 1984년부터 2016년 현재까지 약 30년간 시설 채소를 재배하고 있는 전남 나주시 남평읍 평사리 지식강 인근 무농약인증 토양(N 35°03.0'02.0.3"와 126°59.5'02.0", 해발 23 m)에서 시험을 수행하였다. 시험 포장은 중동통(jd) 미사질양토로(미사 30.3%, 점토 14.7%, 모래 55.0%) 2008년 12월부터 경운하지 않고 무경운으로 관리한 토양과 관행 경운 비닐 온실에서 유기재배에 준하여 시험을 수행하였다.

유기질비료를(N-P₂O₅-K₂O-CaO=8.47-4.62-1.58%, 유기물함량: 81.1%) 경운 전에 ha당 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 정식하여 봄 작형과 가을 작형 2기작 재배로 시험사업을 수행하였다(Yang et al., 2012a).

시험구는 2008년 12월 이후 경운하지 않은 무경운 1년차 토양과, 2009년 3월 9일 경운한 토양으로 나누어 시험을 수행하였다(Yang et al., 2012). 본 시험에서 1기작은 3월 11일 정식하고, 5월 21일부터 7월 27일까지 수확하면서 시험을 수행하였다(Yang et al., 2012a). 2기작은 2009년 8월 1일 정식하고 2009년 12월 26일까지 고추를 재배하였다. 3기작 무경운 2년차 시험은 2010년 3월 3일 정식하고 2010년 7월 6일까지 고추를 재배하였다.

관수는 점적관수 라인을 설치하여 생육상태에 따라서 관수하였으며, 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 관리하였다.

토양 균열조사는 고추 수확 완료 후 휴경기간에 관수 중단으로 토양이 건조된 상태의 고랑 넓이 40 cm와 두둑 넓이 90 cm의 두둑을 길이 2 m 간격으로 나누어 균열의 길이와 폭, 깊이를 조사하였다.

정식 전에 10 a당 관행 경운토양은 28.8 톤을 관수하였으며, 무경운 토양은 관행 경운 토양에 비하여 용적밀도가 낮고 공극율이 높아 배수가 잘되기 때문에(Yang et al., 2014) 초기와 토양을 포화시키고자 관수량을 늘려서 관행 토양보다 66 %가 많은 10 a당 48 톤을 관수하고 1일 후에 토양수분 함량을 조사하였다.

보수력 측정은 풍건된 토양시료를 105°C로 조절된 건조기에서 16시간 건조시켜 수분을 완전히 제거하였다. 다공질 판을 압력 용기에 넣고 그 위에 직경 6 cm, 높이 1 cm의 고무링을 얹은 다음 고무링에 105°C에서 건조시킨 토양 시료 20 g을 넣었다. 다공질 판에 물을 부어 고무링이 반쯤 차게 한 후 시료를 16시간 침적시켰다. 시료가 미세공극까지 완전히 포화된 후 물을 스포이드로 뽑아내 제거한 후 압력 용기를 밀봉한 후 10, 30, 1500 KPa의 압력에서 물이 세어 나오지 않을 때까지 48시간 동안 유지하였다. 용기에 압력을 0 KPa로 낮

추고 토양 시료를 꺼내어 측정하였다. 계산 방법은 수분함량(% W W⁻¹) = (최초 시료와 용기의 무게-건조시료와 용기의 무게)/(건조시료와 용기의 무게-용기의 무게)×100으로 계산하였다.

관입저항은 현장에서 직접 최대 80 cm 깊이까지 토양경도(Resistance to penetration)를 측정하여 저장할 수 있는 디지털 토양경도계(Penetrolgger set 06.156.SA)의 표면적 2 cm² Cone를 이용하여 측정하였으며, 0~10 MPa 범위를 측정하여 Excel에서 데이터를 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토양의 균열

중동통(jd)에서 고추 수확을 완료한 후 휴경기간에 관수 중단으로 토양이 건조된 상태의 두둑 길이 2 m 간격으로 균열 발생 상황을 조사한 결과를 Table 1에 나타내었다. 두둑의 토양표면에서는 균열이 관찰되었으나, 고랑에서는 균열이 관찰되지 않았다.

고추 1기작 재배가 끝난 경우 5개월 후에 조사한 관행 경우 토양 두둑에서 길이 방향으로 발생한 균열 길이는 37~51 cm 수준이었고, 최대 폭은 30 mm, 최대 깊이는 15.3 cm 정도 되는 균열이 3개 정도가 관찰되었다(Table 1). 그리고 두둑 폭 방향의 균열은 길이 7~28 cm, 최대 폭은 29 mm, 최대 깊이는 15.3 cm 정도 되는 균열이 7.5개 정도 관찰되었다.

Table 1. Distribution of soil crack after tillage with time progress (Investigation length: 2 m, 2009. 12. 28.)

Tillage systems	Month after tillage	Length crack				Width crack			
		Crack No.	Length (cm)	Max.		Crack No.	Length (cm)	Max.	
				Width (mm)	depth (cm)			Width (mm)	depth (cm)
Tillage	5	3.0	37~51	30	15.3	7.5	7~28	29	15.3
No-tillage 1 year	9	1.0	140~200	18	30.0	11.0	6~22	22	18.5
No-tillage 2 years	16	-	-	-	-	-	-	-	-

* Investigation of soil crack after 16 months of tillage : -(No-observation)

경운 방법에 관계없이 고랑에 균열은 발생되지 않았는데(data not show), 이는 농작업 과정에서 사람과 수레 등의 통행으로 두둑에 비하여 고랑이 다져진 원인으로 생각되었다.

두둑을 재활용하여 무경운으로 2기작 고추재배를 마친 경우 9개월 후인 무경운 1년차 토

양 표면의 두둑 방향으로 발생된 토양 균열의 길이는 140~200 cm, 균열의 최대 폭은 18 mm, 최대 깊이는 30 cm 정도 되는 균열이 1 개 정도 관찰되었다(Table 1). 그리고 두둑 폭 방향의 균열 길이는 6~22 cm, 최대 폭은 22 mm, 최대 깊이는 18.5 cm 정도 되는 균열이 11 개 정도 관찰되었다. 그러나 두둑을 재활용하여 무경운으로 2기작과 3기작 고추재배를 완료한 경운 16개월 후에 조사한 무경운 2년차 토양에서는 육안으로 뚜렷하게 구분할 수 있는 균열은 관찰되지 않았다(Table 1).

이와 같이 경운 토양에 균열이 발생하게 된 원인은 농기계를 이용한 경운 로타리 작업으로 가루가 된 표토의 입자가 용적밀도가 높은 심토의(Yang et al., 2014) 쟁기바닥 층 위에 놓여 있게 된다. 이 가루상태의 토양입자는 관수를 하게 되면, 관수라인 주변에서부터 수분을 흡수하여 토양 입자간에 응집력이 발생되어 토양 입자간에 간격이 좁아지고(Tang et al., 2011) 뭉쳐지면서 토양의 부피가 수축된다. 따라서 부피당 하중이 증가되어 가라앉은 토양과(Fig. 3-Tillage-A) 관수라인에서 비교적 멀리 떨어져서 수분과 접촉이 적은 토양의(Fig. 3-Tillage-B) 경계면에서 초기 균열이 발생된다(Fig. 4-A).

그 후 작물 재배 기간 동안 시간의 경과에 따라서 계속하여 관수를 하게 되면 수분이 두둑 전체에 퍼져 나가면서 비교적 모래함량이 많은 토양 두둑 표면에서 토양 수분 편차로 발생된 균열이 파괴되어 매몰되고, 작물재배 후반기부터 관수량이 줄어들면서 토양이 건조하게 되어 두둑의 중앙부위에 새로운 균열이 발생된다(Fig. 2-D).

강우가 차단된 시설재배 토양은 작물재배가 끝난 휴경기간에 관수가 중단되면 극도로 건조하여 토양에 균열이 크게 발생된다(Fig. 2-D, Fig. 4-B). 토양에 균열은 재배 작물의 그루터기에서 다각형의 중심이 되어(Eswaran and Cook, 2013) 균열이 일정한 방향(Xiong et al., 2010)으로 연결된다(Fig. 2-C, D, Fig. 4-A).

한편 우리나라에서는 균열에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으나, Tang 등(2011)은 쟁반에 토양 분말과 물이 혼합된 시료를 일정한 두께로 넣은 후 건조됨에 따라서 발생하는 토양에 균열을 조사한 결과에 의하면 첫 번째 균열은 일반적으로 표면에 움푹 패인 바다과 쟁반의 변두리에서 발생하는데, 균열의 금이 서로 직각으로 만나며, 최종 균열 패턴은 평방 모양이 된다고 하였다. 그리고 Chertkov과 Ravina (2001)는 토양수분의 포화와 건조 조건에서 토양의 팽창과 건조 수축에 의한 토양 균열의 발생과 성장은 혼한 자연 현상으로 점토의 수압전도성과 모암의 포화 수분함량에 의하여 결정된다고 하였다. 그리고 토양에 균열은 토양입단과 토양 수분의 흐름, 탄성, 힘, 열 확산성, 기하학적 특성에 의하여 달라지는



Fig. 1. Compacting of soil during tillage.

데, 토양의 수분이 증발되어 토양이 건조해지면 볼륨이 수축되고 균열이 발생되어 토양 표면을 서로 갈라진다(Tang et al., 2011).

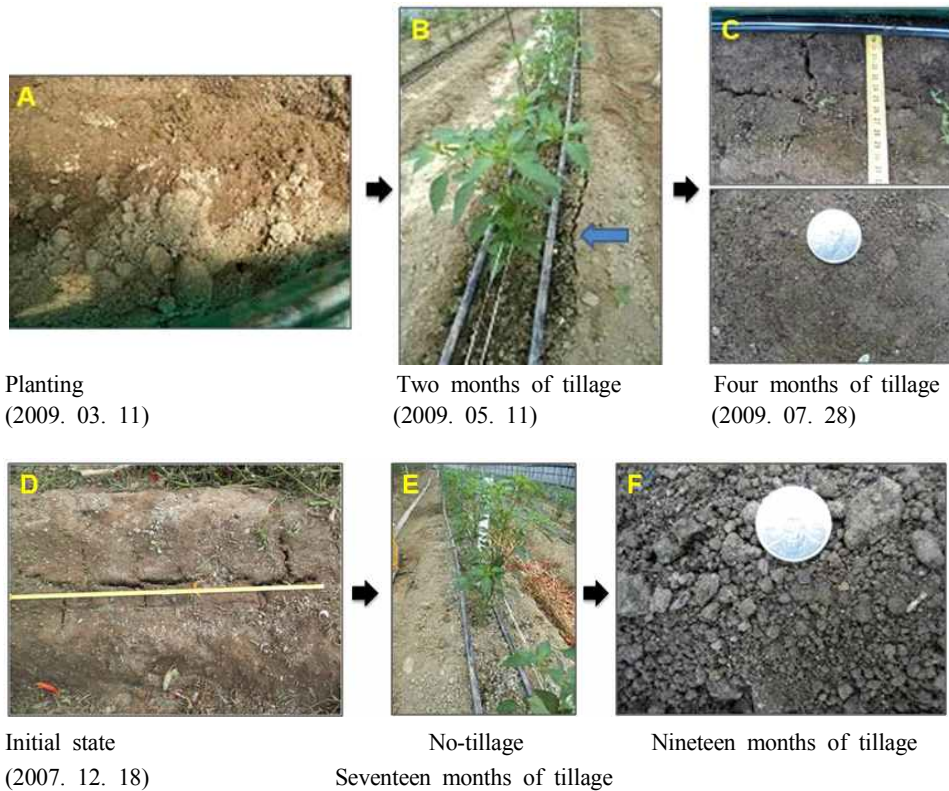


Fig. 2. Changes of soil physical property after tillage with time progress (Progression of soil crack).

토양에서 발생된 균열은 경운을 하게 되면 균열은 사라지게 되고, 무경운으로 작물을 다시 정식하여 재배하면서 관수를 하게 되면 토양 입자가 수분을 흡수하여 토양입자간의 간격이 커지면서 균열은 다시 수축되어 균열의 틈이 작아지거나 사라진다(Fig. 2-E, Fig. 3 No-till). 그러나 계속된 작물재배 기간 동안 시간의 흐름에 따라서 크든 작든 토양 수분의 편차가 생기게 되고 토양 수분의 편차에 의한 토양의 평창과 수축이 반복되면서 균열의 발생과 소멸이 반복되어 균열의 크기는 작아지고 토양의 입자가 서로 엉켜 폐알구조를 형성하여 가는 것으로 생각되었다.

한편 토양의 건조에 의한 수축은 외관을 다각형의 덩어리로 갈라지게 하는데, Eswaran과 Cook (2013)은 Vertisols의 토양 수직균열 위쪽은 큰 덩어리나 각기둥의 형태로 그 균열의 폭은 5~10 mm 정도로 토양이 건조해지면 점차 깊이가 더해지고(Grossman et al., 1985), 토

양 표면이 균열로 각이 지거나 덩어리가 형성된다고 하였다. 그리고 경운 후 2년 정도 시간이 경과된 중동(jd 무경운 2년차 토양표면에서 균열은 육안으로 관찰되지 않았다(Fig. 2-E, F, Fig. 3-No-till). 그러나 지산통(ji)의 무경운 7년차의 토양에서는 고랑과 두둑에서 균열이 관찰되었다(Fig. 5).



Fig. 3. Soil condition after first irrigation in Tillage soil and no-tillage soil.

(⇒ : Boundary line of irrigation A : Residue of former crop)



A : Soil crack of tillage in drying condition

B : Soil crack of drying condition after harvest of pepper in tillage

Fig. 4. Soil crack at ridge in pepper cultivation.

경운토양에서 발생된 토양균열은 시간의 경과와 작물의 재배 작업과정에서 무경운으로 토양을 관리하게 되면 응집력이 약한 사질토양은 토양 구조가 무너져 균열의 틈이 매몰되

기 때문에 균열이 파괴되어 소멸되지만, 점토함량이 많은 토양에서 발생된 균열은 외부의 물리적인 힘이 가해지지 않으면 균열이 발생된 상태로 굳어지게 된다. 이와 같은 원인으로 모래함량이 많은 중동통(jd)의 토양균열은 작물의 재배 작업과정에서 균열이 무너져 없어지지만, 지산통(ji)의 무경운 토양은 점토함량이 많아서 균열이 발생된 상태로 굳어진 원인으로 생각되었다.

그리고 경운의 생략으로 재배 작물의 지상부와 지하부 유기물의 잔사들이 분해가 지연되기(Fig. 5) 때문에 재배작물과 토양 미소동물 및 미생물의 먹이가 될 것으로 추정되었다. 따라서 작물 재배 중에 발생하는 토양의 균열은 토양의 수축과 관입저항 감소, 배수성의 증가, 심토에 물 저장, 통기성의 증가 등과 같은 물리성 개선과 토양의 미소곤충, 미생물의 증가 등 토양 생물상과 같은 토양환경 개선에 긍정적인 역할을 할 것으로 생각되었다.

2. 토양의 관입 저항

1) 중동통(jd)의 관입저항

평야지 중동통(jd) 시설재배 미사질양토 표토 1 cm 깊이의 관입저항은 1기작 재배가 끝난 경운 5개월 후에 59 kPa 수준이었으며, 경운 9개월 후의 무경운 1년차 관입저항은 63 kPa, 경운 16개월 후에 조사한 무경운 2년차 관입저항은 81 kPa로 경운토양보다 높았다(Fig. 6).

토양 깊이 2 cm와 5 cm 깊이의 관입저항은 경운 토양은 72 kPa과 144 kPa 수준이었고 무경운 1년차는 95 kPa과 167 kPa이었으며, 무경운 2년차는 131 kPa과 222 kPa로 경운 토양보다 높았다($P < 0.05$).

그러나 21 cm 깊이의 관입저항은 경운 토양 185 kPa 수준이었으며 무경운 1년차는 172kPa, 무경운 2년차는 310 kPa 수준으로 증가되었다.

경운토양 관입저항은 21 cm 깊이부터 현저하게 증가되어 36~39 cm 깊이에서 최대값인 503~507 kPa 수준이었다. 그러나 무경운 1년차 관입저항은 5~30 cm 깊이까지 167~172 kPa 을 유지하였으나, 31 cm 깊이부터 관입저항이 증가되기 시작하여 43 cm 깊이에서 437 kPa 를 최대값으로 감소되었다. 그리고 무경운 2년차 관입저항은 21 cm 깊이에서 관입저항이 크게 증가되어 40 cm 깊이에서 491 kPa를 정점으로 감소되었다.

이와 같이 무경운 표토의 관입저항 증가는 경운으로 인한 가루상태(粉狀)의 토양입자가 경운 후 시간의 경과에 따라서 표토가 다져지기(Yun et al., 2009) 때문으로 환경에 대한 저항력이 증가되어 바람과 물에 의한 토양유실에 저항력이 증가될 것으로 생각되었다.

Yun 등(2009)은 포도 뿌리의 경우 두둑 높이와 표토관리 등 토양 특성에 따라 다르지만 토심은 15~19 cm 깊이까지 분포하고, 토양 단면의 최대 저항을 나타내는 토심은 30~40 cm 깊이라고 하여 본 시험과 같은 경향을 나타내었다. 따라서 경운 토양의 작토층 깊이는 표토로부터 20 cm, 경반층의 깊이는 36~39 cm 범위로 추정되었다.

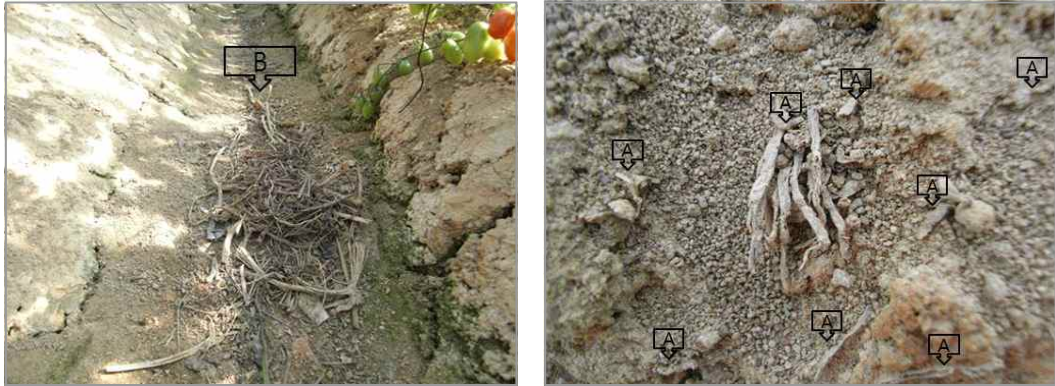


Fig. 5. Soil crack on ridge and furrow in Jisan series soil (left : Soil Surface) and aggregate structure in soil and remaining roots in cultivation crop (right : inner soil).

(A : Residue of former crop root, B : Residue of former crop plant)

무경운 토양은 앞 작물 재배 시 형성된 두둑을 재활용하기 때문에 경운 토양과 달리 트랙터 하중으로 인한 답압이(Fig. 1) 생략되고, 경운 토양의 균열 깊이가 15.3 cm에서 무경운 1년차는 30 cm 깊이로 증가되었는데(Table 1, Fig. 6), 이와 같은 원인으로 무경운 1년차의 작토층이 30 cm 깊이까지 연장된 것으로 추정되었다. 경운 방법에 따른 경반층의 위치가 경운 토양은 36~39 cm 깊이에서 무경운 1년차는 42~44 cm 깊이로 이동되었으며, 무경운 토양 경반층 관입저항은 437 kPa로 경운 토양에 비하여 14% 정도 유의성 있게($P < 0.01$) 감소되었다.

한편 Ok 등(2015)은 유기자재 처리에 의한 토양의 관입저항을 조사한 결과 모든 처리에서 1개 이상의 경반층이 존재하고 가축분과 호밀 처리에서 무처리에 비하여 경반층의 강도가 감소되고 경반층의 위치가 40~50 cm 깊이에서 60 cm 깊이로 이동하였다며 호밀이 토양 물리성 개선에 효과적이라고 하였다. 따라서 본 시험에서 경운 5개월 후에 조사한 경운 토양에 비하여 경운 9개월 후에 조사한 무경운 토양의 경반층이 깊어지고 관입저항이 감소되어 물리성이 개선된 것으로 보아, 년 2~5회 다모작 재배를 하고 환경이 조절되는 시설 토양에서 무경운에 의한 토양 물리성 개선에는(Yang et al., 2014) 많은 기간이 소요되지 않는 것으로 생각되었다.

토양 깊이가 경반층을 지나면 관입저항은 감소되기 시작하여 지표면으로부터 59 cm 깊이 이상의 관입저항은 경운방법에 관계없이 304 kPa 수준을 유지하였다. 관행 경운은 수분 함량과 용적 밀도, 관입 저항 같은 물리적 속성을 변화 시키는데(Khan et al., 2001), 경운토양의 표토와 심토의 용적밀도와 수분 편차에 의하여 토양의 균열이 발생된다. 토양 용적밀도는 대부분 심토는 높고 표토는 낮은 상태(Yang et al., 2014)에서 경운에 의한 가루상태의 토양 입자가 수분을 흡수하면 토양 입자가 서로 결합되어 뭉쳐지면서 부피밀도가 증가되

어 가라앉게 되고 토양이 건조해지면 토양의 볼륨이 수축되어(Tang, 2011) 토양 입자간의 거리가 더욱 좁아지고 토양에 표면에서부터 균열이 발생되어 토양이 갈라진다. 그리고 토양에 수분이 증가되면 토양이 다시 부풀어 균열이 감소된다. 경운 후 시간의 경과와 작물 재배 과정에서 발생하는 토양 수분 편차로 인하여 토양 균열은 발달과 소멸이 반복되면서 깊고 폭이 넓은 대형 균열은 초기에 비하여 감소되고 점점 작은 균열이 발달되면서 토양입자들이 때알구조를 형성하여 가는 것으로 생각되었다.

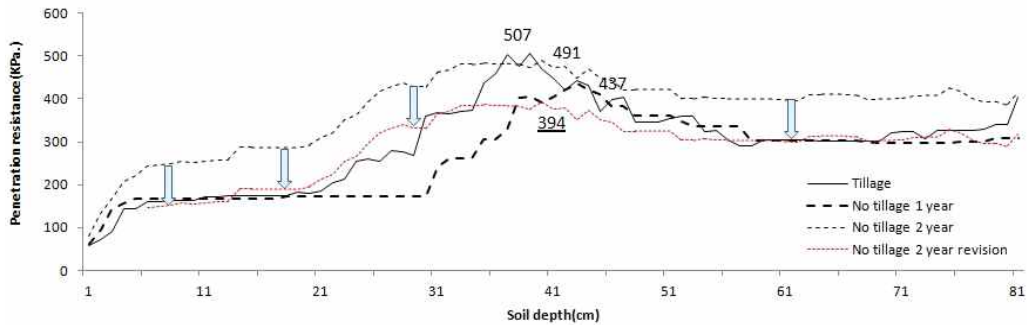


Fig. 6. Penetration resistance for duration after tillage in Jungdong series (jd) Soil penetration resistance of tillage method on pepper culture at plastic film house.

경운방법에 따른 경반층과 작토층의 관입저항 편차를 살펴보면 관행 경운 토양의 경반층은 507 kPa, 작토층은 185 kPa로 편차가 322 kPa 있었다. 그러나 무경운 1년차의 경반층은 437 kPa, 작토층은 172 kPa로 편차가 185 kPa 수준으로 관행 경운 토양의 57% 수준으로 현저하게 감소되었다. 이와 같은 토양 내부의 관입저항의 편차 감소는 토양의 물리성이 개선된 결과로 추정되었다(Yang et al., 2014).

토양 표면으로부터 6 cm 깊이의 관입저항은 경운토양 $161 \text{ kPa} (y = 22.2x + 34.2(r^2 = 0.93))$, 무경운 1년차는 $167 \text{ kPa} (y = 21.3x + 57.2(r^2 = 0.86))$, 무경운 2년차는 $243 \text{ kPa}(y = 32.0x + 63.5(r^2 = 0.96))$ 로 경운 후 시간이 경과됨에 따라서 현저하게 증가되었다.

또한 표토 6 cm 깊이 이후 관입저항의 증가량을 계산하여 보면(경반층 관입저항 값에서 6 cm 깊이 관입저항 값을 뺀 값) 경운토양은 346 kPa, 무경운 1년차는 270 kPa, 무경운 2년차는 257 kPa로 경운 후 시간이 경과됨에 따라서 관입저항이 감소되었다. 따라서 경운 후 시간이 경과됨에 따라 표토는 단단하여지고 토양내부는 관입저항의 감소로 부드러워지는 것으로 생각되었다. 경운 후 시간이 경과됨에 따라서 표토가 단단하여지면 물과 바람에 의한 토양유실 등에 대한 저항성은 증가되고, 내부는 부드러워지기 때문에 작물과 미소동물 등 생물의 활동이 용이한 환경으로 변화된 것으로 생각되었다.

한편 Cleik (2011)에 따르면 2006년부터 2008년까지 11월에 경운하여 월동작물인 밀을 재

배하고 다음해 6월에 경운하여 옥수수과 콩을 재배하는 작형에서 관행 경운 토양의 관입저항이 7 cm 깊이까지 직선적인 증가를 하였고 25 cm까지는 큰 변화가 없었으나 25 cm부터 45 cm까지 다시 직선적인 증가를 보였다고 하였다. 그리고 경운 방법 간에는 관행 경운보다 더 무거운 탠덤 원판 쇠토기와 rotary를 이용한 감소 경운 토양의 관입저항이 높았으며, 무경운(NT) 토양의 관입저항이 가장 높았다하여(Cleik, 2011) 본 시험과 유사한 경향이였다.

한편 토양의 관입저항은 수분함량과 관계가 깊은데, Martinol과 Shaykewich (1993)에 의하면 32 mm 비가 온 후에 토양 수분은 25 cm 깊이를 제외하면 토양 수분함량이 증가되었으며, 비오기 전 토양의 관입저항은 45 cm 깊이에서 정점을 보인 후 감소되었고 하였다. 그리고 Vaz 등(2011)에 의하면 표토의 용적밀도는 토양수분에 따라서 $1.32\sim 1.46\text{ g m}^{-3}$ 수준에서 토양깊이와 수분함량에 따라서 용적밀도는 다양하게 변화되었으나, 토양 깊이 45~50 cm 범위에서 높은 관입저항을 보이고 그 이상의 깊이에서는 용적밀도가 현저하게 감소되었다고 하였다. 이는 본 시험에서 경반층으로 추정으로 36~43 cm 깊이의 관입저항이 가장 컸으며, 58 cm 정도까지는 미치는 영향이 크지만, 그 이상의 깊이에서는 영향이 적었던 결과와 유사한 경향으로 생각되었다.

2) 논에서 전환한 지산통(ji)의 관입저항

논에서 전환한 지산통(ji)의 시설 토양을 7년간 경운하지 않고 무경운으로 관리한 토양과 관행 경운토양의 관입저항을 Fig. 7에 나타내었다. 관행 경운 토양 관입저항은 표토 1 cm 깊이는 53 kPa, 2 cm 깊이는 80 kPa에서 52 cm 깊이는 266 kPa까지 토양이 깊어짐에 따라서 직선적인($y = 2.36x + 98.43$) 증가를 하였으나($P < 0.001$), 그 이상의 깊이에서는 증가되지 않았다. 그러나 두둑을 재활용한 무경운 7년차 토양의 표토 1 cm와 2 cm 깊이의 관입저항은 각각 165 kPa과 218 kPa 수준으로 직선적인($y = 53x + 112$) 증가를 보여 경운 토양에 ($y = 27x + 26$) 비하여 현저하게 높았다. 그리고 3~81 cm 깊이의 무경운 토양 관입저항은 266~288 kPa 수준으로 거의 변동이 없었다. 따라서 토양 표면 2 cm를 제외하고 계산한 관행 경운 토양의 관입저항 편차는 175 kPa 수준이었으나, 무경운 토양의 관입저항 편차는 22 kPa 수준으로 관행경운 토양에 비하여 1/8 수준으로 감소되었다.

지산통(jd)과 중동통(jd)의 표토에서 12 cm 깊이의 관입저항이 경운토양은 각각 99 kPa과 172 kPa을 기점으로 증가되기 시작하였고, 무경운 2년차는 관입저항이 10 cm 깊이를 기점으로 증가되어 10~12 cm 깊이가 쟁기 바닥층으로 추정되었다. 그리고 지산통(jd)과 중동통(jd)의 표토에서 21 cm 깊이의 관입저항이 각각 133 kPa과 185 kPa 수준을 기점으로 증가되기 시작하여 표토로부터 21 cm 깊이까지가 작토층으로 추정되었다. 지산통(jd) 경운 토양의 경반층은 관입저항 223 kPa의 33~35 cm 깊이로 추정되었으나, 무경운 7년차는 경반층이 토양 38~44 cm 깊이에서 혼적으로만 존재하였다.

표토 2 cm를 제외하고 분석한 관입저항이 지산통(jd)의 경운 토양은 최저 84 kPa, 최고

272 kPa로 편차는(관입저항 증가량) 188 kPa 수준이었으나, 무경운 토양의 관입저항은 최저 250 kPa, 최고 288 kPa로 관입저항의 편차는 38 kPa로 경운 토양에 비하여 1/5 수준으로 현저하게 감소되었다. 따라서 지산통(jd)의 토양도 중동통(jd)의 토양과 마찬가지로 경운 후 기간이 경과됨에 따라서 표토는 단단하여지고 토양 내부는 부드러워진 것으로 생각되었다.

한편 Cho 등(2009)은 수량에 영향을 주는 경반층을 개량하기 위해서 벧짚을 절단하여 사용하고 3~4년 주기로 심경이나 심토 파쇄를 하는 것이 바람직하다고 하였다. 따라서 토양 물리성 개량을 위한 벧짚 시용과 심경 및 심토 파쇄와 같은 물리적인 처리를 대체할 수 있는 방법으로 인위적인 투입을 생략하는 무경운의 효과가(Yang et al., 2014) 기대되었다.

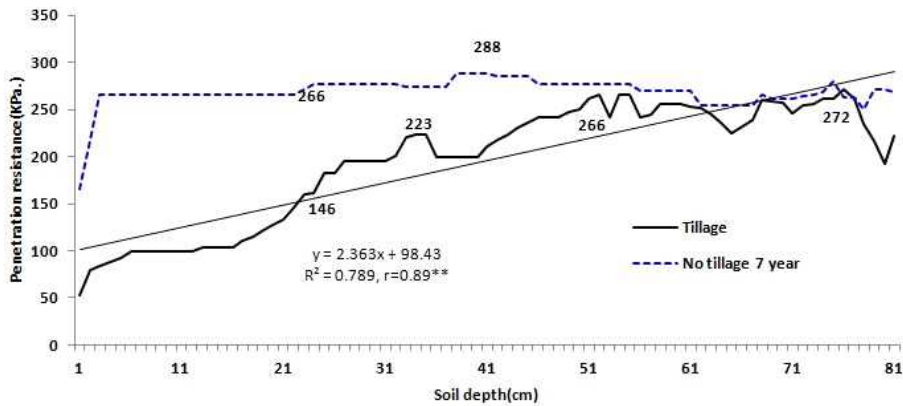


Fig. 7. Penetration resistance for soil depth at different tillage systems in Jisan series (ji).

3. 토양의 배수 및 수분함량

1기작 작물재배가 끝나 휴경기간에 건조하여진 토양에 다음 뒷그루 작물을 재배하기 위하여 10 a당 관행 경운토양은 28.8 톤을 관수하였으며, 무경운 토양은 관행 경운 토양에 비하여 용적밀도가 낮고 공극율이 높아 배수가 잘되기 때문에(Yang et al., 2014) 초기에 토양을 포화시키고자 관수량을 늘려서 관행 토양보다 66%가 많은 10 a당 48 톤을 관수하고 1일 후에 조사한 토양수분 함량은 Fig. 8과 같다.

TDR 센서를 이용하여 측정한 표토의 토양 부피 수분함량(vol. % m²)은 관행 경운 토양과 무경운 토양에서 공히 23%, 지하 30 cm 깊이의 수분함량은 18 vol. % m²로 경운 방법 간에 차이가 없었으나, 20 cm 깊이의 무경운 토양 수분함량은 14 vol. % m²로 경운 토양 25 vol. % m²에 비하여 현저하게 낮았다.

무경운 토양은 경운 토양에 비하여 66% 정도 관수량이 많았음에도 토양수분이 낮았는데 이는 미사질양토의 경운토양과 무경운 토양에서 공히 10 a당 9.6 톤의 물을 관수하고 TDR 센서를 이용하여 토양수분을 조사한 결과 경운 토양의 수분함량은 표토는 16.1 vol. % m²,

20 cm 깊이는 5.8 vol. % m^2 , 30 cm 깊이는 5.3 vol. % m^2 를 기점으로 급격하게 감소되었으나, 무경운 토양은 표토는 1.6 vol. % m^2 , 20 cm 깊이는 1.0 vol. % m^2 , 30 cm 깊이는 0.5% 수준이었으며, 관수 후 기간이 경과되어도 수분의 편차가 아주미미하였다는 yang 등(2015)의 결과 유사한 경향으로 생각되었다.

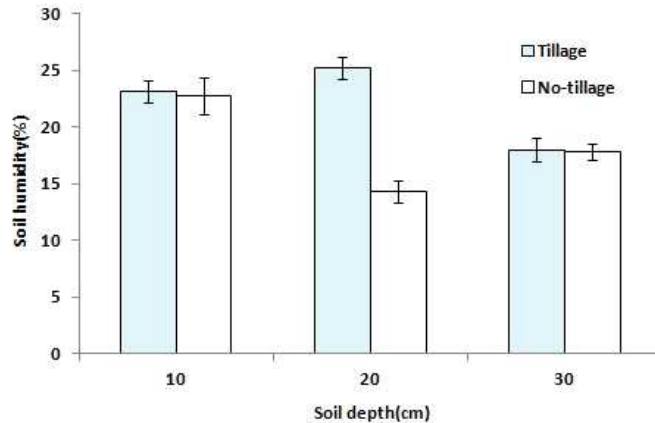


Fig. 8. Soil humidity (%) for soil location at different tillage systems.

- Amount of irrigation at before planting (31 July) : No-tillage (48 tons/10 a) and tillage (28.8 tons 10 a⁻¹).
- Amount of irrigation at immediately after planting (1 August) : No-tillage (1.2 tons 10 a⁻¹) and tillage (1.2 tons 10 a⁻¹).

Torres 등(2004)에 따르면 토양 심토 층의 균열, 거대 공극의 증가와 그의 갈라진 틈의 존재는(Mccoy et al., 1994) 토양에서 중요한 화학, 생화학, 물리적 과정에 영향을 미쳐 토양이 구조와 토양용액의 수송과 물의 급속한 침투를 일으킬 수 있다고(Xiong et al., 2010; Mccoy et al., 1994; Mitchell and van Genuchten, 1992; Thomas and Phillips, 1979) 하였다. 또한 무경운의(zero-tillage) 수압 전도에 미치는 중대한 긍정적인 효과는 공극의(Sharratt et al., 2006) 연속성을(Benjamin, 1993) 통한 물 흐름 때문으로(Cleik, 2011), Tuong 등(1996)은 토양에 공급되는 물의 총량 41~57% 정도가 균열을 통해서 깊은 토양층에 공급되었다고 하였다(Torres et al., 2004).

이와 같은 관점에서 유추하여 보면 본 시험의 무경운 1년차 토양이 관행 경운 토양에 비하여 더 많은 관수를 하였음에도 작토층으로 추정되는 20 cm 깊이에서 수분함량이 낮아진 원인은 경운 후 시간이 경과됨에 따라서 경운 장비의 하중에 의한 답압 등 교란이 생략되어 토양 물리성이 개선되어 배수가 촉진된 원인으로 추정되었다.

Yang 등(2015)은 관행 경운 토양과 무경운 토양에 10 a당 9.6 톤의 물을 관수하고 TDR 센서를 이용하여 토양의 수분변화를 조사한 결과 경운 표토는 관수개시 2시간 후에 16.1 vol. % m^2 에 도달 후 다음 관수 시점까지 계속하여 감소되었다고 하였다. 그러나 무경운 토

양은 관수개시 후에도 수분 함량이 감소되다가 관수 2시간 이후부터 토양수분의 증가가 시작되어 관수 6시간 후에 1.6 vol. % m²를 정점으로 감소되었는데, 무경운 표토 수분함량은 해가 뜨기 시작하는 아침 7~8시부터 증가가 시작되어 지온이 가장 높은 시간인 오후 3~4시에 1.0~1.6 vol. % m²를 정점으로 지온이 가장 낮은 다음날 아침 5~7시까지 감소되는 수분함량이 주기적인 일변화를 보였다고(Yang et al., 2015) 하였다. 그리고 2007년부터 무경운 재배 시험과 작물재배에서 휴경기간을 거쳐 새롭게 작물을 재배하게 되면 관행 경운토양에 비하여 초기 관수량을 늘려야 한다는 것을 경험을 통하여 알게 되었으며 본 시험에서 정식 전 관수량은 관행 경운 토양보다 66%의 관수량을 늘여 공급한 것도 이와 같은 관점에서 시도한 것으로 무경운 토양의 관수방법에 대한 체계적인 연구의 필요성이 대두되었다.

4. 토양의 보수력 변화

2008년 12월 이후 경운하지 않은 무경운 토양과 2010년 3월 경운한 관행 경운 토양의 보수력을 1 Bar에서 측정한 결과(Fig. 9) 경운 표토의 중력 수분함량 21.2% (w w⁻¹)에 비하여 무경운 1년차는 22.1%, 무경운 2년차 토양은 22.3%로 증가되었으나 유의성이 없었다. 그리고 15 Bar에서 측정한 경운 표토의 보수력 8.9%에 비하여 무경운 1년차는 9.3%, 무경운 2년차 토양은 10.0%로 경운 후의 기간이 경과될수록 표토의 보수력은 증가되는 경향이였다. 그리고 무경운 2년차 심토의 보수력은(Fig. 9) 1 Bar와 3 Bar에서 경운 토양과 무경운 1년차에 비하여 증가되는 경향이였다.

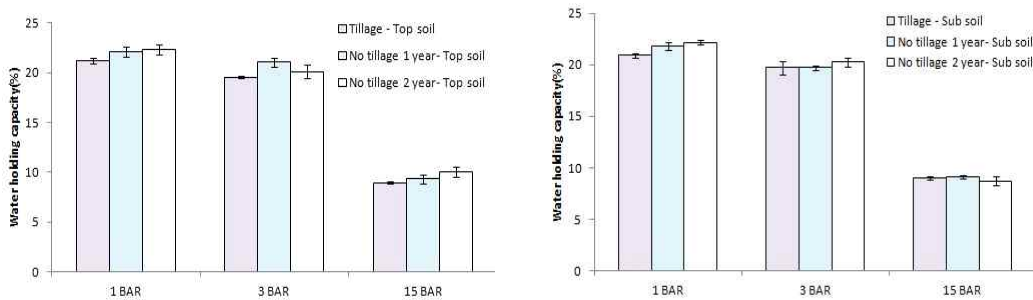


Fig. 9. Change of capacity to retain water at different tillage systems in soil.

보존경운(conservationally tilled)과 무경운(zero-tillage)은 관행 경운에 의해 차단된(Sharratt et al., 2006) 토양의 큰 공극과 아주 작은 공극(Cleik, 2011)의 길고 복잡한 공극의 연속성(Benjamin 1993)과 지속성을 증가시켜 토양의 다공성, 전도도와 물 보유 용량을 향상시키는데(Khan et al., 2001), 본 시험에서도 무경운 토양은 경운 토양에 비하여 용적밀도가 감소되고, 공극율이 증가되어(Yang et al., 2014) 내수성 입단이 증가되고(논문 II에서 보고 예정

임) 수분 보유력이 증가된 것으로 생각되었다.

IV. 적 요

본 연구는 시설하우스 재배에서 앞그루작물 재배 시 형성된 두둑을 재활용하여 뒷그루 작물을 무경운으로 재배할 경우 토양의 이화학적성과 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하고자 추진한 연구 결과의 일부이다.

중동통(jd)의 두둑에서 토양 균열은 관찰되었으나 고랑에서는 관찰되지 않았다. 관행 경운 토양 두둑의 길이 방향으로 경운 5개월 후에 최대 폭 30 mm, 최대 깊이 15.3 cm, 길이 37~51 cm 정도 되는 균열이 3개 정도 발생되었다. 그리고 두둑의 폭 방향에서는 길이 7~28 cm 정도 되는 균열이 7.5개 정도 발생되었다.

무경운 1년차는 두둑의 길이 방향에서 최대 폭 18 mm, 최대 깊이는 30 cm, 길이는 140~200 cm 정도 되는 균열이 1개 정도 발생되었으며, 두둑 폭 방향의 균열은 최대 폭 22 mm, 최대 깊이는 18.5 cm에 길이는 6~22 cm 정도 되는 균열이 11개 정도 발생되었다.

한편 모래함량이 많은 중동통(jd)의 무경운 2년차 토양에서 균열은 관찰되지 않았으나, 점토함량이 많은 지산통(jd) 무경운 7년차 토양에서는 균열이 관찰되었다.

중동통(jd) 시설재배의 미사질양토의 관행 경운토양 표토 1 cm 깊이의 관입저항은 59 kPa에 비하여 무경운 1년차는 유의적으로 높았다.

경운 토양 20 cm 깊이의 관입저항은 161~185 kPa 수준이었고 36~39 cm 깊이의 관입저항 503~507 kPa를 정점으로 감소되었다. 무경운 1년차 토양 관입저항은 5~30 cm 깊이까지 167~172 kPa를 유지하였으나, 43 cm 깊이에서 437 kPa를 최대값으로 감소되었다. 무경운 2년차 표토의 관입저항은 1 cm 깊이의 81 kPa에서 6 cm 깊이는 243 kPa로 직선적인 증가를 하였다.

논에서 전환한 지산통(ji) 시설 재배지의 관행 경운 토양 관입저항은 표토 1 cm 깊이로부터 52 cm 깊이까지 토양이 깊어짐에 따라서 직선적인 증가를 하였으나, 그 이상의 깊이에서는 증가되지 않았다. 그러나 두둑을 재활용한 무경운 7년차 토양의 표토 1 cm와 2 cm 깊이의 관입저항은 직선적인 증가를 보여 경운 토양에 비하여 현저하게 증가되었으나, 그 이상의 깊이에서는 거의 변동이 없었다. 지산통(ji)과 중동통(jd)의 쟁기 바닥층은 표토에서 10~12 cm 깊이, 작토층은 21 cm 깊이까지로 추정되었다. 그러나 지산통(ji)의 경운 토양의 경반층은 33~35 cm 깊이로 추정되었으나 무경운 7년차는 경반층이 토양 38~44 cm 깊이에서 혼적으로만 존재하였다.

표토의 수분함량은 관행 경운 토양과 두둑을 재활용한 무경운 토양에서 경운 방법 간에 차이가 없었으나, 20 cm 깊이의 무경운 토양 수분함량은 14%로 경운 토양 25%에 비하여

현저하게 낮았다.

1 Bar와 15 Bar에서 측정된 표토의 보수력은 관행 경운토양 비하여 두둑을 재활용한 무경운 1년차와 무경운 2년차에서 증가되었다. 그리고 무경운 2년차 심토의 보수력은 1 Bar와 3 Bar에서 경운 토양과 무경운 1년차에 비하여 증가되는 경향이였다.

[Submitted, June. 24, 2016 ; Revised, September. 29, 2016 ; Accepted, October. 4, 2016]

References

1. Torres Aguilar, M. A., E. de Luna Armenteros, R. Ordonez Fernandez, and P. Gonzalez Fernandez. 2004. Digital image analysis for the estimation of cracked areas and the soil shrinkage characteristic curve in clay soils amended with composted sewage sludge. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2(3): 473-479.
2. Benjamin, J. G. 1993. Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. *Soil and Tillage Research* 26(4): 277-288.
3. 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.
4. 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.* Vol. 42(2): 98-102.
5. Cleik, I. 2011. Effects of tillage methods on penetration resistance, bulk density and saturated hydraulic conductivity in a clayey soil conditions. *Journal of Agricultural Sciences* 17: 143-156.
6. Eswaran, H. and T. Cook. 2013. Classification and management-related properties of Vertisols. <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5493e/x5493e05.htm>
7. Friedrich, T., R. Derpsch, and A. Kassam. 2012. Overview of the global spread of conservation agriculture. <http://factsreports.revues.org>.
8. 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.
9. <http://notill.org/sites/default/files/economics-of-no-till-farming-by-rolf-derpsch.pdf>.
10. Khan, F. U. H., A. R. Tahir, and I. J. Yule. 2001. Intrinsic implication of different tillage

- practices on soil penetration resistance and crop growth. *J. Int. Agri. Biol.* 3(1): 23-26.
11. Kim, M. K., S. O. Hur¹, 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.
 12. 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.
 13. Martinol, D. L., and C. F. Shaykewich. 1993. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil. Sci.* 193-200.
 14. McCoy E., C. W. Boast, R. C. Stehouver, and E. J. Klavivki. 1994. Macropore hydraulics: taking a sledgehammer to classical theory. In: *Soil processes and water quality* (R. Lal and B.A. Stewart, eds.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. pp. 303-347.
 15. Mitchell, A. R., and M. T. H. van Genuchten. 1992. Shrinkage of bare and cultivated soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 993-994.
 16. Ok, J. H., J. L. Cho, B. M. Lee, N. H. and An, J. H. Shin. 2015. Monitoring for change of soil characteristics by repeated organic supply of compost and green manures in newly reclaimed organic upland field. *Korean J. Org. Agric.* 23(4): 813-827.
 17. Radford, B. J. and R. G. H. Nielsen. 1985. Comparison of pres wheels, seed soaking and water injection as aids to sorghum and sunflower establishment in Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 25(3): 656-664.
 18. Sharratt, B., M. Zhang, and S. Sparrow. 2006. Twenty years of tillage research in subarctic Alaska I. Impact on soil strength, aggregation, roughness, and residue cover. *Soil and Tillage Research* 91(1-2): 75-81.
 19. Tang, C. S., B. Shi, C. Liu, L. Gao, I. Hilary, and I. Masce. 2011. Experimental investigation of the desiccation cracking behavior of soil layers during drying. *J. Mater. Civ. Eng.* 23: 873-878.
 20. Thomas, G. W., and R. E. Philips. 1979. Consequences of water movement in macropores. *J. Environ. Qual.* 8: 149-152.
 21. Tuong, T. P., R. J. Cabangon, and M. C. S. Wopereis. 1996. Quantifying flow processes during land soaking of cracked rice soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 872-879.
 22. Vaz, C. M. P., J. M. Manieri, I. de Maria, and M. Tuller. 2011. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. *Geoderma* 166: 92-101.
 23. Xiong, D., D. Yan, Y. Long, X. Lu, J. Han, X. Han, and L. Shi. 2010. Simulation of morphological development of soil cracks in tuanmou dry-hot valley region, southwest China. *Chin. Geogra. Sci.* 20(2): 112-22.

24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Yang, S. K., G. H. Shin, S. K. Kim, H. K. Kim, H. W. Kim, and W. J. Jung. 2016b. 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 24(4): 1-19.