

우리나라 동남부 다모작 논토양의 경반화 특성

윤을수* · 정기열 · 박기도¹ · 손연규² · 박창영 · 황재복 · 남민희

농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작곡과, ¹농촌진흥청 기획조정관실 녹색미래전략팀, ²농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과

Compaction Characteristics of Multi-cropping Paddy Soils in South-eastern Part of Korea

Eul-Soo Yun*, Ki-Yeul Jung, Ki-Do Park¹, Yeon Kyu Sonn²,
Chang-Yeong Park, Jae-Bog Hwang, and Min-Hee Nam

Functional Cereal Crop Research Division, NICS, RDA, Milyang, 627-830, Korea

¹Green Growth Future and Strategy Team, RDA, Suwon 441-857, Korea

²Soil & Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

This study was carried out for some survey about soil compaction in the multi-cropping system of paddy field. Investigated sites were 90 farmer's fields in south-eastern part of Korea. The tillage practices season was different according to cropping system of paddy; in spring for mono rice cultivation and in autumn for the multi-cropping field. The average tillage depth in investigated sites was about 25 cm, however, it is different between the farmer's tillage practices and soil characteristics. It is high correlation to tillage deep and minimum resistance of penetration. The reaching soil deep to maximum resistance of penetration was about 27 cm, and average penetration resistance of the deep is 1.8~2.0 MPa for moderately fine-textured soils and more than 3.0 MPa for moderately coarse-textured soils. The difference of penetration resistance between cultivating and compacted layer was in order to sandy loam > clayey loam > clayey, and the difference was lesser in poorly drained soils than somewhat poorly ones. In the rice mono cropping field, the maximum resistance in no-tillage for 15 years was 1.18~1.25 Mpa at 20~25 cm in soil deep, however, the resistance of field with every year tillage practices was 2.03~2.21 Mpa. In the extremely compacted sandy loam textured soils, the penetration resistance at 30 cm in soil depth was drastically reduced by the subsoil from 5.2 Mpa to 3.2 Mpa, and the watermelon root in plastic film house was deep elongated.

Key words: Paddy, Soil compaction, Penetration resistance, Soil series

서 언

영남지역은 타 지역에 비해 동절기의 온난한 기온과 적은 강설량 등으로 논외의 이용도가 높을 뿐만 아니라 작부의 양식도 다양한 농업적 특성을 가지고 있다. 아울러 논토양에서의 시설재배 면적이 33.5 천ha로 전국 대비 34.4%를 점하고 있다 (MFAFF, 2010).

토지이용도의 증가와 부적절한 토양관리는 심토의 경반화를 촉진시킬 수 있고 다모작지대와 같이 농작업의 빈도와 강도가 높은 지역에서 발생하며 특히, 강우량이 많고 영농의 기계화가 발달한 지역에서 심하다고 하였다 (van den Akker, 1994). 토양의 경반화 (Soil compaction)는 OECD

(Organization for Economic Cooperation and Development) 농업환경지표 선정기준의 지역별 정책과 관련성 정도가 높은 그룹이며 OECD 합동작업반 (JWP : Joint Working Party on Agriculture and the Environment)이 구분한 농업에 의해 영향을 받는 요소이다 (Kim, 2001). 미국의 경우, 토성별 용적밀도와 뿌리의 생육과의 관계를 설정 (NRCS, 1999)한 바 있고, 일본에서는 작토층 직하 경반층의 존재는 수분 이동 불량 및 뿌리신정저하를 초래하여 작물생산성 저하의 요인으로 간주하고 있다 (Niwa et al., 1999). 토양다짐 즉, 견밀화는 토양저항력을 증가시켜 작물뿌리성장을 방해하고 이로 인하여 수확량이 감소하며 (Gill et al., 1967) 기계류의 사용에 따른 토양다짐에 의한 곡물수량 감소는 20~50%에 달한다 (Raghavan, 1979)고 보고하였다.

우리나라에서 경반층 혹은 견밀토층에 대한 연구는 경사지 밭 토양을 대상으로 생성과 개량에 대해 수행한 바

접수 : 2011. 9. 5 수리 : 2011. 10. 13

*연락처 : Phone: +82553501262

E-mail: yesoo@korea.kr

있고 (Chei et al., 1976), 논 토양은 식질답 심토개량에 대한 연구가 수행된 바 있다 (Kim et al., 2000). 시설재배지 토층 내 경반층이 존재하면 수직배수가 불량해 표토 염류집적의 원인이 되고, 심토를 파쇄할 경우 토양 수분이 동량이 많아 EC가 감소되고 작물의 수량은 18~29% 증수된다고 (Chei et al., 2000) 보고된 바 있으나 토양특성이 다양한 농경지를 대상으로 경반층의 생성원인과 특성을 구명한 연구는 미미한 실정이므로 본 연구는 논 토양 특성별 경반층의 양상과 생성요인을 구명하여 토양생산성 향상에 필요한 합리적인 관리법과 심토 경반 최소화 기술을 제시코자 연구하였다.

토양특성별 원추관입저항의 측정과 병행하여 실제 포장에서 일어나는 토양 경반 생성원인 인 경운, 압밀, 수분의 영향을 농가포장을 이용해 측정하였다.

토심별 투수율과 물리성은 논토양 물리성측정법 (Jong R. de, 2000) 에 준해 투수율은 정수위법으로 측정하였고, 토양화학적 성분은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAST, 1988) 에 따라 pH는 초자전극법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 유효규산은 1N-NaOAc (pH 4.0)침출법, 치환성양이온은 1M NH₄OAc (pH 7.0)로 침출하여 Inductively Coupled Plasma (Liberty 110, German)로 측정하였다.

결과 및 고찰

재료 및 방법

본 연구는 토양특성 및 논 이용형태별 심토 경반 양상을 구명하기 위하여 영남지역 남부를 중심으로 동절기 맥류 및 시설하우스 재배가 성행하는 경남 밀양, 창녕, 의령, 함안, 창원 등지를 대상으로 78개 지점 (Table 1)에 대하여 원추관입저항을 측정하였고 토양통 및 원추관입저항 현지조사와 병행해 조사필지에 대한 농기계사용 현황 및 관리실태를 청취 조사하였다. 원추관입저항에 미치는 수분의 영향을 최소화하기 위해 논은 경운 후 벼 이앙 후 약 20~30일 경에 조사하였고, 벼 후작물 재배지의 저항은 작물의 생육기간 동안 식재구에서 약 20 cm 위치에서 Digital PENTROLOGGER (ART, NR, 06.15.01)로 측정조건을 Cone 1.0 cm² 60°, Speed 2 cm sec⁻¹로 하여 측정하였다. 조사 지점의 토양통은 토양조사편람 I (NIAST, 1973)과 대상 시군별 정밀토양도에 이용해 현지 조사하였다.

다모작지 주요 논 토양의 심토 경반 특성 심토의 경반화에 영향을 주는 농업적요소를 구명코자 조사지역의 농기계사용 및 경운정지 실태를 청취 조사한 결과는 Table 2와 같다. 본 조사지역의 경우, 경운 및 정지작업은 위탁 영농회사 혹은 경운 대행 업자에게 위탁하는 비율이 높은 경향이었고 경운기기의 크기는 트랙터에 의한 경운이 많았다. 경운의 시기는 춘경이 추경보다 다소 많은 경향이었으며 정지작업은 경운 후 물로타리가 다소 많은 경향이였다.

논토양에서, 매년 동일 토심으로 경운을 할 경우 쟁기 바닥층 혹은 경반층의 생성원인이 될 수 있다. 포장의 실제 경운깊이와 벼 이앙 후 답수 시 표토의 원추관입 최저 저항값과의 관계는 Fig. 1과 같다.

조사한 농가의 평균 경운깊이는 13.3 cm로 위탁경운이 자가경운에 비해 천경하는 경향이였다. 실측 경운깊이와 표토 원추관입 무저항 값과의 관계는 기계식 측정계와는

Table 1. The number of site surveyed.

Texture	Drainage Classes			Total	Major soil series
	Poorly	Somewhat poorly	Moderately well		
Sandy	-	-	1	1	Jangcheon
Coarse loam	4	11	14	28	Gangsea, Seogcheon, Hwasu, Hamchang
Coarse silty	-	4	16	20	Gyuam, Nampyeong, Yuweon
Fine silty	-	13	9	22	Geumsea, Sugye, Cheongweon, Pyeongtaeg
Clayey	-	4	2	6	Honam, Geugrag, Deogpyeong
Sum	4	32	42	78	-

Table 2. The number of farm field with actual practices of tillage in different soil drainage classes.

Drainage Classes	Tillage practice		Tractor size		Tillage time	
	Commission	Self	Mod. to Heavy	Small	Spring	Autumn
Moderately well drained	11	11	19	3	17	4
Somewhat poorly drained	14	6	18	2	13	7
Poorly drained	2	2	3	1	4	-
Ratio	59	41	87	13	74	26

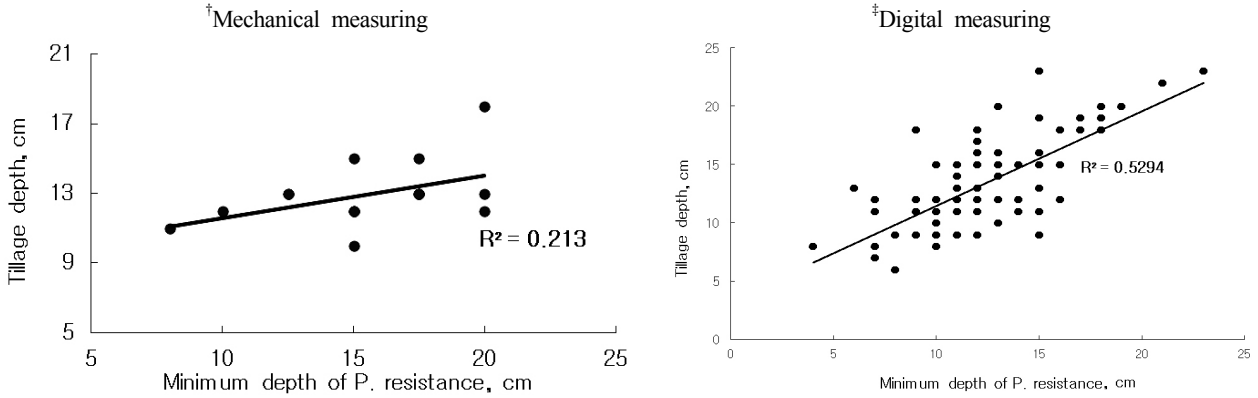


Fig. 1. The relationship between actual practices of tillage depth and penetration resistance of surface in paddy soils. †Mechanical measuring by Daiki model 5521 type ‡Digital measuring by Digital penetrometer (ART. NR. 06.15.01).

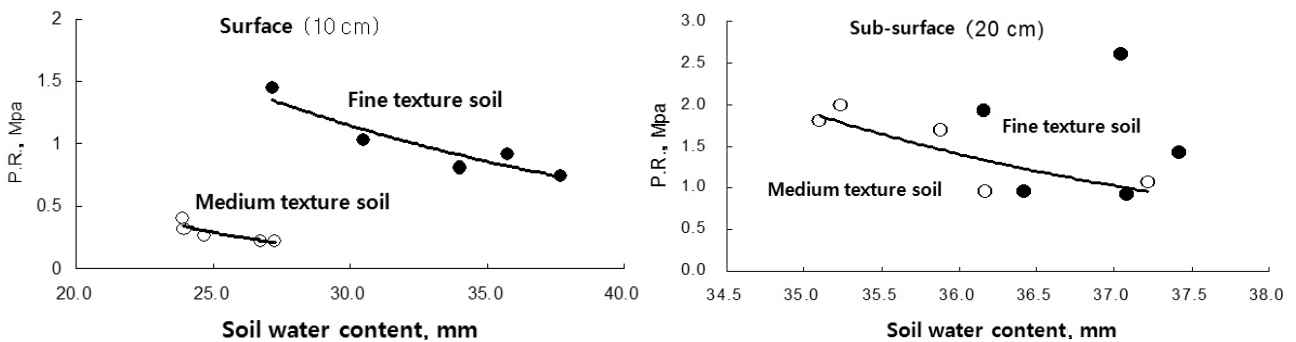


Fig. 2. Relationship between soil water content and penetration resistance (P.R.).

상관이 낮았으나 Digital식 측정기 (PENTROLOGGER)와는 높은 상관을 보여 원추관입저항계로도 경운깊이의 추정이 가능할 것으로 생각된다. 영농활동은 토양수분과 구조과 괴에 크게 영향을 주므로 토양수분과 구조의 이해는 합리적 토양관리에 중요한 요소이다. 토양의 원추관입저항은 수분함량과 밀접한 부의 관계를 보인다고 하였다 (Cass, 1999). 세립질인 덕평동과 중립질인 신흥동의 토양수분함량과 원추관입저항의 관계는 Fig. 2와 같다. 표토의 경우 두 토성 공히 수분함량과는 고도로 유의한 상관을 보인 반면 심토 (20 cm)에서는 중립질은 수분과 다소 높은 관계를 보였지만, 세립질은 일정한 경향을 보이지 않았다. 토양수분함량과 원추관입저항과의 관계는 구조의 발달이 미약한 토양이 강한 토양보다 높은 상관을 보인다는 보고 (Kristel et. al., 2004)와 유사한 결과를 보였다. 따라서 심토 경반층의 강도 및 출현깊이 등의 측정에 원추관입저항값이 긴요한 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료되었다.

조사토양의 토성별 최대 원추관입최대저항 출현깊이의 저항값은 Fig. 3과 같다. 최대저항값 출현 평균토심은 약 27.1 cm로 배수불량한 사양질 토양이 53.5 cm로 가장 깊었고, 그 다음은 배수약간불량 사양질이 32.0 cm인 반면, 배수약간가 불량한 식질 토양과 배수 양호한 사질토양 등은 15.8 및 15.0 cm로 매우 얇았다.

일반적으로 이모작에 용이하고 영남지역 논 토양의 많

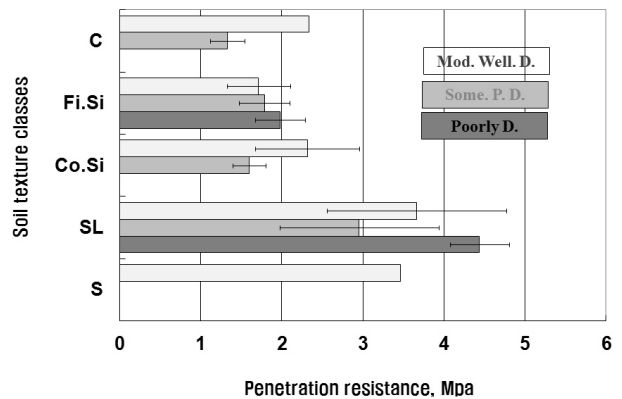


Fig. 3 Comparison of penetration resistance among the soil texture and natural drainage classes, C, Clayey; Fi.Si, Fine Silty; Co.Si, Coarse silty; SL, Sandy loam; S, Sandy.

은 면적을 점하는 배수약간 불량 및 약간양호 등급의 사양질 및 미사질 토양의 원추관입 최대 저항출현 깊이는 23~32 cm로 경운이 용이한 배수등급이 약간양호한 사양질 토양이 가장 높았다.

조사토양의 원추관입 최대 저항값 평균은 발작물 뿌리생장 최소제한 저항값 1.5 Mpa보다는 다소 높은 2.50 Mpa이었다. 토성별로는 대체로 사질 및 사양질 토성이 3.46~3.29 Mpa로 높았고, 그 다음은 미사사양질이 2.20 Mpa이었으며 세립질토양인 식질과 미사식양질은 1.50 및 1.77 Mpa

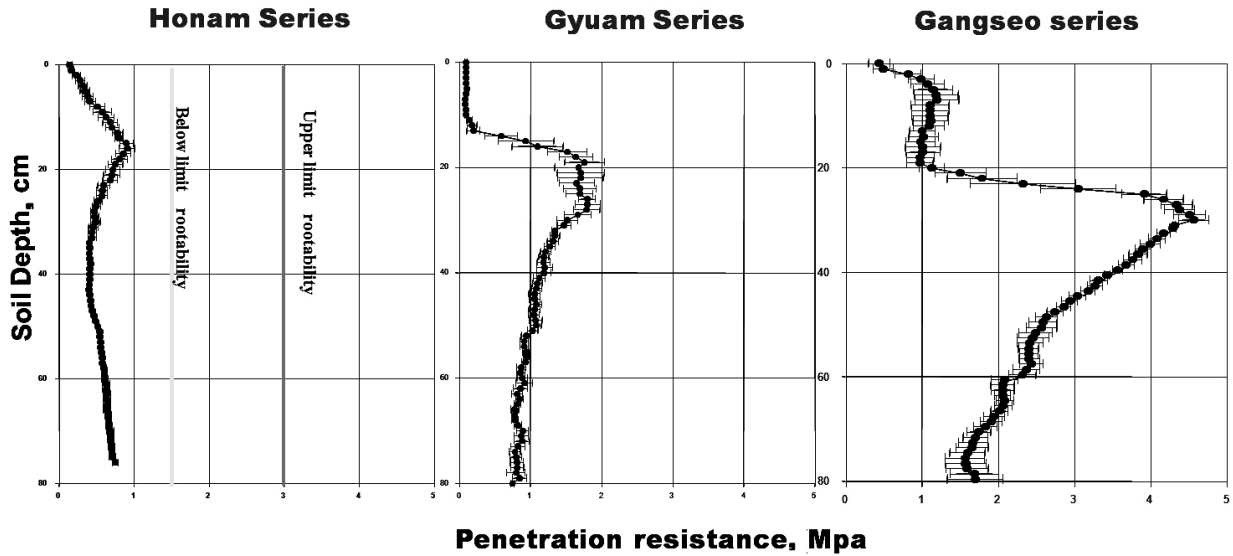


Fig. 4. The typical pattern of penetration resistance measured under the saturated moisture condition of the major paddy soil series in Korea. the Honam, Gyuam and Gangseo series are classified in to fine, mixed, mesic family of Typic Ochraqualfs, coarse silty, mixed mesic family of Aquic Fluventic Eutrochrepts and coarse loamy, mixed nonacid, mesic family of Aquic Fluventic Eutrochrepts, respectively.

Table 3. Soil physical properties of compacted layer by multiple use and constant depth of ploughing in paddy field.

Drainage Classes	Texture Classes	Soil depth ----- cm -----	Bulk density -- g cm ⁻³ --	Three phases			Porosity
				Solid	Liquid	Gaseous	
				----- % -----			
M.W.D.	Coarse silty	18-30	1.33	50.3	43.9	5.8	49.7
	Coarse loamy	25-35	1.48	56.0	38.2	5.8	44.0
S. P. D.	Fine silty	13-23	1.34	50.5	45.3	4.2	49.5
	Clayey	10-20	1.43	53.9	42.2	3.9	46.1
P. D.	Coarse loamy	13-19	1.44	54.5	39.2	6.4	45.6

*M.W.D., Moderately well drained; S.P.D., Somewhat poorly drained; P.D., Poorly drained.

로 낮은 경향이였다. 이와같이 모래함량이 많은 조립질이 높은 것은 모래입자의 높은 마찰력에 기인된 것으로 생각된다. 따라서 조사한 토양들 중 각 토성의 대표 토양통인 사양질의 강서통, 미사사양질인 규암통, 식질인 호남통의 원추관입저항 특성은 Fig. 4와 같다.

남부지방에서 논 다모작 이용도가 높은 사양질 강서통이 가장 뚜렷한 경반특성을 보였고 다음은 규암통이 현저한 특성을 보였으며 조립질 토양은 작토층과 그 하부층의 관입저항차가 뚜렷한 반면, 논 다모작 이용도가 낮은 세립질인 호남통은 그 차가 불명료한 경향을 보였는데 이는 토양입자의 마찰력과 상대적 수분함량 차이에 의한 것으로 생각되며 사양질과 같은 토성이 토양 견밀화에 가장 민감하다는 보고 (James, 1998)와 유사한 결과를 보였다.

경반층 생성토양의 이화학적 특성 경반층 형성된 토층의 토양특성별 물리성은 Table 3과 같다. 경반형성층의 용적중은 1.3~1.5 Mg m⁻³범위로 원추관입저항이 높았

던 사양질이 미사질계 토양보다 높은 경향이였고 배수등급별 차이는 배수약간양호가 배수약간불량보다 다소 낮은 1.3 Mg m⁻³정도이였다. 기상율은 배수등급보다 토성에 더 큰 영향을 받아 세립질인 미사식양질과 식질이 다른 토성에 비해 낮은 4.0%내외로 낮았다.

이와같은 결과는 시설재배지 경운층 이상에서는 용적밀도가 약 1.2 Mg m⁻³, 경운층 이하는 농기계의 반복사용에 의한 용적밀도가 약 1.5 Mg m⁻³라는 보고 (Kim et al., 1997)와 유사하였고 토성별 나무의 뿌리생육 제한 용적밀도 사양토 1.7 Mg m⁻³, 미사질양토 1.45 Mg m⁻³ (Kim, 1998)보다는 다소 낮은 경향이였다.

경반층이 형성된 토양 특성별 투수력은 Table 4와 같이 작토층의 경우 자연배수 등급이 약간양호한 청원통이 다른 토양들에 비해 다소 높은 0.89 mL hr⁻¹인데 비해 배수가 불량한 토양인 호남통과 화수통이 0.14 mL hr⁻¹ 내외로 매우 낮은 경향이였다. 반면, 배수가 양호한 다른 토양은 0.5 mL hr⁻¹ 이상으로 다소 높은 경향을 보였다. 경반

토층의 투수력은 표토에 비해 낮은 0.03~0.14 mL hr⁻¹ 범위로 토양특성별 차이는 배수등급이 상대적으로 불량하면서 사양질인 석천토가 0.03 mL hr⁻¹로 가장 낮은 반면, 다모작이 가능한 평택토와 상대적 배수가 불량한 호남토와 화수토는 그 차이가 미미하였다. 이는 토양수분이 많은 조건에서 대형 농기계를 이용한 빈번한 농작업의 영향으로 추정할 수 있었다.

그리고 대형농기계의 빈번한 농작업에 의해 경반층이 형성된 토양의 토층별 투수력은 Fig. 5와 같다. 작토층의 투수력은 5.0 mL hr⁻¹인 반면, 경반층이 형성된 토심 12~32 cm에서는 0.5~0.15 mL hr⁻¹로 매우 낮았으나 심토인 32~48 cm에서는 오히려 2.1 mL hr⁻¹로 높은 경향을 보여 작토층 하부의 경반층의 형성은 투수속도를 낮추는 요인으로 작용하는 것을 확인할 수 있었다.

장기간 동일 토심으로 경운에 의해 경반층이 전형적으로 생성된 사양질 토양의 원추관입저항 특성과 단면의 형태적 특성은 Fig. 6과 같이 경운을 하는 작토층과 쟁기바

닥층의 저항이 뚜렷한 차이를 보였다.

아울러 토심 20 cm 부위에는 매우얇은 판상구조가 관찰되었고 토양구조 발달이 미미한 30 cm 하부 모재층은 매우 불안정한 저항특성을 보였다. 경반층은 보통 판상 또는 약한구조를 가지며 같은 깊이에 연속적인 경운은 경반

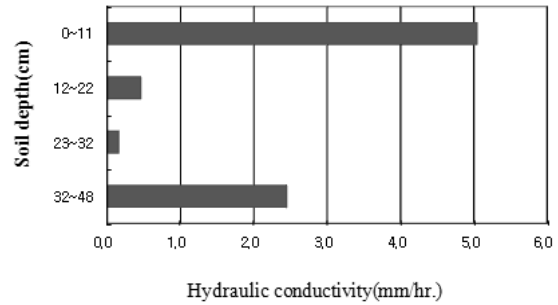


Fig. 5. Hydraulic conductivity of moderately fine-textured soil (silty clay loam) compacted by heavy agi-machine, 0~11 cm ; cultivating layer, 12~32 cm ; compaction layer, 32~48 cm : normal layer.

Table 4. Comparison of hydraulic conductivity among the soil texture and natural drainage classes.

Drainage and textural classes	Hydraulic conductivity			Soil series
	Ap	Bd	Bg	
Pooly D. Sandy	0.1594	0.0998	0.0840	Hwasu
Coarse loamy	0.5416	0.0297	0.0154	Seogcheon
Somewhat P. D.	0.7714	0.0877	0.0224	Pyeongtaeg
Clayey	0.5257	0.1388	0.0670	Honam
Moderately W. D. Fine silty	0.8879	0.1242	0.1322	Cheongweon

*Ap, Plower layer; Bd, Compacted layer; Bg, gleyed layer.

Table 5. Comparison of the chemical properties of soils with compaction layer.

Soil texture	Drainage Classes	Soil depth cm	pH (1:5)	OM g kg ⁻¹	Avail. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Exch. Cation			Appearance depth of mix. penetration resistance cm	
						K	Ca	Mg		
Fine silty	Somewhat poorly D.	0~10	4.9	18.2	72	0.34	6.34	1.42	13.5	
		10~20	5.6	14.2	62	0.26	6.84	1.65		
		20~30	7.3	5.9	3	0.13	7.34	2.22		
	Moderately well D.	0~18	5.9	14.3	36	0.24	6.54	1.37		
		18~30	6.1	14.7	46	0.19	6.64	1.62		22.5
		30 ⁺	6.4	11.5	1	0.11	7.29	1.70		
Somewhat poorly D.	0~25	5.7	22.2	224	0.29	6.54	1.47			
	25~35	6.5	14.9	164	0.21	5.54	1.43	27.5		
	35 ⁺	7.1	8.9	12	0.08	4.26	1.08			
Coarse loamy	Poorly D.	0~19	6.3	11.4	71	0.11	2.91		0.65	
		19~29	6.8	3.5	55	0.05	1.79	0.39		
		29~39	6.9	9.4	15	0.06	3.14	0.69	19.5	
		40 ⁺	5.4	4.6	41	0.11	4.27	1.12		

층 형성의 원인이 된다 (James, 1998)고 하였다.

경반층이 형성된 몇 개의 주요 토양층 층위별 화학성은 Table 5와 같다. 토양 단면에서 최대 원추관입저항값이 출현한 토심 즉, 경반층이 형성된 토층의 하부의 토양화학성은 작토층을 포함한 상부 토층에 비해 급격히 변화하여 배수기간 불량 미사식양질 토양의 경우 유기물, 유효인산 및 치환성칼리 함량이 각각 5.9 g kg^{-1} , 3.0 g kg^{-1} 및 $0.13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 낮아진 반면, pH와 치환성 칼슘 및 마그네슘함량은 오히려 높아지는 경향을 보였다. 이와같은 경향은 세립질 토양이 조립질보다 뚜렷하였는데 이는 토양입자의 협착력에 연관된 것으로 사료되며 토층변화에 따른 양이온 분포의 갑작스런 변화는 토층 20~30 cm 범위에 형성된 경반층에 의한 토양수의 수직이동 방해로 인한 것이라는 보고 (Kim et al., 1979)와 유사하였고 양이온 간의 토심별 분포특성 차이는 보다 면밀한 연구가 요구되어진다.

논토양의 심토 경반층 생성과 토양관리 일반적으로 남부이모작지대에서는 벼 후작물의 파종 및 정식을 위해 수확을 토양수분 함량이 높은 조건에서 실행하므로 심토의 경반화를 가중 시킬 우려가 높다. 따라서 농작업의 빈도와 벼 수확 시 콤바인의 작업조건이 토양 경반화에 미치는 영향을 구명코자 우리나라 논토양 대표 토양통인 평택통에서 콤바인 작업전·후 및 주행 상태에 따른 원추관

입저항을 측정된 결과는 Table 6과 같다. 일회의 콤바인 작업에 의해 최소저항층 깊이는 약 2 cm 정도 깊어지는 경향을 보인 반면, 최소저항층 평균저항값은 0.234 Mpa로 작업전에 비해 높아지는 경향을 보였으나 통계적인 차이는 없었다.

작업 시 콤바인의 주행조건 즉, 부하에 의해 발생하는 스텝구간의 최소저항층 평균저항값은 0.319 Mpa로 정상주행에 비해 높은 경향을 보였다. 경반층의 생성 토심의 평균저항은 작업후가 작업전에 비해 다소 낮아지는 경향을 보였으나 통계적인 차이는 없었고 스텝구간의 최대저항값의 변이가 높아 심토가 교란됨을 암시할 수 있었다. 그리고 농작업의 빈도와 강도는 토양경반화에 영향을 미친다는 보고 (van den Akker, 1994)와도 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

경운이 토양 경반화에 미치는 영향을 구명코자 15년간 벼를 무경운 재배 토양과 매년 경운한 하성평탄지 분포 청원통과 10년간 무 경운 벼 재배 곡간지 분포 금서통에 대하여 원추관입저항을 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 경운한 토양의 경우, 토심 20 cm 부위에 1.76 Mpa의 경반층을 보였으나, 무경운의 경우는 원추관입저항이 1.2 Mpa로 낮아지는 반면, 매년 경운한 토양과 달리 10 cm 부위에 1.0 Mpa 강도의 새로운 토층이 생기는 경향이었고, 곡간지 분포 금서통도 하성평탄지 토양과 비슷한 양상을 보였다. 이는 무경운의 경우 경운에 의한 쟁기바다층은 없어지는 반면 농기계의 주행에 의한 표토 압밀에 기인된 것으로 사료된다.

매년 경운토양과 및 장기 무경운한 토양의 토심별 물리성 차이는 Table 7과 같다. 토심 40~50 cm까지의 용적밀도는 경운토양이 무경운 토양에 비해 다소 높은 경향을 보였는데 토심별 경향은 두 토양 공히 토심별 원추관입저항과 유사하였다. 용적중의 경우 표토에서 40 cm까지는 무경운 토양이 경우에 비해 적은 반면 40 cm 이하는 큰 차이가 없으며, 경운과 무경운의 용적중 차이는 하성평탄지 토양은 10~20 cm에서, 곡간지의 경우는 20~30 cm 부위에서 큰 차이를 보였다.

따라서 남부 다모작지 논토양의 견밀화 (경반화)는 농작업과 관련성이 높으며 작업 시 토양의 수분조건은 경반

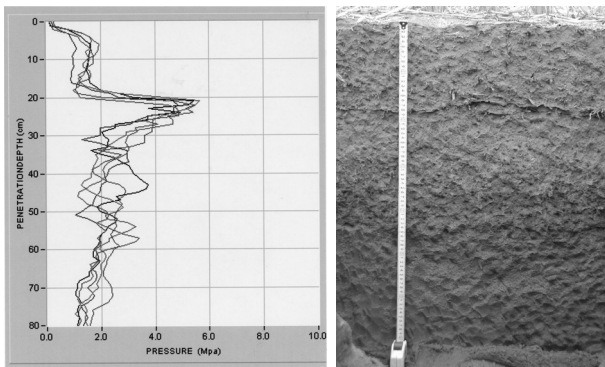


Fig. 6. Morphological characteristics (left) and penetration resistance (right) of the compacted soil by continuity tillage with same soil depth.

Table 6. Penetration resistance difference between working condition of rice harvester (combine) in Korean typical paddy soil series (Pyeongtae).

Content		Min. P.R. layer		Max. P.R. layer	
		Depth	Mean P.R.	Depth	Mean P.R.
		cm	MPa	cm	MPa
Combine (harvest)	Before work	16	0.204 ± 0.030	17~48	1.58 ± 0.111
	After work	18	0.234 ± 0.066	19~42	1.38 ± 0.249
Combine moving	Normal	16	0.249 ± 0.210	17~34	1.53 ± 0.089
	Slipped	11	0.319 ± 0.008	11~34	1.29 ± 0.520

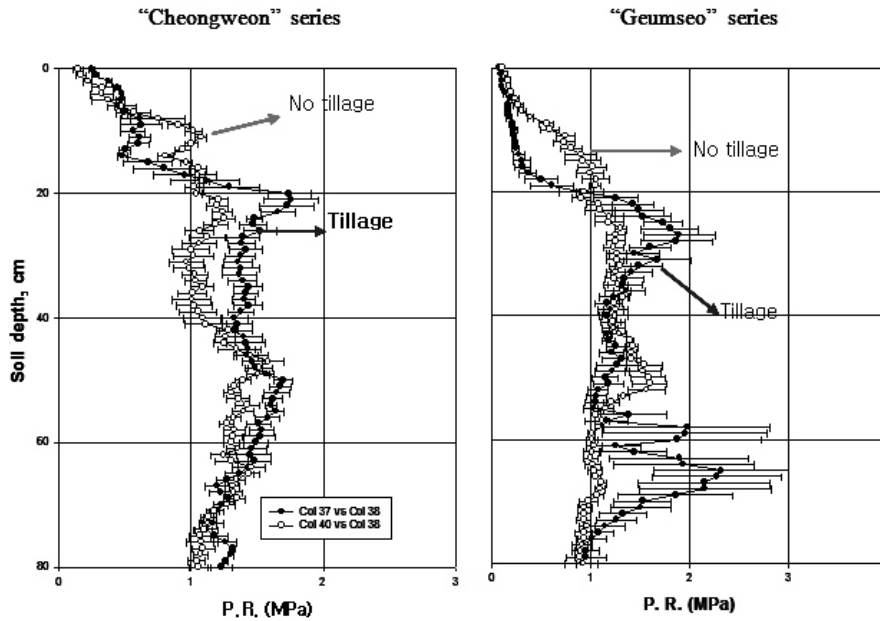


Fig. 7. Differences between the penetration resistance due to tillage and non tillage in paddy soils (left, “Cheongweon” series deposited on alluvial plains with 15 yrs. no-tillage; right, “Geumseo” series deposited on local vally with 10 yrs. no-tillage).

Table 7. Difference of soil physical properties various soil depth between tillage and no-tillage in paddy.

Topograph (Soil series)	Soil depth cm	Bulk density g cm ⁻³		Solid phases %		Porosity %	
		No-tillage	Tillage	No-tillage	Tillage	No-tillage	Tillage
Alluvial plain (Cheongweon series)	0~10	0.75	0.98	28.3	37.1	71.7	62.9
	10~20	1.16	1.22	43.8	46.2	56.2	53.8
	20~30	1.21	1.26	45.7	47.4	54.3	52.6
	30~40	1.23	1.26	50.8	48.6	52.9	51.4
	40~50	1.35	1.29	50.4	51.2	49.2	48.8
	50~60	1.33	1.35	54.6	49.4	49.8	50.6
Local alluvial (Guemsea series)	0~10	0.96	0.84	36.4	32.0	68.0	63.6
	10~20	0.85	1.29	32.1	48.6	51.4	67.9
	20~30	1.04	1.45	39.2	54.6	54.4	60.8
	30~40	1.47	1.63	55.3	61.3	38.7	44.7
	40~50	1.51	1.63	56.8	61.6	38.4	43.2
	50~60	1.56	1.57	58.8	59.1	40.9	41.2

†Period of no-tillage, Alluvial plain 15 years, Local alluvial 10 years.

‡Soil type, Fine silty textured soil with somewhat poorly drainage.

화에 크게 영향하며 경반이 생성한 토양은 투수력이 매우 낮아 양·수분의 수직이동에 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

요 약

우리나라 남부 이모작 논토양의 생산성향상을 위한 합리적인 관리책을 제시코자 영남지역 주요 논 토양별 경반

층 생성특성 및 원인을 현지조사 중심으로 수행한 결과는 다음과 같다.

논 토양의 배수등급 및 토성에 따라 총 90필지의 경운 실태를 조사한 결과, 경운시기는 대부분 춘경이었고 기종은 중대형 트랙터가 대종을 이루고 있었으며 경운방법은 토양 배수조건이 불량할수록 위탁경운을 하는 경향이었다. 경운깊이와 원추관입 최대저항값 출현깊이와는 고도의 상관관을 보였고, 최대저항값 출현 토심은 약 27.1 cm로

조립질 토양에서 다소 깊은 경향으로 원추관입저항값은 2.50 Mpa으로 사질 및 사양질 토성이 3.46~3.29 Mpa로 높았고, 경반층의 강도는 세립질토양에서 뚜렷이 높았다. 경반형성 부위의 용적중은 1.3~1.5 g cm⁻³로 미사질계 토양이 낮았으며 고상율은 사양질이 미사질에 비해 높아 공극율은 낮은 경향을 보였다. 경반층 직하토층의 유기물, 유효인산, 치환성칼리 함량은 표토에 비해 매우 낮은 경향인 반면, pH와 치환성 석회 및 고토의 함량은 높은 경향이였다. 토층별 토양수분 함량과 원추관입저항값과의 관계는 표토는 부의 상관을 보인 반면 심토는 일정한 경향이 없었다. 경운여부에 따른 논토양 원추관입저항은 토심 20~23 cm에서 큰 차이를 보였고 경운답은 2.03~2.21 Mpa인 반면, 무경운답은 1.18~1.25 Mpa로 낮았으며 무경운 년수가 진행될수록 쟁기바다층은 없어지는 반면, 토심 10 cm 부위에 원추관입저항이 높은 토층이 새로 생성되었음.

따라서 남부 다모작지 논토양 견밀화 (경반화) 토층은 토심 15~20 cm 부위에서 주로 형성되었으며 농작업과 관련성이 높으며 작업 시 토양의 수분조건은 경반화에 크게 영향하며 경반이 생성된 토층의 투수력은 0.03~0.14 mL hr⁻¹ 매우 낮아 양수분의 수직이동에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

- Cass, A. 1999. Interpretation of some soil physical indicators for assessing soil physical fertility. In soil analysis an interpretation manual (Eds KI Peverill, LA Sparrow, DJ Reuter) 95~192 (CSIRO Publishing, Melbourne).
- Cho, H.J., L.Y. Kim, B.K. Hyun, S.O. Hur, and I.S. Jo. 2000. A Comparisons of soil physical practies in plastic film house. 2000. National Academy of Agricultural Science (NAAS) research repot. 218~228.
- Gill, W.R. and G.E. Vanden Berg. 1967, Soil dynamics in tillage and traction. Handbook 316. Agr. Res. Service, U.S.D.A. Washington D. C.
- Stiegler, J.H. 1998. Soil compaction and crusts. <http://Osufacts.okstate.edu>
- Jo, I.S., S.J. Cho, and J.N. Im. 1977. A study on penetration of pea seeding taproots as influenced by strength of soil. Korean J. Soil Sci. Fert 10:7~12.
- Kim, D.C. 1998. Tree root growth control series: soil constraints on root growth. University of Georgia cooperative Extension Service Forest Resources publication for 98~10.
- Kim, H.J., S.Y. Choi, G.H. Choi, and J.W. Choi. 2000. Physical improvement of heavy clay soil by chisel tillage. Honam Agriculture Experiment Station (HAES) research repot. 236~242.
- Kim, P.J., D.K. Lee, and D.Y. Chung. 1997. Vertical distribution of bulk density and salt in a plastic film house soil. Korean J. Soil Sci. Fert 30(3):226-233.
- Kim S. H. 2001. Study on agricultural environment indicators of OECD. <http://www.krei.re.kr/infor4>.
- Kristel, B. and B. Cotching. 2004. Siol strength/soil wetness relationships on red ferrosols with visually assessed soil structure differences in north-west Tasmania. 3rd Australian New zealand Soils Conference 5~9.
- Jong, R. 2000. Unsaturated hydraulic conductivity : estimation from desorption curves, In soil sampling and methods of analysis. Canadian society of soil science. 625~631.
- Ministry for Food, Agri., Forestry and Fisheries (MFAFF), Republic of Korea. 2010. Food, Agri., Forestry and Fisheries Statistical Yearbook. p. 43.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 1973. Korean Soil Survey Manual v. 1. (Soil survey), pp257.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology), 1988. Methods of Soil Chemical Analysis.
- Katsuhish, N., T. Osamu, O. Kiyoshi, and K. Koji. 1999. Improvement of physical properties and sugar beet root penetration by tillage pan breaking in the fine textured brown lowland upland soil. Japanese soc. Pedology 43(2): 64~72.
- NRCS Soil Quality Institute. 1999. Soil quality test kit guide. USDA ARS and NRCS. Kit guide can be obtained at <http://soils.usda.gov/sqi>
- Raghavan, G.S., V.E. McKyes, F. Taylor, P. Richard, and A. Watson. 1979. The relationship between machinery traffic and corn yield reductions in successive years. Transaction of the ASAE. 22(4):1256~1259.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. USDA. pp437.
- van den Akker J.J.H., 1994. Prevention of subsoil compaction by tuning the wheel load to the bearing capacity of the subsoil. In : Proceeding of the 13th ISTRO Conference, Aalborg, Denmark. V.1:537-542.