

배수불량 경사지 논 토양의 배수방법에 따른 토양 물리성 변화

정기열* · 윤을수 · 박창영 · 황재복 · 최영대 · 전승호 · 이황아

농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부 잡곡과

Variation of Soil Physical Characteristics by Drainage Improvement in Poorly Drained Sloping Paddy Field

Ki-Yuol Jung*, Eul-Soo Yun, Chang-Young Park, Jae-Bok Hwang, Young-Dae Choi,
Seung-Ho Jeon, and Hwang-A Lee

Coarse Cereal Crop Research Division, NICS, RDA, Milyang, 627-830, Republic of Korea

The lower portion of sloping paddy fields normally contains excessive moisture and the higher water table caused by the inflow of ground water from the upper part of the field resulting in non-uniform water content distribution. Four drainage methods namely Open Ditch, Vinyl Barrier, Pipe Drainage and Tube Bundle for multiple land use were installed within 1-m position from the lower edge of the upper embankment of sloping alluvial paddy fields. This study was conducted to evaluate soil physical characteristics by drainage improvement in poorly drained sloping paddy field. The results showed that subsurface drainage by Pipe Drainage improves the productivity of poorly drained soils by lowering the water table and improving root zone soil layer condition. In an Pipe drainage plot, soil moisture drained faster as compared to the other drainage methods. Infiltration rate showed high tendency to Pipe Drainage method about 20.87 mm hr⁻¹ than in Open Ditch method 0.15 mm hr⁻¹. And Similarly soil water and degree of hardness and shear strength phase of soil profile showed a tendency to decrease. From the above results, we found that when an subsurface drainage was established with at 1m position from the lower edge paddy levee of the upper field in sloping poorly drained paddy fields Pipe Drainage was the most effective drainage system for multiple land use.

Key words: Soil physical characteristics, Subsurface drainage systems, Infiltration rate, Moisture content, Gray horizon

서 언

농지가 협소하고 식량자급률이 낮은 우리나라에서는 논을 다목적으로 이용하는 것이 중요한 과제이며, 논에서 발작물의 안정적인 재배를 위해 농경지 생산기반을 조성하는 것이 무엇보다도 필요하다. 배수불량 농경지에서 암거배수의 주된 목적은 뿌리 둘레에서 과잉수분을 배제시킴으로서 토양의 통기성을 좋게 하여, 토양산소 부족에 의한 토양환원을 막아 수분 스트레스를 최소화하여 작물의 생산성을 높이고 작업 환경을 개선하여 농작업의 효율성을 높이기 위해 이루어지고 있다 (Skaggs et al., 1982). 그러나 우리나라 전체 농경지 중 밭 전환 적합지 면적이 31%인 357 천ha, 밭 전환 가능면적이 43%인 489 천ha인 반면 부적지는 26%인 305 천ha가 분포하고 있다 (Jung et al.,

1996). 그동안 논외 배수개선 연구는 주로 배수 불량지 및 저습답 개량, 간척지 제염의 한 방법 (Kim, 1976; Joo, 1976; Joo, 1978; Kwun et al., 1980; Lee et al., 2001; Han et al., 1970)으로서 연구되어 왔으나, 지하배수개선 기반조성은 지형적 특성이나 비농사 위주의 영농특성이나 인식부족으로 대상면적 170천 ha 중 761 ha 만이 이루어져 아직도 농경지 범용화를 위한 기반조성이 이루어지지 못하고 있는 실정이다 (MIFAPA, 2004). Ji (1981)는 논에서 발작물 재배를 위한 지하배수 목표량을 50 mm day⁻¹, 지표 잔류수 허용일수를 1일 이내, 지하수위저하속도 (강우 후 2~3일의 지하수위)를 40 ~ 50 cm, 투수계수 10 ~ 4 cm sec⁻¹ 이상으로 각각 설정하였으며, 지하 침입수로 인한 지하수위 상승을 억제하고 항시 지하수위를 지표면 아래 0.5 ~ 0.6 m 깊이까지 저하시켜야 한다고 보고하였다. Doh et al. (1994)은 배수불량 논에 암거배수를 설치하여 지하배수를 촉진시킨 후 토양 물리성을 조사한 결과 관행구와 지표배수구에 비해 암거배수구에서 통기성, 내수

접수 : 2012. 9. 21 수리 : 2012. 10. 15

*연락처 : Phone: +82553501263

E-mail: jungky@korea.kr

Table 1. Physical properties of the soil research field before experiment.

Horizon	Depth cm	Bulk density Mg m ⁻³	Three phases			Porosity %	Textural Class
			Solid	Water	Air		
			----- % -----				
Ap1	0-10	1.18	44.5	40.2	15.3	55.5	loam
Ap2	10-20	1.55	58.6	25.9	15.5	41.4	loam
Ag	20-24	1.62	61.2	24.1	14.7	38.8	loam
Bg	24-35	1.60	60.3	22.3	17.4	39.7	Sandy loam
BCg	35+	1.60	60.4	25.0	14.6	39.6	Sandy loam

성 입단, 투수력, 마찰저항, 전단저항이 증가하고 토양수분 함량, 용적밀도, 토양경도 등이 감소하여 밭 토양으로 전환된다고 보고하였다. 시설재배지의 심토에 암거배수관을 설치할 경우 용적밀도, 통기성, 투수성 등의 물리성이 개량되었으며, 표토의 집적된 염류를 지하부위로 용탈시켜 토양의 EC가 낮아지고 작물의 생육과 수량을 증가시키는 효과가 있다고 보고하였다 (Kim et al., 2003; Kim et al., 2006).

따라서 본 연구는 경사지 배수불량 논에서 논둑 바로 밑에 1열로 명거 (겉도랑) 배수, 비닐차단막, 암거 (속도랑) 배수, 관다발 등 4개의 배수시설을 설치 후 배수개선 방법별 토양의 물리성 개선효과를 비교 분석하기 위하여 3년간 현지 시험하였다.

재료 및 방법

시험토양의 특성 배수개선 시험이 수행된 토양은 경남 창원시 북면 외산리 (35° 22 N, 128° 35 E)에 소재한 경사 7 ~ 15%의 곡간 상부에 위치한 토양으로 화강암에서 유래된 산성암 층적층을 모재로 이루어진 토양으로 미 농무성 (USDA)의 새로운 분류방법에 의하면 식양계의 회색토로 지산통 (fine loamy, mixed, mesic family of Fluvaquentic Endoaquept)에 해당된다. 주변이 산으로 둘러싸여 있어 연중 농경지 논둑 아래에서 용출수가 유입되어 산 측은 연중 과습하고 논둑 측은 상대적으로 수분이 낮아 필지 내 수분 상태가 불균일한 농경지 이었다. 표토 (Ap층)는 암회갈색 (2.5Y 4/2)의 양토이고 심토1 (Bg층)에는 회색 (5Y 5/1)의 식양토이며 심토2 (BCg층)은 회색 (5Y 5/1)의 사양토로 이루어진 토양이다 (Table 1).

배수개선 방법 시험구 배치는 배수가 “매우불량”인 논 2개 필지, 배수등급이 “약간불량”인 논 2개 필지로 선정하였다 (Fig. 1). 배수개선 방법은 명거배수 (Open Ditch), 비닐차단막 (Vinyl Barrier), 암거배수 (Pipe Drainage), 그리고 관다발 (Tube Dundle) 등 총 4개로 선정하여 배수시설 장변

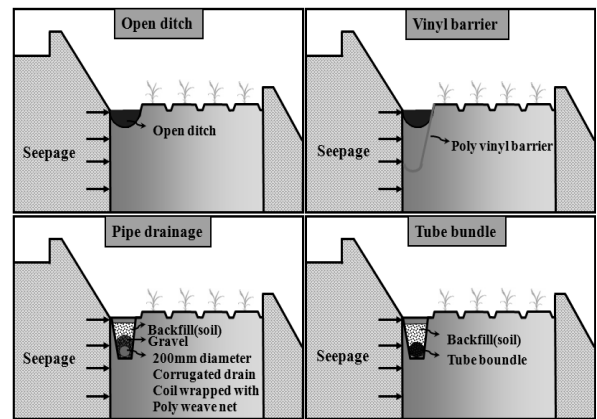


Fig. 1. Diagram of various drainage systems.

방향으로 논둑 바로 밑에 1열로 각각 설치하였다. 명거배수 (겉도랑 배수)는 폭 30 cm에 깊이 30 cm의 지표 배수로를 설치하였고, 비닐차단막은 논둑 기저부에 60 ~ 90 cm 깊이로 터파기를 한 다음 용출수 유입을 차단하기 위해 논 면의 기벽에 Ø0.3 mm 두께의 비닐을 매설 후 흙으로 되 매움 하여 설치하였다. 관다발 배수는 대나무로 30 cm직경의 다발로 묶어 60 cm ~ 90 cm 깊이에 매설한 후 흙으로 되 매움 하였으며 암거배수 (속도랑 배수)는 폭 50 cm에 깊이는 상류부 60 cm, 하류부 90 cm로 굴삭하고 20 cm 직경의 유공흡수관을 매설하고 흡수거는 상류로부터 침출수를 최대한 흡수하기 위해 소수재 (자갈층)를 논 면의 15 ~ 20 cm 깊이까지 충전하였다.

토양수분 측정 배수방법별 토양 깊이별 토양수분의 실시간 변동을 측정하기 위해 논둑 밑 배수개선 지점에서 3 m, 10 m, 15 m 거리에 각각 Electrical Capacitance 방식의 층위별 센스 (Easy AG50-5Wire, Sentek Pty Ltd)를 설치하여 토양 면에서 토양의 깊이에 따라 10 cm 단위로 0 ~ 50 cm 까지 1시간 간격으로 파종기부터 수확기까지 콩 생육기간 동안 토양수분을 측정하였다. 또한 표토의 수분 측정은 포장 내에서 3 m × 3 m 크기로 격자로 나눈 후 고주파 측정방식의 TDR (Time Domain Reflectometer) 장비에 GPS를 장착하여 표토층 (깊이 20 cm)의 수분 함량을 약

1,265 지점에서 측정하였다.

토양 물리성 분석 토양 물리성은 직경 5×30 cm 실린더 코어 (Cylinder Core)를 이용하여 공 수확 후 배수방법별로 3반복 채취하여 5 cm 길이로 절단하여 토양을 105°C 에서 24시간 건조시켜 흡착된 수분을 제거한 후 건조토양의 무게를 대상으로 고체가 차지하는 부피를 고상 (%), 물이 차지하는 부피를 액상 (%), 100%에서 액상과 고상을 제한 값을 기상 (%)으로 하여 계산하였으며, 토양 및 식물체분석법 (NIAS, 2000)에 준하여 토양삼상, 공극률, 용적중 등을 분석하였다. 또한 토성분석은 미농무성의 피펫분석법 (USDA, 1996)을 기준으로 분석하였으며, 토양경도는 야마나게 토양경도계를 이용하여 토양의 층위별로 배수개선 전 후 각각 측정하였다. 토양의 투수력은 내경 30 cm, 외경 55 cm, 높이 25 cm인 금속원판으로 된 Double ring method (Black, 1965)로 측정하였고, 단위면적, 단위 시간에 토양에 침투하는 물의 량을 측정하여 Darcy's 법칙 (1856)에 따라 계산하였다. 토양단면의 특성은 미농무성 Soil Survey Manual (1993)을 기준으로 토양 층위분화, 층위두께, 토양 구조 등을 조사하였으며, 환원층 출현깊이는 배수방법별로 포장의 배수개선 지점에서 논둑 밑 (3 m), 논 중앙 (10 m), 논두렁 (15 m) 등 3지점에서 조사하였다. 또한 토양단면의 토색변화는 Munsell 토색첩 (Soil Color Chart)으로 토양 깊이별 토색의 변화를 조사하였다.

결과 및 고찰

토양 물리성 변화 배수개선에 의한 토양환경개선 효과

과를 평가하는 방법으로는 토양구조, 토양층위 분화, 층위의 두께, 토색, 반문, 결핵, 회색층위 (Gray)의 유무, 투수성 등이 있으며, 배수가 불량한 논에 배수개선이 이루어지면 토양의 통기성 및 토양온도가 높아져 뿌리 둘레의 생육 환경이 개선되어 양분의 유효도가 증가하여 작물의 생산성이 증가된다고 알려져 있다 (Zucker and Brown, 1998). 토양 기상의 공극율은 약 5~20%이며, 최소 공극률은 10%이라고 보고하였으며 (Wesseling et al., 1957), Patwardhan et al. (1988)은 토성과 작물의 종류, 생육조건 등에 따라 공극률은 약 5 ~ 20% 범위이라고 하였다. 또한 토양 과습에 따른 급격한 토양산소의 감소는 뿌리 생육을 저해하는 주요한 요인이 된다고 하였으며 (Cannell & Jackson, 1981; Box, 1991).

배수불량 경사지 논에서 배수시설 설치 후 배수방법별 경작층의 물리성을 비교해 보면 Table 2에서와 같이 명거배수, 비닐차단막, 관다발 처리구에 비해 암거배수 처리구에서 층위별 수분함량이 훨씬 낮아 통기성이 증가하는 것으로 나타났으며, 또한 용적밀도는 처리 간에 큰 차이가 없었으나 집적층 (B층)의 투수력은 암거배수구에서 2.67 cm hr^{-1} 로 가장 높았고 다음으로 관다발배수 1.53 cm hr^{-1} 이었고, 명거배수, 비닐차단막은 0.8 cm hr^{-1} 내외로 낮았다. 특히 암거배수 처리구에서 토양의 투수성 및 통기성이 개선되어 토양의 경작층이 두꺼워지고 점차 층위분화가 진행됨을 확인할 수 있었다.

배수방법 별 토양 층위별 공극률을 비교해 보면 Fig. 2에서와 같이 액상은 명거배수, 비닐차단막, 암거배수 순으로 낮은 경향을 보였으며, 특히 암거배수구 처리구에서는 층위별 수분함량이 크게 감소되었고 변이가 낮아 균일도가 증가 되는 경향을 보였다. 반면 명거배수, 비닐차단막 처리구의

Table 2. Comparison of the physical properties by drainage methods.

Drainage methods	Horizon	Soil depth	Bulk density	SWC [†]	Hardness	Shear Strength	Infiltration & Percolation
		cm	Mg m ⁻³	%, v/v	mm	kPa	cm hr ⁻¹
Open ditch	Ap	0~17	1.28	35.5	10.0	36.0	0.85
	Bg	17~30	1.62	22.0	22.5	130 <	0.76
	BCg	30~42	1.60	23.9	23.6	123.3	0.04
Vinyl barrier	Ap	0~18	1.36	32.7	11.7	38.0	0.93
	Bg	18~31	1.47	29.1	22.5	58.3	0.83
	BCg	31~39	1.58	21.5	22.3	132.0	0.21
Pipe Drainage	Ap	0~19	1.24	20.5	10.8	31.3	1.08
	B	19~30	1.53	20.2	21.1	53.0	2.67
	BC	30~43	1.73	20.1	23.0	127.3	1.20
Tube bundle	Ap	0~12	1.35	28.1	15.3	42.0	0.51
	B	12~21	1.64	22.8	21.7	56.0	1.53
	BCg	21~29	1.61	23.4	23.5	117.0	0.20

[†]SWC : soil water content

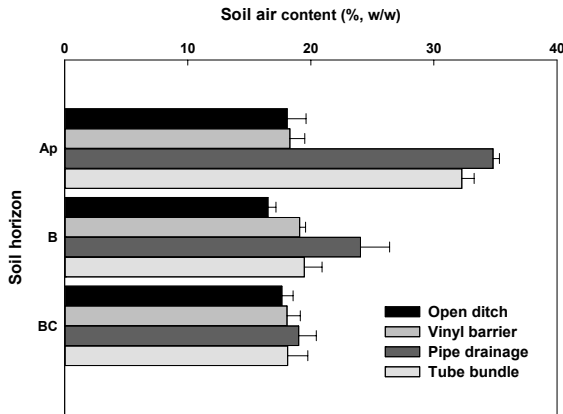


Fig. 2. Changes of soil water and air content of soil profile by drainage methods after drainage treatment.

경작층 (Ap)에 수분함량이 35% 내외로 높은 경향을 보였다. 또한 기상은 액상과 정반대로 양상을 보였는데 암거배수구의 표토의 기상은 32 ~ 35% 내외로 명거배수, 비닐차단막, 관다발 처리구 17 ~ 20% 보다 상대적으로 월등히 높아 공극률이 증가하는 것으로 나타났다.

시험포장의 논둑 밑, 논 중앙 및 논두렁 쪽 3지점에서 투수량을 측정한 결과 Fig. 3에서와 같았다. 논둑 밑 배수지점에서 가장 가까운 3 m 지점의 투수력은 0.15 mm hr⁻¹에서 20 mm hr⁻¹로 넓은 범위를 보였는데, 배수개선 방법별 투수량은 암거배수 20 mm hr⁻¹, 관다발배수 14.49 mm hr⁻¹, 비닐차단막 5.51 mm hr⁻¹이었으며, 명거배수구에서는 0.15 mm hr⁻¹이하 이었다. 그리고 암거배수가 명거배수 등 다른 처리구에 비해 투수성이 높아 지하수위 저감 효과가 높은 것으로 나타났다. 또한, 암거배수 처리구에서는 포장 위치별로 투수성이 균일한 반면 명거배수, 비닐차단막, 관다발의 경우는 측정 위치에 따라 불균일한 경향을 보였다. MIFAFA (2004)에 따르면 논토양의 투수성은 보통 10 ~ 20 mm day⁻¹이라고 알려져 있는데, 암거배수 처리구에서는 투수량이 20.86 mm hr⁻¹로 크게 개선된 결과를 확인할 수 있었다.

토양단면 특성 변화 토양의 토색은 색상, 명도, 채도

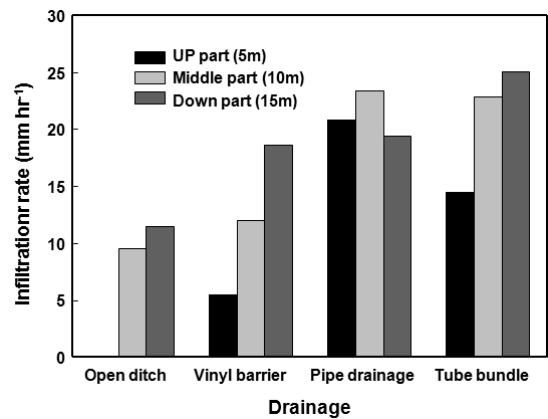


Fig. 3. Comparison of infiltration rate by drainage position of the field after drainage treatment.

로 표시되는데 토양내 공기의 함량이 충분하면 동일한 색상에서 명도나 채도가 증가하게 되고, 토양 속의 철, 망간, 유기질에 관련된 산화 환원작용에 의해 좌우된다. 토색 및 반문은 이들 토양물질과 직접적으로 관련되며 물과 공기의 함유비율에 따라 토양의 배수등급이 결정된다. Evans and Franzmeier (1986)에 의하면 토색은 토양의 포화되어 산소 부족하게 되고 환원상태로 되어 혐기적 미생물의 활동에 의해 회색화 된다고 하였다. 또한 혐기적인 조건하에서는 미생물의 환원작용에 의하여 ferric iron (Fe³⁺)이 ferrous iron (Fe²⁺)으로 환원되어 회색화되고 이러한 작용은 토양입자를 감싸고 있는 ferric iron (Fe³⁺)이 혐기적 조건에서 토양용액에 용해되거나 제거되어 회색화 된다고 하였다. 회색층 (Gray층) 및 결핵 (FeCo³)은 토양배수가 매우 불량한 조건 높은 지하수위에서 생성되므로 토양의 회색화 된 층위의 높이와 반문의 정도를 기준으로 지표배수 및 암거배수 결정이 가능하다.

토양의 환경변화에 따른 형태적 변화는 대기와 접해있는 표층에서부터 시작되며 특히 산소의 공급에 의해 토색의 변화가 일어난다. 배수개선에 따른 토양층위별 토색의 변화는 Table 3과 같다. 0 ~ 17 cm 까지의 Ap층은 모든 처리구가 암갈색을 보이는 반면 17 cm 이하 심층에서는 차이가 뚜렷

Table 3. Comparison of soil matrix color by drainage methods.

Soil depth (cm)	Subsurface drainage methods			
	Open ditch	Vinyl barrier	Pipe drainage	Tube bundle
0-17	grayish brown 7.5YR 4/2	grayish brown 7.5YR 4/2	grayish brown 7.5YR 4/2	grayish brown 7.5YR 4/2
18-30	gray 5Y 4/1	grayish brown 7.5YR 4/2	grayish olive 5Y 4/2	grayish brown 7.5YR 4/2
31-43	grayish red 2.5YR 4/2	grayish yellow brown 10YR 4/2	grayish olive 5Y 4/2	grayish red 2.5YR 4/2
43+	dark greenish gray 2G4/1	brownish black 10YR 3/2	olive black 5Y 3/1	grayish olive 5Y 4/2

하여 투수성이 가장 낮은 명거배수구는 상부에서의 수분공급 증가와 높은 지하수위에 의해 비롯된 투수성 불량의 원인으로 환원작용이 일어나 회색을 보였다. 또한 투수력이 중간정도 이었던 관다발배수구에서는 회갈색을 보인 반면 투수성이 가장 좋았던 암거배수구에서는 토색이 명갈색을 보였다. 이러한 결과는 암거배수에 의해 회색층이 산화작용에 의해 점차 소실되는 것으로 판단되었다.

배수개선 지점에서 거리별 환원층의 출현깊이를 비교해 보면 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 암거배수구는 명거배수구에 비해 환원층 출현깊이가 깊어지는 경향을 보였으며 배수지점에서 이랑거리별 환원층 출현깊이도 명거배수에 비해 균일한 경향을 보였다.

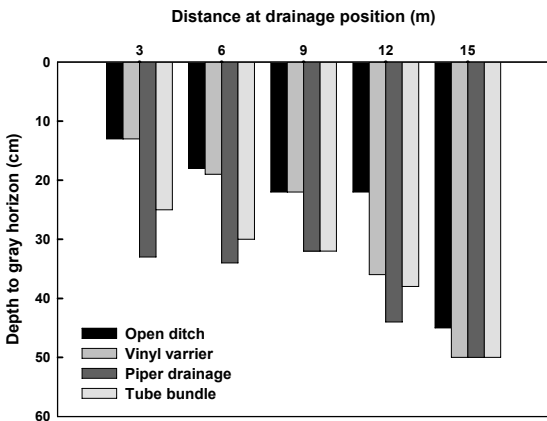


Fig. 4. Comparison of depth to gray horizon by distance at drainage position after drainage treatment.

따라서 배수불량 논에 배수개선 기반시설 조성하게 되면 작토층의 투수성, 토양경도, 통기성, 함수량, 공극률 등 토양의 물리적 특성이 개량되어 논에서 발작물의 재배 시 생육과 수량에 크게 기여할 것으로 판단된다.

배수방법별 토양수분 변화 배수가 불량한 농경지에서는 토양수분이 과다하게 되면 토양공극에 수분이 포화되어 작물에 산소공급이 부족하게 되고 토양환원에 의한 유해물질의 발생 등으로 미생물의 활동이 제한되어 작물에 스트레스를 주게 된다고 알려져 있다 (Wesseling, 1974). Hill (1976) 와 Gardner et al., (1994)에 의하면 토양에 암거배수를 설치하여 과잉수분을 배제하면 토양의 통기성, 미생물의 활력, 토양 공극률, 토양구조가 개선되어 작물수량이 증가한다고 하였으며, Plamenac (1988) 와 Liefers and Rothwell et al., (1987)은 암거배수에 의해 토양온도가 상승하고 작물의 뿌리생육이 좋아진다고 하였다.

강우 후 토양이 포화된 후 배수지점에서 3 m 지점에서의 강우 후 경과일수에 따른 토양깊이별 배수방법에 따른 토양수분의 변화를 비교해 보면 Fig. 5에서와 같이 암거배수 처리구에서는 토양 면에서 50 cm 깊이까지 토양수분 변화가 발생하는 반면 명거배수 처리구에서는 토양 면에서 20 cm, 비닐차단막 30 cm, 관다발 30 cm 깊이 까지 수분이 저감되는 변화를 보여, 암거배수처리구가 명거배수, 비닐차단막, 관다발 처리구에 비해 배수개선 효과가 높은 것으로 나타났다. 특히 명거배수 처리구의 표토에서는 약 강우 후에 7일이 경과하여야 토양수분이 30 mm이하로 감소되었으나 토

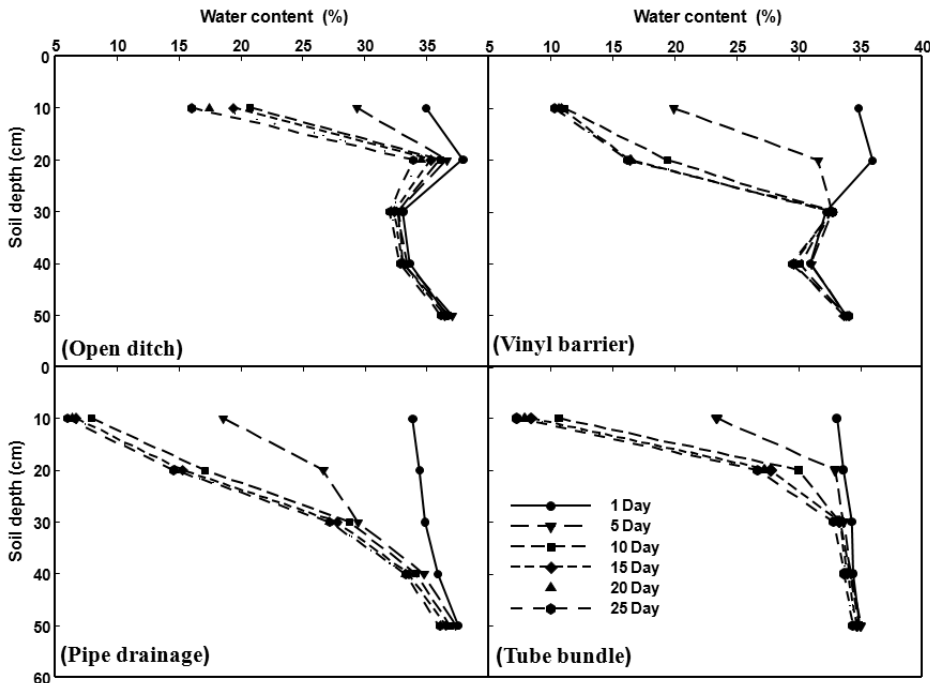


Fig. 5. The variations of water content at different depth in drained plot after rainfall.

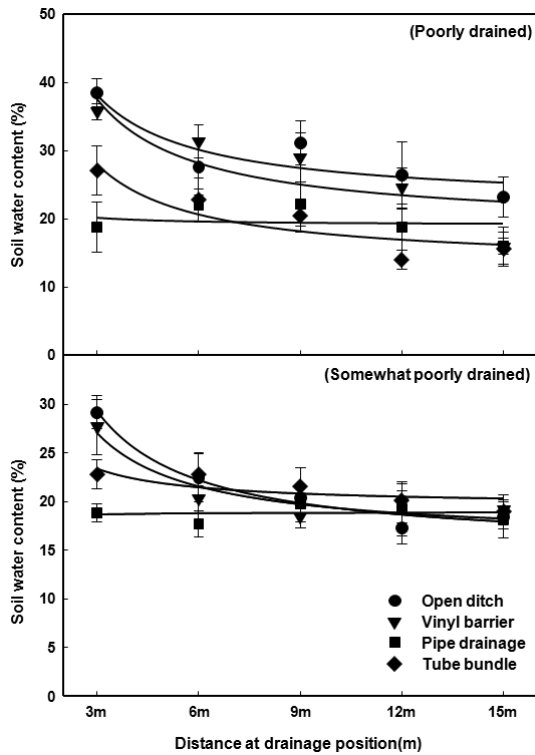


Fig. 6. Comparison of surface soil water content by distance at drainage position of the field.

양 깊이 20 cm 이하에서는 항상 수분이 과잉된 상태로 지속되는 경향을 보였다. 암거배수, 비닐차단막, 관다발 등의 처리구의 표토에서는 5 일이 경과한 후 토양수분인 함량이 30 mm이하로 감소되었으며, 비닐차단막과 관다발 처리구의 토양 20 cm 깊이에서는 토양이 포화된 후 5 일이 경과한 후에 토양수분함량이 30 mm이하로 감소되었다. 암거배수 처리구에서는 토양이 포화된 후 5 일이 경과 후에 토양 30 cm 깊이까지 수분함량이 30 mm이하로 감소되어 배수개선 효과가 가장 높았다. 콩 등 밭작물의 뿌리는 토심 20 cm 깊이에 주로 분포하고 있음을 고려할 때 암거배수에 의해 토양 40 cm ~ 50 cm 깊이까지의 과잉수분을 배제할 수 있는 것으로 나타나 작물의 뿌리생육의 근권부의 활력을 증진시키는 효과를 가져 올 수 있었다. 이러한 결과는 June et al., (1994)이 배수가 약간 불량한 논에 답전유환을 위해 두더지 암거를 시공하여 콩을 재배한 결과 강우 후 1일 경과 후에 배수율은 최대 75%까지 유출된다는 보고와 유사한 결과를 보였다.

배수지점에서 거리별로 토양 표토의 수분 변화를 분석한 결과는 Fig. 6과 같았다. 배수등급에 따른 배수방법별 표토의 수분함량은 명거배수, 비닐차단막, 관다발, 암거배수 순으로 낮은 경향을 보였으며, 명거배수 및 비닐차단막 처리구에서는 논둑 밑에서 논중앙 (10m)까지 토양수분이 과습된 상태인 반면, 오히려 암거배수 처리구에서는 논둑 밑에 1열 암거배수 시공으로 논둑 밑의 수분함량이 논중앙 지점

에 비해 낮은 경향을 보였다. 또한 암거배수 처리구에서는 명거배수 및 비닐차단막, 관다발 처리구에 비해 논둑 밑에서 이랑거리별 수분함량이 균일한 경향을 보였다.

요 약

경사지 배수불량 논에서 밭작물의 안정적인 재배를 위한 배수개선 방법을 개발하기 위하여 논둑아래 기저부에 1열로 명거 (길도랑 배수), 비닐차단막, 암거 (속도랑 배수), 관다발 등 네 가지 종류의 배수시설을 설치하여 배수개선 방법에 따른 토양의 물리적 특성변화를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

배수방법별 토양의 용적밀도는 배수방법 간에 큰 차이가 없었으나 집적층 (B층)의 투수력은 암거배수구가 2.67 cm hr⁻¹로 가장 높았고 다음은 관다발배수 1.53 cm hr⁻¹이었으며, 명거배수, 비닐차단막은 0.8 cm hr⁻¹ 내외로 낮은 경향을 보였다. 경작층 (Ap)의 액상은 명거배수, 비닐차단막 처리구가 35% 내외로 높은 경향을 보였으나 암거배수구에서는 수분함량이 크게 감소되었다. 또한 암거배수구의 기상은 32 ~ 35% 내외로 명거배수, 비닐차단막, 관다발 처리구 17 ~ 20% 보다 상대적으로 높아 공극률이 증가하는 것으로 나타났다.

명거배수 처리구의 토색은 수분과다와 높은 지하수위로 환원작용이 일어나 회색을 보인 반면 암거배수구에서는 투수성 및 통기성이 증가하여 회색층의 토색이 명갈색을 변화되었고 환원층의 출현 깊이가 깊어지고 점차 층위분화가 진행됨을 확인할 수 있었다.

강우 후 토양 깊이별 수분함량 변화를 분석한 결과 명거배수 처리구의 표토에서는 7일이 경과하여야 토양수분이 30 mm이하로 감소되었으나 20 cm 이하의 깊이에서는 항상 수분이 과잉된 상태로 지속되는 경향을 보였다. 반면 암거배수 처리구에서는 강우 후 5 일이 경과 후에 토양 30 cm 깊이까지 수분함량이 30 mm이하로 감소되어 배수개선 효과가 가장 높았다.

따라서 “배수불량”인 경사지 논에서 논둑 밑 1열의 암거배수 시설 설치가 명거배수, 비닐차단막, 관다발 배수방법에 비해 토양의 물리적 개선효과가 높아 밭작물의 안정적인 생산과 농지자원의 이용전환 즉 논을 밭으로 이용해야 하는 범용농지 기반 조성을 위한 저비용의 실용적인 배수개선 방법으로 이용성이 높은 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

Black, C.A. 1965. Methods of soil analysis, Part I. Am. Soc. Agron, Medison, USA.
 Box, J.E.Jr. 1991. The effect of waterlogging on rooting

- intermittent flooding on germination and seeding growth of cotton. *Trans. ASAE*. 14:567-570.
- Cannell, R.Q. and M.B. Jackson. 1981. Alleviating aeration stress. p. 141-192. In G.f. Arkin and H.M. Talors (ed) *Modifying the root environment to reduce crop stress*. ASAE. St.Joseph. MI.
- Darcy, H. 1856. *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, Dalmont, Paris.
- Doh, D.H., S.J. Kim, S.K. Jin, and R.C. Jo. 1994. A study on variation of the soil physical characteristics of multiutilized paddy field by the introduction of subsurface drainage facility. *Journal of Life Science* 1:87-96.
- Evans, C.V. and D.P. Franzmeier. 1986. Saturation aeration and color patterns in atoposequence of soil in north-central Indiana. *Soil Sci. soc. Am. J.* 50:975-980.
- Gardner, W.K., M.F. Drendel, and G.K. McDonald. 1994. Effects of subsurface drainage, cultivation and stubble retention on soil porosity and crop growth in a high rainfall area. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34:411-418.
- Han, W.D., D.H. Jung, and H.C. Kim. 1970. Study on mole drainage. p. 13-19. In *Research report of agro-environment research*. Institute of Agricultural Engineering & Utilization, Suwon, Korea.
- Hiler, E.A. 1976. Drainage requirements of crops *Proc. ASEA, Third national Drainage Symposium*. ASAE, p:127-129.
- Ji, G.H. 1981. Study on Subsurface drainage system for the multipurpose paddy field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 23(4):15-20.
- Joo, J.H. 1976. A study of underground drainage in low and wet paddy field. *Jinju A. & F. Jr. coll.* 14:199-204.
- Joo, J.H. 1978. A study of underground drainage in low and wet paddy field(VI). *Jinju A. & F. Jr. coll.* 16:183-188.
- Jun, J.H., C.H. Yang, K.B. Lee, and J.K. Nam. 1994. Effect of mole drainage on soybean growth in paddy field (Jeonbug series, Aeric Halaquepts). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27(4):296-302.
- Jung, S.J., C.S. Park, G.S. Hyen, S.K. Rim, G.H. Cho, and Y.T. Jung. 1996. Land suitability classification and it's distribution for paddy-upland rotations in Korea. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(1): 357-363.
- Kim, C.U. 1976. Studies on improvement of low and wet paddy field underdrainage(I) -Change of decreasing water depth and ground water level. *Research Review Kyungpook National Univ.* 22: 331-338.
- Kim, C.U. 1976. Studies on improvement of low and wet paddy field underdrainage(II) -Change of moisture content and bearing capacity of soil. *Research Review Kyungpook National Univ.* 24:423-436.
- Kim, L.Y., H.Y. Cho, and K.H. Han. 2003. Effects of tile drain on physicochemical properties and crop productivity of soils under newly constructed plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(3):154-162
- Kim, D.S., J.E. Yang, Y.S. Ok, and K.Y. You. 2006. Effect of perforated PVC underdrainage pipe on desalting of plastic film house soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(2):65-72.
- Kwon, S.K., D.O. Jung, and W.D. Han. 1980. Influence of subsurface drain spacing desalinization and drainage tidal reclamation lands. *RDA. J. Agri. Sci.* 22:1-9.
- Lee, S.H., Y. An, S.H. Yoo, and Y.S. Jung. 2001. Desalinization effect of subsurface drainage system with rice hull packing. *J. Korean Soc. Agri. Eng.* 43(5): 63-69.
- Liefers, V.J. and R.L. Rothwell. 1987. Effects of drainage on substrate temperature and physiology of some trees and shrubs in an Alberta Peatland. *Can. J. Forest Res.* 17:97-104.
- MIFAFA. 2004. *Agricultural drainage criteria*. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea.
- NIAST. 2000. *Methods of soil chemical analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Plamenac, N. 1988. Effects of subsurface drainage on heavy hydromorphic soil in the Nelindvor area, Yugoslavia. *Agricultural Water Management.* 14:19-27.
- Skaggs, R.W., S. Hardjoamidjojo, E.H. Wisner, and E.A. Hiler. 1982. Simulation of crop response and subsurface drainage systems. *Trans. ASAE* 25(6):1673-1678.
- USDA. 1993. *Soil survey manual*.
- USDA. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. soil survey investigations report No. 42 version 3.0.
- Wesseling, J. and W.R. van Wijk. 1957. Soil physical conditions in relation to drain depth. In: Luthin, J.N. (Ed.), *Drainage of Agricultural Lands*. Madison, WI, p:461-504.
- Wesseling, J. 1974. Crop growth and wet soils. In J. van Schitfgaard(Ed) *Drainage for Agriculture*. Agron. Monogr. 17.ASA. Madison. WI. p:39-90.
- Zucker, L.A. and Brown(Eds), L.C. 1998. *Agricultural drainage: Water quality impacts and subsurface drainage studies in the Midwest*, The Ohio State University Extension Bulletin 871. The Ohio State University, Columbus, Ohio.