

VI



제VI장 경반층의 생성원인 • 문제점 • 특성

1. 경반의 생성학적 형성
2. 경반의 인위적 생성
3. 구간척지 농토양의 경반형성 분포면적
4. 경반형성 농토양의 문제점
5. 평야지 농토양의 경반층 특성

제VI장 경반층의 생성원인·문제점·특성

논토양에 경반층이 생성되는 원인은 생성학적인 것과 인위적인 것으로 구분할 수 있다.

1. 경반의 생성학적 형성

생성학적으로는 간척지나 퇴화염토지 논토양에서 토성이 미사질양토 내지 미사질식양토이면서 배수가 약간불량 내지 불량한 토양으로 미사함량이 70~80%인 대부분의 구간 척지 논토양은 벼 재배시 환원이 진행됨에 따라 Fe^{3+} , Mg^{3+} 이 Fe^{2+} , Mg^{2+} 로 되어 하층으로 이동되는데 처음 Mg^{2+} 이 이동하고 다음에 Fe^{2+} 이 이동하며, 이 때 미사 및 점토도 같이 이동하여 하층에 집적되어 경반층이 형성된다.

또한 간척지토양에서 토양생성 당시부터 작토면의 경도가 25mm이상으로 이양작업이 불가능한 백수통, 사두통, 문포통, 염포통 등은 계화도 간척지토양과 같이 산적토로 성토하거나 미사질양토, 양토의 객토원으로 객토를 실시하여 작토층을 인위적으로 만들어 주어야 벼 등의 작물을 재배할 수 있다.

2. 경반의 인위적 생성

한편 인위적으로 생기는 일반 논토양의 경반층은 벼짚이나 보릿짚 등 유기물을 사용하지 않은 경우와 매년 10cm 정도로 천경을 하는 경우, 그리고 과습조건에서 중농기계 즉 대형트랙터로 로타리와 경운작업을 하는 경우 바퀴의 압축 등의 원인에 의하여 경반층이 형성되고 있다.

그러나 근년에는 토양생성학적으로 생긴 퇴화염토지의 논토양은 인위적인 경반형성 조건들로 인해 더욱 경반형성이 가중되고 있는 것이 문제가 되고 있다.

3. 구간척지 논토양의 경반형성 분포면적

하해혼성충적층의 경반형성 논토양 면적은 222.91천ha이고, 이 중 토양생성 당시에 작토층부터 전 토층에 걸쳐 경반층이 형성된 논면적은 약 13.5천ha이며, 토양생성 후에 제염과 더불어 작토층 하부에 경반층을 형성해가는 논토양 면적은 약 209.4천ha 이다. 특히 호남지방의 경반층 논은 전북지역이 44.4%(60.8천ha)로 가장 많고 전남과 충남 순으로 분포하고 있다(표 6-1).

표 6-1. 하해혼성충적층의 경반형성 논토양 추정면적 (단위 : 천ha)

구 분	충 남	전 북	전 남	계	전 국	전국대비
토양생성시 경반	1.71	2.14	2.37	6.22	13.52	46.0
토양생성후 경반	34.49	58.70	37.61	130.80	209.39	62.5
계	36.20	60.84	39.98	137.02	222.91	61.5
분포비율(%)	26.4	44.4	29.2	100	-	-

* 농업기술연구소. 1992. 한국토양총설, 토양조사자료 13

4. 경반형성 논토양의 문제점

경반층 형성논의 문제점은 벼 뿌리가 뻗을 수 있는 범위가 좁기 때문에 양분흡수에 지장을 줄 뿐만 아니라 토양경도와 용적밀도의 증가로 벼 뿌리신장이 억제되며, 경반층 내의 지온이 낮아 유·무기태질소, 인산, 철, 망간 등 양분의 가급도가 저하되어 양분흡수의 불균형과, 작토심이 점점 얇아져 양분의 보유능이 적어진다는 데 있다. 비료 시용시 전층시비를 한다고 하여도 표층시비를 하는 결과가 되므로 양분의 유실 [질산화작용 : NH_4^+ (암모니아) $\rightarrow$ NO_2^- (아질산) $\rightarrow$ NO_3^- (질산)(산화 · 하층유실), 탈질작용 : $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}$ (산화질소) $\rightarrow$ N_2O (아산화질소) $\rightarrow$ N_2 ↑(환원, 휘산)] 이 일어나 생육이 저하하고 따라서 고품질 쌀의 생산이 어려울 뿐만 아니라, 시비효율이 낮아지는 등 비료의 손실과 환경오염이 가중되는 결과가 된다. 또한 작토층이 얇아져 한발시 수분공급이

불안정하고, 수직배수가 거의 불가능하여 습답화가 되면서 유해물질이 집적된다.

경반층의 개량방법은 벼 수확시 콤바인에 의해 벼짚이나 보릿짚을 절단하여 시용하고 주기적(3~4년)으로 심경이나 심토파쇄를 하는 방법이 가장 바람직하다.

5. 평야지 논토양의 경반층 특성

가. 형태적 특성

하해혼성충적층 논토양 중 대표토양인 전북통과 우리나라에서 쌀 수량성이 양호한 일반논 중 지산통의 작토심은 거의 동일한 0~12.6cm 내외이며, 경반층의 두께는 전북통이 22.3cm, 지산통이 17.8cm로 지산통에서 약간 얇다. 경반층의 위치는 전북통은 토심 15cm 부터 시작되나 지산통은 20cm로 전북통보다 깊은 곳에 있다(표 6-2). 이와 같이 퇴화염

표 6-2. 작토심과 경반층의 두께와 위치

(단위 : cm)

구 분	작토심	경 반 층	
		두께	위치(작토하부)
퇴화염토지(전북통)	12.6	22.3	15
일반논(지산통)	12.7	17.8	20

* 호남농업연구소, 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구



그림 6-1. 경반층 형태

토지와 일반논의 차이는 크지는 않으나 경반두께와 위치가 상이하다. 따라서 두꺼운 경반층 때문에 벼의 뿌리가 신장하는데 큰 지장을 가져와 수량감소의 원인으로 나타나고 있다. 한편 경도가 높을 수록 작토심이 낮아지고 경반두께가 두꺼워지는 경향(그림 6-2, 6-3)을 보여 친환경 고품질 쌀을 생산하기 위하여는 주기적으로 경반층을 파쇄시키는 일이 중요하다.

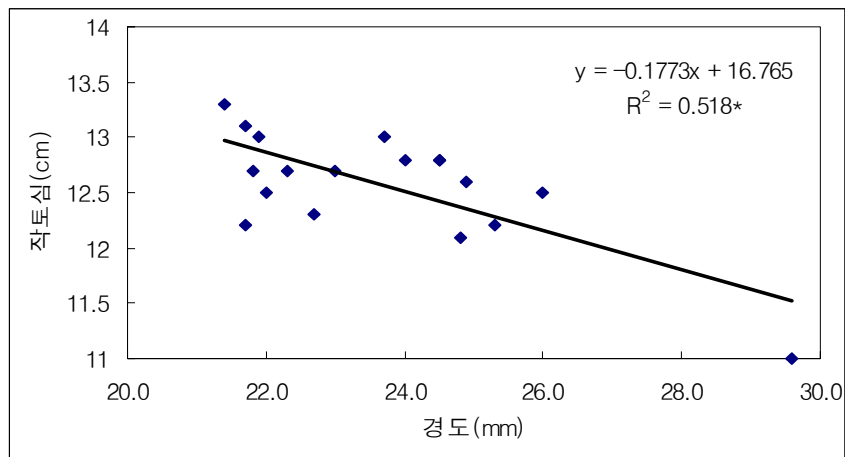


그림 6-2. 경도와 작토심과의 관계

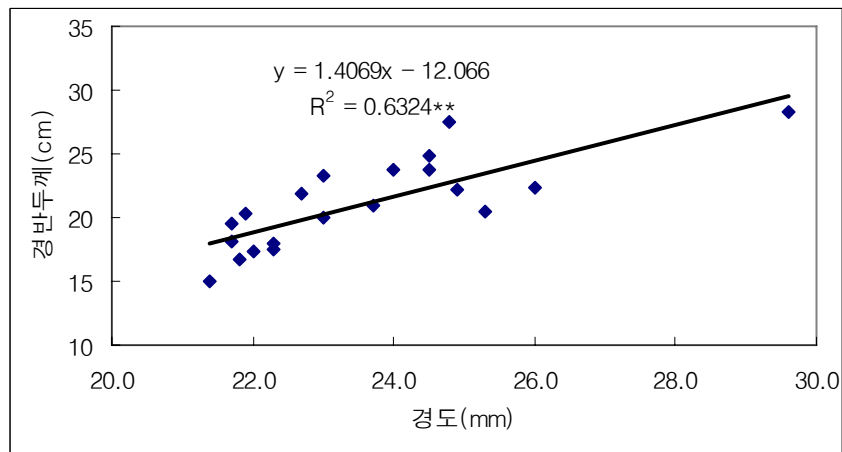


그림 6-3. 경도와 경반두께와의 관계

나. 물리적 특성

(1) 경도·용적밀도·공극률·3상 특성

퇴화염토지 논토양의 대표토양인 전북통의 작토하부 경반층의 경도는 14.7kg cm^{-2} (25.3mm)이며, 일반 논토양의 대표토양인 지산통은 8.7kg cm^{-2} (22.1mm)이다(표 6-3). 이와 같이 작토하부의 경도가 높아 벼 뿌리가 뻗을 수 있는 범위가 좁기 때문에 양분흡수에 큰 지장을 줄 것이다.

표 6-3. 경반층내의 토양물리성 양상

구 분	경 도 (kg cm^{-2})	용적밀도 (g cm^{-3})	공극률 (%)	3 상(%)		
				고상	액상	기상
전북통 작토층	3.0(14.9mm)	1.174	55.7	44.3	42.2	13.5
경반층	14.7(25.3mm)	1.426	46.1	53.9	42.6	3.5
지산통 작토층	1.6(11.0mm)	1.162	56.2	43.8	41.8	14.4
경반층	8.7(22.1mm)	1.492	43.7	56.3	38.9	4.8

* 호남농업연구소, 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구

한편 토양경도가 3.49kg cm^{-2} (16.0mm)이상이면 개량기술대책이 있어야 하고, 7.32kg cm^{-2} (21.0mm)이상이면 근본적인 개량대책이 필요하다는 보고와 같이 경도가 높아짐에 따라 용적밀도가 높아지고 공극율이 감소하여 근권환경이 불량하다는 것을 알 수 있다.

(2) 감수심의 변화

경반층형성 논의 투수성은 관행에서 2mm/일 이하이며, 심토파쇄시 9월 초순까지 2.9mm/일로 큰 변화가 없으나 9월 20일부터는 10mm/일 이상으로 증가하였는데, 이것은 주변 논의 낙수에 따라서 지하수위가 낮아지고 경반파쇄 효과가 나타난 결과로 추정된다(표 6-4).

표 6-4. 심토파쇄에 의한 감수심의 변화

(단위 : mm/일)

구 분	월 일									
	7.31	8.14	8.23	8.31	9.3	9.8	9.20	9.23	9.25	평균
관 행	2.45	1.93	1.68	1.95	1.50	1.70	1.54	1.80	1.80	1.82
심토파쇄	3.70	2.25	2.42	3.28	2.80	3.20	14.1	17.5	19.7	7.66

* 류 등, 1994. 한토지비 27(3) : p. 117~124

다. 화학적 특성

전북통의 토양산도는 경반층에서 작토층보다 높고 유기물 함량은 경반층에서 작토층보다 모두 낮다. 유효인산은 두 토양 모두 적정치 100mg kg^{-1} 보다 낮으며, 경반층의 인산은 작토층보다 전북통과 지산통이 각각 $45, 25\text{mg kg}^{-1}$ 이 적다.

표 6-5. 경반층내 토양의 화학적 특성¹⁾

구 분	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex.cation(cmolec kg ⁻¹)				CEC (cmolec kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	Na	
전북통 작토층	5.7	27	0.53	79	57	0.37	4.6	2.0	1.9	12.0
경반층	6.0	16	0.39	34	76	0.37	5.8	3.8	2.2	12.4
지산통 작토층	5.8	22	0.66	70	46	0.28	4.4	1.6	1.8	10.0
경반층	6.4	14	0.35	45	61	0.22	5.2	2.0	2.0	9.1

¹⁾ : 40점 평균 시료 분석치, 호남농업연구소, 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구

유효규산 함량은 작토층보다 경반층에서 높으나 적정치 130mg kg^{-1} 보다 적다. 치환성 칼리 함량은 전북통의 작토층과 경반층은 같았으나 지산통에서는 경반층에서 적다. 한편 석회, 고토 함량은 작토층보다 경반층에서 많다. 양이온치환용량은 전북통에서 작토 및 경반층 모두 같은 함량을 보이나 지산통은 경반층에서 다소 낮다(표 6-5).

작토와 경반층의 무기태질소 함량은 두 토양 모두 경반층보다 작토층에서 많다(표 6-6). 이와 같이 경반층에서 무기태질소 함량이 적은 것은 경도가 높고 지온이 낮아 무기태질소의 용출량이 적어지기 때문이다.

표 6-6 . 토층별 무기태질소 용출량

(단위 : mg kg⁻¹)

구 분	작토층			경반층		
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	계	NH ₄ -N	NO ₃ -N	계
전북통	7.8	5.2	13.0	6.0	3.1	9.1
지산통	7.4	3.6	11.0	6.7	2.8	9.5

* 호남농업연구소, 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구, 춘계시료 분석치

토층별 가용성 철과 망간 함량은 두 토양 모두 작토층보다 경반층에서 높게 나타난다 (표 6-7). 이와 같이 철과 망간함량이 작토층보다 경반층에서 많은 것은 하층으로의 용탈에 의해 집적되기 때문이며, 따라서 심경에 의해서 작토층으로의 반전이 필요하다.

표 6-7. 토층별 가용성 미량요소 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

구 분	작토층		경반층	
	Fe	Mn	Fe	Mn
전북통	6,400	42.9	7,000	84.5
지산통	7,500	70.0	7,700	86.8

* 호남농업연구소, 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구

전북통의 경반층 Eh 변화는 출수기 이후까지 산화조건인 반면에 작토층은 환원조건을 나타내고 있는데(표 6-8), 이와 같이 경반층내의 산화조건에서는 유·무기태질소, 인산, 철 등의 양분가급도가 저하될 것이다.

표 6-8. 전북통의 경반층내 Eh 변화

(단위 : mV)

구 분	7.29	8.3	8.9	8.17	8.24	8.31	9.7	9.14	9.21
경반층	32.2	19.6	54.0	32.8	33.4	-65.4	-143.4	-64.8	-68.2
작토층	-183.2	-165.2	-209.6	-327.4	-289.2	-179.8	-8.6	-104.8	-107.2

* 호남농업연구소, 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구

라. 지온의 변화

전북통과 지산통의 작토와 경반층의 지온을 측정한 결과 봄에는 각각 -2.0 , -2.1°C 가 낮고, 여름에는 -2.5°C , -1.8°C , 가을에는 각각 -1.0°C 와 -0.7°C 의 차이를 보인다(표 6-9, 그림 6-4). 한편 경반파쇄 논과 파쇄하지 않은 논의 심토에서 2°C 의 차이를 나타내나 작토층의 지온은 같다(표 6-10). 이와 같이 경반층에서 지온이 낮은 산화상태에서는 양분의 가용화가 떨어져 수도체로의 양분흡수가 낮아질 것이다.

표 6-9. 경반층내 지온의 변화

토양명	토심	지 온($^{\circ}\text{C}$)		
		봄(4. 17)	여름(7. 21)	가을(10.14)
전북통	작토층	13.1	26.9	18.8
	경반층	11.1	24.4	17.8
	온도차	-2.0	-2.5	-1.0
지산통	작토층	13.5	27.5	17.8
	경반층	11.4	25.7	17.1
	온도차	-2.1	-1.8	-0.7

* 호남농업연구소. 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구



그림 6-4. 작토와 경반층내 지온(하계)의 변화

표 6-10 . 심경에 의한 경반층의 지온

(단위 : °C)

구 분	관 행	심 경
작토층	22	22
경반층	19	21

* 호남농업연구소, 2005. 논토양 경반층의 환경특성 및 관리연구

마. 중장비의 답압횟수와 정도

경지정리시 부르도저의 답압횟수가 증가할 수록 토양경도는 증가하는 경향을 보이는 데(그림 6-5), 이는 대형트랙터의 경운, 로터리와 콤바인의 수확작업시 답압에 의해 가중될 것으로 보며, 토양이 습윤한상태에서 더욱 심할 것으로 추정된다.

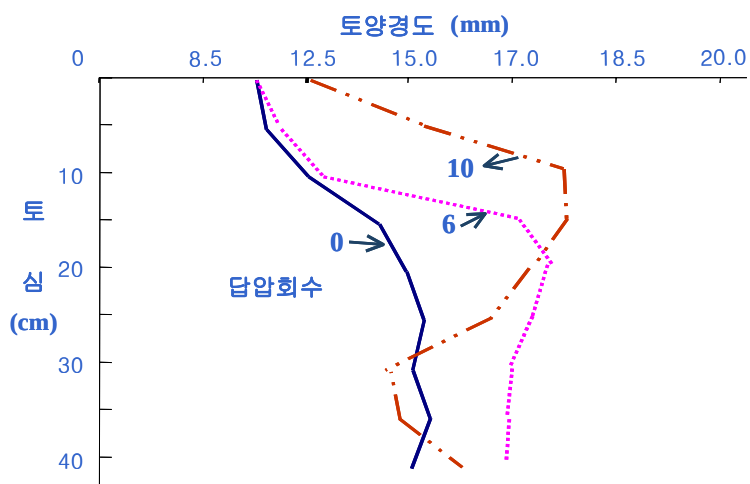


그림 6-5. 부르도저의 답압횟수와 토양경도(1970 富山농시)

바. 경반층의 평가 구분

논토양의 경도와 벼 수량성 비교에서 습윤상태의 경도가 17mm이하일 경우 수량에 거의 영향을 받지 않으나 18~22 mm에서는 10~25% 감수를 가져오고, 23mm이상이면 현저히 떨어지는 것으로 나타난다(표 6-11). 따라서 토양경도를 낮추기 위해 영농방법, 토성 및 간척년대별 경반형성 논토양의 개량과 토양관리 연구가 필요하다.

표 6-11. 토양경도의 평가 구분

등급	기 준	감수 정도*	경도구분	경 도(mm)	
				습윤	건조
I	수량을 거의 제한하지 않음	<10%	중	<17	<23
II	수량을 상당히 제한함	10 ~ 25	대	18~22	24~27
III	수량을 현저히 제한함	>25	극대	>23	>28

- 1) * 동일 모재에서 같은 층의 경도가 가장 낮은 토층에 대한 수량을 100으로 측정한 수치임
- 2) 토양구조, 공극의 발달이 현저한 경우는 1등급 이상임
- 3) 1969. 瀧嶋, 佐久間

사. 간척년대별 경반생성 변화

간척년대별 경도의 변화는 문포통에서 간척 6년차는 작토상부에서 25mm이상, 20년차는 토심 12.5cm에서 25mm을 보인 반면 27년차는 15.0cm에서 25mm이상을 보여 경작을 할 수 있는 토심이 깊어졌고, 수도 근권역이 넓어졌다(그림 6-6). 문포통은 세사양토의 토성을 갖는 토양으로 토양생성 당시에 모든 토층이 경반층을 형성하여 토양관리에 문제가 많은 토양으로, 새만금 간척지토양의 대부분이 이들 토양으로 이루어져 있다.

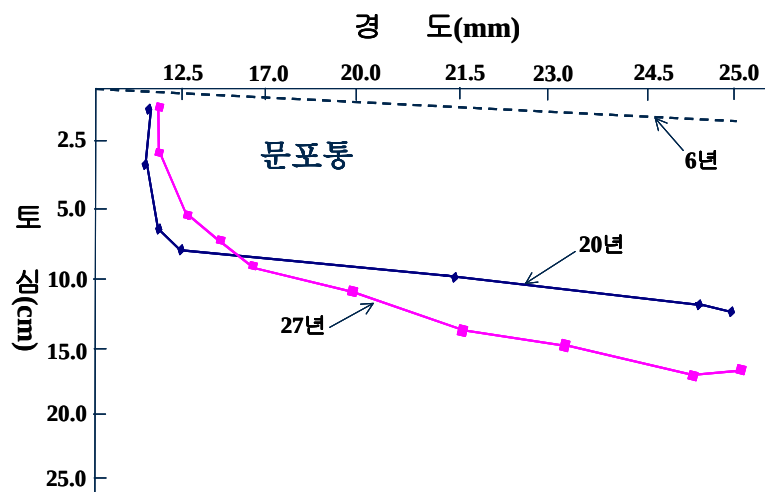


그림 6-6. 문포통의 경반 형성과정

포리통은 간척 12년차까지 모든 토층의 경도가 15mm로 트랙터의 주행가능 판정기준으로 로터리경운이 불가능한 범위이나 23년차는 토심 10~30cm 부위에 경반층이 생성되어 농기계작업이 가능하고, 51년차는 경반층이 두껍게 생성되어 농기계작업에 지장을 받지 않는 정도를 보인다(그림 6-7).

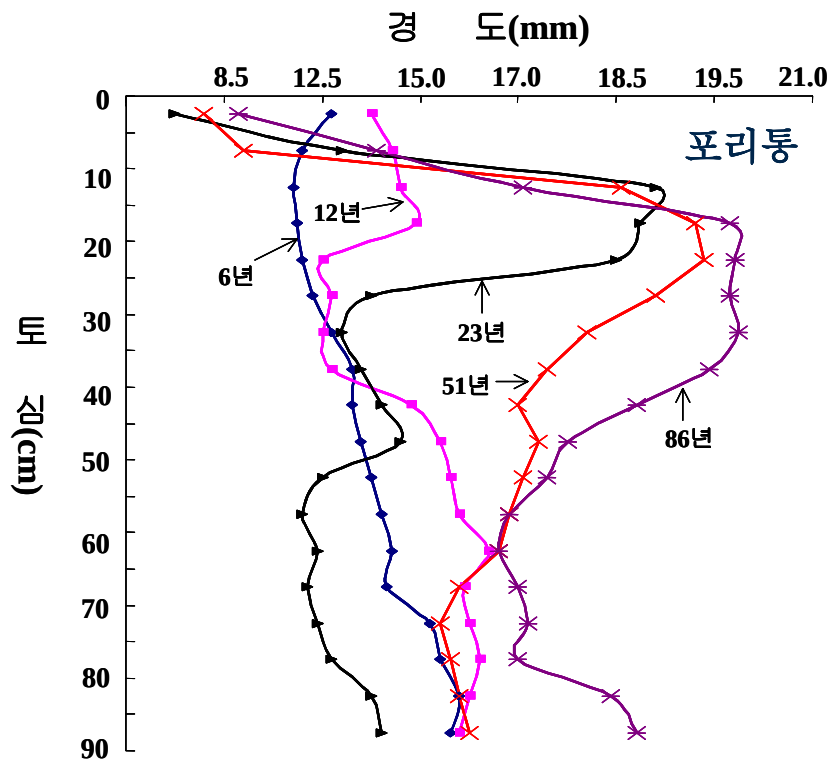


그림 6-7. 포리통의 경반 생성과정

또한 광활통과 포승통은 동일한 미사질양토로서 미사 함량이 주종을 이루고 점토함량이 포승통에서 많은 것이 특징이다. 광활통에서 간척 5년까지 경도가 15mm이하로 트랙터의 로터리작업이 불가능한 범위지만, 미사 함량이 많아 작업이 가능하나 포승통은 간척 12년차까지는 작업에 지장을 받는 정도를 나타낸다. 한편 광활통은 31년차부터, 포승통은 49년차부터 경반층이 생성되고 있으나 광활통보다 포승통에서 두껍게 형성되고 있다(그림 6-8).

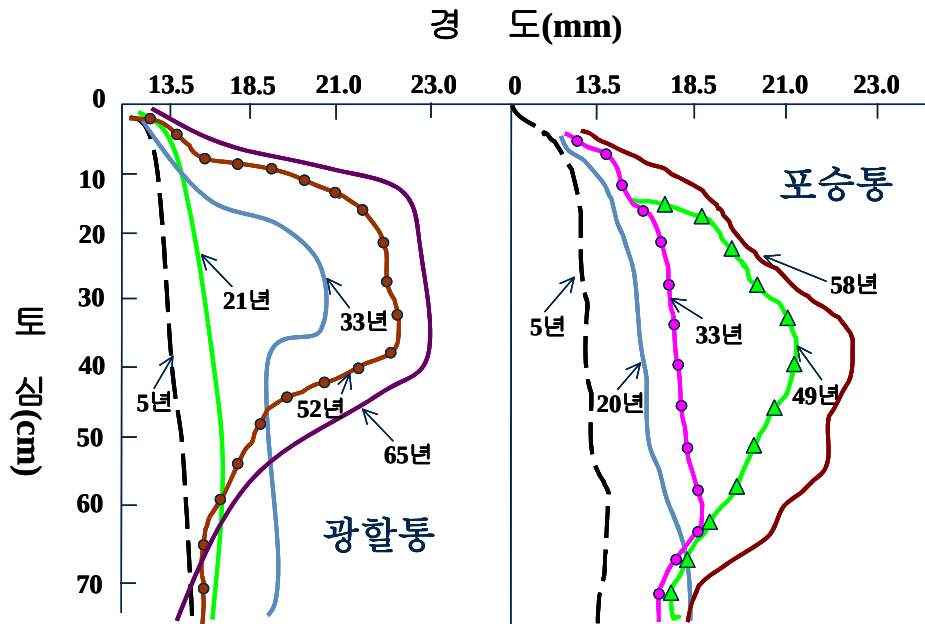


그림 6-8. 광활통과 포승통의 경반 생성과정

아. 벼 뿌리깊이별 분포

작물에 따라 뿌리의 신장에 미치는 토양물리성의 호조건은 다르다. 작물의 토양의 경도에 대한 감응성은 뿌리의 형태적 특징에 기인하는데 이로 인하여 뿌리의 신장력에 차이가 나타난다. 식물 뿌리는 뿌리세포의 팽압에 의해 신장하는데 팽압에 따른 뿌리의 신장압은 수직방향에 비해서 수평방향이 약하다고 되어 있다. 직경 0.1~1.0mm의 벼 뿌리가 모래층을 뚫고 들어가기 위해서는 뿌리 굵기보다 공극의 지름이 커야하고 뿌리의 신장압보다 토양입자의 저항이 작은 물리적 조건이 필요하다.

한편 벼 뿌리의 분포는 경반형성논의 경우 토심 0~10cm의 작토에 모든 뿌리의 88%가 분포하고 있는 반면 심토파쇄시에는 작토에 83%가 분포하여 5%가 적었고 10cm이상(토심이 15, 20cm로 증가하는데)에서는 반대로 심토파쇄구에서 5%가 많았으며, 25cm까지 뿌리의 신장이 넓어졌다(표 6-12). 이것은 경반층의 파쇄에 의하여 심토로의 뿌리 뻗음이 양호했기 때문이다.

표 6-12. 벼 뿌리의 깊이별 분포

(단위 : %)

구 분	1~5	5~10	10~15	15~20	20~25cm	건물중 (g/m ²)
관 행	54.5	33.5	10.6	1.4	-	91.7
심토파쇄	52.2	30.4	13.1	3.9	0.4	98.0

* 류철현 등. 1994. 한토지비 27(3) : p. 117~124

자. 경반층의 물리성과 수량과의 관계

벼 생육은 근권토양이 충분한 양분을 함유하는 동시에 경도, 공극률 등의 물리성이 양호하여야만 뿌리발육이 왕성하고 높은 수량을 기대할 수 있고, 고품질 쌀 생산면에서도 바람직 할 것이다. 한편 전북통에서 심토의 경도 및 용적밀도와 수량과의 관계를 보면 (표 6-13) 심토의 용적밀도가 1.25g cm⁻³에서 수량은 약 600kg/10a에 이르지만 용적밀도 1.55g cm⁻³에서는 약 450kg/10a로서 용적밀도가 0.35g cm⁻³변화하는데 수량은 약 30% 차이를 나타내고 있다($r = -0.798^{**}$). 또한 용적밀도 0.35g cm⁻³ 증가는 공극률을 약 13% 감소시키기는 결과가 되므로 물리성 개량에 의한 공극률 증대는 심층의 뿌리밀도의 증가를 가져오고 뿌리의 활동범위가 넓어져서 벼 생육은 안정되고 수량을 높이게 되는 것이다.

표 6-13. 심토의 경도 및 용적밀도와 수량과의 관계

구 분	수 량	비 고
용적밀도	-0.798**	1.25 : 백미 600kg/10a 1.55 : 백미 450kg/10a
경도	-0.832**	12mm : 백미 600kg/10a 22mm : 백미 450kg/10a
심토 뿌리량	0.718**	

* 조인상 등. 1983. 한토비지 16(2) : p. 92~97

토양의 경도와 수량과의 관계를 보면 경도 22mm에서 백미수량은 약 450kg/10a인데 비하여 경도 12mm에서는 600kg/10a이상이 되었다. 그리고 심토의 뿌리량이 많을수록 수량은 증가되었고 유의성 있는 상관관계가 있었다($r = 0.718^{**}$). 한편 토양물리성 개선 효과는 4년차까지 계속되었으며, 심토의 경반층 파쇄효과는 심경보다 심토파쇄가 중기계를 이용하여 편리한 작업이 가능하므로 가장 효율적인 개선 방법이다.

차. 투수양호 논과 불량 논의 양분흡수량

수도의 양분흡수량은 투수정도에 따라 큰 차이를 보이는데 유수형성기까지는 투수양호 논과 불량 논 사이에 큰 차이를 보이지 않았으나 유수형성기 이후에는 큰 차이를 보였다. 질소의 경우 투수양호 논에서 불량 논보다 흡수량이 12kg/10a 많았고, 칼리는 13 kg/10a, 인산은 4kg/10a가 더 많았다(그림 6-9).

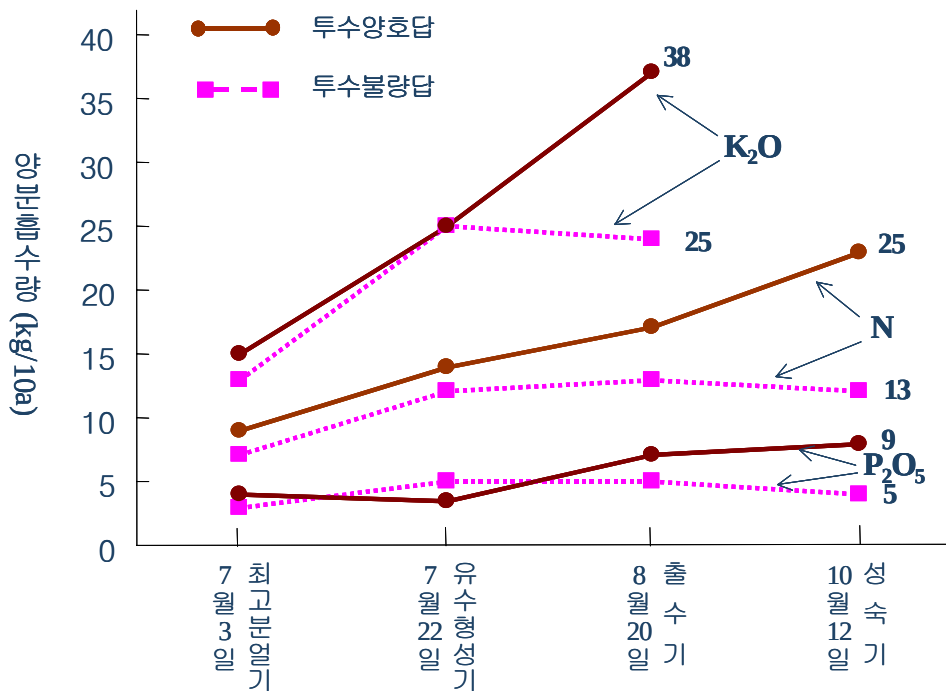


그림 6-9. 투수정도별 수도의 양분흡수량 변화(1961 城下)

이와 같이 양분흡수량이 투수양호 논에서 증가하기 때문에 토성이 미사질양토 내지 미사질식양토인 평야지 논처럼 작토층 밑에 경반층을 형성하여 배수가 약간불량 내지 불량한 논토양에서는 배수개선의 중요성이 크다고 할 수 있다.

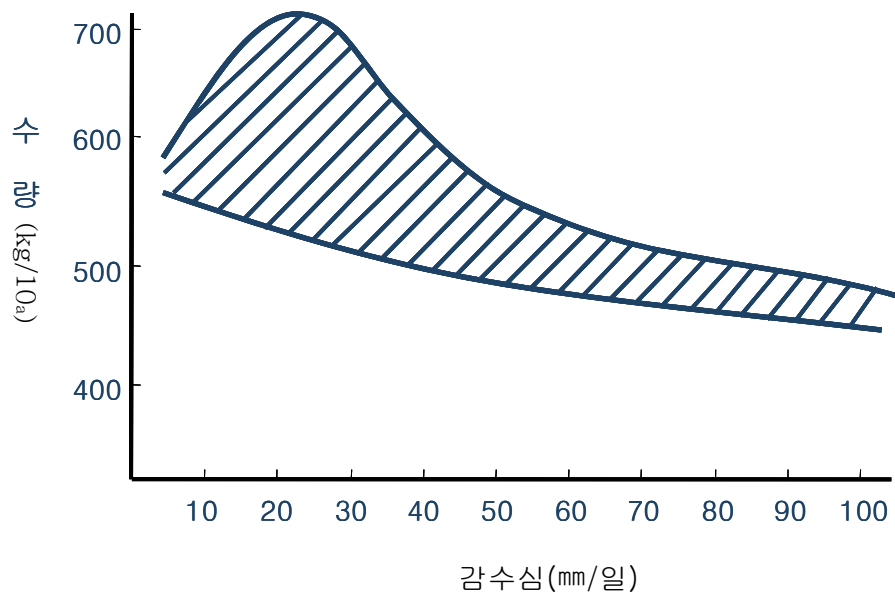


그림 6-10. 감수심과 수량의 변화(1981 五十琦)

한편 감수심이 수량성에 미치는 영향을 보면 1일 감수심이 15~30mm정도에서 수량성이 가장 높게 나타났다(그림 6-10). 최근 유기물 시용, 심경, 배수개선, 객토, 개량제 시용 등 논토양 관리에 대한 인식 부족과 친환경 고품질 벼 재배를 위한 비료 감비 등의 복합적인 원인에 의해 깨씨무늬병 등이 부분적으로 발생되고 있다. 따라서 이에 대한 깊이 있는 연구가 뒤따라야 할 것이다.