

## 집 · 배수용 투수성 폴리머 콘크리트 관의 농업 수리시설물의 현장적용

### Field Application of Permeable Polymer Concrete Pipe for Drainage

민 정 기\* · 연 규 석\*\* · 성 찬 용\*\*\*

Min, Jeong Ki · Yeon, Kyu Seok · Sung, Chan Yong

#### Abstract

This study is performed to evaluate performance of the developed pipe when using for underground drainage in farm land, the efficiency of the pipe is examined such as quantity of drainage, water temperature and other field performance in all weather condition.

Results of this study, the higher permeability through wall of the pipe is achieved by making various size pores using open-graded aggregate.

And in all weather conditions, permeable polymer concrete pipe perform much better than conventional perforated pipes. During rice farming period, quantity of drainage the permeable polymer concrete pipe is 1.28 time greater than conventional perforated pipes.

Therefore, use of the permeable polymer concrete pipe is greater advantages when considering collecting and draining capacity compared with conventional perforated pipes.

*Keywords : Underground drainage, Permeable polymer concrete pipe, Conventional perforated pipe, Collecting and draining capacity, Quantity of drainage*

#### I. 서 론

영농관리의 효율화와 생산성의 향상을 위해서 저 습 농경지의 배수는 매우 중요하며, 앞으로는 세계

적인 식량부족 현상에 대처하기 위해서 자급율이 낮은 밭작물의 생산증대 요구로 인한 농지확장 뿐만 아니라 농지의 이용율 증대를 위한 경지 범용화가 필요하다.

경지 범용화는 식량자급력의 향상과 토지자원의 고도이용, 지력향상 등의 목표를 지향하는 농업생산기반정비사업의 일환으로 배수개선 문제가 선결되어야 하는데, 농경지배수는 지표수를 가능한 한 지표배제하고 포장 잔류수나 토양중의 과잉수는 암거에 의해 배제하는 것이 기본이다.

\* (주)크린월드하이테크 책임연구원  
\*\* 강원대학교 농업생명과학대학  
\*\*\* 충남대학교 농업생명과학대학  
\*\*\* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798  
fax: +82-42-825-5791  
E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

우리나라 논 의 특성은 투수성이 양호한 작토층과 경운되지 않은 치밀하면서도 굳은 심토층의 2층 구조가 발달하였고, 이 두 층 사이에는 두터운 불투수성의 경반층이 형성되어 있어 이 경반이 담수를 유지하는 기능을 수행한다.

이와 같은 토양 조건과 투수성을 고려할 때 경지 범용화를 위한 암거배수는 지하수위의 저하가 목적이 아니고 지표면과 얇은 토층내에 정체되어 있는 과잉수를 배제하는 것이 목적이며, 암거구는 투수성이 큰 재료로서 뒤채움 할 필요가 있는 것이다.

현재 국내에서는 토관, 콘크리트 관, PVC 유공관 등이 투수관으로 생산·사용되고 있는데, 이러한 투수관을 농업현장에 사용할 때 구조상의 원인으로 인해 집·배수시 효율성이 떨어진다. 또한 지하 매설관으로 충분한 외압강도를 가지지 못하여 내구성이 떨어지고, 유지관리가 어려울 뿐만 아니라 지질조건에 따라 능력의 차이가 있고, 유기물이 집적된 곳에서 우수한 성능을 발휘하지 못하는 등의 문제점이 있는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구는 자체 개발한 투수성 폴리머 콘크리트 관을 암거배수 시설로 도입한 시험포장에 매설하여, 각종 시험을 통하여 기존 PVC 유공관과의 배수능력 등을 비교·구명하여, 투수성 폴리머 콘크리트 관을 집·배수용 농업 수리시설물이나 관정용, 제염용 등으로 사용하기 위한 기초자료를 제시코자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 불포화 폴리에스터 수지

폴리머는 가격이 저렴하고 국내에서 생산 시판되고 있는 것을 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 General properties of unsaturated polyester resin

Type	Specific gravity	Viscosity (25°C. ps)	Styrene content (%)	Acid value
Ortho	1.12	3.5	37.2	26.5

#### 나. 경화제

본 실험에 사용된 불포화 폴리에스터 수지는 촉진제가 첨가되어 있는 것으로서 경화제만 첨가하면 상온에서 경화되는 것으로서, 이의 일반적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 General properties of hardener

Component	Specific gravity (25°C)	Active oxygen (%)
MEKPO 55%	1.13	10.0
DMP 45%		

#### 다. 골재

투수관 제작에 사용된 골재는 금강유역에서 채취한 것으로서, 이의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of aggregate

Classification	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus (F.M)	Unit weight (tf/m <sup>3</sup> )
Coarse aggregate	4.75~10	2.64	2.15	6.00	1.562
Fine aggregate	0.595~4.75	2.62	2.35	2.96	1.538

라. 충전재

충전재는 골재 입자 사이를 치밀하게 채워주고 비교적 고가인 폴리머의 사용량을 줄여주는 동시에 강도의 증진을 가져오는 효과가 있다. 충전재는 무기질 분말이어야 하며 흡수성이 1%미만이어야 한다. 본 연구에 사용한 충전재는 구입이 용이하고 가격이 저렴한 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 이의 화학조성과 물리적 성질은 Table 4, 5와 같다.

Table 4 Chemical composition and physical properties of portland cement

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ig. loss
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	2.39	0.29

Table 5 Physical properties of normal portland cement

Specific gravity	Setting time (h-m)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	5-7	7-20	194	360	450

2. 투수관 제작 및 양생

가. 거푸집

투수관 제작에 사용한 거푸집 재료는 강재 원형관으로써 투수관의 탈형이 원활하게 이루어지도록 제작하였다.

나. 투수관 배합

본 연구에서는 재령 7일의 압축강도가 200 kgf/cm<sup>2</sup>, 휨강도가 100 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이고, 가사시간이 1시간 정도이며 투수성이 양호한 투수관 제작을 목표로 하였으며, 사용된 결합재의 조성비율과 투수관의 배합비는 Table 6, 7과 같다.

투수관의 배합은 보통 포틀랜드 시멘트, 잔골재, 굵은 골재를 건비빔 한 다음 불포화 폴리에스터 수

지에 경화제를 넣고 잘 희석시켜, 건비빔 된 골재에 투입한 후 강제식 믹서로 90 rpm으로 혼합하였다.

Table 6 Formulation of binder

(Unit : wt. %)

Kind of polymer	Type	Resin	Hardener
Unsaturated polyester resin	Ortho	100	1*

\* Parts per hundred parts of resin

Table 7 Mix design of permeable polymer concrete

(Unit : wt. %)

Kind of polymer	Binder	Filler	Aggregate		Total
			Fine	Coarse	
Unsaturated polyester resin	5.6	5.6	14.8	74	100

다. 제작방법

투수관 제작은 혼합된 투수성 폴리머 콘크리트를 투수관 제작용 강재 거푸집에 투입한 직후부터 진동기로 진동을 주어 타설이 완전히 끝난 후 1분 동안 추가 진동을 주어 균일한 단면의 투수관을 제작하였다.

라. 양생방법

제작된 투수관은 타설 후 2~3시간이 경과 한 후 탈형하여 온도 20℃, 습도 60%인 실험실에서 기건상태로 양생하였다.

3. 시험방법

본 연구에서 개발된 투수관의 성능평가를 위하여 실내시험과 현장시험을 실시하였으며, 이에 사용된 투수관 재료는 Table 8과 같다.

가. 실내시험

실내시험에서는 Photo 1과 같이 1.5×0.9×0.9

Table 8 Kinds of pipes used in lab test

	PVC perforated pipe	Permeable polymer concrete pipe
Material	PVC	Concrete, Resin
Inside diameter (mm)	150	160
Outside diameter (mm)	160	220
Thickness (mm)	5	30

m의 시험장치를 제작하여 바닥으로부터 10 cm 높이에 경사도 1/100로 배수관을 매설하여 자갈과 모래로 피복하고 표토로 충전하였으며, 실험장치 상부에 인공강우장치를 설치하였다.

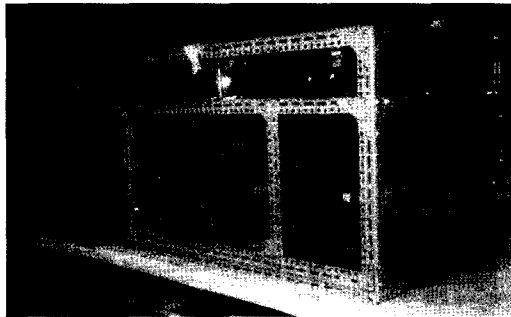


Photo 1 Experimental equipment

나. 현장시험

1) 시험구의 위치

현장 시험구 논은 Fig. 1에서 알 수 있듯이, 국도 1호선에 인접한 논산시 부적면 부황리 140번지의 곡간지에 위치하고 있으며, 연중 냉수가 용출되어 하류지역의 곡간답을 습윤케 하는 지역으로써 배수개선사업이 요구되는 지역이다.

2) 현장시험 토양의 특성

시험구 내 투수관의 매설 위치는 Fig. 1에 나타난 것같이 No. 1은 투수성 폴리머 콘크리트 관을 No. 2는 PVC 유공관을 매설하였으며, 이들의 매

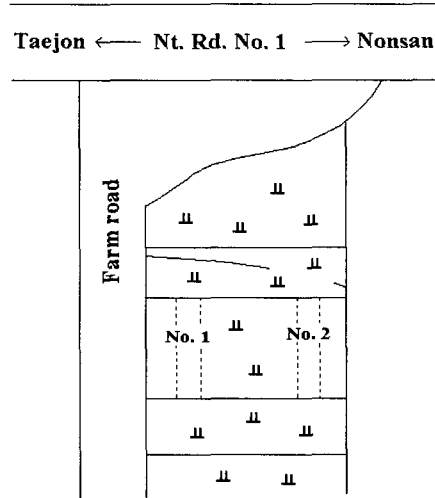


Fig. 1 Schematic of paddy performing field test

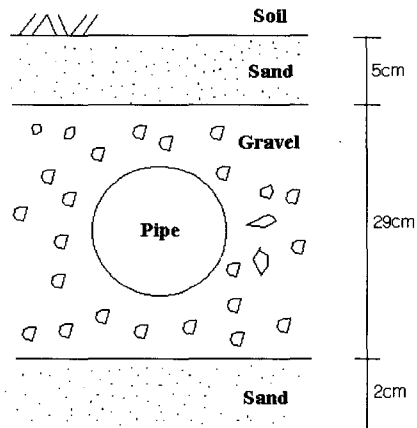


Fig. 2 Section of embedded pipe

설단면은 Fig. 2와 같고, 투수관 매설 위치의 토양에 대한 시험결과는 Table 9와 같다.

여기서 보는 바와 같이, No. 1은 채취심도 10 cm에서는 무기질 실트이고 40 cm에서는 실트질 모래이며, No. 2는 채취심도 10 cm와 40 cm 모두 무기질 실트로 나타났다.

Table 9 Test results of soil in field

Spot of pipe		No. 1		No. 2	
Sample no.		1	2	3	4
Sampling depth (m)		0.1	0.4	0.1	0.4
Physical properties	Wet unit weight $\gamma_t$ ( $tf/m^3$ )	1.978		1.973	
	Natural moisture content (%)	26.48	27.06	26.44	30.88
	Specific gravity	2.70	2.68	2.63	2.62
	Liquid limit (%)	32.65	28.58	33.09	35.73
	Plastic limit (%)	24.47	24.14	24.90	24.96
	Plasticity index	8.18	4.44	8.19	10.77
	Passing ratio #200 (%)	52	46	51	58
	Coefficient of uniformity	56	52	70	37
	Coefficient of curvature	0.3	0.2	0.2	1.0
	D <sub>10</sub>	0.0032	0.0048	0.0033	0.0026
	D <sub>60</sub>	0.18	0.25	0.23	0.095
USCS	ML	SM	ML	ML	
Consolidation test	Preloading ( $kgf/cm^2$ )	0.65		0.73	
	Compression index	0.149		0.234	
	Coefficient of consolidation (cm/s)	0.005		0.006	
	Coefficient of permeability (cm/s)	0.000146		0.000497	

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 실내시험

실내시험은 토양표면에 물을 고르게 살포하여 배출수량이 정상상태에 도달하고 표토 위에 10 cm 높이의 수위가 되었을 때 암거관으로부터 배출되어 나오는 물을 정상상태의 유량으로 관측하였고, 물 공급을 중단하고 토양조건이 실제 지표배수가 끝난 후 암거관을 통하여 배출되는 물을 비담수 포화상태의 유량으로 관측하였으며, 이의 시험결과는 Table 10 및 Fig. 3과 같다.

Table 10에서 알 수 있듯이, 정상상태에서의 배수량은 투수성 폴리머 콘크리트 관이 PVC 유공관

Table 10 Test result of drainage capacity in Lab

Item	$\phi$ 150 mm PVC pipe	$\phi$ 160 mm permeable polymer concrete pipe
Drainage capacity (l/h)	41.1	90.0

보다 2배 이상 크게 나타남으로써, 본 연구에서 개발된 투수성 폴리머 콘크리트 관이 기존의 PVC 유공관보다 투수성능이 양호하다는 것을 알 수 있었다.

그리고 Fig. 3은 비담수 포화상태에서의 시험결과를 나타낸 것으로써, 표토의 수위가 0이고 표면 포화상태에서 측정을 시작하여 배수량이 거의 0에 가까워 질 때까지 측정하였던 바, PVC 유공관

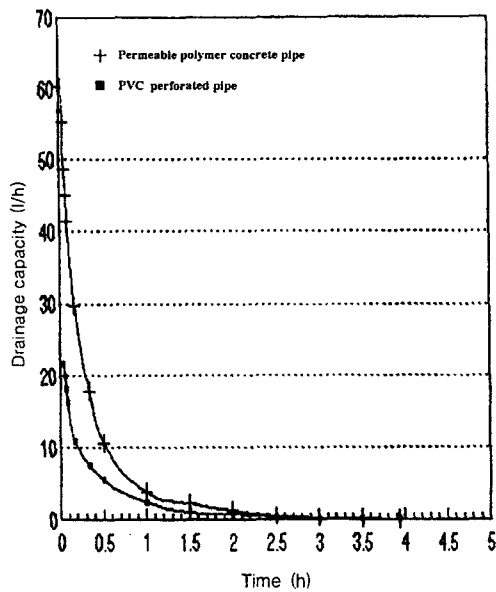


Fig. 3 Comparison of drainage capacity

보다 투수성 폴리머 콘크리트 관의 배수유량이 더 큰 값을 나타냄으로써 성능이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

한편, 동일 내경으로 환산하여도 투수성 폴리머 콘크리트 관의 배수량이 큼으로, 동일 수량을 배출 시 단면축소의 효과가 있을 것으로 판단된다.

## 2. 현장시험

현장시험은 두 배수관 상호간의 배출수량에 대한 영향을 없애기 위하여 투수성 폴리머 콘크리트 관과 PVC 유공관의 매설위치는 50 m간격으로 배수거리는 20 m로 설치하였고, 모든 측정은 현장 및 기상조건에 따라서 1개월에 최대 5회까지 측정하였으며, 이의 시험결과는 Table 11과 같다.

### 가. 배출수 온도

Table 11에서 보는 바와 같이, 배출수 온도는 시기별로 9.2~23℃정도로 No. 1과 No. 2 시험구에서 거의 비슷하게 나타났고, 대기온도보다는 0.8~12℃, 논수면 온도보다는 1~16℃, 논지중 온

도보다는 2~15℃ 낮게 나타났으며, 대기온도가 높을수록 높게 나타났다.

한편, 수도생육에 있어서 가장 적합한 수온은 30℃이고 20℃ 이하에서는 생육에 피해를 받게 되며 13℃이하에서는 생육이 정지됨으로, 이와 같은 저온의 배출수는 온수지를 통해서 수온을 높인 다음 농업용수로 사용해야 할 것이다.

### 나. 배출수량

현장시험은 두 배수관 상호간의 배출수량에 대한 영향을 없애기 위하여 투수성 폴리머 콘크리트 관과 PVC 유공관을 50 m간격으로 설치하였으며, 용출수량과 웅덩이 크기(다같이 10 m), 암거 길이(20 m)도 같게 하여, 두 배수관의 배출수 능력을 비교한 결과는 Table 10과 같다.

#### 1) 강우시와 비강우시의 배출수량

강우시와 비강우시 모두 배수능력에서 투수성 폴리머 콘크리트 관이 PVC 유공관보다 높게 나타났으며, 강우 익일은 15~47%, 비강우시는 2~100%, 절수기는 2%이상 높게 나타났으며, 강우량이 많을수록 배수능력이 높게 나타났다.

#### 2) 논수면 높이와 배출수량

논수면 높이가 0이거나 절수기 또는 PVC 유공관 시험구 논수면 높이가 투수성 폴리머 콘크리트 관 시험구 수면높이보다 더 높을 때에도 투수성 폴리머 콘크리트 관의 배출수량이 많게 나타났으며, 대체적으로 논수면 높이가 높을수록 배출수량도 많게 나타났다.

#### 3) 도착기간 평균 배출수량

도착기간 5개월간의 배출수량을 비교하면 투수성 폴리머 콘크리트 관은 5.67 l/min, PVC 유공관은 4.42 l/min로서 투수성 폴리머 콘크리트 관이 1.28배 크게 나타났다.

즉, 시험구에 물이 있거나 없거나, 많거나 적거나, 맑은 날이나 흐린 날, 절수기간 등 모든 조건에서 투수성 폴리머 콘크리트 관의 배수능력이 PVC 유공관보다 더 우수한 것으로 나타났다.

Table 11 Test results of permeable polymer concrete pipe in field

Date	Type	Weather	Air temp. (°C)	Paddy water surface temp. (°C)	Drainage temp. (°C)	Drainage discharge (l/min)	Paddy water level (cm)	Underground temp. (°C)	Remarks
4.15	PVC	Clear	18	-	10.3	3.42	-	-	
	PPC			-	11.2	3.81	-	-	
4.16	PVC	Clear	20	-	10.0	3.24	-	-	
	PPC			-	10.2	4.02	-	-	
4.18	PVC	Cloudy	14	-	9.5	3.36	-	-	
	PPC			-	9.2	4.65	-	-	
4.22	PVC	Clear	21	-	10.0	3.60	-	-	
	PPC			-	9.5	4.08	-	-	
4.30	PVC	Cloudy & raining	16	-	13.2	12.30	-	-	20mm
	PPC			-	13.5	18.12	-	-	
5.06	PVC	Clear	20	19.0	14.0	16.32	2	18	10mm
	PPC			22.0	14.0	18.78	2	18	
5.14	PVC	Clear	22	22.0	11.0	2.88	12	21	
	PPC			22.0	11.5	2.94	10	21	
5.21	PVC	Clear	24	30.0	16.5	2.88	5	29	
	PPC			29.0	16.8	4.20	4	29	
5.31	PVC	Clear	29	33.0	18.0	2.70	7	33	
	PPC			34.0	19.3	5.40	8	34	
6.08	PVC	Clear & cloudy	22	31.0	19.0	2.70	8	29.5	
	PPC			30.0	19.6	3.30	6	29	
6.12	PVC	Clear	20	27.0	19.0	2.70	6	27	
	PPC			27.0	19.2	5.10	5	27	
7.01	PVC	Clear	25	-	19.0	2.46	-	-	
	PPC			-	18.0	2.52	-	-	
7.24	PVC	Clear	31	35.0	19.0	2.64	7	33	
	PPC			34.5	22.5	2.64	5.5	32	
8.12	PVC	Clear	28	26.5	19.0	2.46	5	27	
	PPC			24.0	23.0	2.52	5	25	
8.22	PVC	Cloudy	25.5	25.0	19.5	2.58	7	25	3mm
	PPC			25.2	21.5	3.00	6	25	

\* PVC : PVC perforated pipe  
 PPC : Permeable polymer concrete pipe

이와 같은 적지라 해도 시험관의 매설위치가 동일위치가 아니기 때문에 100% 정확하다고 할 수

없어, 같은 조건에서 실내시험을 통해 비교해 본 결과 투수성 폴리머 콘크리트 관이 PVC 유공관보

다 배수능력이 2.17배 높다는 것을 확인한 바와 같이, 현장 적용에서도 투수성 폴리머 콘크리트 관의 배수능력의 우수성이 입증되었다.

#### 다. 논지중 온도

일반적으로 비의 뿌리가 식물체를 유지하고 수분 및 양분을 흡수하여 성장하게 되므로 뿌리가 접해 있는 근역 토양의 온도가 수도재배에 있어서 매우 중요하다.

지중온도는 작물생육에 많은 영향을 주는 요인으로서 논 표면으로부터 10 cm되는 지점의 온도를 측정하였다.

시험결과 저온인 용출수를 배제함으로써 1~16°C의 논수면 온도와 2~15°C의 논지중 온도의 상승효과를 가져왔다.

시험포와 같은 냉수용출수답은 매년 상습적으로 온도가 낮은 냉수의 피해를 받아 생육이 불량하고 등숙 및 출수가 늦어져 수확량이 감소되나, 성능이 우수한 배수관을 설치하여 냉수용출수를 배제함으로써 수확량의 증가를 꾀할 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 연구는 시험포장에서의 배수능력을 비교하기 위하여 동일조건에서 투수성 폴리머 콘크리트 관과 PVC 유공관을 사용하여 배출수량 및 배출수의 온도 등을 현장시험을 통하여 구명하였던 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정상상태에서의 투수성 폴리머 콘크리트 관이 PVC 유공관보다 2배 이상 배수용량이 큰 것으로 나타났다.
2. 비담수 포화상태에서 시간별 배수량 변화는 투수성 폴리머 콘크리트 관이 PVC 유공관보다 더 크게 나타났다.
3. 배출수의 온도는 9.2~23°C 정도로 모든 시험구에서 유사하게 나타났으며, 대기온도와 논수면

그리고 지중온도보다 낮게 나타났다.

4. 배출수량은 논수면 높이가 0이거나 절수기 또는 PVC 유공관 시험구 수면 높이가 더 높을 때에도 투수성 폴리머 콘크리트 관에서 항상 많이 나타났으며, 도착기간 중의 평균배출수량도 1.28배 이상 크게 나타났다.

5. 지중온도는 냉수용출수를 배제함으로써 시기별로 2~15°C 상승시킨 18~34°C로 나타나 작물 생육에 도움이 되는 것으로 나타났다.

6. 투수성 폴리머 콘크리트 관은 매설 초기부터 주위의 수위가 급격히 낮아져 제어배수를 할 수밖에 없을 정도로 배수능력이 탁월하였다.

#### References

1. Kobayashi, T. and Y. Ohama, 1984, Low-temperature curing of polymethyl methacrylate polymer concrete, *International Symposium on Mechanical Properties of Special Concrete Transportation Research Record* 1003 : 15-18
2. Ohama, Y., 1995, "Handbook of polymer-modified concrete and mortars", *Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, USA* : 45-85.
3. Sung, C. Y., et al, 1997, "Engineering properties of permeable polymer concrete using stone dust and heavy calcium carbonate", *Proceedings of the Second Asia Symposium on Polymer in Concrete*, Nihon University, Japan, May 11-13 : 95-104.
4. Sung, C. Y. and Y. K. Han, 1999, Physical and mechanical properties of permeable polymer concrete with fly ash and CaCO<sub>3</sub>, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 41(2) : 104-110. (in Korean)
5. Vipulanandan, C., E. Paul, 1993, Characterization of polyester polymer and polymer concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 5(1) : 62-82