

# 집·배수용 농업수리시설물 개발

## Development of Agricultural Hydraulic Structure for Water Collecting and Draining

성 찬 용\* · 연 규 석\*\* · 류 능 환\*\*  
Sung, Chan Yongk · Yeon, Kyu Seok · Ryu, Neung Hwan  
김 기 성\*\* · 민 정 기\*\*\*  
Kim, Ki Sung · Min, Jeong Ki

### Abstract

This study is performed to develop an agricultural hydraulic structure for collecting and draining pipe using polymer concrete.

The water permeability of collecting and draining pipe shows an  $5.917 \ell / \text{cm}^2 / \text{h}$ , it is more 190 times as large as in the world maximum rainfall. The external pressure on the collecting and draining pipe is in the range of 1.85~5.25tf/m under 2-edge test, 2.6~6.2tf/m under sand mat and the vertical displacement is in the range of 0.48~1.06mm, 1.01~1.89mm, respectively. Also, an increasing rate of external pressure on the developed pipe is higher than that of PVC pipe to the variation of t/D.

Accordingly, the pipe developed in this study will be used widely in agricultural hydraulic structures such as collecting and draining structure.

### I. 서 론

농지의 범용화 및 농업용수의 효율적 이용을 위한 농업용 수리시설물은 종류도 다양할 뿐만 아니라, 농업의 근대화가 시작된 1960년대 이후에 건설된 경우가 많아 건설기술 부족 및 유지관리의 부실로 인해 그 기능을 충분히 발휘하지 못하고 있다.

그리고 앞으로 각종 농업용 수리시설물에서도

일반 구조물과 같이 강도저하, 반복하중에 의한 피로, 산성비, 염해, 동결융해 등 콘크리트 구조물의 성능저하 요인이 다양하여 이에 대응한 건설재료의 도입이 절실한 실정이다.

특히, 농업용 시설물은 도시지역에 존재하는 각종 구조물과는 달리 농촌지역에 광범위하게 산재되어 있고, 지형적·시간적 제약요인으로 인해 적기에 보수보강이 어려우므로 특별히 성능이 뛰어난 재료의 도입이 요구되고 있으며, 농업의 생산

\*충남대학교 농과대학

\*\*강원대학교 농업생명과학대학

\*\*\*충남대학교 농업과학연구소

키워드 : 농업수리시설물, 집·배수관, 투수성, 외압강도, 수직변위

성과 직결되는 것이어서 기능의 극대화 및 유지관리의 효율화가 매우 중요하다 할 수 있다.

또한, 농업은 성격상 한·냉·수해 등 각종 재해를 완전하게 방지하는 것은 막대한 비용이 필요하므로 사실상 불가능하다. 그러나 농업경쟁력 강화와 안정적인 농업생산을 지속시키기 위해서는 농지의 범용적인 이용과 농업용수의 효율적 이용을 위한 농업시설의 안정화는 한층 더 중요한 의의를 가지게 된다.

한편, 농업의 생산성을 안정적으로 확보·향상시키기 위해서는 농업용수의 공급 및 배수 효과를 효율적이고 지속적으로 높여야 하며, 이에 따른 농업수리시설용 지하 매설관을 항상 완전한 상태로 유지함과 동시에 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 수리시설의 배치 및 관리를 하는 것이 중요하다.

현재 사용되고 있는 유공관은 토사나 이물질에 의해 관내부 또는 유공 부분이 막혀서 농업용수의 집·배수가 원활하지 못하고, 염분, 산, 알카리 등의 화학적 저항성이 약하여 내구연한이 적기 때문에 시설의 추가설치 및 보수 비용이 많이 들게 된다.

따라서, 본 연구는 건설산업용 신소재인 폴리머를 사용하여 기존의 PVC관이나 시멘트 콘크리트관보다 역학적 성능이 우수하고 동결융해나 내산성<sup>4)</sup> 등이 탁월한 집·배수용 관을 개발함으로써 농업경쟁력 강화와 더불어 농촌발전에 기여함을 목적으로 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 폴리머

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	1.14	3.0	38.5	25.0

#### 나. 경화제

본 실험에 사용된 불포화 폴리에스터 수지는 촉진제가 첨가되어 있는 것으로서 경화제만 첨가하면 상온에서 경화되는 제품을 사용하였으며, 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. 충전재

충전재는 보통 포틀랜드 시멘트와 규석분말을 사용하였으며, 수분함량은 1%미만<sup>3)</sup>이어야 하므로 100±5°C로 조절된 건조기에서 24시간 건조시킨 후 상온에서 충분히 냉각시켜 사용하였고, 이의 화학조성과 물리적 성질은 Table 3, 4와 같다.

Table 3 Chemical compositions and physical property 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	Specific gravity (20°C)
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	2.39	0.29	3.15

Table 4 Chemical compositions and physical property of silica powder (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ig. loss	Specific gravity (20°C)
92.90	3.81	0.27	0.75	0.51	1.76	2.60

라. 골재

골재는 충남 금강유역에서 채취한 강모래와 강자갈을 사용하였으며, 폴리머 콘크리트용 골재의 함수율은 0.1%<sup>2)</sup> 이하가 되어야 하므로 세척 후 100±5℃로 조절된 건조기에서 24시간 건조시킨 후 상온에서 충분히 냉각시켜 사용하였고, 이의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 Physical properties of aggregate

Classification	Size (mm)	Specific gravity (20℃)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	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

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

본 연구에서는 재령 7일의 압축강도가 200kgf/cm<sup>2</sup>, 휨강도가 100kgf/cm<sup>2</sup> 이상이고, 가사시간이 1시간 정도이며 투수성이 양호한 집·배수관 제조를 목표로 하였으므로, 사용된 결합재의 조성비율과 배합비는 Table 6, 7과 같다.

콘크리트의 배합은 90rpm으로 보통 포틀랜드 시멘트, 규석분말, 잔골재, 굵은 골재를 건비법 한 다음, 불포화 폴리에스터 수지에 경화제를 넣고 잘 희석시켜 건비법한 골재에 투입한 후 강제식 믹서로 혼합하였다.

Table 6 Formulation of binder

(Unit : wt. ratio)

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

Table 7 Mix design of water collecting and draining pipe

(Unit : wt. %)

Kind of polymer	Binder	Filler	Aggregate		Total
			Fine	Coarse	
Unsaturated polyester resin	5.7	4.0	15.0	75.3	100

나. 제작방법

공시체 제작은 혼합된 폴리머 콘크리트를 공시체 제작용 거푸집에 투입한 직후부터 진동기에 진동을 주어 타설이 완전히 끝난 후 1분 동안 더 진동을 주어 균일한 단면의 공시체를 제작하였으며, 집·배수관 제작에 사용된 거푸집은 강성이 강한 PVC원형관을 사용하여 다음과 같은 3종류의 집·배수관을 제작하였다.

- 내경 114mm, 외경 203mm, 두께 44.5mm, 길이 1,000mm
- 내경 166mm, 외경 251mm, 두께 42.5mm, 길이 1,000mm
- 내경 218mm, 외경 298mm, 두께 40.0mm, 길이 1,000mm

다. 양생방법

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

3. 시험방법

가. 투수시험

투수시험은 100×200×200mm의 공시체를 특수 제작한 투수시험장치<sup>1)</sup>를 사용하여 재령 7일에 측정하였다.

나. 외압강도시험

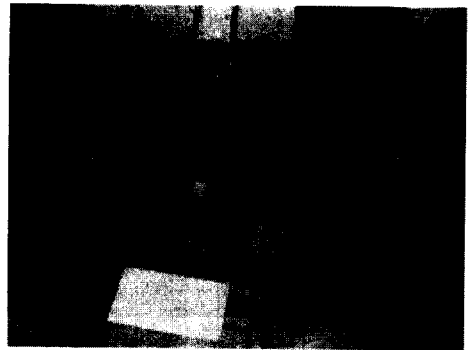
집·배수관에 대한 2-edge 외압강도 시험방법은 KS F 4404 (무근 콘크리트 관)에 제시된 방법으로서 Fig. 1의 (a)와 같이 I형강을 관의 길이방향으로 설치하였으며, 땅속에 매설된 원형관의 거동을 파악하기 위해서는 Fig. 1의 (b)와 같이 바닥에 모래를 평균 10cm 깊이로 깔고 그 위에 집·배수관을 설치하여 I형강을 관의 길이방향으로 놓고, 각각 20kgf/s의 재하속도로 집·배수관이 파괴될 때까지 하중을 재하하여 시험을 실시하였다.

다. 수직변위측정

집·배수관의 수직변위를 측정하기 위해서 Fig. 1



(a) 2-edge



(b) Sand mat

Fig. 1 External pressure test of water collecting and draining pipe

과 같이 외압강도 측정시 관 내부 상하에 LVDT를 설치하여 데이터 로거로 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 투수성

집·배수관의 가장 중요한 성질 중의 하나인 투수성은 특별히 제작된 시험장치에 대상 공시체를 정치하고 집착면과의 밀착을 좋게 하기 위하여 4면에 실리콘을 주입한 후, 5회 반복 실험을 하여 얻어진 측정값을 평균하여 시간당 투수량으로 산출하였으며, 제작된 집·배수관의 단면은 Fig. 2와 같다.

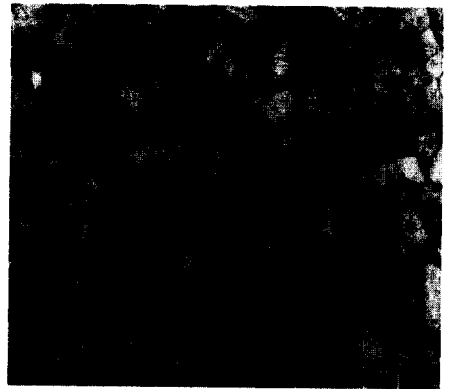


Fig. 2 Section of water collecting and draining pipe

시험결과 집·배수관의 투수성은 시간당 5.917 l/cm<sup>2</sup>로 나타났는데, 이는 기록상 세계 최대 강수량 300mm와 비교하여 190배 이상을 투수 할 수 있는 성능을 가진 것으로서, 본 시험을 통하여 개발된 집·배수관의 투수성능이 매우 우수하다는 것을 알 수 있다.

따라서 집수관, 배수관, 제염관 등 여과성 투수를 목적으로 하는 농업시설물에 활용하면 그 효과가 매우 클 것으로 생각된다.

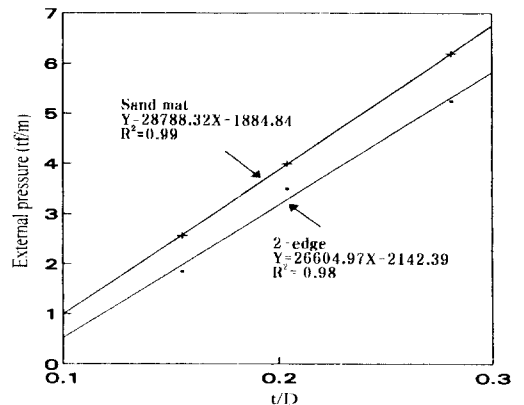


Fig. 3 Comparison of external pressure and t/D

## 2. 외압강도

일반적으로 원형관의 외압강도는 시험시 시험기에 나타나는 최대하중을 유효길이로 나눈 파괴 하중치를 말하며, 관두께( $t$ )와 관의 평균지름( $D$ )과의 비( $t/D$ )가 크면 외압강도는 크게 나타난다.

본 시험에 사용된 집·배수관의  $t/D$ 는 0.281, 0.204, 0.155의 3종류로써, KS F 4404 규정에 따라 2-edge 시험과 모래지반에서 집·배수관의  $t/D$ 에 따른 외압강도 시험결과를 나타내면 Fig. 3과 같다.

여기서 알 수 있듯이, 2-edge 시험의 경우 각각의  $t/D$ 에 따라 1.85, 3.50, 5.25tf/m의 외압강도를 보였고, 모래지반의 경우는 2.6, 4.0, 6.2tf/m의 외압강도를 나타냄으로써, 집·배수관의  $t/D$  값이 클수록 외압강도는 비례하여 크게 나타나, 일반적인 원형관과 같은 경향을 보여주고 있다.

또한, 모래지반에서 측정된 집·배수관의 외압강도가 2-edge 시험에서 측정된 외압강도보다 14%에서 최대 40%까지 더 크게 나타났다.

## 3. 수직변위

집·배수관에 대한 2-edge 및 모래지반에서의

외압강도에 의한 수직변위 시험결과는 Fig. 4와 같다.

여기서 보는 바와 같이, 집·배수관의  $t/D$ 별 외압강도에 대한 최대 수직변위는 2-edge 시험의 경우 각각 1.06, 0.52, 0.48mm로 나타났다.

그리고 모래지반에서의 최대수직변위는 각각 1.89, 1.33, 1.01mm로 2-edge 시험보다 78%에서 최고 155%까지 크게 상회하는 값을 보이고 있다.

이상의 결과로부터, 집·배수관의 외압강도와 수직변위는  $t/D$  값에 영향을 받음을 알 수 있는데,  $t/D$ 의 값이 크면 외압강도는 크고 관의 수직변위는 작게 나타났으며, 반대로  $t/D$ 값이 작으면 외압강도는 작게 수직변위는 크게 나타났다.

즉, 집·배수관의 외압강도는  $t/D$ 와 거의 비례하며 수직변위는  $t/D$ 와 거의 반비례함을 알 수 있다.

## 4. 집·배수관과 무근 콘크리트관의 강도비교

개발된 집·배수관과 현재 시판중인 무근 콘크리트관의 외압강도를 동일한 시험조건으로 측정 비교한 결과를 나타내면 Table 8 및 Fig. 5와 같다.

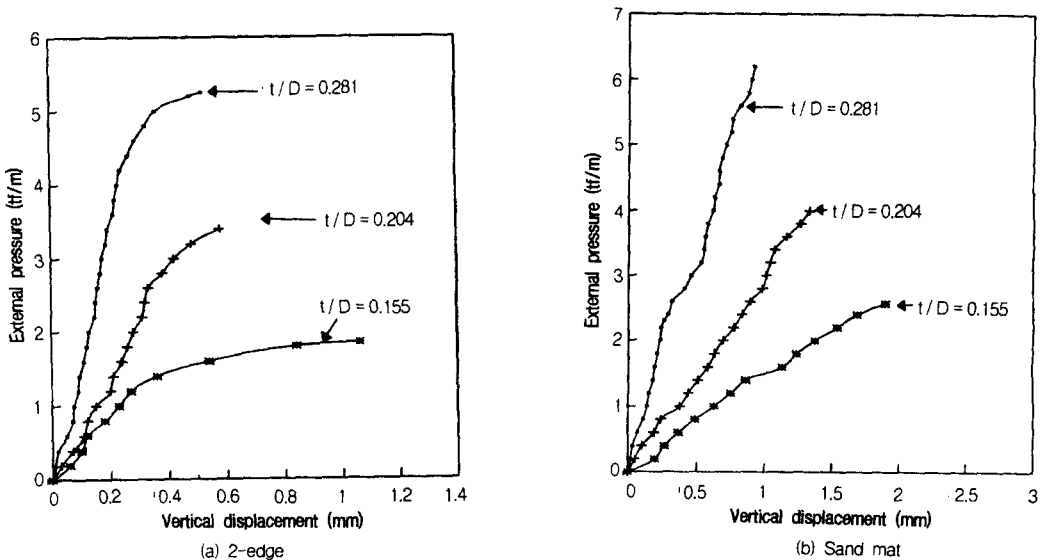


Fig. 4 Comparison of external pressure and vertical displacement

Table 8 Comparison of external pressure

	Inside diameter (mm)	Thickness (t) (mm)	Average diameter (D) (mm)	t/D	External pressure (kgf/m)
Concrete pipe	100	24	124	0.194	3,000
	150	26	176	0.148	2,500
	200	29	229	0.127	2,200
	250	32	282	0.113	2,000
Water collecting and draining pipe	114	44.5	158.5	0.281	5,250
	166	42.5	208.5	0.204	3,500
	218	40.0	258.0	0.155	1,850

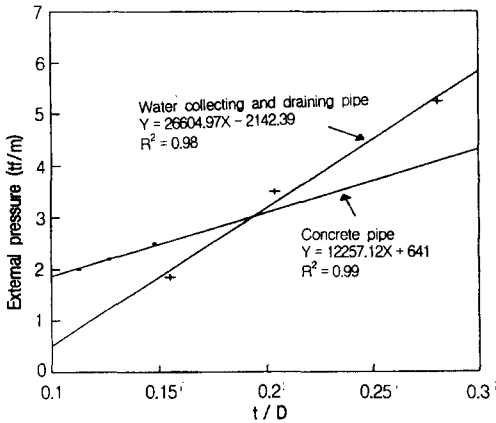


Fig. 5 Comparison of external pressure and t/D

이 결과에서 살펴보면, t/D의 값이 클수록 무근 콘크리트관과 집·배수관의 외압강도는 증가하는 경향을 보였으며, 무근 콘크리트관보다 집·배수관의 외압강도 증가율이 크게 나타났다.

그리고 Fig. 5에서 무근 콘크리트관과 집·배수관의 외압강도와 t/D와의 회귀직선에서 t/D=0.2 근처에서 교차하는 점이 있는데, 이는 무근 콘크리트관과 집·배수관이 동일한 두께에서 동일한 강도를 발휘한다는 것을 나타낸다.

한편, 이 교차점을 기준으로 t/D=0.2 이하에서는 무근 콘크리트관이 집·배수관보다 외압강도가 크게 나타났고, t/D=0.2 이상에서는 오히려 집·

배수관의 외압강도가 크게 나타남으로써, 무근 콘크리트관과 비교하여 집·배수관이 지나치게 평균 지름에 비해 관두께를 크게 만들 경우, 외압강도는 우수할지 모르나 경제적인 면에서 불리함을 가져올 수 있고, 이와 반대로 지나치게 평균지름에 비해 관두께를 작게 만든다면 외압강도의 부족을 수반하게 되므로 적절한 단면의 선택이 중요하다고 생각된다.

이와 같이 집·배수관의 평균지름과 두께를 조절하여 외압강도를 설계할 수 있으며, 무근 콘크리트관의 외압강도와 유사하거나 그 이상의 강도를 나타내는 관을 제작 알 수 있어, 설치하고자 하는 농경지의 조건을 고려한 어떤 깊이에서도 매설이 가능할 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 폴리머 콘크리트를 이용한 집·배수용 관을 개발하고자 실시하였으며, 집·배수관 소재의 특성구명과 제조법 개발 및 성능평가를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 개발된 집·배수관의 투수성은 시간당 5.917 l/cm<sup>2</sup>로, 투수성능이 매우 우수한 것으로 나타났다.
2. 외압강도는 2-dge 시험시 1.85~5.25tf/m, 모래지반인 경우는 2.6~6.2tf/m로 나타나, 모래지반에서의 외압강도가 최대 40%이상 크게 나타났으며, t/D가 클수록 외압강도는 증가하는 경향을 보였다.
3. 집·배수관과 무근 콘크리트관의 외압강도는 t/D가 0.2보다 작은 경우에는 무근 콘크리트관의 외압강도가 크고, t/D가 0.2보다 큰 경우에는 개발된 집·배수관의 외압강도가 크게 나타났다.
4. 수직변위는 2-edge 시험시 0.48~1.06mm, 모래지반인 경우는 1.01~1.89mm로써, 외압강도에 대한 수직변위는 모래지반에서 최대 110%이상 크게 나타났으며, t/D가 클수록 집·배수관의 수직변위는 감소하는 경향을 보였다.
5. 집·배수관의 설계 외압강도는 관의 평균지

름과 두께의 조절에 의하여 무근 콘크리트관의 외압강도와 유사하거나 그 이상의 강도를 나타낼 수 있으며, 농경지의 조건을 고려한 어떤 깊이에서도 매설이 가능할 것으로 나타났다.

따라서, 집·배수를 목적으로 하는 농업수리시설물에 활용하면 효과가 매우 클 것으로 생각된다.

강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터의 연구비에 의하여 수행된 연구 결과의 일부임.

## 참 고 문 헌

1. 성찬용 외 1인, 1999, 플라이 애시와 탄산칼슘을 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 물리·역학적 특성, 한국농공학회지, 41(2), pp. 104~110.
2. 연구석 외 3인, 1993, 충전재가 폴리머 콘크리트의 배합과 역학적 성질에 미치는 영향, 한국농공학회지, 35(2), pp. 81~91.
3. Paturoyer, V. V., et al, 1986, Recommendations on polymer concrete mix design, NIZHB, Moscow, pp. 18.
4. Vipulanandan, C., Paul E., 1993, Characterization of polyester polymer and polymer concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 5(1), pp. 62~82.