

# 폴리머 콘크리트를 이용한 프리캐스트 수로구조물 개발

## Development of precast channel structure using polymer concrete

김 관호 \*      조 태열\*\*      박 광수\*\*\*      신 수균\*\*\*\*      연 규석\*\*\*\*\*  
Kim, Kwan Ho      Jo, Tae Yeol      Park, Kwang Su      Shin, Su Gyun      Yeon, Kyu Seok

### ABSTRACT

This study was developed high-quality a large size precast channel structure using polymer concrete to improve quality of the product as well as to enhance construction quality. Precast PC represent the fastest growing segment of the polymer concrete industry. The fast curing, high strength, and low impermeability permit thin section and rapid reuse of moulds. Developed precast channel structure will be structural experiment and analysis. Also, through an example to construct will be develop the most suitable section survey and make practicable.

### 1. 서 론

농업생산기반시설은 농지를 대상으로 시행되므로 사업구역이 광범위하고 소규모 시설이 산재되어 있기 때문에 구조물의 품질관리가 어렵고 다른 공사와는 달리 공사기간이 비영농기인 동절기에 편중되어 있어 현장타설 콘크리트 구조물의 시공에 많은 제약이 수반되고 있다. 특히, 대단면인 공사의 경우 공장제품이 없고 현장타설 콘크리트 개거로 시공하고 있으나, 용수단수 몇 일 후부터 단기간에 공사함에 따라 토공구간의 포화수 용출 등으로 콘크리트의 강도와 조직내 공극과다 등으로 내구연한이 저하되고, 개보수공사 구간의 경우 장비진입 곤란으로 레미콘 운반시간 지연과 급속공사를 위한 다짐불량으로 콘크리트 품질저하에 따른 동해·부식으로 구조물이 조기 노후화하여 장기적인 경제성 저하가 발생하고 있는 실정이다. 향후 농업토목공사에서도 최근 국내의 급격한 경제성장과 건설품질의 사회문제변화로 일반 콘크리트 뿐만아니라 콘크리트 제품 분야에서도 많은 양적·질적인 변화가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 신건설재료인 폴리머 콘크리트를 이용하여 조립식 수로구조물을 제작하여 구조물의 품질확인파 구조물의 내구성 증대를 통한 장기적 경제성 확보를 위해 경쟁력 있는 고품질의 대형 조립식 수로구조물 개발하는데 있다.

\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원  
\*\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 구조지반연구실장  
\*\*\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원  
\*\*\*\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원  
\*\*\*\*\* 정회원, 강원대학교 농공학과

## 2. 폴리머 콘크리트 용수개거 단면설계

본 연구에서는 농업 수로구조물 중 가장 많이 사용되고 있는 폴리머 콘크리트 용수개거를 제작함에 있어 기존의 시멘트 콘크리트 제품으로 생산되지 않는 대단면 크기로  $B \times H \times L = 1.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 2\text{m}$  를 개발하였다. 이에 대한 구조물의 단면 두께 및 형상에 대한 단면설계를 실시하였으며 단면설계의 근본개념은 폴리머 콘크리트가 고강도이므로 단면의 두께를 줄일수 있으므로 상재하중, 수평토압, 수압에 저항할수 있도록 벽체단면은 돌기(rib)로 형성하였고, 바닥판은 휨모멘트에 저항할수 있는 두께로 설정하였다. 단면설계 검토는 T형보 이론을 응용하였다.

### 2.1 단면설계

#### 2.1.1 단면치수 결정

##### (1). 재료상수

- 1) 폴리머 콘크리트: 압축강도  $1,300\text{ kgf/cm}^2$ , 휨강도  $200\text{ kgf/cm}^2$ , 탄성계수  $2.9 \times 10^5\text{ kgf/cm}^2$
- 2) 용접철망 : 인장강도  $1800\text{ kgf/cm}^2$ , 탄성계수  $1.6 \times 10^6\text{ kgf/cm}^2$
- 3) 리브철근 : SD40 (D19), 탄성계수  $2.1 \times 10^6\text{ kgf/cm}^2$

##### (2). 중립축 산정

$$C = \frac{A_1 \cdot 1 + A_2 \cdot \frac{t_f}{2} + A_3 \cdot (t_f + \frac{x}{2}) + A_4 \cdot (t_f + x - 1)}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

여기서,  $A_1 = n_1 A_0 = n \cdot 10 \cdot \pi \cdot \frac{(0.6)^2}{4}$  (압축축 철근 환산단면적)

$$A_2 = 200 \cdot t_f \text{ (저판단면적)}$$

$$A_3 = 18x \text{ (저판리브단면적)}$$

$$A_4 = n_2 \cdot 6 \cdot \pi \cdot \frac{1}{4} \text{ (리브철근 환산단면적)}$$

##### (3). 단면2차모멘트 산정

$$I = \left[ \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot t_f^3 + (C - \frac{t_f}{2})^2 \right] + \left[ A_1 \cdot (C - 1)^2 \right]$$

$$+ \left[ \frac{18}{12} \cdot x^3 (C - (t_f + \frac{x}{2}))^2 + A_4 (t_f + x - 1 - C)^2 \right]$$

##### (4). 하중조합에 의한 최대모멘트 산정

$$M_{\max} = 195,375\text{ kgf} \cdot \text{cm} = 1.95\text{ tf} \cdot \text{m} \text{ (2m당)}$$

하중조합 1) 상재하중 :  $q = 700\text{ kgf/m}^2$

2) 수 압 :  $h = 1\text{m}$  (수평수압 =  $200 \cdot v \cdot h$ )

3) 수평토압 : 내부마찰각  $30^\circ$  습윤단위중량  $2.0\text{ tf/m}^3$  정지토압계수 0.5 [수평토압 =  $200 \cdot k \cdot (v - 1) \cdot h$ ]

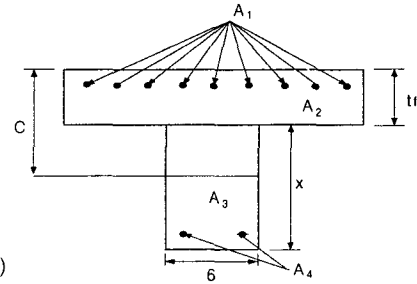


그림 1 중립축산정을 위한 T형보 해석

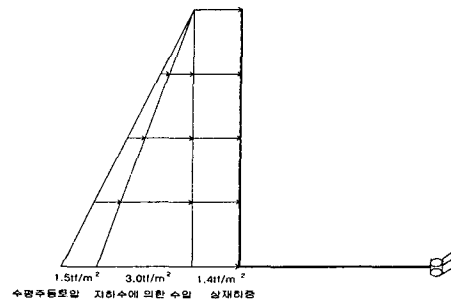


그림 2 용수개거 벽체에 작용하는 하중 조합

(5). 최대휨응력 산정

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I} \cdot (t_f + x - c)$$

(6). 안전율 산정

$$k = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} \quad \text{여기서, } \sigma : \text{설계휨강도 (200 kgf/cm}^2\text{)}$$

표 1 결정된 폴리머 콘크리트 용수개거 단면치수

측벽상부 두께 (cm)	측벽상부 리브두께 (cm)	리브 폭 (cm)	리브보강 철근	리브 개수	저판 두께 (cm)	폴리머 물량 (m <sup>3</sup> /m)	최대 휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	안전율 (설계휨강도/최대휨응력)	비고
3.0	5.0	5.0	D19	10개 /2m	5.5	0.25	148	1.35	설계휨강도 200kgf/cm <sup>2</sup>

### 2.2 구조해석

결정된 단면치수를 이용하여 유한요소프로그램을 이용하여 상재하중, 토압 및 수압 등에 의한 용수개거 바닥판 및 벽체에 생기는 구조해석을 실시하였다. 그림 3은 하중조합에 따른 모멘트도를 나타낸 것이며, 그림 4는 하중조합에 따른 전단력도를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알수 있듯이 용수개거 구조물에 작용하는 최대모멘트는 바닥판과 벽체최하단부에서 발생하고 최대전단력은 벽체의 최하단부에서 나타났다. 이 결과로부터 바닥판과 벽체가 교차하는 부분에서는 보강이 필요한 것으로 나타나 구조물의 저항모멘트와 전단력을 향상시키기 위하여 용접철망과 철근을 보강재로 선정하였다.

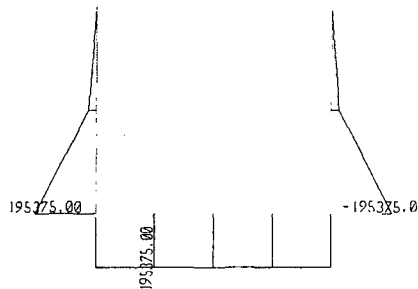


그림 3 하중조합에 따른 모멘트도

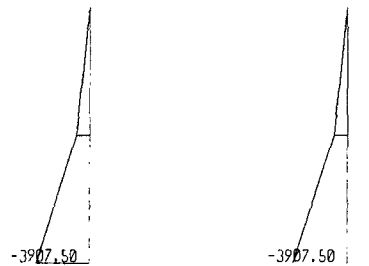


그림 4 하중조합에 따른 전단력도

### 2.3 단면설계도

단면설계와 구조해석의 과정을 거쳐 시작품을 제작·개발하기 위하여 단면설계도를 작성하였다. 그림 5는 폴리머 콘크리트 용수개거 단면도를 나타낸 것으로 상·하부 헌치에 연결을 위한 이음철물을 표시하였다. 그림 6은 폴리머 콘크리트 용수개거 측면도로서 2m당 돌기를 좌우에 각각 5개를 형성하였으며, 그림 7은 폴리머 콘크리트 용수개거 평면도이고, 그림 8은 폴리머 콘크리트 용수개거 입체도를 나타낸 것이다.

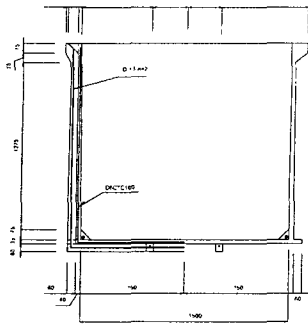


그림 5 폴리머 콘크리트 용수개거 단면도

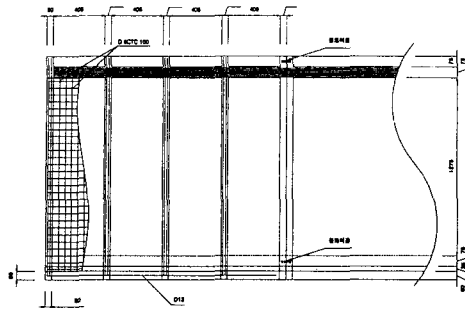


그림 6 폴리머 콘크리트 용수개거 측면도

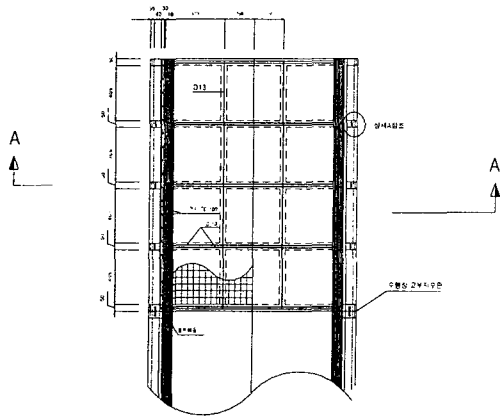


그림 7 폴리머 콘크리트 용수개거 평면도

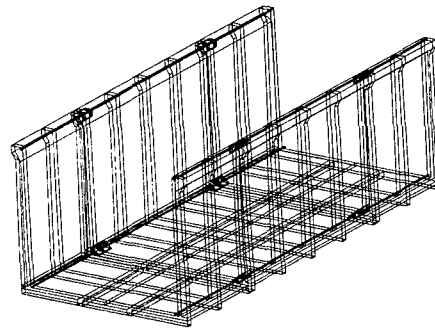


그림 8 폴리머 콘크리트 용수개거 입체도

### 3. 사용재료

#### 3.1. 결합재

본 연구에 사용된 결합재는 스티렌 모노머가 38% 포함된 불포화 폴리에스터 수지(UP), 충전제는 옥탄산 코발트 8%, 촉매제로서는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO)가 사용되었으며, 불포화 폴리에스터의 성질은 표 2와 같다.

표 2 불포화 폴리에스터의 성질

비중 (25℃)	점도(25℃mPa · s)	산가	스티렌 함유량(%)
1.13	300	20.0	40

#### 3.2. 충전재 및 골재

충진재로서는 중질 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)을 사용하였으며, 굵은골재로는 최대치수가 7mm인 규사와 잔골재로는 5mm이하의 규사를 사용하였다. 충전재 및 골재는 생산공장의 플랜트에서

건조된 것을 사용하였다.

### 3.3 배합비 결정

폴리머 콘크리트에 결합재로 사용되는 수지량이 증가함에 따라 폴리머 콘크리트의 강도는 증가하지 만 수지량이 12 wt.% 정도 이상이 되면 재료의 분리와 경화수축량 등이 커지고 작업성이 현저히 달 라지므로 신중히 고려해야 한다.<sup>6)</sup> 증량과 접착력 증진을 위한 충전재의 사용에 있어 너무 많은 양을 사용하면, 점도가 높아지고 작업성이 나빠져 경화후 압축 및 휨 강도가 저하된다. 또한 강도면에서는 세립의 충전재를 사용하는 것이 좋지만 워커빌리티에 대한 영향을 고려하면 적당한 입도를 조합하여 사용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 이러한 영향을 고려함과 동시에 제작될 폴리머 콘크리트 용 수개거의 단면에 타설이 용이 할 수 있는 배합비를 반복실험을 통하여 얻은 결과는 표 3과 같다.

표 3 폴리머 콘크리트 배합비

(unit : wt.%)

결 합 재		충진재	골 재	
불포화 폴리에스터 수지	수축저감제		굵은골재	잔골재
10	2	20	48	20

### 3.4 강도특성

실험체는 KS F 2419(폴리에스터 레진 콘크리트의 강도시험용 실험체 제작방법)에 규정된 방법에 따 라 원주형 공시체  $\phi 7.5 \times 15$  cm와 각주형공시체  $6 \times 6 \times 24$ cm을 각각 제작하였으며, 표4는 폴리머 콘크 리트의 강도특성 시험한 결과를 나타낸 것이다.

표 4 폴리머 콘크리트의 강도특성

압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	조깅인장강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	휨강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수(kgf/cm <sup>2</sup> )
1,300	110	200	$2.90 \times 10^9$

## 4. 폴리머 콘크리트 용수개거 시작품 제작

폴리머 콘크리트 용수개거  $B \times H \times L = 1.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 2\text{m}$  에 대한 단면설계와 구조해석에 따라 철물 조립식 거푸집을 제작하였다. 이 과정에서 용접철망(D6)은 용수개거 단면전체를 보강할수 있도록 ㄷ자 모양으로 조립하였고, 돌기부분의 보강은 D19인 철근을 ㄷ자 형식으로 5개를 제작하여 용접 철망과 크기에 맞게 조립 한 후 거푸집에 설치 하였다. 이때 최소의 피복두께를 형성하도록 스페이서 를 부착 하였으며, 특히 돌기부분의 철근배근에는 세심한 주의를 기울였다,

거푸집을 조립한 후 수지, 골재 및 충전재를 혼합기에서 충분히 혼합한 후 폴리머 콘크리트를 타설하 면서 진동 및 다짐을 주었으며, 시작품은 타설후 약 2시간의 기건양생을 실시한 다음 거푸집을 해체하 여 시작품을 탈형하였다.

폴리머 콘크리트를 공장제품으로 생산할 경우 단시간의 양생으로 고강도를 발현하므로 기존의 시멘 트 콘크리트 제품보다 단면의 두께를 줄일 수 있었고, 거푸집의 효율을 증진 시킬 수 있었다. 그림 9 는 개발된 폴리머 콘크리트 용수개거를 나타내고 있으며, 그림 10은 연결된 폴리머 콘크리트 용수개거

를 나타내는 것으로 용수개거 2분을 볼트를 이용하여 조립식으로 연결된 것을 나타내고 있다.



그림 9 개발된 폴리머 콘크리트 용수개거

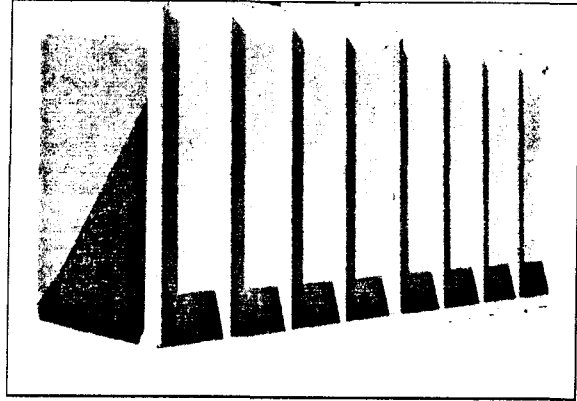


그림 10 연결된 폴리머 콘크리트 용수개거

## 5. 결 론

- 1) 본 연구에서는 구조물의 품질확인 및 내구성 향상을 통한 장기적 경제성 확보를 위해 폴리머 콘크리트를 이용하여 경쟁력 있는 고품질의 대형 조립식 수로구조물을 개발하였다.
- 2) 폴리머 콘크리트를 공장제품으로 생산할 경우 단시간의 양생으로 고강도를 발현하므로 기존의 시멘트 콘크리트 제품보다 단면의 두께를 줄이 수 있었고, 또한 거푸집의 효율을 증진 시킬 수 있었다.
- 3) 개발된 폴리머 콘크리트 용수개거에 대한 구조실험 및 분석을 통하여 구조해석 된 결과값과 비교하고, 현장적용 시범시공을 통하여 최적의 단면을 갖는 수로구조물을 개발하여야 할 것이다.
- 4) 또한 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트보다 내구성이나 역학적 특성이 우수하나, 재료비가 고가이므로, 보다 실용화 될 수 있는 수로구조물을 개발함과 더불어 생산 및 시공 품셈을 정립시켜야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Fowler, D. W., "Structural Design of Polymer Concrete," Proceedings of the 3rd Southern African Conference and ICPIIC Workshop, pp. 375-387, 1997
2. Helal, M. S., "Experimental Study of Mechanical Properties and Structural Applications of Polymer Concrete," the Degree of Doctor of Philosophy, the University of Rice, 1978
3. Kobayashi, K., Ito, T., "Several Physical Properties of Reinforced Concrete," Proceedings of the First ICPIIC, pp. 236-240, 1978
4. 농어촌진흥공사, "수리시설물설계자동화 시스템 개발", 1996
5. 농어촌진흥공사, "수리구조물제품개발 및 보급", 1990
6. 김관호, "고강도 폴리머 콘크리트의 역학적 특성", 강원대학교 대학원 석사학위논문, 1994
7. 김관호, "철근보강 고강도 폴리머 콘크리트보의 휨거동", 강원대학교 대학원 박사학위논문, 2000