

얇은 폴리머 콘크리트 패널의 단면 결정을 위한 기초연구

A Fundamental Study on Section Design of Polymer Concrete Thin Panel

연 규 석* 유 능 환* 최 동 순** 김기락** 김남길**
Yeon Kyu Seok Ryu Neung Hwan Choi Dong Soon Kim Ki Rak Jin Nan Ji

ABSTRACT

This study was initiated to develop a precast polymer concrete production method and to describe an criterion for the optimum thickness of precast polymer concrete by a series of experiment and structural analysis. Nine specimens with different thickness and steel bar reinforcement were prepared and tested and analyzed with respect to structural behaviors. Cracking moment was mostly affected by the thickness but steel reinforcement seemed not to have effect on the monment. Data of the study could be widely applied in designing and planning of production processes of many polymer concrete products of which all or some of components are composed with thin panels.

1. 서 론

현재, 시멘트 콘크리트의 여러 가지 단점을 보완하기 위해 건설분야에서 폭넓게 사용되고 있는 폴리머 콘크리트의 제품은 1950년대에 인조대리석의 제조로부터 개발이 시작되었으며, 그보다 20년뒤인 1970년대 비로소 건설분야에 적용이 시작 되었다. 그러나 근년에는 폴리머 콘크리트의 용도는 다양한 공장제품의 제조에 까지 응용되기에 이르렀다.

이러한 공장제품 제작시 가장 문제가 되는 것이 부재의 단면결정이다. 그 이유는 부재의 단면이 너무 두꺼우면 경제적으로 불리하고 너무 얇으면 부재가 약하기 때문이다. 맨홀같은 대형 제품은 구조해석을 통해 단면을 결정하지만 수로용 플룸이나 낙차공과 같이 얇은 단면을 갖는 조립식 제품은 구조해석을 하지 않는 것이 일반적이다. 예를 들면 수로용 플룸의 경우 KS 규정에는 바닥판에 대한 실험을 실시하여 기준강도를 만족시키면 합격토록 되어 있다. 그러나 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 비교해 물리적·역학적 성질이 크게 다르므로 시멘트 콘크리트에 적용되는 기준을 그대로 폴리머 콘크리트에 적용하는 것은 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 고강도이고 산과 염에 대하여 저항성이 우수한 불포화 폴리에스터 수지를 사용하여 패널을 제작하고 구조실험과 해석을 통해 단면의 최적 두께 결정방법을 구명하여 제시함으로써 폴리머 콘크리트 제품개발을 위한 기초자료를 제공코저 한다.

* 정희원, 강원대학교 농공학과 교수

** 강원대학교 농공학과 대학원생

2. 사용재료

2.1 결합재

불포화 폴리에스터 수지를 결합재로 하여 제조하였고, 주요 재료로는 결합재로서는 스티렌모노머가 38%첨가된 불포화 폴리에스터수지(UP)와 수축저감제를, 촉진제로 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine용액(C₈O₈)을 촉매로서는 메틸에틸케톤 포옥사이드(MEKPO)을 첨가한 것을 사용했다. 액상 수지의 성질은 Table 1과 같다.

2.2 충전재 및 골재

충전재로서는 중질탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였으며, 세골재는 No.4번체를 통과한 강모래, 조골재는 최대치수 10mm인 화강암쇄석을 사용했다. 충전재 및 골재는 100±2℃에서 24시간 건조후 냉각시켜 사용하였다.

3. 실험방법

3.1 폴리머 콘크리트의 배합

JIS A 1181(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 준하여 Table 2 및 Table 3에 표시된 배합비를 이용하여 폴리머 콘크리트를 제조하였다.

3.2 시험체 제작

본 연구에서 제작된 시험체의 치수는 길이 500 mm, 폭 300 mm 이고, 두께가 20, 25, 30 mm로 하였으며, 시험체 내부에는 직경 3.2, 4.0, 6.0 mm인 철근을 격자형으로 배근하였으며, 상세사항은 Table 4와 같다. 압축강도, 휨강도, 할열인장강도 및 탄성계수 등을 구하기 위해 Ø7.5×15cm 크기의 원주형과 6×6×24cm크기의 각주형 시험체를 제작하였다.

이와 같은 시험체는 온도가 25±3℃이고, 습도가 60±5%인 항온항습실에서 7일간 양생시킨후 시험에 사용하였다.

Table 1. Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity (20℃)	Viscosity (20℃, mPa·s)	Acid value	Styrene content (%)
1.12±0.02	412	24±4	38

Table 2. Binder formulations for polymer concrete by weight

Unsaturated polyester resin (UP)	Shrinkage reducing agent (SR)	CoOc	MEKPO
80%	20%	0.5 Phr	1.0 Phr

* Phr : parts per hundred parts of Resin

Table 3. Mix proportions of polymer concrete

(Unit : wt.%)

Binder	Heavy calcium carbonate	Aggregate	
		Coarse	Fine
15	15	30	40

Table 4. Details of polymer concrete panel

(Unit : mm)

Series	Thickness	Diameter of steel bar		Series	Thickness	Diameter of steel bar		Series	Thickness	Diameter of steel bar	
T20-φ32	30	3.2		T25-φ32	25	3.2		T30-φ32	30	3.2	
T20-φ4.0	20	4.0		T25-φ4.0	25	4.0		T30-φ4.0	30	4.0	
T20-φ6.0	20	6.0		T25-φ6.0	25	6.0		T30-φ6.0	30	6.0	

3.3 시험방법

KS F 2481, KS F 2480, KS F 2482 및 KS F 2438에 준하여 압축, 할열인장, 휨 및 탄성계수를 측정하였다. 패널시험체의 휨 시험은 KS F 2407(중앙점 하중법)에 규정된 방법에 따라 Fig. 1과 같은 장치에 의해 측정 되었으며, 이때 하중은 최대용량 20ton의 만능시험기에 의해 시험체가 파괴될 때까지 재하하였다. 패널시험체의 인장축 및 압축축 변형도는 스트레인 게이지를 Data logger에 의해 100kgf 재하시 마다 측정하였으며, 이때에 균열하중도 측정되었다. 시험시에는 시험체를 받침대 위 수평으로 놓고 상부 및 하부에 두께 2mm인 고무판과 지름 3cm인 환봉을 설치하여 하중이 시험체에 균일하게 가해지도록 하였다. 재하상태는 Fig. 1같으며, 순지간은 25cm, 시험체의 길이는 50cm로서 장방향으로 하중이 가해지도록 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시험결과

소재로 사용된 폴리에스터 폴리머 콘크리트의 역학적 성질에 대한 시험결과를 Table 5와 같다. 이 결과로부터 각종 강도는 시멘트 콘크리트에 비해 높은 반면에 탄성계수는 오히려 작게 나타났고, 극한 변형율은 시멘트 콘크리트에 비해 2.3배 정도 크게 나타났다.

패널의 철근량에 따른 균열모멘트를 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 이 결과에서 볼 때 폴리머 콘크리트 패널의 균열모멘트는 72~331kg·m로서 두께가 두꺼워 질수록 증가하는 반면, 철근량이 증가할 경우는 그래프가 거의 한 선상에 밀집되어 있어 균열모멘트가 철근량의 영향을 받지 않음을 알 수 가

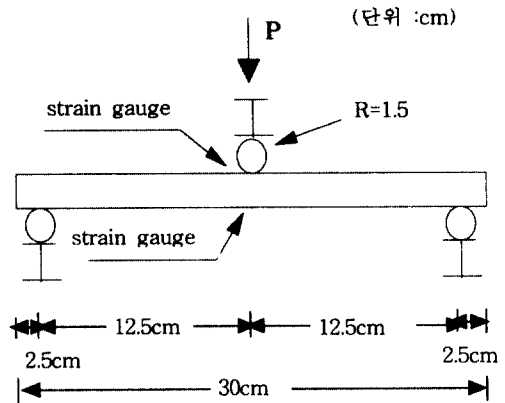


Fig. 1 Schematic sketch of three point flexural test

Table 5. Strength properties of polymer concrete
(Unit : kg/cm²)

Compressive strength	Flexural strength	Splitting tensile strength	Modulus of elasticity
765	196	105	2.29 × 10 ⁷

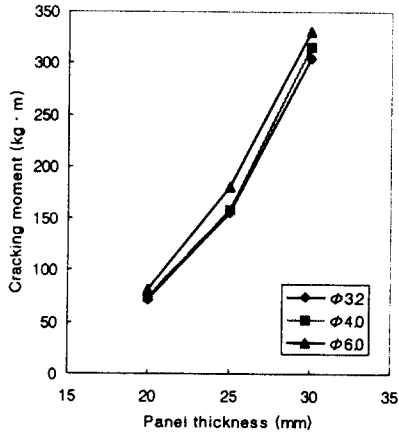


Fig. 2 Relationship between cracking moment and panel thickness with respect to diameter of steel bar

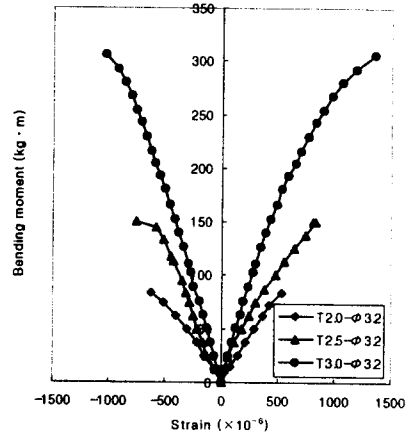


Fig. 3 Relationship between bending moment and strain with respect to panel thickness but with the same 3.2mm steel bar reinforcement

있다. 그러나 균열모멘트는 패널 두께의 증가에 따라 그 양상이 거의 직선적으로 변화해서 균열모멘트가 두께의 증가와 매우 밀접한 관계에 있음을 알 수 있으며, 이 결과는 설계하중에 따른 패널두께 결정에 매우 유익한 기초자료라고 하겠다.

4.2 패널의 변형

Fig. 3은 철근량(철근 지름 $\phi=3.2, 4.0, 6.0\text{mm}$ 중에서 $\phi=3.2\text{mm}$ 만 선택)이 일정할 때 패널의 두께에 따른 휨모멘트-변형을 사이의 관계도로서 동일한 모멘트가 작용할 때 두께가 증가함에 따라 대응되는 패널의 변형율은 작아지는 경향을 보였다. 또한 철근 지름이 일정하고 패널의 두께가 2cm에서 3cm로 변할 때 휨모멘트는 약 4배 증가하여 인장 및 압축측의 변형율은 두께가 증가함에 따라 커지는 경향을 보였다.

그러나 Fig. 4는 패널의 두께가 일정할 때 철근량에 따른 휨모멘트-변형을 사이의 관계도로서 동일한 모멘트가 작용할 때 철근량의 증가에 따라 대응되는 패널의 변형율은 큰 변화를 나타내지 않았다.

4.3 철근의 변형

Fig. 5는 철근량(철근 지름 $\phi=3.2, 4.0, 6.0\text{mm}$ 중에서 $\phi=3.2\text{mm}$ 만 선택)이 일정할 때 패널의 두께에 따른 철근의 휨모멘트-변형을 사이의 관계도로서 동일한 모멘트가 작용할 때 두께가 증가함에 따라 철근에 작용하는 응력이 작아짐을 알 수 있었다. 또한 철근 지름이 일정하고 패널의 두께가 2cm에서 3cm로 변할 때 휨모멘트는 약 4배로 증가하였고, 균열 발생시 철근의 변형율은 패널 두께가 증가함에 따라 커짐을 알 수 있었다. 그러나 Fig. 6은 두께가 일정할 때 철근량에 따른 철근의 휨모멘트-변형을 사이의 관계도로서 동일한 모멘트가 작용할 때 철근량이 증가함에 따라 대응되는 철근의 변형율은 큰 변화가 없었다.

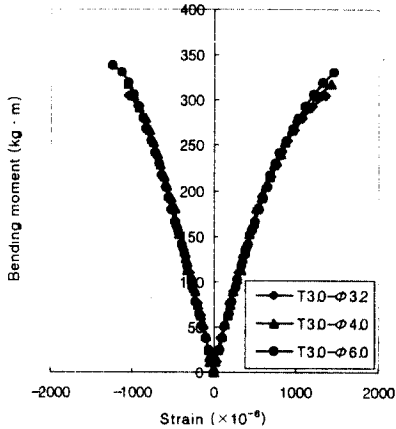


Fig. 4 Relationship between bending moment and strain of 30mm thick panel specimen with respect to steel bar diameter

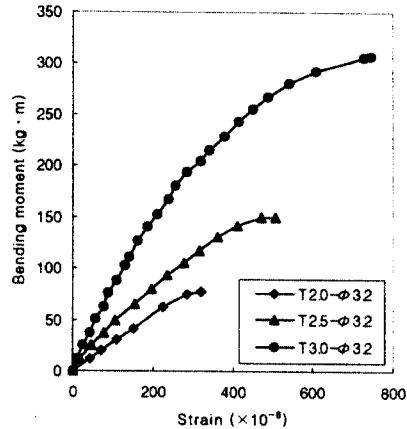


Fig. 5 Relationship between bending moment and strain with respect to panel thickness but with the same 3.2mm steel bar reinforcement

4.4 판 두께의 영향

Fig. 7은 철근량(철근 지름 $\phi=3.2, 4.0, 6.0\text{mm}$ 중에서 $\phi=3.2\text{mm}$ 만 선택)이 같고 두께가 다른 판의 휨모멘트-곡률 관계를 나타낸 것이고 Fig. 2는 판상 시험체의 균열모멘트-두께 관계를 나타낸 것이다. Fig. 7에서 볼 때 균열발생시 곡률의 60~70% 범위($\phi=400\sim500\mu/\text{cm}$)에서 거의 직선적인 관계($R=0.99$ 이상)를 나타냈다. 여기에서 $D=20, 25, 30\text{mm}$ 일 때 휨강성($EI=M/\phi$)을 산출해 보면 각각 965, 1934, 3777 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 로서 두께가 클 수록 크게 나타났다. 즉, Fig. 2에서 보면 얇은 판의 균열모멘트는 판의 두께에 따라 거의 직선 관계로 상승됨을 알 수 있다.

또한 Fig. 3은 휨모멘트-변형률의 관계곡선으로서 폴리머 콘크리트판의 균열은(두께3cm에서) 인장측 변형율이 1200 μ 정도에서 발생하여 급격히 전 단면에 확산되었다.

4.5 제안식

본 실험에서 얻은 철근량이 휨강성이나 균열모멘트와 같은 역학적 거동에 영향을 미치지 못한다는 사실과 보의 휨이론을 적용하여 다음과 같은 식을 제안할 수 있다. 즉 휨을 받는 단면에서 철근의 인장력을 무시하고 선형탄성재료인 폴리머 콘크리트만을 고려하였다.

균열모멘트의 추정을 위한 제안식은 아래와 같다.

$$M = k(T)^n \sigma_x$$

여기서, M : 균열모멘트($\text{kg}\cdot\text{m}$), T : 패널의 두께(cm), σ_x : 폴리머 콘크리트의 휨강도(kg/cm^2) 제안식의 상수는 본 실험결과에 의해 구하면 $k = 0.036$, $n = 3.52$ 로 산출되어 $M = 0.036(T)^{3.52}\sigma_x$ 라는 제안식을 얻게 된다.

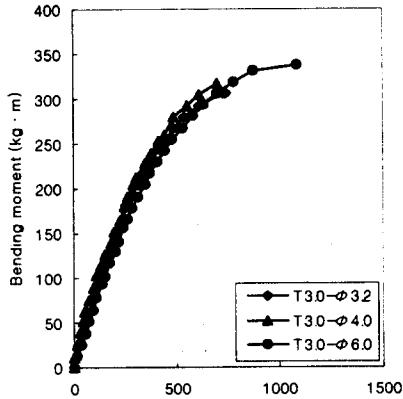


Fig. 6 Relationship between bending moment and curvature of 30mm thick panel specimen with respect to steel bar diameter

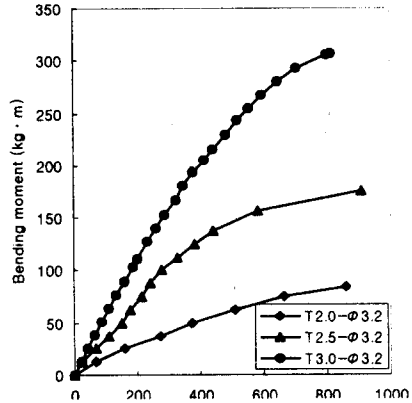


Fig. 7 Relationship between bending moment and curvature with respect to panel thickness but with the same 3.2mm steel bar reinforcement

5. 결론

이 연구는 폴리머 콘크리트를 이용한 조립식 제품 설계시 최적단면을 결정하기 위하여 얇은 패널에 대한 휨 특성을 구명한 것으로서 얻어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폴리머 콘크리트 패널의 제작에 사용된 폴리머 콘크리트의 비중은 2.30, 흡수율은 0.39% 였고, 압축 강도는 765 kg/cm^2 , 할열인장강도는 105 kg/cm^2 , 휨강도는 196 kg/cm^2 이었으며, 탄성계수가 $2.29 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 포아손비가 0.291로 나타났다.
2. 철근을 배근한 폴리머 콘크리트 패널의 균열하중에 영향을 주는 요인은 패널의 두께이며, 철근은 부재의 인성증진에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다.
3. 본 실험의 결과를 시멘트 콘크리트 플룸에 적용시켜 비교해 본 바 그 두께를 1/2~1/2.3로 축소시킬 수 있는 것으로 나타났다.
4. 본 연구를 통해 단면의 두께결정을 위한 제안식($M=0.036(T)^{3.52} \sigma_x$)을 유도하였으며, 이는 조립식 제품용 패널 설계시 최적단면의 결정에 적용할 수 있는 유용한 식이다.
5. 본 연구는 철근으로 보강한 얇은 폴리머 콘크리트 패널의 기초연구로서 보다 다양한 제품개발을 위해서는 보강재의 다양화에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 농어촌 연구원, "수리구조물 제품 개발 및 보급", 농어촌진흥공사, pp.88~90, 1990
2. 金子林雨 外 5名, "構造材料實驗法", 森北出版株式會社, pp.214~265, 1991
3. 김문생 외 4인, "재료역학", 청문각, pp.192-199, 1990
4. 연규석, 김성순, 이윤수, 장태연, "폴리머 콘크리트의 공장제품의 응용", 한국농공학회 발표논문집, pp. 146~150, 1994