

# 경량 폴리머 콘크리트의 특성 연구

## Evaluation for Characteristics of Lightweight Polymer Concrete

채 경 회\* · 최 예 환\*\*  
Chae, Kyung Hee Choi, Ye Hwan  
연 규 석\*\* · 이 윤 수\*\*\*  
Yeon, Kyu Seok Lee, Youn Su

### Abstract

Recent advance in material technology has accelerated the development of high strength concrete using lightweight artificial aggregates. The lightweight concrete has many advantages that the reduction of dead loads and the increase in load capacity can offer.

In this study, the lightweight polymer concrete using unsaturated polyester resin and lightweight aggregate were prepared and tested for testing the physical and the mechanical properties.

The compressive strengths of lightweight polymer concretes with apparent specific gravity from 1.32 to 1.78 were 250 to 470 kgf/cm<sup>2</sup> and flexural strengths were measured to be in the range of 1/3~1/4 of compressive strength.

### I. 서 론

일반적으로 시멘트 콘크리트는 건설분야에서 내구적이고 경제적인 구조재료로서 폭넓게 사용되고 있지만 다른 구조재료와 비교할 때 중량에 비해 강도가 약하다는 것이 가장 큰 결점이라 할 수 있다. 이러한 시멘트 콘크리트의 결점은 현대의 구조물이 거대화, 고층화로 되는 추세에 비추어 볼 때 구조부재로서 사용할 경우 매우 큰 결점이라 할 수 있으며, 건설재료 분야에서도 이러한 점에 착안하여 경량이면서 고강도를 갖는 신소재 콘크

리트의 개발에 대한 연구를 지속적으로 수행 중에 있다. 구조재료의 경량화에 따르는 기대효과로는 자중의 경감, 작업성, 경제성 및 높은 생산성 등 부가가치를 창출 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.<sup>1)</sup>

한편 시멘트 콘크리트의 결합재인 시멘트를 액상수지로 대체하여 제조되는 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 비교할 때 초기에 고강도를 발현할 뿐 아니라 접착성, 수밀성, 내약품성, 내동결 융해성 등에 우수한 고성능 건설재료로서 그 용도가 확대되고 있다. 특히 액상수지의 비중은 시멘트 비중의 약 1/3이고, 여기에 양질의 경량골재를

\*우송공업대학 건축설비과

\*\*강원대학교 농업생명과학대학

\*\*\*주성대학 건설경영공학부

키워드 : 폴리머 콘크리트, 인공경량골재, 가사시간  
경화수축, 비강도

사용하면 시멘트 콘크리트 보다 가벼우면서도 강도가 높은 경량 폴리머 콘크리트의 개발이 가능하다.

본 연구에서는 경량과 고강도를 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 건설재료의 개발을 목적으로 인공 경량골재와 불포화 폴리에스터 수지를 결합재로 사용한 경량 폴리머 콘크리트를 개발하고 결합재량 및 잔골재로 규사와 경량골재를 변화시켜 기초적 성질 및 강도특성에 미치는 배합요인의 영향을 실험적으로 구명하였다.

## II. 사용재료

### 1. 결합재

결합재로서는 액상 불포화 폴리에스터 수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머(St)를, 촉진제로 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매제로서 methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO)를 사용하였다. 사용된 액상수지의 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Styrene content (%)	Acid value
1.13	325	38.0	16.9

### 2. 충전재 및 경량골재

충전재는 중질탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>), 골재는 규사

및 국내에서 생산되는 인공경량골재 2종류를 사용하였다. 충전재 및 경량골재의 함수율은 0.1% 이하로 하였으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

## III. 시험방법

### 1. 시험체 제작

시험체는 KS F 2419(폴리에스터 레진 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 의하여 제작하였으며, 배합비는 Table 3과 같다. 또한 콘크리트의 양생은 항온항습실(25°C, 60%R.H.)에서 7일간 양생시킨 후 시험에 사용하였으며, 압축 및 인장 강도용 공시체는  $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ , 휨강도용 공시체는  $6 \times 6 \times 24\text{cm}$  크기의 공시체를 사용하였다. 또한 양생 후의 공시체는 질량을 공시체 용적으로 나누어 비중을 구했다.

Table 3 Mix proportions of lightweight polymer concrete (Unit : vol%)

Binder		Filler	Aggregate		
UP	SRA		Expanded shale	Perlite	Silica sand
23.4	2.6	7.0	16.75	35.18	15.07
				25.13	25.12
				15.07	35.18
25.2	2.8	7.0	16.25	34.13	14.62
				24.38	24.37
				14.62	34.12
27.0	3.0	7.0	15.75	33.08	14.17
				23.63	23.62
				14.17	33.08

Notes, UP :Unsaturated polyester resin.  
SRA:Shrinkage-reducing agent.

Table 2 Properties of filler and aggregate

Type of filler and aggregate		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Water content (%)	Organic impurities
Filler	Heavy calcium carbonate (CaCO <sub>3</sub> )	$< 2.5 \times 10^{-3}$	2.70	<0.1	Nil
	Silica sand	0.23 ~ 0.27	2.61	<0.1	Nil
Fine Agg.	Perlite type	< 2.5	0.12	<0.1	Nil
	Expanded shale	< 10	1.30	<0.1	Nil

## 2. 슬럼프 시험

KS F 2474(폴리머 시멘트 모르타의 슬럼프 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 10, 20 및 30°C의 온도에서 슬럼프 콘을 제거한 다음 60초 후의 값을 슬럼프 값으로 하였다.

## 3. 가사시간 측정

KS F 2484(폴리에스터 레진 콘크리트의 가사시간 측정방법)의 측정방법에 의하여 10, 20 및 30°C의 온도에서 촉매(MEKPO)를 0.5, 1.0 및 1.5 phr로 변화시켜 배합한 콘크리트의 가사시간을 측정하였다.

## 4. 경화수축

경화수축은 Ohama-Demura 방법에 의해 시험하였다. 실험체의 크기는 7×7×32 cm이고 정밀도 0.005 mm인 LVDT를 제작된 실험체 양끝에 각각 설치하였으며, 변위값은 data logger로 측정하였다. 타설 후 매 10분 단위로 측정하였으며, 실험장치는 Fig. 1과 같다.

## 5. 강도시험

KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법) 및 KS F 2480(폴리에스

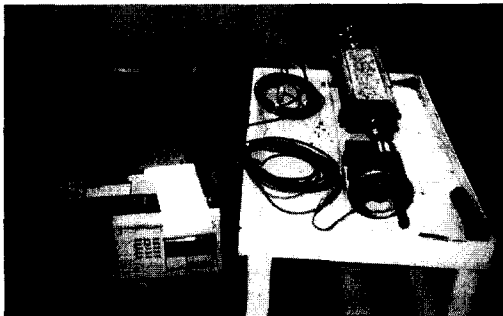


Fig. 1 Hardening shrinkage test equipment

터 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 의하여 공시체의 강도시험을 실시하였다. 또한 휨 및 압축강도를 비중으로 나누어 비강도를 구하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 작업성

Fig. 2에는 경량 폴리머 콘크리트의 잔골재 치환량에 따른 슬럼프와 결합재 첨가량의 관계를 나타내었다. 결합재 첨가량의 증가에 따라 경량 폴리머 콘크리트의 슬럼프는 증가하는 경향을 보였으나, 그 증가폭에 있어서는 규사 치환율이 30 및 50 vol% 보다 70 vol%에서 크게 나타났다. 또한 잔골재로 치환된 규사의 첨가량이 증가할수록 슬럼프의 감소 폭은 매우 크게 나타났는데 이것은 잔골재로 사용된 인공 경량골재가 다공질계 골재로서 잔골재로 치환된 규사가 경량골재 입자사이에 박히는 현상 때문으로 판단된다.

또한 Fig. 3에는 결합재 첨가량 28 vol%일 때 경량 폴리머 콘크리트의 작업환경 온도에 따른 작업성을 나타낸 것이다. 경량 폴리머 콘크리트의 작업성은 온도가 증가할수록, 규사의 첨가량이 감소할수록 양호한 것으로 나타났으며, 특히 작업환경 온도가 10°C의 경우에는 작업성이 현저히 감소하는 경향을 보였는데 이것은 작업환경 온도가 경량 폴리머 콘크리트의 작업성에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 나타낸 결과라 할 수 있다.

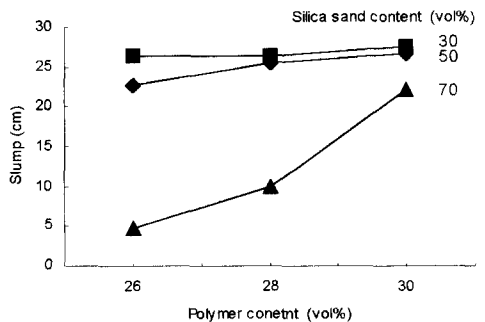


Fig. 2 Binder content vs. slump of lightweight polymer concrete

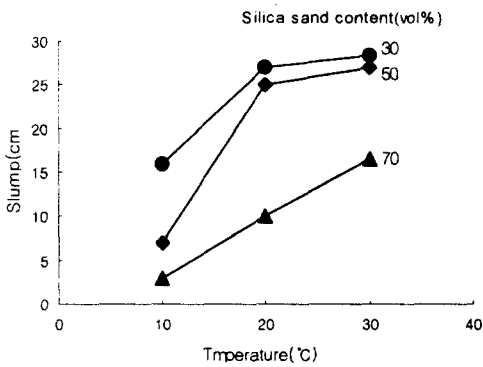


Fig. 3 Ambient temperature vs. slump of lightweight polymer concrete

같은 온도의 상승, 촉매제 첨가량의 증가에 따라 짧아지는 경향을 보였다. 특히 실험온도 10°C의 경우는 온도 및 촉매제의 첨가량에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 가사시간이 5시간 이상을 상회하는 것으로 나타나, 폴리머 콘크리트의 공장제품 제작시의 가사시간을 1~2시간 내외로 하는 것을 고려할 때, 경량 폴리머 콘크리트의 이상적인 배합설계를 위해서는 배합시 온도를 20°C 이상으로 설정할 필요가 있으며, 이때 촉매제 첨가량은 1.0~1.5phr의 범위에서 첨가하는 이상적일 것으로 판단된다. 또한 20°C 및 30°C의 실험온도에서도 실험온도 및 촉매제 첨가량을 변화시켜 원하는 가사시간을 얻는 것이 가능할 것으로 판단된다.

## 2. 가사시간

Fig. 4 에는 10~30°C의 온도조건에서 경량 폴리머 콘크리트의 가사시간과 촉매제 첨가량의 관계를 나타내었다. 경량 폴리머 콘크리트의 가사시

## 3. 경화수축

Fig. 5에 는 수축저감제 첨가량에 따른 경량 폴리머 콘크리트의 경화수축량과 결합재 첨가량의 관계를 나타낸 것이다. 경량 폴리머 콘크리트의

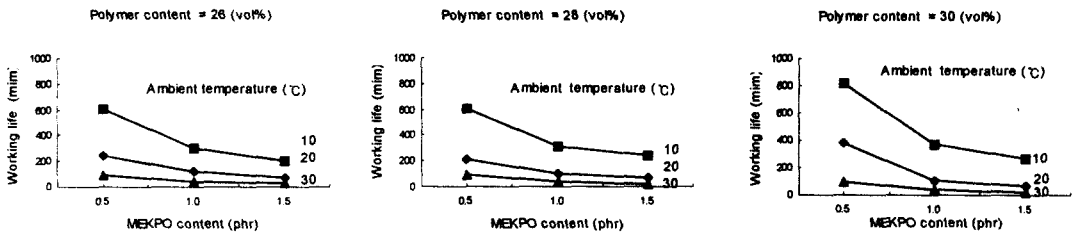


Fig. 4 MEKPO content vs. working life of lightweight polymer concrete

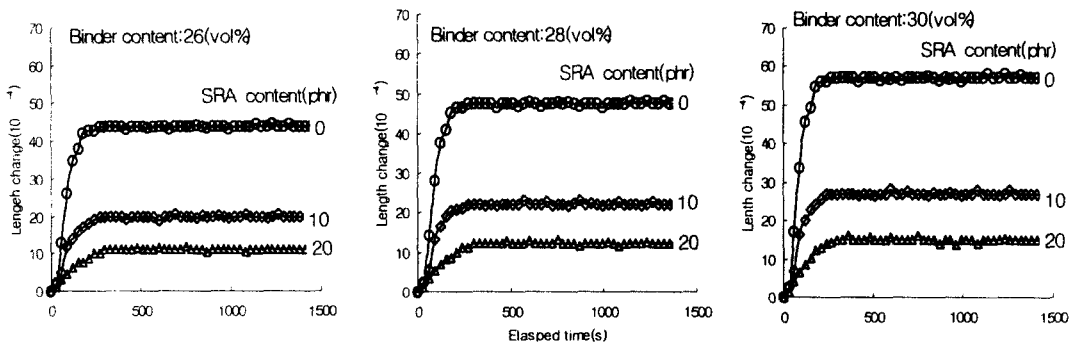


Fig. 5 Elapsed time vs. hardening shrinkage of lightweight polymer concrete

경화수축량은 사용하는 결합재의 첨가량이 증가함에 따라, 또는 수축저감제의 첨가량이 감소함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 특히, 수축저감제의 첨가량 10phr의 경우,  $(20\sim30)\times 10^{-4}$ mm로서 20phr의  $(10\sim13)\times 10^{-4}$ mm 보다 감소폭이 매우 크게 감소함을 알 수 있었다. 또한 경량 폴리머 콘크리트의 경화수축은 결합재의 첨가량이 증가할수록 약간 증가하는 경향을 보였는데 이것은 콘크리트 내부에서 경화수축에 대해 저항하는 골재의 첨가량이 결합재로 치환되어 골재의 첨가량이 감소된 결과 경화수축이 증가한 것으로 판단된다.

4. 강도특성

Fig. 6 ~ Fig. 8에는 경량 폴리머 콘크리트의

잔골재 치환율에 따른 압축, 휨 및 인장강도와 결합재량의 관계를 나타내었다. 잔골재 치환율에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 강도는 일부를 제외하고 결합재량의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 결합재량의 증가에 따라 유동성이 향상되어 보다 치밀한 조직이 얻어지고 또 경량골재 보다도 높은 강도를 갖는 결합재의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 결합재 첨가량에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 강도는 잔골재로 치환된 규사의 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였는데 이것은 잔골재로 치환된 규사의 강도가 인공 경량골재의 강도 보다 높기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

Fig. 9 에는 경량 폴리머 콘크리트의 휨강도와

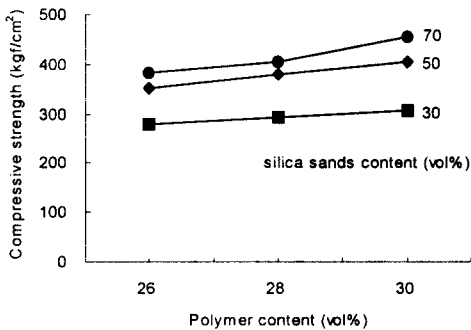


Fig. 6 Binder content vs. compressive strength of light-weight polymer concrete

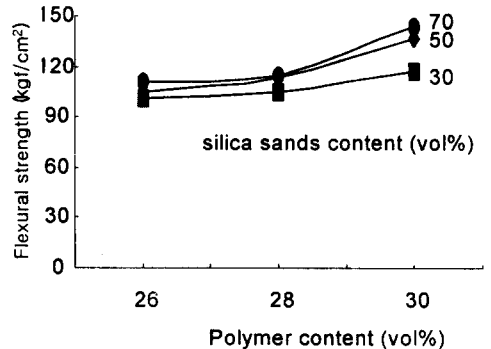


Fig. 7 Binder content vs. flexural strength of light-weight polymer concrete

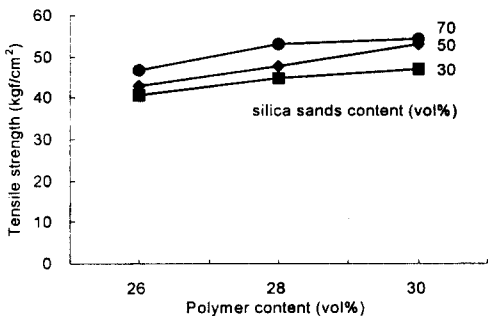


Fig. 8 Binder content vs. tensile strength of light-weight polymer concrete

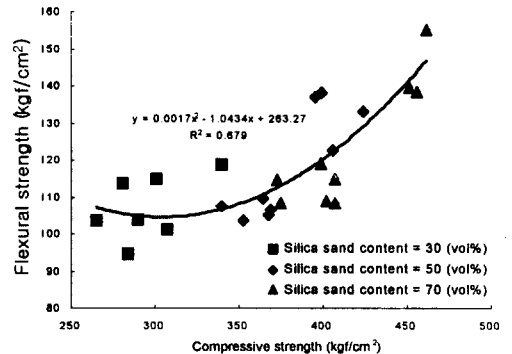


Fig. 9 compressive strength vs. flexural strength of lightweight polymer concrete

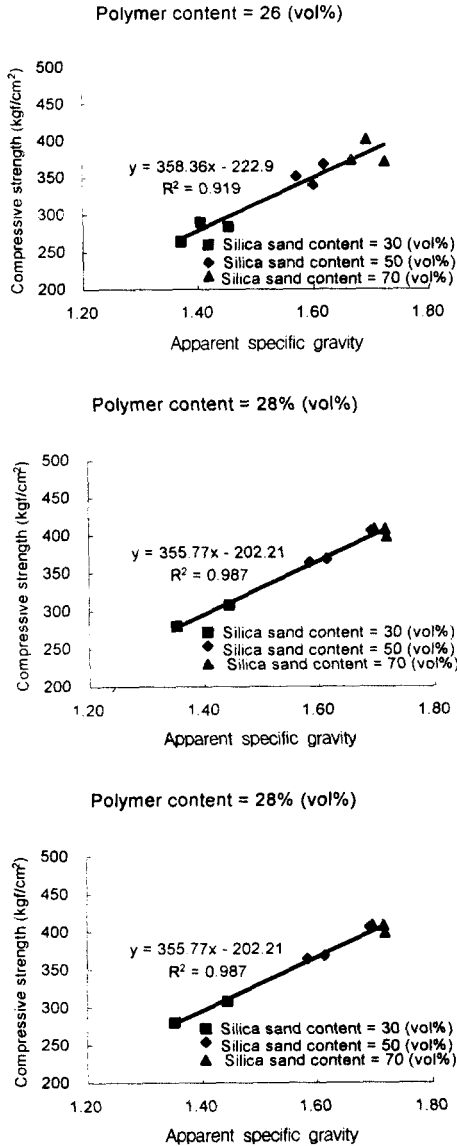


Fig. 10 Apparent specific gravity vs. compressivestrength of lightweight polymer concrete

압축강도의 관계를 나타내었다. 경량 폴리머 콘크리트에 대해 휨강도와 압축강도 사이의 관계를 2차식으로 회귀분석한 결과 어느 정도의 일정한 상관성을 나타냈으나 상관계수는 매우 낮은 값을 보였다. 경량 폴리머 콘크리트의 휨강도는 압축강도의

약 1/3~1/4 정도로 산출되었는데 이것은 시멘트 콘크리트의 경우 1/5~1/7, 경량 시멘트 콘크리트의 경우 1/6~1/10<sup>21</sup>인 것에 비하면 경량 폴리머 콘크리트는 기타재료와 비교할 때 압축강도에 비해 높은 휨강도를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 10에는 경량 폴리머 콘크리트의 압축강도와 겉보기 비중의 관계를 나타내었다. 경량 폴리머 콘크리트는 겉보기 비중이 1.32~1.78의 범위에서 250~470kgf/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었다. 이것을 비강도로 산출하면 약 190~264kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 보통시멘트 콘크리트의 100kgf/cm<sup>2</sup>에 비하여 매우 높은 것을 알 수 있었다. 시험결과 경량 시멘트 콘크리트의 강도는 경량골재의 강도에 지배되어 고강도를 발현하는 경량 시멘트 콘크리트를 얻기 위해서는 고강도의 경량골재를 사용할 필요가 있는데 경량 폴리머 콘크리트에 있어서도 이와 같은 경향이 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 연구는 경량 폴리머 콘크리트의 강도특성을 비롯한 기초적 성질에 관하여 실험적으로 구명한 것으로 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 경량 폴리머 콘크리트의 작업성은 결합재 첨가량의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 잔골재로 치환된 규사의 첨가량이 증가할수록 슬럼프의 감소 폭은 매우 크게 나타났다.

2. 경량 폴리머 콘크리트의 가사시간은 온도의 상승, 촉매제 첨가량의 증가에 따라 짧아지는 경향을 보였으며, 환경온도 및 촉매제 첨가량의 변화에 의해 원하는 가사시간을 얻는 것이 가능함을 알 수 있었다.

3. 경량 폴리머 콘크리트의 경화수축량은 사용하는 결합재의 첨가량이 증가함에 따라, 또는 수축저감제의 첨가량이 감소함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 이것은 콘크리트 내부에서 경화수축에 대해 저항하는 골재의 첨가량이 결합재로 치환되면서 골재의 첨가량이 감소된 결과 경화수축이 증가한 것으로 판단된다.

4. 경량 폴리머 콘크리트의 휨강도와 압축강도의 관계를 회귀분석한 결과 경량 폴리머 콘크리트의 휨강도는 압축강도의 약 1/3~1/4 정도로 산출되었는데 경량 폴리머 콘크리트는 기타재료와 비교할 때 압축강도에 비해 높은 휨강도를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

5. 경량 폴리머 콘크리트는 겉보기 비중이 1.32~1.78의 범위에서 250~470kgf/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었으며, 이것을 비강도로 산출하면 약 190~264kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 보통시멘트 콘크리트에 비해 매우 높은 것을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 李命洙, “輕量ポリエステルモルタルの性質と調合設計”, 日本大學博士學位論文, 1998
2. 日本建築學會, “輕量コンクリートの調合設計・施工指針案・同解説”, 技報堂出版, 東京, Feb. 1978, p.56.
3. 川上 洵, 徳田 弘, 加賀谷 誠, 吉永昌三, “超輕量骨材を用いたレジンモルタルの2,3の實驗”, 第2回 콘크리트工學年次講演會講演論文集, May 1980, pp.257-260.
4. 村田二郎, “人工輕量骨材コンクリート”, 콘크리트パンフレット, 第79号, セメント協會, 東京, July 1974, pp.51-52.
5. 荒井康夫, “セメントの材料化學”, 大日本圖書, 東京, Mar. 1984, pp.225-234.