

# 경량 폴리머 콘크리트 복합체의 내열성능에 관한 연구

## A Study on the Heat Resistance of Light-Weight Polymer Concrete Composites

조 영 국\*

Jo, Young-Kug

### Abstract

In recent years, the light-weight aggregate has widely been used to reduce the weight of construction structures, and to achieve the thermal insulation of building structures. The purpose of this study is to evaluate the heat resistance of polymer concrete composites with light-weight aggregate made by binders as resin and cement with polymer dispersion. The light-weight polymer concrete composites are prepared with various conditions such as binder content, filler content, void-filling ratio, light-weight aggregate content and polymer-cement ratio, and tested for heat resistant test, and measured the weight reducing ratio, strengths and exhaustion content of gas such as CO, NO and SO<sub>2</sub>.

From the test results, the weight reducing ratio of light weight polymer concrete using UP binder after heat resistance test increase with an increase in the UP content irrespective of the filler content. The weight reducing ratio of polymer cement concrete is considerably smaller than that of UP concrete. In general, the strengths after heat resistance of polymer concrete composites are reduced about 40 to 65% compared with those before test. The exhausted quantity of CO, NO and SO<sub>2</sub> gases in polymer concrete composites is less than EPS(Expanded poly styrene). From the this study, it is confirmed that the many types gases discharge according to binder type of polymer concrete composites, its amount is controlled by selection of the binder type and mix proportions.

키워드 : 경량골재, 폴리머 콘크리트 복합체, 불포화 폴리에스테르 수지, 폴리머 디스퍼션, 폴리머-결합재비

Keywords : Light weight aggregate, Polymer concrete composites, Unsaturated polyester resin, Polymer dispersion, Polymer-binder ratio

### 1. 서 론

21세기의 건설산업 발달과 함께 건설구조물도 초고층화, 고기능성화, 환경친화성, 유비쿼터스화 등 눈부신 발전을 거듭하고 있으며 계속적으로 진화되고 있다. 한편, 현대 사회의 건설구조물은 기능성을 확보하기 위해서는 구조물의 경량화는 중요한 이슈이다. 콘크리트의 경량화에 관한 연구는 과거 많은 연구진에 의해 연구되어 왔으며 경량화는 구조물의 초고층화에 따른 자중저감을 위한 경량화와 단열성 콘크리트를 얻기 위한 경량화로 크게 구분할 수 있다.<sup>1)-4)</sup> 현재 건축현장에서는 가격이 싸고 단열성능이 뛰어나며 시공이 간편하여 스티로폼 샌드위치 패널을 널리 사용하고 있다. 그러나 스티로폼 패널의 경우 열에 약하고 화재시 유독가스 발생으로 인명피해가 클 수 있어 건축물의 내부마감재로 사용되고 있는 복합패널의 경우 KS에서 규정하는 불연성능 기준에 적합한 재료를 사용하도록 권장하고 있다.<sup>5)</sup> 따라서 스티로폼 및 우레탄 폼 등의 유기단열재를 사용한 샌드위치 패널을 대체할 수 있

는 재료의 개발이 시급한 실정이다. 본 연구에서 사용한 불포화 폴리에스테르는 가격에 비해 요구물성이 탁월하며, 경량이지만 기계적 물성(강도)과 전기절연성이 우수하다. 또한 작업성이 양호하고 뛰어난 내약품성, 내산성, 내수성을 이용하여 각종 섬유와 복합체를 만들어 건설재료로 널리 사용되고 있다.

본 연구는 불연 경량골재를 사용하여 경량패널을 개발하기 위한 일련의 연구로서 결합재를 불포화 폴리에스테르 수지와 폴리머 시멘트계로 폴리머 콘크리트 복합체를 만들어 내열성능을 평가하고자 하였다.

### 2. 실험계획

본 연구는 경량 폴리머 콘크리트 복합체의 성능을 평가하기 위한 실험으로써, 2종류의 결합재, 1종류의 경량골재, 4종류의 충전재비, 8종류의 UP 혼입비, 3종류의 폴리머 시멘트비, 2종류의 공극충전율로 배합이 구성되었다. 또한 역학적 성질, 내열성능, 유해가스 배출 시험을 통해 기존 스티로폼 샌드위

\* 청운대학교 건축공학부 부교수

치 패널의 대체 재료를 개발하기 위함이다.

## 2.1 사용재료

### 2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 따른 국내 S사에서 생산된 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

### 2.1.2 경량골재

본 연구에서 사용한 골재는 수입산(스페인) 소성 경량골재이며, 경량골재의 치수는 3~6mm이다. 물리적 성질은 표 1과 같으며 그림 1은 골재 내부의 조직상태를 전자현미경으로 촬영한 것이다.

표 1. 경량골재의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)	마모율 (%)	파쇄율 (%)	충격율 (%)
0.60	26.2	598	66	19.6	35.1	33

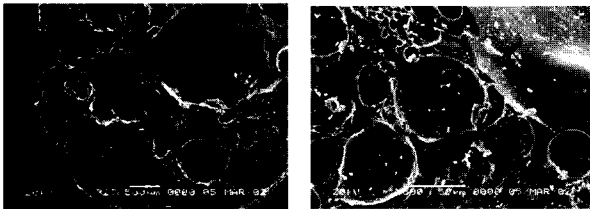


그림 1. 경량골재의 조직

### 2.1.3 불포화 폴리에스테르 수지

결합제는 일반적으로 널리 사용되는 불포화 폴리에스테르 수지(Unsaturated polyester resin : 이하 UP)를 사용하였으며, 충전제로서는 증질탄산칼슘을 사용하였다. UP의 일반적 성질은 표 2에 나타났다.

표 2. 불포화 폴리에스테르의 일반적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	산도	점도 (mPa · s)	겔시간 (min.)
1.13	23±4	250	12.4

### 2.1.4 폴리머 디스퍼션

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션은 시중에서 널리 사용되고 있는 2종류를 사용하였으며, 그 일반적 성질은 표 3에 나타났다.

표 3. 폴리머 디스퍼션의 일반적 성질

폴리머 종류	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	PH (20℃)	점도 (20℃, mPa · s)	고형분 (%)
SBR	1.01	5.4	82	49.5
St/BA	1.04	8.4	574	57.2

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 배합설계

#### 1) 레진을 결합재로 사용한 경우

UP를 결합재로 한 배합은 먼저 경량성, 단열성 그리고 경제성면에 초점을 두어 배합설계를 실시하였다. 표 4는 UP와 충전재의 혼입비, 즉 결합재 구성배합을 나타냈으며, 표 5는 표 4에서 만든 결합재와 골재의 배합을 나타냈다.

#### 2) 시멘트를 결합재로 사용한 경우

시멘트를 결합재로 사용한 경우에는 시멘트의 성질을 개선시키기 위하여 시멘트 중량에 대하여 5~15% 폴리머를 혼입한 경량폴리머 시멘트 콘크리트를 표 6과 같은 배합으로 제작하였다.

표 4. 결합재 배합표

결합재 (중량비, %)	
UP	충전재
100	25, 50, 75 및 100

표 5. UP를 결합재로 한 배합설계

배 합 비 ( 부피비%)		
결합재(%)	충전재(중량비),%	경량골재(%)
15	1.6(25), 3.2(50), 4.7(75), 6.3(100)	83.4, 81.8, 80.3, 78.7
20	2.1(25), 4.2(50), 6.3(75), 8.4(100)	77.9, 75.8, 73.7, 71.6
25	2.6(25), 5.3(50), 7.9(75), 10.5(100)	72.4, 69.7, 67.1, 64.5
30	3.1(25), 6.3(50), 9.4(75), 12.6(100)	66.9, 63.7, 60.6, 57.4
35	3.7(25), 7.3(50), 11(75), 14.6(100)	61.3, 57.7, 54.0, 50.4
40	4.2(25), 8.4(50), 12.6(75), 16.8(100)	55.8, 51.6, 47.4, 43.3
45	5.0(25), 9.4(50), 14.1(75), 18.8(100)	50, 45.6, 40.9, 36.2
50	5.2(25), 10.5(50), 15.7(75), 21.0(100)	44.8, 39.5, 34.3, 29.0

표 6. 폴리머 시멘트 복합체 배합비

폴리머 종류	공극충전율 (%)	P/C (%)	W/C (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )		
				시멘트	물	경량골재
SBR	50	5	35	247	86	402
		10	30	267	80	
		15	25	290	73	
	60	5	35	296	104	
		10	30	320	96	
		15	25	348	87	
St/BA	50	5	40	230	92	
		10	40	230	92	
		15	40	230	92	
	60	5	40	276	110	
		10	40	276	110	
		15	40	276	110	

2.2.2 공시체 양생

UP를 결합재로 한 경우에는 기중양생(20℃, 50%R.H.)을 3일간 실시하였으며, 폴리머 시멘트 복합체는 기중양생(20℃, 50%R.H.)을 28일간 실시하였다.

2.2.3 내열시험

시험용 공시체 40x40x160mm를 배합에 따라 제작하여, 전기로에서 300℃, 400℃, 500℃ 및 600℃로 5분간 노출시켜, 내열시험을 실시한 후, 각종 성능을 검토하였다.

2.2.4 중량변화율

시험용 공시체 40x40x160mm에 대하여 내열시험 전후의 중량변화를 백분율로 나타내었다.

2.2.5 압축강도 및 휨강도 시험

내열시험 후, 공시체에 대하여 KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도시험 방법)에 준하여 압축강도 및 휨강도 시험을 실시하였다.

2.2.6 유해가스 배출량 측정 시험

내열시험용 50x50x50mm 공시체를 제작하여 600℃ 전기로에서 5분 동안 방치한 후, 발생하는 유해가스(CO, NO 및 SO<sub>2</sub>)를 가스분석기를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 경량 UP콘크리트의 UP 혼입율에 따른 중량감소율

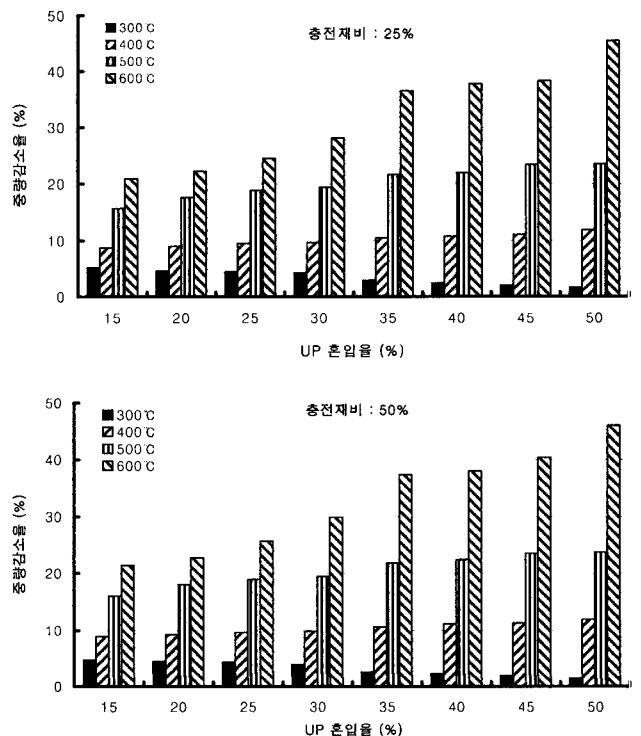
플라스틱 재료는 열을 가하면, 분해온도에 이르며 가연성가스(메탄, 에탄, 에틸렌, 포름알데히드, 아세톤, 일산화탄소), 불연성가스(이산화탄소, 연산가스, 수증기), 액체(고분자나 유기화합물 분해물), 고체(탄소 잔유물, 숯) 중 한개 또는 두개 이상의 물질이 형성되며, 더욱더 온도가 상승되면 플라스틱에 점화가 일어나는데, 불포화 폴리에스테르 수지는 인화점이 340~400℃, 발화점이 450~480℃이며, 다음 단계로 플라스틱이 연소과정을 통하여 가스방출과 함께 검게 타게 된다<sup>6)</sup>.

그림 2는 경량 UP 콘크리트의 내열시험 후 중량감소율을 나타내고 있다. 경량 UP 콘크리트의 중량감소율은 충전재 함유량에 관계없이 UP 결합재의 혼입율이 증가할수록 크게 증가하였다. 또한 내열온도가 증가할수록 중량변화율 역시 크게 증가하였는데 이는 UP의 함유량이 많으면 많을수록 높은 온도에서 분해되어 없어지는 양이 많기 때문이다. 내열온도 중 상대적으로 300℃에서는 UP의 함유량이 클수록 중량변화율

이 감소하는 경향을 보인 것은 UP가 아직 인화점에 도달되지 않아 오히려 UP의 혼입율이 클수록 열에 대한 저항성이 컸기 때문이다. UP 혼입율이 증가할수록 중량감소율이 최대 약 45%를 나타냈으며, UP 혼입율이 30% 또는 35%에서 급격한 중량감소를 보였다. 또한 내열온도가 500℃부터 중량감소율이 급격히 증가하는 경향을 보였다. 보통 UP콘크리트는 충전재비가 100%일 때 역학적 성질이 우수하여 배합으로 채용되나, 본 연구에서의 충전재비에 따른 내열성능 차이는 뚜렷하게 발견되지 않았다.

3.2 경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극충전율의 변화에 따른 중량감소율

그림 3과 그림 4는 내열시험 후 경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극충전율의 변화에 따른 중량감소율을 나타내고 있다. 폴리머 디스퍼션을 사용한 폴리머 시멘트 복합체의 경우, 폴리머 시멘트비가 증가할수록 내열시험 후, 중량변화율은 약간 크게 증가하였으며, 내열온도가 클수록 중량감소율의 정도도 크게 나타났다. 일반적으로 St/BA 및 SBR의 열가소성수지의 발화점이 450~500℃인 점을 고려하면, 불포화 폴리에스테르수지를 사용한 경우에 비해 중량감소율이 훨씬 적게 나타났다. 폴리머 디스퍼션을 사용한 경량 폴리머 시멘트 콘크리트는 고온에 비교적 약하기 때문이며 내열시험 온도가 클수록 연소에 따른 가스발생과 함께 중량감소율이 크게 나타났다. 또한 공극충전율이 크면 클수록 폴리머 시멘트 복합체에 폴리머의 양이 상대적으로 증가하였기 때문에 폴리머 시



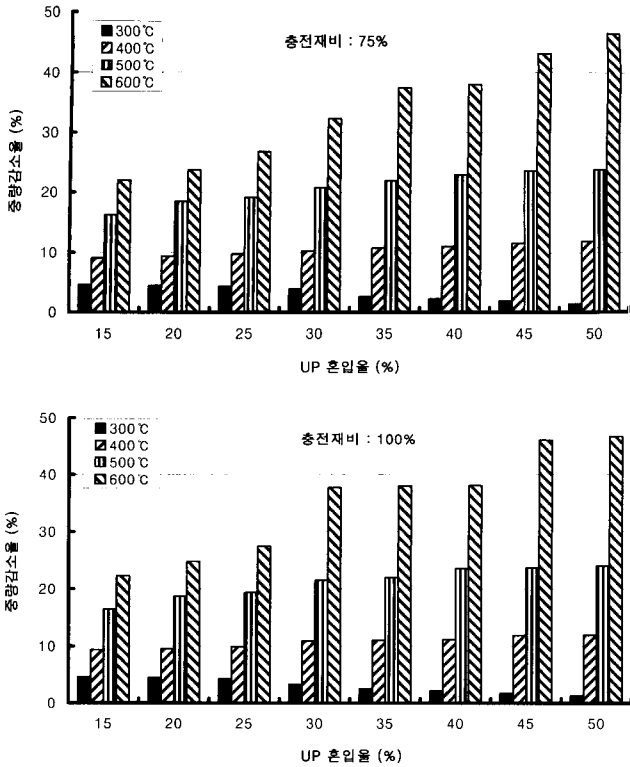


그림 2. 경량 UP콘크리트의 UP 혼입율에 따른 중량감소율

멘트비에 관계없이 중량감소율이 크게 나타났다. 일반적으로 인성을 증가시키기 위하여 보강재로 시멘트에 혼입하는 폴리머 디스퍼션의 경우, 내구성 및 역학적 성질은 크게 개선되나<sup>8)</sup> 고온에서의 열에 대한 저항성은 개선되지 않음을 알 수 있었다.

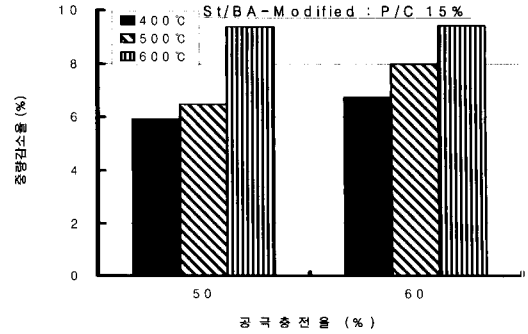
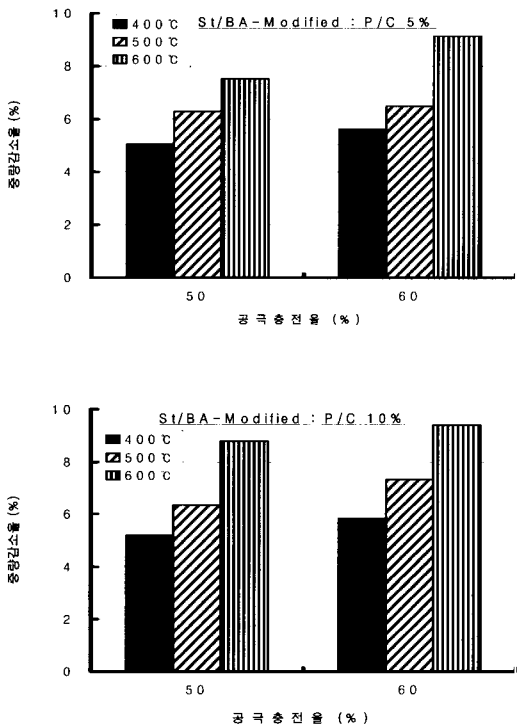
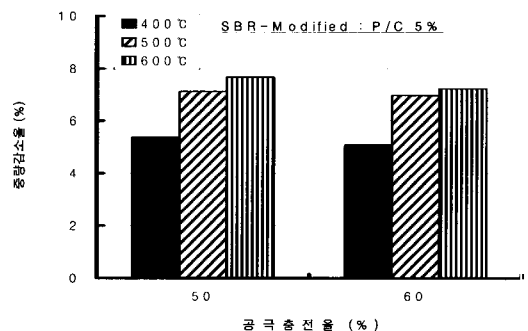


그림 3. 경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극충전율에 따른 중량감소율 (St/BA)

### 3.3 경량 UP콘크리트의 UP 혼입율에 따른 압축강도와 휨강도

그림 5는 내열시험 후 경량 UP콘크리트의 UP 혼입율에 따른 압축강도와 휨강도를 나타내고 있다. 전술한 중량감소율은 내열온도 600°C까지 결과를 얻을 수 있었으나, UP콘크리트의 압축강도는 300°C에서 내열시험 한 공시체만이 강도측정이 가능하였다. 즉 400°C이상에서 내열시험을 한 공시체는 형태는 유지하고 있었으나, 결합재가 열에 연소되어 골재만 형태를 보였기 때문이다. UP의 내열시험 후 압축강도는 1.8MPa~26MPa로 큰 범위안에서 측정되었는데 이는 UP 혼입량의 차이에 따른 것으로서, 일반 UP콘크리트의 경우에는 UP의 적정 혼입량은 약 15% 이내이나 본 연구에서는 잔골재를 혼입하지 않고 UP와 충전재만으로 결합재가 구성되어 상대적으로 결합재량이 크게 증가되었기 때문이다. UP콘크리트의 내열시험 후 압축강도는 시험전의 압축강도에 비해 약 40~65% 감소하였는데, 이는 UP콘크리트의 충전제비와 UP 혼입율이 클수록 크게 나타났다. UP 혼입량이 40% 이상으로 크게 될 수록 압축강도가 상대적으로 크게 나타났으나 내열시험을 실시하면 강도의 감소 정도도 크게 나타났다. 이는 전술한 중량감소율과 비슷한 경향으로서 UP가 높은 열에 대해서는 취약하다는 결과를 설명하고 있다. 휨강도의 경우에서도 압축강도와 비슷한 경향을 나타내 강도의 저하 현상이 크게 나타났다. 강도 감소율은 UP 혼입율 40% 이상, 충전율 75% 이상에서 크게 나타났다. 이상의 결과에서 UP콘크리트의



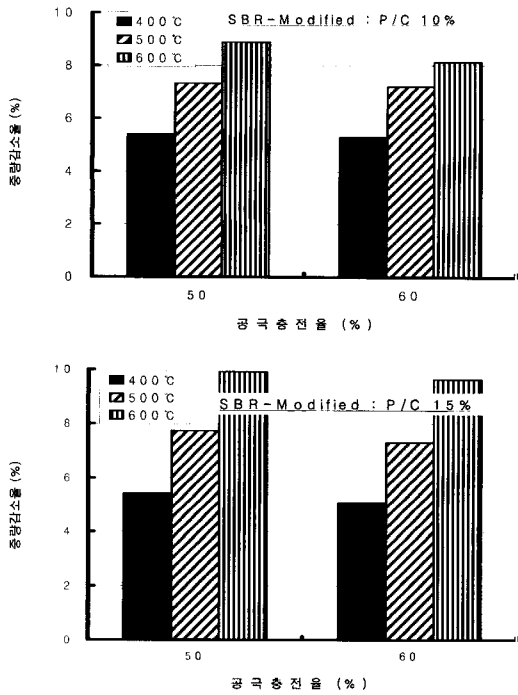


그림 4. 경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극충진율에 따른 중량감소율 (SBR)

경우 400°C 이상의 고온에서 내열성이 크게 취약하게 나타나 내구성 확보시 내화성에 대한 고려가 선결되어야 하겠다.

### 3.4 경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 P/C 변화에 따른 압축강도와 휨강도

그림 6은 폴리머 디스퍼션을 혼입한 경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 내열시험 후 압축강도와 휨강도를 나타낸 것이다. 내열시험 전 경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 약 1.0~4.9MPa, 내열시험 후 압축강도는 약 0.5~2.6 MPa, 또한 시험 전 휨강도는 약 0.5~2.3MPa, 시험 후 휨강도는 약 0.2~1.2MPa의 범위로 나타났다. 폴리머 디스퍼션을 사용한 경우 전술한 UP콘크리트에 비해 내열성능이 우수해 600°C를 제외한 경우에서 시험을 실시할 수 있었다. 이는 전술한 바와 같이 발화점 온도가 UP에 비해 약간 높기 때문으로 판단된다.

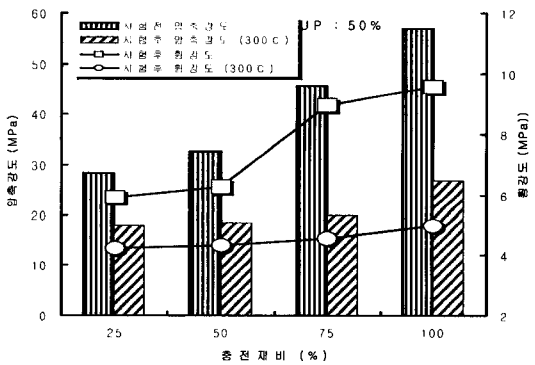
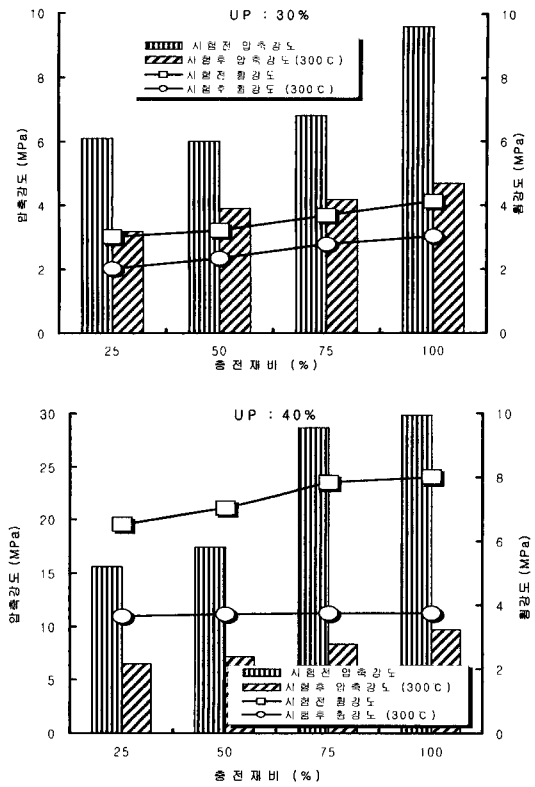
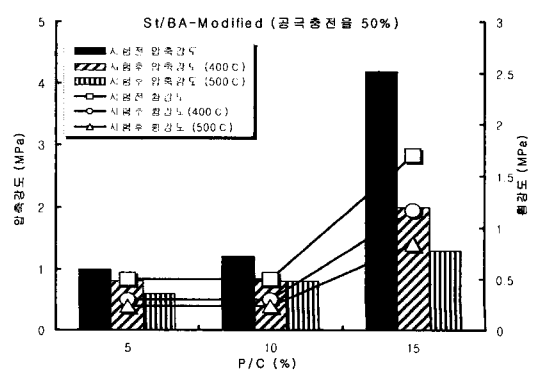
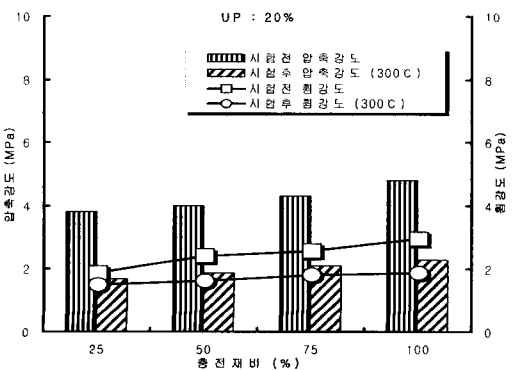


그림 5. 경량 UP콘크리트의 내열시험 후 압축강도 및 휨강도

경량 폴리머 시멘트 콘크리트의 내열시험 전후의 압축강도 및 휨강도는 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 증가하였으며, 폴리머 시멘트비 15%에서 최대강도를 보인 반면 내열시험후 강도감소율도 상대적으로 크게 나타났다. 경량 폴리머



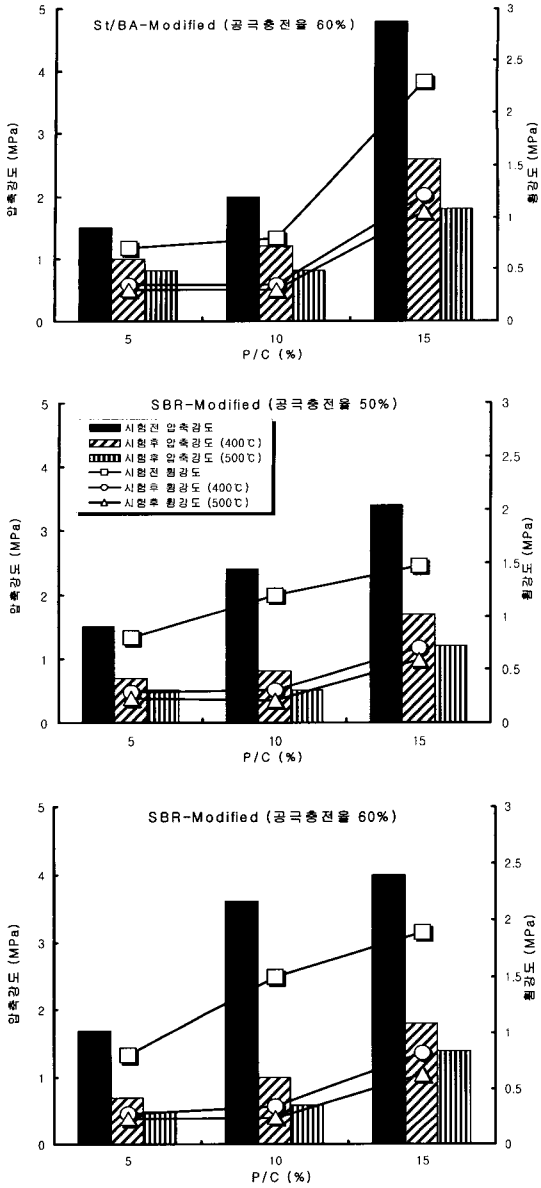


그림 6. 폴리머 시멘트 복합체의 내열시험 후 압축강도 및 휨강도

콘크리트의 시험 전후의 압축강도 및 휨강도는 경량 UP콘크리트에 비해 매우 작아 비교하기가 어려웠는데, 이는 결합재 자체의 강도 성상에 큰 차이가 있기 때문이다.

**3.5 결합재에 따른 유해가스 배출**

플라스틱은 탄소 함유 고분자이므로 연소생성물로 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 일산화탄소(CO)를 만든다. 이산화탄소는 유독하지는 않지만 산소결핍을 일으킨다. 유독가스중에서 가장 인체에 치명적인 가스는 일산화탄소로서 산소보다 피속으로 200배 빠르게 퍼지며 정상적인 대기에는 일산화탄소 농도가 10ppm 정도이나, 2,000ppm 이상에서는 4-5시간이면 사망이 이른다.<sup>6)</sup> 또한, 플라스틱 연소시 질소함유 가스는 시안화수소(HCN), 산화질소류(NO<sub>x</sub>)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 있다. 이

중에서 NO 역시 피속의 헤모글로빈과 반응하여 신경조직에 영향을 미친다. 일산화질소(NO)는 공기중에서 산화하여 독성이 수배나 강한 이산화질소(NO<sub>2</sub>)가 된다. 이산화질소는 150ppm이상에서 치명적이며, 그 외에 황을 함유한 플라스틱의 연소시 발생하는 이산화황(SO<sub>2</sub>)은 암모니아와 같이 대단히 낮은 농도에서 자극적이고 5,000ppm이상에서 노출시 위험하다.<sup>7)</sup> 불포화 폴리에스테르 수지는 500℃이상에서 연소되기 때문에 본 연구에서는 그 보다 약간 높은 600℃에서 유해가스 배출시험을 실시하였다.

그림 7은 경량 폴리머 콘크리트를 600℃ 전기로에서 5분간 가열한 후 발생하는 가스중에서 일산화탄소(CO), 일산화질소(NO), 및 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 누적배출량을 측정하였다. CO 배출량이 UP에서 150ppm, St/BA에서 80ppm, SBR에서 350ppm로 나타나 현재 건설현장에서 널리 사용되고 있는 샌드위치 패널의 심재로 사용되는 스티로폼(Expanded polystyrene :EPS)에 비해 작게 배출되었으나<sup>2)</sup>, SBR의 경우가 St/BA에 비해 상당히 배출량이 크게 나타난 점이 주목된다. 또한 일산화질소는 UP에서 6.5ppm으로 가장 많이 배출되었으나 St/BA 및 SBR의 경우 0.6ppm, 0.8 ppm으로 EPS의 1.5ppm 보다 작은 값을 나타냈다. 또한 이산화황의 경우 EPS와 SBR이 거의 비슷하게 나타났으며, UP, St/BA

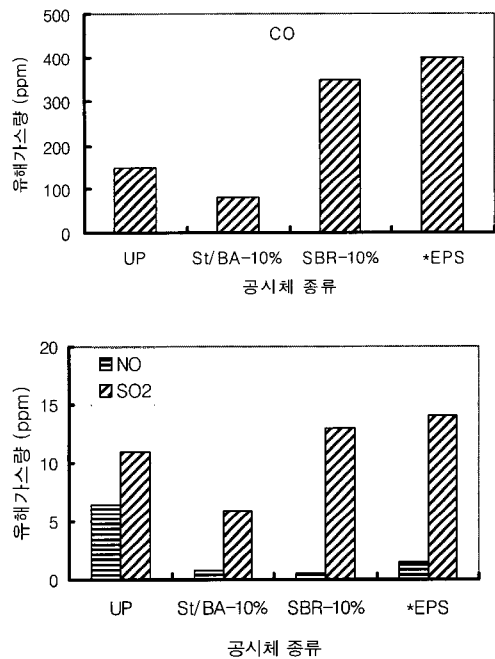


그림 7. 경량 폴리머 콘크리트의 내열시험후 유해가스 배출량

순으로 유해가스 배출량이 적게 발생하였다. 본 유해가스 배출량을 고려해 볼 때, 유기재료이기 때문에 유해가스 배출을 피할 수 없으나, 결합재의 종류의 선택에 따라 크게 줄일 수 있는 건설재료, 특히 건축 내장재료로서 사용시에는 적절한

내화 대책이 필요하며, 다중이용시설에 사용시에도 특별한 대책을 강구하여야 한다.

#### 4. 결 론

경량 폴리머 콘크리트 복합체의 내열성능에 관한 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 경량 UP 콘크리트와 폴리머 시멘트 콘크리트의 중량감소율은 UP 혼입율 및 폴리머 시멘트비가 증가할수록 크게 증가하였는데 이는 복합체 안에 폴리머의 양이 상대적으로 많아졌기 때문이다.
- 2) 경량 UP 콘크리트는 내열온도 300℃까지, 폴리머 시멘트 콘크리트의 경우에는 500℃까지 강도를 측정을 할 수 있었는데 이는 결합재의 내열성의 차이에 기인한 것으로서 잔류 강도는 UP 혼입율 및 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 상승하는 경향을 보였다.
- 3) 내열시험 중 폴리머 콘크리트 복합체에서 발생하는 유해가스는 결합재의 종류에 따라 배출량에 큰 차이를 보였으나, 전반적으로 EPS에 비해 적은 양이 배출되었으나 사용장소 및 용도에 따라 적절한 배합을 선택하여야 할 것이다.
- 4) 본 실험결과, 경량화 및 내구성 증진을 위한 배합으로서, 경량 UP콘크리트의 경우, 결합재비 25-30%, 충전재비 100%, 폴리머 시멘트 콘크리트의 경우, 폴리머 디스퍼션으로 St/BA, 폴리머 시멘트비 15% 정도가 적절한 배합으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 노정식 외4인, 다공성 경량골재를 충전재로 활용한 샌드위치 패널 심재의 발열량 및 유해가스 배출특성, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제23권 제2호, pp.261-266, 2003.
2. 소승영, 경량골재를 사용한 콘크리트 복합체의 단열성능에 관한 연구, 한국건축시공학회지 제4권 제3호, pp.93-100, 2004.
3. 양관섭, 스티로폴 혼합 경량콘크리트를 이용한 경량복합판넬의 성능 규명에 관한 실험적 연구, 대한건축학회, 춘계학술 발표 논문집, pp.623-626, 1995.
4. 이정국 외4인, 인공경량골재를 이용한 경량패널 심재의 열전도 특성, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp.131-136, 2002.
5. 한국건설기술연구원, 세폼(인공경량골재)을 이용한 공업화판넬 및 저층주택시스템 개발 연구, pp.161-170, 1994.
6. 한국소방안전협회, 플라스틱의 연소와 화재에 대한 연구, 소

방2000년사, pp.108-119, 1994.

7. ASTM D 635-91, Standard Method for Rate of Burning and/or Extend and Time of Burning of Self-Supporting Plastics in a Horizontal Position.
8. Ohama, Y., Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars Properties and Process Technology, Noyes Publications, 1995

(접수 2008. 10. 6, 심사 2008. 11. 28, 게재확정 2008. 12. 5)