

샌드위치패널심재로 활용한 St/BA 개질 다공성 경량 콘크리트의 특성

Properties of St/BA Modified Cellular Lightweight Concrete as Sandwich Panel Core

오강내민* 노정식* 도정윤** 문경주*** 소양섭****
O Kang, Nae Min Roh, Jung Sik Do, Jeong Yun Mun, Kyung Ju Soh, Yang Seob

ABSTRACT

Sandwich panel is composed of the facing sheets which support the external load, the cellular core with the low thermal conductivity and the adhesive agent to bond them. The cellular core was produced by binding lightweight cellular aggregates with cement and two types of acrylic base St/BA emulsion were added with a view to improving the workability loss due to high absorption of light weight aggregate and to develop more strength, respectively. This investigation is to comprehend the effect of the addition of two types of St/BA on thermal conductivity, calorific value and exhaustion content of noxious gas in addition to compressive and flexural strength. Flexural strength of the specimen made with St/BA-2 ranged 20kgf/cm² to 25kgf/cm² and was about 50% to 100% as high as that of the non-fiber specimen. Thermal conductivity was recorded from 2.0 to 3.0 kcal/mh^{°C} and calorific value of St/BA modified specimen was much lower than that of commercial sandwich panel core of EPS and urethane. Careful caution has to be taken because generation of noxious gas such as CO, NO and SO₂ tend to increase with addition of polymer cement ratio.

키워드 : 다공성 경량골재, 샌드위치 패널, 폴리머, 휨강도, 발열량, 유해가스

Keywords : Light Cellular Aggregate, Sandwich Panel, Polymer, Flexural Strength, Heating Value, Noxious Gas

1. 서론

화재안전의 전반적인 목적은 인명손실 뿐만 아니라 재산 손실의 위험을 줄이는 것이며 주된 관심은 인명의 안전에 있다. 하지만 최근 화재로 인한 대형 인명피해가 급증하고 있는 실정이다. 현재 건축현장에서 많이 사용되고 있는 샌드위치 패널은 가격이 저렴하고 단열성능이 뛰어나기 때문에 건축구조물의 비내력벽으로 널리 사용되고 있으나 샌드위치 패널 심재로 사용되고 있는 재료는 대부분이 발포 폴리스티렌과 발포 폴리우레탄 등으로 단열효과는 우수하나 연화점과 착화점이 낮아 비교적 낮은 온도에서 다량의 연소열을 발생시키며 더불어 CO₂, CO 및 여러 가지 유독가스를 발생시켜 인명피해를 주는 사례가 많이 존재한다. 따라서 불연재의 인공 경량골재를 활용하여 무기단열재를 제조함으로써 스티로폼 및 우레탄폼 등의 유기단열재를 사용한 샌드위치 패널심재를 대체하는 것이 본 연구의 취지이다. 경량골재와 시멘트만을 사용하여 제조한 심재의 휨강도는 5~10 kgf/cm² 미만으로 상당히 낮은 수치를 나타내며 흡수율 18~20%의 높은 값을 나타

내고 있다. 이에 본 연구는 패널 심재의 휨강도와 흡수율을 개선을 위하여 경량골재와 시멘트의 혼합물에 아크릴 계통의 폴리머 디스퍼전인 두 종류의 St/BA emulsion을 각각 첨가하여 혼입에 따른 패널 심재의 강도 개선효과 및 흡수율을 알아보고 열전도특성과 기존 제품의 심재와 발열량과 유해가스 발생량 등의 연소특성을 상대적 비교로 알아보고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 사용재료

1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 D사의 보통포틀랜드 시멘트(OPC)다.

2) 골재

골재는 스페인산 다공성 경량골재 사용하였으며, 경량골재의 최대치수는 10mm이며, 물리적 성질은 표 1과 같다.

* 정희원, 전북대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정희원, 전북대학교 대학원 건축공학과 박사과정,

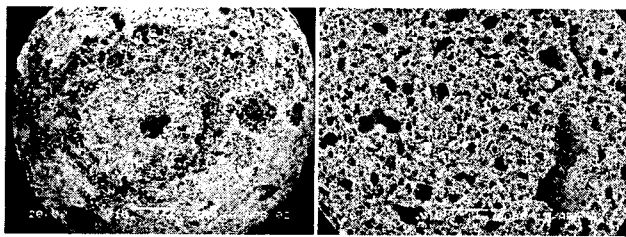
*** 정희원, 전북대학교 대학원 건축공학과 박사수료, 전북대 강사

**** 정희원, 전북대학교 건축도시 공학부 교수, 공업기술연구센터

표 1. 골재의 물리적 성질

굵은골재 최대크기 (mm)	비중 (20℃)	흡수율 (%)	각 체 통과량의 누계백분율(%)					단위용적중량 (kg/m ³)	실적률 (%)
			10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm		
10	0.56	20	100	36	1	1	1	374	66

그림 1은 본 연구에서 사용한 골재의 표면과 내부의 SEM 촬영 사진으로 내부에 수많은 공극이 있음을 확인할 수 있다.



a) 표면 b) 단면
그림 1. 다공성 경량골재의 SEM

3) 폴리머 디스퍼전

다공성 경량골재의 높은 흡수율에 따른 콘크리트의 시공성 저하 및 강도저하를 개선하기 위하여 표 2와 같은 아크릴 계통의 폴리머 디스퍼전을 사용하였다.

표 2. 폴리머 디스퍼전의 특성

특성 종류	고형분 (%)	점성 (mPas)	비중 (20℃)	평균입자 크기(μm)	구성 성분
St/BA-1	56	2470	1.04	0.28	Styrene acryl copolymer
St/BA-2	50±1	170-500	1.03	0.10	Styrene acryl copolymer

2.2 시험방법

1) 배합설계

표 3은 본 실험의 시험체를 제조하기 위한 배합표로서 경량골재의 겉보기 공극률 33%에 대하여 공극충전율을 50%와 60%로 계획하였으며, 폴리머-시멘트비에 따른 성능 발현현상을 파악하기 위하여 P/C비를 5, 10, 15%의 3수준으로 변화시켜 시험체를 제조하였다.

표 3. 배합표

Polymer	공극충전율 (%)	P/C (%)	W/C (%)	단위중량(kg/m ³)		
				시멘트	물	골재
St/BA-1	50	5	40	230	92	402
		10	40	230	92	
		15	40	230	92	
	60	5	40	276	110	
		10	40	276	110	
		15	40	276	110	
St/BA-2	50	5	30	267	80	
		10	25	290	73	
		15	25	290	73	
	60	5	30	320	96	
		10	25	348	87	
		15	25	348	87	

2) 시험항목 및 방법

본 실험에서 실시한 시험항목 및 방법은 표 4와 같다.

표 4. 시험항목 및 방법

항목	시험방법
흡수율	Ø10×20cm의 공시체를 제작하여 105±5℃에서 24시간 건조하여 중량을 측정 후, 수중에서 24시간동안 침지시킨 후 중량측정
밀도	흡수율과 동일한 공시체를 절건 상태에서 중량측정
압축강도	5×5×5cm 공시체를 제작하여, 기중(20℃, R.H. 60%) 양생 후 강도측정
휨강도	4×4×16cm 공시체를 제작하여, 압축강도와 동일한 방법으로 강도측정
열전도율	QTM-500라고 명명된 열전도율 측정기기를 사용하여 열전도율 측정
발열량	발열량 실험은 각각의 시험체에 대하여 KS M 2057법에 의한 직접 발열량 측정방법으로 시험
유해가스 방출량	650℃의 전기로에서 5분간 가열하여 연소 실험을 하였으며 유해가스 검출은 전기로의 배출 가스 쪽의 판을 개방시킨 후 상단에 가스분석기의 센서를 위치시켜 독일산 testo 350M/XL라고 명명된 가스 측정기를 이용하여 실시

3. 시험결과 및 고찰

3.1 밀도와 흡수율

그림 2와 3은 St/BA를 혼합한 다공성 경량콘크리트의 밀도와 흡수율을 공극충전율과 폴리머 시멘트비에 따라 나타내는 것으로 시험체의 밀도는 약 800-900kg/m³ 정도로 분포하고 있으며 폴리머 혼입률이 증가할수록 밀도는 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 폴리머 내에 함유된 계면활성제의 작용에 의하여 굳지 않은 상태에서의 유동성이 증진되므로 유동성이 증진된 만큼 W/C가 감소되어 일정 용적을 채우기 위한 단위시멘트량이 증가하기 때문이다. 또한 공극충전율이 증가할수록 실적률이 66%인 경량골재의 공극을 채우기 위하여 단위결합재량이 증가하게 되므로 밀도가 증가하는 것을 알 수 있다.

시험체의 흡수율은 시험체내의 공극량과 밀접한 관계가 있는 것으로 흡수율이 높은 패일 심재는 열전도율을 높이는 결과를 초래하므로 시험체의 흡수율은 열전도율의 관점에서 중요한 인자가 된다. 본 연구에서 흡수율은 공극충전율이 높아질수록 폴리머의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있는데 이는 흡수율이 높은 경량골재의 표면을 시멘트 페이스트가 코팅을 하여 주는 효과와 더불어 혼입된 폴리머 디스퍼전이 불투수층의 폴리머 필름을 형성하여 골재의 흡수율이 적어졌기 때문으로 판단된다.

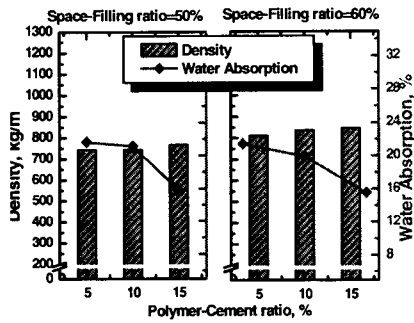


그림 2. St/BA-1을 혼입한 콘크리트의 밀도와 흡수율

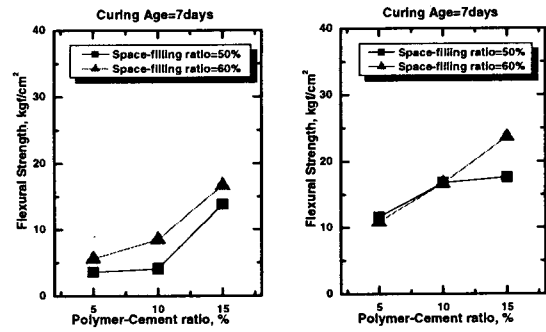


그림 5. 휨강도

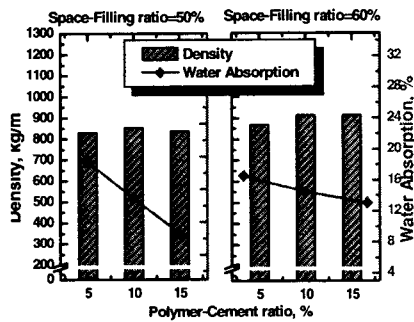


그림 3. St/BA-2를 혼입한 콘크리트의 밀도와 흡수율

3.2 강도특성

그림 4와 5는 St/BA를 혼입한 경량골재 콘크리트의 폴리머 혼입률과 공극충전률에 따른 재령 7일에서의 압축강도와 휨강도를 나타내는 그림이다. 폴리머 혼입률과 공극충전율이 증가함에 따라 압축강도와 휨강도는 증가하는 경향을 보이고 있으며 특히 St/BA-2에 의해 개질된 콘크리트 중 폴리머 시멘트비가 15%이고 공극충전률이 60%인 경우 압축강도는 70kgf/cm², 휨강도는 25kgf/cm²정도로 상당히 높은 값을 보이고 있다.

사용된 폴리머의 종류에 따라 비교 분석하여 보면 St/BA-2에 의해 개질된 콘크리트가 St/BA-1으로 개질된 콘크리트보다 더 높은 강도를 발현하고 있다. 이상의 설명처럼 폴리머의 혼입에 따라 강도의 증진현상이 발생하는 이유는 폴리머의 혼입에 따라 골재간 접착력이 증가와 폴리머 필름에 의한 응력의 분산에 기인하여 발생한 것으로 생각되며 그 정도는 형성된 필름의 성능에 따라 달라지는 것이 일반적이다.⁶⁾

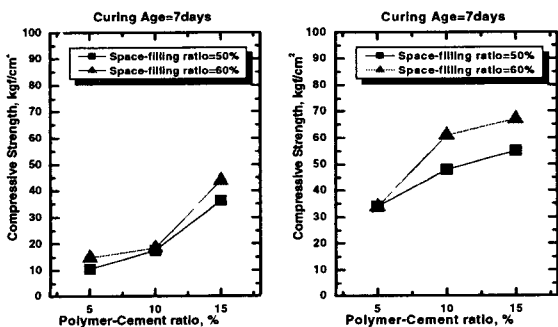


그림 4. 압축강도

3.3 열전도특성

그림 6은 St/BA를 혼입한 경량골재 콘크리트의 폴리머 혼입률과 공극충전률에 따른 재령 28일에서의 열전도율을 나타내는 것이다.

일반적으로 열절연체(thermal insulation)로 사용되어지는 재료는 열전도율이 낮아야 열을 빼앗기지 않는다. 재료의 내부에 공기를 생성시킴으로써 열전도율을 낮추고 있으며 그 공기 안에 수분이 유입되면 열전도율 급격히 상승하게 된다. 그림 6을 보면 공극충전률이 증가할수록 열전도율을 낮추기 위한 공기의 양이 감소하므로 열전도율이 증가하고 있음을 확인할 수 있으며 폴리머 시멘트비가 증가할수록 미세공극과 전체공극의 양이 감소하기 때문에 공극충전률의 증가와 함께 열전도율은 증가하는 경향을 보이고 있다.

하지만 본 연구에서 제조한 시험체는 물을 사용한 것이기 때문에 시험체를 완전히 탈수한 후 열전도율을 측정하면 그 값은 더욱 감소할 것으로 예상된다.

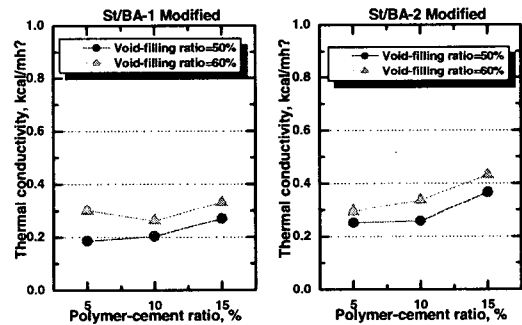


그림 6. 열전도율

3.4 발열량 및 유해가스배출량

그림 7은 시험체의 발열량(cal/g) 즉 시료 1g을 연소하였을 때 발생하는 열량을 나타내는 것으로 발열량은 화재시 재료로부터 외부로 발산되는 총 열량을 나타내므로 인간의 안전에 관련한 내화 및 방화재료에 있어서 중요하게 고려하여야 할 인자이다. 그림을 통하여 판단하여보면 유기계 제품인 발포 폴리스티렌(EPS)과 발포 우레탄은 매우 높은 발열량을 보이고 있어 화재시 매우 취약한 특성을 보이고 있음을 확인할 수 있으며 이에 반하여 본 연구에서 제조한 콘크리트 제품은 무기계 제품으로서 매우 낮은 발열특성을 보이고 있다.

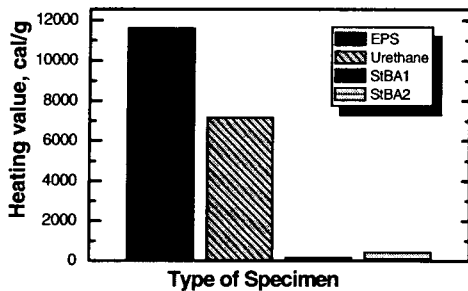


그림 7. 발열량

그림 8은 현재 상업적 용도로 사용되고 샌드위치 패널 심재인 EPS, Urethane, Glass wool과 본 연구에서 제조한 시험체와의 일산화탄소(CO)의 배출량을 상호 비교한 것이다. 전반적으로 기성 패널심재 제품 중 EPS와 우레탄은 CO 가스 발생량이 높음을 알 수 있으며 St/BA-2로 개질된 콘크리트의 경우 폴리머 시멘트비 10%까지는 CO 가스의 배출량이 극히 적으나 폴리머 시멘트비가 15%에 이르렀을 때에는 가스의 발생량이 급격히 증가하고 있으므로 St/BA-2의 사용시 이점을 고려하여야 할 것이다. 그림 9는 시험체의 SO₂가스의 배출량을 나타내는 것으로 EPS와 우레탄은 매우 높은 배출 특성을 보여주고 있으며 글라스 울은 매우 적은 양이 발생하고 있다. 본 연구에서 제조한 St/BA-2에 의해 개질된 콘크리트와 비교하여 보면 폴리머 시멘트비가 증가하면 콘크리트 내에 유기성 재료의 증가로 인하여 가스의 발생량이 다소 증가함을 알 수 있다.

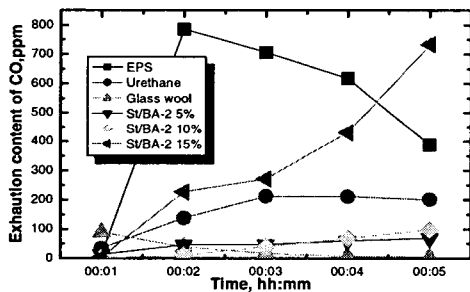


그림 8. CO 가스 배출량

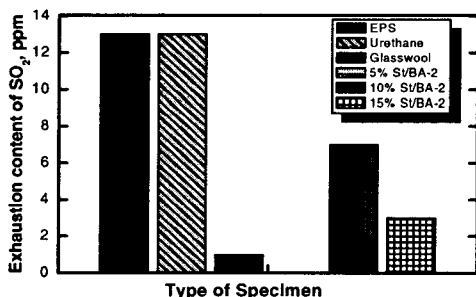


그림 9. SO₂ 가스 배출량

4. 결 론

시멘트를 이용하여 제조한 패널 심재의 인성과 밀도 등의 성능을 개선하기 위하여 아크릴 계통의 폴리머 디스퍼전인

St/BA를 혼입하여 제조한 시험체의 물성을 파악한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 밀도는 폴리머 시멘트비와 공극충전율이 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있으며 흡수율은 폴리머 시멘트비와 공극충전율이 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다.
- 2) 압축강도는 시멘트만을 결합재로 사용하였을 경우와 비교하여 볼 때 St/BA-1은 30%, St/BA-2는 200%정도의 압축강도를 개선하였다.
- 2) 휨강도는 St/BA-1은 약 20kgf/cm², St/BA-2는 약 25kgf/cm²로 시멘트만을 결합재로 사용한 시험체와 비교하여 볼 때 25~150%정도의 강도 증진이 나타나고 있다.
- 3) 열전도율은 폴리머 시멘트비와 공극충전율이 증가할수록 증가하는 경향이 있으며 공극충전율이 50%인 경우 2.0 kcal/mh² 정도를 보이고 있다.
- 4) 발열량 및 유해가스 배출량에 대한 실험결과를 통하여 본 연구의 시험체의 발열량은 50~100cal/g에 지나지 않으며 발열량이 8000~10000cal/g을 보이고 있는 현재 시제품으로 사용되고 있는 EPS, 우레탄과 비교하여 볼 때 매우 낮은 수치를 보이고 있다. 또한 일산화탄소를 포함한 유해가스 배출 특성을 파악한 결과를 보면 유기계의 EPS와 우레탄의 심재보다는 경량골재 콘크리트가 매우 양호한 유해가스 배출특성을 보이고 있다.
- 5) 이상의 시험의 결과를 종합하여보면 에멀전 타입의 St/BA-2를 혼입한 경량골재 콘크리트는 우수한 강도 개선효과를 보이고 있으며 유기계의 EPS와 우레탄과 비교하여 볼 때 발열량과 유해가스 배출량의 열적특성면에서 매우 우수한 성능을 발휘하고 있다. 다만 St/BA-2의 첨가율이 15%정도에 이르면 유해가스의 발생이 증가하므로 차후의 연구에서 이에 대한 대처와 고려가 필요할 것이다.

본 연구는 차세대 핵심환경기술 개발사업 연구과제 "유·무기성 폐기물을 이용한 초경량 발포제 상용화 기술 및 제조장치 개발, 주관연구기관-(주)네오이엔비"의 일환으로 이루어 졌습니다.

참 고 문 헌

1. 소양섭, "경량골재를 이용한 경량패널 심재의 열전도 특성", 한국 콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, 2002. 4, pp.131-136.
2. 소양섭, "비구조용 경량골재를 충전재로 활용한 폴리머 개질 샌드위치패널 심재의 강도특성", 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 2002. 9.
3. 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".
4. D. Feldman, "Polymeric Building Materials", Elsevier Applied science, New York, 1989, pp.74-200.
5. F. Meraghni, "Mechanical behaviour of cellular core for structural sandwich panels", PART A 30, 1999, pp. 767-779.
6. P. Kumar Mehta, et al., Concrete, Prentice Hall, New Jersey, 1993, pp.404-416.