

다공성 경량골재를 충전재로 활용한 샌드위치 패널 심재의 발열량 및 유해가스 배출특성

Heating Value and Noxious Gases Generation of Sandwich Panel Core using Artificial Lightweight Aggregate

노 정 식* 도 정 윤** 문 경 주** 조 영 국*** 소 양 섭***
Roh, Jung-Sik Do, Jeong-Yun Mun, Kyung-Ju Jo, Young-Kug Soh, Yang-Seo

ABSTRACT

This study is to investigate the heating value and noxious gases generation such as CO, NO and SO₂ known as dangerous gas for human from specimen made of cement and lightweight aggregate. The most quantity of CO gas is generated in EPS(Expanded Poly Styrene), core of commercial sandwich panel. Although specimens mainly composed of cement discharged the relatively less CO gas than organic core such as EPS, specimens which SBR was added discharged the very much amount of CO gas similar to EPS and especially, specimens including foaming agent, gas foaming agent or redispersible powder of VA/VeoVa showed the good properties in the generation of CO gas. From the standpoint of the generation of NO and SO₂ gas, both the core of commercial sandwich panel such as EPS, Glass wool and specimens made with polymer dispersion such as St/BA and SBR discharge the very much amount of NO and SO₂ gas in comparison of the other specimens. From this study, it was confirmed that organic materials such as core of commercial sandwich panel discharged much more noxious gas than specimens composed of cement and inorganic lightweight aggregate.

1. 서 론

화재안전의 전반적인 목적은 재산 손실의 위험을 줄일 뿐만 아니라 더욱 인명의 안전에 있다. 하지만 최근 화재로 인한 대형 인명피해가 급증하고 있는 실정에 있으며 최근에 발생한 대구 지하철 사고(03년), 인천 인현동 호프집사고(99년)¹⁾, 신촌 락카페 화재(97년)는 유해 가스로 많은 인명피해를 발생 시켰다. 화재에 의한 사망 원인은 크게 열상과 연기의 흡입 즉 질식사로 구분 할 수 있다. 우리나라의 경우 열상사 56%, 질식사 41%, 기타 사망원인이 3%로 화재현장 사상자가 발생하고 있는 등 화재현장에서 질식 사망자의 수가 전체 사망자의 40%이상을 차지하고 있다. 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 폴리

* 정회원, 전북대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정회원, 전북대학교 대학원 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 청운대학교 건축공학과 교수, 공박

*** 정회원, 전북대학교 건축·도시 공학부 교수, 공업기술연구원

우레탄 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 목적이다. 발열성은 유해 가스 와 함께 화재 시의 연소 확대성상, 연기의 발생 및 유동성상 등에 직접 영향을 주는 열적 잠재력을 나타내는 것으로 방화대책을 고려하는 경우에 기본적이며 중요한 요소이다. 이는 발열량을 통하여 시료 1g당 방출되는 열량(cal)의 지표로 표시되는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 기존 샌드위치 패널의 심재로 사용되는 발포 폴리에스테르, 우레탄, 그라스울과 경량골재를 충전재로 하여 제조한 시멘트계 패널 심재와의 연소시 발열성 및 유해가스 발생특성을 비교·분석 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 시험대상 물질

시험대상 물질로는 현재 상업적 용도로 사용되고 있는 Expanded Poly Styrene(E.P.S), Glass wool (그라스 울), Expanded Urethane과 같은 샌드위치 패널심재와 시멘트와 경량골재에 유리섬유, 기포제, 발포제, 폴리머디스퍼전 등을 각각 첨가하여 개질·보강된 패널 심재를 대상으로 하였다. Table 1과 Table 2는 본 실험에 사용된 경량골재 및 폴리머 디스퍼전의 물성을 나타낸 것이다. 발열량 시험을 위해 시료를 5mm상태로 균질하게 분쇄하였으며 유해가스분석용 시료는 60×60×60mm 크기로 절단하였다.

Table 1 Physical properties of lightweight aggregate

Maximum size (mm)	Density (20℃)	Water absorption (%)	Cumulative percentage passing(%)					Unit weight (kg/m ³)	Absolute volume (%)
			10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm		
10	0.56	20	100	36	1	1	1	374	66

Table 2 Properties of polymer dispersion

Type	Properties	Solid(%)	Viscosity (mPa·s)	Specific gravity (20℃)	Average particle size(μm)	Main Components
SBR		49	82	1.01	0.25	Styrene butadien
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
VA/VeoVa		100	-	0.6	10-250	Vinyl Acetate Vinyl verattate

2.2 실험항목 및 방법

본 연구의 발열량 실험은 각각의 시험체에 대하여 KS M 2057법에 의한 직접 발열량 측정방법을 이용하였으며 유해가스 배출량 측정 실험 시험체별 가스발생 특성을 고찰하기 위하여 650℃의 전기로에서 5분간 가열하여 연소 실험을 하였으며 유해가스 검출은 전기로의 배출 가스 쪽의 관을 개방시킨 후 상단에 가스분석기의 센서를 위치시켜 독일산 testo 350M/XL라고 명명된 가스 측정기를 이용하여 실시하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 발열량 특성

Fig. 1은 패널심재 1g을 연소할 때 발생하는 열량(발열량)을 나타내는 것으로 Expanded Poly Styrene(이하 EPS라 명함) 심재와 우레탄은 수지로만 구성되어 있기 때문에 열에 약하고 매우 높은 발열량을 보이고 있는데 이는 열분해에 따른 발열량이 매우 커 화재시 큰 위험성을 내포하고 있다고 할 수 있다. 또한 경량골재와 불포화폴리에스테르 수지를 결합제로 이용한 경우에도 수지의 연소에 의해 상대적으로 높은 발열량을 나타내었다. 본 연구에서 제조한 시험체중 SBR, St/BA-2와 같은 폴리머 디스퍼전을 15% 혼입하여 제조한 패널 심재

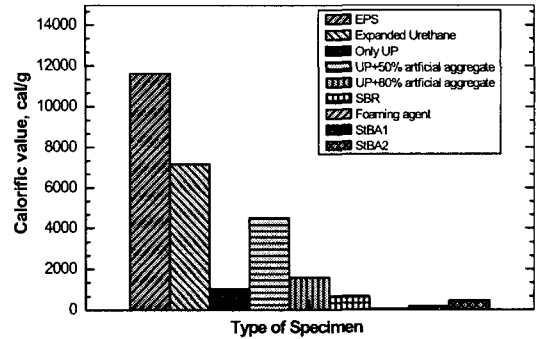


Fig. 1 Heat value according to the types of specimens

는 EPS심재에 비하여 1/16~1/25정도 발열량을 발산하고 있으며 St/BA-1을 10% 혼입한 경우에는 1/67 정도의 낮은 값을 나타내고 있다. 이에 패널심재의 강도증진을 위해 폴리머 디스퍼전을 이용할 경우 혼입량 및 그 종류에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

기포제를 혼입하여 제조한 패널 심재가 가장 낮은 발열량을 보이고 있는데, 이는 결합제로 시멘트만을 이용하였고 단백질계 기포제는 1.0%내외로 매우 적은 양이 혼입되어 연소될 성분이 거의 없었기 때문으로 생각된다. 또한 유리섬유와 발포제를 혼입한 것과 시멘트만을 사용한 시험체의 경우에는 50cal/g 미만으로 측정 오차범위 안에서의 값이 측정되므로 열적성능이 우수한 것으로 판단된다.

3.2 유해가스 발생 특성

3.2.1 CO 발생특성

Fig. 2는 1분당 650°C에서 발생하는 CO량을 5분동안 측정된 값을 나타내는 것으로 실제 화재현장에서 발생하는 대표적인 유독가스는 일산화탄소이다³⁾. 기존제품인 E.P.S 심재의 경우 전기로에 넣은 후 1분후 최대발생량인 약 800ppm을 나타내며 시간의 경과와 함께 점점 감소하는 경향을 보이고 있다. 불연재인 그라스울의 경우 처음에 약 90ppm을 나타낸 후 감소하는 경향을 보이며 우레탄은 3분후 약200ppm정도 나타내고 감소하는 경향을 보이고 있다.

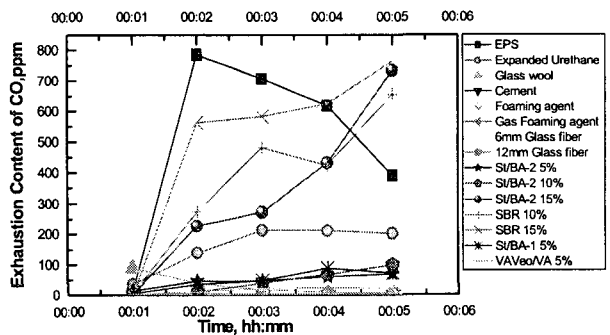


Fig. 2 CO gas generation

본 연구에서 제작한 시험체는 전반적으로 시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보이나 SBR, St/BA-1, St/BA-2의 혼입률 15%를 제외한 시험체는 100ppm미만의 작은 값을 보이고 있다. 이는 그라스울보다 작은 CO 발생량을 보이고 있으므로 본 시험체의 패널 심재로 적용시 화재에 대한 안전성이 기존 패널의 심재보다 우수하거나 불연재와 비슷한 값으로 우수성을 나타내고 있다. Fig. 3은 강도 특성이 우수하게 나타난 St/BA-2 개질 충전률 50% 시험체의 폴리머 혼입량에 따른 CO 발생량을 나타내는 그림으로 혼입률이 5%, 10%인 경우에는 시간의 경과에 대하여 100ppm미만의 값을 나타내고 있으나 폴리머 혼입률이 15%인 경우에는 시간의 경과와 함께 증가하는 경향을 보이고 있으며 E.P.S 심재의 최대량과 비슷한 값을 보이고 있다. 또한 St/BA-1, SBR를 혼입한 시험체의 경우에도 5%,10%

에서는 100ppm 미만의 값을 나타내고 있으나 혼입률 15%는 시간의 경과와 함께 CO의 양이 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 폴리머 혼입률 15%의 경우 많은 강도 증진효과는 볼수 있으나 CO가스 발생에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

3.2.2 NO, NOx 발생특성

Fig. 4는 각각의 시험체를 5분간 650℃의 온도로 가열하여 배출되는 NO가스의 누적양을 나타내는 것으로 NO, NOx의 발생은 연소물 자체에 함유된 질소분자가 연소분해에 의해 발생하는 경우와 공기 중 질소가 연소과정에서 O₂와 반응하여 NOx가 발생한다. 전반적으로 낮은 값을 나타내나 기성 패널 제품의 심재인 우레탄, 그라스울은 8~10ppm정도의 양이 배출되고 있으며 본 연구에서 제조한 시험체 중에서는 St/BA-1과 St/BA-2와 같은 아크릴 계통의 폴리머 15%를 혼입한 시험체에서 다른 시험체에 비해 많은 양의 NO가스가 배출되고 있다. NO, NOx 배출가스의 분석을 통하여 에멀전 타입의 폴리머 디스퍼전의 종류는 재유화형 분말수지를 활용하는 것이 유리하다고 판단되며 에멀전 타입의 폴리머 디스퍼전의 혼입시 10%미만의 혼입이 유리하다고 판단된다.

3.2.3 SO₂ 발생특성

SO₂ 가스의 발생은 시료에 함유된 S가 연소과정에서 발생하는 것으로서 Fig. 5는 각각의 시험체의 SO₂ 가스의 양을 나타내는 것으로 기성 패널 제품의 심재인 EPS와 우레탄은 13ppm정도의 양이 배출되고 있으며 본 연구에서 제조한 시험체 중에서는 SBR을 15% 혼입한 시험체에서 약16ppm의 많은 SO₂가스가 배출되고 있어 이 부분에서 취약한 면을 보여 주고 있다. 아크릴 계통의 폴리머인 St/BA를 혼입한 시험체는 높은 값을 나타냈던 NO가스 결과와는 달리 SBR보다 적은양이 배출되고 있었다. 또한 재유화형분말수지를 사용한 시험체는 비교적 NO 뿐만아니라 SO₂도 적은 양이 발생하고 있어 유해가스의 발생의 관점에서 보면 에멀전 형태의 폴리머 디스퍼전보다는 재유화형분말수지의 사용이 유효하리라고 판단된다. 폴리머 디

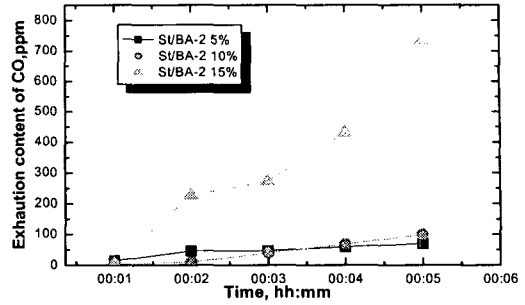


Fig. 3 CO gas generation of specimen modified by St/BA

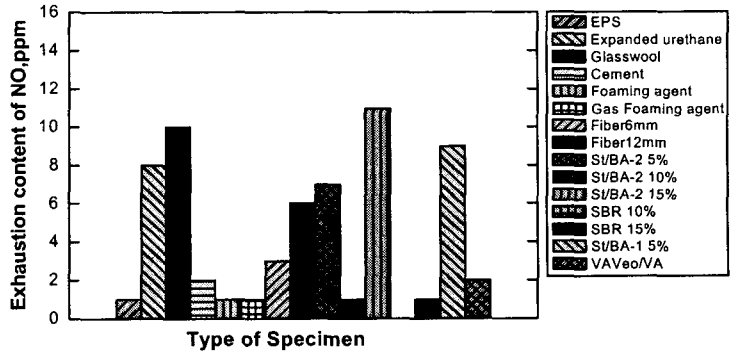


Fig. 4 NO gas generation

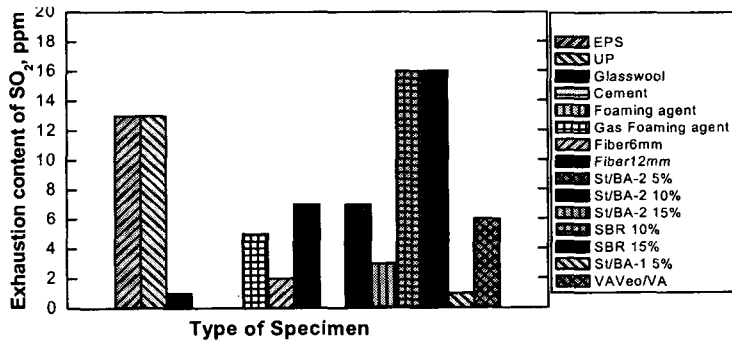


Fig. 5 SO₂ gas generation

스퍼전의 이러한 가스 발생 현상과는 반대로 시멘트만을 사용한 시험체와 이에 기포제를 혼입한 시험체에서는 가스가 전혀 발생하지 않았다.

3.3 시료별 사진 평가

Fig. 6은 650℃로 5분동안 전기로에서 가스 분석을 실험하기 전과 후의 시험체의 사진으로 기존 패널 제품인 E.P.S는 모두 연소되어 남아 있지 않으며 그라스 울과 우레탄은 연소되어 본 모양과 치수에 있어서 많은 변형을 나타내고 있다.

본 연구에서 제조한 시험체는 에멀전 타입의 폴리머 디스퍼전을 15% 혼입한 시험체에서 많은 연기가 발생한 반면에 발포제, 기포제, 유리섬유(6mm, 12mm), 재유화형 분말수지, 에멀전타입의 폴리머 디스퍼전 5%와 10%를 혼입한 시험체에서는 적은 양의 연기가 발생하였다. 또한 시험체들은 모두 표면에서 약간의 변화는 있었으나 형태의 변형은 육안으로 발견되지 않았다.

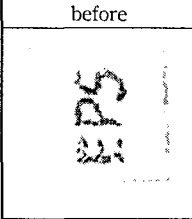
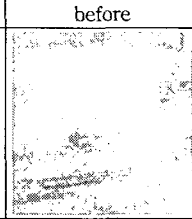
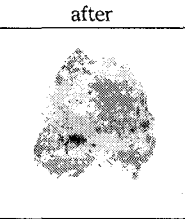
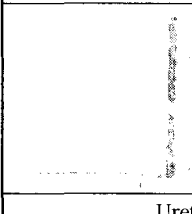
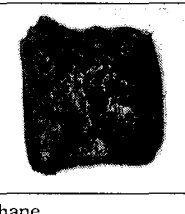
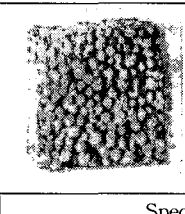
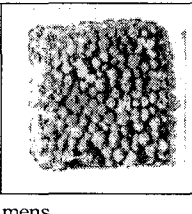
before	after	before	after
	completely burned and evaporated		
E.P.S core		Glass wool	
			
Urethane		Specimens	

Fig. 6 Photograph before and after 650℃ heating

본 연구에서 제조한 시험체는 에멀전 타입의 폴리머 디스퍼전을 5%와 10%를 혼입한 시험체에서는 적은 양의 연기가 발생하였다. 또한 시험체들은 모두 표면에서 약간의 변화는 있었으나 형태의 변형은 육안으로 발견되지 않았다.

4. 결론

이상의 기존 샌드위치 패널 심재 제품과 시멘트와 여러 혼화재료를 이용하여 직접 제조한 시험체의 가스분석과 발열량의 분석에 대한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 발열량 시험결과 기존 샌드위치 패널 심재인 EPS 및 우레탄의 경우 높은 발열량을 나타내며 순간적으로 연소되나 본 연구에서 제조한 시멘트계 패널은 폴리머디스퍼전을 혼입하지 않은 경우 매우 낮은 발열량을 나타내었다. 그러나 강도증진을 위해 폴리머를 사용한 경우에는 혼입량 및 그 종류에 대해서는 연소에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

2. CO가스의 경우 기존제품인 E.P.S의 경우 최대발생량 약 800ppm을 나타내며 불연재인 그라스울의 경우 약 90ppm, 우레탄은 약200ppm정도 나타내었으며 본 연구의 시험체는 전반적으로 시간이 지나며 증가하는 경향을 보이며 100ppm미만의 작은 값을 보였다. 반면에 폴리머 디스퍼전 15%를 혼입하는 경우 CO가스의 발생량이 급격히 증가하는 현상이 발생하고 있다.

3. NO 가스의 경우 기성 패널 제품의 심재인 우레탄, 그라스울은 8~10ppm정도의 양이 배출되며 본 연구의 시험체는 이보다 적은 값을 나타내고 있으나 폴리머 디스퍼전을 15% 혼입하는 경우 NO가스의 발생량이 급격히 증가하는 현상이 나타나고 있다.

4. SBR를 혼입한 시험체에서 많은 양의 SO₂가스가 배출되고 있어 이 부분에서 취약한 면을 보여 주고 있으나 아크릴 계통의 폴리머인 St/BA를 혼입한 시험체는 높은 값을 보였던 NO가스 분석결과와는 달리 SBR보다 적은 양이 배출되고 있었다.

5. 유해가스 발생 관점에서 보면 재유화형분말수지를 사용한 시험체는 전반적으로 비교적 적은 유해가스가 발생하고 있어 에멀전 형태의 폴리머 디스퍼전보다는 재유화형분말수지의 사용이 더 유효하리라고 판단된다.

6. 이상의 시험결과로부터 샌드위치 패널의 심재는 유기계 심재보다는 무기계를 지향하는 것이 타당하며 유해가스 방출의 관점에서 보면 무기계 혼화제만을 혼입하는 것이 타당한 방안이나 심재의 휨 강도를 증진시키기 위해 폴리머 디스퍼전으로 개질시킬 경우에는 혼입을 및 종류에 대한 충분한 검토가 이루어져야 하며 에멀전형태의 수지보다는 재유화형분말수지가 유해가스 발생면에서는 유효한 것으로 나타났다.

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

참고문헌

1. 소양섭, “인공경량골재를 이용한 경량패널 심재의 열전도 특성”, 한국콘크리트학회, 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. 안무업, 유기철, 송근정, “실물화재실험을 통한 화재현장 피해자의 일산화탄소와 저산소증에 의한 손상예측” 대한응급학회지 Vol.8 NO.4.
5. 박형주, “인천 인현동 호프집 화재사건으로 본 저층 다중시설의 화재안전상 취약요인과 대책”, 한국화재·소방학회지, Vol.13, No.4, pp. 61-67(1999).
6. Quintiere, J. G., Haynes, G., Rhodes, B. T., Application of a Model to Predict Flame Spread Over Interior Finish Materials in a Compartment., Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 7, 1995.
7. W.H.Kim, S.E. Dillon, Quintiere, J.G, Discussions of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test, Annual Conference on Fire Research, National Institute of Standard and Technology, MD, U.S(1998).
8. 김운형, Quintiere, J.G, “건물 내장재의 화재위험성 평가방법”, 한국화재소방학회지, 12권 2호(1998).
9. S.E Dillon, J.G. Quintiere, and W.H.Kim, “Discussion of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test”, 6th International Symposium on Fire Safety Science, IAFSS, France(1999).