

## 페타이어 분말과 난연제가 혼입된 모르타르의 화재안전에 관한 연구 Research on Fire Safety of Mortar-Containing Waste Tire Powders and Flame Retardant

박정진 · 손기상\*†

Jeong-Jin Park · Ki-Sang Son\*†

이화엔지니어링, \*서울산업대학교 안전공학과  
(2010. 2. 24. 접수/2010. 8. 16. 채택)

### 요 약

본 연구는 자원의 재활용 측면에서 적용한 페타이어 분말을 혼입한 모르타르에 난연제를 첨가하여 그 난연특성을 알아보고자 한다. 페타이어 분말의 혼입으로 단열성능 향상은 이미 검증이 되었으나, 단열성과 결합력의 상반된 재료 특성으로 인해 화재에는 취약한 바. 이에 난연제를 첨가하여 인명안전에 만전을 기하고자 한다. 페타이어 분말을 혼입한 모르타르의 난연제를 첨가하여 첨가 비율에 따른 그 특성을 알아보 고자 한다. 화재 초기의 특성을 알 수 있는 재료의 가연성 여부를 실제 화재와 유사한 복사열에 의해 시 험하고자 하였으며, 실험방법은 한국건축자재 시험연구원에 의뢰하여 ISO 5657 절차에 의한 재료의 착화시 간, 불꽃 발생여부, 시험체의 형태변화 등을 고찰하고자 한다. 페타이어 분말이 혼입된 모르타르와 난연제 (무기계)의 배합비율은 페타이어 분말의 0%, 30%, 60%, 90% 비율로 수산화알루미늄을 첨가하며 조연제 인 삼산화안티몬은 난연제의 10%를 첨가한다. 시험체를 수평설치하여 일정한 복사열(1~5W/cm<sup>2</sup>)을 시험 체 상부표면에 노출시키면 열이 시험체 표면에서 내부로 전도되어 온도가 상승한다. 온도가 충분히 높 다면 시험체는 열분해하면서 가연성가스를 발생시킨다. 이 때 점화원인 점화기구의 작은 불꽃은 시험체 중 앙 위의 10mm 지점에 규칙적인 간격으로 접촉하였을때의 재료의 지속적인 표면 착화특성(착화시간) 평가 한다. 난연제 미첨가시에도 착화가 일어나지 않아 페타이어분말이 혼입된 모르타르의 가연성은 적은 것으 로 볼 수 있으며, 화재실내에 존재하는 가연물의 양을 평가하는 화재하중에 이를 반영할 수 있다. 페타이 어 분말에 무기계 난연제를 첨가함에 따라 흡열효과에 의해 불꽃은 발생하지 아니하고 페타이어 분말입자 의 분해속도도 지연되었음을 확인할 수 있다. 복사열로 인해 난연제인 수산화알루미늄이 열분해하여 모 르타르내 수증기 분압이 증가하여, 페타이어 분말의 불꽃이나 연소형태는 보이지 않았다.

### ABSTRACT

The purpose of this study is to determine how effectively waste tire recycled material mixed with flame retardant work in combating fire. As discovered in the previous study, waste tire mixed with cement mortar has more insulation capacity. However, this mortar is weak against fire. Therefore flame retardant, with a specific proportional mix, will be added to increase its fire prevention capacity. Tests will be made in accordance with ISO 5657 procedures for measuring fire ignition time, flame and shape variation of test pieces at the Building Material Test Institute. The test piece will be set up with horizontal levels having a constant radiation heat of 1~5 W/cm<sup>2</sup>. Temperature transfers and increases from the surface into the interior. Combustible gases result due to pyrolysis, and regular contact is maintained between the fire source and the center of the test piece for assessment purposes. Ignition has not been occurred without adding retardant meaning that there is almost no possibility of ignition of waste tire particle. This fact can be considered as fire load to appreciate a volume of combustion materials. Flame is not occurred due to heat-absorbing effect by adding non-organic series retardant into waste tire particle. Conclusions have been summarized as follows; 1) Combustion of building material can be decreased by adding retardant to waste tire-mixing mortar. But compressive strength and insulation capacity of the material should be measured later. 2) Firing prevention and

† E-mail: ksson@snut.ac.kr

ignition are main points of building fire. Reasonable fire engineering assessment of interior material should be made for establishing effective disaster prevention system.

**Key words :** Mortar, Waste tire, Fire ignition, Flame retardant, Radiation

## 1. 서 론

우리나라의 자동차 보유대수는 2007년 기준으로 1,600만대 이상이며 페타이어 발생량은 2,400만개 이상으로 연간 자동차 1대당 1개 이상의 페타이어가 발생하고 있어 폐기물로서의 환경적인 문제가 야기되고 있다. 이에 따라 페타이어 재활용에 대한 인식이 점점 더욱 확산되고 있다. 대한타이어공업협회에 자료에 따르면 2008년도 환경부가 산정 고시한 타이어 재활용 의무율인 74.8%를 초과한 77.4%를 재활용한 것으로 나타났다.<sup>1)</sup>

페타이어 재활용 방법은 크게 토목공사 등에 투입되는 원형이용법과 재생고무로 활용하는 가공 이용법 그리고 열에너지로 활용하는 열 이용법으로 구분된다. 이중 열 이용법이 73.7%로 가장 큰 비중을 차지하고, 가공이용(23.6%), 원형이용(2.7%) 순으로 재활용되고 있다.<sup>2)</sup>

페타이어를 가공이용법에 의해 고무 분말 형태로 시멘트 모르타르에 혼입하여 건축물의 단열재료 등으로 사용하고자 하는 노력이 있다. 그러나 재활용되는 건축자재에 대해 화재발생시 어떤 양상을 보이는지에 대한 연구가 부족한 실정이다. 재활용 자재의 사용은 계속 증가될 것이며 따라서 이에 대한 화재 대응성에 대한 연구도 계속되어야 할 것이다. 고무분말은 고분자 물질로서 인간에게 치명적인 독성물질을 배출함으로써 많은 사상자가 발생한다.<sup>3)</sup> 이를 건축자재인 모르타르에 혼입하여 실내에 사용할 때 화재로 인해 인간에게 어떠한 문제가 발생하는지에 대한 종합적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 구획화재 곡선에 의해 화재 초기에 모르타르에 혼입된 페타이어 분말이 어떻게 작동하는지 여부를 ISO 5657 절차에 의해 실험하여 건축 재료로서 환경안전성, 화재하중 등의 평가를 통해 인명안전과 재산보호에 대한 방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 페타이어 분말이 혼입된 모르타르는 열전도율, 압축강도 등의 물성과 역학적 특성을 고려할 때 가장 적절한 입경 2mm의 페타이어 분말을 사용하여 배합한 것을 사용하며 이 배합비는 기존 실험연구에 의한 것으로 한다.<sup>4)</sup>

페타이어 분말의 착화시간 지연과 작동을 방지하기 위해 친환경적인 무기계 난연제를 30%, 60%, 90%의 비율로 혼합하여 착화시간 및 불꽃발생여부를 비교해

보기로 한다. 또한 난연효과를 높이기 위해 조연제인 삼산화 안티몬을 난연제의 10% 비율로 혼합한다. 마지막으로 난연제를 혼입하지 않은 시험체를 1조 제작하여 같은 실험을 행하였다. 또한 실제 구획화재에서 동일한 조건을 갖기 위해 복사열에 의한 열전달 방식으로 실험하였으며 시험체의 크기는 165 × 165 × 70mm의 크기로 시험기에 적절한 것으로 제작하였다.

2009년 1월 1일부터 성능위주 설계(PBD, Performance Based on designs)가 의무화된다. 건축물의 규모가 연면적 20만 제곱미터(아파트 제외), 지하층을 포함한 층수가 30층 이상, 연면적 3만 제곱미터 이상의 철도역사나 공항시설은 그 대상이 된다. 이는 건축물의 재료에 따른 연기발생량, 열방출을 등을 고려하여 적정하고 유효한 소방시설을 갖추는데 그 궁극적인 목적이 있다. 따라서 건축재료에 대한 실험적 평가와 자료 구축이 필요한 시기라고 생각된다. 세계적으로 친환경적 요소에 대한 관심도가 증가하고 있으며 자원의 재활용이 하나의 산업으로 자리잡아가고 있다. 그러나 재활용 자재가 실제 우리의 생활 속에서 화재나 재난에 어떻게 대응하는지 대한 연구도 필요한 시기라 생각된다. 페타이어를 그대로 방치하면 엄청난 환경파괴이다. 그리하여 이를 재생하여 건축물의 단열재료 사용한다면 바람직한 현상이지만, 페타이어 분말이 화재에 취약하다면 이는 인간의 생명과 직결되는 문제이다.<sup>5,6)</sup>

물론 본 연구가 재료에 대한 연기발생량이나 방출률 등 PBD 설계에 필요한 데이터를 찾아내는 것은 아니나 페타이어 분말이 혼입된 모르타르가 가연성 재료인지에 대한 평가를 통해 실내의 화재성상 분석에 도움이 되고자 한다. 또한 친환경적인 요구에 의해 사용되는 무기계 난연제인 수산화알루미늄이 페타이어 분말의 작동을 지연시킬 수 있는지 여부를 평가해 보고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 실험재료의 특성

#### 2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용되는 시멘트는 S사의 포틀랜드 시멘트로써, 한국산업규격 포틀랜드 시멘트(KS L 5201)에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Chemical Properties of Cement

성분	ig-loss	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
비율(%)	1.0	21.1	2.9	62.5
성분	MgO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
비율(%)	3.3	2.2	6.5	

**Table 2.** Physical Properties of Aggregate

시험항목	규격값	시험값
조립율	2.3~3.2	3.15
절대건조비중 (KS F 2504)	3.0% 이하	2.60%
흡수율 (KS F 2504)	1.0% 이하	0.42%
단위용적중량 (KS F 2511)	1,450kg/m <sup>3</sup>	1,627kg/m <sup>3</sup>
0.08mm체통과량 (KS F 2511)	3.0%	0.43%
염화물 (NaCl 환산량)	0.04% 이하	0.042%
유기불순물	표준색 이하	표준색보다 연하다

**Table 3.** Chemical Properties of Waste Tire Powder

비중	강열감량 (%)	유기물 (%)	Polymer	C/B량 (%)	ASH (%)
1.16	0.76	9.73	54.1	30.57	5.47

### 2.1.2 골재

잔골재는 남양주시 광전리산으로 입도는 5mm로 하였으며, 잔골재의 물리적 성질은 Table 2에 나타나있다.

### 2.1.3 페타이어 분말

본 실험에서 사용된 페타이어 분말은 기존 실험결과에서 가장 단열성능이 우수한 것으로 판단되는 입도 2mm를 사용하였으며, 사용된 페타이어 분말의 화학적 특성은 Table 3과 같다.

### 2.1.4 난연제

- ① Aluminum Hydroxide - 수산화알루미늄
- ② Chemical formula: Al(OH)<sub>3</sub>
- ③ Average particle size: max 8µm

### 2.1.5 Fly - Ash

플라이애쉬는 충남 보령 화력 발전소산으로 유연탄계이며 비중은 2.24이고 그 화학적 성분 및 물리적 성

**Table 4.** Chemical Properties of Fly-Ash

SiO <sub>2</sub>	55.1	Na <sub>2</sub> O	0.8	습분	0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.8	MgO	1.1	Ig.loss	3.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.7	SO <sub>3</sub>	0.3	분말도(cm <sup>2</sup> /g)	4.05

**Table 5.** Mortal Mixing Proportion (Unit: kg/m<sup>3</sup>)

비율	C	S	W	T	ad	N	J
0%	450	1070	260	103	50	-	-
30%						30.9	3
60%						61.8	6
90%						92.7	9.3

\*C: 시멘트, S: 모래, W: 물, T: 페타이어분말, J: 조연제, ad: 플라이애쉬, N: 난연제

질은 Table 4와 같다.

## 2.2 배합설계

표준 모르타르의 건조 재료 배합은 한국산업규격 시험체 제작은 KS L 5105에 따라 시행하며, 본 시험방법 중 8.에 따라 시멘트와 잔골재를 1:2.45 무게비로 섞는다. 혼합수의 양은 포틀랜드 시멘트는 사용 시멘트 무게의 48.5%로 하며, 시멘트 무게에 대한 백분율로 표시한다. 시멘트, 모래, 물, 페타이어분말의 배합비는 기존 실험 논문에서 인용한 것이며, 난연제의 양은 첨가된 페타이어 분말의 양에 0%, 30%, 60%, 90%를 정하였으며, 조연제는 첨가된 난연제의 양에 10%로 정하였다.

배합은 Table 5의 혼합표와 같다.

시험체의 제작은 수경성 시멘트 모르타르의 압축 강도 시험방법(KS L 5105)에 따라 제작하되 시험체의 크기는 착화성 시험(ISO 5657) 규정에 맞게 제작 하였으며, 탈형(시험체 성형 후 24시간)후 불침식성 재료로 만든 저장용 수조의 깨끗한 물 안에 담가 놓으며, 수온은 23±2°C로 고정한 상태에서 재령 28일까지 양생 후 각각의 시험을 행하였다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 시험범위

건축물의 벽, 천정 및 바닥 등에 내, 외장에 사용되는 유, 무기 단일, 복합재료 및 조립품의 착화시간 등을 측정한다. 시험체 크기의 가로 세로 165mm × 165mm 두께는 70mm 이하이며 수량은 5개 이상으로 한다. Table 5의 배합표에서 보듯이 페타이어 분말의 양에 대한 난연제 양에 변화를 주어 화재 안전에 대한 평가한

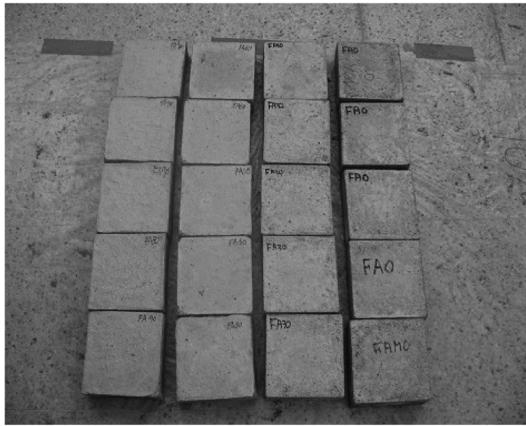


Figure 1. Shape of mortal samples which are mixed waste tire powder.

다. 시험체 제작은 Figure 1과 같다.

2.3.2 시험원리

화재시 재료가 연소하는 것은 화염에 의해서만 아니라 연소하고 있는 가연물에서 발생하는 복사열에 의해서도 착화되어 연소하는 경우가 있다. 복사열이 표면에 균일하게 전달되도록 평평한 것을 사용한다. 본 시험에서는 시험체를 수평설치하여 일정한 복사열(1~5W/cm<sup>2</sup>)을 시험체 상부표면에 노출시키면 열이 시험체 표면에서 내부로 전도되어 온도가 상승한다. 온도가 충분히 높다면 시험체는 열분해하면서 가연성가스를 발생시킨다. 이 때 점화원인 점화기구의 작은 불꽃은 시험체 중앙 위의 10mm 지점에 규칙적인 간격으로 점접촉하였을때의 재료의 지속적인 표면 착화특성(착화시간) 평가한다. 지속적인 착화는 4초 초과, 간헐적인 착화는 4초 미만으로 정하며 불꽃발생여부는 시험자의 육안으로 파악한다. 시험장치는 공기 흐름이 자유로운 실내에 설치하도록 하며, 시험시 발생하는 연소생성물



Figure 2. Flammability tester apparatus.

Table 6. Test Result

구분	착화시간	불꽃발생	비고
난연제(0%)	착화없음	발생	-
난연제(30%)	착화없음	없음	-
난연제(60%)	착화없음	없음	-
난연제(90%)	착화없음	없음	-

로부터 보호하도록 하며, 연소생성물의 강제배출로 인한 실험의 오차를 감안하여 강제배출은 규제한다. 또한 전기 가열로는 전원공급을 하고 나서 45~60분 예열을 받지 않으면 안정되지 않고 주위공기의 흐름과 전원 등의 영향을 받기 때문에 안정을 위하여 가열안정시간을 두도록 하였다.

3. 실험결과

착화성 시험기의 복사열을 1, 2, 3, 4, 5W/cm<sup>2</sup>로 단계적으로 상승시켜야 하는데 실험도중 시험자의 안전을 고려하여 목재 착화한계 강도인 1W/cm<sup>2</sup>로 실험하였다. 페타이어가 혼합된 모르타르는 1W/cm<sup>2</sup>에서는 착화되지 않았으나 순간적인 불꽃은 발생하였다. 시험결과 Table 6과 같다.

4. 분 석

4.1 구획화제

일반적인 건축물의 화재 전개 상태를 볼 때 착화에서 Flash over가 발생하기 전에 화재를 진압하지 않으면 인명안전과 재산보호를 실현할 수 없다. 따라서 착화시간을 얼마큼 지연시켰가는 화재의 진압가능성을 높여준다. 건축물의 화재 진압시스템 구성시 건축재료에 대한 올바른 평가만 이루어진다면 유효적절한 시스템 구성이 될 것이다. 따라서 본 연구는 구획화제 곡선을 통해 가연성 재료의 평가의 중요성을 비교해 보고 착화시간의 지연 등을 고찰해보고자 했다. 페타이어 분말이 혼합된 모르타르가 화재시(1W/cm<sup>2</sup>) 착화되지 않으므로 가연성 재료로 볼 수는 없다. 건축물 내부의 가연성 재료의 평가에서는 제외될 수 있다. 하지만 목재의 착화한계 강도이므로 화재 강도가 높아지면 달라질 수 있다. 착화시간 지연은 건축물내의 인명안전과 재산보호에 결정적인 요인이다.

4.2 착화성

착화시간은 가열 강도가 크게 되면 급격히 짧아지고,

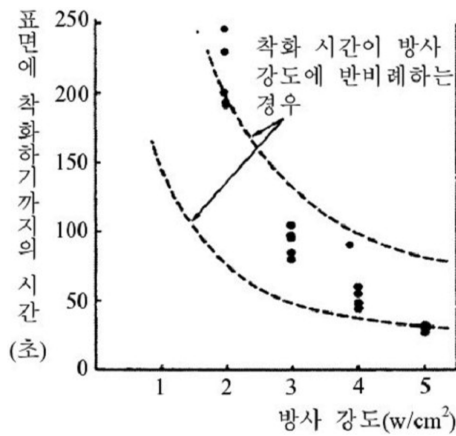
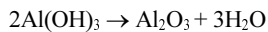


Figure 3. Timing graph (wood).

가열 강도가 충분히 커지면 착화시간은 가열강도의 제곱에 거의 반비례한다. 한편 Figure 3을 보면 가열강도 2~3W/cm<sup>2</sup> 사이에서는 착화시간이 현저히 다를 수 있으나, 가열강도가 어떤 조건 이하가 되면 아무리 장시간 가열하여도 착화하지 않는다. 이 조건은 화재 안전 평가상 중요한 의미를 가지며 착화한계라 부르나 착화한계는 재료의 착화온도와 실온의 차에 비례함을 알 수 있다.

페타이어 분말이 혼입된 모르타르는 착화되지 않았으나, 순간적인 불꽃이 발생하였으므로 잠재적인 위험성은 가지고 있다고 할 수 있다. 또한 시험자의 안전을 고려하여 목재착화한계 강도인 1W/cm<sup>2</sup>만을 적용시켜 5W/cm<sup>2</sup>까지 강도를 올린다면 착화의 가능성도 있는 것이다.



페타이어 분말과 난연제가 혼입된 모르타르는 착화되지 않았으며 어떠한 불꽃도 보이지 않았다. 화재 강도의 변화를 주어 적정한 난연제의 비율을 찾아야 했으나 시험자와 실험장치의 안전상의 이유로 그러지는 못했다. 단지 난연제를 혼입하지 않은 시험체(0%)는 불꽃발생이 있었으며, 나머지 시험체(30%, 60%, 90%)는 불꽃발생이 없는 것으로 보아 난연제가 페타이어 분말의 분해를 지연시키는 것으로 분석된다.

#### 4.3 연소확대의 매개체

발화방지대책으로 건축물의 마감재료 선택 조건 중 착화 그리고 착화물에 의한 연소확대가 되지 않도록 하여야한다. 페타이어분말이 혼입된 모르타르는 초기 화염강도에는 지속적인 착화는 없었으며, 화재 진행시에도 연소확대의 매개체가 되지 아니한다. 만약 화재

강도를 높이더라도 난연제가 작동한다면 지속적인 착화는 발생하지 않아 연소확대의 매개체도 되지 않을 것으로 보인다. 난연제의 첨가로 가연물로서의 불꽃 발생은 감소되며, 1차 착화물에 의한 연소 확대가 이루어지지 않는다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 페타이어 분말이 혼입된 모르타르를 건축재료의 가연성여부를 평가하는 착화성 시험에 의해 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 난연제가 첨가되지 않은 페타이어 분말이 혼입된 모르타르도 착화가 일어나지 않아 가연성은 적은 것으로 볼 수 있으며, 화재실내에 존재하는 가연물의 양을 평가하는 화재하중에 이를 반영할 수 있다. 화재하중이 높다는 것은 화재의 크기를 측정하는 기준으로서 건축재료로 사용이 안전 측면에서 자유로울 수 있다.

(2) 화재시의 열전달 형태는 전도나 대류보다는 복사사에 의해 연소 확대가 이루어진다. 본 연구는 복사에 의해 실험을 진행하였으므로 이는 착화뿐만 아니라 연소 확대의 매개체인지에 대한 평가도 가능하다. 화재강도의 제한이 있기는 했으나 지속적인 착화가 없는 점으로 미루어 이는 연소 확대의 매개체가 되지 않는다.

(3) 난연제 0%인 모르타르의 발화가능성은 4초 이상 지속착화경우에만 불꽃 가능성이 있는 것으로 판단된다. 무기난연제를 30%, 60%, 90%로 혼합시는 시간과 상관없이 불꽃발생이 차단되는 것으로 사료된다.

(4) 페타이어 분말이 혼입된 모르타르에 난연제를 첨가하여 건축 재료의 가연성 감소 효과는 기대되나, 모르타르의 구성비 변화에 따라 난연제는 열분해하여 내부 수증기압이 증가되므로 재료의 압축강도, 단열성 등에 대한 평가가 차후에 이루어져야 한다.

건축물의 화재는 발화방지와 착화여부가 중요한 요소이므로 실내 건축재료에 대한 올바른 화재공학적 평가를 통해 효율적인 방재시스템을 구축함으로써 인명 안전과 재산보호에 기여할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 환경부의 환경기술 인력양성 지원사업으로 지원되었습니다.

## 참고문헌

1. 기술표준원 고시, “한국산업표준(KS L 5105)”, 산업

- 자원부 기술표준원(2002).
2. 손기상, “화재에 의한 페타이어 혼합 콘크리트 강도 변화에 관한 실험적 연구”, 한국화재소방학회, Vol.6, No.2, pp.22-26(2002).
  3. 이두형, “난연처리된 고분자 재료와 폴리스티렌 나노 복합재료의 연소 및 난연특성”, 경기대학교 대학원 박사학위논문, pp.1-21(2006).
  4. 산업폐기물 활용 기술개발 사업단, “페타이어 분말 재 활용 기술개발”, 과학기술부&환경부, pp.12-31(2003).
  5. 이수경, “화재공학원론”, 동화기술, pp.10-20(2007).
  6. 서효원, “폐기물 발생사에 의한 환경보전과 국가 경제적 대책”, 여명환경경영클리닉, pp.1-13(2007).
  7. 최재남, “페타이어 분말을 혼입한 모르타르의 단열특성”, 서울산업대학교 석사학위논문, pp.1-44(2002).
  8. ISO 5657, “Reaction to Fire Tests - Ignitability of Building Products Using a Radiant Heat Source”.