



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

폐 난연성 EPS가 모르타의 물성에
미치는 영향



2014年 02月

부경대학교 대학원

건축공학과

조 광 현

공학석사 학위논문

폐 난연성 EPS가 모르타의 물성에
미치는 영향

지도교수 이재용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2014年 02月

부경대학교 대학원

건축공학과

조 광 현

조광현의 공학석사 학위논문을 인준함

2014年 02月 14日



주 심 공학박사 이 수 용 (인)

위 원 공학박사 정 철 우 (인)

위 원 공학박사 이 재 용 (인)

목 차

Abstract	v
I. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	3
1.3 기존 연구의 고찰	4
II. 이론적 고찰	6
2.1 팽창폴리스타이렌(EPS)	6
2.2 난연성 EPS	9
2.2.1 난연성 EPS의 정의	9
2.2.2 난연성 EPS의 소비현황	9
III. 폐 난연성 EPS를 혼입한 모르타의 물성 실험	12
3.1 시험체의 배합	12
3.2 압축강도	16
3.3 흡수율	17
3.4 열전도율	18
3.5 초음파속도	19

IV. 실험결과 및 분석	21
4.1 비중	21
4.2 압축강도	23
4.3 흡수율	29
4.4 열전도율	34
4.5 초음파속도	37
V. 결론	40
참고문헌	42



표 목 차

표 1.1 국내 연구 동향	5
표 2.1 품질기준	7
표 2.2 아시아 EPS 소비현황	10
표 3.1 실험인자 및 수준	13
표 3.2 배합설계	14
표 3.3 보통벽돌의 품질기준	17
표 4.1 비중_수중양생(C:S=1:3)	21
표 4.2 비중_기건양생 (C:S=1:3)	22
표 4.3 압축강도_수중양생(C:S=1:3)	23
표 4.4 압축강도_기건양생(C:S=1:3)	24
표 4.5 압축강도(C:S=1:5)	25
표 4.6 흡수율_수중양생(C:S=1:3)	29
표 4.7 흡수율_기건양생(C:S=1:3)	30
표 4.8 흡수율(C:S=1:5)	31
표 4.9 열전도율_기건양생(C:S=1:3)	34
표 4.10 열전도율_기건양생(C:S=1:5)	34

그림 목 차

그림 2.1 건축용 EPS와 난연성 EPS 생산현황 및 폐기실태	11
그림 3.1 시험체 제작과정	15
그림 3.2 QTM-500	18
그림 3.3 초음파 시험장치의 개념도	19
그림 4.1 압축강도_수중양생	27
그림 4.2 압축강도_기건양생	28
그림 4.3 흡수율_수중양생	32
그림 4.4 흡수율_기건양생	33
그림 4.5 열전도율 28일차_기건양생	36
그림 4.6 초음파_기건양생	39



The Effects of Flame Resistant EPS Wastes on the Physical Properties of Mortar

by Kwnag-Hyun Cho

Department of Architectural Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

Unlike conventional EPS that can be fused to make EPS ingot and be recycled for various purposes, flame resistant EPS waste cannot be recycled due to the presence of protective coating that is applied to increase the fire protection properties of EPS. A suitable alternative that can process large amount of flame resistant EPS wastes needs to be developed, and one of the possible alternative is to use them as construction materials. In this research, experiments were designed to investigate the applicability that the flame resistant EPS wastes can be utilized as partial replacements of fine aggregates in cement mortar. The replacement ratio of waste EPS was varied, and its effect on compressive strength, absorption capacity, thermal conductivity, and ultrasonic pulse velocity investigated. According to the experimental results, both compressive strength and absorption capacity met the Korean Standard specification for cement bricks and blocks. the amount of flame resistant EPS wastes increased. the thermal conductivity decreased and ultrasonic pulse velocity increased. the results indicate production of energy efficient light weight construction material. indicating that flame resistant EPS wastes can be used for construction purposes.

I. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 산업분야의 활발한 발전으로 인하여 삶의 질이 풍요롭고 윤택해졌지만, 이로 인해 발생하는 다량의 폐기물로 인하여 많은 문제가 발생하고 있다. 다양한 폐기물 처리방법과 친환경적 재활용 방안은 이러한 문제점을 효과적으로 해결하기 위한 대안 중 하나이다. 지금 현재 널리 사용되고 있는 플라이 애쉬, 고로슬래그, 실리카 폼과 같은 포졸란 재료는 산업부산물을 건설재료로 성공적으로 재활용한 사례이며, 이는 여러 다양한 형태의 재료들이 건설재료로 충분히 재활용 될 가능성이 있다는 점을 나타낸다. 그러나 건설 산업과 같은 업종에서 발생하는 건설 폐기물은 발생량도 많으며 현재 까지 명확한 처리방법과 처리기준이 제시되어 있지 않아, 이에 대한 대책마련이 시급하다. 특히 건설 폐기물의 자원화는 분류, 선별, 재생처리 등 재활용 과정이 복잡하고 비경제적이며, 생산성이 낮다는 이유로 재활용 기술의 개발, 보급이 지연되고 있는 실정이나, 폐기장소의 부족으로 인해 환경 파괴에 미치는 영향이 점차적으로 커져가고 있으며, 환경 부담금과 같은 형태로 폐기물의 처리비용 또한 상승하고 있다는 점을 감안하면, 여러 각도로 건설 폐기물의 재활용 방안을 모색하여야 한다. 이미 선진국에서는 환경문제를 직시하고 자원 고갈에 대한 대책으로 폐 콘크리트에서 추출된 재생골재의 재활용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며,¹⁾ 이를 실용화하여 적용하는 단계에 이르렀다.

건설재료의 재활용은 폐 콘크리트의 분야에만 국한되어 있는 것은 아니다. 폐기물 증가와 부존자원부족과 같은 문제점 해결에 대한 사회적 요구를 감안하면, 여러 다양한 방법으로 재활용 방안을 모색하고 친환경적 재료개발

1) 김영준 외, 건설폐기물의 재활용 활성화 방안에 관한 연구, 유기성자원학회 유기물자원화 v.20 n.2, pp.27~35, 2012

에 대한 기술적 연구를 지속해야 함을 알 수 있다.²⁾ 특히 대표적인 건축 재료 중 하나인 팽창폴리스타이렌(Expanded PolyStyrene : 이하 EPS)은, 소방법에 의거하여 신축 건물에 방화 재료로 많이 사용되고 있다. EPS의 방화성능을 높이기 위해 특수코팅을 한 재료를 난연성 EPS라고 하는데, 방화 성능이 뛰어나 특히, 조립식 건축물에는 철골조를 제외한 대부분을 차지하는 EPS 패널을 난연 EPS 패널과 합석철을 접착한 제품으로 대체 사용하는 것으로 바뀌어 가고 있다.³⁾ 그러나 난연성 EPS의 경우 용융, 용해의 방법으로 잉코트 및 섬유 코팅제 등으로 다양하게 재활용 할 수 있는 기존의 EPS와는 달리 난연 성질 때문에 재활용에 대한 어려움이 존재함을 확인하였다. 하지만 난연성 EPS는 단열과 같은 성능에 좋은 영향을 미치는 경량재료이기 때문에, 이를 콘크리트나 모르터에 혼입하게 되면 경량 단열용 블록 혹은 패널의 제조가 가능할 것으로 보인다. 기존의 EPS 폐기물을 활용한 시멘트계 재료 개발에 대한 연구⁴⁾가 존재하는 것을 감안해 볼 때, 난연성 EPS 폐기물 또한 건설재료로서의 재활용 가능성이 충분히 존재⁵⁾한다고 볼 수 있어, 이의 실용화에 관한 연구가 필요하다고 판단되며, 본 연구에서는 난연성 EPS 폐기물의 혼입량이 모르터의 물리적 성능에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

본 연구에서는 각 배합조건 및 난연성 EPS 폐기물의 혼입률에 대한 압축강도 및 흡수율을 파악하고 초음파 전파속도를 이용해 내부 공극량 정도를 추정하였으며, 열전도율 및 단열성능을 비교 분석하여 난연성 EPS 폐기물을 혼입한 시멘트계 재료의 재활용 가능성을 판단하고자 하였다.

-
- 2) 김성수 외, 재생시멘트와 폐 EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트 물성, 한국건축시공학회 학술 기술 논문발표회 논문집 v.04 n.02, pp.59~64, 2004.10.
 - 3) 이택운 외, 폴리프로필렌수지를 활용한 다공질 샌드위치 패널의 단열 및 차음성능 향상에 관한 연구, 대한건축학회지연학회 논문집 v.13 n.03, pp.251~256, 2011.09.
 - 4) 강병희 외, 폐 EPS 재생 잔골재를 이용한 경량콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 대한건축학회지 v.02 n.02, pp.153~160, 2000.05.
 - 5) 안재철, 폐 EPS 재생골재의 공극구조와 경량골재 콘크리트의 단열성능, 대한건축학회지 v.19 n.04, pp.89~96, 2003.04.

1.2 연구의 방법 및 범위

내화단열 코팅 막을 형성한 난연성 EPS는 일반 EPS에 비하여 내화 단열도가 월등하게 개선이 되었지만 형성되어 있는 난연 성질로 인하여 재활용 방법이 전무한 실정이다.

본 연구에서는 다양한 배합을 통하여 폐 난연성 EPS를 혼입한 모르터의 물성을 평가하고, 이를 통해 폐 난연성 EPS를 대량 재활용하여 소비할 수 있는 방법을 제안하고자 하였다. 폐 난연성 EPS를 2~3mm의 입자로 분쇄한 후 시멘트 모르터와 혼입하여 시험체를 제작하였다. 이렇게 제작된 모르터는 불연성을 가지며, 우수한 경량성능을 가지는 건축 재료가 될 수 있다. 난연성 EPS 폐기물의 효과적 재활용을 위해 다음과 같은 방법으로 진행하였다.

- 1) 폐 난연성 EPS의 폐기처리 실태조사 및 시멘트 블록용 재료로서의 재활용 가능성 파악
- 2) 폐 난연성 EPS의 혼입율, W/C, C/S 등 각각의 배합 비를 적용한 블록 제작 (공시체, 큐브)
- 3) 다양한 혼입율에 대한 샘플의 강도, 흡수율, 열전도율 및 초음파 속도 측정
- 4) 최적 배합비 제시

압축강도 및 흡수율을 파악하기 위해 50mm × 50mm × 50mm 모르터 큐브 샘플을 제작하였으며, 열전도율을 측정하기 위하여 100mm × 50mm × 20mm 크기의 사각판형의 샘플을 제작하였다. 초음파 속도는 직경 100mm, 높이 200mm 실린더 공시체를 제작하여 측정하였다.

1.3 기존 연구의 고찰

산업 폐기물 처리와 환경 친화적 재활용 방안의 모색은 지속가능한 환경을 유지하기 위해 절실히 요구되는 항목이다. 특히, 건설업에 있어서도 건설 폐기물 발생량은 해가 지날수록 늘어나는 실정이며, 이에 따르는 환경 파괴 및 재료의 자원 고갈 문제 해결책과 각종 폐기물의 재활용 방안이 심각하게 요구되고 있다.⁶⁾

폴리스티렌 수지를 발포하여 제작된 EPS는 열과 냉기의 침입에 대한 차단효과가 높고 성형성이 우수하여 각종 제품의 제조에 널리 사용되고 있다. 그러나 난연성 EPS는 부피가 크고 난분해성이며 소각 시 각종 유해물질의 발생으로 인한 폐기처리의 어려움과 환경오염의 주요 원인이 되고 있다.⁷⁾ 1990년대 난연성 EPS 폐기물의 대부분이 매립 처리 되는 상황에서 부피가 크고 회수 재활용이 되지 않아 1993년에 연차별 감량화 대상 품목에 포함되었고⁸⁾, 현재까지 무분별하게 폐기되고 있을 뿐, 특별한 대책이 마련되어 실행되지 않고 있다.

건설재료로서 재활용 하는 것은 다량의 난연성 EPS 폐기물을 효과적으로 소비할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있다. 표 1.1에 요약된 국내 연구동향에 따르면, 현재까지 진행 된 기존 연구는 대부분 EPS 폐기물 관련 연구에만 국한되어 있고, 난연성 EPS폐기물 관련 연구는 전무한 실정이다. 일반 EPS 폐기물의 경우 재활용 율이 70% 이상 상회하여 종이류 재활용율과 같은 수준의 상황에 도달하였으나, 문제시 되고 있는 난연성 EPS 폐기물의 재활용과 관련해서는 현재까지 재활용 처리방안 및 관련 연구가 미흡하여, 이에 대한 조속한 연구가 필요하다. EPS를 사용한 경량콘크리트는 EPS의

6) 김성수 외, 재생시멘트와 폐 EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트 물성, 한국건축시공학회 학술. 기술 논문발표회 논문집 v.4 n.2, pp.59~64, 2004.10.

7) 안화행 외, 폐 EPS 재생골재를 사용한 경량콘크리트 벽돌의 물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회지 n.145, pp.113~120, 2000.11.

8) 최주섭, EPS 재활용 현황, 한국포장협회 포장계, n.205, pp.44~49, 2010.05.

장점인 우수한 단열성과 흡음성을 갖출 것으로 예상되며, 경량화가 가능한 반면에 재료 자체의 강도가 매우 작으므로 압축강도는 시멘트의 결합력을 최대화시켜서 얻어내어야 할 것으로 판단된다.

표 1.1 국내 연구 동향

연구자	연구 내용 및 특징
박차원 외 ⁹⁾ (2000)	- 폐 EPS 잉고트의 굵은 골재 활용가능성을 고찰하고, 경량콘크리트의 제작을 위한 효과적인 배합설계의 기초자료를 제시
안재철 외 ¹⁰⁾ (2000)	- 폐 EPS 잉고트의 잔골재 이용가능성을 고찰하고, 경량콘크리트 제작을 위한 효율적인 배합설계를 위한 기초자료를 제시
최태호 외 ¹¹⁾ (2010)	- 폐 EPS 미분말을 모르터에 첨가하여 모르터의 기초물성을 검토하고 고온 환경에서의 강도 특성을 고찰하여 폐 EPS 미분말의 콘크리트 내화 성능 개선 가능성을 확인
김영준 외 ¹²⁾ (2013)	- 국내외 건설폐기물 재활용현황 및 재활용에 관련된 제도 조사 및 건설폐기물의 재활용 활성화 방안을 제시
이중찬 외 ¹³⁾ (2003)	- EPS를 사용한 경량 콘크리트 배합에 따른 물리적, 역학적 특성에 대하여 체계적인 분석 및 활용성 증대 방안 제시

9) 박차원 외, 폐 EPS 재생골재를 이용한 경량콘크리트 개발에 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 n.20, 2000.04.

10) 안재철, 폐 EPS 재생골재의 공극구조와 경량골재 콘크리트의 단열성능, 대한건축학회지 v.19 n.4, pp.98~96, 2003.04.

11) 최태호 외, 폐 EPS 미분말을 사용한 모르타르의 내화성능에 관한 연구, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회 논문집 v.2010 n.01, pp.399~402, 2010.12.

12) 김영준 외, 건설폐기물의 재활용 활성화 방안에 관한 연구, 유기성자원학회 유기물자원화 v.20 n.2, pp.27~35, 2012.

13) 이중찬 외, 발포폴리스티렌 비드를 사용한 경량콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계 v.19 n.7, pp.111~118, 2003.07.

II. 이론적 고찰

2.1 팽창폴리스타이렌(EPS)

EPS는 1866년 독일의 최대 종합화학업체인 BASF사에서 SM 활성법을 개발한 이후 1952년도에 특허 상품명인 스티로폼이란 명칭으로 BASF에서 상업 생산하여 전 세계적으로 파급되었고, 국내에는 1974년에 최초로 소개¹⁴⁾되었다. EPS는 폴리스티렌 수지에 펜탄 또는 부탄 등의 탄화수소가스 발포제를 첨가시켜 가열 및 경화시키는 과정에 발포제가 외기로 부터의 확산, 휘발되면서 발포되도록 제조된 수지를 말하며, 작은 비트나 원추형 펠렛의 상태로 공급된다. 발포 시 내부에 20~30만개 정도의 미세한 독립기포 구조로 되어 있으며 질량에 비하여 강도가 크고 독립기포 형태이므로 흡수성이 매우 낮다. 이렇게 제조된 EPS는 체적의 98%가 공기이고, 나머지 2%가 수지로 구성되며, 단위질량이 15~30kg/m³¹⁵⁾ 정도인 경량성을 띄고 있다. 흡음성, 탄성, 방진성, 단열성 및 내수성이 좋으므로 건축물의 단열재나 포장재료 등으로 주로 사용된다.¹⁶⁾

EPS 제작 방법으로는 금형 내에서 성형하기 전 EPS 비드의 예비발포 유무에 따라 1단 발포 성형법과 2단 발포 성형 법으로 구분된다. EPS 비드에 수증기를 가하여 필요로 하는 밀도까지 예비 발포 시키는데, 이때 발포배율이 과다하거나 수증기의 온도가 너무 고온이어서 예비 발포과정이 불량한 경우 Cell의 구조가 파괴되어 흡수율 및 강도특성이 불량해 질 수 있다. 예비발포 완료 후에는 통풍이 잘되는 싸일로에 반송시켜 약 24시간 숙성을 진행한다. 이 후 입자내의 발포제와 공기의 교환이 일어나며 입자 내 약간의 발포제가 남아 있는 상태가 된다. 숙성이 완료된 입자는 성형 틀에서 증기

14) www.basf-korea.co.kr

15) www.daihanresin.co.kr

16) 서치호, 폴리스타렌비드를 사용한 환경친화형 경량건축재 개발, 한국건설교통기술평가원, 2004.

에 의해 입자표면이 용융, 압착되는 용착 과정을 거쳐 성형된다. 성형품을 절단 시 입자표면을 따라 절단된 것은 용착이 불량한 것이고 이것은 흡수율, 열전도, 전단, 인장강도 등의 특성에 불리하게 작용한다. 성형이 끝나면 잠열에 의한 발포의 진행을 막기 위해 냉각을 시킨 후 성형 틀에서 탈형하고 창고에서 건조시켜 제작을 완료한다. KS M 3808에 대한 비드법의 EPS 품질기준표를 표 2.1에 나타내었다.

표 2.1 품질기준 (KS M 3808 비드법-보온판 기준)¹⁷⁾

종류	밀도 kg/m ³	열전도율 (평균온도 20±5℃) Kcal/m,h,℃	굽힘 강도 kgf/cm ²	압축강도 kgf/cm ² (10% 변형)	흡수량 g/100cm ²	연 소 성
보 온 판	1 호	30이상	0.031이하	3.5이상	1.6이상	3초 이내에 불꽃이 꺼져서 찌꺼기 없고, 연소할 계선을 초과하여 연소하지 않을 것.
	2 호	25이상	0.032이하	3.0이상	1.2이상	
	3 호	20이상	0.034이하	2.2이상	0.8이상	
	4 호	15이상	0.037이하	1.5이상	0.5이상	

17) 한국산업표준 KS M 3808, 발포 폴리스티렌(PS) 단열재, 2011.07

압축강도는 밀도와 정비례 관계에 있다. EPS 원료인 비드의 밀도는 생산 회사마다 약간의 차이가 있지만, 이는 생산되는 Polystyrene의 분자량의 크기가 각각 다르기 때문이다. 또한 EPS의 탄성영역은 변형을 1~2% 범위에서 존재하며, 밀도가 클수록 탄성영역이 넓어지는 경향이 있다.¹⁸⁾ 밀도가 클수록 압축강도에 대한 탄성한계비율은 증가하며 건설용 재료로 주로 3호 이상의 제품이 사용된다 (표 2.1 참조).



18) 강희준, 연약지반에서의 교대변위를 고려한 EPS공법의 적용사례 연구, 수원대학교 대학원. 석사학위논문 2004.02.

2.2 난연성 EPS

2.2.1 난연성 EPS의 정의

자체 재질이 열가소성 발포 수지체로서, 내열성 및 난연성을 보완하고자 스티로폼 제조 원료인 EPS 비즈 표면에 특수난연 피막을 코팅한 것이다. 1,2차 코팅제에 의해 내화단열 코팅막이 피복되면, 형성된 난연 피막으로 인해 내화단열도가 종래의 경우보다 월등하게 개선되는 효과를 가진다.¹⁹⁾

제조방법으로는 스티로폼 제조 원료인 통상의 수지비드 입자표면에 페놀수지, 난연성 무기질과 실리콘, 경화제로 이루어진 1차 공정 코팅제를 코팅한 후, 이어서 변성 페놀수지와 실리콘 폴리머 및 경화제로 조성된 2차 코팅제를 코팅한 다음, EPS 제작과 동일한 방법으로 발포 스티로폼을 성형하여 제작한다.

2.2.2 난연성 EPS의 소비현황

표 2.2는 2010년 AMEPS (Asian Manufacturers of Expanded Poly Styrene : 아시아 EPS 생산자기구 : 이하 AMEPS) 회원국의 EPS 소비량 집계표를 나타내었다. 그림 2.1는 건축용 EPS 에 대한 난연성 EPS의 생산량 및 폐기실태를 나타내었다.. 표 2.2에 따르면 2010년도에는 총 2,598,846톤의 EPS가 소비되어 2009년 2,259,000톤 보다 15% 증가한 것으로 나타났다. 중국이 321,000톤의 증가를 보여 전체 증가율을 주도하였고 기타 국가들은 소량의 증감이 나타났다.

19) 김영훈, 난연성 스티로폼의 제조방법, 한국특허정보원, C08J 9/04, 2005.02.

표 2.2 아시아 EPS 소비 현황²⁰⁾

가구별(Organization)	2009(ton)	2010(ton)	증감(ton)	비고
홍콩 CHKEPSA	27,000	25,000	-2,000	
중국 CPPIAEPS	1,640,000	1,961,000	+ 321,000	
대만 CTEPSRA	17,000	16,800	-200	
호주 EPSA	36,500	41,000	+ 4,500	
인디아 EPSRAI	72,000	78,000	+ 6,000	
싱가폴 ERAS	2,200	3,000	+ 800	
인도네시아 INAEPSA	28,000	25,000	-3,000	
일본 JEPSA	151,000	153,000	+ 2,000	
한국 KFRA	210,900	207,243	-3,657	
말레이시아 MERC	28,000	30,400	+ 2,400	
뉴질랜드 PNZI	5,600	6,900	+ 1,300	
필리핀 PPCP	6,800	6,003	-797	
태국 TPFRAI	34,000	45,000	+ 11,000	
계 TOTAL	2,259,000	2,598,846	+ 339,846	

20) 환경사랑, 한국발포스티렌재활용협회, 2011.09.

아래의 그림 2.1 건축용 EPS와 난연성 EPS 생산 현황 및 폐기실태에서 볼 수 있듯이, 건축단열재의 EPS 생산비율은 연간 167,275톤이며, 이중 난연성 EPS의 생산 비율은 약 10%인 16,000톤 정도이다. 비록 전체 생산비율에 비해 난연성 EPS의 생산 비율은 낮으나, 재료의 98%정도가 공극으로 구성되어 매우 낮은 비중을 가지고 있다는 점을 고려해 볼 때, 실제 처리되는 부피는 엄청난 양으로 볼 수 있다. 소각되는 경우에는 일반 EPS에 비해 훨씬 많은 양의 에너지를 소비해야만 처리할 수 있으나, 유해물질의 배출되므로, 에너지와 자원문제 및 환경적 측면에서 매우 불리한 상황이다. 현재까지 난연성 EPS 폐기물에 대한 효과적 처리방안이 없어 막대한 양이 폐기물로 매립되고 있어 이에 대한 대책마련이 시급하다.



그림 2.1 건축용 EPS와 난연성 EPS 생산현황 및 폐기실태²¹⁾

21) 환경사랑, 한국발포스티렌재활용협회, 2011.09.

Ⅲ. 난연성 EPS 폐기물을 혼입한 모르타의 물성 실험

3.1 시험체의 배합

본 실험에서는 난연성 EPS 폐기물의 배합비율을 다양하게 조절하여 난연성 EPS 폐기물의 치환율에 따른 강도, 흡수율, 열전도율 및 초음파 속도의 변화를 관찰하고자 하였다. 각 실험 인자 및 수준은 표 3.1에 나타나 있다. 기본적으로 시멘트 골재 비율을 1:3으로 하고 잔골재를 대상으로 동일 입도의 난연성 EPS 폐기물을 0%, 20%, 40%의 비율로 용적 치환하였으며, 물시멘트비를 35%, 40%, 45%로 하여 수중 및 기건 양생의 조건에서 실험을 진행하였다. 난연성 EPS 폐기물로는 난연성 EPS를 2~3mm 입자로 가늘게 분쇄한 재료를 사용하였다. 또한 KS F 4004 기준 시멘트 골재비율 1:5의 시험체에서도 난연성 EPS 폐기물을 0%, 20%, 40%, 비율로 용적치환하고, 물시멘트비 35%의 조건에서 수중 및 기건양생의 조건에서 실험을 진행하였다.

표 3.1 실험인자 및 수준

C : S	인 자	수 준	수준 수
1 : 3	W/C (/wt)	35, 40, 45	3
	양생분류	수중, 기건	2
	치환재료	난연성 EPS	1
	치환율	0%, 20%, 40%	3
	소 계		18
1 : 5	W/C (/wt)	35	1
	양생분류	수중, 기건	2
	치환재료	난연성 EPS	1
	치환율	0%, 20%, 40%	3
	소 계		6
합 계			24

배합은 표 3.2에 나타나 있는 해당 배합비에 따라 강제식 믹서를 사용하여 시멘트, 골재, EPS를 먼저 1분간 건비빔 한 후, 물을 넣어 3분간 배합하였다. 배합된 모르타 샘플은 해당 시험에 요구되는 크기의 몰드에 넣고, 다짐을 충분히 한 후 제작하였다. 각 시험체의 제작 과정은 그림 3.1에 요약하여 나타내었다. A형은 50mm×50mm×50mm의 큐브형태로 압축강도 및 흡수율 측정시 사용되었고, B형은 100mm×50mm×20mm 사각판형 몰드로 열전도율 측정시에 사용되었다. 마지막으로 C형은 200mm×∅100mm 실린더형 몰드로 초음파속도를 측정시 사용되었다. 각 시험체는 배합 1일후에 탈형하였으며, 27일동안 기건 혹은 수중양생을 진행하여 총 양생 기간 28일을 맞추었다.

표 3.2 재료의 배합비율 (기건양생, 수중양생 동일)

C:S	W/C (%)	EPS 치환율 (%)	단위 수량 (g)	용적(g)			중량(g)		
				C	S	EPS	C	S	EPS
1:3	35	0	110	100	300	0	315	780	0
		20	110	100	240	60	315	624	1.2
		40	110	100	180	120	315	468	2.4
	40	0	126	100	300	0	315	780	0
		20	126	100	240	60	315	624	1.2
		40	126	100	180	120	315	468	2.4
	45	0	142	100	300	0	315	780	0
		20	142	100	240	60	315	624	1.2
		40	142	100	180	120	315	468	2.4
1:5	35	0	110	100	500	0	315	1,300	0
		20	110	100	400	100	315	1,040	2
		40	110	100	300	200	315	780	4



시험체 제작

난연성 EPS 2~3mm 입자로 분쇄

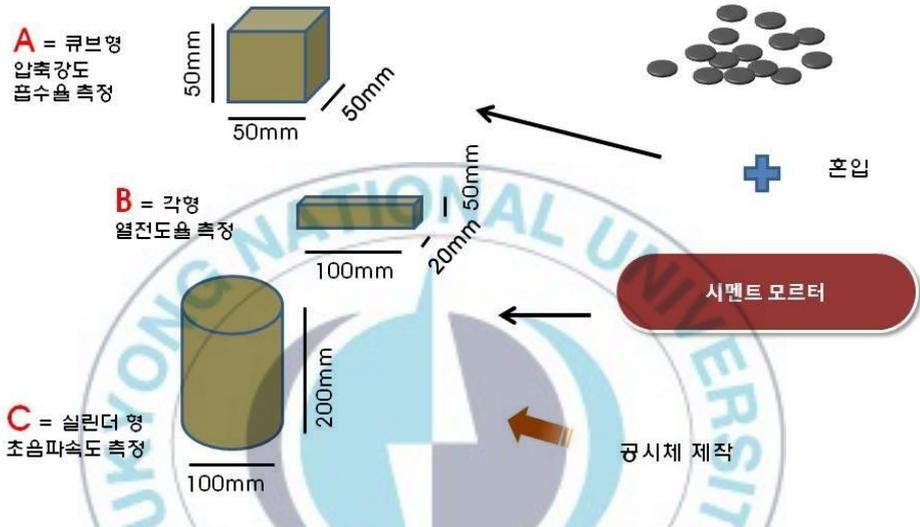


그림 3.1 시험체 제작과정

3.2 압축강도

압축강도는 28일의 양생이 끝난 후, KS F 4004 압축강도 시험법에 따라 진행하였다. 사용된 시험체는 50mm×50mm×50mm 몰탈 큐브 시험체이며, 시험기기로는 유압제어 시스템을 사용하여 최대 100ton까지 재료의 인장, 압축, 굽힘강도 등을 측정할 수 있는 Shimadzu사의 만능재료시험기 (Universal Testing Machine 이하 UTM) UH-F100A를 사용하여 측정하였고, 기건양생 및 수중양생 된 시험체의 표면은 압축강도 측정기와 접촉하는 면과 샘플의 상, 하부 접촉하는 면과의 표면을 갈아 울퉁불퉁한 면이 없도록 평평하게 만든 후 시험하였다. 시험시의 하중은 분당 3mm의 하중을 가하였으며, 압축강도는 최대하중에 시험체의 표면적을 나눈 값으로 구하였다.



3.3 흡수율

흡수율은 가로, 세로, 높이 50mm×50mm×50mm 크기의 큐브 시험체를 이용하여 측정하였다. 시험체를 절건상태로 만들기 위해 (110±5)℃의 오븐에 24시간동안 두고, 절건상태의 무게를 구한 후, 24시간 동안 물에 침지시켰다. 이후 표면에 흐르는 수분을 제거하여 표건상태로 만든 후, 표건상태의 무게를 측정하였다. 무게 측정시에는 표건상태 및 절건상태의 무게를 식 1에 대입하여 흡수율을 구하였다. 각 시험체의 흡수율은 표 3.3에 나타난 보통벽돌의 흡수율 기준과 비교하여 규준에 만족하는지의 여부를 확인하였다.

$$\text{흡수율} = \frac{\text{절건상태} - \text{표건상태}}{\text{절건상태}} \times 100 \quad \text{식(1)}$$

표 3.3 보통시멘트벽돌의 품질기준

등급	흡수율		압축강도	구어진정도	타격음
	3시간	24시간			
1등급	20% 이하	15% 이하	150kgf/cm ² 이상	양호	청음
2등급	23% 이하	18% 이하	100kgf/cm ² 이상	보통	탁음

3.4 열전도율

열전도율은 한국산업표준인 KS L 3306 표준에 맞춰 열선법에 의한 내화 벽돌의 열전도도 측정하는 방법에 따라 측정하였다.²²⁾ 열선은 KS C 1602에서 규정한 백금-백금로듐 열전대(Pt-PtRh)의 플러스(+) 쪽은 로듐 13%가 들어간 합금이며, 지름은 0.3mm의 것으로 하고. 열전대는 지름 0.3mm의 백금-백금로듐-13 (Pt-PtRh-13) 열전대를 사용하여 측정하였다.²³⁾ 측정기기는 QTM-500(쾌속열전도율계)으로 아래의 그림 3.2에 나타나 있다.



그림 3.2 QTM-500

본 실험에서 사용한 probe으로는 PD-11 모델이며, probe PD-11 모델은 시편 하나에서 일어나는 열 이동 분석을 통하여 열전도율의 측정을 가능하게 하는 장치이다. 열전도율은 가로 × 세로 × 높이, 100mm × 50mm × 20mm의 시험체를 이용하여 측정하였으며, 제작된 시편을 측정하부의 판에 올려두고 PD-11 probe를 시편의 상단에 올려 60초간 열전도율을 측정하였다.

22) 한국산업표준 KS M 3306, 열선법에 따른 내화 벽돌의 열전도도 측정방법, 2007.06.

23) 한국산업표준 KS C 1602, 비산화물계 파인세라믹스의 내산화성 시험방법, 2006.05.

3.5 초음파 속도

초음파 속도는 초음파가 재료의 매질을 이동하는데 걸리는 시간을 나타내며, 이를 이용하면 콘크리트의 균질성, 강도 및 탄성계수 등의 추정이 가능하다. EPS의 혼입률에 따른 시험체의 내부 구조의 변화를 파악할 수 있다. 본 실험에서는 직경 100mm×길이 200mm의 원주형 몰탈 공시체를 사용하여 초음파 속도를 측정하였다. 사용된 장비는 Ultrasonic tester e46 모델이다. 초음파 속도에 필요한 여러 장비에 대한 개념도는 그림 3.4에 나타나 있다. 구성으로는 펄스 발생 회로, 탐촉자(발진자, 수신자), 수신 증폭기, 디스플레이 유닛, 시간 측정 회로 및 연결 케이블로 구성된다.



그림 3.3 초음파 시험장치의 개념도

발진자, 수신자를 표준공시체의 표면에 접합 때에는 항상 일정하게 접합 되어야하기 때문에 최소량의 접착 매질인 구리스(grease)를 사용하여 표준 공시체 표면의 중심에 압착하였다. 초음파 속도는 다음의 식(4)에 따라 계산 되었다.

$$V = \frac{L}{T} \quad \text{식(2)}$$

V : 펄스속도(m/sec) L : 투과거리(m) T : 유효시간(s)



IV. 실험결과 및 분석

4.1 비중

표 4.1 및 4.2에는 난연성 EPS 폐기물을 혼입한 몰탈 큐브의 비중을 나타내었다. 아래의 표 4.1 비중_수중양생(C:S=1:3)에서 확인 할 수 있듯이, 시멘트 잔골재비 1:3, 물시멘트비 35%인 경우 난연성 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가함에 따라 비중은 2.20g/cm³, 2.04g/cm³, 1.93g/cm³으로 난연성 EPS가 각각 20%씩 증가시 시험체의 비중은 각각 약15%~30%정도 줄어드는 결과를 확인할 수 있었다. 물시멘트비 40%, 45%인 경우에도 난연성 EPS 치환율이 20%씩 증가함에 따라 비중은 약 10%~20%정도 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다.

표 4.1 비중_수중양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20	40
비중 (g/cm ³)	2.20	2.04	1.93	2.11	2.08	1.87	2.17	2.04	1.84

다음의 표 4.2 비중_기건양생(C:S=1:3)에서 와 동일하게 시멘트 잔골재비 1:3, 물시멘트비 35%인 경우 난연성 EPS의 치환율이 0%, 20%, 40%일 때 2.07g/cm³, 2.00g/cm³, 1.89g/cm³, 물시멘트비 40%의 경우 2.13g/cm³, 2.06g/cm³, 1.91g/cm³, 물시멘트비 45%인 경우 2.21g/cm³, 2.02g/cm³, 1.79g/cm³으로 난연성 EPS 치환율이 높아질수록 비중은 약 10%~20%정도 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

표 4.2 비중_기건양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20	40
비중 (g/cm ³)	2.07	2.00	1.89	2.13	2.06	1.91	2.21	2.02	1.79



4.2 압축강도

압축강도는 실험 시작 후, 재령 28일을 기준하였을 때 나타내는 값을 측정하였다. 시멘트 잔골재(C:S) 비는 1:3이며 물시멘트비는 각각 35%, 40%, 45% 각각의 EPS 치환율 0%, 20%, 40%로 수중양생을 진행하였고 결과 값은 다음의 표 4.3과 같다.

물시멘트비 35%의 경우 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%인 몰탈 시험체의 압축강도는 21.79MPa, 15.60MPa, 14.38MPa로 EPS 치환율이 20%씩 상승함에 있어 압축강도는 각각 6.19MPa, 1.22MPa 감소하는 것으로 나타났다. 물시멘트비 40%인 경우, EPS 치환율 0%, 20%, 40%인 몰탈 시험체의 압축강도는 20.46MPa, 20.49MPa, 13.87MPa로 나타났으며, 물시멘트비 45%인 경우에는 각각 17.01MPa, 14.70MPa, 14.40MPa으로 난연성 EPS 폐기물의 혼입률이 증가하는 비율에 따라 압축강도는 낮아지는 것을 볼 수 있다.

표 4.3 압축강도_수중양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20	40
압축 강도 (MPa)	21.79	15.60	14.38	20.46	20.49	13.87	17.01	14.70	14.40

표 4.4에서는 C:S 비율 1:3, 물시멘트비 35%, 40%, 45%, EPS 치환율 0%, 20%, 40%로 기건양생 된 시험체의 28일 압축강도를 나타내었다. EPS 치환율 별 압축강도는 수중양생과 동일하게 기건양생 부분에서도 EPS 치환율이 20%씩 낮아짐에 따라 압축강도 낮아지는 것을 알 수 있다. 물시멘트비 35%의 경우 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%인 몰탈 시험체의 압축강도는 20.47MPa, 15.44MPa, 11.37MPa로 EPS 치환율이 20% 씩 상승함에 있어 압축강도는 각각 5.03MPa, 4.07MPa 감소하는 것으로 나타났다. 물시멘트비 40%인 경우, EPS 치환율 0%, 20%, 40%인 몰탈 시험체의 압축강도는 20.21MPa, 20.76MPa, 11.74MPa로 나타났으며, 물시멘트비 45%인 경우에는 각각 20.30MPa, 16.35MPa, 10.74MPa으로 난연성 EPS 폐기물의 혼입률이 증가할수록 강도가 낮아지는 것을 볼 수 있다.

EPS 혼입률이 0% 및 20%인 경우, 수중양생과 기건양생된 압축강도의 차이를 비교하였을 때, 수중양생된 시험체는 기건양생된 시험체와 거의 차이를 보이지 않았다. 그러나 EPS의 혼입률이 40%인 경우에는, 수중양생된 시험체가 기건양생 된 시험체보다 압축강도가 2~3MPa정도 더 높음을 알 수 있었다.

표 4.4 압축강도_기건양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20	40
압축 강도 (MPa)	20.47	15.44	11.37	20.21	20.76	11.74	20.30	16.35	10.74

C:S 비율 1:5 기준으로 물시멘트비 35%, EPS 치환율 0%, 20%, 40%인 몰탈 시험체의 28일 압축강도 값은 표 4.5에 나타내었다. C:S 비율이 1:5의 경우 28일 수중양생된 시험체의 압축강도는 EPS 치환율 0%일 때 3.13MPa, 20% 일 때 2.90MPa, 40%일 때 2.44MPa로 나타났으며, C:S 비율이 1:5의 경우 28일 기건양생된 시험체의 압축강도는 EPS 치환율 0%일 때 4.26MPa, 20% 일 때 2.78MPa, 40%일 때 3.92MPa로 나타나, 표 4.3 및 4.4에서 나타난 C:S비 1:3인 경우와 비교하면 몰탈 시험체의 28일 압축강도가 확연하게 떨어진 것을 알 수 있다. 압축강도 저감의 원인으로서는 C:S 기준이 1:5인 빈 배합이며 배합 후 성형과정에서 2종 시멘트 벽돌의 제조 방법인 진동, 압축 성형 방식이 아닌 일반 다짐 성형 방법으로 제작이 되어 강도 증진효과를 얻지 못한 것으로 사료된다.

표 4.5 압축강도(C:S=1:5)

W/C (%)	35					
양생방법	수중양생			기건양생		
EPS치환율 (%)	0	20	40	0	20	40
압축강도 (MPa)	3.13	2.9	2.44	4.26	2.78	3.92

그림 4.1 및 4.2는 표 4.3, 4.4, 4.5에서 나타난 내용을 정리한 것이다. 그림 4.1에서 나타난 바와 같이 난연성 EPS 폐기물을 혼입한 28일 수중양생된 몰탈 시험체는 C:S 비율이 1:3인 경우 물시멘트비와 관계없이, 한국산업표준 KS F 4004 1종 벽돌 기준인 13MPa, 2종 벽돌인 8MPa²⁴⁾을 넘어서는 것으로 나타났다. 그러나 C:S 비율이 1:5인 경우에는 모든 시험체가 2종 벽돌 기준에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그림 4.2에 나타난 기건양생된 시험체의 경우도 수중양생된 시험체와 마찬가지로 C:S 비율이 1:3인 경우 KS F 4004 2종 벽돌 기준을 넘어섰으나 KS F 4004 1종 벽돌 기준인 13MPa은 난연성 EPS 치환율 40%의 경우에는 넘어서지 못하였다.

C:S 비율이 1:5인 경우에는 모든 시험체가 KS F 4004 2종 벽돌 기준을 만족하지 못하였다. C:S=1:3에 비하여 C:S=1:5의 압축강도는 확연한 차이를 보이는데, 그 이유로는 C:S=1:3에 비하여 C:S=1:5가 빈배합이므로 잔골재에 대한 시멘트의 양이 부족하기 때문에 골재간의 충분한 접촉이 이루어지지 못해서인 것으로 사료된다. 또한 배합 후 시험체의 제작과정에서 한국산업표준과 같이 진동 압축 성형을 하지 못하고, 다짐봉을 이용하여 다짐 작업으로 수행한 부분도 압축강도 저하의 큰 요인이 된 것으로 사료된다. 그림 4.2에서 나타난 C:S 비율 1:5 물시멘트 35%인 시험체에서 나타난 바와 같이, EPS 치환율 20%의 시편이 EPS 치환율 40%의 시편에 비하여 강도가 낮게 나오는 것이 나타났는데. 이러한 데이터 역시 일반적으로 EPS의 혼입율이 증가하면 강도가 저하되는 것을 고려하면 빈배합 이후의 다짐의 방법이 실제 압축강도에 어떠한 영향을 미치는지 충분한 알 수 있다.

24) 한국산업표준 KS F 4004, 콘크리트 벽돌, 2013.09.

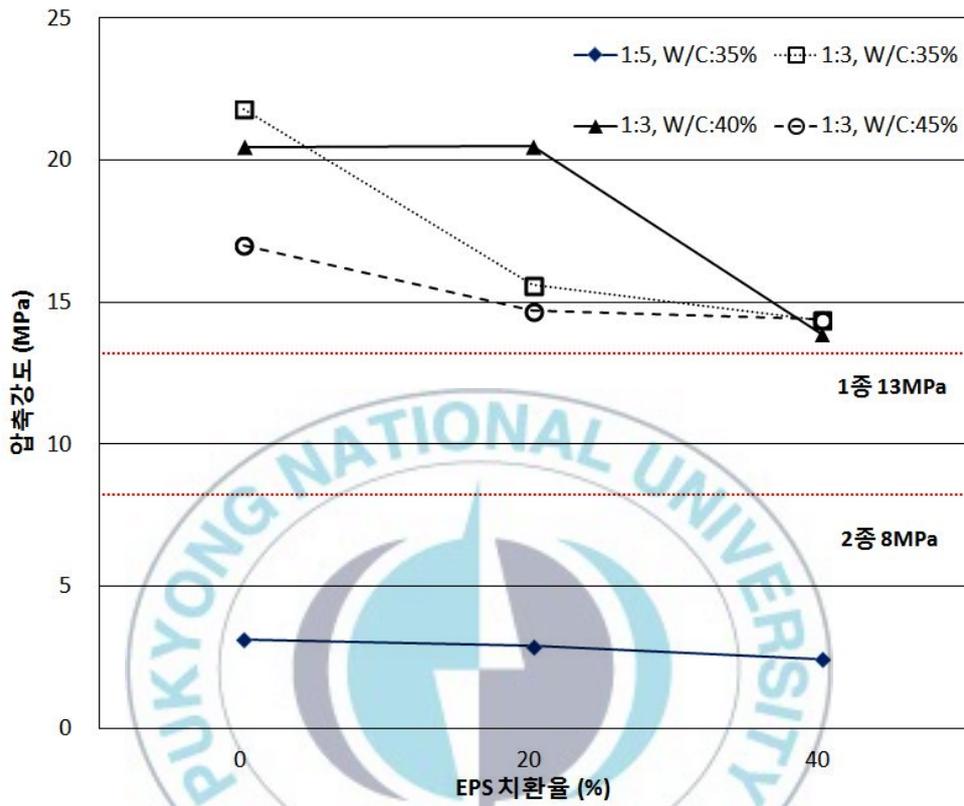


그림 4.1 압축강도_수중양생

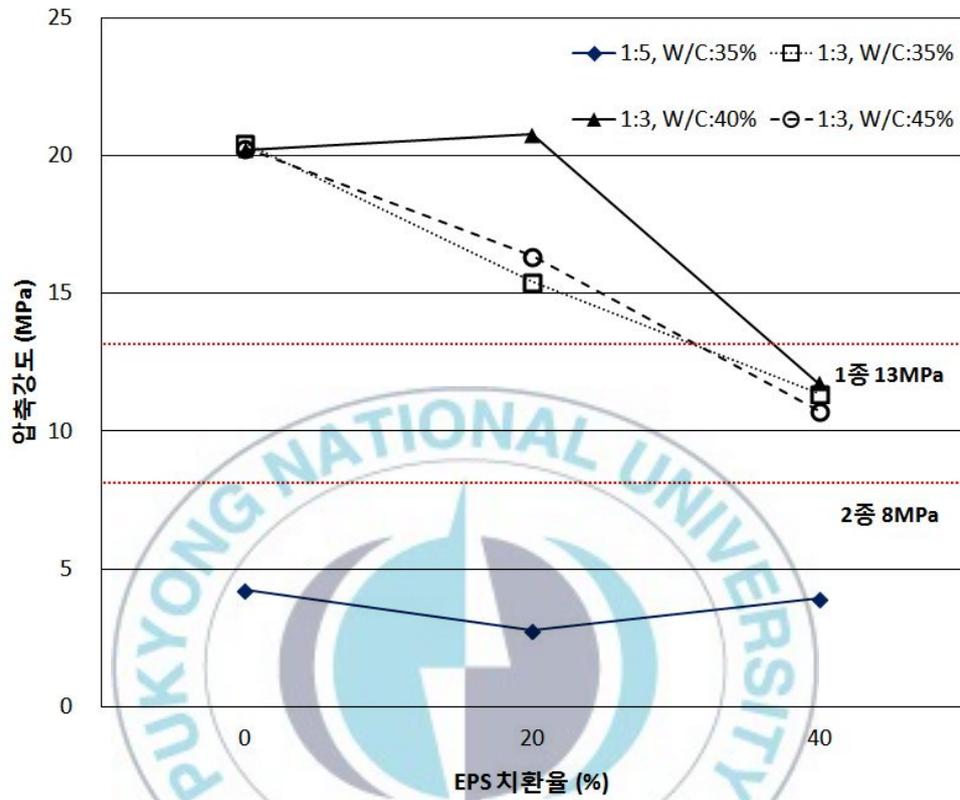


그림 4.2 압축강도_기건양생

4.3 흡수율

28일 수중양생된 몰탈 시험체의 흡수율은 표 4.6에 나타내었다. C:S비가 1:3, 물시멘트비가 35% 시편의 경우 난연성 EPS 치환율 0%, 20%, 40%인 경우 흡수율이 각각 10.56%, 9.35%, 9.17%로 EPS 혼입률의 증가에 따라 점차 감소하였다. 물시멘트비 40%의 경우 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할 때, 흡수율은 각각 9.01%, 8.52%, 8.77%로 점차 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 물시멘트비 45%의 경우에는 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할 때, 시편의 흡수율이 8.46%, 8.91%, 10.59%로 증가하는 것으로 나타났다.

표 4.6 흡수율_수중양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
	EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20
흡수율 (%)	10.56	9.35	9.17	9.01	8.52	8.77	8.46	8.91	10.59

표 4.7에는 28일간 기건양생된 몰탈 시험체의 흡수율을 나타내었다. 시멘트 잔골재비 1:3, 물시멘트비 35%의 경우 난연성 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할 때 시험체의 흡수율은 각각 9.41%, 8.02%, 8.73%로 나타나 특별한 경향을 보이지 않았다. 그러나, 물시멘트비 40%의 경우 EPS 혼입율이 0%, 20%, 40%로 증가할 때 흡수율은 7.87%, 8.30%, 8.93% 점차 증가하는 경향을 보였다. 물시멘트비 45%의 경우도 마찬가지로 EPS 혼입율이 0%, 20%, 40%로 증가할 때 흡수율은 8.41%, 9.13%, 10.41%로 증가하였다.

표 4.7 흡수율_기건양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20	40
흡수율 (%)	9.41	8.02	8.73	7.87	8.30	8.93	8.41	9.13	10.41

표 4.8에는 잔골재 치환율 1:5, 물시멘트비 35%인 시편의 흡수율을 나타내었다. 수중양생된 경우 난연성 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할수록 흡수율은 18.58%, 17.46%, 15.50%로 점차 감소하는 것으로 나타났다. 기건양생된 경우 난연성 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할수록 흡수율은 17.15%, 17.98%, 15.90%로 나타나, 대체적으로 EPS 혼입률의 증가에 따라 흡수율이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 C:S 비율 1:5인 경우의 시험체는 수중양생 및 기건양생에 관계없이 표 4.4 및 4.5에서 나타난 C:S 비율 1:3인 경우보다 높은 흡수율을 보였다.

표 4.8 흡수율(C:S=1:5)

W/C (%)	35					
양생방법	수중양생			기건양생		
EPS치환율 (%)	0	20	40	0	20	40
흡수율 (%)	18.58	17.46	15.50	17.15	17.98	15.90

그림 4.3 및 4.4는 표 4.6, 4.7, 4.8에서 나타난 내용을 정리한 것이다. 전체적으로 난연성 EPS 치환율에 대한 흡수율은 특별한 경향을 확인할 수 없었다. 이것은 치환율이 0%인 플레인 공시체와 치환율이 20%, 40%인 공시체에 대한 결과의 차이가 거의 없다는 것을 의미하고 이 결과는 시멘트와 EPS의 계면 사이가 시멘트와 일반 모래의 계면과 유사할 정도의 밀실성을 가지는 것으로 유추할 수 있다. 그림 4.3에서 나타난 바와 같이 난연성 EPS 폐기물을 혼입한 28일 수중양생된 몰탈 시험체는 C:S 비율이 1:3인 경우 물 시멘트비와 관계없이, 한국산업표준 KS F 4004 2종 벽돌 기준 흡수율인 13% 미만으로 나타나 기준을 만족하는 것을 알 수 있다. 그러나 C:S 비율이 1:5인 경우에는 2종 벽돌 기준의 흡수율을 상회하는 것으로 나타나 기준을 만족할 수 없었다. 그림 4.4에 나타난 기건양생된 시험체의 경우도, 수중양생된 시험체와 마찬가지로 C:S 비율이 1:3인 경우 KS F 4004 2종 벽돌 기준을 만족하였으나 C:S 비율이 1:5인 경우에는 KS F 4004 2종 벽돌 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

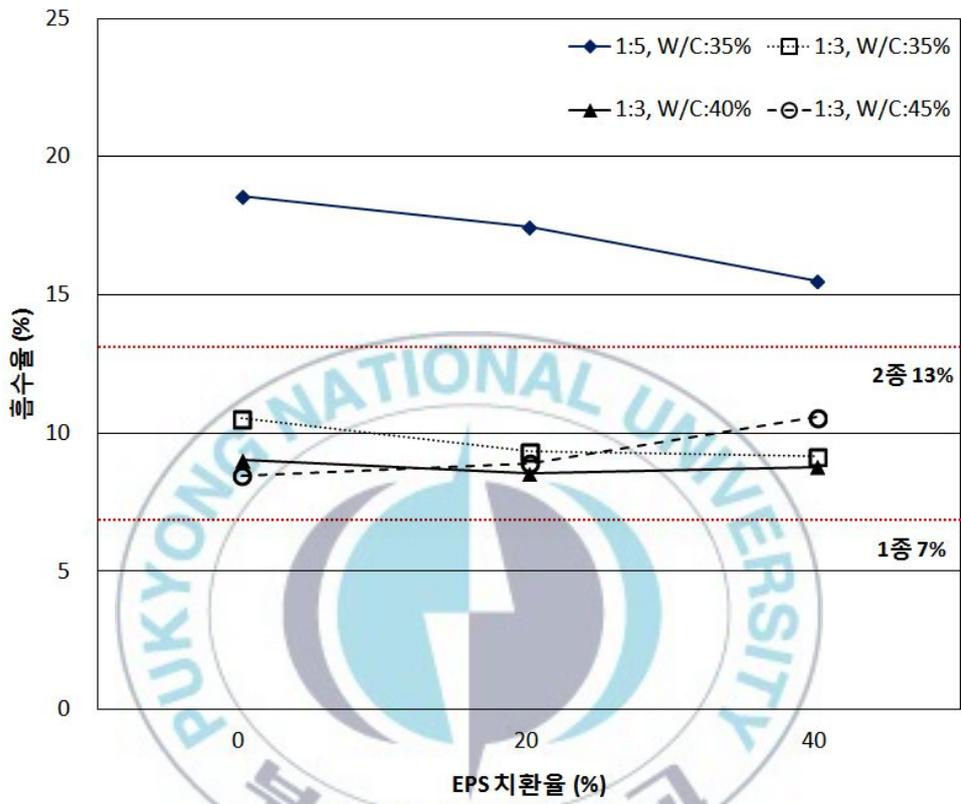


그림 4.3 흡수율_수중양생

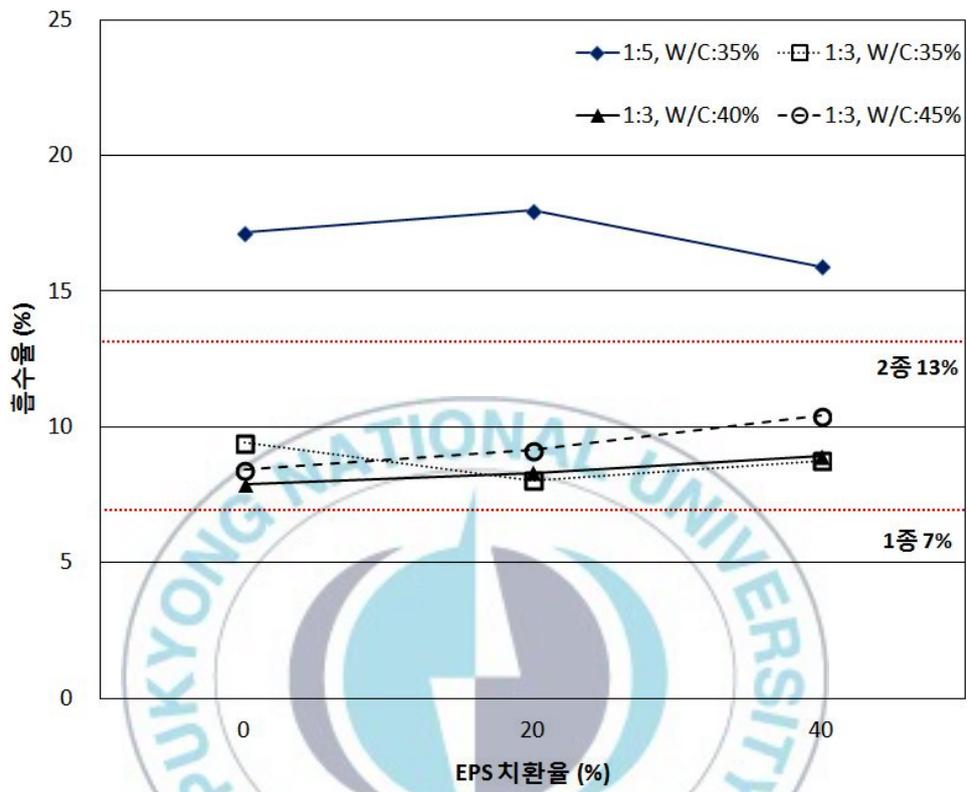


그림 4.4 흡수율_기건양생

4.4 열전도율

28일 압축강도 및 흡수율의 데이터를 비교해 보면 양생방법이 난연성 EPS 폐기물을 혼입한 모르타르의 물성에 큰 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다. 또한 열전도율의 측정시에는 함유수량의 정도 (특히 표면수량)가 결과값에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에, 열전도율의 측정에는 28일간 기건 양생된 시험체만 사용하였다. 표 4.9에서 나타난 바와 같이, C:S 비율 1:3, 물시멘트비 40%인 시험체의 열전도율은 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할 경우 열전도율이 1.961W/mK, 1.625W/mK, 1.417W/mK로 감소하였으며, C:S 비율 1:3, 물시멘트비 45%인 경우에도 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할 경우 열전도율은 1.873W/mK, 1.607W/mK, 1.467W/mK로 점차 감소하였다. 그러나 C:S 비율 1:3, 물시멘트비 35%인 시험체의 열전도율은 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%인 경우 각각 1.673W/mK, 1.739W/mK, 1.379W/mK으로 나타나, EPS 치환율에 따른 특별한 경향을 보이지 않았다. 통상 난연성 EPS의 혼입이 열전도율의 감소를 이끌 수 있다는 점을 고려한다면, EPS 혼입률 20%일 때 최대치의 열전도율값인 1.739W/mK가 나타난 것은 실험상의 오차 (시험체 제작시의 오류 등)에 의한 것으로 판단된다.

표 4.9 열전도율_기건양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20	40
열전도율 (W/mK)	1.673	1.739	1.379	1.961	1.625	1.417	1.873	1.607	1.467

표 4.10은 28일간 기건양생된 C:S 비율 1:5 물시멘트비 35% 시험체의 열전도율을 나타내었다. C:S 비율이 1:5로 골재량이 늘어나고 시멘트량이 줄어들게 되면, 표 4.9에 나타난 C:S 비율 1:3의 경우의 열전도율에 비해 EPS 치환율 0%, 20%, 40%일 때 열전도율 0.999W/mK, 0.928W/mK, 0.749W/mK으로 현저히 낮은 값을 보였다. 또한 C:S 비율 1:3의 값과 동일하게 C:S비율 1:5일 때 열전도율은 EPS 치환율이 높아짐에 따라 열전도율은 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

표 4.10 열전도율_기건양생(C:S=1:5)

W/C (%)	35		
EPS 치환율 (%)	0	20	40
28일차 열전도율 (W/mK)	0.999	0.928	0.749

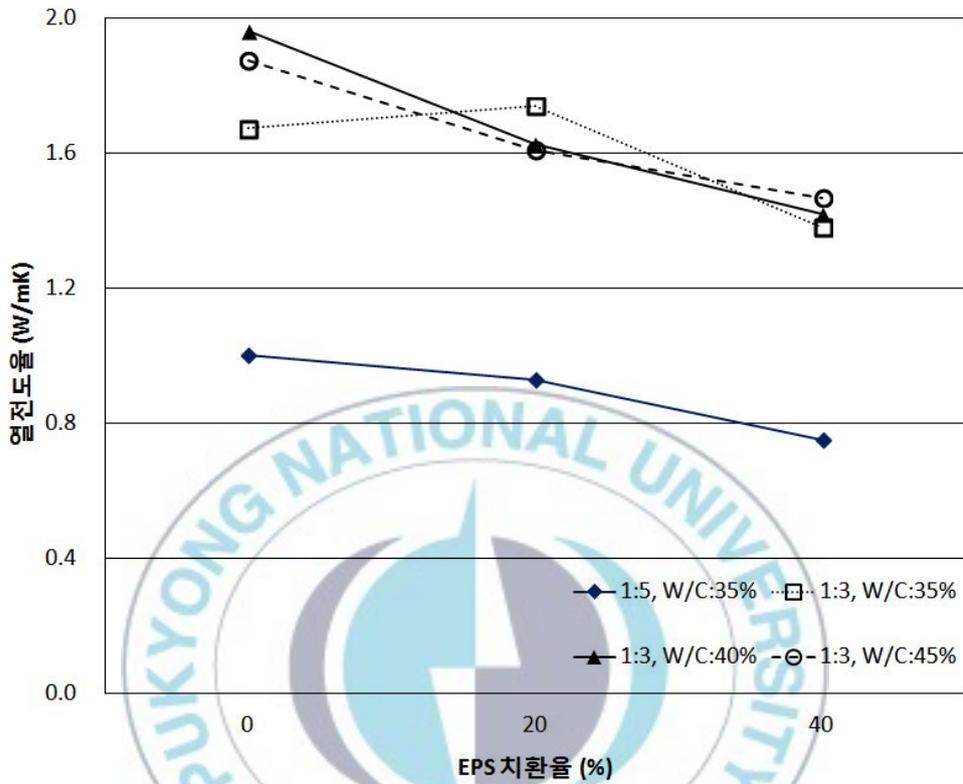


그림 4.5 열전도율_기건양생

앞의 표 4.9 및 4.10과 그림 4.5에서 나타난 바와 같이 EPS 치환율이 20%, 40% 증가할수록 열전도율은 약 10%씩 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 EPS 함량이 늘어날수록 열전도율이 낮아진다는 것을 의미한다. 따라서 폐 난연성 EPS 사용한 몰탈의 경우, 사용량에 비례하여 열전도율이 낮아지므로, 단열시멘트 벽돌로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4.5 초음파 속도

초음파 전파 속도는 내부의 공기층 존재 여부에 따라 전파속도는 감소하며 수분의 함량에 따라 결과 값에 많은 영향을 미치게 된다. 내부의 공기량이 많을수록 초음파 속도는 떨어지며 재료의 내부에 불균질한 매질이 많이 존재하게 되면 초음파는 전파하면서 그 에너지를 잃어버리게 되므로, 초음파 속도가 느린 재료는 진동의 감쇄 및 차음에 보다 유리한 재료일 가능성이 존재한다. 본 실험에서는 초음파 속도를 통해 EPS를 혼입한 시험체 내부의 균질도의 정도를 파악하며, 향후 차음용 재료로서의 발전가능성 또한 간략하게 판단하고자 하였다. 또한 내부의 수분량이 초음파 값에 영향을 미칠 수 있으므로, 초음파 속도 또한 28일간 기건양생 된 시험체에서 측정하였다.

아래의 표 4.11에 나타난 바와 같이, C:S 비율 1:3 몰시멘트비 35%인 경우 난연성 EPS 혼입율이 0% 20%, 40%로 증가할수록 초음파 속도는 3,565m/sec, 3,572m/sec, 2,863m/sec로 점차 감소하는 경향을 보였다. 몰시멘트비 40%인 경우 난연성 EPS 혼입율이 0% 20%, 40%로 증가할수록 초음파 속도는 3,814m/sec, 3,527m/sec, 3,164m/sec로 감소하였으며, 몰시멘트비 45%인 경우에도 난연성 EPS 혼입율의 증가에 따라 초음파 속도는 3,884m/sec, 3,477m/sec, 3,208m/sec로 감소하는 것으로 나타났다. 실험결과 잔골재 비에 대한 다공질인 난연성 EPS 치환율이 증가할수록 초음파 전파 속도는 감소하였다.

난연성 EPS 치환율 0%의 경우에 몰시멘트비가 35%, 40%, 45%로 증가할수록 초음파 전파속도는 3,565m/sec, 3,814m/sec, 3,884m/sec로 증가하였다. 그러나 난연성 EPS 치환율 20%의 경우에는 몰시멘트비가 증가할수록 초음파 속도는 각각 3,572m/sec, 3,527m/sec, 3,477m/sec로 몰시멘트비의 증가에 의해 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 난연성 EPS 치환율이 40%의 경우에는 몰시멘트비가 35%, 40%, 45%로 증가할수록 초음파 속도는

2,863m/sec, 3,154m/sec, 3,208m/sec로 증가하는 것으로 나타났다. 대체적으로 물시멘트비의 증가에 따라 초음파 전파속도가 높아지는 것을 확인할 수 있었으나, 대부분 실험결과의 오차범위 내부에 존재하는 것으로 판단된다.

표 4.11 초음파_기건양생(C:S=1:3)

W/C (%)	35			40			45		
EPS 치환율 (%)	0	20	40	0	20	40	0	20	40
초음파 전파속도 (m/sec)	3,565	3,572	2,863	3,814	3,527	3,154	3,884	3,477	3,208

표 4.12은 C:S 비율 1:5 물시멘트비 35%인 시험체의 초음파 속도값을 나타내었다. 표 4.12에 나타난 바와 같이 시멘트 잔골재 비 1:5의 경우 시멘트 잔골재 비 1:3과 동일하게 물시멘트비 35%의 상황에서 난연성 EPS 치환율이 0%, 20%, 40%로 증가할 때, 초음파 속도는 각각 2,832m/sec, 2,823m/sec, 2,387m/sec로 나타나 난연성 EPS 치환율이 높아짐에 따라 초음파 전파속도는 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

표 4.12 초음파_기건양생(C:S=1:5)

W/C (%)	35		
EPS 치환율 (%)	0	20	40
초음파 전파속도 (m/sec)	2,832	2,823	2,387

아래의 그림 4.6은 표 4.11 및 4.12의 데이터를 그림으로 나타낸 것이다. 잔골재 대비 난연성 EPS 폐기물의 치환율이 증가할 수록 초음파 전파속도는 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

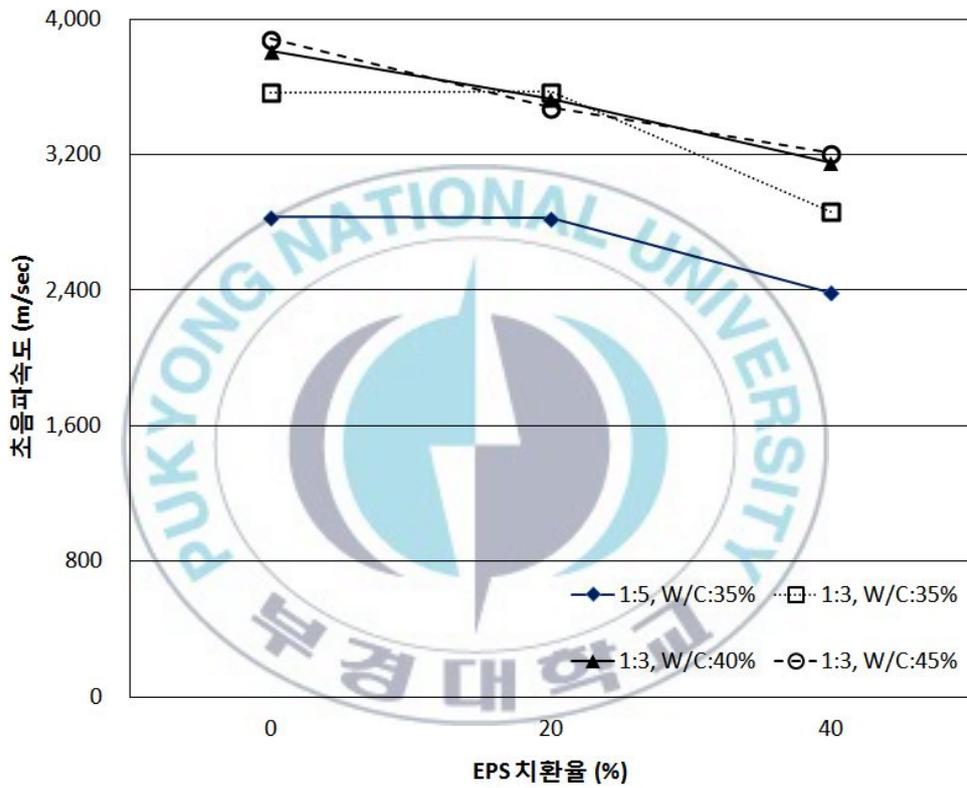


그림 4.6 초음파_기건양생

V. 결 론

본 연구에서는 제품 특성상 불연성질 때문에 기존 방법으로는 재활용이 되지 않는 폐 난연성 EPS를 이용하여, 배합조건별 치환율에 따른 강도특성을 비교, 분석하고, 초음파 전파속도 비교를 통해 물리적 성질의 차이에 대하여 실험하였으며, 실험한 결과를 바탕으로 다음과 같은 결과를 도출하였다.

(1) EPS의 혼입률이 증가할수록 시험체의 비중이 감소하였다. 이는 EPS를 혼입하는 경우 경량화된 시멘트 벽돌의 제조가 가능함을 의미한다.

(2) 재령 28일차 압축강도 측정 시 EPS 혼입율이 20%, 40%로 증가함에 따라 각각 약 20% 정도의 압축강도의 감소가 나타났다. 하지만 수중양생의 경우 한국산업표준 KS F 4004의 1종 벽돌 압축강도 기준인 13MPa 이상에 대하여 모두 만족하였고, 기건양생의 경우 난연성 EPS 폐기물 혼입량 40%인 경우만 한국산업표준 KS F 4004의 1종 벽돌 압축강도 기준인 13MPa 이상에 대하여 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 EPS를 혼입한 모든 시험체는 양생방법에 관계없이 2종 벽돌 기준인 8MPa 이상에 대해서는 만족하는 값을 보였으며, 이는 EPS를 시멘트 몰탈에 혼입하여도 시멘트 벽돌로 충분히 사용될 수 있음을 의미한다.

(3) 난연성 EPS 폐기물을 혼입하는 경우 시멘트 몰탈의 흡수율에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 양생방법에 관계없이 시멘트 모래비 1:3인 경우 모두 KS F 4004의 2종 벽돌 흡수율 기준인 13% 미만의 값을 보였다. 따라서 EPS를 시멘트 몰탈에 혼입하여도 시멘트 벽돌로서의 사용이 충분히 가능할 것으로 사료된다.

(4) 열전도율은 난연성 EPS 폐기물의 혼입율이 20%씩 증가할수록 열전도율은 약 10%~20% 정도 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 난연성 EPS 폐기물의 이용이 단열효과를 상승시켜, 단열용 시멘트 벽돌로서의 이용가치가 있음을 발견할 수 있었다.

(5) 초음파 전파속도의 경우 난연성 EPS 치환율이 높아짐에 따라서 초음파 전파속도가 낮아지는 것을 확인하였다. 이는 난연성 EPS 폐기물의 활용이 차음 및 진동에 효과적일 수 있을 가능성을 제시한다. 층간소음 방지재 등으로 사용가능성이 존재하므로, 추가적인 연구를 통해 그 효과를 입증하는 것이 필요하다.

본 연구의 결과에 따르면, 난연성 EPS 폐기물의 치환률이 높아질수록 시편의 경량성, 단열성 및 차음과 진동감쇄의 가능성이 높아짐을 알 수 있었다. 비록 난연성 EPS 폐기물의 투입이 압축강도의 감소로 이어졌지만, 모두 KS F 4004의 2종 벽돌 압축강도 기준을 통과하였으며, 흡수율 또한 난연성 EPS 폐기물을 치환하지 않은 플레인 몰탈과 거의 차이를 보이지 않았다. 전체적으로 고려해 볼 때, 난연성 EPS 폐기물은 경량 단열용 시멘트 벽돌 및 블록의 제작에 충분히 사용될 수 있을 것으로 나타났다.

경제적인 측면 및 환경적 측면 (폐기물의 처리량), 그리고 압축강도, 흡수율, 열전도율, 및 초음파 속도 결과를 함께 고려한 결과, 본 연구에서는 실험에 사용된 여러 배합비 중 물시멘트비 35%, 시멘트 모래비율 1:3, 난연성 EPS 치환율 40%를 최적화 된 배합비율로 제시하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 강병희 외, 폐 EPS 재생 잔골재를 이용한 경량콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 대한건축학회지 v.02 n.02 pp.153~160, 2000.05.
2. 강희준, 연약지반에서의 교대변위를 고려한 EPS공법의 적용사례 연구, 수원대학교 대학원 석사학위논문, 2004.02.
3. 김성수 외, 재생시멘트와 폐 EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트 물성, 한국건축시공학회 학술 기술 논문발표회 논문집 v.4 n.2, pp.59~64, 2004.10.
4. 김영준 외, 건설폐기물의 재활용 활성화 방안에 관한 연구, 유기성자원학회 유기물자원화, v.20 n.2, pp.27~35, 2012.
5. 김영훈, 난연성 스티로폴의 제조방법, 한국특허정보원 C08J 9/04, 2005.02.
6. 박차원 외, 폐 EPS 재생 굵은골재를 이용한 경량콘크리트 개발에 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, n.20, 2000.04.
7. 서치호, 폴리스타렌비드를 사용한 환경친화형 경량건축자재 개발, 한국건설교통기술평가원, 2004.
8. 안재철, 폐 EPS 재생골재의 공극구조와 경량골재 콘크리트의 단열성능, 대한건축학회지, v.19 n.4, pp.89~96, 2003.04.
9. 안화행 외, 폐 EPS 재생골재를 사용한 경량콘크리트 벽돌의 물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회지 구조계, v.16 n.11, pp.113~120, 2000.11.
10. 이종찬 외, 발포폴리스티렌 비드를 사용한 경량콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계, v.19 n.7, pp.111~118, 2003.07.
11. 이택운 외, 폴리프로필렌 수지를 활용한 다공질 샌드위치 패널의 단열 및 차음성능 향상에 관한 연구, 대한건축학회지회연합회논문집, v.13 n.03, pp.153~160,

2011.09.

12. 최주섭, EPS 재활용 현황, 한국포장협회 포장계, n.205, pp.44~49, 2010.05.
13. 최태호 외, 폐 EPS 미분말을 사용한 모르타르의 내화성능에 관한 연구, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집, v.2010 n.01, pp.399~402, 2010.12.
14. 한국산업표준 KS C 1602, 비산화물계 파인세라믹스의 내산화성 시험방법, 2006.05.
15. 한국산업표준 KS F 4004, 콘크리트 벽돌, 2013.09.
16. 한국산업표준 KS M 3306, 열선법에 따른 내화 벽돌의 열전도도 측정방법, 2007.06.
17. 한국산업표준 KS M 3808, 발포 폴리스티렌(PS) 단열재, 2011.07.
18. 환경사랑, 한국발포스티렌재활용협회, 2011.09.
19. www.basf-korea.co.kr
20. www.daihanresin.co.kr



감사의 글

본 지난 2년 지나온 동안 무엇보다도 쉽다고 느껴지는 것이 없었습니다. 저에게 학위과정은 인내와 인격수양에 대한 배움이 있었고 학문에 대한 매력을 선물해 주었다고 생각합니다. 학위과정 이전 5년간의 직장생활을 그만두고 대학원 생활을 시작하는 시점에는 막막함도 많았었지만 최대한 빠르게 적응하려 노력하고 치열한 자세로 배우고자 한 부분이 지금의 결실을 맺는 것 같습니다. 부족한 저에게 너무 많은 분들의 관심어린 사랑과 이해 배려에 대한 진정으로 감사한 마음을 전하고 싶습니다. 마음과 같아서는 모든 분들을 돌아보며 감사의 인사를 올려야 하나 그렇지 못함에 있어 용서를 구합니다.

연구자로서의 태도와 마음가짐을 가르쳐 주시고 항상 같은자리에서 믿음과 신뢰를 주신 이수용교수님, 부족한 저를 제자로 받아들여 처음부터 지금까지 가르침을 주신 이재용교수님, 바쁘신 일정에도 불구하고 세심하고 심도있게 논문을 지도해 주신 정철우교수님 고개숙여 감사를 드립니다.

과정 중 가장 많은 시간을 함께하고 곁에서 지켜봐주고 항상 지원해 주신 김지현박사님, 막중한 책임감으로 후배들을 돌봐주신 이승철박사님, 사소한 부분 하나하나 신경써주시고 챙겨주시는 남기용박사님, 그리고 멀리서 힘이 되어 주시고 신경써주시는 김채용선배님, 정용채선배님, 신삼성선배님께 감사함을 전달합니다.

짧은 만남 속에서도 신뢰를 주고, 또하나의 버팀목이 되어준 문훈, 송원호에게 고마움을 전달합니다.

하늘에서 지켜봐주시고 응원해주신 아버지, 늘 곁에서 믿어주시고 도와주신 어머니, 늘 한결같이 책임감을 가지고 가족을 지켜준 형과 형수님, 그리고 가장 가까운 곁에서 큰 부분부터 사소한 부분까지 챙겨주고 행복함을 느끼게 해준 아내 신수진에게 감사함을 전합니다.

항상 겸손한 마음을 가슴깊이 새겨두고 더 나아감에 있어 노력하여 더 발전할 수 있는 모습을 보여드립니다. 약속합니다. 감사합니다.